

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ  
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ-ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

**ΚΟΝΤΙΑΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**



**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Καθηγητής	Ζ. ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
Επ. Καθηγητής	Θ. ΤΣΟΥΤΣΟΣ
Αν. Καθηγητής	Κ. ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ

**ΧΑΝΙΑ**  
**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2006**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ  
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΕ  
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ-ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

**ΚΟΝΤΙΑΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ-ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Καθηγητής	Ζ. ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
Επ. Καθηγητής	Θ. ΤΣΟΥΤΣΟΣ
Αν. Καθηγητής	Κ. ΚΟΜΝΙΤΣΑΣ

**ΧΑΝΙΑ**  
**ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2006**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου:

- Στον **κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη**, καθηγητή και επιβλέποντα, για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.
- Στον **κ. Θεοχάρη Τσούτσο**, επίκουρο καθηγητή, για τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στην κατανόηση ζητημάτων που σχετίζονται με τις ΑΠΕ και τις χρήσιμες συμβουλές του.
- Στον **κ. Κώστα Κομνίτσα**, αναπληρωτή καθηγητή, για τη διόρθωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μεταφράστρια Μαρία Ιατρού και την καθηγήτρια Αγγλικών Φωτεινή Κομνηνού για τη βοήθεια τους στη μετάφραση προς τα ελληνικά πολλών κειμένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, καθώς και τον αρχιτέκτονα Δημήτρη Καρδαρά για την επεξεργασία της εικόνας του εξωφύλλου.

Χανιά, Νοέμβριος 2006

Ι. Κοντιάδης

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας προκαλούν μια ευρεία σειρά επιβαρύνσεων στο φυσικό και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Τα συμβατικά καύσιμα αποτελούν τον κύριο όγκο των αποθεμάτων ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση και η περισσότερη προσοχή εστιάζεται στο μέρος των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που προκύπτουν από τη χρήση τους.

Τα ενεργειακά μοντέλα είναι εργαλεία για την υποστήριξη αποφάσεων στον ενεργειακό προγραμματισμό και τη χάραξη πολιτικής. Η διαδικασία λήψης απόφασης στον προγραμματισμό ενέργειας είναι πολυσύνθετη καθώς πρέπει να εξεταστούν: οι διαθέσιμοι ενεργειακοί πόροι σε μια περιοχή, η πορεία της ζήτησης για τους διαφορετικούς ενεργειακούς τύπους τελικής χρήσης, οι διαθέσιμες τεχνολογίες για τη μετατροπή ενέργειας, ο οικονομικός αντίκτυπος στην κοινωνία, ο αντίκτυπος του ενεργειακού συστήματος στο περιβάλλον, και οι πολιτικές και κοινωνικές επιπτώσεις, πριν αποφασισθεί ποια λύση ενεργειακής παροχής να υιοθετηθεί.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε πολυκριτηριακή σύγκριση μεταξύ τεσσάρων τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στο κλειστό ενεργειακό σύστημα της Κρήτης, με οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια. Επίσης έγινε πολυκριτηριακή σύγκριση μεταξύ τεσσάρων υποθετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου της Κρήτης. Οι συγκρίσεις πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό Decision Lab 2000 (trial version), της канаδικής εταιρείας Visual Decision, το οποίο χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία PROMETHEE-GAIA για τη διαχείριση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων.

**αφιερώνεται**

**στα αγαπημένα μου  
πρόσωπα**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	3
ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ .....	3
2.1 Οικονομική ανάπτυξη και σχετικές πιέσεις στο περιβάλλον .....	3
2.2 Βιώσιμη χρήση φυσικών πόρων .....	5
2.2.1 Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας.....	6
2.2.2 Μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης.....	8
2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ενέργειας .....	9
2.3.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	9
2.3.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση.....	11
2.3.3 Λοιπές πιέσεις που έχουν σχέση με την ενέργεια.....	13
2.4 Κλιματικές αλλαγές στην Ευρώπη/τη Μεσόγειο/την Ελλάδα.....	14
2.5 Παρατηρούμενες μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων.....	18
2.5.1 Θερμοκρασία .....	18
2.5.2 Βροχόπτωση.....	21
2.5.3 Ακραία καιρικά φαινόμενα .....	23
2.5.4 Στάθμη της θάλασσας.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	25
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΛΑΙΣΙΟ-ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ .....	25
3.1 Η ιστορία των διαπραγματεύσεων για το κλίμα .....	25
3.2 Πρότυπα βιώσιμης ανάπτυξης στην ΕΕ .....	27
3.2.1 Βιώσιμη ανάπτυξη και περιβαλλοντικά πρότυπα στην ΕΕ .....	27
3.2.2 Η προώθηση περιβαλλοντικών προτύπων στον κόσμο, μηχανισμοί και εργαλεία μέσα .....	29
3.2.3 Πρόοδος όσον αφορά τη βελτίωση της ενσωμάτωσης.....	30
3.3 Εμπόριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.....	32
3.3.1 Αρχές Λειτουργίας της Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών .....	33
3.3.2 Εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών .....	36
3.3.3 Συναλλαγές και εμπορία δικαιωμάτων .....	37
3.4 Σύστημα τιμολόγησης και περιβαλλοντικό κόστος.....	39
3.5 Διεθνείς και κοινοτικές δεσμεύσεις της Ελλάδας για την προώθηση των ΑΠΕ ...	40
3.5.1 Η Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές .....	40
3.5.2 Το Πρωτόκολλο του Κιότο .....	40
3.5.3 Αποφάσεις της Συνδιάσκεψης του Γιοχάνεσμπουργκ.....	42
3.5.4 Κοινοτικές οδηγίες και αποφάσεις .....	43
3.6 Εφαρμογή τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	46
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ / ΥΓΡΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ / ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ / ΔΙΕΘΝΩΣ.....	46
4.1 Γενικά.....	46
4.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στερεά / υγρά καύσιμα στην Ελλάδα .....	48
4.2.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου στην Ελλάδα .....	48

4.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετικά με την εξόρυξη και τη χρήση του λιγνίτη για ηλεκτροπαραγωγή .....	51
4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στερεά / υγρά καύσιμα στην ΕΕ.. .....	54
4.3.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου στην ΕΕ .....	54
4.3.2 Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO <sub>2</sub> ) στην ΕΕ .....	57
4.3.3 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου (NO <sub>x</sub> ) στην ΕΕ .....	59
4.3.4 Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου στην ΕΕ ....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	61
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	61
5.1 Διαμόρφωση ενεργειακών μοντέλων.....	61
5.1.1 Εισαγωγή .....	61
5.1.2 Σύντομη ανασκόπηση των ενεργειακών μοντέλων .....	63
5.1.3 Η επιστήμη της ανάλυσης αποφάσεων .....	64
5.2 Περιγραφή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης / λήψης αποφάσεων .....	67
5.2.1 Γενικά.....	67
5.2.2 Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	68
5.2.3 Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας .....	70
5.2.4 Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου.....	71
5.2.5 Σύστημα λήψης αποφάσεων με χρήση αθροιστικής συνάρτησης ομάδων κριτηρίων .....	71
5.2.6 Σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο .....	73
5.2.7 Αξιολόγηση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης .....	76
5.3 Το λογισμικό PROMETHEE-GAIA.....	77
5.3.1 Εισαγωγή .....	77
5.3.2 Ανάλυση με το λογισμικό Decision Lab.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	82
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....	82
6.1 Γενικά.....	82
6.2 Σημερινή κατάσταση .....	84
6.3 Πρώτη σύγκριση .....	85
6.3.1 Περίπτωση 1 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια .....	86
6.3.2 Περίπτωση 2 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στην ενεργειακή ασφάλεια .....	90
6.3.3 Περίπτωση 3 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά κριτήρια.....	94
6.3.4 Περίπτωση 4 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα κοινωνικά κριτήρια.....	98
6.3.5 Αποτελέσματα πρώτης σύγκρισης.....	101
6.4 Δεύτερη σύγκριση.....	102
6.4.1 Περίπτωση 1 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια .....	103
6.4.2 Περίπτωση 2 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στην ενεργειακή ασφάλεια .....	107
6.4.3 Περίπτωση 3 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά κριτήρια.....	111
6.4.4 Περίπτωση 4 <sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα κοινωνικά κριτήρια.....	115
6.4.5 Αποτελέσματα δεύτερης σύγκρισης .....	119
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	120
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	120
7.1 Γενικά.....	120
7.2 Συμπεράσματα .....	121
7.3 Προτάσεις .....	124

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	125
Ελληνική Βιβλιογραφία .....	125
Διεθνής Βιβλιογραφία .....	126
Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο .....	128
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	129
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ .....	129
A.1 Η ανάπτυξη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	129
A.2 Μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	131
A.2.1 Αιολική ενέργεια.....	131
A.2.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	132
A.2.3 Ηλιακή ενέργεια.....	133
A.2.4 Βιομάζα.....	134
A.2.5 Γεωθερμική ενέργεια .....	135
A.2.6 Κυψέλες καυσίμου.....	136
A.3 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα.....	137
A.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	137
A.3.2 Οικονομικά στοιχεία των μικρών υδροηλεκτρικών.....	138
A.3.3 Δυσκολίες στην ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών .....	139
A.4 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα .....	141
A.4.1 Οικονομικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων .....	141
A.4.2 Περιβαλλοντικές θεωρήσεις .....	143
A.5 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα.....	144
A.5.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων .....	145
A.6 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τις μονάδες ισχύος γεωθερμικών μονάδων .....	147
A.6.1 Οικονομικότητα της γεωθερμικής ισχύος.....	147
A.6.2 Πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας.....	149
A.6.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης.....	151
A.6.3.1 Αποθέσεις μετάλλων.....	151
A.6.3.2 Υδρολογικές αλλαγές.....	151
A.6.3.3 Ρύπανση .....	151
A.6.3.4 Επανεγχύση.....	153
A.7 Δυναμικό της αγοράς και επιπτώσεις της Βιο-ισχύος .....	154
A.7.1 Κατάσταση της αγοράς και δυναμικό αυτής .....	154
A.7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	156
A.7.2.1 Ποιότητα του αέρα.....	156
A.7.2.2 Ποιότητα των υδάτων .....	157
A.7.2.3 Χρήσεις των γαιών.....	157
A.7.3 Οικονομικές επιπτώσεις.....	158
A.7.4 Εμπόδια για την περαιτέρω διείσδυση.....	158
A.8 Ζητήματα ενδιαφέροντος για την αιολική ενέργεια .....	161
A.8.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης της αιολικής ενέργειας.....	161
A.8.1.1 Πλεονεκτήματα .....	161
A.8.1.2 Μειονεκτήματα .....	163
A.8.2 Ποιότητα ισχύος.....	165
A.8.3 Συγκριτικά στοιχεία κόστους παραγόμενης ενέργειας .....	167
A.9 Εξωτερικό κόστος παραγωγής και χρήσης της ενέργειας .....	169
Εισαγωγή .....	169



A.9.1 Θεώρηση του εξωτερικού κόστους.....	170
A.9.1.1 Το περιβαλλοντικό κόστος.....	170
A.9.1.2 Το γενικό μακροοικονομικό κόστος .....	171
A.9.1.3 Οι κρατικές επιδοτήσεις.....	171
A.9.2 Σύγκριση του εξωτερικού κόστους μεταξύ των συμβατικών, πυρηνικών και ανανεώσιμων καυσίμων .....	173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	177
B.1 Επιμέρους βήματα πολυκριτηριακής ανάλυσης της ομάδας ELECTRE και PROMETHEE.....	177

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

AAU-Kyoto	Καταλογισμένη ποσοτική μονάδα του Πρωτοκόλλου του Κιότο
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν
ΑΕΚΚΑ	Χώρες της Ανατολικής Ευρώπης του Καυκάσου και της Κεντρικής Ασίας (δώδεκα χώρες)
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
CDM	Clean Development Mechanism - Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης
ΕΑΑ	Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΕΕΑ	European Environment Agency - Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος
ΕΣΚ	Εθνικό Σχέδιο Κατανομής
GHG	Αέρια του Θερμοκηπίου
IEA	International Energy Agency - Παγκόσμια Επιτροπή Ενέργειας
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control - Ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχος της ρύπανσης
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΚΥΑ	Κοινή Υπουργική Απόφαση
MCDM	Multiple Criteria Decision Making – Πολυκριτήρια Εξαγωγή Αποφάσεων
OR	Operational Research – Επιχειρησιακή Έρευνα
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΣΕΔΕ	Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών
ΣΗΘ	Συνδισσμένη Παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας
ΥΠΕΧΩΔΕ.	Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων
t CO <sub>2</sub> eq	Τόνοι ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευημερία και η οικονομική άνθιση συσχετίζεται άμεσα με την ενέργεια, η οποία αποτελεί ένα από τα βασικότερα στοιχεία της καθημερινότητας. Η σχέση μεταξύ της ενέργειας και του περιβάλλοντος στον 21<sup>ο</sup> αιώνα καθορίζεται από τα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνεχώς πολλαπλασιάζονται, από τα φυσικά βιογεωχημικά συστήματα που διαρκώς μεταβάλλονται και από τις ενεργειακές πηγές που ολοένα εξαντλούνται.

Η γρήγορη ανάπτυξη της ανθρωπότητας μετά τη βιομηχανική επανάσταση βασίσθηκε στην κατασπατάληση των ενεργειακών και φυσικών πόρων του πλανήτη και στην ανελέητη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου ανάπτυξης βασίσθηκε στην άποψη της αφθονίας και της επάρκειας των διαθέσιμων ενεργειακών και φυσικών πόρων και κυρίως στην έλλειψη του μέτρου.

Η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ξεκίνησε ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '70. Ωστόσο, μόλις πρόσφατα οι εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απέκτησαν την απαιτούμενη τεχνολογική ωριμότητα και την απαραίτητη οικονομική ανταγωνιστικότητα, ώστε να καθιερωθούν στη διεθνή ενεργειακή αγορά.

Η κλιματική αλλαγή είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως μια σοβαρή απειλή για το περιβάλλον του πλανήτη. Το πρόβλημα διευθετείται διαμέσου της Συνθήκης των Ηνωμένων Εθνών σχετικά με τη Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC) και έχει οριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ένα από τα κύρια περιβαλλοντικά θέματα προς επίλυση στο Πέμπτο και Έκτο Πρόγραμμα Περιβαλλοντικής Δράσης (European Environment Agency, 2003).

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας της Γης είναι ένα φυσικό φαινόμενο δια του οποίου οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις του ατμού του νερού και του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) παγιδεύουν την υπέρυθη ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα έχουν υπάρξει αυξήσεις στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις από ανθρωπογενή αέρια του θερμοκηπίου: διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), οξείδια του αζώτου (N<sub>x</sub>O), όπως επίσης και από αλογονωμένες ενώσεις όπως CFCs, HFCs και PFCs. Κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου έχει παρατηρηθεί μια αξιόλογη αύξηση, στην ιστορία, του παγκόσμιου μέσου όρου θερμοκρασίας. Υπάρχει ισχυρή απόδειξη ότι οι εκπομπές των αερίων

του φαινομένου του θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλούν μια αυξημένη επίπτωση του φαινομένου με τη μορφή υπερθέρμανσης του πλανήτη (European Environment Agency, 2003).

Η καύση φυσικών καυσίμων που καταλήγει σε εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι η κυριότερη ανθρώπινη δραστηριότητα που προκαλεί το επιβαρημένο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Άλλες δραστηριότητες που συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι η γεωργία και οι αλλαγές στη χρήση του εδάφους, συγκεκριμένες βιομηχανικές διαδικασίες όπως η παραγωγή τσιμέντου, η υγειονομική ταφή απορριμμάτων, η ψύξη, η χρήση αφρών πολυουρεθάνης και διαλυτικών.

Η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από το επιβαρημένο φαινόμενο του θερμοκηπίου αναμένεται να έχει εκτεταμένες συνέπειες, προκαλώντας: αύξηση της στάθμης της θάλασσας και πιθανή πλημμύρα των χαμηλών περιοχών, λιώσιμο των παγετώνων και των παγόβουνων, αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων με επακόλουθο πλημμύρες και ξηρασίες, και αλλαγές στη συχνότητα εμφάνισης ακραίων κλιματολογικών φαινομένων, κυρίως υψηλών θερμοκρασιών (European Environment Agency, 2003).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στερεά και υγρά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή, στο διεθνές πλαίσιο και τις πολιτικές που αφορούν την κλιματική αλλαγή, στις εναλλακτικές τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών καθώς και στα ενεργειακά μοντέλα και τις μεθόδους που χρησιμοποιούν.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σύγκριση των κυριότερων πρακτικά εφαρμόσιμων τεχνολογιών για ηλεκτροπαραγωγή με οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια στο κλειστό και αυτόνομο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης. Η σύγκριση έγινε με το λογισμικό Decision Lab 2000 (trial edition), της канаδικής εταιρείας Visual Decision, το οποίο χρησιμοποιεί τη μεθοδολογία PROMETHEE-GAIA για τη διαχείριση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων. Τέλος συγκρίνονται με το λογισμικό Decision Lab 2000 τέσσερα υποθετικά σενάρια εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου της Κρήτης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΑΠΟ ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

#### 2.1 Οικονομική ανάπτυξη και σχετικές πιέσεις στο περιβάλλον

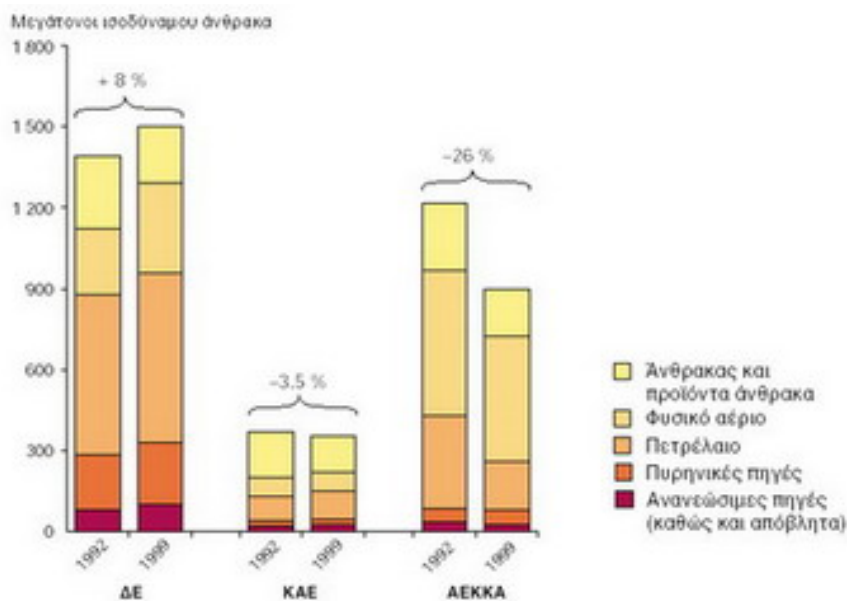
Την τελευταία δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα σημειώθηκαν σημαντικές αλλαγές στην Ευρώπη από οικονομική άποψη. Υπό συνθήκες σταθερής οικονομικής ανάπτυξης κατά το μεγαλύτερο διάστημα αυτής της περιόδου, η Δυτική Ευρώπη συνέχισε την πορεία από μια γεωργική και μεταποιητική οικονομική βάση σε μια κοινωνία περισσότερο προσανατολισμένη στον τομέα των υπηρεσιών. Στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη πραγματοποιήθηκε μετάβαση σε μια οικονομία της αγοράς σε συνδυασμο με την πολιτική διαδικασία προσχώρησης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στις δώδεκα χώρες της Ανατολικής Ευρώπης, του Καυκάσου και της Κεντρικής Ασίας (ΑΕΚΚΑ) η μετάβαση προς την οικονομία της αγοράς ήταν βραδύτερη, ωστόσο υπήρξε ριζική απομάκρυνση από τις κεντρικά σχεδιασμένες οικονομίες του παρελθόντος (European Environment Agency, 2003).

Η οικονομική ανάπτυξη στη Δυτική Ευρώπη υπήρξε σταθερή τα τελευταία έτη της δεκαετίας του 1990 μετά την ύφεση που είχε σημειωθεί στις αρχές της δεκαετίας. Παρουσιάζει σημαντικά υψηλότερο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν (ΑΕΠ) κατά κεφαλήν σε σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές περιοχές. Οι παλαιότερα κεντρικά σχεδιασμένες οικονομίες στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη και στην ΑΕΚΚΑ εξακολουθούν να διανύουν μια φάση σταδιακής αλλά ανομοιόμορφης μετάβασης. Στις χώρες αυτές σημειώθηκε οικονομική κάμψη στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όμως οι περισσότερες ακολούθησαν πορεία ανάπτυξης στα τέλη της δεκαετίας, ορισμένες με ακόμη υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από αυτούς που σημειώνονται στη Δυτική Ευρώπη. Μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να παρατηρήθηκε μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων ως συνέπεια της πτωτικής οικονομικής τους πορείας, όμως έχουν επίσης σχετικά περιορισμένες δυνατότητες ιδιωτικής ή δημόσιας χρηματοδότησης περιβαλλοντικών μέτρων. Ως αποτέλεσμα αυτού, υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των περιοχών και των χωρών όσον αφορά την κλίμακα και το εύρος των περιβαλλοντικών πιέσεων καθώς και την ισορροπία μεταξύ θετικών και αρνητικών επιπτώσεων (European Environment Agency, 2003).

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας και οι σχετικές πιέσεις στο περιβάλλον μειώθηκαν στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1990, όμως οι επιπτώσεις της χρήσης της ενέργειας στη μεταβολή του κλίματος φαίνεται ότι πρόκειται να αυξηθούν εκτός εάν η χρήση ορυκτών καυσίμων πάψει να είναι τόσο διαδεδομένη και επιτευχθούν σημαντικές βελτιώσεις όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση. Ο τομέας αυτός εξακολουθεί να αποτελεί τον κυριότερο συντελεστή μεταβολής του κλίματος. Τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και η αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας εξακολουθούν να συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όμως θα πρέπει να καταβληθούν μεγαλύτερες προσπάθειες προκειμένου να πραγματοποιηθεί, μεταξύ άλλων, η προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας. Η χρήση ενέργειας αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και ουσιών που συντελούν στην οξίνιση στην Ευρώπη (European Environment Agency, 2003).

Οι συνολικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που συνδέονται με τη χρήση ενέργειας μειώθηκαν σημαντικά στην Ευρώπη μεταξύ 1990 και 1999, κυρίως λόγω των οικονομικών δυσχερειών και της αναδιάρθρωσης στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη και στην ΑΕΚΚΑ. Ωστόσο, η συνολική κατανάλωση ενέργειας αναμένεται ότι θα αυξηθεί και πάλι με την ανάκαμψη των οικονομιών. Οι εκπομπές των ατμοσφαιρικών ρύπων που επιφέρουν οξίνιση από τον τομέα της ενέργειας μειώθηκαν σημαντικά ως αποτέλεσμα της μεταστροφής σε καθαρότερα καύσιμα, του καθαρισμού των καυσαερίων και της οικονομικής αναδιάρθρωσης, ενώ και οι τρεις περιοχές της Ευρώπης καταβάλλουν προσπάθειες προκειμένου να επιτύχουν τους στόχους εκπομπών για τους ρύπους αυτούς έως το 2010. Η ενεργειακή απόδοση έχει βελτιωθεί σε όλες τις περιοχές, ιδίως όμως στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη, ως αποτέλεσμα του συνδυασμού θετικών μέτρων και οικονομικής αναδιάρθρωσης (European Environment Agency, 2003).

Η αναλογία των ανανεώσιμων πηγών, τόσο στη συνολική παραγωγή ενέργειας όσο και στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, έχει αυξηθεί αλλά παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ενώ εξακολουθεί να κυριαρχεί η υδροηλεκτρική ενέργεια και η παραγωγή ενέργειας από βιομάζα. Απαιτείται πολύ ταχύτερη ανάπτυξη των 'νέων ανανεώσιμων πηγών', όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, διότι, σε αντίθετη περίπτωση, η προβλεπόμενη μείωση της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας θα οδηγήσει μεταξύ άλλων σε αύξηση τόσο της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων όσο και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η συνολική χρήση ενέργειας στη Δυτική Ευρώπη αυξήθηκε κατά 8% μεταξύ 1992 και 1999 και μειώθηκε στην ΑΕΚΚΑ κατά 26% (Σχήμα 2.1) (European Environment Agency, 2003).



Σχήμα 2.1: Συνολική κατανάλωση ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2004)

## 2.2 Βιώσιμη χρήση φυσικών πόρων

Η βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων αποτελεί ζήτημα προτεραιότητας μετά το Ρίο Ντε Τζανέιρο, και τονίστηκε εκ νέου στο Γιοχάνεσμπουργκ. Μέχρι στιγμής, το θέμα δεν έχει αντιμετωπιστεί με συνεκτικό και ολοκληρωμένο τρόπο. Σε σχετικούς όρους, η χρήση των πόρων τις τελευταίες δύο δεκαετίες έχει αποσυνδεθεί από την οικονομική ανάπτυξη στην ΕΕ και στις υποψήφιες για προσχώρηση χώρες. Ωστόσο, σε απόλυτους όρους, η χρήση υλικών εξακολουθεί να είναι υψηλή, παραμένοντας σε επίπεδα τα οποία αναγνωρίστηκαν στο Ρίο ως μη βιώσιμα. Στις υποψήφιες για προσχώρηση χώρες η χρήση υλικών ανέρχεται στο 70% της χρήσης που πραγματοποιείται στην ΕΕ, όμως η παραγωγικότητα πόρων είναι πολύ χαμηλότερη, περίπου στο 20% του αντίστοιχου ποσοστού της ΕΕ. Η παραγωγικότητα θα πρέπει να βελτιωθεί προκειμένου να στεφθούν με επιτυχία οι προσπάθειες των χωρών αυτών να φτάσουν σε επίπεδα διαβίωσης συγκρίσιμα με τα δυτικά (European Environment Agency, 2003).

Οι οικονομίες της Δυτικής, Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης τα τελευταία 20 έτη εισάγουν σε ολόένα μεγαλύτερο ποσοστό τις πρώτες ύλες τους, γεγονός που σημαίνει ότι η περιβαλλοντική επιβάρυνση που συνδέεται με την άντληση πόρων μετακυλιέται σε άλλα μέρη του κόσμου. Οι χώρες της ΑΕΚΚΑ αποτελούν ορισμένους

από τους κυριότερους εξαγωγείς πρώτων υλών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα ορυκτά καύσιμα αποτελούν σημαντική συνιστώσα της άμεσης εισροής υλικών τόσο στην ΕΕ όσο και στις υποψήφιες χώρες, ανέρχονται αντίστοιχα στο 24% και 31% του συνόλου. Οι εισαγωγές της ΕΕ από τις χώρες της ΑΕΚΚΑ αυξάνονται συνεχώς. Περίπου το 12% των εισαγωγών φυσικών πόρων της ΕΕ προέρχονται από τις χώρες της ΑΕΚΚΑ, ιδίως όσον αφορά τα ορυκτά καύσιμα και τα μέταλλα. Η επίδειξη ευθύνης σε παγκόσμιο επίπεδο προϋποθέτει από κάθε χώρα να γνωρίζει τις επιπτώσεις που έχει στον υπόλοιπο κόσμο. Επίσης, υπογραμμίζεται το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις βιωσιμότητας έχουν μεγαλύτερο νόημα όταν διεξάγονται σε παγκόσμιο παρά σε περιφερειακό ή εθνικό πλαίσιο (European Environment Agency, 2003).

### 2.2.1 Μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας

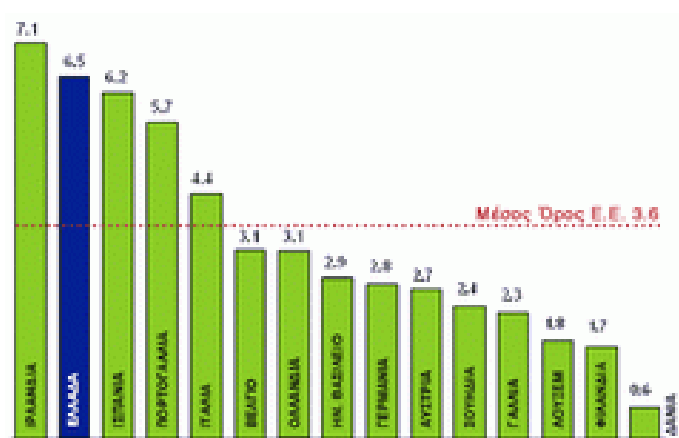
Ένας από τους στόχους της στρατηγικής της ΕΕ για την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών προβληματισμών στην πολιτική ενέργειας είναι η μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Η κατανάλωση ενέργειας από τους τελικούς χρήστες ενέργειας αυξήθηκε ανάμεσα στο 1990 και το 1999 σε όλους τους τομείς πλην ενός, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε στον τομέα των μεταφορών. Η μικρή μείωση στην κατανάλωση ενέργειας στον μεταποιητικό κλάδο αντικατοπτρίζει ορισμένες βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, αλλά κυρίως αποκαλύπτει τις συνέπειες των διαρθρωτικών αλλαγών, περιλαμβανομένης της μεταστροφής προς τις βιομηχανίες χαμηλής έντασης ενέργειας, την μετεγκατάσταση των βιομηχανιών υψηλής έντασης ενέργειας μακριά από τις χώρες της ΕΕ και την αναδιάρθρωση της γερμανικής βιομηχανίας μετά την ενοποίηση (European Environment Agency, 2002).

Οι προβολές της βάσης αναφοράς στο 2010 δείχνουν τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά σε χαμηλότερο ρυθμό από αυτόν μεταξύ 1990 και 1999, κυρίως λόγω του βραδύτερου ρυθμού αύξησης στην κατανάλωση ενέργειας από τον τομέα των μεταφορών. Αυτό οφείλεται στις αναμενόμενες βελτιώσεις στην απόδοση των καυσίμων των οδικών οχημάτων λόγω της εθελοντικής συμφωνίας ανάμεσα στην αυτοκινητοβιομηχανία και την ΕΕ και όχι λόγω της επιβράδυνσης του ρυθμού ανάπτυξης των οδικών μεταφορών (European Environment Agency, 2002).

Η ηλεκτρική ενέργεια εξακολουθεί να καταλαμβάνει όλο και μεγαλύτερο μερίδιο της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε όλες τις χώρες της ΕΕ, τόσο λόγω του μεγαλύτερου αριθμού ηλεκτρικών συσκευών στους τομείς των υπηρεσιών και των νοικοκυριών όσο και της μεγαλύτερης χρήσης παραγωγικών διαδικασιών που βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια στη βιομηχανία. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται



από άλλα καύσιμα και η κατανάλωση κάθε μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί την κατανάλωση δύο έως τριών μονάδων άλλης πηγής ενέργειας. Η αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα 2.2) έχει, ως εκ τούτου, ως αποτέλεσμα τη δυσανάλογα μεγαλύτερη αύξηση των περιβαλλοντικών πιέσεων, ιδίως σε ό,τι αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, εκτός κι αν προέρχεται από τεχνολογίες υψηλής απόδοσης και χαμηλών εκπομπών που μειώνουν επαρκώς τις επιπτώσεις της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο περιβάλλον (European Environment Agency, 2002).



Σχήμα 2.2: Ετήσια ποσοστιαία (%) αύξηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ (UNIPED, 2002).

### 2.2.2 Μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης

Η Ευρωπαϊκή Ένωση ως σύνολο έχει έναν ενδεικτικό στόχο που συνίσταται στη μείωση της ενεργειακής έντασης της τελικής κατανάλωσης (κατανάλωση ενέργειας ανά μονάδα ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος) κατά 1% ανά έτος κατά μέσο όρο, μεταξύ 1998 και 2010. Η ενεργειακή ένταση της οικονομίας της ΕΕ μειώθηκε κατά 0.9% ανά έτος κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990–99, με φαινομενικά μικρή επίδραση από τις πολιτικές ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας. Ο αργός ρυθμός με τον οποίο ελαττώθηκε η ενεργειακή ένταση οφείλεται σε συνδυασμό της γενικά μικρής προτεραιότητας σε τέτοιες πολιτικές, του άφθονου ενεργειακού εφοδιασμού και των χαμηλών τιμών των ορυκτών καυσίμων. Η σημαντική μείωση στη Γερμανία, η οποία υποβοηθήθηκε από τις βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, απέτρεψε από μόνη της την αύξηση της ενεργειακής έντασης στο σύνολο της ΕΕ. Παρατηρήθηκαν εντυπωσιακές μειώσεις στο Λουξεμβούργο λόγω εφάπαξ αλλαγών (κλείσιμο χαλυβουργείου) και στην Ιρλανδία λόγω της μεγάλης ανάπτυξης των βιομηχανιών χαμηλής έντασης ενέργειας. Η εφαρμογή πολιτικών ενεργειακής απόδοσης στη Δανία και τις Κάτω Χώρες διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στις μειώσεις στις εν λόγω χώρες (European Environment Agency, 2002).

Η συνολική απόδοση της μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια δεν βελτιώθηκε ανάμεσα στο 1990 και το 1999 επειδή τα οφέλη απόδοσης στο πλαίσιο των διαδικασιών μετατροπής αντισταθμίστηκαν από το μεγαλύτερο μερίδιο καυσίμων μετατροπής (π.χ. ηλεκτρική ενέργεια, προϊόντα πετρελαίου) στην τελική κατανάλωση ενέργειας, τάση που αναμένεται να συνεχιστεί (European Environment Agency, 2002).

Η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) αποτρέπει μεγάλο μέρος της απώλειας θερμότητας από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς παράγει και θερμότητα και ηλεκτρισμό ως χρήσιμες εκροές. Η ΕΕ έχει έναν ενδεικτικό στόχο που συνίσταται στην άντληση του 18% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την ΣΗΘ έως το 2010. Ο εν λόγω στόχος ενδέχεται να μην επιτευχθεί επειδή οι επενδύσεις σε ΣΗΘ σε ολόκληρη την ΕΕ, και ιδιαίτερα στη Γερμανία, τις Κάτω Χώρες και το ΗΒ, δυσχεράνηθηκαν από την αύξηση των τιμών φυσικού αερίου (το καύσιμο προτίμησης για νέα ΣΗΘ), την πτώση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και την αβεβαιότητα σχετικά με την εξέλιξη των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επεκτείνεται η απελευθέρωση (European Environment Agency, 2002).

## **2.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ενέργειας**

Η ενέργεια αποτελεί βασικό παράγοντα για την κοινωνική και οικονομική ευημερία. Παρέχει ανέσεις και επιτρέπει την κινητικότητα σε ατομικό επίπεδο και είναι απαραίτητη για την παραγωγή του μεγαλύτερου μέρους του βιομηχανικού και εμπορικού πλούτου. Ωστόσο, η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας ασκούν σημαντικές πιέσεις στο περιβάλλον, συμβάλλοντας, μεταξύ των άλλων, στη μεταβολή του κλίματος, καταστρέφοντας τα φυσικά οικοσυστήματα, βλάπτοντας το δομημένο περιβάλλον και προξενώντας βλαβερές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων (European Environment Agency, 2002).

Η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ αντικατοπτρίζει τα ευρύτερα αυτά θέματα και έχει τρεις κύριους στόχους:

- την ασφάλεια του εφοδιασμού
- την ανταγωνιστικότητα
- την προστασία του περιβάλλοντος.

Παρόλο που οι εν λόγω τομείς μπορούν να εξεταστούν χωριστά, συνδέονται στενά μεταξύ τους. Για παράδειγμα, οι βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση ωφελούν τον ασφαλή εφοδιασμό σε ενέργεια μειώνοντας το ποσό της ενέργειας που καταναλώνεται και περιορίζουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ρύπων μειώνοντας την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Από την άλλη, η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας και ο μεγαλύτερος ανταγωνισμός των τιμών ωφελούν την ανταγωνιστικότητα μέσω της μείωσης του κόστους, αλλά εάν δεν υπάρξει πλήρης εσωτερικοποίηση του εξωτερικού κόστους και βελτίωση της διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης, η μείωση του κόστους μπορεί να επιφέρει μειώσεις των τιμών οι οποίες ενδέχεται να ενεργήσουν ως αντικίνητρο για την εξοικονόμηση ενέργειας ή ακόμη και να ενθαρρύνουν την κατανάλωση ενέργειας (European Environment Agency, 2002).

### **2.3.1 Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου**

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τη χρήση ενέργειας μειώθηκαν αναλογικά σε μικρότερο βαθμό από τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 1990–2000, αυξάνοντας το μερίδιό τους στο 82% του συνόλου. Η μείωση των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών αποδίδεται εν μέρει στις εφάπαξ μειώσεις στη Γερμανία και το ΗΒ.

Ωστόσο, η ΕΕ τήρησε τη δέσμευσή της να σταθεροποιήσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 2000 στα επίπεδα του 1990 (European Environment Agency, 2002).

Εντούτοις, η ΕΕ δύσκολα θα συμμορφωθεί με το στόχο της στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο να μειώσει έως το 2010 τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 8% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (Πίνακας 2.3). Χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων, οι συνολικές εκπομπές το 2010 είναι πιθανό να είναι περίπου οι ίδιες με εκείνες του 1990, ενώ η περαιτέρω μείωση των εκπομπών που δεν σχετίζονται με την ενέργεια θα αντισταθμιστεί από την αύξηση των εκπομπών που σχετίζονται με την ενέργεια, κυρίως λόγω του τομέα των μεταφορών (European Environment Agency, 2002).

Εάν υποθεθεί ότι ο στόχος του Πρωτοκόλλου του Κιότο θα επιτευχθεί μόνο με τη λήψη εθνικών μέτρων, η πλειοψηφία των κρατών μελών δεν έχουν επιτελέσει ακόμη αρκετή πρόοδο ούτως ώστε να διασφαλίσουν την εκπλήρωση των στόχων τους στα πλαίσια της συμφωνίας της ΕΕ περί επιμερισμού των βαρών για την επιτεύξη του στόχου της ΕΕ. Η ανάλυση της απόστασης από τους στόχους που διενεργήθηκε με βάση τα δεδομένα του 1999 καταδεικνύει ότι η Φινλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, το Λουξεμβούργο, η Σουηδία και το ΗΒ μείωσαν τις συνολικές εκπομπές τουλάχιστον αρκετά ούτως ώστε να βρίσκονται στο σωστό δρόμο για την επίτευξη των στόχων τους για το 2010. Ωστόσο, σε όλα τα κράτη μέλη, με εξαίρεση τη Σουηδία, οι σχετικές με την ενέργεια εκπομπές κατά το διάστημα 1990–1999 είτε μειώθηκαν λιγότερο από τις συνολικές εκπομπές είτε αυξήθηκαν περισσότερο από τις συνολικές εκπομπές (European Environment Agency, 2002).

Μετά το 2010, αναμένεται ότι τα επίπεδα κατανάλωσης ενέργειας θα εξακολουθήσουν να αυξάνονται, τουλάχιστον έως το 2020. Για την εκπλήρωση του προτεινόμενου στόχου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μείωση μέχρι το 2020 των συνολικών εκπομπών στην ΕΕ κατά 1% κάθε χρόνο σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 θα απαιτούνταν μακροπρόθεσμες αλλαγές στα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας (σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κτίρια, μεταφορές, κλπ.). Τα εν λόγω πρότυπα θα καθορισθούν με τη λήψη επικείμενων αποφάσεων, και ως εκ τούτου για τη μείωση των μελλοντικών εκπομπών που έχουν σχέση με την ενέργεια απαιτείται η άμεση ανάληψη πολιτικής δράσης (European Environment Agency, 2002).

Πίνακας 2.3: Εκπομπές σε ισοδύναμο CO<sub>2</sub> στην ΕΕ και οι στόχοι μείωσης σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο (UNFCCC, 1999)

Country	Target (%)	Emissions 1990 (Tg CO <sub>2</sub> eq.)	Target 2008-2012 (Tg CO <sub>2</sub> eq.)
Austria	-13.0	78	68
Belgium	-7.0	139	129
Denmark	-21.0	72	57
Finland	0	65	65
France	0	546	546
Germany	-21.0	1208	955
Greece	25.0	99	124
Ireland	13.0	57	64
Italy	-6.5	543	507
Luxembourg	-28.0	14	10
Netherlands	-6.0	217	204
Portugal	27.0	69	87
Spain	15.0	302	348
Sweden	4.0	66	68
United Kingdom	-12.5	790	691
<b>EU Total</b>	<b>-8.0</b>	<b>4264</b>	<b>3992</b>
Bulgaria	-8.0	124	114
Czech Republic	-8.0	187	173
Estonia	-8.0	49	45
Hungary	-6.0	80	76
Latvia	-8.0	37	34
Lithuania	-8.0	44	41
Poland	-6.0	591	556
Romania	-8.0	246	226
Slovakia	-8.0	72	67
Slovenia	-8.0	19	17
Croatia	-5.0	7	35
Iceland	10.0	3	3
Liechtenstein	-8.0	0	0
Norway	1.0	55	56
Switzerland	-8.0	54	49

### 2.3.2 Ατμοσφαιρική ρύπανση

Η χρήση ενέργειας αποτελεί κύρια πηγή των ατμοσφαιρικών ρύπων. Η ΕΕ, ευθύνεται για λίγο περισσότερο από το 90% των εκπομπών διοξειδίου του θείου, σχεδόν για όλες τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου, περίπου για τις μισές εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου και περίπου για το 85% των σωματιδίων (European Environment Agency, 2002).

Τα μέτρα που λήφθηκαν για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη χρήση ενέργειας ήταν επιτυχή. Σε αυτά περιλαμβάνονται η εισαγωγή των καταλυτικών μετατροπών, η χρήση των τεχνολογιών αντιρρυπαντικής προστασίας που ενθαρρύνονται από την οδηγία για τις μεγάλες εγκαταστάσεις καύσης και η χρήση των καλύτερων διαθέσιμων τεχνικών που απαιτούνται από την οδηγία σχετικά με την ολοκληρωμένη πρόληψη και έλεγχο της ρύπανσης. Η μετάβαση από τον άνθρακα και το πετρέλαιο στο φυσικό αέριο συνέβαλε επίσης σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (European Environment Agency, 2002).

Στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας, πάνω από το ήμισυ των μειώσεων στις εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου οφείλονται στην εισαγωγή μέτρων μείωσης ειδικά για κάθε εκπομπή, σχεδόν το ένα τέταρτο στις αλλαγές στο μείγμα ορυκτών καυσίμων και το υπόλοιπο στη βελτιωμένη απόδοση της παραγωγής ηλεκτρισμού από ορυκτά καύσιμα και στα αυξημένα μερίδια της πυρηνικής ενέργειας και των ανανεώσιμων πηγών (European Environment Agency, 2002).

Η οδηγία σχετικά με τα ανώτατα εθνικά όρια εκπομπών καθορίζει στόχους για τη μείωση των συνολικών εκπομπών (σχετικών ή μη σχετικών με την ενέργεια) του διοξειδίου του θείου, των οξειδίων του αζώτου και των πτητικών οργανικών ενώσεων πλην μεθανίου έως το 2010, σε σχέση με το 1990. Γενικά, η ΕΕ βρίσκεται στο δρόμο για την επίτευξη των εν λόγω στόχων και επίσης επιτελεί ικανοποιητική πρόοδο ως προς τη μείωση των εκπομπών σωματιδίων. Οι σχετικές με την ενέργεια εκπομπές όλων αυτών των ρύπων μειώθηκαν πιο γρήγορα από τις συνολικές εκπομπές (European Environment Agency, 2002).

Τα περισσότερα κράτη μέλη συνέβαλαν σε όλες αυτές τις μειώσεις, αλλά η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Ισπανία πρέπει να λάβουν περισσότερα μέτρα προκειμένου να διασφαλίσουν την επίτευξη των στόχων τους (European Environment Agency, 2002).

### 2.3.3 Λοιπές πιέσεις που έχουν σχέση με την ενέργεια

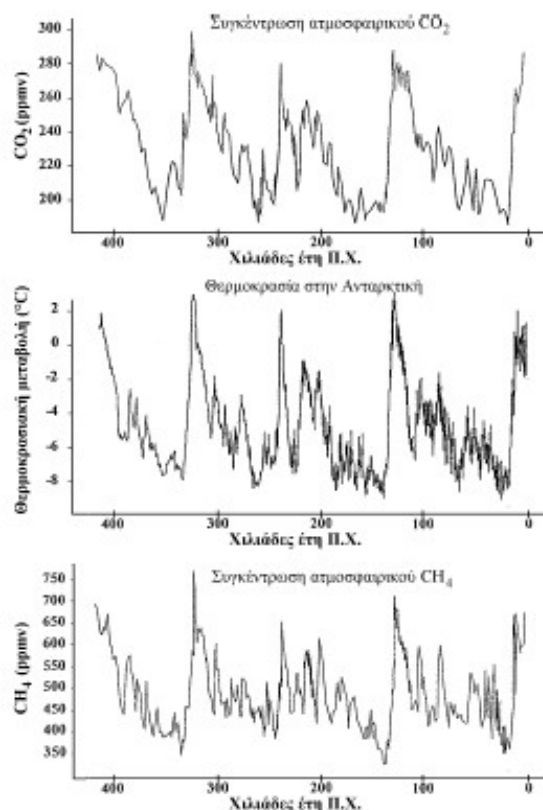
Στις λοιπές περιβαλλοντικές πιέσεις από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας περιλαμβάνονται τα απόβλητα από τα ορυχεία και τους σταθμούς παραγωγής πυρηνικής ενέργειας, η μόλυνση των υδάτων από τις εξορύξεις, τις πετρελαιοκηλίδες και οι απορρίψεις στα θαλάσσια ύδατα, η υποβάθμιση του εδάφους από τις κηλίδες και τις διαρροές υγρών καυσίμων, καθώς και ο αντίκτυπος στα οικοσυστήματα από την κατασκευή και λειτουργία μεγάλων φραγμάτων (European Environment Agency, 2002).

Εξακολουθούν να εμφανίζονται πετρελαιοκηλίδες από δεξαμενόπλοια, μολονότι η συχνότητά τους και οι ποσότητες πετρελαίου έχουν μειωθεί σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία. Τούτο μπορεί να αντικατοπτρίζει την μη τακτική εμφάνιση τέτοιων ατυχημάτων, όμως είναι ενθαρρυντικό το ότι η φαινομενική βελτίωση επήλθε παρά την αυξημένη θαλάσσια μεταφορά πετρελαίου. Σε αυτό συνέβαλαν τα αυξημένα μέτρα ασφαλείας, όπως είναι η εισαγωγή στη ναυσιπλοΐα δεξαμενόπλοιων με διπλά τοιχώματα. Επιπλέον, μειώθηκαν οι απορρίψεις πετρελαίου από τις εγκαταστάσεις ανοικτής θαλάσσης και τα παράκτια διυλιστήρια, παρά την αυξημένη παραγωγή πετρελαίου, λόγω της αυστηρότερης εφαρμογής των τεχνολογιών απορρύπανσης και διαχωρισμού (European Environment Agency, 2002).

Τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα αποτελούν τα πλέον ραδιενεργά απόβλητα και σε πολλές περιπτώσεις απαιτούνται αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια για τη διάσπασή τους. Επειδή ο όγκος που παράγεται καθορίζεται κυρίως από την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα πυρηνικά εργοστάσια, οι ετήσιες ποσότητες χρησιμοποιημένων καυσίμων θα μειθούν κατά πάσα πιθανότητα καθώς αρχίζει να περιορίζεται η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. Συνεχίζονται οι προσπάθειες για την καθιέρωση μεθόδων τελικής διάθεσης, οι οποίες να καθησυχάζουν τις τεχνικές και δημόσιες ανησυχίες σχετικά με την πιθανή απειλή που αποτελούν τα εν λόγω απόβλητα για το περιβάλλον. Εν τω μεταξύ τα απόβλητα συγκεντρώνονται σε χώρους αποθήκευσης. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε την ενίσχυση της έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της διαχείρισης των πυρηνικών αποβλήτων στο πλαίσιο της στρατηγικής της για τη βιώσιμη ανάπτυξη (European Environment Agency, 2002).

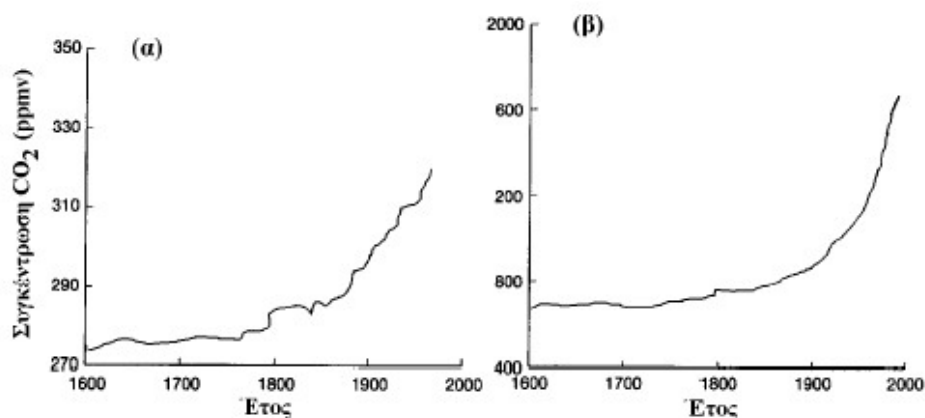
## 2.4 Κλιματικές αλλαγές στην Ευρώπη/τη Μεσόγειο/την Ελλάδα

Τα τελευταία 420.000 έτη η γη υπέστη αρκετά συχνά έντονες κλιματικές αλλαγές οι οποίες εμφάνισαν σημαντική περιοδικότητα. Η τελευταία περίοδος παγετώνων άρχισε 120.000 χρόνια πριν και έληξε μόλις πριν από 16.000 χρόνια. Ακολούθως η γη διανύει μια θερμή περίοδο. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.4 όλες οι κλιματικές αλλαγές στο διάστημα των τελευταίων 420.000 ετών φαίνονται να προκλήθηκαν από αντίστοιχες μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου, διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μεθανίου, ( $\text{CH}_4$ ) οι οποίες όμως είχαν αποκλειστικά φυσική προέλευση. Με την βιομηχανική όμως επανάσταση του 18<sup>ου</sup> αιώνα ο άνθρωπος προκάλεσε ραγδαία αύξηση και των δύο αυτών αερίων σε επίπεδα που δεν έχουν προηγούμενο τα τελευταία 420.000 χρόνια. Η αύξηση αυτή συνοδεύτηκε από αντίστοιχη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη η οποία σε παγκόσμιο επίπεδο και από το 1860 μέχρι σήμερα κυμαίνεται μεταξύ  $0.4^\circ\text{C}$  και  $0.8^\circ\text{C}$  (Σχήμα 2.5 και Σχήμα 2.6) (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

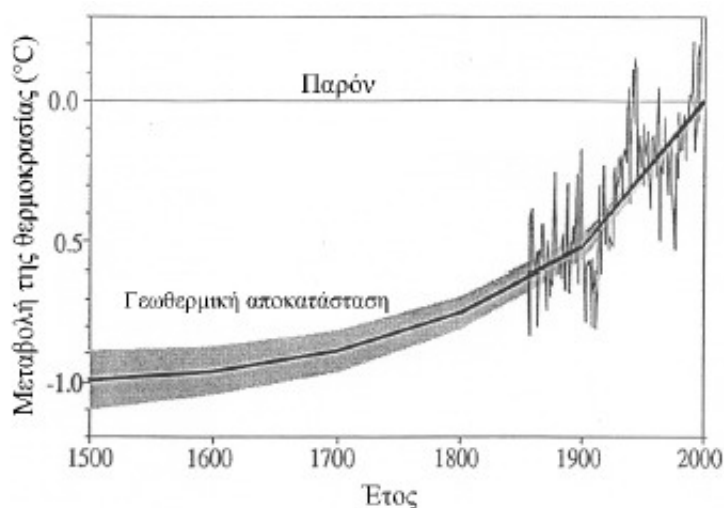


Σχήμα 2.4: Κλιματικές αλλαγές και μεταβολές της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) τα τελευταία 420.000 έτη, όπως αυτές εκτιμήθηκαν από την ανάλυση πάγων της Ανταρκτικής (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).





Σχήμα 2.5: Μεταβολή των παρατηρούμενων συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου. (α) του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και (β) του μεθανίου (CH<sub>4</sub>) από το 1600 έως το 1995 όπως αυτές εκτιμήθηκαν από την ανάλυση πάγων της Ανταρκτικής. Το τμήμα της καμπύλης μετά το 1974 αντιστοιχεί σε πραγματικές καταγραφές (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).



Σχήμα 2.6: Η εκτιμώμενη απόκλιση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας για τα τελευταία 500 έτη σε σχέση με τις σημερινές τιμές (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής συνέβη σε δυο περιόδους, 1910-45 και από το 1975 και μετά. Το μέγεθος της θέρμανσης αυτής κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, αν και φαίνεται να προέρχεται και από μη ανθρωπογενείς αιτίες, είναι πολύ μεγάλο για να εξηγηθεί μόνο από τη συνιστώσα της φυσικής μεταβλητότητας. Ο ρυθμός θέρμανσης από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 έχει ιδιαίτερα αυξηθεί με τα οκτώ πιο θερμά έτη, που έχουν καταγραφεί στην ιστορία, να εμφανίζονται μετά το 1983, με θερμότερο έτος το 1998. Η δεκαετία του 1990 ήταν πιθανόν η θερμότερη δεκαετία της χιλιετίας για το βόρειο ημισφαίριο ενώ το 1998 ήταν πιθανόν το θερμότερο έτος. Ιδιαίτερα οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες των τελευταίων δεκαετιών, στο βόρειο ημισφαίριο, ήταν οι υψηλότερες τουλάχιστον των έξι τελευταίων αιώνων. Το 1999 ήταν το πέμπτο πιο θερμό έτος που καταγράφηκε στην ιστορία, με 0.33°C μεγαλύτερη θερμοκρασία από τη μέση τιμή της περιόδου 1961-90. Η μικρή μείωση στη μέση θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το 1999, σε σχέση με το 1998, αποδίδεται στο φαινόμενο La Nina το οποίο εμφανίστηκε στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό στα τέλη του 1998. Παρόλα αυτά κανένα έτος στα χρονικά με παράλληλη εμφάνιση του La Nina δεν ήταν τόσο θερμό όσο το 1999. Όσον αφορά στη βροχόπτωση στη ξηρά, αυτή αυξάνεται συνεχώς στο μεγαλύτερο μέρος των περιοχών που βρίσκονται στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη του βορείου ημισφαιρίου, αλλά στο μεγαλύτερο μέρος των τροπικών περιοχών οι συνθήκες γίνονται ξηρότερες (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Οι μελέτες των παρατηρούμενων κλιματικών αλλαγών που εξετάστηκαν αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους αποκλειστικά του 20<sup>ου</sup> αιώνα καθώς αυτό που ενδιαφέρει ιδιαίτερα είναι ο εντοπισμός των αλλαγών που πιθανόν να έχουν ανθρωπογενή προέλευση (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Επιγραμματικά, οι αλλαγές του κλίματος στην περιοχή μας, αν και διαφοροποιούνται μερικώς, φαίνεται να τείνουν προς εναρμόνιση με τις γενικότερες παγκόσμιες τάσεις θέρμανσης. Τα αποτελέσματα των ερευνών που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία έτη για τη Μεσόγειο και ειδικότερα για την Ελλάδα, συγκλίνουν στο ότι η θερμοκρασία θα σημειώσει σημαντική άνοδο μέσα στις επόμενες δεκαετίες, ενώ ως προς τη βροχόπτωση, η συνολική εικόνα δεν είναι ιδιαίτερα σαφής (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).

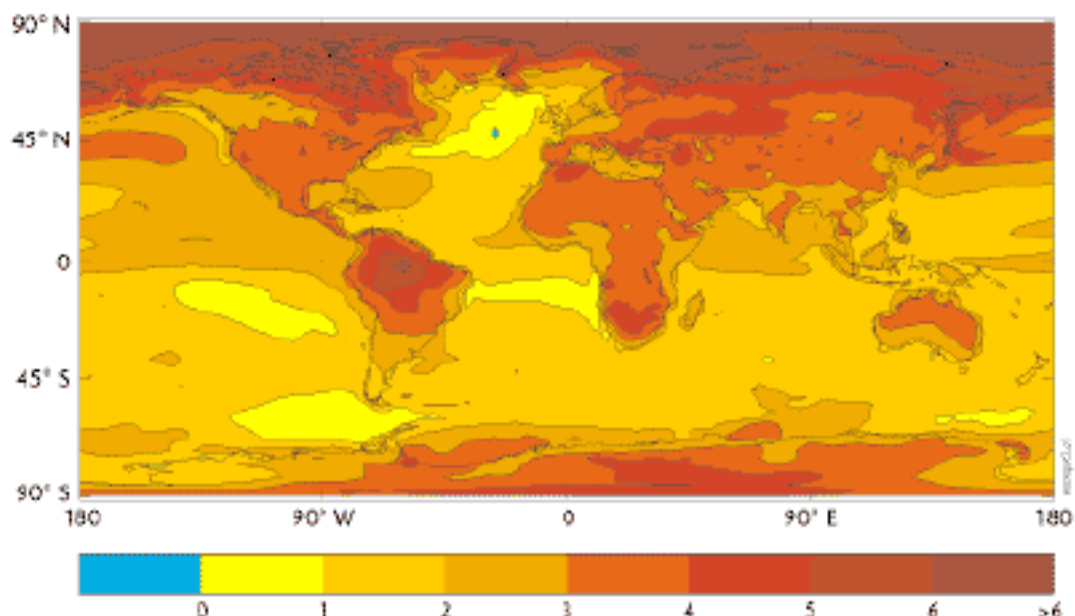
Όλα τα μοντέλα εκτιμούν αύξηση της θερμοκρασίας στον Ελληνικό χώρο η οποία κυμαίνεται από 1°C έως 2°C μέχρι το 2030, και εντείνεται ιδιαίτερα μέχρι τα τέλη του αιώνα, παρά τις διαφορετικές εκτιμήσεις για το μέγεθος της. Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα αυτά, ο κίνδυνος πρόκλησης κλιματικών αλλαγών δεν είναι αμελητέος. Υπάρχουν πλέον, αρκετές ενδείξεις ότι κλιματική αλλαγή ήδη υφίσταται

και πιθανόν να επιταχυνθεί στις αμέσως επόμενες δεκαετίες (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).

Η μέση θερμοκρασία στην περιοχή της Μεσογείου εκτιμάται ότι θα αυξηθεί μέχρι 3.5°C έως το δεύτερο μισό του 21ου αιώνα θεωρώντας διπλασιασμό του CO<sub>2</sub> σε αυτή την περίοδο (Σχήμα 2.7). Εντούτοις, οι εκτιμήσεις της αύξησης της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζουν μεγάλο εύρος (2.0 έως 6.0°C μέχρι το 2100). Αναμένεται μικρότερη αύξηση πάνω από τη θάλασσα και τις παράκτιες περιοχές σε σχέση με τις ηπειρωτικές. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη αύξηση και τη μεγαλύτερη ευαισθησία φαίνεται να είναι τα νότια τμήματα της Λεκάνης της Μεσογείου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).

Κατά τη θερινή περίοδο, η αύξηση της θερμοκρασίας για τη Μεσόγειο είναι μεγαλύτερη από αυτήν της βόρειας Ευρώπης, ενώ για τη χειμερινή περίοδο κυμαίνονται στα ίδια περίπου επίπεδα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).

Για την περιοχή της Μεσογείου, τα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων συγκλίνουν στη μεγάλη μείωση της θερινής βροχόπτωσης. Αντιθέτως, αρκετά μοντέλα δίνουν αύξηση της χειμερινής βροχόπτωσης κυρίως στις βόρειες περιοχές της, μικρότερης όμως τάξης από την αντίστοιχη της βόρειας Ευρώπης (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).



Σχήμα 2.7: Μεταβολή της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ του 1999 και του 2080 βάσει του HadCM3, (UKMO, 2000).

## **2.5 Παρατηρούμενες μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων**

### **2.5.1 Θερμοκρασία**

Γενικά, όλες σχεδόν οι περιοχές της Ευρώπης παρουσίασαν θέρμανση του κλίματος κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Για την περίοδο 1981-1990, και για το μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης οι μέσες θερμοκρασίες είναι υψηλότερες από τη μέση κλιματολογική τιμή της περιόδου 1951-1980 με εξαίρεση την ανατολική Μεσόγειο. Η δεκαετία του 1990 που ακολούθησε αποτέλεσε την πιο θερμή δεκαετία του αιώνα. Γενικά, είναι δύσκολος ο εντοπισμός μιας κλιματικής αλλαγής σε αυτή τη κλίμακα καθώς η υψηλή μεταβλητότητα των τοπικών κλιμάτων δυσχεραίνει την διάκριση μιας συγκεκριμένης τάσης. Επιπρόσθετα, υπάρχει δυσκολία στην απόδοση οποιασδήποτε παρατηρούμενης τάσης είτε σε κλιματική αλλαγή είτε σε διακύμανση λόγω της φυσικής μεταβλητότητας του κλίματος (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Για όλη την περιοχή της Μεσογείου η εξέλιξη της θερμοκρασίας τα τελευταία 100 έτη φαίνεται να είναι παρόμοια με αυτή που καταγράφηκε σε παγκόσμιο επίπεδο, δηλ. ψύξη κατά τη διάρκεια της περιόδου 1955-1975 και ισχυρή θέρμανση της δεκαετίας του 1980 και του πρώτου μισού της δεκαετίας του 1990. Παρόλα αυτά, χαρακτηριστική είναι η διαφορά που παρουσιάζεται στην τάση τόσο της θερμοκρασίας του αέρα όσο και της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας, μεταξύ του δυτικού και ανατολικού τμήματος της Μεσογείου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Οι θάλασσες της Μεσογείου, και ιδιαίτερα της ανατολικής, εμφανίζουν τάση απότομης ψύξης για την δεκαετία του 1970, με σταδιακή πλέον αύξηση της θερμοκρασίας τους από τότε μέχρι σήμερα. Η ψύξη στην ανατολική Μεσόγειο στη δεκαετία του 1970 ήταν πιο έντονη από ότι στην δυτική Μεσόγειο. Όσον αφορά την θερμοκρασία του αέρα, όλες οι εργασίες συμφωνούν ότι στην περιοχή της Μεσογείου, άλλες για την περίοδο 1950-1990 και άλλες για την περίοδο 1975-1990, παρατηρείται θετική τάση στη δυτική Μεσόγειο και αρνητική τάση στην ανατολική Μεσόγειο. Στην παρατηρούμενη αυτή ψύξη της ανατολικής Μεσογείου τη μεγαλύτερη συνεισφορά φαίνεται να έχει η ψυχρή περίοδος του έτους (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Καθοδική τάση στη θερμοκρασία του αέρα παρουσιάζεται στην ανατολική Μεσόγειο από τη δεκαετία του 1960 μέχρι το ελάχιστο της δεκαετίας του 1970, από

τα τέλη της οποίας εμφανίζεται πλέον ανοδική τάση. Ιδιαίτερα για την ανατολική Μεσόγειο, το 1999 ήταν εξαιρετικά θερμό έτος, σε σχέση με την τριακονταετία 1961-90, όπως και σε παγκόσμιο επίπεδο, γεγονός που οφείλεται κυρίως στις υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου. Η μέση θερμοκρασία της κεντροδυτικής Μεσογείου παρουσιάζει αύξηση της τάξης των 0.8 °C/100 έτη (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

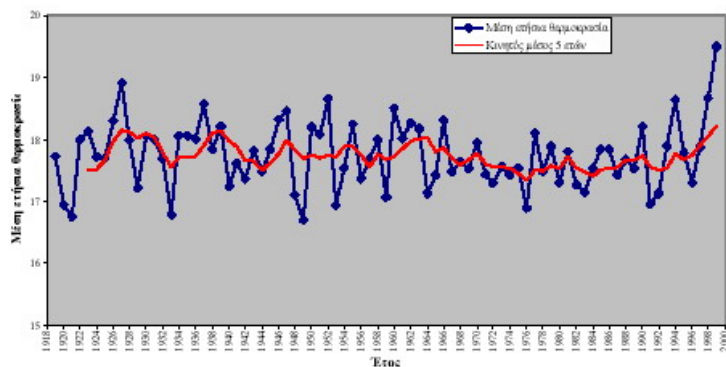
Για τους περισσότερους σταθμούς του Ελλαδικού χώρου διακρίνεται γενικά μια πτωτική τάση από το 1950 έως τις αρχές του 1990. Ανάκαμψη της πτωτικής τάσης παρατηρείται σε αρκετές περιοχές μετά το 1975 η οποία φαίνεται να προκαλείται από την αντίστοιχη ανοδική τάση των θερμοκρασιών του καλοκαιριού για την ίδια περίοδο παρά την σημαντική τάση ελάττωσης που παρατηρείται στις θερμοκρασίες του χειμώνα μετά το 1985 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Η δεκαετία 1970 ήταν η πιο ψυχρή για ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο. Αξιοσημείωτο είναι ότι από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 διακρίνεται μία σαφής τάση θέρμανσης στην Ελλάδα η οποία σταδιακά ενισχύεται. Ιδιαίτερα, εμφανίζεται μία συνεχής τάση προς θερμότερα καλοκαίρια από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 μέχρι σήμερα, με αποκορύφωμα το καλοκαίρι του 1999, το οποίο αποτέλεσε το πιο θερμό καλοκαίρι του αιώνα για την Αθήνα. Το καλοκαίρι του 2000 ήταν εξίσου θερμό με το καλοκαίρι του 1998, γεγονός που υποδεικνύει ότι τα τρία τελευταία έτη οι θερινές θερμοκρασίες κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

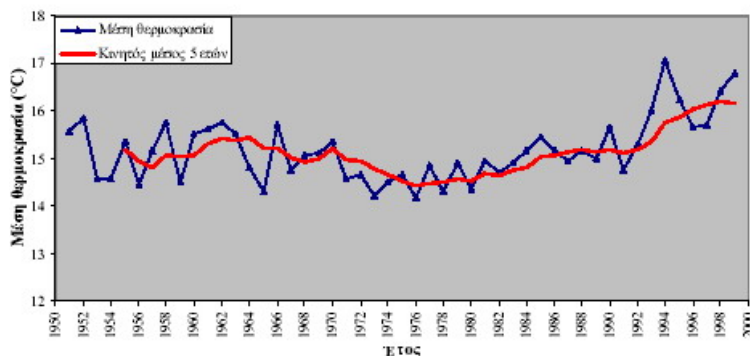
Υπάρχουν κάποιες ενδείξεις αλλά όχι αποδείξεις για την επίδραση της αστικοποίησης στο τοπικό κλίμα της Αθήνας. Επίσης, δεν υπάρχουν μελέτες που να αποδεικνύουν την επίδραση της αστικοποίησης στο κλίμα της Αθήνας εξετάζοντας τη διαφορά των χρονοσειρών των θερμοκρασιών της Αθήνας με περισσότερες από μία περιοχές (Σχήμα 2.8). Στη Θεσσαλονίκη όχι μόνο δεν εμφανίζεται τάση θέρμανσης αλλά αντίθετα εμφανίζεται τάση ψύξης για τον αιώνα που μας πέρασε (Σχήμα 2.9), η οποία είναι εντονότερη στις χρονοσειρές της άνοιξης και του φθινοπώρου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Η μέση θερμοκρασία στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη φαίνεται να ανέρχεται σταδιακά από το 1980 και μετά κυρίως λόγω της εμφάνισης θερμότερων καλοκαιριών. Ιδιαίτερα απότομη θέρμανση εμφανίζεται στην περιοχή της Αθήνας στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Σταδιακή αύξηση, αλλά μικρότερου μεγέθους, παρατηρείται από το 1980 και μετά και στη Θεσσαλονίκη ενώ την τελευταία τετραετία (1996-1999) εμφανίζεται απότομη αύξηση παράλληλη με αυτή της Αθήνας αλλά μικρότερης έκτασης (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

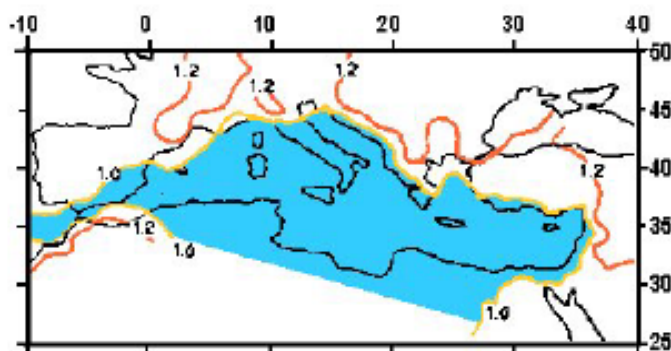
Η εκτίμηση της μελλοντικής μεταβολής της θερμοκρασίας για την Ελλάδα σε τοπικό επίπεδο, εμπεριέχει σημαντική αβεβαιότητα, ανάλογα με τα σενάρια των ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας για την Ελλάδα, εκτιμάται για το 2100 από 3°C έως 5°C και αναμένεται να είναι λίγο μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου σε σχέση με αυτή του χειμώνα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).



Σχήμα 2.8: Η χρονική εξέλιξη της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στην Αθήνα για την περίοδο 1918-1999, (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).



Σχήμα 2.9: Η χρονοσειρά των μέσων ετήσιων τιμών της θερμοκρασίας για τη Θεσσαλονίκη την περίοδο 1951-1999 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).



Σχήμα 2.10: Σχετική μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας στη Μεσόγειο, ως προς την αντίστοιχη μέση παγκόσμια μεταβολή. Οι περιοχές που σκιάζονται με γαλάζιο αναμένεται να εμφανίσουν μικρότερη άνοδο της θερμοκρασίας από την προβλεπόμενη για τον πλανήτη (Palubikof et al, 1996 ).

### 2.5.2 Βροχόπτωση

Οι διακυμάνσεις των μέσων ετήσιων τιμών του υετού κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα για ένα μεγάλο αριθμό ευρωπαϊκών σταθμών δείχνει την ύπαρξη μιας γενικής αύξησης στη βόρεια Ευρώπη (εκτός της Φιλανδίας), ενώ για τη νότια Ευρώπη και την περιοχή της Μεσογείου υπάρχουν ενδείξεις μείωσης των βροχοπτώσεων. Ιδιαίτερα στη δεκαετία του 1980, σε σχέση με τις τρεις προηγούμενες δεκαετίες, παρουσιάζεται μείωση των βροχοπτώσεων στην νότια Ευρώπη σε αντίθεση με το μεγαλύτερο μέρος της βόρειας Ευρώπης όπου παρουσιάζεται αύξηση (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Από το 1900, η βροχόπτωση μειώθηκε από 5% έως 20% στις περισσότερες περιοχές που περιβάλλουν τη θάλασσα της Μεσογείου, με εξαίρεση την περιοχή που εκτείνεται από την Τυνησία μέχρι τη Λιβύη όπου αυξήθηκε ελαφρά (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Ειδικότερα, στην περιοχή της Μεσογείου φαίνεται να υπάρχει αρνητική τάση από τις αρχές της δεκαετίας του 1960 και μετά, μέχρι το 1990, οπότε αναστρέφεται (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Είναι φανερό η ύπαρξη πτωτικής τάσης στον υετό της περιοχής της ΝΑ Μεσογείου και της Ελλάδας μέχρι τις αρχές του 1990. Θα πρέπει όμως να επισημανθεί το γεγονός της αύξησης των τιμών του υετού τα τελευταία χρόνια. Τα τελευταία 50 έτη παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης και στην περιοχή της κεντροδυτικής Μεσογείου (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Στον Ελλαδικό χώρο εμφανίζεται τάση μείωσης των βροχοπτώσεων κυρίως τα τελευταία 20 χρόνια της περιόδου 1951-1990 με τάσεις ανάκαμψης τα επόμενα έτη.

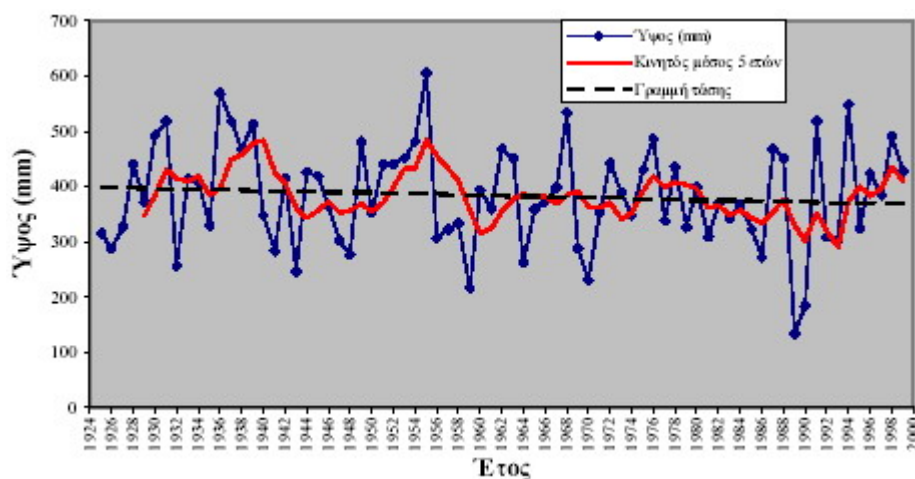
Ιδιαίτερα στο χώρο της βόρειας Ελλάδας, για την ίδια περίοδο, εμφανίζεται πτωτική τάση μετά το 1967, η οποία οφείλεται κυρίως στην πτωτική τάση των υψών υετού της ψυχρής περιόδου (Οκτώβριος-Μάρτιος) και είναι μέγιστη στη βορειοδυτική Ελλάδα και ελάχιστη στην ανατολική Μακεδονία-Θράκη (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Η τάση στην Αθήνα είναι πτωτική για το διάστημα 1925-1999 (10%) αλλά όχι στατιστικά σημαντική (Σχήμα 2.11). Από το 1976 έως το 1990 υπήρξε σταδιακή μείωση των τιμών υετού με αποκορύφωμα την μεγάλη ξηρασία της διετίας 1989-90. Αξιοσημείωτη όμως είναι η σημαντική άνοδος που παρατηρείται ακολούθως στη δεκαετία 1990-99 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

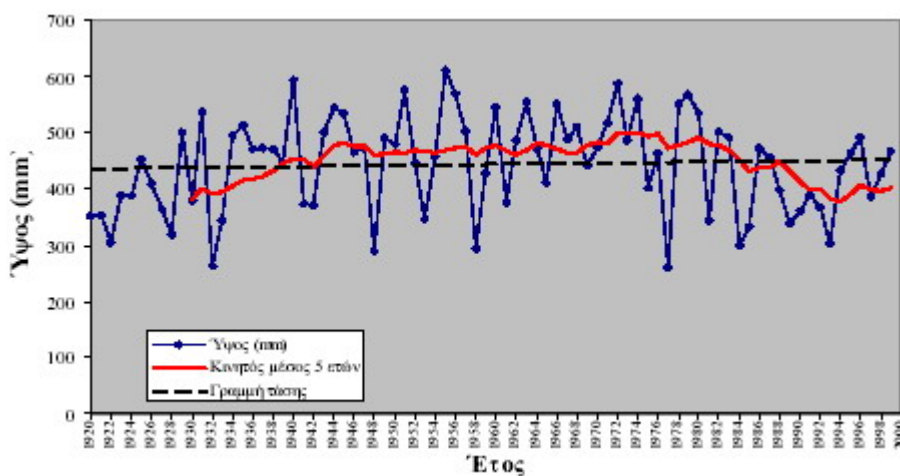
Η τάση στη Θεσσαλονίκη είναι ελαφρώς αυξητική (7%) για το διάστημα 1920-1999 αλλά όχι στατιστικά σημαντική (Σχήμα 2.12). Η τάση διαφοροποιείται από αυτή της Αθήνας μέχρι το 1980 καθώς διακρίνεται να είναι αυξητική και μάλιστα στατιστικά σημαντική. Από το σημείο αυτό και μετά, εμφανίζεται σημαντικά πτωτική στη δεκαετία του 1980 ενώ στη δεκαετία του 1990 η τάση αντιστρέφεται όπως και στην Αθήνα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Η δεκαετία 1984-1993 είναι η ξηρότερη και για την Αθήνα και για την Θεσσαλονίκη (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Οι μεταβολές της βροχόπτωσης κατά τον 20ο αιώνα, όπως αυτές εντοπίστηκαν από τις διάφορες εκθέσεις και μελέτες συνοψίζονται στον Πίνακα 2.13.



Σχήμα 2.11: Ετήσια ύψη βροχής, γραμμή τάσης και κινητοί μέσοι πέντε ετών για την Αθήνα από το 1924 έως το 1999 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).



Σχήμα 2.12: Ετήσια ύψη βροχής, γραμμή τάσης και κινητοί μέσοι πέντε ετών για τη Θεσσαλονίκη από το 1920 έως το 1999 (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).



Πίνακας 2.13: Μεταβολή της βροχοπτώσης κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

	1900-2000	1900-10	1910-20	1920-30	1930-40	1940-50	1950-60	1960-70	1970-80	1980-90	1990-00
Βορ. Ευρώπη	Αύξηση 10% - 50%									+	
Νοτ. Ευρώπη	Σε κάποιες περιοχές ελαττώνεται και σε άλλες αυξάνεται									-	
Μεσόγειος	Ελάττωση μέσης 5% - 20%						+	-	-	--	+
Ελλάδα	Μείωση	+					-		--		+
Αθήνα	Δεν υπάρχει σαφής τάση	++	++	-	-	o		-	--	++	
Θεσσαλονίκη	Δεν υπάρχει σαφής τάση	++	++	+	o	o	+	-	--	++	

+	αύξηση
++	μεγάλη αύξηση
-	μείωση
--	μεγάλη μείωση
o	σταθερή
:	ένδειξη

### 2.5.3 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Στην Ευρώπη, τόσο οι συχνότητες εμφάνισης όσο και η ένταση των ισχυρών καταιγίδων στον 20<sup>ο</sup> αιώνα δεν έδειξαν κάποια συγκεκριμένη τάση λόγω της τυχαίας μεταβολής που παρουσιάζουν (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Ειδικότερα για την Ελλάδα όμως ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000):

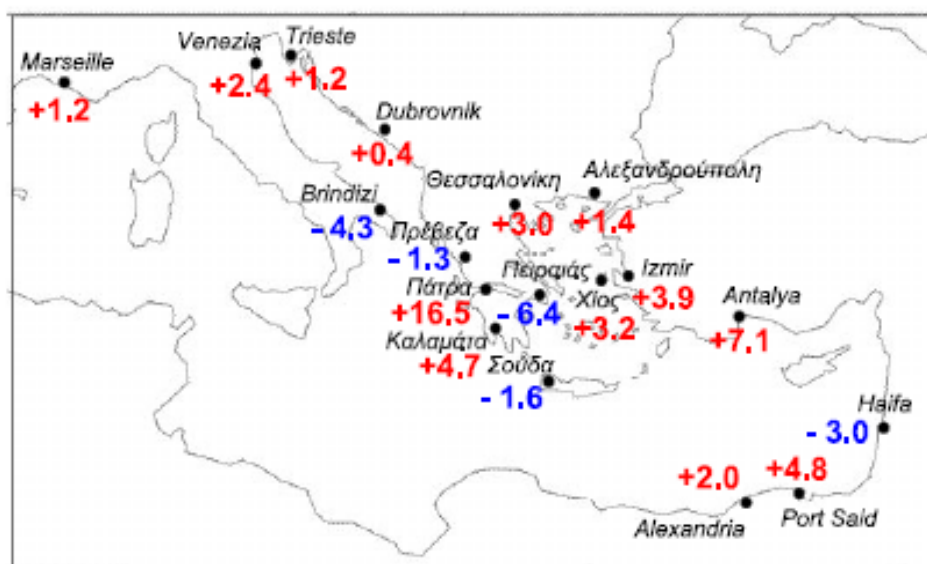
- Στην Ελλάδα η δεκαετία του 1990 παρουσίασε σχεδόν τριπλάσιο αριθμό καυσώνων από ότι την προηγούμενη τριακονταετία. Δεν διαπιστώθηκε όμως κάποια αντίστοιχη αντίθετη μεταβολή στην συχνότητα εμφάνισης παγετών. Στην περίοδο 1970-97 εμφανίστηκαν περισσότερες ακραίες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα με ιδιαίτερη αύξηση στη δεκαετία του 1990.
- Στην Αθήνα η συχνότητα εμφάνισης ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών  $T_{max}$  με τιμές μεγαλύτερες των 35°, 36°, 37° και 38°C για την τελευταία τριετία, είναι η μεγαλύτερη του αιώνα. Η διάρκεια επίσης των περιόδων με  $T_{max} > 35^\circ C$  παρουσιάζει συνεχή τάση αύξησης και ειδικά τα τελευταία χρόνια της δεκαετίας του 1990 η διάρκεια των περιόδων αυτών είναι διπλάσια (~8) από ότι το 1940. Για την ίδια δεκαετία βρέθηκε ότι υπάρχει αυξανούσα τάση προς μεγαλύτερης διάρκειας περιόδους με  $T_{max} > 36^\circ C$ . Δεν παρατηρείται όμως αντίστοιχη αυξητική τάση για πολύ θερμά επεισόδια με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία άνω των 40°C. Η

συχνότητα εμφάνισης και η διάρκεια των ψυχρών επεισοδίων στην Αθήνα, μειώνεται σταθερά μετά το 1950 και μηδενίζεται μετά το 1991 ανεξάρτητα της έντασης των επεισοδίων.

#### 2.5.4 Στάθμη της θάλασσας

Οι περισσότερες από τις ακτές της Μεσογείου φαίνεται να έχουν υποστεί αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας της ίδιας τάξης μεγέθους με την παγκόσμια άνοδο δηλ. 1-2 mm/έτος. Υπάρχουν όμως περιοχές στις οποίες παρατηρήθηκε κάθοδος της στάθμης της θάλασσας (π.χ. η Α.Μεσόγειος, Αλεξάνδρεια) λόγω των ανοδικών τεκτονικών κινήσεων του εδάφους (Σχήμα 2.14). Αντιθέτως, περιοχές που βρίσκονται σε δέλτα μεγάλων ποταμών, εμφάνισαν ρυθμούς ανόδου της στάθμης της θάλασσας μεγαλύτερους από τον παγκόσμιο μέσο π.χ. Νείλος (4.8 mm/έτος), Θεσσαλονίκη (4.0 mm/έτος), Βενετία (7.3 mm/έτος). Αυτές οι περιοχές θεωρούνται ότι υπέστησαν καθίζηση (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2000).

Η μέση άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο έως το 2100 εκτιμάται σε 48 mm (με εύρος από 9 έως 88 mm). Η μέση στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο αναμένεται να αυξάνεται με παραπλήσιο ρυθμό της τάξης των 5 cm/δεκαετία. Μέχρι το 2100 εκτιμάται άνοδος της στάθμης έως και 60 cm, αν και τελευταίες μελέτες διαφοροποιούν τη μεταβολή στο Ανατολικό τμήμα της λεκάνης, κατά 10 cm λιγότερο ως προς το Δυτικό (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, 2005).



Σχήμα 2.14: Τάσεις μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης (mm/έτος) για επιλεγμένους σταθμούς στη Μεσόγειο. Οι αρνητικοί αριθμοί υποδηλώνουν πτώση της στάθμης (PSMSL, 2004).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΛΑΙΣΙΟ-ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ

#### 3.1 Η ιστορία των διαπραγματεύσεων για το κλίμα

Η απαρχή της προσπάθειας για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου από Διεθνή Συνθήκη μπορεί να εντοπιστεί το 1987, στην αναφορά της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη "Το Κοινό μας μέλλον". Η αναφορά αυτή κάλεσε για μια παγκόσμια συνδιάσκεψη η οποία θα αντιμετώπιζε τις σοβαρότερες απειλές, μία από αυτές και την κλιματική αλλαγή (European Commission, 2004).

Το 1992 στο Ρίο Ντε Τζανέιρο πραγματοποιήθηκε η μεγαλύτερη διάσκεψη, μέχρι εκείνη τη στιγμή, η Παγκόσμια Διάσκεψη για την Ανάπτυξη και το Περιβάλλον. Ένα από τα αποτελέσματά της ήταν η προώθηση της Σύμβασης-Πλαίσιο για την Κλιματική Αλλαγή. Η σύμβαση αυτή αναγνώρισε τον κίνδυνο της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Οι τρόποι χρήσης της γης και κυρίως η καύση ορυκτών καυσίμων, αναγνωρίστηκαν ως οι κύριες πηγές του προβλήματος. Αποδέχτηκε, επίσης, ότι η επιστημονική αβεβαιότητα για τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών δεν έπρεπε να αποτελέσει δικαιολογία για αδράνεια. Έτσι υιοθετήθηκε η αρχή της προφύλαξης (precautionary principle) (European Commission, 2004).

Η Σύμβαση-Πλαίσιο υπογράφηκε μέσα σε δύο χρόνια από πάνω από 165 χώρες. Πάνω από 100 την επικύρωσαν συμπεριλαμβανομένων των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, του Καναδά και όλων των ανεπτυγμένων χωρών (χώρες ANNEX I: Ευρωπαϊκή Ένωση, Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, Καναδάς, Ιαπωνία, Σουηδία, Νορβηγία, Νέα Ζηλανδία, Αυστραλία και Ρωσία). Στην πρώτη συνάντηση των μερών της συνθήκης, στο Βερολίνο το 1995, συμφωνήθηκε ότι υπήρχε η ανάγκη για περαιτέρω συνεργασία, μέσω μιας δεσμευτικής συμφωνίας. Η συμφωνία αυτή συμφωνήθηκε στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997 (European Commission, 2004).

Εκεί οι ανεπτυγμένες χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν συνολικά τις εκπομπές των έξι κύριων αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μεθάνιο (CH<sub>4</sub>), υποξείδιο του αζώτου (N<sub>2</sub>O) και διάφορα βιομηχανικά φθοριούχα αέρια (HfCs, PFCs και SF<sub>6</sub>)), κατά 5,2% με βάση τις εκπομπές του 1990 ως το 2012. Η περίοδος 2008-2012 ονομάζεται η πρώτη περίοδος δεσμεύσεων. Το Πρωτόκολλο αποτελεί ένα

θετικό αλλά ατελές βήμα, καθώς είναι η πρώτη συμφωνία που έθεσε συγκεκριμένο στόχο μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και αναγνώρισε επίσης την κοινή αλλά διαφοροποιημένη ευθύνη των διαφόρων χωρών. Ο κοινός στόχος είναι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 5,2%, αλλά η ευθύνη είναι διαφοροποιημένη για κάθε χώρα, διαφορετικοί στόχοι διανεμήθηκαν σε διαφορετικές χώρες με βάση τις ανάγκες ανάπτυξής τους και την ιστορική τους ευθύνη στη δημιουργία του φαινομένου. Έτσι, ενώ ο Καναδάς έχει στοχεύσει σε μείωση 6% των εκπομπών της ή η Γερμανία σε μείωση κατά 21%, η Ελλάδα διεκδίκησε και πέτυχε να της επιτραπεί η αύξηση κατά 25% (European Commission, 2004).

Για να επιτευχθεί η σύναψη συμφωνίας, το Πρωτόκολλο του Κιότο γεννήθηκε μαζί με μια σειρά νέων πολύπλοκων εννοιών. Οι έννοιες αυτές που στο Πρωτόκολλο ονομάζονται "ευέλικτοι μηχανισμοί", βασίζονται στην λογική της παγκόσμιας διάστασης του φαινομένου. Η αύξηση και αντιστρόφως η μείωση των εκπομπών σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη συμβάλλουν στο παγκόσμιο απόθεμα των αερίων του θερμοκηπίου. Με αυτή τη λογική, σημασία έχει η μείωση των εκπομπών και όχι ο τόπος στον οποίο συμβαίνει (European Commission, 2004).

Υπάρχουν τρία βασικά είδη "ευέλικτων μηχανισμών" (flexible mechanisms) (European Commission, 2004) :

- Έργα κοινής υλοποίησης (Joint Implementation). Οι ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να αποκτήσουν "πίστωση" στις μειώσεις των εκπομπών τους για έργα που πραγματοποιούν σε χώρες που βρίσκονται σε μεταβατικό στάδιο (countries in transition) π.χ. χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και που έχουν σαν συνέπεια την μείωση των εκπομπών. Με άλλα λόγια η ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που αποφεύχθηκε με την υλοποίηση του συγκεκριμένου έργου (π.χ. κατασκευή αιολικού πάρκου) θα μειωθεί από την ποσότητα των αερίων που πρέπει να μειώσει η χώρα που επένδυσε στο έργο αυτό.
- Ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism). Οι ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να αποκτήσουν 'πιστώσεις' στις μειώσεις των εκπομπών τους πραγματοποιώντας έργα που θα μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε αναπτυσσόμενες χώρες.
- Εμπόριο άνθρακα (Carbon trading). Οι χώρες που ανήκουν στην κατηγορία ANNEX I μπορούν να πωλούν και να αγοράζουν πιστώσεις μεταξύ τους. Όταν μία χώρα έχει καταφέρει να μειώσει σε μεγαλύτερο ποσοστό τα αέρια του θερμοκηπίου από αυτό για το οποίο δεσμεύτηκε, έχει τη δυνατότητα να εμπορευτεί την επιπλέον αυτή ποσότητα με κάποια χώρα η οποία δεν κατάφερε να φτάσει τον στόχο της.

### **3.2 Πρότυπα βιώσιμης ανάπτυξης στην ΕΕ**

Στο εσωτερικό της Κοινότητας, αναπτύχθηκε, ήδη από τη δεκαετία του εβδομήντα, μια σημαντική διεθνής δραστηριότητα, η οποία τελεσφόρησε μέχρι σήμερα σε ένα πλήθος διεθνών ρυθμίσεων στο πεδίο του περιβάλλοντος. Η Κοινότητα είναι συμβαλλόμενο μέρος σε περισσότερες από 30 διεθνείς συμβάσεις και συμφωνίες επί θεμάτων περιβάλλοντος, σε ένα ευρύτατο φάσμα θεμάτων, ενώ συμμετέχει ουσιαστικά σε διαπραγματεύσεις για την εφαρμογή ή την περαιτέρω επέκταση ή εξειδίκευσή τους, αλλά και για τη σύναψη νέων (United Nations, 2000).

Η διαμόρφωση διεθνών περιβαλλοντικών καθεστώτων συνιστά αποτέλεσμα μιας ενεργής περιβαλλοντικής διπλωματίας, μέσω της οποίας η Κοινότητα, ανταποκρινόμενη στη διασυννοριακή φύση των περιβαλλοντικών ζητημάτων, διαδραμάτισε πρωταγωνιστικό ρόλο ή ακολούθησε, αρχικά διστακτικά, προχώρησε όμως δυναμικά στη συνέχεια, σε διεθνές και περιφερειακό επίπεδο για την επίτευξη συγκεκριμένων ρυθμίσεων και την προώθηση περιβαλλοντικών προτύπων (United Nations, 2000).

Για την αξιολόγηση της συνεισφοράς της Κοινότητας οφείλει, επίσης, να ληφθεί υπόψη, ότι οι θεσμικές λύσεις που εξερέθησαν δεν αποτελούν απλά και μόνο στατικές ρυθμίσεις, αλλά συχνά παρήγαγαν διαδικασίες με θεσμική υπόσταση, οργανωτική δομή και διάρκεια, ικανές για αναπροσαρμογή στόχων και μέσων, συμβάλλοντας στην πύκνωση του συστήματος για την προστασία και τη διαχείριση του περιβάλλοντος σε περιφερειακό ή διεθνές επίπεδο (United Nations, 2000).

#### **3.2.1 Βιώσιμη ανάπτυξη και περιβαλλοντικά πρότυπα στην ΕΕ**

Η διεθνής εμπλοκή της Κοινότητας οριοθετείται θεσμικά στο πλαίσιο του άρθρου 130P της Συνθήκης για την ίδρυση της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, όπου μεταξύ των στόχων περιβαλλοντικής πολιτικής της και προκειμένου να αντιμετωπισθούν τα περιφερειακά ή οικουμενικά περιβαλλοντικά προβλήματα, προβλέπεται η προαγωγή μέτρων σε διεθνές επίπεδο, καθώς επίσης η συνεργασία της Κοινότητας με τρίτες χώρες και αρμόδιους διεθνείς οργανισμούς (European Environment Agency, 2005).

Εξάλλου, στα πλαίσια του ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του '90 κυρίαρχου παραδείγματος της αειφόρου ανάπτυξης, η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει την εξαγωγή των υψηλών ευρωπαϊκών περιβαλλοντικών προτύπων και τη δημιουργία

οργανωτικών σχημάτων για την επέκταση ενός καθεστώτος υψηλής προστασίας και προωθημένης περιβαλλοντικής διαχείρισης. Ο προσανατολισμός προς ένα σύστημα περιβαλλοντικής διακυβέρνησης προσιδιάζει στη νέα αντίληψη, που υπερβαίνει τη σημειακή αναφορά των επιμέρους ρυθμίσεων (European Environment Agency, 2005).

Το νέο παράδειγμα για την ευρωπαϊκή πολιτική περιβάλλοντος, που εισάγεται με το πέμπτο και το έκτο Πρόγραμμα Δράσης της Κοινότητας για το Περιβάλλον, στοιχειοθετείται στη βάση προτύπων που ανταποκρίνονται σε μια συνολική και σφαιρική θεώρηση του αναπτυξιακού φαινομένου και επιτάσσουν, πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος στη βάση μιας «αμυντικής» λογικής του παρελθόντος για την αντιμετώπιση των αρνητικών συνεπειών της ανάπτυξης, μια ορθολογική και ολοκληρωμένη διαχείριση των περιβαλλοντικών πόρων, αλλά και τη μεταβολή των προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης (European Environment Agency, 2005).

Παράλληλα, στη βάση της νέας αντίληψης για την εξυπηρέτηση των στόχων και περιεχομένων του παραδείγματος, αναπτύσσεται μια πολυεστιακή προσέγγιση, σε επίπεδο στρατηγικών και διαδικασιών, που διακλαδώνονται μεταξύ τους και συνδέονται με μια θετική σχέση αλληλεξάρτησης. Η προσέγγιση αυτή συνίσταται, μεταξύ άλλων, στην ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στις τομεακές πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στη στρατηγική της Λισσαβώνας και στη στρατηγική για την αειφόρο ανάπτυξη που υιοθετήθηκε στο Göteborg. Τα στοιχεία, που συνιστούν ταυτόχρονα εργαλειακά μέσα και ενδιάμεσους στόχους της πολιτικής, αναλύονται σε επιμέρους στόχους και μέσα, ενώ προσδιορίζουν οργανωτικά σχήματα και αρθρωμένες διαδικασίες (European Environment Agency, 2005).

Συνολικά, το σύστημα αποκτά μια δυναμική, η οποία, ανταποκρινόμενη στις παγκόσμιες και περιφερειακές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ένωση στο πεδίο του περιβάλλοντος, μετουσιώνεται σε αναζήτηση λύσεων στο αντίστοιχο επίπεδο, μέσω της κινητοποίησης των διαθέσιμων πόρων. Από την άλλη πλευρά, η πύκνωση του συστήματος, καθώς επίσης η φιλοσοφία και τα δομικά χαρακτηριστικά του παραδείγματος της αειφορίας δημιουργούν τις προϋποθέσεις για σύγκλιση των επιδιώξεων και την ανάπτυξη περαιτέρω συνεργασιών, για παράδειγμα μεταξύ των Ηνωμένων Εθνών και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, χωρίς να προοιωνίζουν ωστόσο αναγκαία ένα υψηλού βαθμού ολοκλήρωσης σύστημα παγκόσμιας διακυβέρνησης (European Environment Agency, 2005).

### 3.2.2 Η προώθηση περιβαλλοντικών προτύπων στον κόσμο, μηχανισμοί και εργαλεία μέσα

Η έκβαση οποιασδήποτε προσπάθειας που καταβάλλεται για την προώθηση περιβαλλοντικών προτύπων στον κόσμο προϋποθέτει ουσιαστική πολιτική βούληση από την πλευρά της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συγκεκριμένη δέσμευση και στόχευση, που θα συνοδεύονται από τη διάθεση των αναγκαίων πόρων. Συναρτάται με τη διεθνή ακτινοβολία και το αυξανόμενο ειδικό βάρος της στις διεθνείς σχέσεις, εξαρτάται όμως επίσης σαφώς από συγκυριακούς παράγοντες, που διαμορφώνουν ένα ευνοϊκό ή μη περιβάλλον (United Nations, 2000).

Σε μεγάλο βαθμό, η προώθηση συγκεκριμένων προτύπων συνδέεται με την έκταση και την ένταση των περιβαλλοντικών κρίσεων που προηγούνται συνήθως της ανάληψης πρωτοβουλιών και δράσεων σε διεθνές επίπεδο. Σε κάθε περίπτωση υφίστανται συστημικά όρια των βελτιώσεων που μπορούν να προκύψουν ως αποτέλεσμα της περιβαλλοντικής διπλωματίας, τα οποία τίθενται από την ικανότητα του διεθνούς περιβάλλοντος για μεταβολή. Συνεπώς, η εξέλιξη και βελτίωση του συστήματος δεν μπορεί και δεν θα πρέπει να αναμένεται θεαματική. Πραγματοποιείται σε βάθος χρόνου, μέσα από μια διαδικασία «ενηλικίωσης» και «ωρίμανσης» με μικρά βήματα (United Nations, 2000).

Δεδομένου ωστόσο του πιεστικού και επείγοντος χαρακτήρα των προβλημάτων, όπως επίσης της συνεχιζόμενης αλόγιστης χρήσης του φυσικού περιβάλλοντος και της επικινδυνότητας ορισμένων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, σε συνδυασμό με τους περιορισμούς ως προς τις δυνατότητες αποκατάστασης των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων ή το μη αναστρέψιμο των οικολογικών καταστροφών, το ζητούμενο δεν είναι μόνο η ικανοποιητική διευθέτηση των περιβαλλοντικών ζητημάτων, αλλά και ο σύντομος χρόνος στον οποίο αυτή θα συντελεσθεί (United Nations, 2000).

Ο μετασχηματισμός του αναπτυξιακού μοντέλου, ο επαναπροσδιορισμός των σχέσεων και η αποσύνδεση της ανάπτυξης από την περιβαλλοντική υποβάθμιση και την αλόγιστη χρήση των φυσικών πόρων αφορά αναπτυγμένα και αναπτυσσόμενα κράτη, στη βάση κοινών αλλά διαφοροποιημένων ευθυνών (United Nations, 2000).

Κεντρικό ρόλο πάντως, για την επίτευξη οποιωνδήποτε στόχων σε σχέση με το περιβάλλον, εμφανίζουν τα αναπτυξιακά πρότυπα που θα ακολουθήσει ο αναπτυσσόμενος κόσμος, δεδομένου ότι η αειφόρος ανάπτυξη επιτάσσει μια διαφορετική πορεία από εκείνη των σημερινών βιομηχανικών κρατών. Ο ανεπτυγμένος Βορράς και ιδιαίτερα η Ευρωπαϊκή Ένωση πέρα από τις ιστορικές ευθύνες και την ηθική υποχρέωση που φέρει για την υποστήριξη της αναπτυξιακής

προσπάθειας του Νότου στη βάση του αξιακού της συστήματος, έχει επίσης συμφέρον να στηρίξει αειφόρες λύσεις. Οι λύσεις αυτές συνδέονται όμως άρρηκτα με τη διαμόρφωση των κατάλληλων συνθηκών στο διεθνές περιβάλλον, στο πλαίσιο μιας συγκεκριμένης αρχιτεκτονικής του διεθνούς συστήματος, αλλά κυρίως στον αναπτυσσόμενο Νότο, που θα επιτρέψουν την αξιοποίηση της αναπτυξιακής συνεργασίας και την ευόδωση των προσπαθειών (United Nations, 2000).

Η πολιτική για την αναπτυξιακή συνεργασία κινείται ήδη προς αυτή την κατεύθυνση. Η Διακήρυξη της Χιλιετίας, το αναπτυξιακό πρόγραμμα της Doha, τα αποτελέσματα της Διεθνούς Διάσκεψης των Ηνωμένων Εθνών για τη χρηματοδότηση της ανάπτυξης του Monterrey, η Διακήρυξη και το Πρόγραμμα Εφαρμογής της Παγκόσμιας Διάσκεψης για την Αειφόρο Ανάπτυξη στο Johannesburg αποτελούν σταθμούς για την προώθηση της αειφόρου ανάπτυξης και εκκινούν συμπληρωματικές και συγκλίνουσες μεταξύ τους διαδικασίες (European Environment Agency, 2005).

Σε επίπεδο εργαλειακής συγκρότησης, η εισαγωγή ήπιων δομικών στοιχείων και μηχανισμών εξασφαλίζει μια συστημική δυναμική και πολλαπλασιαστικά αποτελέσματα, των οποίων η συμβολή αναμένεται σημαντικότερη για την αναστροφή των τάσεων και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών ζητημάτων από ότι τα στοιχεία αυτά καθαυτά. Εξάλλου, η Ένωση προωθεί τη σύσταση Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον, κατά το πρότυπο του Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον, προκειμένου η διεθνής κοινότητα να κινηθεί προς ένα περισσότερο δομημένο σύστημα παγκόσμιας περιβαλλοντικής διακυβέρνησης. Ο Οργανισμός αναμένεται να συμβάλλει στην ολοκληρωμένη και συνεκτική ανάπτυξη της περιβαλλοντικής διάστασης της αειφόρου ανάπτυξης και να αναπτύξει στενή συνεργασία με άλλους ειδικευμένους Οργανισμούς (European Environment Agency, 2005).

### **3.2.3 Πρόοδος όσον αφορά τη βελτίωση της ενσωμάτωσης**

Το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα για την Ευρώπη συνιστά ότι τα συμμετέχοντα κράτη θα πρέπει να διασφαλίσουν την ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών προβληματισμών σε όλες τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αυτό απαιτεί την ανάληψη δράσης σε όλους τους τομείς και στα διάφορα επίπεδα της κυβέρνησης και της κοινωνίας, μεταξύ άλλων (European Environment Agency, 2003):



- στρατηγικές και σχέδια πολιτικής σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο και άνω
- κατάλληλα σχέδια και δράσεις σε τομεακό επίπεδο
- συγκεκριμένες προσεγγίσεις της ενσωμάτωσης των προβληματισμών στο πλαίσιο της διαχείρισης ορισμένων τομέων
- ευέλικτη χρήση ευρέος φάσματος ενσωματώσιμων μέσων πολιτικής και
- πρωτοβουλίες και εταιρικές σχέσεις με τη συμμετοχή άμεσα ενδιαφερομένων τόσο από το δημόσιο όσο και από τον ιδιωτικό τομέα.

Η διεύρυνση της ΕΕ και οι δεσμεύσεις που αναλήφθηκαν κατά την Παγκόσμια Σύνοδο για τη βιώσιμη ανάπτυξη προσφέρουν μια ευκαιρία τόσο για αποτελεσματικότερη ενσωμάτωση των περιβαλλοντικών προβληματισμών στους διάφορους τομείς όσο και για την ενσωμάτωση των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης στον σχεδιασμό περιβαλλοντικών πολιτικών. Για παράδειγμα, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι συγκεντρώσεις ρύπων δεν θα υπερβαίνουν τις βιώσιμες τιμές αναφοράς για την ανθρώπινη υγεία και προκειμένου να διατηρηθεί η ακεραιότητα των οικοσυστημάτων, οι προτεραιότητες θα πρέπει να βασίζονται στις ανάγκες της τρέχουσας αλλά και των μελλοντικών γενεών και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται προληπτικές προσεγγίσεις κατά προτίμηση έναντι της εφαρμογής μέτρων αντιμετώπισης τερματικού σταδίου (European Environment Agency, 2003).

Οι πρωτοβουλίες ενσωμάτωσης σε επίπεδο ΕΕ μέχρι στιγμής είχαν μικρή επίδραση στα πλέον θεμελιώδη προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η διαδικασία ενσωμάτωσης στην ΕΕ δεν έλαβε επείγοντα χαρακτήρα και δεν έχει ακόμη επηρεάσει σημαντικά τη χάραξη πολιτικής στους διάφορους τομείς. Σε επίπεδο κρατών μελών, ελάχιστες στρατηγικές έχουν προχωρήσει πέραν του σταδίου της διατύπωσης και ελάχιστες έχουν επιδείξει σαφή θετικά αποτελέσματα. Η ενσωμάτωση στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη βρίσκεται σε ακόμη πιο πρώιμο στάδιο, αν και αναδύονται ορισμένα θετικά παραδείγματα. Οι χώρες της ΑΕΚΚΑ γνωρίζουν τις απαιτήσεις ενσωμάτωσης αλλά γενικά δεν διαθέτουν την διοικητική ικανότητα ή άλλους πόρους για την εφαρμογή στρατηγικών και σχεδίων, και φυσικά για την εφαρμογή τους. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία ομοιομορφία όσον αφορά την πρόοδο ως προς τη χάραξη και εφαρμογή στρατηγικών ενσωμάτωσης (European Environment Agency, 2003).

### **3.3 Εμπόριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου**

Οι εμπορεύσιμες άδειες εκπομπών ρύπων (tradable permits) αποτελούν ένα οικονομικό περιβαλλοντικό εργαλείο, το οποίο κατατάσσεται στην κατηγορία των εργαλείων που στοχεύουν στη δημιουργία νέων αγορών. Στο πλαίσιο ενός τέτοιου συστήματος προσδιορίζεται ένα συνολικό επιθυμητό επίπεδο (όριο) εκπομπών και στη συνέχεια χορηγούνται (με βάση τα ιστορικά επίπεδα ρύπανσης) άδειες εκπομπών στις ρυπογόνες επιχειρήσεις. Ο διαχωρισμός αυτός έχει σημασία, όχι μόνο από οικονομική, αλλά κυρίως από νομική και ηθική σκοπιά (International Energy Agency, 1999)

Για να αποδώσει οικονομικά και περιβαλλοντικά το σύστημα, κάθε επιχείρηση θα πρέπει να διασφαλίσει ότι οι εκπομπές της ισοδυναμούν με, ή είναι λιγότερες από τις αντίστοιχες άδειες τις οποίες κατέχει. Αυτοί που θα καταφέρουν να ρυπαίνουν λιγότερο, επενδύοντας σε φιλικότερες προς το περιβάλλον τεχνολογίες, δύνανται να εξισορροπήσουν το κόστος των επενδύσεων αυτών πουλώντας το περίσσειμα αδειών τους σε εταιρίες οι οποίες για διάφορους λόγους θα είναι αναγκασμένες να ρυπαίνουν σε υψηλότερα επίπεδα σε σχέση με τις άδειες που κατέχουν. Θεωρητικά, η ευελιξία του συστήματος αγοραπωλησίας αδειών ρύπανσης επιτρέπει την ελαχιστοποίηση του περιβαλλοντικού κόστους για τον ιδιωτικό τομέα, επιτυγχάνοντας τον ποσοτικοποιημένο περιβαλλοντικό στόχο στο μικρότερο δυνατό κόστος για τον ρυπαίνοντα και τον καταναλωτή (International Energy Agency, 1999).

Ένα διεθνοποιημένο σύστημα εμπορεύσιμων αδειών ρύπανσης προϋποθέτει τη συμφωνία πάνω σε ένα συνολικό ποσοτικοποιημένο στόχο και την έκδοση και επιμερισμό αδειών στα συμμετέχοντα κράτη μέχρι του ποσού αυτού. Το σύστημα λειτουργεί πρακτικά ως εμπόριο πλεονασμάτων εκπομπών θερμοκηπιακών ρύπων ανάμεσα σε κράτη τα οποία θα καταφέρουν να συγκρατήσουν τα ποσοστά εκπομπών τους κάτω του επιτρεπόμενου ορίου και σε αυτά που δεν θα επιτύχουν τον «εθνικό στόχο», θα υπερβούν το προκαθορισμένο επίπεδο και συνεπώς θα πρέπει αναγκαστικά να στραφούν στη λύση της εξαγοράς μεριδίων (αδειών) ρύπανσης. Στην περίπτωση του Πρωτοκόλλου του Κιότο, τα ανώτατα όρια εκπομπών για κάθε συμβαλλόμενο κράτος καθορίζονται στο Παράρτημα Β με βάση τις διατάξεις του 3<sup>ου</sup> άρθρου. Τα ποσοστά τα οποία μεταφέρονται (πωλούνται) από κάποιο συμβαλλόμενο μέρος προς ένα άλλο, αφαιρούνται από τα προκαθορισμένα ποσοστά εκπομπών του κράτους-πωλητή και προστίθενται σε αυτά του κράτους-αγοραστή (International Energy Agency, 1999).

Η κυρίαρχη άποψη στις ΗΠΑ υποστηρίζει ότι η πλέον ενδεδειγμένη και οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμια βάση είναι αυτή η οποία προσφέρει τη δυνατότητα σε αυτούς που δύνανται να μειώσουν τις εκπομπές τους με μικρό κόστος να μεταβιβάσουν το «περίσσευμα» του δικαιώματός τους στη ρύπανση σε όσους δεν μπορούν να πράξουν το ίδιο. Έτσι, το συνολικό περιβαλλοντικό ισοζύγιο είναι θετικό (σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρείται μείωση εκπομπών) και το αντίστοιχο κόστος είναι μικρότερο για τη βιομηχανία και συνακόλουθα για την κοινωνία. Η αισιοδοξία αυτή πηγάζει από την επιτυχή εφαρμογή ενός ομοσπονδιακού προγράμματος εμπορεύσιμων αδειών ρύπανσης στο πλαίσιο της εθνικής στρατηγικής για την καταπολέμηση του φαινομένου της όξινης βροχής. Εκτός αυτού ένα ακόμη, περιφερειακό αυτή τη φορά, πρόγραμμα στη Καλιφόρνια θεωρήθηκε ως επιτυχές πείραμα. Για τους εκπροσώπους και διαπραγματευτές της κυβέρνησης των ΗΠΑ συνεπώς, η υιοθέτηση από τη διεθνή κοινότητα ενός παρόμοιου διακρατικού συστήματος εμπορεύσιμων αδειών, με στόχο την οικονομικώς αποδοτικότερη μείωση εκπομπών ρύπων του θερμοκηπίου, δεν αντιπροσώπευε κάποιο νέο και ανεξερεύνητο μονοπάτι όπως συνέβαινε με τη συντριπτική πλειοψηφία των συναδέλφων τους κατά τη διάρκεια των προπαρασκευαστικών του Κιότο διαπραγματεύσεων (International Energy Agency, 1999).

### 3.3.1 Αρχές Λειτουργίας της Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

Η Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών (Emissions Trading) αποτελεί τον ένα από τους τρεις "ευέλικτους μηχανισμούς" που προβλέπει το Πρωτόκολλο του Κιότο με στόχο τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (ΚΑΠΕ, 2006).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση που έχει υπογράψει το πρωτόκολλο του Κιότο έχει δεσμευτεί στη μείωση των αέριων ρύπων που επηρεάζουν το κλίμα. Για το σκοπό αυτό έχει θεσπίσει την Ευρωπαϊκή Οδηγία 87/2003 για τη θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ η Ελλάδα εναρμόνισε την Οδηγία αυτή με την ΚΥΑ 54409/2004 (ΚΑΠΕ, 2006).

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία κάθε χώρα της ΕΕ μπορεί να παράγει αέριους ρύπους μέχρι ενός συγκεκριμένου ορίου. Στη συνέχεια η κάθε χώρα συντάσσει ένα Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών Αέριων Ρύπων ανά βιομηχανία. Στην Ελλάδα στο σχέδιο αυτό ανήκουν οι 141 πιο ρυπογόνες βιομηχανίες που επιβαρύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ανήκουν στους

ακόλουθους κλάδους: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, παραγωγή τσιμέντου και ασβέστη, μονάδες μεγάλης εστίας καύσης (>20 MW), παραγωγή γυαλιού, διυλιστήρια, παραγωγή κεραμικών, μεταλλουργίες, παραγωγή χαρτιού (ΚΑΠΕ, 2006).

Στην Ελλάδα η Εμπορία Εκπομπών αφορά άμεσα στις 141 υπόχρεες εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στις δραστηριότητες του Παραρτήματος Ι της Οδηγίας 2003/87/ΕΚ και της ΚΥΑ 54409/2632. Η Εμπορία Εκπομπών δεν συνεπάγεται νέους περιβαλλοντικούς στόχους, αλλά παρέχει τη δυνατότητα συμμόρφωσης, κατά τρόπο λιγότερο δαπανηρό, με τους στόχους, βάσει του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στις επιχειρήσεις που εμπίπτουν σε αυτό να αγοράζουν ή να πωλούν δικαιώματα εκπομπής πετυχαίνοντας το καλύτερο αποτέλεσμα με το ελάχιστο κόστος (ΚΑΠΕ, 2006).

Συγκεκριμένα (ΚΑΠΕ, 2006):

- Η Ελλάδα όπως και τα υπόλοιπα Κράτη-Μέλη καθορίζει οριακές τιμές εκπομπών CO<sub>2</sub> για τις εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο ΣΕΔΕ και εκδίδει δικαιώματα για τις ποσότητες CO<sub>2</sub> που επιτρέπεται να εκπέμπουν οι εγκαταστάσεις αυτές. Ο συνολικός αριθμός εκπομπών, καθώς και η κατανομή των δικαιωμάτων αυτών (ένα δικαίωμα ισούται με έναν τόνο ισοδυνάμου CO<sub>2</sub>) για κάθε κλάδο και κάθε συγκεκριμένη εγκατάσταση προσδιορίζεται από το Εθνικό Σχέδιο Κατανομής (ΕΣΚ) Δικαιωμάτων Εκπομπών (National Allocation Plan).
- Οι εγκαταστάσεις που θα πετυχαίνουν μειώσεις κάτω από τις καθοριζόμενες τιμές, στη διάρκεια ενός έτους, μπορούν να πωλούν τις ποσότητες που εξοικονόμησαν (σε μορφή δικαιωμάτων), σε αυτές που αδυνατούν να τηρήσουν τις τιμές εκπομπής ή σε αυτές που το κόστος για τις επεμβάσεις μείωσης εκπομπών είναι μεγαλύτερο αυτού της αγοράς δικαιωμάτων. Αντίστοιχα, μία εγκατάσταση έχει τη δυνατότητα να αυξήσει τις εκπομπές της πάνω από τα επίπεδα της άδειας που της έχει χορηγηθεί αγοράζοντας ανάλογα δικαιώματα από την αγορά. Το Εθνικό Καταγραφικό Σύστημα Συναλλαγών – Μητρώο (National Registry) εξασφαλίζει την ορθή λογιστική απεικόνιση όλων των συναλλαγών (π.χ. έκδοση, ιδιοκτησία, μεταβίβαση, ακύρωση).
- Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης των καλυπτόμενων εγκαταστάσεων προβλέπεται η επιβολή υψηλού πρόστιμου, σημαντικά υψηλότερου του κόστους συμμόρφωσης. Στην πρώτη φάση εφαρμογής του συστήματος (2005-2007) το πρόστιμο καθορίστηκε στα 40€ ανά τόνο CO<sub>2</sub>, ενώ στη δεύτερη φάση 2008-2012 στα 100€ ανά τόνο CO<sub>2</sub>.

Το κύριο πλεονέκτημα είναι ότι η Εμπορία Εκπομπών επιτρέπει να επιτευχθούν οι περιβαλλοντικοί στόχοι με τρόπο οικονομικά αποτελεσματικό (το οικονομικό

κόστος είναι μικρότερο από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε η δυνατότητα της συναλλαγής). Οι επιχειρήσεις που ήδη είναι σε θέση να εφαρμόσουν τεχνολογίες για τη μείωση των εκπομπών τους με μικρό μοναδιαίο κόστος θα επωφεληθούν άμεσα από την πώληση δικαιωμάτων εκπομπών. Οι επιχειρήσεις που χρειάζεται να δαπανήσουν σημαντικά κεφάλαια για την μείωση των εκπομπών τους θα προτιμήσουν, στην αρχή τουλάχιστον και όσο το κόστος ανά δικαίωμα παραμένει μικρό, να αγοράζουν πρόσθετα δικαιώματα (ΚΑΠΕ, 2006).

Το νομικό πλαίσιο του ΣΕΔΕ δεν ρυθμίζει το πώς και το πού θα λαμβάνει χώρα η αγορά δικαιωμάτων. Εγκαταστάσεις που εμπίπτουν στο ΣΕΔΕ είναι δυνατόν να εμπορεύονται δικαιώματα απευθείας μεταξύ τους, είτε να αγοράζουν ή να πωλούν, με παρέμβαση διαμεσολαβητή, τράπεζας ή άλλου μεσάζοντα της αγοράς δικαιωμάτων. Τέλος, είναι δυνατή η ανάπτυξη οργανωμένων αγορών (συναλλαγών δικαιωμάτων) (ΚΑΠΕ, 2006).

Η τιμή δεν «καθορίζεται», αλλά είναι το αποτέλεσμα της διαπραγμάτευσης των μερών της αγοράς όσον αφορά στην τιμή που έχουν τη δυνατότητα να καταβάλλουν για δικαιώματα, ή την τιμή στην οποία έχουν την δυνατότητα να πωλούν δικαιώματα. Ουσιαστικά, δηλαδή, η τιμή είναι συνάρτηση προσφοράς και ζήτησης, όπως σε κάθε άλλη αγορά. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των τιμών βραχυπρόθεσμα είναι οι αποφάσεις που λαμβάνονται στα ΕΣΚ και το αποτέλεσμα των διαπραγματεύσεων μεταξύ των μερών για την εφαρμογή της σχετικής Οδηγίας. Η Επιτροπή δε θα παρεμβαίνει στην αγορά δικαιωμάτων. Σε περίπτωση που παρατηρηθούν στρεβλώσεις, ισχύουν οι νόμοι του ανταγωνισμού, όπως σε κάθε άλλη αγορά (ΚΑΠΕ, 2006).

Ο οικονομικός αντίκτυπος εφαρμογής του ΣΕΔΕ δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί ακριβώς, καθώς το σύστημα περιλαμβάνει πληθώρα μεταβλητών. Σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις το κόστος για ολόκληρη την Ευρώπη θα κυμανθεί από 0.1% έως 0.3% του ΑΕΠ. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις βιομηχανικές δραστηριότητες έντασης ενέργειας (π.χ. τσιμεντοβιομηχανία, χαλυβουργία, χαρτοβιομηχανία) οι οποίες έχουν προβεί κατά το παρελθόν σε ενέργειες εκσυγχρονισμού και βελτιώσεων, η περαιτέρω μείωση των ειδικών τους εκπομπών μπορεί να αποβεί περισσότερο δύσκολη και δαπανηρή, με δεδομένη και την εκτίμηση της πιθανής αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2006).

### 3.3.2 Εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών

Οι δραστηριότητες που καλύπτονται από το ΣΕΔΕ για την περίοδο 2005-2007 είναι οι ακόλουθες (πλαίσιο 1) (ΚΑΠΕ, 2006):

- ενεργειακές δραστηριότητες
- παραγωγή και επεξεργασία σιδηρούχων μετάλλων
- βιομηχανία ανόργανων υλικών (τσιμέντο, γυαλί, κεραμικά προϊόντα)
- βιομηχανίες πολτού, χαρτιού και χαρτονιού.

Το ΣΕΔΕ ισχύει για εγκαταστάσεις που ήδη καλύπτονται ως επί τω πλείστον από την Οδηγία 96/61/ΕΚ της 24ης Σεπτεμβρίου 1996 σχετικά με την Ολοκληρωμένη Πρόληψη και Έλεγχο της Ρύπανσης (γνωστή ως Οδηγία IPPC). Οι βασικές διαφορές είναι ότι στο ΣΕΔΕ περιλαμβάνονται λιγότερες δραστηριότητες (δεν περιλαμβάνεται ο τομέας της χημικής βιομηχανίας), καθώς και εγκαταστάσεις καύσης με ονομαστική θερμική κατανάλωση της τάξης των 20-50MW (ΚΑΠΕ, 2006).

Στο πεδίο εφαρμογής του ΣΕΔΕ περιλαμβάνονται και τα έξι αέρια του θερμοκηπίου (πλαίσιο 2). Για την πρώτη περίοδο εφαρμογής 2005-2007 το ΣΕΔΕ αφορά μόνο το CO<sub>2</sub>. Άλλωστε το CO<sub>2</sub> αποτελεί το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου και οι εκπομπές του παρακολουθούνται πιο εύκολα (ΚΑΠΕ, 2006).

Το ΣΕΔΕ εφαρμόζεται από την 1η Ιανουαρίου 2005 και θα υπάρχει μια πρώτη, ή προκαταρκτική, φάση έως τις 31 Δεκεμβρίου 2007 την οποία θα ακολουθήσει μια δεύτερη πενταετής φάση (και επακόλουθες πενταετείς φάσεις). Η δεύτερη φάση θα συμπίπτει με την πρώτη περίοδο δέσμευσης στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κιότο (2008-2012), στη διάρκεια της οποίας νομικά δεσμευτικοί στόχοι θα περιορίζουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στα Κράτη-Μέλη (και άλλες χώρες που έχουν προσυπογράψει το Πρωτόκολλο) (ΚΑΠΕ, 2006).

Η προκαταρκτική φάση σκοπό έχει να προετοιμάσει τα Κράτη-Μέλη και τις βιομηχανίες τους για τη διεθνή Οικονομία Άνθρακα βάσει του Πρωτοκόλλου. Ενόψει του γεγονότος ότι δεν υπάρχουν νομικά δεσμευτικοί στόχοι που να περιορίζουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2008, η προκαταρκτική φάση διαφέρει κάπως από τις επόμενες πενταετείς φάσεις που θα ακολουθήσουν (ΚΑΠΕ, 2006).

### 3.3.3 Συναλλαγές και εμπορία δικαιωμάτων

Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Τράπεζας για το 2003, συνολικά διατέθηκαν στο εμπόριο 78 εκατομμύρια τόνοι ισοδύναμου CO<sub>2</sub> με συνολική αγοραία αξία της τάξης των 330 εκατομμυρίων δολαρίων περίπου (285 εκ. ευρώ). Η αγορά αναπτύχθηκε ραγδαία το 2004 και το 2005, ενώ παρατηρήθηκε αυξανόμενη ρευστότητα καθώς νέα έργα και παράγοντες εισέρχονται στην αγορά και ξεκινούν δευτερεύουσες συναλλαγές (ΚΑΠΕ, 2006).

Οι δύο κύριοι τομείς της Αγοράς Άνθρακα αποτελούνται από συναλλαγές βασισμένες σε πιστωτικά μόρια μηχανισμών έργων και σε συναλλαγές δικαιωμάτων.

Η Παγκόσμια Τράπεζα εξετάζει τα ακόλουθα τμήματα:

- μηχανισμούς έργου του Πρωτοκόλλου του Κιότο
- σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών του Πρωτοκόλλου του Κιότο
- το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών της Ε.Ε.
- εθνικά συστήματα ανώτατου ορίου και εμπορίου (π.χ. το σύστημα του Ηνωμένου Βασιλείου)
- περιφερειακά συστήματα (π.χ. κανονισμοί εντός των ΗΠΑ και της Αυστραλίας)
- εθελοντικές αγορές (π.χ. Χρηματιστήριο Κλίματος του Σικάγο)
- αγορές λιανικής πώλησης που εξυπηρετούν εγχώριους ή μικρής κλίμακας αγοραστές.

Η συντριπτική πλειοψηφία του όγκου της αγοράς αποτελείται από συναλλαγές πιστωτικών μορίων και επιδιώκουν τη συμμόρφωση με το Πρωτόκολλο του Κιότο. Ωστόσο, οι συναλλαγές δικαιωμάτων αυξήθηκαν ραγδαία με την εισαγωγή του ΣΕΔΕ της ΕΕ το 2005 (ΚΑΠΕ, 2006).

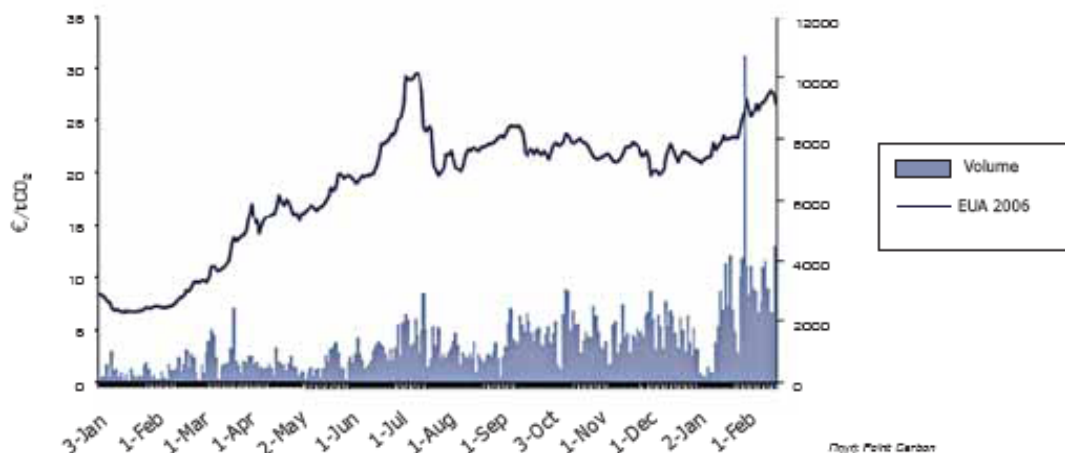
Από την πλευρά της προσφοράς, πέντε χώρες (Ινδία, Βραζιλία, Χιλή, Ινδονησία και Ρουμανία) αποτέλεσαν την πηγή των 2/3 από την άποψη του όγκου των συναλλαγών. Τα κύρια είδη έργων ήταν παρόμοια το 2003 και το 2004 και είναι τα εξής (ΚΑΠΕ, 2006):

- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (βιομάζα, αιολική, υδραυλική ενέργεια και βιοαέριο από Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων)
- ενεργειακή απόδοση
- εναλλαγή καυσίμων
- καταστροφή HFC<sub>23</sub>
- χρήση γης και δασοκομία
- δέσμευση - αποθήκευση CO<sub>2</sub>.

Τα έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας κυριάρχησαν, αποτελώντας το 63% του όγκου για τον οποίο συνάφθηκαν συμβόλαια το 2003 και 49% του όγκου για τον οποίο συνάφθηκαν συμβόλαια το 2004 (από Ιανουάριο έως Μάιο). Άλλα είδη έργου αντιπροσώπευαν περίπου 4%-10% του όγκου σε αυτή τη διετία. Το μερίδιο αγοράς των έργων καταστροφής HFC<sub>23</sub> έχει αυξηθεί αισθητά και αντιπροσωπεύει 31% για το 2004 (ΚΑΠΕ, 2006).

Η διακύμανση των τιμών είναι πολύ πιο πολύπλοκη από τα στοιχεία για τον όγκο. Οι τιμές κυμαίνονται ανάλογα με την πηγή των τόνων ισοδύναμου CO<sub>2</sub>, το τμήμα της αγοράς και τη χώρα. Υπάρχει τεράστια απόκλιση στη δομή και τους όρους των συμβολαίων υπό τους οποίους γίνεται το εμπόριο των τόνων ισοδύναμου CO<sub>2</sub>, στοιχεία που έχουν αντίκτυπο στην τιμή. Η τιμή μπορεί επίσης να εξαρτάται από τη χρονιά παραγωγής ή το μελλοντικό έτος με το οποίο συνδέονται οι τόνοι ισοδύναμου CO<sub>2</sub> (ΚΑΠΕ, 2006).

Σε ό,τι αφορά στα δικαιώματα της ΕΕ, έχει αναπτυχθεί μια προθεσμιακή αγορά. Η τιμή και ο όγκος δημοσιεύονται κάθε εβδομάδα από τους αναλυτές Point Carbon, οι οποίοι συμβουλευόταν 9 μεσίτες που εμπορεύονται δικαιώματα. Το πρώτο εμπόριο δικαιωμάτων της ΕΕ έλαβε χώρα το Φεβρουάριο του 2003. Η τιμή τον Ιούνιο του 2003 ήταν περίπου στα 8.5€ ανά τόνο CO<sub>2</sub>, αυξήθηκε προοδευτικά στην τιμή των 12€ περίπου τον Σεπτέμβριο του 2003 και αυξήθηκε ακόμη περισσότερο στα 13€ τον Ιανουάριο του 2004. Η τιμή έπεσε αισθητά, στο χαμηλό επίπεδο των 7€ περίπου τον Μάιο του 2004. Η τιμή ανέκαμψε στα 10€ τον Ιούνιο του 2004 και έκτοτε κυμάνθηκε μεταξύ 7.5-9€. Με την έναρξη του ΣΕΔΕ τον Ιανουάριο του 2005, η τιμή άρχισε σταδιακά να ανεβαίνει από τα 7€ στα 27€ περίπου τον Μάρτιο του 2006 (Σχήμα 3.1) (ΚΑΠΕ, 2006).



Σχήμα 3.1: Τιμές Δικαιωμάτων (€/τόνο CO<sub>2</sub>eq) (Point Carbon, 2005)



### 3.4 Σύστημα τιμολόγησης και περιβαλλοντικό κόστος

Σήμερα οι τιμές ενέργειας δεν αντικατοπτρίζουν πάντα το συνολικό κόστος για την κοινωνία, διότι οι τιμές συχνά δεν λαμβάνουν εξολοκλήρου υπόψη τις επιπτώσεις της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Οι εκτιμήσεις αυτού του εξωτερικού κόστους για τον ηλεκτρισμό, για παράδειγμα, αφορούν περίπου το 1-2% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της ΕΕ και αντικατοπτρίζουν την κυριαρχία των ορυκτών καυσίμων που ρυπαίνουν το περιβάλλον στην παραγωγή ηλεκτρισμού (European Environment Agency, 2002).

Το έκτο πρόγραμμα δράσης για το περιβάλλον τονίζει την ανάγκη εσωτερικοποίησης του εν λόγω εξωτερικού περιβαλλοντικού κόστους. Προτείνει ένα συνδυασμό μέσων στα οποία περιλαμβάνονται η προώθηση φορολογικών μέτρων, όπως είναι οι φόροι και τα κίνητρα που έχουν σχέση με το περιβάλλον, καθώς και η διενέργεια επανεξέτασης των επιδοτήσεων που αντιτίθενται στην αποδοτική και βιώσιμη χρήση της ενέργειας, με στόχο τη σταδιακή κατάργησή τους (European Environment Agency, 2002).

Λόγω της απουσίας κατάλληλου πλαισίου πολιτικής που να στοχεύει στην πλήρη εσωτερικοποίηση του εξωτερικού κόστους για το περιβάλλον και στην καλύτερη διαχείριση της ζήτησης ενέργειας, η μείωση των τιμών ενέργειας ενδέχεται να λειτουργήσει ως αντικίνητρο για τις επενδύσεις με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας και να ενθαρρύνει την κατανάλωση ενέργειας (European Environment Agency, 2002).

Σημειώνεται πως (European Environment Agency, 2002):

- οι τιμές ενέργειας σε γενικές γραμμές μειώθηκαν ανάμεσα στο 1985 και το 2001 με αποτέλεσμα τα κίνητρα για εξοικονόμηση ενέργειας να είναι πολύ μικρά,
- παρά τις αυξήσεις στη φορολογία από το 1985 έως το 2001, οι τιμές ενέργειας για τα περισσότερα καύσιμα μειώθηκαν και αυξήθηκε η συνολική ζήτηση ενέργειας,
- με τα ορυκτά καύσιμα να παράγουν πάνω από το ήμισυ της ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ, τα επίπεδα των τιμών θα πρέπει να αυξηθούν ούτως ώστε να συμπεριλάβουν το προβλεπόμενο εξωτερικό κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- οι δαπάνες της ΕΕ για την έρευνα και την ανάπτυξη στον τομέα της ενέργειας μειώθηκαν τη στιγμή που απαιτείται καινοτομία για την ανάπτυξη λιγότερο ρυπογόνων τεχνολογιών.

### **3.5 Διεθνείς και κοινοτικές δεσμεύσεις της Ελλάδας για την προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας**

#### **3.5.1 Η Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές**

Η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Αλλαγές συνιστά το πρώτο βασικό νομοθέτημα που θέσπισε η διεθνής κοινότητα με στόχο την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Με το νόμο 2205/1994 η Ελλάδα κύρωσε τη Σύμβαση-Πλαίσιο, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 21.03.1994 και έχει ήδη κυρωθεί από 188 χώρες και περιφερειακούς οργανισμούς οικονομικής ολοκλήρωσης, συμπεριλαμβανομένης της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Η Ελλάδα περιλαμβάνεται στις χώρες του Παραρτήματος Ι της Σύμβασης, για τις οποίες ισχύουν (καταρχήν) οι ειδικές υποχρεώσεις της παραγράφου 2 του άρθρου 4 της Σύμβασης-Πλαίσιο σχετικά με τον περιορισμό των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Το άρθρο 4 της Σύμβασης-Πλαίσιο (Δεσμεύσεις) ορίζει, μεταξύ άλλων, ότι τα Συμβαλλόμενα Μέρη «προωθούν και συνεργάζονται για την ανάπτυξη, την εφαρμογή και διάδοση, συμπεριλαμβανομένης της μεταφοράς τεχνολογιών, πρακτικών και διαδικασιών που ελέγχουν ή μειώνουν ή αποτρέπουν τις ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ σε όλους τους σχετικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων των τομέων της ενέργειας, των μεταφορών, της βιομηχανίας, της γεωργίας, της δασοκομίας και της διαχείρισης αποβλήτων» (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

#### **3.5.2 Το Πρωτόκολλο του Κιότο**

Το Πρωτόκολλο του Κιότο στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Αλλαγές εξειδικεύει το ρυθμιστικό πλαίσιο της Σύμβασης και αποτελεί σημαντικό κανονιστικό εργαλείο για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών, καθώς εμπεριέχει (διαφοροποιημένους) εθνικούς ποσοτικούς στόχους για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καταρχάς για τα κράτη του βιομηχανικού κόσμου. Ακολουθώντας την κοινοτική πολιτική για τις κλιματικές αλλαγές, η Ελλάδα κύρωσε με το νόμο 3017/2002 και το Πρωτόκολλο του Κιότο (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Σύμφωνα με το άρθρο 25 του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αυτό θα τεθεί σε ισχύ 90 ημέρες από την ημερομηνία κατά την οποία τουλάχιστον 55 Μέρη της Σύμβασης-Πλαίσιο, συμπεριλαμβανομένων των Μερών του Παραρτήματος Ι που αντιπροσωπεύουν συνολικά τουλάχιστον 55% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά το 1990, έχουν καταθέσει πράξεις επικύρωσης, αποδοχής, έγκρισης ή προσχώρησης σε αυτή. Το Πρωτόκολλο τέθηκε τελικά σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, μετά από την επικύρωσή του και από τη Ρωσία στις 18 Νοεμβρίου 2004 και την εκπλήρωση των δύο παραπάνω όρων. Μέχρι το τέλος Φεβρουαρίου του 2006 το Πρωτόκολλο είχε επικυρωθεί από 162 Μέρη. Τα ανεπτυγμένα κράτη που έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο αντιπροσωπεύουν το 61,6% των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> (οι ΗΠΑ που έχουν δηλώσει ότι δεν θα το επικυρώσουν αντιπροσωπεύουν το 36,1% των εκπομπών CO<sub>2</sub>) (ΚΑΠΕ, 2006).

Για την επίτευξη των στόχων που θέτει το Πρωτόκολλο του Κιότο, μια χώρα μπορεί είτε να χρησιμοποιήσει εγχώριες πολιτικές και μέτρα για να μειώσει τις εκπομπές της, είτε να χρησιμοποιήσει παράλληλα και κάποιους από τους τρεις «ευέλικτους μηχανισμούς» με βάση την οικονομία της αγοράς που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο: την από Κοινού Εφαρμογή (Joint Implementation/JI), το Μηχανισμό Καθαρής Ανάπτυξης (Clean Development Mechanism/CDM) και την Εμπορία Εκπομπών (Emissions Trading/ET) (ΚΑΠΕ, 2006).

Το Πρωτόκολλο θέτει ως συνολικό στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά την περίοδο 2008-2012 κατά 5% συγκριτικά με τις εκπομπές του έτους 1990 (άρθρο 3.1). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η ΕΕ έχει πλέον υιοθετήσει όλα τα απαραίτητα νομοθετικά μέτρα για να εκπληρώσει τις δεσμεύσεις που απορρέουν από το Πρωτόκολλο. Η Ελλάδα, έχοντας ενταχθεί στο συνολικό σύστημα καταμερισμού των ποσοστών μείωσης των εκπομπών μεταξύ των κρατών-μελών της ΕΕ (με τη συνολική δέσμευση του -8%), υποχρεούται να μην αυξήσει τις εκπομπές της άνω του 25% σε σχέση με το έτος βάσης. Το «δικαίωμα» αυστηρά περιορισμένης αύξησης των εκπομπών αντικατοπτρίζει την εφαρμογή της αρχής της «κοινής αλλά διαφοροποιημένης ευθύνης των κρατών» στο εσωτερικό της Κοινότητας και αντιστοιχεί στην ιστορικά μη σημαντική συμμετοχή της Ελλάδας στην πρόκληση του φαινομένου του θερμοκηπίου και στο στόχο της Κοινότητας για αναπτυξιακή σύγκλιση των κρατών μελών της (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Οι παρούσες προβλέψεις για την ανάπτυξη της ενεργειακής κατανάλωσης και εν γένει των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, με γνώμονα την ήδη παρατηρούμενη εντυπωσιακή αύξησή τους, καθιστούν ωστόσο εξαιρετικά αμφίβολο εάν θα τηρηθεί η εν λόγω δέσμευση για αύξηση αποκλειστικά της τάξης του 25%, εκτός και αν πραγματοποιηθεί έγκαιρα μία αποφασιστική στροφή σε περιβαλλοντικά

φιλικότερες πηγές ενέργειας. Στοιχεία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών υπολογίζουν αύξηση που ενδέχεται να αγγίξει το 35,8% ως το 2010, εφόσον δεν ληφθούν επιπρόσθετα μέτρα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Σημειώνεται πως σύμφωνα με το άρθρο 2 του Πρωτοκόλλου κάθε μέρος που περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι της Σύμβασης-Πλαίσιο (όπως η Ελλάδα) υποχρεούται, μεταξύ άλλων, για να ανταποκριθεί στις υποχρεώσεις που ανέλαβε όσον αφορά στους ποσοτικοποιημένους περιορισμούς και στις μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, «να εφαρμόσει και/ή να αναπτύξει περαιτέρω πολιτικές και μέτρα σύμφωνα με τις εθνικές συνθήκες, όπως: προώθηση, έρευνα, ανάπτυξη και αύξηση της χρήσης νέων και ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, τεχνολογίες δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα, καθώς και προηγμένων και καινοτόμων αξιόπιστων τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Δίχως την αύξηση στη χρήση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι πρακτικά μάλλον αδύνατη η επίτευξη των ποσοτικοποιημένων δεσμεύσεων, είτε πρόκειται για υποχρέωση μείωσης των εκπομπών είτε για υποχρέωση περιορισμένης ποσοτικά αύξησής τους, ως αποτέλεσμα εσωτερικής συμφωνίας των κρατών-μελών της ΕΕ. Σύμφωνα με έκθεση του Υπουργείου Ανάπτυξης (Οκτώβριος 2003), καθώς το έτος 2010 η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα θα έχει φθάσει τις 72 TWh, η συμμετοχή των ανανεώσιμων-μη συμβατικών πηγών ενέργειας θα πρέπει να ανέλθει σε ένα επίπεδο της τάξης των 14 TWh, ώστε η χώρα να μπορέσει να ανταποκριθεί στις δεσμεύσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο και στους συναφείς στόχους του παραρτήματος της κοινοτικής οδηγίας 2001/77 (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

### **3.5.3 Αποφάσεις της Συνδιάσκεψης του Γιοχάνεσμπουργκ**

Καθώς βιώσιμη ανάπτυξη και αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών δεν μπορούν να επιτευχθούν δίχως τη συνδρομή της ανανεώσιμης ενέργειας, και στο Σχέδιο Εφαρμογής (Plan of Implementation) που υιοθετήθηκε στη Συνδιάσκεψη του Γιοχάνεσμπουργκ για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (2002), τα κράτη της διεθνούς κοινότητας καλούνται να αυξήσουν σημαντικά, με την αίσθηση του επείγοντος, το συνολικό μερίδιο των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με στόχο να αυξηθεί και η συμμετοχή τους στη συνολική παροχή ενέργειας (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Επιπρόσθετα, κατά τη Συνδιάσκεψη του Γιοχάνεσμπουργκ, η Ελλάδα ως κράτος-μέλος της ΕΕ, από κοινού με τους εταίρους της και άλλες χώρες, υιοθέτησαν μία Κοινή Διακήρυξη για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ενισχύοντας περαιτέρω το περιεχόμενο της παραγράφου 19, ε του Σχεδίου Εφαρμογής. Σ' αυτήν, τα μετέχοντα κράτη εκφράζουν την ισχυρή τους δέσμευση για την προώθηση της ανανεώσιμης ενέργειας και την αύξηση του ποσοστού των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη συνολική παροχή ενέργειας, ενώ επισημαίνουν ότι η αύξηση της χρήσης της ανανεώσιμης ενέργειας συνιστά ουσιώδες στοιχείο για την επίτευξη της βιώσιμης ανάπτυξης σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Τα μετέχοντα κράτη σημειώνουν ότι έχουν υιοθετήσει ή πρόκειται να υιοθετήσουν σαφείς και φιλόδοξους, χρονικά δεσμευτικούς στόχους για την αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας. Υπογραμμίζεται ότι η ΕΕ έχει θέσει ως σχετικό στόχο, το έτος 2010 η συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στη συνολική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας να ανέλθει στο 22% (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

#### 3.5.4 Κοινοτικές οδηγίες και αποφάσεις

Η Εμπορία Εκπομπών (Emissions Trading/ET) αποτελεί ένα από τα σημαντικά εργαλεία, που προβλέπονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών σε διεθνή κλίμακα, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο, αναμένεται να ξεκινήσει το 2008. Μέχρι τότε, η Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρώντας σημαντική την απόκτηση από τα Κράτη-Μέλη εμπειρίας καθιέρωσε το δικό της ΣΕΔΕ, προκειμένου να προωθηθεί η μείωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τρόπο οικονομικά αποδοτικό (ΚΑΠΕ, 2006).

Το Κοινοτικό αυτό σύστημα σε συνδυασμό με άλλες πολιτικές και μέτρα εκτιμάται, ότι θα αποτελέσει τμήμα της στρατηγικής της ΕΕ στην κατεύθυνση της εκπλήρωσης των δεσμεύσεων της και κατά συνέπεια και των Κρατών-Μελών που την αποτελούν. Στο πλαίσιο αυτό, το 6<sup>ο</sup> Κοινοτικό Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον αναγνωρίζει ότι η ΕΕ έχει δεσμευτεί για μείωση των εκπομπών κατά 8%, (την περίοδο 2008-2012) σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, αλλά και ότι μακροπρόθεσμα οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου θα χρειαστεί να μειωθούν κατά 70% περίπου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (ΚΑΠΕ, 2006).

Το ΣΕΔΕ της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι διαφορετικό, αλλά συνδέεται με το Πρωτόκολλο του Κιότο και τέθηκε σε ισχύ από την 1η Ιανουαρίου 2005. Η λειτουργία του πρωτότυπου αυτού συστήματος βασίζεται στην Οδηγία 2003/87/ΕΚ «σχετικά με

την θέσπιση συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπής αερίων θερμοκηπίου εντός της Κοινότητας» και καλύπτει 11.428 εγκαταστάσεις στα 25 Κράτη-Μέλη (ενεργειακού τομέα, παραγωγής και επεξεργασίας σιδηρούχων μετάλλων, ανόργανων υλικών και χαρτοβιομηχανίες), στις οποίες αντιστοιχεί σχεδόν το μισό των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην Ευρώπη. Το Σύστημα καλύπτει αρχικά μόνο εκπομπές του CO<sub>2</sub> (ΚΑΠΕ, 2006).

Στην Ελλάδα η εφαρμογή του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (οργάνωση και λειτουργία) καθορίζεται με βάση την ΚΥΑ 54409/2632 του Δεκεμβρίου του 2004 (ΦΕΚ 1931/Β/2004) με την οποία εναρμονίστηκε η Οδηγία 2003/87/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο και τροποποιήθηκε η Οδηγία 96/61/ΕΚ (ΚΑΠΕ, 2006).

Δεδομένης, ωστόσο, όπως ήδη σημειώθηκε, της ραγδαίας αύξησης των εκπομπών και του ενεργειακά μάλλον σπάταλου χαρακτήρα της εθνικής οικονομίας, η Ελλάδα -εάν δεν προωθήσει σημαντικά και έγκαιρα τις ΑΠΕ- δεν θα είναι σε θέση να επιτύχει τον εθνικό στόχο της αυστηρά περιορισμένης ποσοτικά αύξησης των εκπομπών και οι διάφοροι δημόσιοι φορείς παραγωγής ενέργειας θα υποχρεούνται να αγοράζουν άδειες εκπομπών από αντίστοιχους φορείς άλλων κρατών-μελών της Ένωσης. Το σχετικό κόστος αναμένεται να μετακυλήσει στον καταναλωτή. Σε περίπτωση, μάλιστα, μη επίτευξης των ποσοτικών δεσμεύσεων, το κράτος-μέλος μπορεί να κριθεί από το Ευρωπαϊκό Δικαστήριο για παραβίαση της ευρωπαϊκής νομοθεσίας και μη εκπλήρωση διεθνών δεσμεύσεων της Κοινότητας (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

Στις ανωτέρω δεσμεύσεις πρέπει ωστόσο να προστεθεί και η συνταγματικά κατοχυρωμένη υποχρέωση της ελληνικής Πολιτείας για την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης (άρθρο 24, σε συνδυασμό και με άρθρα 5 παρ. 1, 17, 22 παρ. 1 και 106 Συντ.), που νοείται ως η περιβαλλοντικά συμβατή ανάπτυξη, καθώς και η ειδική υποχρέωση για αξιοποίηση των πηγών του εθνικού πλούτου, ενδεικτικά και από την ατμόσφαιρα (άρθρο 106 παρ. 1 Συντ.). Εν προκειμένω προέχει πρόδηλα η αξιοποίηση εκείνων των πηγών που εγγυώνται και τη βιώσιμη ανάπτυξη αλλά και την αξιόπιστη εκπλήρωση διεθνών και κοινοτικών υποχρεώσεων της χώρας, χωρίς τον κίνδυνο πρόσθετης περιβαλλοντικής αλλά και οικονομικής επιβάρυνσης, σε περίπτωση μη επίτευξης των δεσμευτικών στόχων για περιορισμό στην αύξηση των εκπομπών (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2003).

### 3.6 Εφαρμογή τεχνολογιών ανανεώσιμης ενέργειας

Λαμβάνοντας υπόψη την προβαλλόμενη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, ο ρυθμός αύξησης της ανανεώσιμης ενέργειας (τόσο του ηλεκτρισμού όσο και της θερμότητας) θα πρέπει να υπερδιπλασιαστεί σε σχέση με αυτόν μεταξύ 1990 και 1999, προκειμένου να επιτευχθεί ο ενδεικτικός στόχος της ΕΕ για μερίδιο 12 % των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην συνολική κατανάλωση ενέργειας έως το 2010. Παρομοίως, ο ρυθμός αύξησης του ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θα πρέπει να διπλασιαστεί περίπου προκειμένου να εκπληρωθεί ο ενδεικτικός στόχος της ΕΕ για 22,1% ακαθάριστης κατανάλωσης ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έως το 2010 (European Environment Agency, 2002).

Οι χρηματοοικονομικοί, οι φορολογικοί και οι διοικητικοί φραγμοί, η χαμηλή οικονομική ανταγωνιστικότητα ορισμένων ανανεώσιμων πηγών και η έλλειψη ενημέρωσης και εμπιστοσύνης μεταξύ των επενδυτών δυσχεραίνουν την ανάπτυξη των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας (European Environment Agency, 2002).

Υπάρχουν, ωστόσο, ενθαρρυντικά σημάδια ότι η αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να επιταχυνθεί σημαντικά με το σωστό μείγμα μέτρων στήριξης. Για παράδειγμα, η ταχεία εξάπλωση της αιολικής και ηλιακής ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ προωθήθηκε από τη Δανία (μόνο αιολική), τη Γερμανία και την Ισπανία και προέκυψε από μέτρα στήριξης όπως είναι οι ρυθμίσεις περί «τροφοδότησης» που εγγυώνται μια σταθερή ευνοϊκή τιμή. Παρομοίως, η Αυστρία, η Γερμανία και η Ελλάδα συνέβαλαν κατά 80% στις νέες εγκαταστάσεις ηλιακής θέρμανσης στην ΕΕ ανάμεσα στο 1990 και το 1999. Οι εξελίξεις στον τομέα της ηλιακής θέρμανσης στην Αυστρία και τη Γερμανία ευνοήθηκαν από την ενεργό κυβερνητική πολιτική σε συνδυασμό με συστήματα επιδότησης και επικοινωνιακές στρατηγικές, ενώ στην Ελλάδα οι εξελίξεις ευνοήθηκαν από κρατικές επιδοτήσεις (European Environment Agency, 2002).

Η ανανεώσιμη ενέργεια συμβάλλει πολύ λίγο στην αυξανόμενη κατανάλωση του τομέα των μεταφορών. Το σχέδιο οδηγίας της ΕΕ σχετικά με την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων για τις μεταφορές αναμένεται να ζητά να προέρχεται από βιοκαύσιμα, μέχρι το 2010, σχεδόν το 6% της βενζίνης και του πετρελαίου ντίζελ που θα πωλούνται για μεταφορικούς σκοπούς. Ωστόσο η παραγωγή των εν λόγω καυσίμων είναι υψηλής ενεργειακής έντασης και ενδέχεται να υπάρξει ανταγωνισμός με άλλα ενεργειακά φυτά για καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Υπάρχει επίσης κάποιος προβληματισμός σχετικά με το επίπεδο των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και των σωματιδίων από βιοκαύσιμα (European Environment Agency, 2002).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΣΤΕΡΕΑ / ΥΓΡΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ / ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ / ΔΙΕΘΝΩΣ**

#### **4.1 Γενικά**

Η παραγωγή και η κατανάλωση ενέργειας προκαλούν μια ευρεία σειρά επιβαρύνσεων στο φυσικό και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, καθώς επίσης και στην ανθρώπινη υγεία. Τα συμβατικά καύσιμα (δηλ. άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) αποτελούν τον κύριο όγκο των αποθεμάτων ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (80% το 1999) και η μεγαλύτερη προσοχή εστιάζεται στο μέρος των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων που προκύπτουν από τη χρήση τους, δηλαδή: εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, αέρια ρύπανση από όξινες ουσίες, και εκπομπές προδρόμων του όζοντος. Οι επιλογές για τη μείωση των επιβαρύνσεων αυτών μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως στην βελτιωμένη διαχείριση και συντήρηση, στη χρήση νέων, λιγότερο ρυπογόνων τεχνολογιών και στην αλλαγή σε καθαρότερα καύσιμα, και έμμεσα στην αποδοτικότερη ενεργειακή χρήση και στην χρήση λιγότερο ενεργοβόρων διαδικασιών (European Environment Agency, 2002).

Μερικοί ρυπαντές μπορεί να ευθύνονται για περισσότερες από μια επιδράσεις. Παραδείγματος χάριν το μεθάνιο είναι αφενός μεν ένα αέριο θερμοκηπίου και αφετέρου ένας πρόδρομος του όζοντος (ozone precursor), ενώ το διοξείδιο του θείου συμβάλλει και στην ατμοσφαιρική ρύπανση (άμεσα και επίσης έμμεσα με τη διαμόρφωση των σωματιδίων σκόνης) και στη δημιουργία της όξινης βροχής. Η μείωση ενός ρύπου μπορεί επομένως να αποδώσει περισσότερα από ένα οφέλη. Πολιτικές και μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (π.χ. μεταστροφή από τον άνθρακα στο φυσικό αέριο) συχνά οδηγούν σε μια μείωση εκπομπών των ατμοσφαιρικών ρύπων. Εντούτοις, σε εξαιρετικές περιπτώσεις η μείωση ενός ρύπου μπορεί να επιφέρει την αύξηση ενός άλλου. Παραδείγματος χάριν η χρήση τριόδων καταλυτών έχει μειώσει τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα και των πτητικών οργανικών ενώσεων από τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, αλλά έχει επιφέρει αύξηση στις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Η ανάπτυξη μιας



στρατηγικής για την ατμοσφαιρική ρύπανση αποτρέπει προς την διασύνδεση μεταξύ των ρυπαντών και την μεταστροφή προς μια πολυ-αποτελεσματική προσέγγιση (European Environment Agency, 2002).

Η ρύπανση που προκαλείται από την παραγωγή ενέργειας δεν προκύπτει αποκλειστικά από την καύση των συμβατικών καυσίμων. Μερικές εκπομπές που σχετίζονται με την καύση, όπως τα οξείδια του αζώτου, προκύπτουν από τη χρήση της βιομάζας και των αποβλήτων ως καύσιμα. Επίσης, ενώ η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας έχει αμελητέες εκπομπές κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας, συσσωρεύει ουσιαστικές ποσότητες μακρόβιων και υψηλά ραδιενεργών αποβλήτων για τα οποία κανένας γενικά αποδεκτός τρόπος διάθεσης δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα (European Environment Agency, 2002).

Η ανησυχία σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και την αλλαγή του κλίματος τίθεται ως στόχος να παραμείνει προτεραιότητα στην πολιτική της ΕΕ. Η ΕΕ έχει δεσμευθεί να είναι πρωτοπόρος στην μείωση των ολικών εκπομπών, και το πρώτο βήμα είναι να εκπληρωθεί ο στόχος της, που τίθεται σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Κιότο, σε μια μείωση 8% των συνολικών εκπομπών μέχρι το 2008–12 έναντι του επιπέδου του 1990. Αν και αποτελεί πρόκληση, ο στόχος αυτός πρέπει να θεωρηθεί μόνο ως πρώτο βήμα, δεδομένου ότι υπολογίζεται πως οι συνολικές εκπομπές θα πρέπει να μειωθούν κατά περίπου 70% μακροπρόθεσμα ούτως ώστε η ατμοσφαιρική συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) να σταθεροποιηθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή το έχει αναγνωρίσει, προτείνοντας έναν στόχο της ΕΕ να μειώσει τις ατμοσφαιρικές εκπομπές κατά έναν μέσο όρο 1% ετησίως μέχρι το 2020, με έναν συνολικό στόχο μείωσης 20-40% μέχρι το 2020, και τα δύο από τα επίπεδα του 1990 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2001a και 2001b).

## 4.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στερεά / υγρά καύσιμα στην Ελλάδα

### 4.2.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου στην Ελλάδα

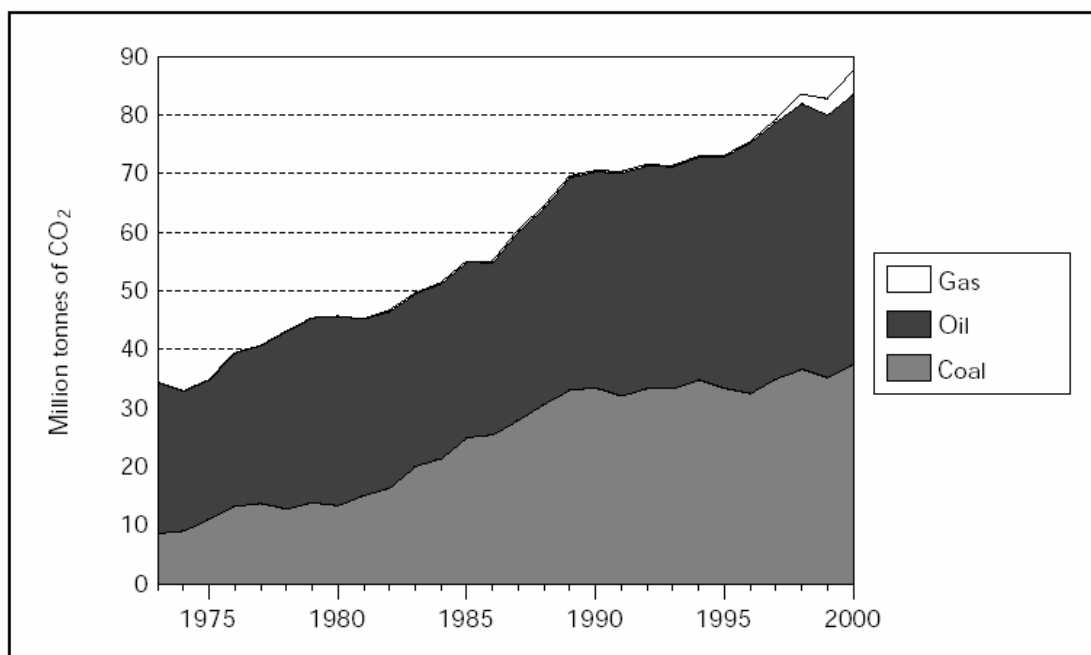
Για να υλοποιήσει τη δέσμευσή της κάτω από το πρωτόκολλο του Κιότο και τη "συμφωνία κατανομής βαρών" (Burden-Sharing Agreement) της ΕΕ, η Ελλάδα έχει συμφωνήσει να μην αυξήσει τις συνολικές της εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου (GHG) κατά περισσότερο από 25% επάνω από το επίπεδο του έτους αναφοράς της (η συμφωνία καλύπτει τα CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O για τα οποία έτος αναφοράς είναι το 1990, και PFCs, HFCs και SF<sub>6</sub> για τα οποία το έτος αναφοράς είναι το 1995) για την πρώτη περίοδο υποχρέωσης (2008-2012). Αυτό σημαίνει πως οι εκπομπές GHG της Ελλάδας, με ένα επίπεδο έτους αναφοράς των 108,4 Mt σε ισοδύναμο του CO<sub>2</sub>, δεν πρέπει να υπερβούν τους 135,5 Mt σε ισοδύναμο του CO<sub>2</sub>, μέχρι την περίοδο του στόχου (International Energy Agency, 2002).

Το 2000, σύμφωνα με το ΕΑΑ η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας συνετέλεσε στο 50% των συνολικών εκπομπών του CO<sub>2</sub> (Σχήμα 4.1). Το 64,2% της ηλεκτρικής ενέργειας παρήχθη από λιγνίτη, το 16,6% από πετρέλαιο, το 11,1% από φυσικό αέριο, το 6,9% από υδροηλεκτρική ενέργεια, το 0,8% από αιολική ενέργεια και το 0,3% από βιομάζα και απόβλητα. Ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής είναι αρμόδιος για το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης των εκπομπών του CO<sub>2</sub> κατά την διάρκεια της δεκαετίας του '90 (Σχήμα 4.2) (International Energy Agency, 2002).

Η Ελλάδα ανέπτυξε το "Ελληνικό σχέδιο δράσης για τη μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub> και των άλλων αερίων θερμοκηπίου" το 1995. Ο στόχος που καθορίστηκε στο σχέδιο ήταν να περιοριστεί η αύξηση στις εκπομπές CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O και CH<sub>4</sub> το 2000 σε λιγότερο από 15% ± 3% (ή 15,7 ± 3,1 Mt) από τα επίπεδα του 1990. Το περιθώριο 3% υιοθετήθηκε για να επιτρέψει τις απρόβλεπτες εσωτερικές ή διεθνείς εξελίξεις και τις σχετικές πολιτικές ή ενέργειες της ΕΕ. Δεδομένου ότι οι εκπομπές των τριών αερίων ήταν 23,3% υψηλότερες το 2000, από τα επίπεδα του 1990, ο στόχος δεν επιτεύχθηκε (International Energy Agency, 2002).

Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ προβλέπεται ότι οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου το έτος 2010 (153,5 Mt CO<sub>2</sub> eq) θα είναι αυξημένες κατά 39,2% σε σύγκριση με το έτος βάσης (110,2 Mt CO<sub>2</sub> eq), ενώ το 2020 (173,7 Mt CO<sub>2</sub> eq) το αντίστοιχο ποσοστό αύξησης εκτιμάται σε 57,6% (Σχήμα 4.3).

CO<sub>2</sub> Emissions by Fuel\*, 1973 to 2000

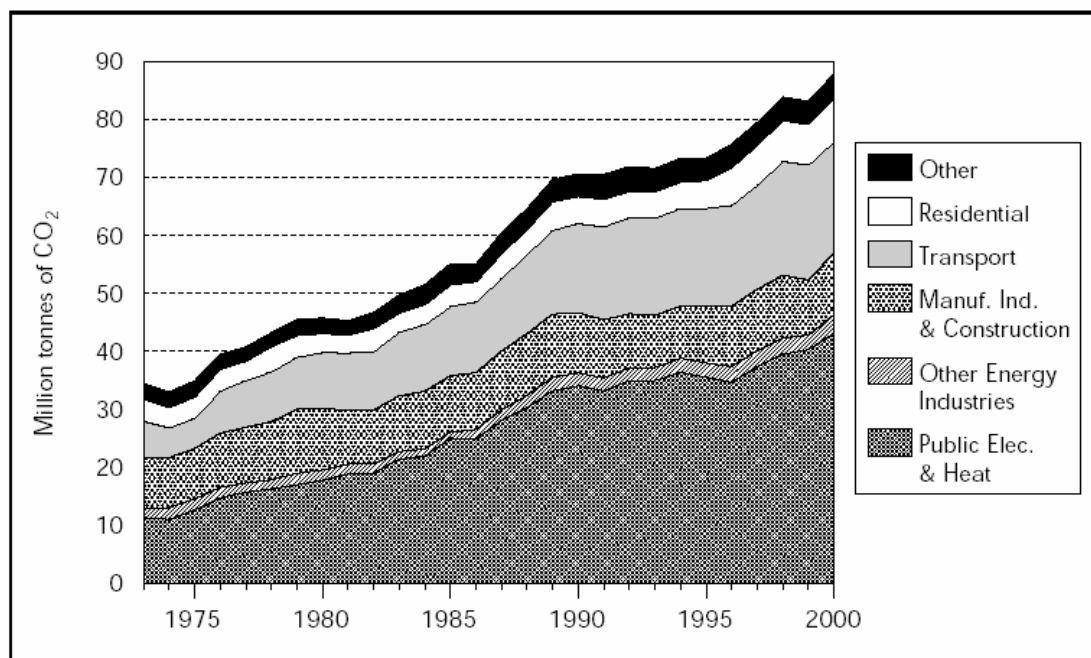


\* estimated using the IPCC Sectoral Approach.

Source: *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion*, IEA/OECD Paris, 2001.

Σχήμα 4.1: Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά καύσιμο στην Ελλάδα, 1973-2000 (IEA, 2001).

CO<sub>2</sub> Emissions by Sector\*, 1973 to 2000



\* estimated using the IPCC Sectoral Approach.

Source: *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion*, IEA/OECD Paris, 2001.

Σχήμα 4.2: Εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά τομέα στην Ελλάδα, 1973-2000 (IEA, 2001).

Βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τα αποτελέσματα της πρόβλεψης εκπομπών είναι ότι στον χρονικό ορίζοντα της παρούσας δεκαετίας αναμένεται μία σημαντική αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, η οποία για το 2010 (39,2%) υπερβαίνει σημαντικά το στόχο του περιορισμού της αύξησης των εκπομπών κατά την περίοδο 2008-2012 (25% των εκπομπών του έτους βάσης) (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2004).

Στο πλαίσιο του 2<sup>ου</sup> Εθνικού Προγράμματος για την Κλιματική Αλλαγή είχε επιχειρηθεί ένας κατά το δυνατόν ορθολογικός προγραμματισμός των διαφόρων δράσεων μείωσης των εκπομπών, έτσι ώστε το 2010 να επιτευχθεί ο εθνικός στόχος στο πλαίσιο του Κιότο. Σύμφωνα με τον προγραμματισμό αυτόν, το 2005 οι μειώσεις εκπομπών σε σχέση με το Σενάριο Αναμενόμενης Εξέλιξης (ΣΑΕ) του Εθνικού Προγράμματος θα έπρεπε να ανέλθουν σε 3,4 Mt CO<sub>2</sub>eq (2,5% του ΣΑΕ) ενώ το 2010 σε 12,3 Mt CO<sub>2</sub>eq (8,5% του ΣΑΕ). Δεδομένου ότι από τη σύνταξη του 2<sup>ου</sup> Εθνικού Προγράμματος μέχρι σήμερα τόσο οι εκπομπές του έτους βάσης όσο και η πρόβλεψη των εκπομπών έχουν αναθεωρηθεί, η εφαρμογή των μέτρων του Εθνικού Προγράμματος θα πρέπει να εντατικοποιηθεί προκειμένου να επιτευχθεί ο στόχος του Κιότο με εγχώριες πολιτικές και μέτρα (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2005).

Αέριο	Έτος βάσης	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Διοξειδίο του άνθρακα	83905	83905	87497	104072	114107	124269	132200	141176
Μεθάνιο	8715	8715	9418	9644	10338	9013	8117	7935
Υποξείδιο του αζώτου	14140	14140	13152	13564	13050	12924	12768	12652
HFCs	3369	935	3369	4272	5022	7158	9626	11842
PFCs	83	258	83	148	88	88	88	88
SF <sub>6</sub>	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
<b>Σύνολο</b>	<b>110212</b>	<b>107953</b>	<b>113520</b>	<b>131702</b>	<b>142604</b>	<b>153450</b>	<b>162798</b>	<b>173693</b>
<b>Μεταβολή σε σχέση με το έτος βάσης</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>103</b>	<b>119</b>	<b>129</b>	<b>139</b>	<b>148</b>	<b>158</b>
<b>Αλλαγές χρήσεων γης και δασοπονία</b>		<b>-3440</b>	<b>-4614</b>	<b>-3211</b>	<b>-4942</b>	<b>-4992</b>	<b>-4706</b>	<b>-4440</b>
Διοξειδίο του άνθρακα		-3493	-4651	-3386	-4994	-5044	-4759	-4492
Μεθάνιο		48	34	159	48	48	48	48
Υποξείδιο του αζώτου		5	3	16	5	5	5	5

Σχήμα 4.3: Πρόβλεψη εκπομπών του θερμοκηπίου σύμφωνα με το Σενάριο Αναμενόμενης Εξέλιξης, ανά αέριο (σε kt CO<sub>2</sub> eq) (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2004)

#### 4.2.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σχετικά με την εξόρυξη και τη χρήση του λιγνίτη για ηλεκτροπαραγωγή

Τα μεγάλα κοιτάσματα λιγνίτη έχουν αξιοποιηθεί στην περιοχή Πτολεμαΐδα-Αμύνταιο (δυτική Μακεδονία) από τη δεκαετία του '50, και στην Μεγαλόπολη (Πελοπόννησος) από τη δεκαετία του '70. Όλα τα λιγνιτορυχεία στην Ελλάδα είναι υπαίθρια (επιφανειακή εκμετάλλευση με βαθμίδες). Η εξόρυξη λιγνίτη απαιτεί τεράστιες εκσκαφές (Σχήμα 4.4) -ενδεικτικά το 2005 εξορύχθηκαν συνολικά 67,3 εκ. τόνοι (International Energy Agency, 2002).

Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, περίπου 28 τετραγωνικά χιλιόμετρα (28.000 στρέμματα) εδάφους έχουν εξορυχθεί στην περιοχή Πτολεμαΐδας-Αμυνταίου και περίπου 5 τετραγωνικά χιλιόμετρα (5.000 στρέμματα) στην Μεγαλόπολη. Η αποκατάσταση του εδάφους χρηματοδοτείται από το 0,4% των εισοδημάτων της ΔΕΗ. Το 2000, το χρηματικό ποσό αυτό ήταν 10.3 εκατομμύρια ευρώ (International Energy Agency, 2002).



Σχήμα 4.4: Τμήμα λιγνιτορυχείου στην περιοχή Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2002).

Ο λιγνίτης βρίσκεται σε αφθονία στο υπέδαφος της Ελλάδας, η οποία κατέχει τη δεύτερη θέση σε παραγωγή λιγνίτη στην Ευρωπαϊκή Ένωση και την έκτη θέση παγκοσμίως. Με βάση τα συνολικά αποθέματα και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα οι υπάρχουσες ποσότητες λιγνίτη επαρκούν για τα επόμενα 45 χρόνια. Έχουν εξορυχθεί συνολικά 1.3 δις. τόνοι λιγνίτη ενώ τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ανέρχονται σε 3.1 δις. τόνους περίπου. Οι οκτώ λιγνιτικοί σταθμοί της ΔΕΗ αποτελούν το 43% της εγκατεστημένης ισχύος της και παράγουν το 60.4 περίπου της καθαρής ηλεκτρικής παραγωγής της ΔΕΗ (ΔΕΗ, 2006).

Η ποιότητα του λιγνίτη είναι φτωχή, λαμβάνοντας υπόψη την περιεκτικότητα του σε υγρασία 55-60% και τέφρα 15-18%. Η περιεκτικότητα σε θείο στα κοιτάσματα της Δυτικής Μακεδονίας είναι σχετικά χαμηλή (0,5%), ενώ είναι πλούσια σε ασβέστιο, ο οποίος αποτελεί έναν φυσικό απορροφητή θείου κατά την καύση. Ο λιγνίτης που εξάγεται στην Μεγαλόπολη έχει περιεκτικότητα σε θείο 1,5% και μικρή σε ασβέστιο. Το 2000, η καύση λιγνίτη για την ηλεκτροπαραγωγή αποτέλεσε περίπου το 72% των εκπομπών του διοξειδίου του θείου και το 73% των εκπομπών οξειδίων αζώτου. Οι συνολικές εκπομπές SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> από την καύση λιγνίτη αυξήθηκαν κατά 26-27% μεταξύ 1990 και 2000, κυρίως λόγω της αύξησης της δυναμικότητας των εν λόγω εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα οι εκπομπές του SO<sub>2</sub> και της τέφρας έχουν αυξηθεί, οι εκπομπές σωματιδίων έχουν μειωθεί και οι εκπομπές NO<sub>x</sub> έχουν μειωθεί στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη (Πίνακας 4.5). Οι συγκεκριμένες εκπομπές επηρεάζονται από τις παραλλαγές της ποιότητας λιγνίτη (International Energy Agency, 2002).

Πίνακας 4.5: Εκπομπές SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, σωματιδίων και τέφρας από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από λιγνίτη στην Ελλάδα (Υπουργείο Ανάπτυξης, 2001)

Pollutant Emissions from Lignite-Fired Power Plants, 1998 to 2000						
Ministry of Development						
<i>Plant name</i>	<i>Year</i>	<i>Capacity</i>	<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>Particles</i>	<i>Ash</i>
		<i>MW</i>	<i>(g/GJ)</i>	<i>(g/GJ)</i>	<i>(g/GJ)</i>	<i>(tonne/MW-year)</i>
St.Dimitrios	1998	1595	124	121	79	1871
	1999	1595	137	90	75	1830
	2000	1595	160	148	66	2297
Kardia	1998	1225	120	150	119	1813
	1999	1225	129	117	87	1775
	2000	1225	160	134	54	1797
Ptolemais	1998	620	162	147	47	2179
	1999	620	198	139	44	1787
	2000	620	178	32	36	2030
Amyndeon	1998	600	692	88	44	2244
	1999	600	649	77	38	2626
	2000	620	178	32	36	2030
Megalopolis	1998	850	3810	125	246	2530
	1999	850	3278	109	200	2779
	2000	850	2621	115	159	2650
Total emissions	1998		331.7 kt	44.7 kt	37.7 kt	-
	1999		296.1 kt	39.9 kt	35.6 kt	-
	2000		249.8 kt	47.1 kt	28.2 kt	-

### **4.3 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τα στερεά / υγρά καύσιμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση**

#### **4.3.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου στην ΕΕ**

Οι εκπομπές των αερίων θερμοκηπίου στην ΕΕ μειώθηκαν μεταξύ 1990 και 2000, αλλά χωρίς πρόσθετα μέτρα είναι απίθανο να μειωθούν περισσότερο έως το 2010 και μετά λόγω των σχετικά αυξανόμενων εκπομπών που σχετίζονται με την ενέργεια. Τρέχουσες επιτυχείς πρωτοβουλίες σε μερικά κράτη μέλη εμφανίζονται να δείχνουν την πρόοδο. Τα μέτρα που λαμβάνονται για την μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τον τομέα της ενεργειακής χρήσης αποδεικνύονται επιτυχή, με διάφορα κράτη μέλη να βρίσκονται στην πορεία επίτευξης των στόχων μείωσης που τίθενται για το 2010 (European Environment Agency, 2002).

Οι συνολικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (δηλ. διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, νιτρώδη οξείδια και φθοριωμένα αέρια) της ΕΕ μειώθηκαν κατά 3,9% μεταξύ των ετών 1990 και 1999. Σύμφωνα με τα στοιχεία που δημοσιεύθηκαν για το έτος 2000 η ΕΕ πέτυχε την αρχική υποχρέωσή της να σταθεροποιήσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα το 2000 στα επίπεδα του 1990. Αυτές οι πρώτες επιτυχίες δείχνουν πιθανόν ότι η ΕΕ είναι στην πορεία για να επιτύχει το στόχο του πρωτοκόλλου του Κιότο και να επιτύχει μακροπρόθεσμα περισσότερο φιλόδοξες μειώσεις εκπομπών (European Environment Agency, 2002).

Οι εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας μειώθηκαν μόνο κατά 1,9%. Δεδομένου ότι οι μη ενεργειακές πηγές αφορούν μόνο το 18% των εκπομπών (το 1999) μια μεγαλύτερη συμβολή στις μειώσεις θα πρέπει να προέλθει από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας ώστε να εκπληρωθούν οι μελλοντικοί στόχοι. Τα δεδομένα του 2000 δείχνουν ότι η πορεία είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Οι συνολικές εκπομπές αυξήθηκαν κατά 0,3% από το 1999 ως το 2000 ως αποτέλεσμα των αυξανόμενων εκπομπών που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας (European Environment Agency, 2002).

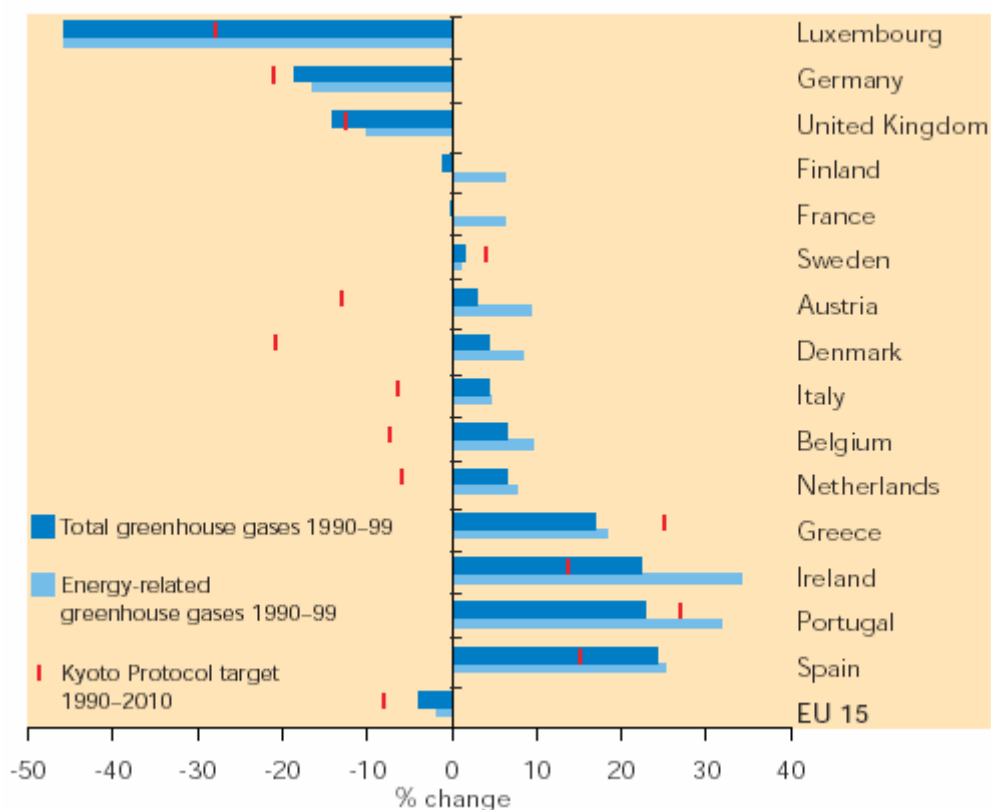
Ο στόχος του πρωτοκόλλου του Κιότο για την ΕΕ έχει μοιραστεί μεταξύ των κρατών μελών με έναν τρόπο που επιτρέπει τα διαφορετικά σχέδια οικονομικής ανάπτυξής τους. Η Φινλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, το Λουξεμβούργο, η Σουηδία και η Μεγάλη Βρετανία περιόρισαν τις συνολικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) μεταξύ 1990 και 1999 αρκετά, σύμφωνα με τους στόχους τους για το 2008-12 και στο πλαίσιο της συμφωνίας της ΕΕ (Σχήμα 4.6). Η ιδιαίτερη βελτίωση στο Λουξεμβούργο οφείλεται στο κλείσιμο των παλαιών εγκαταστάσεων παραγωγής



χάλυβα και την χρήση νέων εγκαταστάσεων. Η Γερμανία έχει πραγματοποιήσει επίσης ουσιαστικές μειώσεις. Στο γεγονός αυτό, λόγω του ότι είναι ο μεγαλύτερος εκπομπός, και στην βρετανική μείωση οφείλεται η συνολική μείωση που επιτυγχάνεται από την ΕΕ (European Environment Agency, 2002).

Για όλα τα κράτη μέλη, με εξαίρεση τη Σουηδία, η απόδοση είναι χειρότερη για τις σχετικές με την ενέργεια εκπομπές από ό,τι για τις συνολικές. Το μεγάλο ποσοστό των συνολικών εκπομπών που είναι σχετικές με την ενέργεια (79% το 1990, ανερχόμενο σε 82% το 1999) σημαίνει πως η περαιτέρω πρόοδος θα απαιτήσει τις πρόσθετες περικοπές στις εκπομπές από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας (European Environment Agency, 2002).

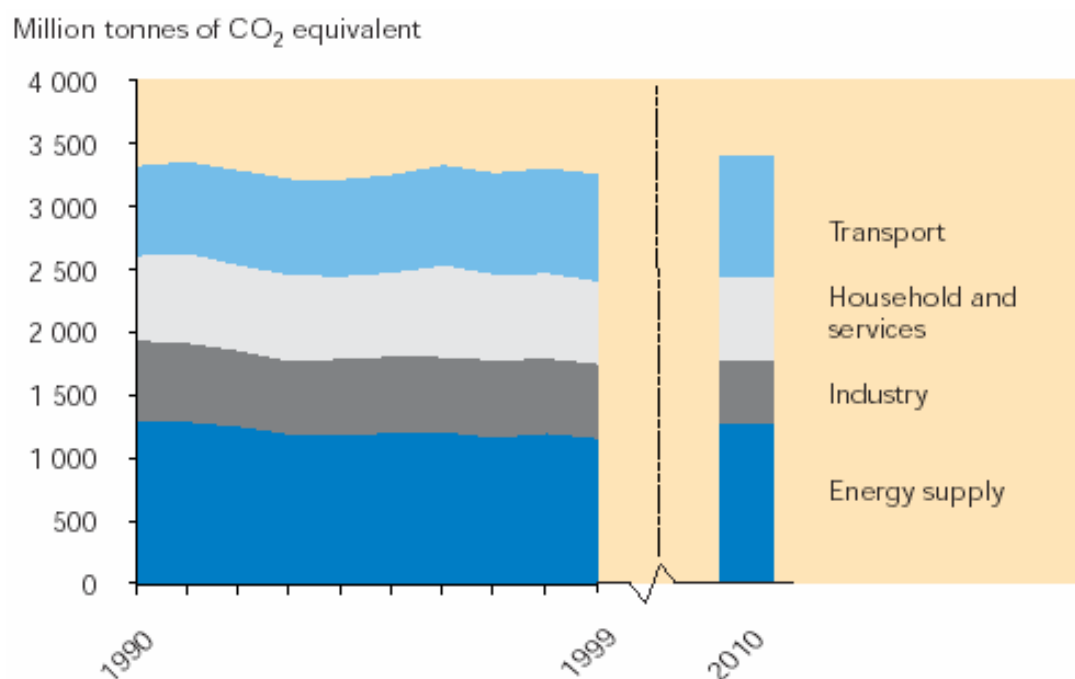
Μεταξύ 1990 και 1999, οι εκπομπές GHG από τον τομέα της ενέργειας μειώθηκαν κατά 9% παρά την αύξηση στην ενεργειακή ζήτηση κατά 23%. Η κύρια συμβολή σε αυτό ήταν η μείωση κατά 8% στις εκπομπές του CO<sub>2</sub> από την ηλεκτροπαραγωγή (Σχήμα 4.7). Αυτό συνδέεται με την μεταστροφή από τον



Σχήμα 4.6: Μεταβολή στις συνολικές και τις σχετικές με την ενέργεια εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά το χρονικό διάστημα 1990-99 στην ΕΕ των 15 (European Environment Agency, 2002).

άνθρακα και το λιγνίτη στο φυσικό αέριο, την αυξανόμενη αποδοτικότητα στις συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και την επέκταση της ηλεκτρικής παραγωγής από τις πυρηνικές και ανανεώσιμες πηγές. Ένα μεγάλο μέρος της μείωσης επιτεύχθηκε στη Γερμανία, κυρίως από το κλείσιμο των -χαμηλής αποδοτικότητας- εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας λιγνίτη, ειδικότερα στην πρώην Ανατολική Γερμανία, και στη Μεγάλη Βρετανία κυρίως από τη μεταστροφή από τον άνθρακα στο φυσικό αέριο (European Environment Agency, 2002).

Κοιτάζοντας πέρα από το 2010, υπάρχει μια προστιθέμενη πιθανότητα για την αύξηση των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών με τη μείωση της ηλεκτροπαραγωγής από την πυρηνική ενέργεια εάν αντικατασταθεί αυτή από συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος (European Environment Agency, 2002).



Σχήμα 4.7: Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από την ηλεκτροπαραγωγή (European Environment Agency, 2002).

### 4.3.2 Εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) στην ΕΕ

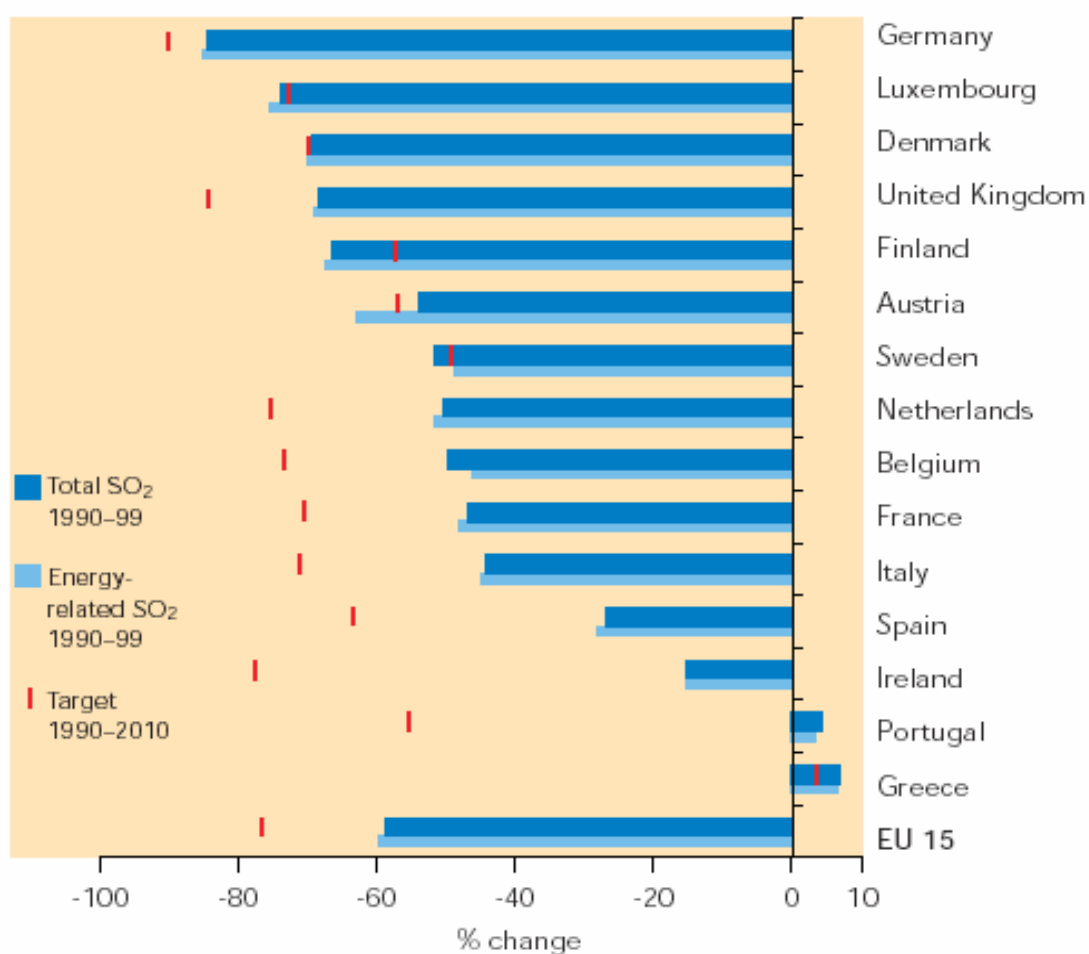
Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) παράγεται από την οξείδωση του θείου που βρίσκεται κυρίως στον άνθρακα, το λιγνίτη και τα πετρέλαια καύσιμα. Μαζί με τα οξείδια του αζώτου είναι η κύρια σχετική με την ενέργεια αιτία της όξινης απόθεσης με συνέπεια την υποβάθμιση του εδάφους και της ποιότητας του νερού, καθώς και την καταστροφή της βλάστησης και των οικοσυστημάτων. Η όξινη απόθεση βλάπτει επίσης τα κτήρια, ενώ συνδέεται με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) προκαλεί επίσης άμεσα δυσμενή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία (European Environment Agency, 2002).

Περισσότερο από το 90% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), το 1999, προέρχεται από την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας, και το 51% από την παραγωγή ενέργειας (Πίνακας 4.8). Οι συνολικές εκπομπές έχουν μειωθεί κατά 59% μεταξύ 1990 και 1999, βάζοντας την ΕΕ στην πορεία για να επιτύχει τη μείωση 77% μέχρι το 2010 (σχετικά με το 1990) που έχει θέσει ως στόχο. Όσον αφορά τις συνολικές εκπομπές, τα περισσότερα κράτη μέλη βρίσκονται στην πορεία για να επιτύχουν τους στόχους τους (Σχήμα 4.9). Οι εξαιρέσεις είναι η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Ισπανία. Όλες οι ενεργειακές δραστηριότητες έχουν συμβάλει στη μείωση. Η παραγωγή ενέργειας μείωσε τις εκπομπές κατά 59% μεταξύ 1990 και 1999, ενθαρρυμένη από τις απαιτήσεις της οδηγίας της ΕΕ, αποτελώντας το 61% του συνόλου. Περισσότερη από τη μισή μείωση μπορεί να αποδοθεί στην εισαγωγή της αποθείωσης πετρελαίου (FGD) και της χρήσης χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο άνθρακα και πετρελαίου. Το υπόλοιπο οφείλεται κυρίως σε

Πίνακας 4.8: Εκπομπές (SO<sub>2</sub>) ανά τομέα (European Environment Agency, 2002)

SO <sub>2</sub> emissions by source (ktonnes)		
	1990	1999
Energy supply	10104	4132
Transport	828	469
Industrial energy use	3023	1221
Other energy use	1596	445
Non-energy sources	811	463
<i>Total</i>	16362	6730

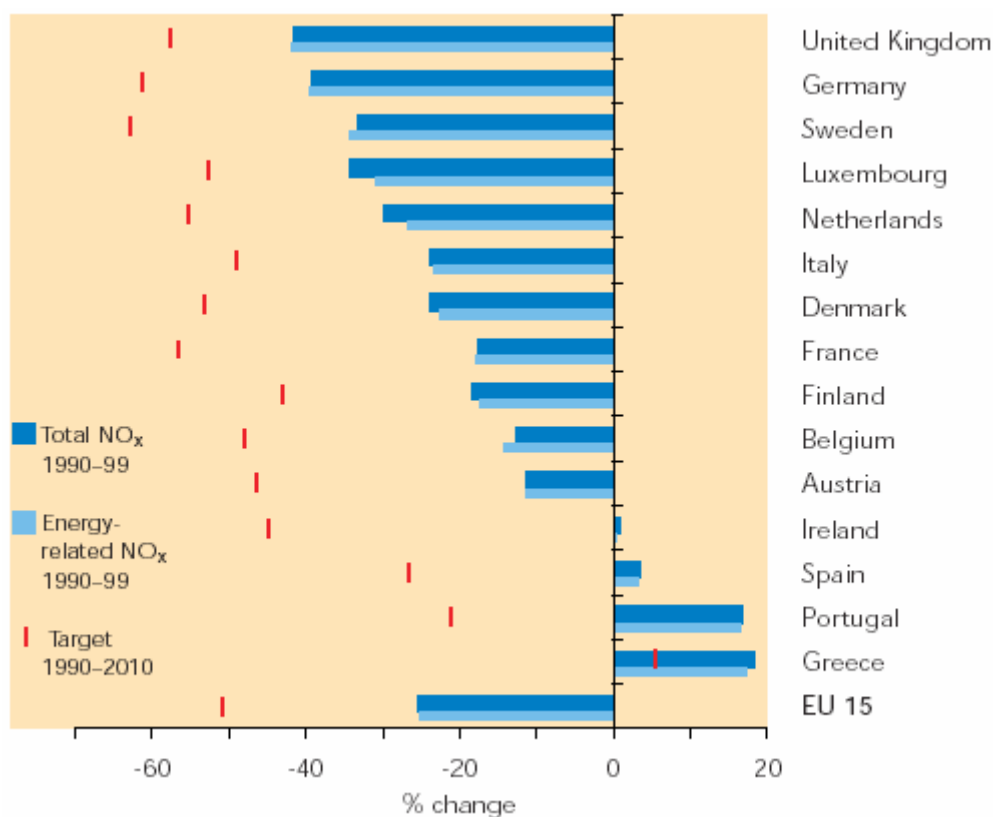
αλλαγές στην ηλεκτροπαραγωγή συμπεριλαμβανομένης της μεταστροφής στα καύσιμα (κυρίως από τον άνθρακα και το λιγνίτη προς το φυσικό αέριο), της βελτιωμένης αποδοτικότητας, και της αύξησης της παραγωγής από τις πυρηνικές και ανανεώσιμες πηγές (European Environment Agency, 2002).



Σχήμα 4.9: Μεταβολή των συνολικών και των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών SO<sub>2</sub> κατά το χρονικό διάστημα 1990-99 (European Environment Agency, 2002).

### 4.3.3 Εκπομπές οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) στην ΕΕ

Οι συνολικές εκπομπές οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) μειώθηκαν κατά 25% μεταξύ 1990 και 1999, το οποίο υπολείπεται της μείωσης 30% μέχρι το 2000 που στόχευε η ΕΕ. Εντούτοις, εάν η βελτίωση είναι συνεχής, ο στόχος για μια περικοπή των συνολικών εκπομπών κατά 51% (σχετικά με το 1990) μπορεί να επιτευχθεί ως το 2010. Η Γερμανία, η Ιταλία, το Λουξεμβούργο, οι Κάτω Χώρες, η Σουηδία και η Μεγάλη Βρετανία είναι αυτήν την περίοδο στη διαδρομή για να επιτύχουν τους στόχους τους, ενώ η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Ισπανία πρέπει να αντιστρέψουν τις αυξανόμενες τάσεις εκπομπής τους. Σε ολόκληρη την ΕΕ η μέγιστη μείωση προήλθε από τη μεταφορά, κυρίως λόγω της εισαγωγής των καταλυτικών μετατροπένων στα μηχανοκίνητα οχήματα. Η παραγωγή ενέργειας και η βιομηχανία μείωσαν επίσης τις εκπομπές τους, κατά 43% και 23% αντίστοιχα. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω ενός συνδυασμού μέτρων για τη χρήση της καλύτερης διαθέσιμης τεχνολογίας και της μεταστροφής από τον άνθρακα και το λιγνίτη στο φυσικό αέριο (European Environment Agency, 2002).

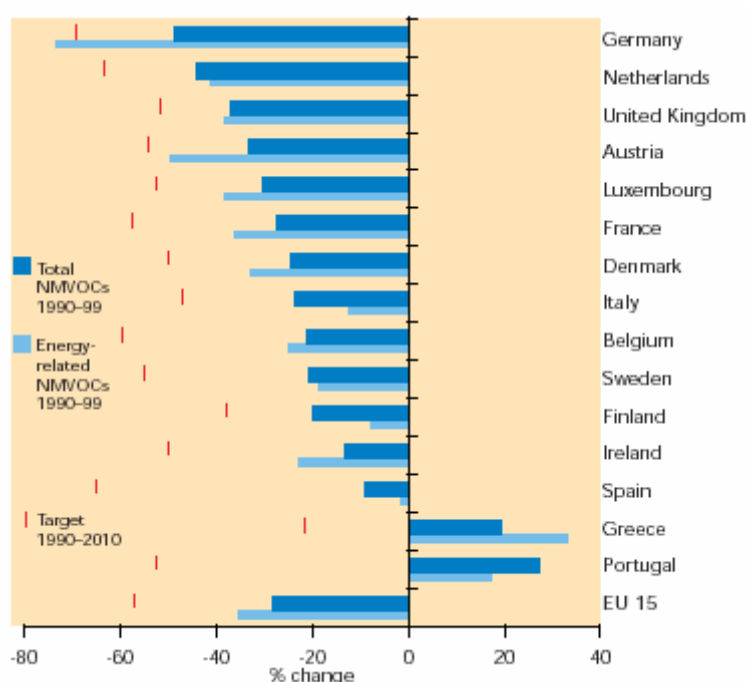


Σχήμα 4.10: Μεταβολή των συνολικών και των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών  $\text{NO}_x$  κατά το χρονικό διάστημα 1990-99 (European Environment Agency, 2002).

#### 4.3.4 Εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου (NMVOCs) στην ΕΕ

Οι πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός του μεθανίου (NMVOCs) αντιδρούν στην ατμόσφαιρα με τα οξείδια του αζώτου παρουσία του ηλιακού φωτός δημιουργώντας όζον. Το όζον που διαμορφώνεται με τέτοιες διαδικασίες έχει δυσμενείς συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία καθώς επίσης και για την βλάστηση (European Environment Agency, 2002).

Οι συνολικές εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων εκτός του μεθανίου (NMVOCs) της ΕΕ μειώθηκαν κατά 28% μεταξύ 1990 και 1999, το οποίο υπολείπεται του στόχου μείωσης 30% για το 1999. Εντούτοις, οι σχετικές με την ενέργεια εκπομπές μειώθηκαν κατά 35% (Σχήμα 4.11). Η ΕΕ έχει θέσει έναν στόχο για μια μείωση 60% στις συνολικές εκπομπές έως το 2010. Η Πορτογαλία και η Ελλάδα αύξησαν τις εκπομπές κατά τη διάρκεια της περιόδου του 1990 ως του 1999. Η μέγιστη μείωση προήλθε από τη μεταφορά (38 %), κυρίως λόγω της εισαγωγής των καταλυτικών μετατροπών στα οχήματα (European Environment Agency, 2002).



Σχήμα 4.11: Μεταβολή των συνολικών και των σχετικών με την ενέργεια εκπομπών NMVOCs κατά το χρονικό διάστημα 1990-99 (European Environment Agency, 2002).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### **ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

#### **5.1 Διαμόρφωση ενεργειακών μοντέλων**

##### **5.1.1 Εισαγωγή**

Ένας σημαντικός στόχος της διαμόρφωσης ενεργειακών μοντέλων είναι να δημιουργηθούν τα εργαλεία για την υποστήριξη απόφασης στον ενεργειακό προγραμματισμό και τη χάραξη πολιτικής. Τα ενεργειακά πρότυπα είναι γενικευμένες περιγραφές των φυσικών ενεργειακών συστημάτων. Ανάλογα με το σκοπό της διαμόρφωσης, το επίπεδο των λεπτομερειών που απαιτείται και τις υποθέσεις που γίνονται, τα στοιχεία ενός συστήματος μπορούν να διαμορφωθούν λαμβάνοντας υπόψη τα φυσικά χαρακτηριστικά και τα φαινόμενα καθώς επίσης και τις σύνθετες σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων των συστημάτων (International Energy Agency, 2000).

Η διαμόρφωση ενεργειακών μοντέλων παραμένει ακόμη η πιο βασική μέθοδος βοήθειας των σχεδιαστών ενέργειας. Τα ενεργειακά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν, να μιμηθούν και να αποκαλύψουν τα ζητήματα που έχουν σημασία σε ένα πλαίσιο απόφασης. Τέτοια εργαλεία βοηθούν διευκολύνοντας την κατανόηση του προβλήματος το οποίο έχει αναλυθεί. Παραδείγματος χάριν, τα μοντέλα μπορούν να αποκαλύψουν νέες πλευρές του προβλήματος ή των σχεδίων δράσης οι οποίες μπορεί να μην είναι ευδιάκριτες, επιτρέποντας τις αρχικές συνθήκες της ανάλυσης να ποικίλλουν. Η σύνθετη ανάλυση θα ήταν αδύνατη χωρίς τέτοια μοντέλα, λόγω του τρόπου με τον οποίο βοηθούν την επεξεργασία και διαμόρφωση πολλών δεδομένων (International Energy Agency, 2000).

Οι γνώσεις που αποκτούνται από τους λήπτες αποφάσεων κατά τη χρησιμοποίηση του μοντέλου πρέπει να είναι τουλάχιστον τόσο σημαντικές όσο και οι αριθμοί που παράγουν τα μοντέλα. Στην πραγματικότητα ένα μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για την υποστήριξη απόφασης μόνο εάν οι λήπτες το δέχονται ως σχετικό εργαλείο σε μια συγκεκριμένη κατάσταση απόφασης (International Energy Agency, 2000).

Η διαδικασία λήψης απόφασης στον προγραμματισμό ενέργειας μπορεί να είναι αρκετά σύνθετη, περιλαμβάνοντας πολλά επίπεδα απόφασης όπου τα προβλήματα μπορούν να διατυπωθούν με πολλούς τρόπους. Τα ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα είναι σύνθετες κατασκευές όπου διαφορετικοί ενεργειακοί μεταφορείς πρέπει να ανταγωνιστούν για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης της τελικής χρήσης. Στην ουσία υπάρχουν δύο κύριες διαστάσεις αυτού του «ανταγωνισμού» (International Energy Agency, 2000):

- Μια τεχνική διάσταση, όπου εξετάζοντας: 1) τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους σε μια περιοχή, 2) την πορεία της ζήτησης για τους διαφορετικούς ενεργειακούς τύπους τελικής χρήσης: ηλεκτρική ενέργεια, περιβαλλοντική θερμότητα, ζεστό νερό, ενέργεια για μαγείρεμα, κλπ, 3) τις διαθέσιμες τεχνολογίες για την μετατροπή ενέργειας, τη μεταφορά ή την αποθήκευση, αποφασίζει ποιες ενεργειακές τεχνολογίες και ποιες πορείες της ενεργειακής ροής να χρησιμοποιήσει.
- Μια διάσταση λήψης αποφάσεων, όπου εξετάζοντας: 1) τον οικονομικό αντίκτυπο στην κοινωνία (οφέλη, καταναλωτές, κλπ), 2) τον αντίκτυπο του ενεργειακού συστήματος στο περιβάλλον, και 3) τις πολιτικές και κοινωνικές επιπτώσεις κλπ, αποφασίζει ποια λύση ενεργειακής παροχής να υιοθετήσει.

Θεωρητικά, τα φυσικά (τεχνικά) συστήματα μπορούν να διαμορφωθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με τις ανάγκες για την υποστήριξη απόφασης. Ένα μοντέλο, μόλις κατασκευαστεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές καταστάσεις προγραμματισμού (εφαρμοσμένες σε διαφορετικά τοπικά συστήματα) ώστε να υποστηρίξει αποφάσεις σε διαφορετικά επίπεδα (λειτουργικά, τακτικά ή στρατηγικά). Τα ενεργειακά μοντέλα μπορούν να προσφέρουν πληροφορίες σχετικά με τα κόστη, τις ποσότητες εκπομπής, τις απώλειες κλπ. Αν και αυτά είναι βασικά κριτήρια σε οποιαδήποτε ανάλυση, σε πολλές πραγματικές καταστάσεις απόφασης, όπως έχει αποδειχθεί, οι τοπικοί σχεδιαστές υπολογίζουν πολλές άλλες πτυχές κατά τη λήψη των αποφάσεων. Αυτές, παραδείγματος χάριν, είναι οι απόψεις ομάδων τοπικού ενδιαφέροντος, η εθνική ενεργειακή πολιτική, οι κοινωνικές αξίες ή άλλα κριτήρια τα οποία δεν είναι προφανή ή απλά στο να υπολογιστούν. Κατά συνέπεια, είναι συχνά αλήθεια ότι το ενεργειακό μοντέλο παρέχει μόνο ένα μέρος της εικόνας σε μια κατάσταση απόφασης. Για μια καλύτερη υποστήριξη απόφασης, εκτός από την ενεργειακή διαμόρφωση, πρέπει να αφιερωθεί, αν είναι δυνατόν, συμπληρωματικός χρόνος και προσπάθεια στη διαδικασία μελέτης και διαμόρφωσης τέτοιων ζητημάτων (International Energy Agency, 2000).



### 5.1.2 Σύντομη ανασκόπηση των ενεργειακών μοντέλων

Η ανάπτυξη των ενεργειακών μοντέλων άρχισε πριν 40 - 50 χρόνια σε απάντηση στα σοβαρά ενεργειακά προβλήματα. Ο σκοπός για την ανάπτυξη μοντέλων και την εφαρμογή τους έχει αλλάξει κατά τη διάρκεια των ετών ώστε να απεικονίσει το συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον για τη λήψη απόφασης. Τα ενεργειακά μοντέλα που αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του '60 εστιάστηκαν κυρίως στην προσφορά και τη ζήτηση για μια μόνο μορφή ενέργειας ή καύσιμο, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το πετρέλαιο ή το φυσικό αέριο. Κατόπιν, αυτά τα μοντέλα δεν ήταν πλέον χρήσιμα στην αρχή της δεκαετίας του '70, κατά τη διάρκεια της πρώτης πετρελαϊκής κρίσης, επειδή δεν έγινε εφικτό να περιγραφούν επαρκώς οι εσωτερικές αντικαταστάσεις των καυσίμων που σχετίζονται με τις αλλαγές στις τιμές ενέργειας, την τεχνολογική ανάπτυξη ή τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις σχετικά με την ενεργειακή χρήση. Από τότε, αναπτύχθηκε η ολοκληρωμένη ενεργειακή διαμόρφωση για να λύσει εθνικά (ακόμα και διεθνή) ή περιφερειακά ενεργειακά προβλήματα (Brans et al., 1986).

Οι δικτυακές αναπαραστάσεις χρησιμοποιούνται συνήθως για να υπολογίσουν την ενεργειακή ισορροπία και τις ροές από τους αρχικούς πόρους ενέργειας μέσω της διαδικασίας μετατροπής των διάφορων καυσίμων και των μορφών ενέργειας για την τελική χρήση. Δεν υπάρχει καμία διαθέσιμη πληροφορία για το πόσα μοντέλα ενέργειας έχουν αναπτυχθεί μέχρι τώρα, αν και υπάρχουν διαφορετικές ταξινομήσεις. Τα μοντέλα ενεργειακών συστημάτων μπορούν να διακριθούν από το επίπεδο της λεπτομέρειας τους στη διαμόρφωση του συστήματος και των συστατικών του, καθώς επίσης και από τη χωρική και χρονική αναλυτικότητα τους (Brans et al., 1986).

Στα υψηλώς συναθροισμένα μακροοικονομικά μοντέλα (top-down models), το ενεργειακό σύστημα αναπαριστάται με πολύ λίγη λεπτομέρεια - λίγο πολύ ως ένα μαύρο κουτί. Αυτά τα μοντέλα μπορεί να είναι οικονομετρικά ή παραμετρικά και χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις σχέσεις και τις συμπράξεις μεταξύ του τομέα της ενέργειας και άλλων τομέων της οικονομίας. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην διαμόρφωση ενεργειακής πολιτικής, προβλέποντας τις μελλοντικές εξελίξεις της αγοράς μέσω των ιστορικών αλληλεπιδράσεων ενέργειας-οικονομίας και της αντίδρασης των καταναλωτών στις αλλαγές των τιμών (Bakken and Holen, 2004).

Η έννοια της διαμόρφωσης ενεργειακών μοντέλων εξελίσσεται συνεχώς, καθώς πολλά από τα υπάρχοντα μοντέλα έχουν βελτιωθεί ή νέα μοντέλα έχουν δημιουργηθεί. Έχουν παρατηρηθεί δύο κύριες κατευθύνσεις βελτίωσης. Η πρώτη

συνιστά την ανάπτυξη μοντέλων που να μπορούν να προσαρμόσουν περισσότερες λεπτομέρειες στην περιγραφή του ενεργειακού συστήματος, όπως για παράδειγμα στην αναπαράσταση (Bakken and Holen, 2004):

- των διαφορετικών τεχνολογιών για τη μετατροπή, τη μεταφορά, την αποθήκευση και τη διανομή της ενέργειας - συμπεριλαμβανομένων των μοντέλων για τις νέες, επερχόμενες τεχνολογίες,
- της ζήτησης και της προμήθειας ενέργειας στο επίπεδο των ωριαίων προβλέψεων, και
- των σχετικά με την αγορά ζητημάτων: τρέχουσες τιμές, ωριαίες αγορασμένες ποσότητες κλπ.

Επίσης, έχουν παρατηρηθεί βελτιώσεις στην χρησιμοποίηση αυτών των μοντέλων καθώς σήμερα η τάση προσπάθει να δημιουργηθούν εργαλεία τα οποία να μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο από τους υπεύθυνους για την ανάπτυξή τους αλλά και από τους σχεδιαστές. Αυτό έχει επιτευχθεί μέσω πιο ξεκάθαρων, κατανοητών και εύκολων στη χρήση διαδικασιών βελτιστοποίησης, και καλύτερης αναπαράστασης των αποτελεσμάτων μέσω επεξηγηματικών γραφικών user interface (είναι το μέρος εκείνο του λογισμικού που έχει να κάνει με την παρουσίαση του στην οθόνη και το πόσο εύκολα λειτουργεί) (Bakken and Holen, 2004).

### 5.1.3 Η επιστήμη της ανάλυσης αποφάσεων

Για αιώνες οι φιλοσοφικές ή οι μαθηματικές θεωρίες επικεντρώθηκαν σε διαφορετικές εξηγήσεις σχετικά με τον συλλογισμό πριν από τη λήψη απόφασης και την αποδοχή των συνεπειών της. Παραδείγματος χάριν, η επιστήμη του υπολογισμού των πιθανοτήτων προέκυψε ως μια προσπάθεια να καθοριστούν τα εργαλεία μέσω των οποίων τα απρόβλεπτα της ζωής και της ανθρώπινης συμπεριφοράς θα μπορούσαν να εξηγηθούν χρησιμοποιώντας μαθηματικές έννοιες. Οι επιστήμονες θεώρησαν ότι το μυστήριο πίσω από την ανθρώπινη σκέψη και την λήψη αποφάσεων θα μπορούσε να γίνει κατανοητό μέσω μιας επιστημονικής ανάλυσης. Κατά συνέπεια ο τομέας των κοινωνικών μαθηματικών σύγκλινε σε ένα σύνολο μεθόδων και τεχνικών για την λήψη λογικών αποφάσεων. Οι κοινωνικές και πολιτικές επιστήμες είναι μεταξύ των πρώτων πεδίων όπου έχουν εφαρμοστεί αυτές οι τεχνικές. Εν συνεχεία, μετά τον 2<sup>ο</sup> Παγκόσμιο Πόλεμο η επιστήμη της λογικής των αποφάσεων μετονομάστηκε σε Επιστήμη Διοίκησης (Management Science) με δυο

κύρια μέρη: Επιχειρησιακή Έρευνα OR (Operational Research) και Ανάλυση Αποφάσεων DA (Decision Aid) (Belton and Stewart, 2002).

Οι έννοιες Επιχειρησιακή Έρευνα και Ανάλυση Αποφάσεων έχουν συζητηθεί εκτενώς από το Roy στην αναζήτησή του να καθιερώσει την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα των μεθόδων των μοντέλων και τις διαδικασίες σχετικών με αυτόν τον τομέα. Ο Roy χρησιμοποιεί έναν ορισμό των Miller και Starr οι οποίοι το 1969 όρισαν την OR ως εξής: «εφαρμοσμένη θεωρία απόφασης η οποία απαιτεί την χρήση επιστημονικών, μαθηματικών ή λογικών μέσων για να κατασκευασθούν και να επιλυθούν τα προβλήματα απόφασης. Η κατασκευή ενός επαρκούς μοντέλου απόφασης είναι κρίσιμη». Η DA ορίζεται ως «η δραστηριότητα κάποιου ο οποίος, με μέσα που αποκαλούνται επιστημονικά, βοηθά στην λήψη στοιχείων από απαντήσεις σε ερωτήματα που θέτονται από αυτούς που ενεργούν σε μια διαδικασία λήψης αποφάσεων. Στοιχεία που βοηθούν στην διευκρίνιση της απόφασης προκειμένου να προσφέρουν τους ευνοϊκότερους πιθανούς όρους για εκείνο τον τύπο συμπεριφοράς που θα αυξήσει αφ' ενός τη συνοχή μεταξύ της εξέλιξης της διαδικασίας, και αφετέρου, τους στόχους ή/και τα συστήματα αξιών μέσα στα οποία λειτουργούν» (Belton and Stewart, 2002).

Περισσότερο από σαράντα χρόνια πριν, προέκυψε μια νέα επιστήμη ως αποτέλεσμα της ανάγκης για τυποποιημένες μεθόδους που θα υποστηρίξουν την λήψη απόφασης με πολλαπλά κριτήρια. Αυτή η επιστήμη ονομάζεται Πολυκριτήρια Εξαγωγή Αποφάσεων MCDM (Multiple Criteria Decision Making) ή Πολυκριτήρια Εξαγωγή Αποφάσεων MCDA (Multiple Criteria Decision Aid). Δεν υπάρχει καμία σαφής διάκριση μεταξύ των διαφορετικών όρων που χρησιμοποιούν οι επιστήμονες όταν αναφέρονται σε αυτήν την επιστήμη. Κατά το πέρασμα του χρόνου, προέκυψε ένας αριθμός διαφορετικών σχολών, κάθε μια από τις οποίες χρησιμοποιεί διαφορετική ονοματολογία (Belton and Stewart, 2002).

Η Πολυκριτήρια Ανάλυση έχει ως αντικείμενο την παροχή εργαλείων τα οποία και θα επιτρέψουν την επίλυση ενός προβλήματος απόφασης στο οποίο πολλές - και συχνά ανταγωνιστικές - θέσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η παραπάνω διατύπωση του πολυκριτήριου προβλήματος απόφασης καταρρίπτει την έννοια του μοντέλου της 'καλύτερης απόφασης' το οποίο και απαντάται στις κλασικές μεθόδους της Επιχειρησιακής Έρευνας και του Γραμμικού Προγραμματισμού. Στην Πολυκριτήρια Ανάλυση η 'καλύτερη απόφαση' απλά δεν υπάρχει. Πιο συγκεκριμένα (Roy, 1990), η επίλυση ενός πολυκριτήριου προβλήματος δεν συνίσταται στην εύρεση κάποιας κρυμμένης αλήθειας παρά στην βοήθεια που παρέχεται στον ενδιαφερόμενο να αξιοποιήσει τα δεδομένα του και να κινηθεί προς μια λύση. Η λύση αυτή είναι περισσότερο συμβιβαστική και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι

συνθήκες κάτω από τις οποίες διεξάγεται η διαδικασία ή η μέθοδος που εφαρμόζεται (Roy, 1993).

Η ανάπτυξη της Πολυκριτήριας Ανάλυσης βασίστηκε σε πραγματικά προβλήματα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθώρας μεθόδων οι οποίες οι οποίες δεν βασίζονται σε κοινό θεωρητικό πλαίσιο. Η MCDA είναι περισσότερο μια διαδικασία η οποία αρχίζει με τον προσδιορισμό του προβλήματος και της μεθόδου των πολλαπλών κριτηρίων που ταιριάζει καλύτερα στο πρόβλημα, και τελειώνει με την αξιολόγηση, την ερμηνεία και την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων (Roy, 1993).

## **5.2 Περιγραφή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης / λήψης αποφάσεων**

### **5.2.1 Γενικά**

Η διαμόρφωση ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής πολιτικής για την παραγωγή και την διαχείριση ενέργειας και ειδικότερα η επιλογή του βέλτιστου συστήματος παραγωγής αποτελεί μια πολύπλοκη διαδικασία, δεδομένου ότι (Hobbs and Meier, 2000):

- Ο αριθμός των διαθέσιμων εναλλακτικών τεχνολογιών είναι στις περισσότερες περιπτώσεις μεγάλος. Για το λόγο αυτό, ο προγραμματισμός δράσεων διαχείρισης και η εφαρμογή αντίστοιχων συστημάτων πρέπει να συμπεριλαμβάνει στη διαδικασία επιλογής όλες τις τεχνικά εφικτές λύσεις.
- Κάθε σύστημα παραγωγής παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά κλπ. Επομένως απαιτείται η συγκριτική αξιολόγηση να γίνεται με όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστη και επιστημονικά τεκμηριωμένη προσέγγιση
- Η καταλληλότητα κάθε συστήματος παραγωγής εξαρτάται από τις τοπικές ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, οι οποίες θέτουν ένα σύνολο φυσικών και τεχνικών περιορισμών.

Ο συνδυασμός των παραπάνω αναφερόμενων παραμέτρων δημιουργεί ένα περίπλοκο πρόβλημα, το οποίο για την αντιμετώπισή του χρειάζεται το συσχετισμό μιας σειράς από δεδομένα, γνώμες ειδικών, εμπειρική γνώση και εμπειρικούς κανόνες. Επιπλέον, η τελική επιλογή του καταλληλότερου συστήματος παραγωγής μεταξύ εναλλακτικών λύσεων - σεναρίων απαιτεί συνεξέταση και αξιολόγηση πολλών αντικρουόμενων παραμέτρων (Hobbs and Meier, 2000).

Προκειμένου δηλαδή να επιτευχθεί η αξιολόγηση των διαφόρων προτεινόμενων λύσεων, δεν επαρκεί η σύγκριση μιας κρίσιμης παραμέτρου, αλλά απαιτείται η ανάλυση και βαθμολόγηση μιας σειράς κριτηρίων. Τα κριτήρια αυτά είναι κοινά για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια και η σπουδαιότητά τους για την επίλυση του συγκεκριμένου κάθε φορά προβλήματος χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένο συντελεστή βαρύτητας. Η επιλογή επαρκούς αριθμού κατάλληλων και αντιπροσωπευτικών κριτηρίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξαγωγή των βέλτιστων συμπερασμάτων (Hobbs and Meier, 2000).

### 5.2.2 Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης

Η πολυκριτηριακή ανάλυση μπορεί να ορισθεί ως μία συστηματική και μαθηματικά τυποποιημένη προσπάθεια επίλυσης προβλημάτων που προκύπτουν από αντικρουόμενους στόχους. Η ικανοποίηση των στόχων αυτών δεν μπορεί να είναι πλήρης. Οι διαθέσιμες επιλογές σε ένα τέτοιο πρόβλημα παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους - αλλά ποτέ ως προς όλους - τους στόχους, γιατί τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης: η επιλογή που θα ικανοποιούσε μια τέτοια συνθήκη θα ήταν η άριστη. Είναι αναγκαίος λοιπόν ένας συμβιβασμός μεταξύ των αλληλοσυγκρουόμενων στόχων. Πρέπει δηλαδή ο υπεύθυνος για τη λήψη της απόφασης να επιλέξει τον ή τους στόχους, τους οποίους επιθυμεί να μεγιστοποιήσει, καθώς και τις αντισταθμιστικές απώλειες που είναι διατεθειμένος να αποδεχθεί ως προς τους υπόλοιπους στόχους. Η έννοια του συμβιβασμού και κατ' επέκταση της συμβιβαστικής λύσης - σε αντιδιαστολή προς την άριστη λύση - δηλώνει το χαρακτήρα των αποφάσεων - λύσεων, που αναζητούνται στα πολυκριτηριακά προβλήματα. Οι λύσεις αυτές είναι άριστες μόνο κατά την άποψη του ατόμου που αποφασίζει για την επιλογή (Roy, 1989).

Η επιστημονική περιοχή της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει κατ' αρχήν ένα θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο αναπτύσσεται η βασική λογική για την προσέγγιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Ακόμη προσδιορίζονται τα κύρια δομικά στοιχεία του προβλήματος και αναλύονται οι βασικές τους ιδιότητες. Με βάση αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών, κατάλληλων για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων που προκύπτουν στην πράξη. Αν και η ταξινόμηση των τεχνικών αυτών σε ιδιαίτερες κατηγορίες δεν είναι αυστηρή, διακρίνονται τρεις βασικές ομάδες μεθόδων (Roy, 1989):

- Πολυκριτηριακή ιεράρχηση επιλογών
- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας

Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο πρώτες κατηγορίες είναι το είδος του συνόλου των επιλογών. Συγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία εφαρμόζεται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών, ενώ η δεύτερη σε προβλήματα με συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών, στα οποία κατ' αναλογία με τα προβλήματα γραμμικού μονοκριτηριακού προγραμματισμού, οι μεταβλητές απόφασης μπορεί να παίρνουν οποιαδήποτε τιμή εντός ενός καθορισμένου πεδίου. Τέλος, η τρίτη κατηγορία μεθόδων εφαρμόζεται και σε συνεχές και σε διακριτό σύνολο επιλογών και στηρίζεται στη λογική της αναγωγής του πολυκριτηριακού σε μονοκριτηριακό πρόβλημα μέσω του προσδιορισμού μιας

συνολικής συνάρτησης χρησιμότητας που συνθέτει τις επιμέρους (ανά κριτήριο) προτιμήσεις του αποφασίζοντα σε ένα ενιαίο μέτρο με βάση το οποίο προχωράει στη λήψη της απόφασης (Roy, 1989).

Όσον αφορά στην ταυτοποίηση προβλημάτων πολυκριτηριακής ανάλυσης επισημαίνεται το εξής: Κάθε πρόβλημα προσδιορίζεται από ορισμένα δομικά χαρακτηριστικά, που απορρέουν είτε από την ίδια τη φύση του προβλήματος είτε από τις απόψεις και τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα. Η ταυτοποίηση του αντικείμενου της πολυκριτηριακής ανάλυσης ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελεί ένα πρώτο στάδιο της αναλυτικής διαδικασίας, που διευκολύνει την κατανόηση του προβλήματος και επιτρέπει την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επίλυσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται (Roy, 1989):

Στο στάδιο δόμησης του προβλήματος:

- καθορισμός του προβλήματος και επιλογή των πιθανών εναλλακτικών σεναρίων,
- επιλογή των κριτηρίων,
- μέτρηση των επιδόσεων και ταξινόμηση των κριτηρίων,
- εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου,
- δημιουργία του μοντέλου αξιολόγησης,
- καθορισμός των πιθανών περιοριστικών παραμέτρων ανάλογα με το αντικείμενο του εξεταζόμενου προβλήματος,
- τελική ταξινόμηση των εξεταζόμενων σεναρίων κατά σειρά βαθμολογίας με βάση τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που θα επιλεγεί (το σενάριο με την υψηλότερη βαθμολογία αντιστοιχεί στην ευνοϊκότερη περίπτωση).

Στο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

- ανάλυση ευαισθησίας της λύσης,
- προσδιορισμός της σύγκρουσης των κριτηρίων.
- Το μαθηματικό μοντέλο υποβοηθά τον αποφασίζοντα στην αναζήτηση της βέλτιστης λύσης και στην καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας και των συνεπειών της απόφασής του.

Ορισμένα χαρακτηριστικά σημεία που πρέπει να αναφερθούν σε σχέση με το πρόβλημα είναι τα εξής (Roy, 1989):

1. Τα βασικά στοιχεία του προβλήματος είναι η μήτρα αξιολόγησης που περιλαμβάνει ένα σύνολο διακριτών επιλογών, ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης και την επίδοση της κάθε επιλογής στο αντίστοιχο κριτήριο και το

σύστημα προτιμήσεων του αποφασίζοντα που εμπεριέχει τη σχετική βαρύτητα των κριτηρίων, την κατεύθυνση προτίμησης των επιδόσεων (ελάχιστο ή μέγιστο) και τα όρια ανοχής.

2. Το ζητούμενο από την επίλυση του προβλήματος είναι: ο προσδιορισμός της σχετικά βέλτιστης λύσης, η ιεράρχηση του συνόλου των λύσεων και η ταξινόμηση των λύσεων σε ομάδες.
3. Η μέθοδος επίλυσης του προβλήματος :
  - μέθοδοι σύνθεσης των επιδόσεων: αναγωγή σε μονοκριτηριακό πρόβλημα, όπου το ένα κριτήριο εκφράζει τη συνολική χρησιμότητα της επιλογής,
  - μέθοδοι ιεράρχησης των επιλογών: δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε κριτήριο και διατύπωση σχέσεων επικράτησης.

### 5.2.3 Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας

Ο βαθμός σπουδαιότητας των εφαρμοζόμενων κριτηρίων για την αξιολόγηση των διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων καθορίζεται από το συντελεστή βαρύτητας που αποδίδεται στα κριτήρια αυτά. Ανάλογα με την περίπτωση, χρησιμοποιούνται είτε άμεσοι συντελεστές βαρύτητας είτε έμμεσοι. Οι άμεσοι συντελεστές βαρύτητας χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που ο αριθμός των κριτηρίων είναι μικρός και είναι δυνατή η επιλογή συντελεστών βαρύτητας. Οι έμμεσοι συντελεστές βαρύτητας προσδιορίζονται με την ταξινόμηση των κριτηρίων κατά σειρά σπουδαιότητας, την απόδοση ενός συνολικού συντελεστή βαρύτητας ή ενός μέγιστου συντελεστή βαρύτητας και στη συνέχεια τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας σε σχέση με το άθροισμα όλων των συντελεστών βαρύτητας ή σε σχέση με το μεγαλύτερο συντελεστή. Επιπλέον, είναι δυνατή η χρήση κριτηρίων, στα οποία δεν έχει αποδοθεί συντελεστής βαρύτητας (Brans and Vincke, 1985).

Οι συντελεστές βαρύτητας αντικατοπτρίζουν το σύστημα αξιών και προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Δηλαδή, ο προσδιορισμός της σπουδαιότητας του κάθε κριτηρίου βασίζεται στην ιδιαίτερη σημασία που δίνουν οι ενδιαφερόμενοι φορείς για κάθε κριτήριο. Συνεπώς, ανάλογα με το είδος του προβλήματος είναι δυνατό να παρουσιάζουν μεγαλύτερη σημασία για τους ενδιαφερόμενους φορείς τα περιβαλλοντικά κριτήρια σε σχέση με τα οικονομικά ή και το αντίστροφο. Έτσι, για τον προσδιορισμό των συντελεστών βαρύτητας απαιτείται η προσεκτική ιεραρχική ταξινόμηση των διαφόρων κριτηρίων από τους ενδιαφερόμενους φορείς (Brans and Vincke, 1985).



### 5.2.4 Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου

Έχει αναπτυχθεί μεγάλος αριθμός μεθόδων και υπολογιστικών προγραμμάτων, τα οποία είναι δυνατό να προσδιορίσουν το βέλτιστο σενάριο για κάθε διαχειριστικό πρόβλημα. Οι μέθοδοι αυτές βασίζονται στην εκτίμηση της συνολικής απόδοσης ενός σεναρίου με βάση τις επιμέρους επιδόσεις σε κάθε κριτήριο και μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής (Brans and Vincke, 1985):

1. Υπολογισμός της συνολικής προτίμησης για κάθε σενάριο. Στην περίπτωση αυτή, η επιλογή του βέλτιστου σεναρίου βασίζεται στην επιλογή του σεναρίου, που παρουσιάζει την υψηλότερη βαθμολογία ανεξάρτητα από τα επιμέρους κριτήρια.
2. Προσέγγιση της προτίμησης ενός σεναρίου σε σχέση με ένα άλλο, η οποία βασίζεται στη δοκιμή της υπόθεσης, ότι ένα σενάριο (α) είναι καλύτερο από ένα σενάριο (β), εφόσον το σενάριο (α) είναι τουλάχιστον τόσο καλό (ή όχι χειρότερο) από το σενάριο (β). Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στη δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε μεμονωμένο κριτήριο. Στην περίπτωση αυτή, πριν τη συγκριτική ταξινόμηση των κριτηρίων ανάλογα με τη βαθμολογία τους τίθενται κάποιοι περιοριστικοί όροι, οι οποίοι εκφράζουν την προτίμηση σε κάποια κριτήρια σε σχέση με άλλα. Με τη χρήση της μεθόδου αυτής η εύρεση του βέλτιστου σεναρίου βασίζεται εν μέρει στον προσδιορισμό της συνολικής βαθμολογίας για κάθε σενάριο και περισσότερο στη σύγκριση μεταξύ των επιμέρους σεναρίων.
3. Διαδραστική προσέγγιση, όπου τα μοντέλα, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του βέλτιστου σεναρίου, βασίζονται σε επαναληπτικές μεθόδους.

### 5.2.5 Σύστημα λήψης αποφάσεων με χρήση αθροιστικής συνάρτησης ομάδων κριτηρίων

Σ' αυτό το σύστημα της πολυκριτηριακής ανάλυσης η συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων ακολουθεί τα εξής στάδια (Brans, et al., 1986):

- Πρώτο Στάδιο: Αρχικά, γίνεται η επιλογή των κριτηρίων, τα οποία θα πρέπει να καλύπτουν όλες τις πλευρές του εξεταζόμενου προβλήματος και να μπορούν να βαθμολογηθούν σε κατάλληλη κλίμακα. Μετά, ακολουθεί η ταξινόμηση των κριτηρίων σε ομάδες. Καθεμιά από αυτές τις ομάδες χαρακτηρίζεται από ένα συντελεστή βαρύτητας, που δηλώνει το "βάρος" της στο κάθε σενάριο και

προσδιορίζεται μετά από συζητήσεις με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, λαμβάνοντας υπόψη και δεδομένα ανάλογων περιπτώσεων. Το άθροισμα των συντελεστών αυτών θα πρέπει να είναι ίσο με 100%. Κατόπιν, βάσει των παραπάνω προκύπτει η αντίστοιχη αθροιστική συνάρτηση, η οποία θα έχει τη μορφή:

$$F(O) = \sum A_i * O_i$$

όπου:

$O_i$  είναι οι επιμέρους ομάδες κριτηρίων

$A_i$  είναι ο συντελεστής βαρύτητας κάθε μίας από τις ομάδες κριτηρίων  $O_i$  και το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας πρέπει να ισούται με 1 (100%),  $\sum A_i = 1$

- Δεύτερο Στάδιο: Οι ομάδες κριτηρίων αναλύονται στα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης, για τα οποία επίσης καθορίζεται η σχετική σπουδαιότητά τους μέσα στην ομάδα κριτηρίων με τη βοήθεια κατάλληλων συντελεστών βαρύτητας. Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας των επιμέρους κριτηρίων μέσα σε κάθε ομάδα είναι επίσης 100%.
- Τρίτο Στάδιο: Πραγματοποιείται ανάλυση όλων των εναλλακτικών χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους κριτηρίου τα οποία στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται βάσει κλίμακας 1-10, όπου οι μικρότερες τιμές αφορούν στις δυσμενέστερες αποδόσεις των χαρακτηριστικών του κριτηρίου και οι μεγαλύτερες τιμές στις ευνοϊκότερες (καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό όλες τις πιθανές περιπτώσεις).
- Τέταρτο Στάδιο: Αρχικά γίνεται αποτύπωση των χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους κριτηρίου για κάθε εναλλακτικό σενάριο και αφού γίνει σύγκριση τους με την κλίμακα που αναπτύσσεται στο τρίτο στάδιο, λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή απόδοσης σε κλίμακα από 1 –10. Στη συνέχεια, οι τιμές που προκύπτουν, πολλαπλασιάζονται με το σχετικό συντελεστή βαρύτητας που έχει καθένα από τα κριτήρια σε κάθε ομάδα. Ακολούθως, προστίθενται τα αντίστοιχα γινόμενα για την κάθε ομάδα και με τον τρόπο αυτό ποσοτικοποιείται κάθε ομάδα κριτηρίων. Μετά, ο βαθμός κάθε ομάδας πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητάς της, κι έτσι προκύπτει μέσω της αθροιστικής συνάρτησης ένα μέτρο της συνολικής αποτελεσματικότητας κάθε επιλογής. Με βάση τη βαθμολογία αυτή γίνεται κατάταξη των εναλλακτικών σεναρίων, με ευνοϊκότερο, αυτό που έχει την υψηλότερη επίδοση.

### 5.2.6 Σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο (Προσέγγιση σχέσεων υπεροχής)

Η προσέγγιση των σχέσεων υπεροχής (Outranking approaches) βασίζεται στην ανά ζεύγη σύγκριση των επιλογών σε κάθε μεμονωμένο κριτήριο με βάση τις επιδόσεις τους και τις ενδοκριτηριακές προτιμήσεις του αποφασίζοντα, όπως αυτές εκφράζονται με τα κατώφλια αδιαφορίας ή/και προτίμησης. Χαρακτηριστικό των μεθόδων υπεροχής είναι ότι η σύγκριση γίνεται στην αρχική κλίμακα μέτρησης των επιδόσεων (ποσοτική ή ποιοτική) χωρίς αναγωγή στο διάστημα  $[0,1]$ . Ο δείκτης που προκύπτει από την ανά κριτήριο σύγκριση συντίθεται στη συνέχεια σε ένα συνολικό δυαδικό δείκτη λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων (Brans et al., 1986).

Οι δυαδικοί δείκτες χαρακτηρίζουν ζεύγη επιλογών  $(a, b)$  και προσδιορίζουν στο διάστημα  $[0,1]$  το βαθμό στον οποίο ισχύει η υπόθεση: «η λύση  $a$  είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο και η λύση  $b$ ». Ανάλογα με την μέθοδο και τον ακριβή τρόπο υπολογισμού τους, οι δείκτες αυτοί ονομάζονται δείκτες προτίμησης ή δείκτες συμφωνίας (ως προς την υπόθεση). Μια λύση  $a$  που εμφανίζει υψηλές τιμές δεικτών προτίμησης σε σχέση με τις υπόλοιπες εναλλακτικές λύσεις χαρακτηρίζεται από μία σχετική υπεροχή, ενώ αντίθετα άλλες λύσεις που δεν επιβεβαιώνουν την υπόθεση σε σημαντικό βαθμό, κρίνονται ως υποδεέστερες. Επομένως, το τελικό στάδιο στις μεθόδους υπεροχής είναι η επεξεργασία των δυαδικών δεικτών έτσι ώστε να προκύψουν σχέσεις υπεροχής και η τελική κατάταξη των εναλλακτικών λύσεων (Roy, 1993).

Αυτό που διαφοροποιεί τις μεθόδους υπεροχής από τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης αθροιστικής συνάρτησης, είναι ότι το μέτρο χαρακτηρισμού και αξιολόγησης των λύσεων δεν είναι μία συνολική σταθμισμένη «επίδοση», αλλά ένας δείκτης σύνθεσης των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Αυτό σημαίνει ότι και οι συντελεστές βαρύτητας στις μεθόδους υπεροχής παίζουν ένα διαφορετικό ρόλο. Ειδικότερα, δεν έχουν το χαρακτήρα των συντελεστών αντιστάθμισης μεταξύ των επιδόσεων στα επιμέρους κριτήρια, γι' αυτό και δεν χρησιμοποιείται η μέθοδος αντιστάθμισης για την εξαγωγή τους. Αντίθετα, υποδηλώνουν το βαθμό συμβολής κάθε κριτηρίου στη διαμόρφωση του συνολικού δείκτη προτίμησης ή συμφωνίας (Roy, 1993).

Λόγω του διευρυμένου μοντέλου προτιμήσεων που ακολουθείται, δεν ισχύει η υπόθεση της μεταβατικότητας των σχέσεων υπεροχής. Δηλαδή, αν ο αποφασίζων

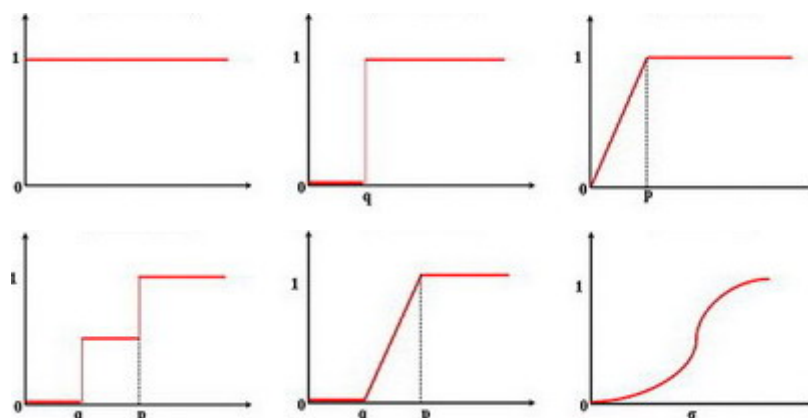
κρίνει ότι η λύση α υπερέχει της b, και η λύση b της c, αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η λύση α υπερέχει της c. Αυτό συμβαίνει όταν η πρόταση «η λύση α είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο και η λύση c», δεν επιβεβαιώνεται επαρκώς λόγω των αντιφάσεων που προκύπτουν κατά τη δυαδική τους σύγκριση στα επιμέρους κριτήρια. Επομένως, η αρχική κατάταξη των επιλογών στις μεθόδους υπεροχής δεν είναι πλήρης, καθώς περιλαμβάνει και μη συγκρίσιμες επιλογές. Αν και το χαρακτηριστικό αυτό από πρώτη άποψη μπορεί να θεωρηθεί ως αρνητικό, στην πραγματικότητα παρέχει χρήσιμη πληροφορία στον αποφασίζοντα εντοπίζοντας λύσεις, μεταξύ των οποίων η επιλογή απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και αξιολόγηση των ισχυρών και αδύνατων επιδόσεων τους (Roy, 1993).

Οι πιο γνωστές μέθοδοι υπεροχής είναι η ομάδα των μεθόδων ELECTRE, και PROMETHEE (Brans and Vincke, 1985).

Οι μέθοδοι προσέγγισης σχέσεων υπεροχής (Preference Ordering Method) χρησιμοποιεί για τη δυαδική σύγκριση των επιλογών ένα από τα εξής έξι κριτήρια (Σχήμα 5.1) (Brans and Vincke, 1985):

1. Κανονικό κριτήριο (usual type): δεν περιλαμβάνει κατώφλια και υποθέτει απότομη μετάβαση από την κατάσταση αδιαφορίας στην κατάσταση προτίμησης.
2. Κριτήριο με κατώφλι αδιαφορίας (U - type): περιλαμβάνει μόνο κατώφλι αδιαφορίας q.
3. Κριτήριο με κατώφλι προτίμησης (V - type): περιλαμβάνει μόνο κατώφλι προτίμησης p.
4. Βαθμωτό κριτήριο (level type): περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας q, και κατώφλι προτίμησης p, που ορίζει ένα μόνο επίπεδο ενδιάμεσης προτίμησης μεταξύ αδιαφορίας και σαφούς προτίμησης.
5. Γραμμικό κριτήριο (linear type): περιλαμβάνει κατώφλι αδιαφορίας q, και γραμμική μετάβαση στην κατανόηση σαφούς που ορίζεται από το κατώφλι προτίμησης p.
6. Κριτήριο Gauss (Gauss type): υποθέτει σταδιακή μετάβαση από την κατάσταση αδιαφορίας προς την κατάσταση σαφούς προτίμησης (που θεωρητικά προσεγγίζεται στο άπειρο) ακολουθώντας τη συνάρτηση μιας κατανομής Gauss και προσδιορίζεται από την τυπική απόκλιση της κατανομής σ.

Η ομάδα μεθόδων ELECTRE χρησιμοποιούν, εκτός των κατωφλίων αδιαφορίας και προτίμησης, και κατώφλι απαγόρευσης (veto), που σημαίνει ότι αν η διαφορά επιδόσεων μεταξύ δύο επιλογών υπερβαίνει κάποιο συγκεκριμένο όριο, η υποδεέστερη επιλογή δεν μπορεί να υπερέχει ανεξάρτητα από τις επιδόσεις της στα άλλα κριτήρια (Brans and Vincke, 1985).



Σχήμα 5.1. Οι έξι τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE (Brans and Vincke, 1985)

Η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος με τις μεθόδους αυτές ακολουθεί τα εξής διαδοχικά στάδια (Brans and Vincke, 1985):

- Πρώτο Στάδιο: Αρχικά, γίνεται η επιλογή των κριτηρίων, τα οποία θα πρέπει να καλύπτουν όλες τις πλευρές του εξεταζόμενου προβλήματος και να μπορούν να βαθμολογηθούν σε κατάλληλη κλίμακα.
- Δεύτερο Στάδιο: Για όλα τα κριτήρια αξιολόγησης καθορίζεται η σπουδαιότητά τους με τη βοήθεια κατάλληλων συντελεστών βαρύτητας. Το άθροισμα των συντελεστών βαρύτητας των κριτηρίων είναι 100%.
- Τρίτο Στάδιο: Πραγματοποιείται ανάλυση όλων των εναλλακτικών χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους κριτηρίου τα οποία στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται βάσει κλίμακας 1-10, όπου οι μικρότερες τιμές αφορούν στις δυσμενέστερες αποδόσεις των χαρακτηριστικών του κριτηρίου και οι μεγαλύτερες τιμές στις ευνοϊκότερες (καλύπτοντας με τον τρόπο αυτό όλες τις πιθανές περιπτώσεις).
- Τέταρτο Στάδιο: Αρχικά γίνεται αποτύπωση των χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους κριτηρίου για κάθε εναλλακτικό σενάριο και αφού γίνει σύγκριση τους με την κλίμακα που αναπτύσσεται στο 3<sup>ο</sup> στάδιο, λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή απόδοσης σε κλίμακα από 1 –10.
- Πέμπτο Στάδιο: Εφαρμογή του μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης.

### 5.2.7 Αξιολόγηση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης - Επιλογή βέλτιστης μεθόδου για εφαρμογή

Με βάση τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες που εμφανίζουν οι δύο ομάδες μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης: 1) Σύστημα λήψης αποφάσεων με χρήση αθροιστικής συνάρτησης ομάδων κριτηρίων (Πολυκριτηριακή θεωρία αξίας ή χρησιμότητας, Multi-Attribute Value or Utility Theory), 2) Σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο (Προσέγγιση σχέσεων υπεροχής - Outranking approaches), παρατηρείται ότι η δεύτερη ομάδα μεθόδων παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την πρώτη, όπως (Brans and Mareschal, 1992):

- Στηρίζεται στη δυαδική σύγκριση των επιλογών σε κάθε μεμονωμένο κριτήριο, γεγονός που παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να διενεργεί πιο αναλυτικές συγκρίσεις.
- Απαλείφει τη στρέβλωση των αποτελεσμάτων λόγω διαφορών κλίμακας.
- Λαμβάνει υπόψη το εύρος της διαφοράς των επιδόσεων των δύο συγκρινόμενων επιλογών.
- Διευρύνει την κλασική σχέση προτίμησης με την εισαγωγή ψευδοκριτηρίων, που δέχονται όρια - κατώφλια αδιαφορίας και προτίμησης.
- Διευρύνει την κλασική σχέση επικράτησης, αναγνωρίζοντας καταστάσεις ασυγκρισιμότητας.
- Τα αποτελέσματα παρέχουν αρχικά μια μερική κατάταξη των επιλογών (που περιλαμβάνει και μη συγκρίσιμες επιλογές), η οποία μπορεί να αναχθεί και σε πλήρη κατάταξη.
- Παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να εξάγει περισσότερες πληροφορίες και συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση κάθε εναλλακτικού σεναρίου που εξετάζεται.
- Εξασφαλίζεται η μη αποδοχή αποτελεσμάτων που στηρίζονται σε ακραίες τιμές βαθμολογίας των κριτηρίων (ιδιαίτερα δυσμενείς περιπτώσεις)
- Παρέχεται η δυνατότητα στο χρήστη να προβαίνει σε διεξοδική ανάλυση των αποτελεσμάτων, μέσω ανάλυση ευαισθησίας της προτεινόμενης λύσης.

Με βάση το γεγονός αυτό, επιλέχθηκε η μέθοδος PROMETHEE II για ανάπτυξη και εφαρμογή στην εξέταση των εναλλακτικών σεναρίων παραγωγής ενέργειας.

### 5.3 Το λογισμικό PROMETHEE-GAIA

#### 5.3.1 Εισαγωγή

Τα περισσότερα από τα οικονομικά, βιομηχανικά, οικονομικά ή πολιτικά προβλήματα απόφασης βασίζονται σε πολλαπλά κριτήρια. Το πρόβλημα της επιλογής ή της ταξινόμησης των εναλλακτικών λύσεων που υποβάλλονται σε μια αξιολόγηση πολλαπλών κριτηρίων δεν είναι ένα εύκολο ζήτημα. Ούτε από οικονομική, ούτε από μαθηματική άποψη. Συνήθως δεν υπάρχει η καταλληλότερη λύση. Καμία εναλλακτική λύση δεν είναι η καλύτερη για το κάθε κριτήριο. Μια καλύτερη ποιότητα υπονοεί μια υψηλότερη τιμή. Τα κριτήρια είναι συγκρουόμενα. Οι λύσεις συμβιβασμού πρέπει να εξεταστούν (Brans et al., 1986).

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (decision support systems) ή μέθοδοι αρωγής αποφάσεων (decision aid methods) ώστε να βοηθήσουν στην επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών λύσεων συμβιβασμού. Δίνεται, με βάση ενός σύντομου παραδείγματος, μια περιληπτική σύνοψη της μεθοδολογίας PROMETHEE-GAIA για τη διαχείριση των προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων. Αυτή η μεθοδολογία είναι γνωστή ως μια από την αποδοτικότερη, αλλά και από την ευκολότερη στο χώρο. Ιδιαίτερα, το φιλικό προς το χρήστη λογισμικό, αποκαλούμενο Decision Lab έχει δημιουργηθεί σε συνεργασία με την Καναδική επιχείρηση Visual Decision για να βοηθήσει στα στοιχεία που οδηγούν σε μια απόφαση. Το λογισμικό χρησιμοποιεί μια μήτρα παρόμοια με αυτή του Πίνακα 5.2, όπου  $a_1, a_2, \dots, a_n, \dots, a_n$  είναι  $n$  πιθανές εναλλακτικές λύσεις και  $f_1, f_2, \dots, f_j, \dots, f_k$  είναι  $k$  κριτήρια αξιολόγησης. Κάθε αξιολόγηση  $f_j(a_i)$  πρέπει να είναι ένας πραγματικός αριθμός. Μια τέτοια μήτρα μπορεί να διαμορφώσει πολλές πραγματικές εφαρμογές. Σε μερικές περιπτώσεις είναι μια εύκολη εργασία και η μήτρα πετυχαίνει αμέσως. Σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να είναι ένα δύσκολο πρόβλημα το οποίο συνεπάγεται αρκετούς μήνες αυστηρής συμβουλευτικής και αναλυτικής δουλειάς, όπως για παράδειγμα όταν πρέπει μια νέα μονάδα παραγωγής να επιλεχτεί μεταξύ διάφορων πιθανών περιοχών (Brans et al., 1986).

Διάφοροι συγγραφείς όπως οι Roy (1985), Bouyssou (1984), Keeney (1992), Zionts (1989) και Vincke (1992) έχουν αναλύσει πώς να διαμορφωθεί μια πραγματική κατάσταση πολλαπλών κριτηρίων. Οι συμβολές τους είναι εντυπωσιακές. Τονίζουν πως η μήτρα πρέπει συχνά να είναι εξελικτική, δηλαδή πρόσθετες εναλλακτικές λύσεις να μπορούν να ληφθούν υπόψη σύμφωνα με το τι πληροφορίες ανακτώνται

	$f_1(\cdot)$	$f_2(\cdot)$	.....	$f_j(\cdot)$	.....	$f_k(\cdot)$
$a_1$						
$a_2$						
...						
$a_i$						
...						
$a_n$						

Πίνακας 5.2: Μήτρα λογισμικού PROMETHEE (Brans and Mareschal, 1992).

κατά τη διάρκεια της διαδικασίας απόφασης. Τα νέα κριτήρια αξιολόγησης θα μπορούν να εξεταστούν, ενώ άλλα θα διαγράφονται προσωρινά. Η διάρθρωση της μήτρας επιτυγχάνεται σταδιακά. Τα πρότυπα, επικοινωνιακά, περιγραφικά και καθοδηγητικά επιχειρήματα μπορούν να εξεταστούν. Ενώ το λογισμικό Decision Lab παρέχει τους τρόπους αντιμετώπισης των εύκολων εξελικτικών μήτρων, η μεθοδολογία PROMETHEE δεν λαμβάνει υπόψη τέτοια ορίσματα από μόνη της. Αρχίζει όταν η μήτρα είναι διαθέσιμη. Ακόμη και σε αυτήν την περίπτωση δεν είναι εύκολο να οριστικοποιηθεί η απόφαση (Brans and Mareschal, 1992).

Οι προϋποθέσεις μπορούν να διατυπωθούν για μια κατάλληλη διαδικασία πολλαπλών κριτηρίων. Πρέπει να είναι εύκαμπτη. Μια λεπτομερής ανάλυση ευαισθησίας πρέπει να είναι δυνατή. Η αδιαφορία ή η βαθμιαία διάρθρωση της προτίμησης πρέπει να συνδεθούν με τις αποκλίσεις που παρατηρούνται μεταξύ των αξιολογήσεων. Πρέπει να συμπεριληφθούν η μερική ταξινόμηση και η πλήρης ταξινόμηση. Πρέπει να παρουσιαστεί μια σαφής εικόνα του συγκρουόμενου χαρακτήρα των κριτηρίων και της επιρροής ενός συγκεκριμένου συνόλου βαρύτητας. Θα πρέπει επίσης να είναι δυνατό να εξετάζονται οι πρόσθετοι περιορισμοί. Όλες αυτές οι προϋποθέσεις λαμβάνονται υπόψη από τη διαδικασία PROMETHEE-GAIA (Brans and Mareschal, 1992).

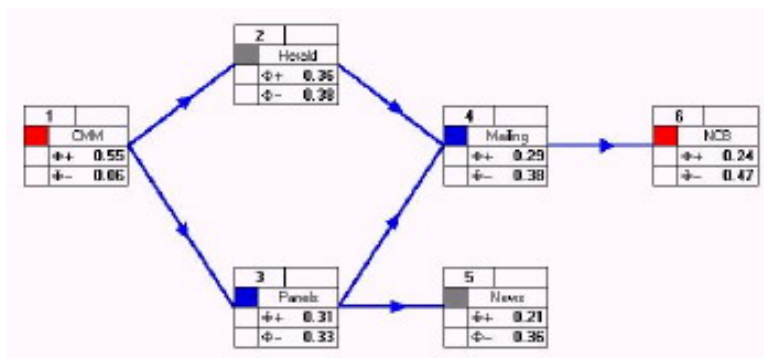
### 5.3.2 Ανάλυση με το λογισμικό Decision Lab

Το λογισμικό Decision Lab είναι μια ενημερωμένη εφαρμογή των μεθόδων PROMETHEE-GAIA. Περιλαμβάνει πολλές πρακτικές εξελίξεις, όπως η επεξεργασία χαμένων τιμών, ο καθορισμός των κατηγοριών των εφαρμογών ή των κριτηρίων, καθώς επίσης και ισχυρών επεκτάσεων ομαδικής απόφασης μέσω του καθορισμού πολλαπλών σεναρίων (Brans and Mareschal, 1992).



Για κάθε κριτήριο πρέπει να καθοριστεί μια συγκεκριμένη λειτουργία αναφοράς. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το βαθμό της αναφοράς που συνδέεται με την καλύτερη ενέργεια σε περίπτωση συγκρίσεων κατά ζεύγη. Η ανάλυση PROMETHEE-GAIA υπολογίζει τις θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης για κάθε εναλλακτική λύση. Η θετική ροή εκφράζει πόσο μια εναλλακτική λύση εξουσιάζει (δύναμη) τις υπόλοιπες, και η αρνητική ροή πόσο αυτή εξουσιάζεται (αδυναμία) από τις άλλες (Σχήμα 5.3). Με βάση αυτές τις ροές, το PROMETHEE I ολοκληρώνεται. Το PROMETHEE I δεν συγκρίνει αντιτιθέμενες εφαρμογές (Brans and Mareschal, 1992).

Από την άλλη το PROMETHEE II παρέχει μια πλήρη ταξινόμηση (Σχήμα 5.4). Είναι βασισμένη στην ισορροπία των δύο ροών προτίμησης. Οι πληροφορίες φαίνονται πειστικότερες, αλλά κάποιο μέρος αυτών χάνεται κατά τη διαδικασία. Τα PROMETHEE I και II βοηθούν τον λήπτη της απόφασης να οριστικοποιήσει την επιλογή ενός καλύτερου συμβιβασμού. Επίσης εξασφαλίζεται μια σαφής εικόνα ανάμεσα στις εναλλακτικές λύσεις (Brans and Mareschal, 1992).



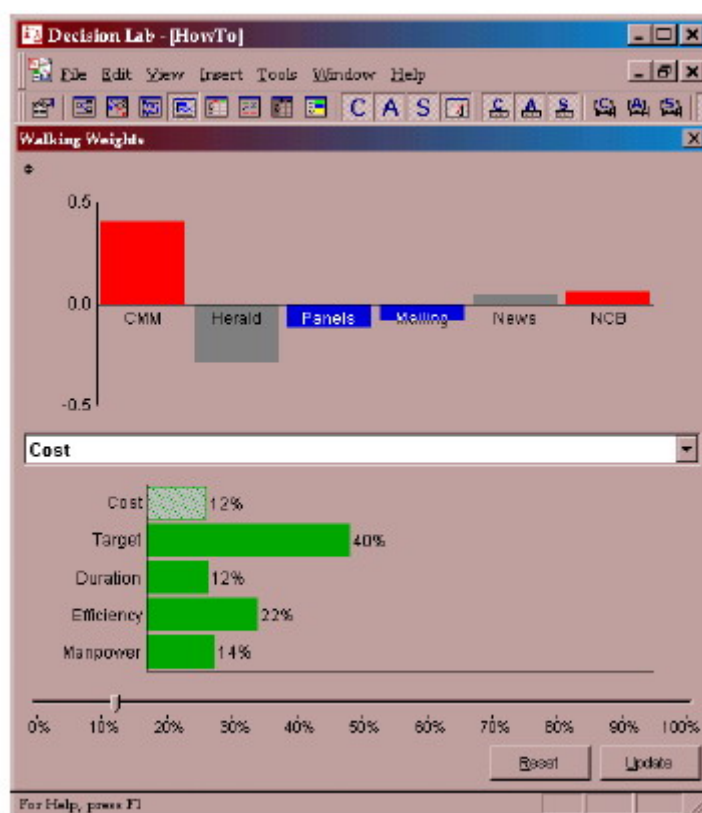
Σχήμα 5.3: Ταξινόμηση του PROMETHEE I (Brans and Mareschal, 1992).



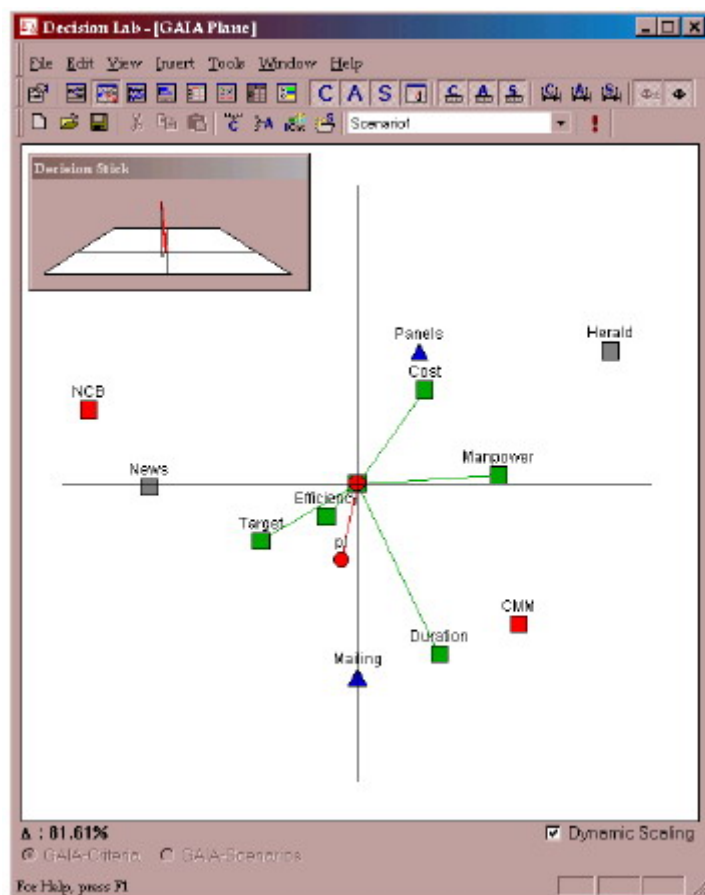
Σχήμα 5.4: Ταξινόμηση του PROMETHEE II (Brans and Mareschal, 1992).

Προφανώς οι ταξινομήσεις των PROMETHEE I και II επηρεάζονται από την βαρύτητα που προσδίδεται στα κριτήρια. Ένα ειδικό χαρακτηριστικό του λογισμικού, αποκαλούμενο *The Walking Weights*, (Σχήμα 5.4) επιτρέπει να αλλάξει τις βαρύτητες και να παρατηρήσει τις προκύπτουσες τροποποιήσεις της ταξινόμησης του PROMETHEE II. Ένα τέτοιο εργαλείο ανάλυσης ευαισθησίας είναι ιδιαίτερα πολύτιμο όταν ο λήπτης της απόφασης δεν έχει προκαθορισμένες βαρύτητες στο μυαλό του (Brans and Mareschal, 1992).

Το επίπεδο του GAIA σχηματίζεται από την προβολή αυτών των πληροφοριών σε ένα επίπεδο στο οποίο χάνονται όσο το δυνατόν λιγότερες πληροφορίες. Οι εναλλακτικές λύσεις αντιπροσωπεύονται από τα σημεία και τα κριτήρια από τους άξονες. Ο συγκρουόμενος χαρακτήρας των κριτηρίων εμφανίζεται καθαρά (Σχήμα 5.5) καθώς τα κριτήρια που εκφράζουν παρόμοιες προτιμήσεις στα δεδομένα είναι προσανατολισμένα στην ίδια κατεύθυνση, ενώ τα συγκρουόμενα κριτήρια στρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Παραδείγματος χάριν παρατηρείται ότι το κόστος είναι σε ισχυρή σύγκρουση με το στόχο. Είναι επίσης δυνατό να εκτιμηθεί ξεκάθαρα η ποιότητα των εναλλακτικών λύσεων σχετικά με τα διαφορετικά κριτήρια (Brans and Mareschal, 1992).



Σχήμα 5.4: Βαρύτητες κριτηρίων (Brans and Mareschal, 1992).



Σχήμα 5.5: Απεικόνιση του επιπέδου GAIA (Brans and Mareschal, 1992).

Επιπρόσθετα, στην αντιπροσώπευση των εναλλακτικών λύσεων και των κριτηρίων, η προβολή του διανύσματος βαρύτητας αντιστοιχεί σε έναν άλλο άξονα ο οποίος παρουσιάζει την κατεύθυνση του συμβιβασμού ως αποτέλεσμα της βαρύτητας που προσδίδεται στα κριτήρια. Ο λήπτης της απόφασης καλείται έτσι να εξετάσει τις εναλλακτικές λύσεις που βρίσκονται σε εκείνη την κατεύθυνση. Όταν οι βαρύτητες τροποποιούνται, οι θέσεις των εναλλακτικών λύσεων και των κριτηρίων παραμένουν οι ίδιες, αλλάζει μόνο ο άξονας απόφασης π. Το λογισμικό επιτρέπει τη χρησιμοποίηση του διανύσματος βαρύτητας ως μιας *ράβδου απόφασης* (decision stick) για να προσανατολίζει την απόφαση. Οι μετακινήσεις της ράβδου που αντιστοιχούν στις τροποποιήσεις της βαρύτητας παρουσιάζονται άμεσα στο παράθυρο της τρισδιάστατης απεικόνισης του GAIA. Οι λήπτες της απόφασης εκτιμούν ιδιαίτερα αυτό το εργαλείο ανάλυσης της ευαισθησίας (Brans and Mareschal, 1992).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 6.1 Γενικά

Η νησιωτική περιφέρεια της Κρήτης αποτελεί το μεγαλύτερο ελληνικό νησί και την νοτιότερη περιφέρεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων με δεσπόζουσα θέση στην Νοτιοανατολική Μεσόγειο. Η Κρήτη είναι από τις δυναμικότερες περιφέρειες της χώρας και την τελευταία εικοσαετία η ανάπτυξή της βασίστηκε πρωταρχικά στην γεωργία και τον τουρισμό, ενώ οι αναπτυξιακές της δυνατότητες υποστηρίζονται και από την υπάρχουσα υποδομή των διεθνούς κύρους Ερευνητικών και Εκπαιδευτικών της Ιδρυμάτων.

Σύμφωνα με τη ΡΑΕ η Κρήτη παρουσιάζει τα κοινά ενεργειακά προβλήματα των περισσότερων νησιών:

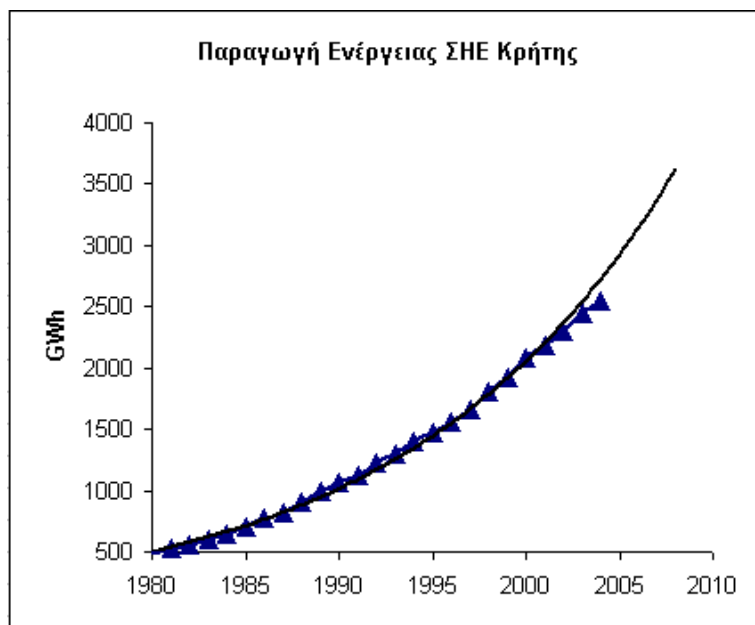
- (α) Υψηλό κόστος ενέργειας
- (β) Μεγάλη εξάρτηση από προϊόντα πετρελαίου – μικρή ασφάλεια εφοδιασμού
- (γ) Εποχιακές διακυμάνσεις ενεργειακής ζήτησης (ισχύος)
- (δ) Αυστηροί περιορισμοί προστασίας και ανάδειξης του νησιωτικού περιβάλλοντος κλπ.

Εκτός των παραπάνω γενικών ενεργειακών χαρακτηριστικών η Κρήτη διαθέτει μεγάλο ανεκμετάλλευτο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και σημαντικότερα περιθώρια ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας ενώ η ενεργειακή χρησιμοποίηση της βιομάζας συμβάλλει σημαντικά στην τελική κατανάλωση.

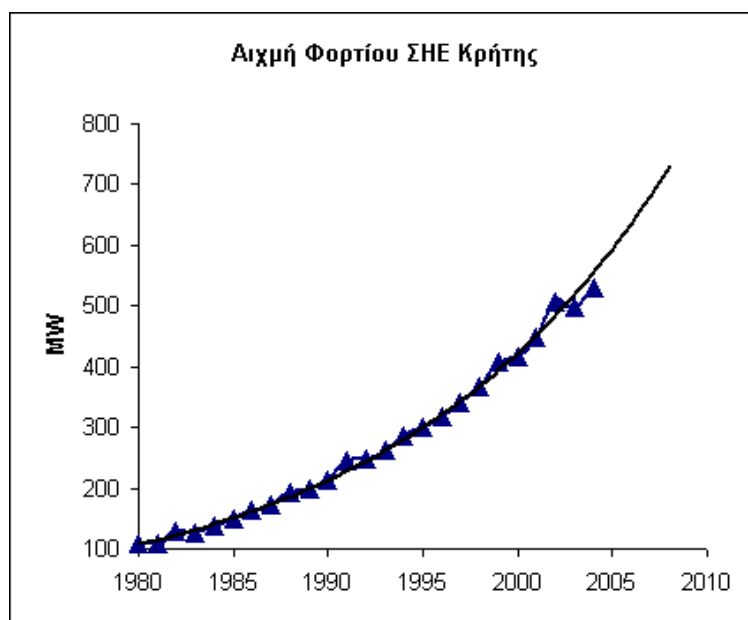
Σύμφωνα με τη ΡΑΕ το σύστημα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί οριακά με μικρές ως ανύπαρκτες εφεδρείες ενώ η σημαντική αύξηση των αιχμών ζήτησης φορτίων (εποχιακές διακυμάνσεις ζήτησης που συνδέονται με τον εντατικό τουρισμό της ίδιας περιόδου) προκαλεί διακοπές παροχής ηλεκτρισμού και συνακόλουθα προβλήματα, ενώ επιβάλλεται η άμεση λειτουργία νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή σημαντικής ενίσχυσης των υπαρχόντων.

Η γρήγορη ανάπτυξη του πρωτογενούς και τριτογενούς τομέα ακολουθείται από υψηλούς ρυθμούς αύξησης της ενεργειακής ζήτησης. Σύμφωνα με τη ΡΑΕ η ετήσια αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 7% σε σύγκριση με 4% που είναι ο εθνικός μέσος όρος. Η αιχμή του συστήματος έφθασε το 2005 τα 560MW και η

ηλεκτρική κατανάλωση τα 2654 GWh. Εάν ληφθεί υπόψιν ότι το 1995 δηλαδή προ μιάς δεκαετίας τα αντίστοιχα μεγέθη ήταν 303 MW και 1510 GWh γίνεται αντιληπτή η τεράστια αύξηση της ζήτησης και η ανάγκη ενίσχυσης της παραγωγής προκειμένου το σύστημα να λειτουργεί με την απαραίτητη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία (Σχήματα 6.1 και 6.2).



Σχήμα 6.1: Εξέλιξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης (συνεχής γραμμή: πρόβλεψη) (ΔΕΗ, 2005)



Σχήμα 6.2: Εξέλιξη του φορτίου αιχμής (μέση ωριαία τιμή) του ηλεκτρικού συστήματος της Κρήτης. Η αιχμή του συστήματος παρουσιάζεται τον Αύγουστο τις μεσημεριανές ώρες (συνεχής γραμμή: πρόβλεψη) (ΔΕΗ, 2005)

## 6.2 Σημερινή κατάσταση

Η μέχρι σήμερα ενεργειακή ανάπτυξη της Κρήτης βασίστηκε στην ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμα αποκλειστικά το πετρέλαιο και το μαζούτ. Σήμερα υπάρχουν στην Κρήτη τρεις Σταθμοί στα Λινοπεράματα Ηρακλείου, στην Ξυλοκαμάρα Χανίων και στον Αθρινόλακκο Λασιθίου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς είναι 710 MW περίπου και συνίσταται από μονάδες ατμοηλεκτρικές 110 MW με καύσιμο μαζούτ, μία μονάδα συνδυασμένου κύκλου 135 MW με καύσιμο πετρέλαιο, αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος 318 MW με καύσιμο πετρέλαιο, μονάδες Diesel 48MW και 100MW με καύσιμο μαζούτ και τέλος δύο μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί 0,6 MW και αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 105 MW. Η μεγάλη συμμετοχή του πετρελαίου στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού δημιουργεί το αυξημένο κόστος παραγωγής σε σχέση με το αντίστοιχο του Εθνικού Συστήματος που βασίζεται στο λιγνίτη (ΠΑΕ, 2006).

Πρέπει να σημειωθεί ότι το 64% της εγκατεστημένης ισχύος χρησιμοποιεί ως καύσιμο το πετρέλαιο ενώ το υπόλοιπο 36% μαζούτ. Η πραγματική αποδιδόμενη ισχύς των παραπάνω θερμικών μονάδων είναι 580 MW περίπου την θερινή περίοδο και τα περιθώρια εφεδρείας ελάχιστα. Όλα τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι υπάρχει πρόβλημα ισχύος με προφανείς δυσμενείς επιπτώσεις στην αναπτυξιακή πορεία του νησιού (ΠΑΕ, 2006).

Το ενεργειακό πρόβλημα της Κρήτης έχει μελετηθεί συστηματικά την τελευταία δεκαετία. Το ζητούμενο είναι η κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τρόπο περιβαλλοντικά φιλικό. Οι εναλλακτικές λύσεις που έχουν προταθεί αφορούν:

- (α) στην διασύνδεση της Κρήτης με το ηπειρωτικό σύστημα,
- (β) στη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή σε συνδυασμό με συμβατικές μονάδες παραγωγής,
- (γ) στην χρήση του φυσικού αερίου για ηλεκτροπαραγωγή.

### 6.3 Πρώτη σύγκριση

Κατά τη σύγκριση που ακολουθεί αξιολογούνται με το Decision Lab 2000 τέσσερις υποθετικές εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής (wind, PV, LNG, biomass) των 10 MW στην Κρήτη με τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no. months), Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (qual. 1-4), Ωριμότητα τεχνολογίας (qual. 1-4), Χρήση γαιών (km<sup>2</sup>) (Πίνακας 6.3).

Η σύγκριση πραγματοποιείται σε τέσσερις περιπτώσεις: α) προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια, β) στην ενεργειακή ασφάλεια, γ) στα περιβαλλοντικά και δ) στα κοινωνικά κριτήρια.

Πίνακας 6.3: Κριτήρια σύγκρισης και μονάδες μέτρησής τους

Κριτήρια	Μονάδα μέτρησης
Κόστος εγκατάστασης (investment cost)	€
Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (electricity generating cost)	€/kWh
Ενεργειακή ασφάλεια (safety of supply)	qual. 1-4
Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO <sub>2</sub> ) (sustainability of climate change)	kg/year
Κοινωνική αποδοχή (social acceptability)	qual. 1-4
Χρόνος πραγματοποίησης (realization time)	no. months
Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (contribution to local development)	qual. 1-4
Ωριμότητα τεχνολογίας (maturity of technology)	qual. 1-4
Χρήση γαιών (area)	km <sup>2</sup>

### 6.3.1 Περίπτωση 1<sup>η</sup> : Προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια

Στην πρώτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no. months), Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (qual. 1-4) (Σχήμα 6.4).

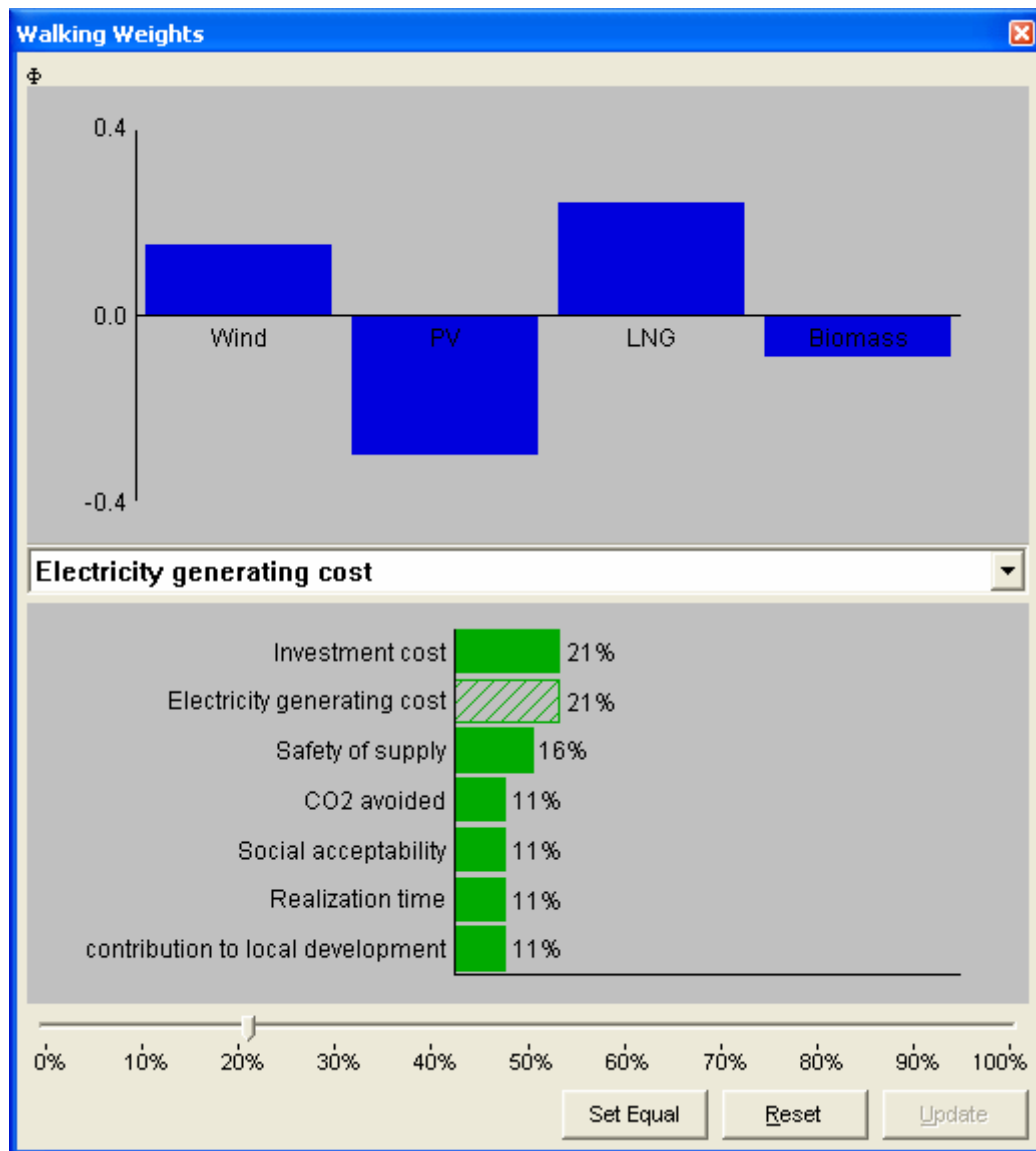
Στα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης, Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και Ενεργειακή ασφάλεια, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.5).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.6.

Criterion	Action	Category	Min/Max	Investment cost	Electricity generating cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	Realization time	contribution to local dev
Weight	2.0000	2.0000	1.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	U-Shape	Usual	U-Shape	Usual	Usual
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	1.0000	-	-	-	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	-	-	-	-	-
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	17500000	0.25	3	15480000	3	20	2			
Standard Dev.	13850150	0.34	1	5561583	1	6	1			
Unit	Euros	Euros/kWh	qual. 1-4	kg/year	qual. 1-4	no. months	qual. 1-4			
Wind	8800000	0.07	Value3	20880000	Value3	18	Value2			
PV	36000000	0.75	Value2	18000000	Value4	12	Value1			
LNG	5200000	0.04	Value4	7920000	Value3	24	Value3			
Biomass	20000000	0.14	Value4	15120000	Value2	24	Value3			

Σχήμα 6.4: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).



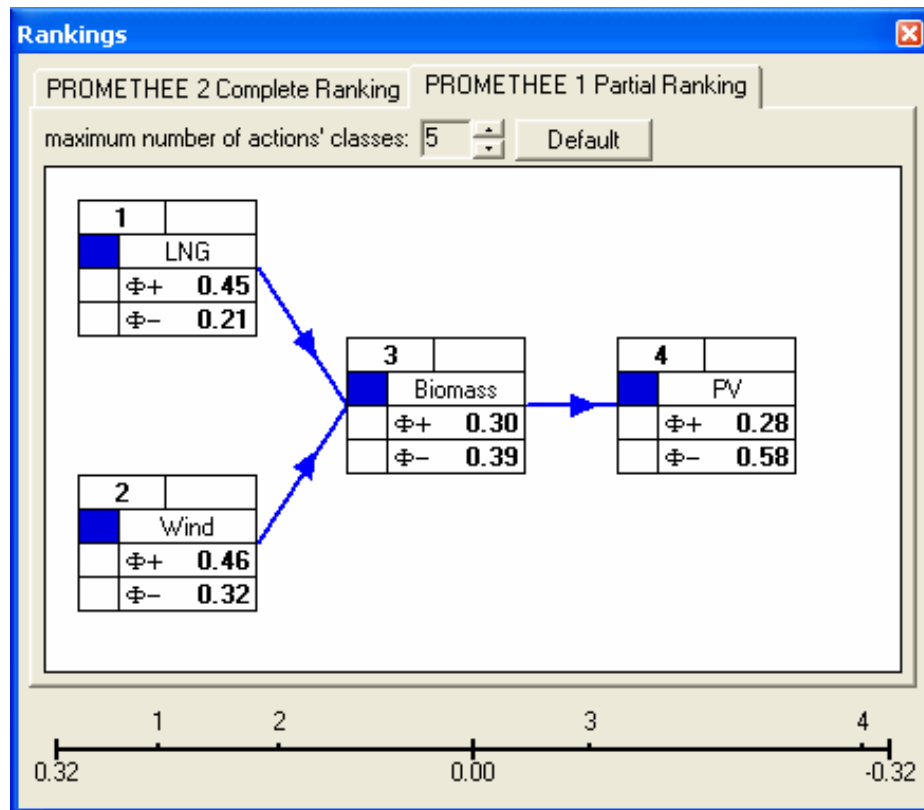


Σχήμα 6.5: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

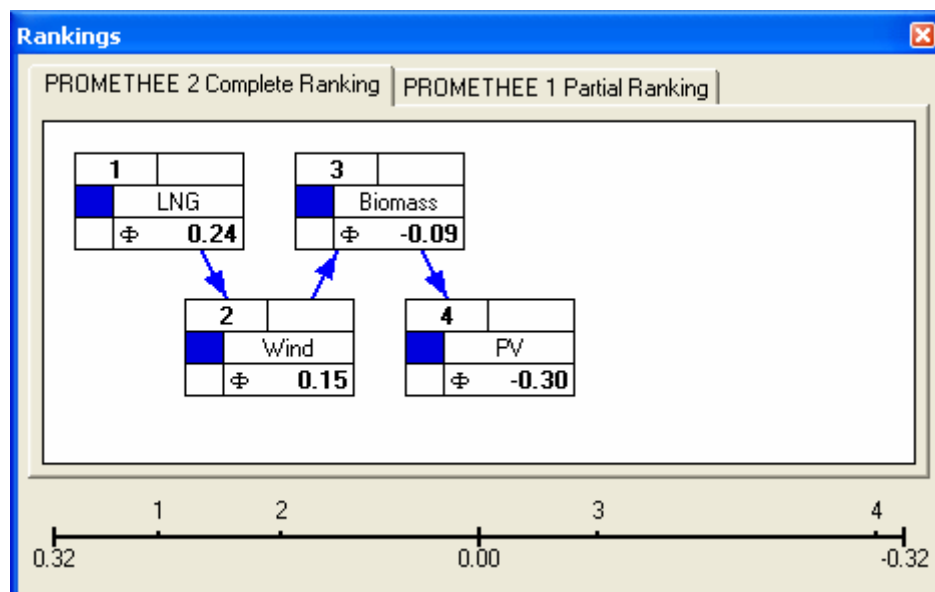
Preference Flows			
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$
Wind	0.4649	0.3168	0.1481
PV	0.2807	0.5789	-0.2982
LNG	0.4505	0.2105	0.2400
Biomass	0.3021	0.3919	-0.0898

Σχήμα 6.6: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.7 και 6.8.

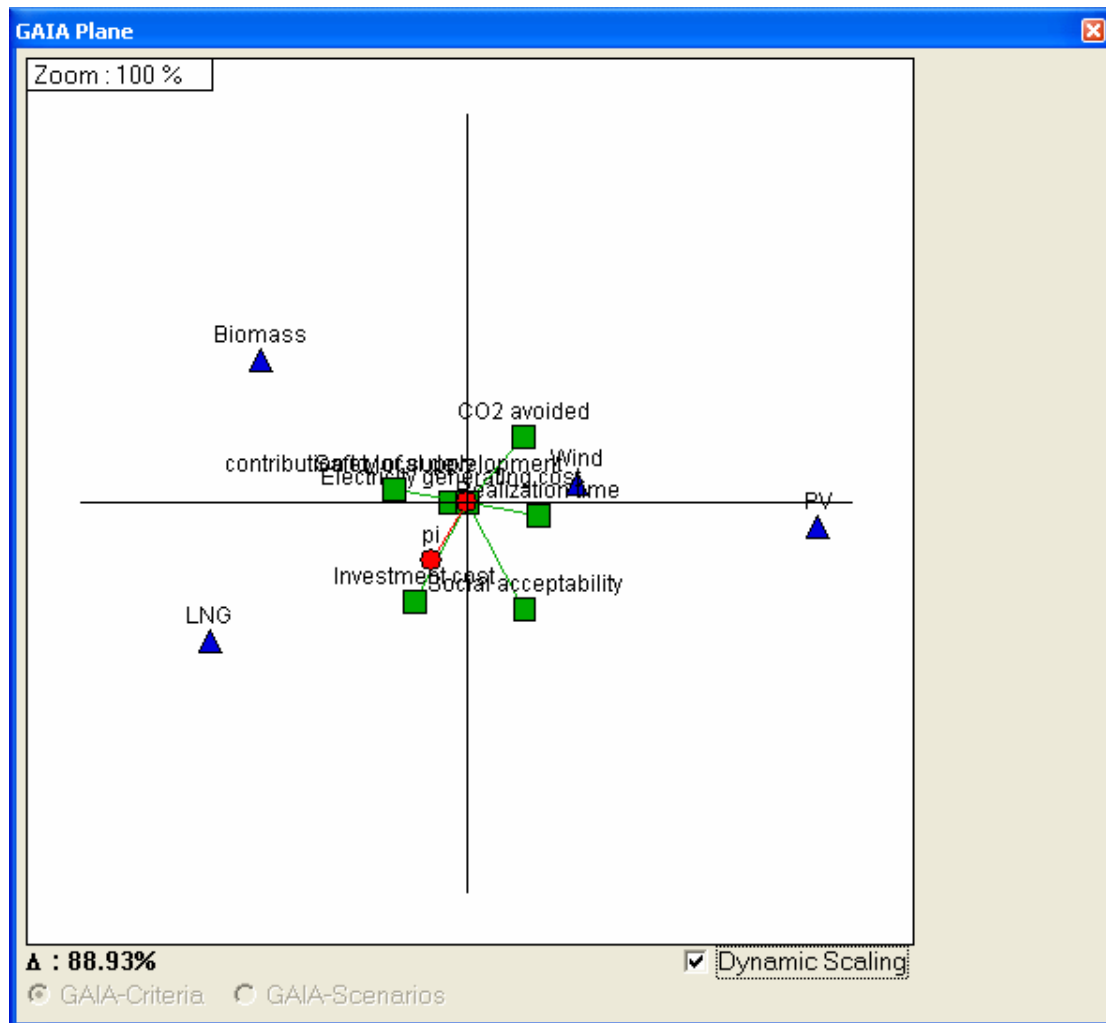


Σχήμα 6.7: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.8: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.9 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.9: Επίπεδο GAIA.

### 6.3.2 Περίπτωση 2<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στην ενεργειακή ασφάλεια

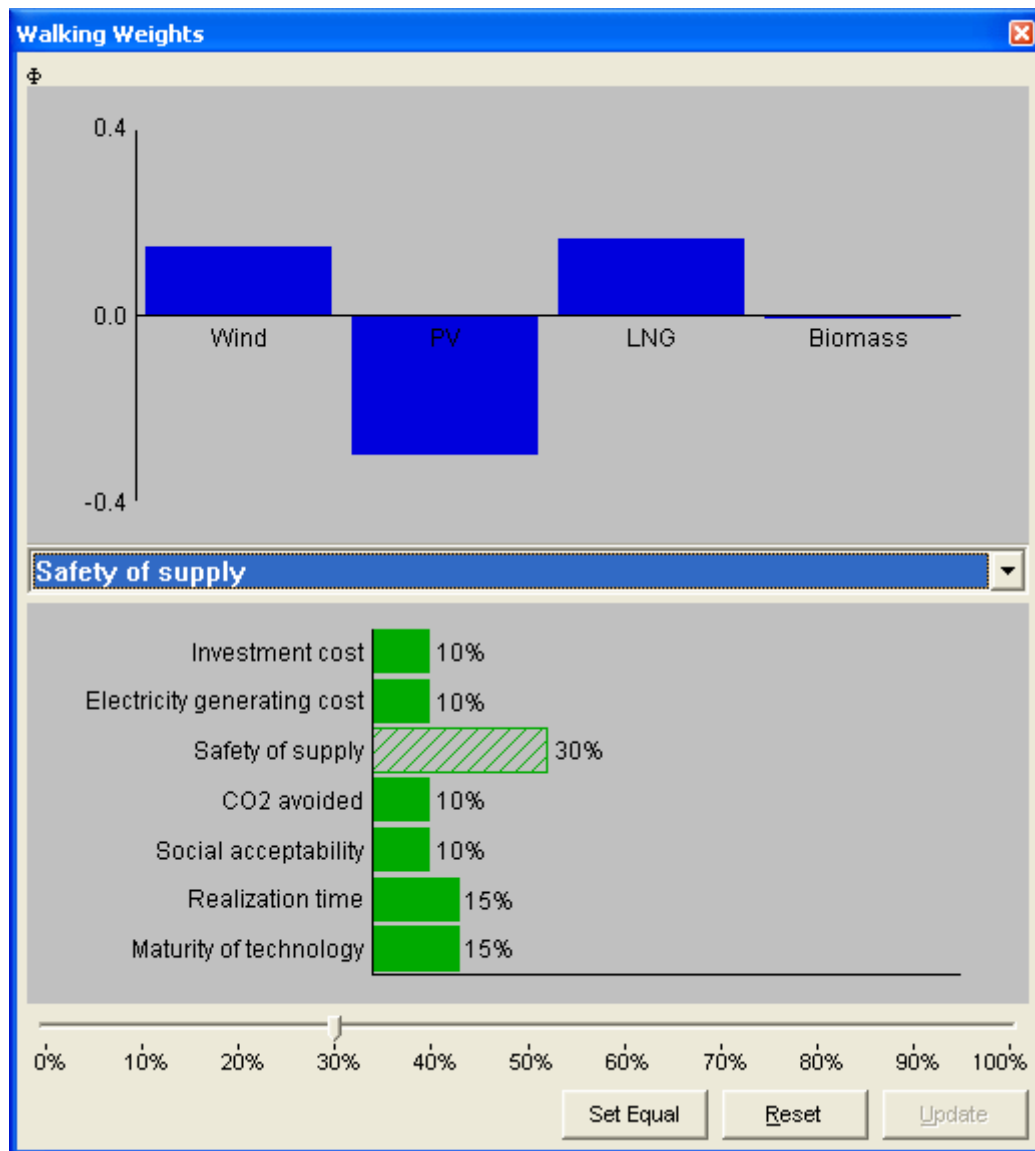
Στη δεύτερη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual.1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no.months), Ωριμότητα τεχνολογίας (qual.1-4) (Σχήμα 6.10).

Στα κριτήρια: Ενεργειακή ασφάλεια, Χρόνος πραγματοποίησης και Ωριμότητα τεχνολογίας, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.11). Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.12.

The screenshot shows the 'Decision Lab' software window with the title '[1.2 saf. supply cr.new]'. The main area displays an evaluation matrix for seven criteria across eight technologies. The criteria are: Investment cost, Electricity generating cost, Safety of supply, CO2 avoided, Social acceptability, Realization time, and Maturity of technology. The technologies listed are Wind, PV, LNG, and Biomass, each with multiple rows representing different scenarios or parameters. The matrix includes numerical values and qualitative ratings (e.g., Value3, Value4). The interface also shows a 'Properties' panel on the left and a 'Scenario1' dropdown at the bottom.

Criteria	Investment cost	Electricity generating cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	Realization time	Maturity of technology
Min/Max	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Minimize	Maximize
Weight	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000	1.5000	1.5000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	U-Shape	Usual
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	1.0000	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	-	-
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	17500000	0.25	3	15480000	3	20	4
Standard Dev.	13850150	0.34	1	5561583	1	6	1
Unit	Euros	Euros/kWh	qual. 1-4	kg/year	qual. 1-4	no. months	qual. 1-4
Wind	8800000	0.07	Value3	20880000	Value3	18	Value4
PV	36000000	0.75	Value2	18000000	Value4	12	Value3
LNG	5200000	0.04	Value4	7920000	Value3	24	Value4
Biomass	20000000	0.14	Value4	15120000	Value2	24	Value4

Σχήμα 6.10: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).



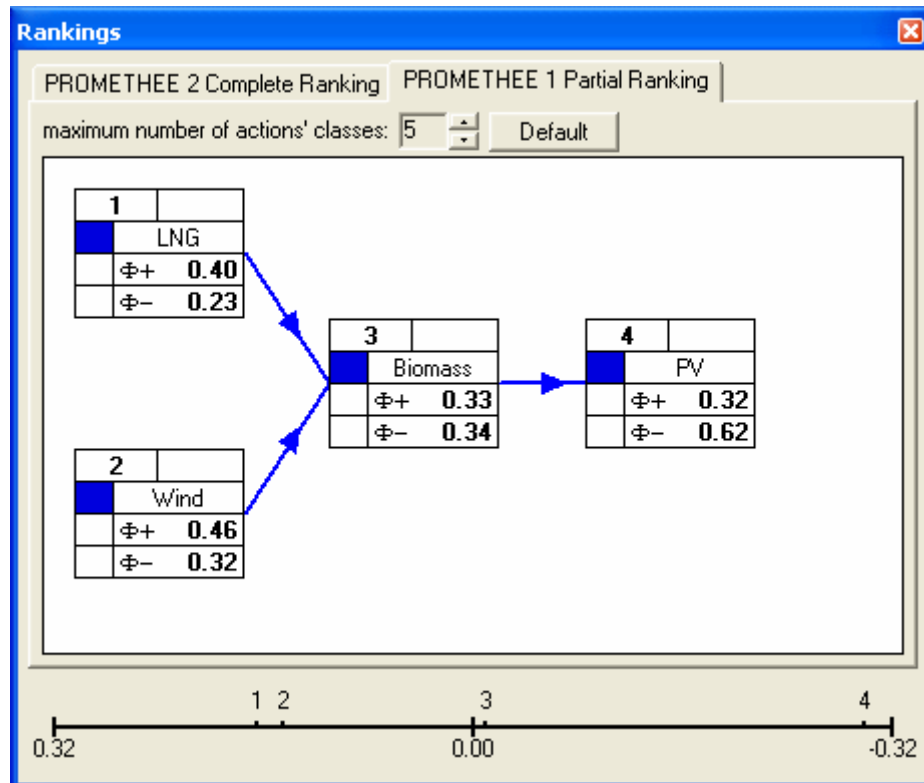
Σχήμα 6.11: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

**Preference Flows**

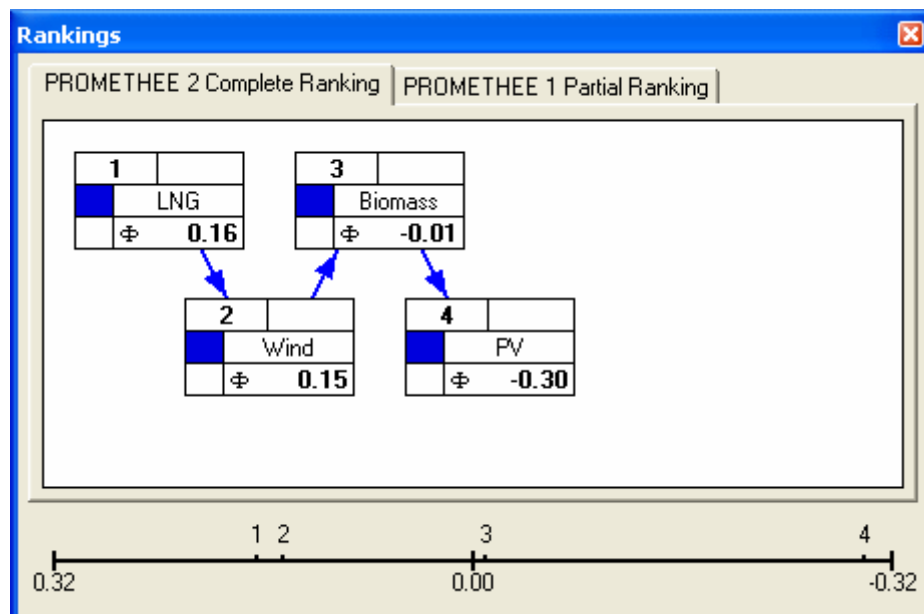
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$
Wind	0.4625	0.3172	0.1453
PV	0.3167	0.6167	-0.3000
LNG	0.3973	0.2333	0.1640
Biomass	0.3268	0.3362	-0.0093

Σχήμα 6.12: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.13 και 6.14.

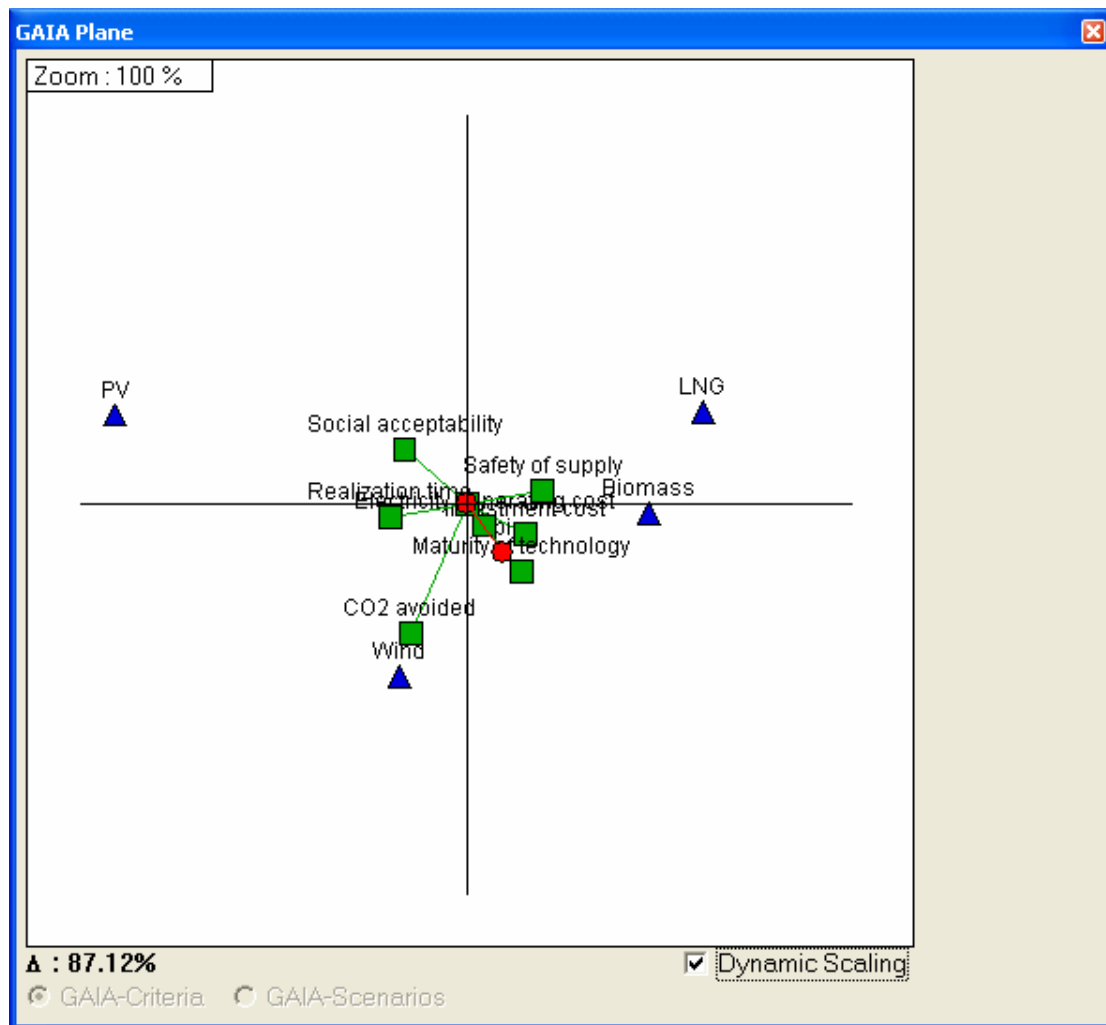


Σχήμα 6.13: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.14: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.15 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.15: Επίπεδο GAIA.

### 6.3.3 Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά κριτήρια

Στην τρίτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρήση γαιών (km<sup>2</sup>) (Σχήμα 6.16).

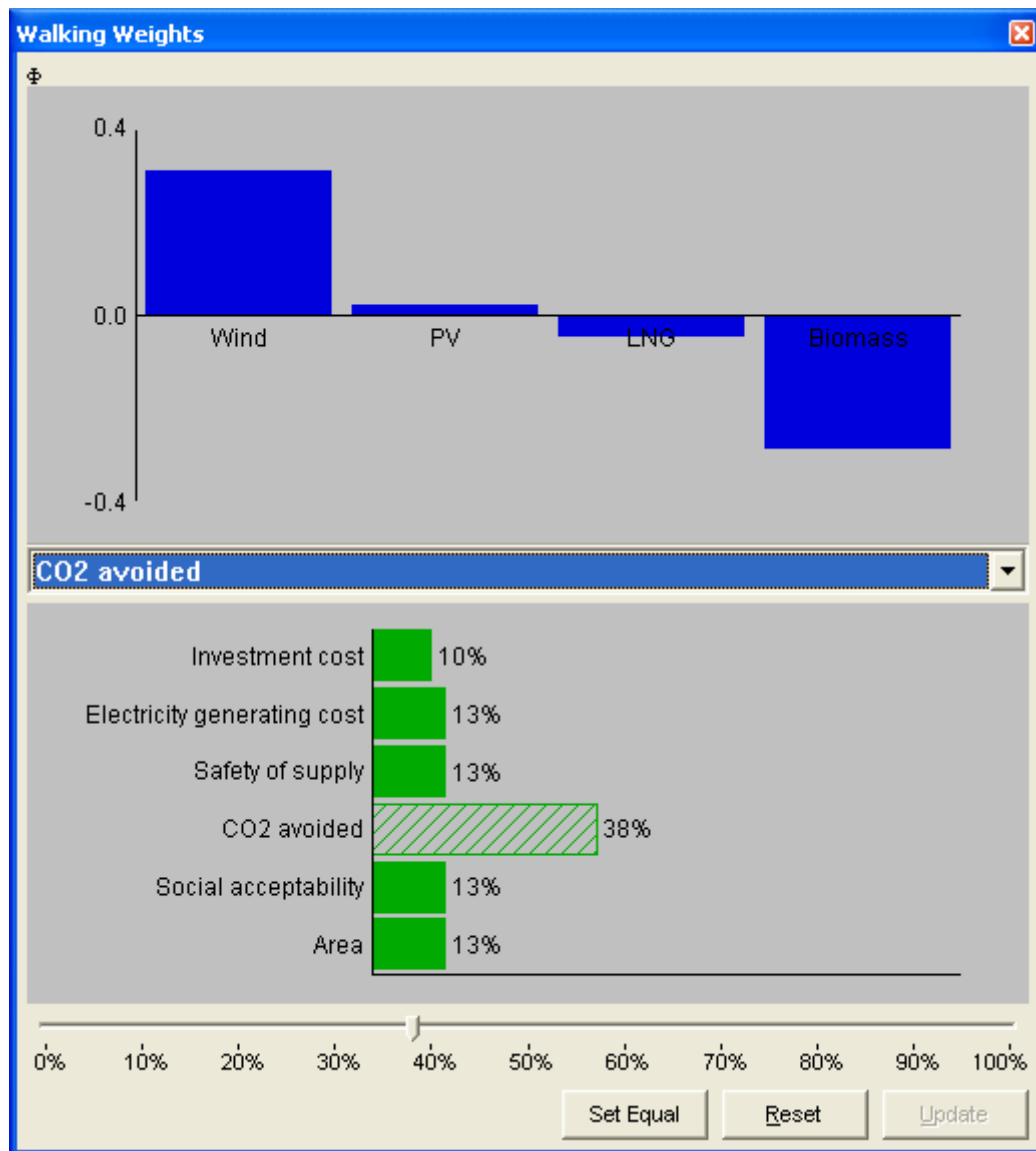
Στο κριτήριο της Βιωσιμότητας της κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.17).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.18.

	Investment cost	Electricity generating cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	Area
Min/Max	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Minimize
Weight	0.8000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	V-Shape
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	2.0000
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	17500000	0.25	3	15480000	3	15.4
Standard Dev.	13850150	0.34	1	5561583	1	24.6
Unit	Euros	Euros/kWh	qual. 1-4	kg/year	qual. 1-4	km2
Wind	8800000	0.07	Value3	20880000	Value3	7.9
PV	36000000	0.75	Value2	18000000	Value4	1.2
LNG	5200000	0.04	Value4	7920000	Value3	0.4
Biomass	20000000	0.14	Value4	15120000	Value2	52.0

Σχήμα 6.16: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).



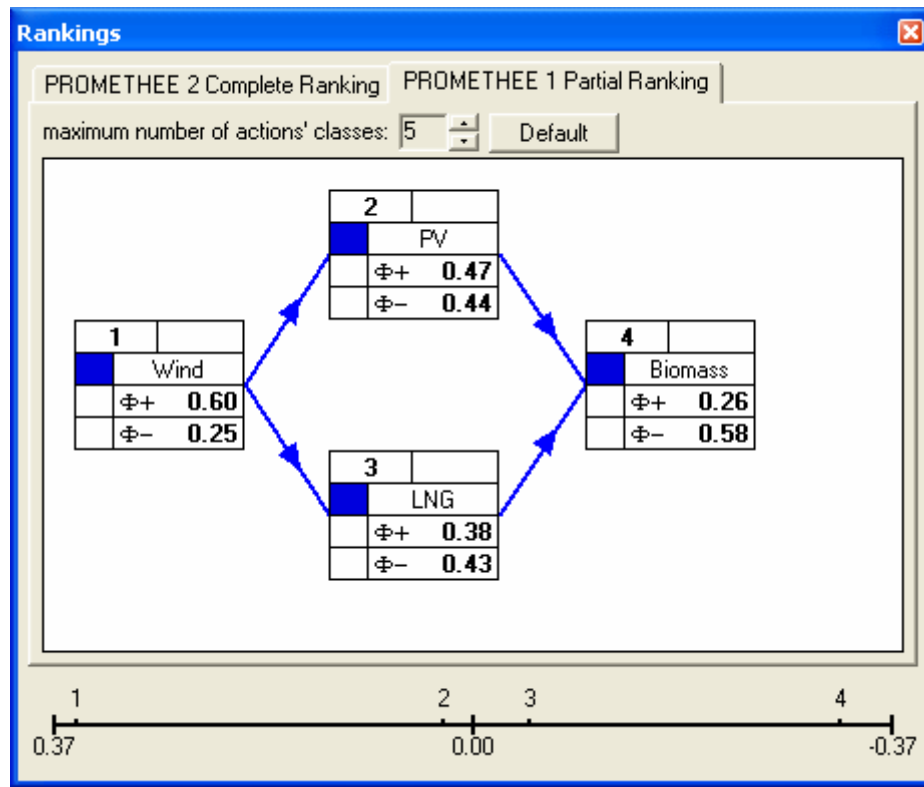


Σχήμα 6.17: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

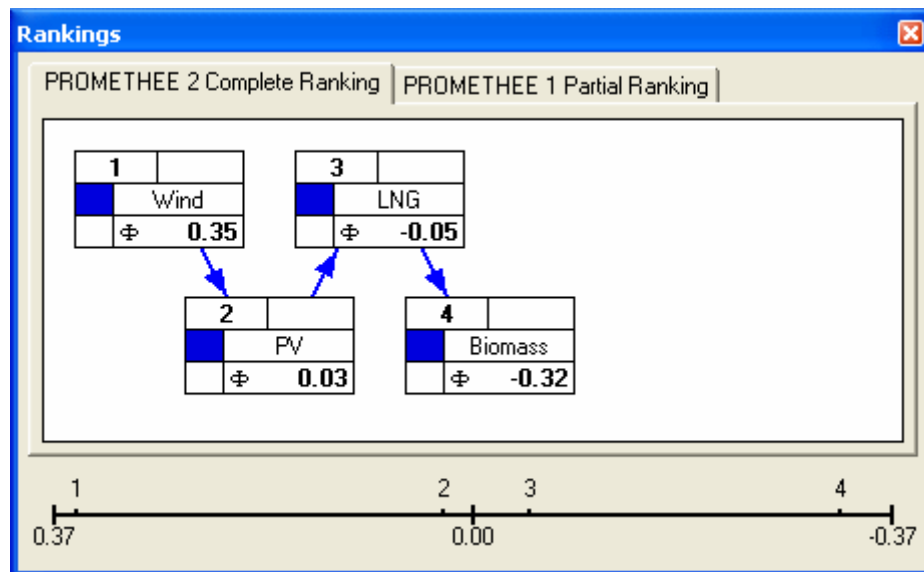
Preference Flows				
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	
Wind	0.5972	0.2485	0.3487	
PV	0.4701	0.4444	0.0256	
LNG	0.3769	0.4274	-0.0504	
Biomass	0.2609	0.5848	-0.3239	

Σχήμα 6.18: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.19 και 6.20.

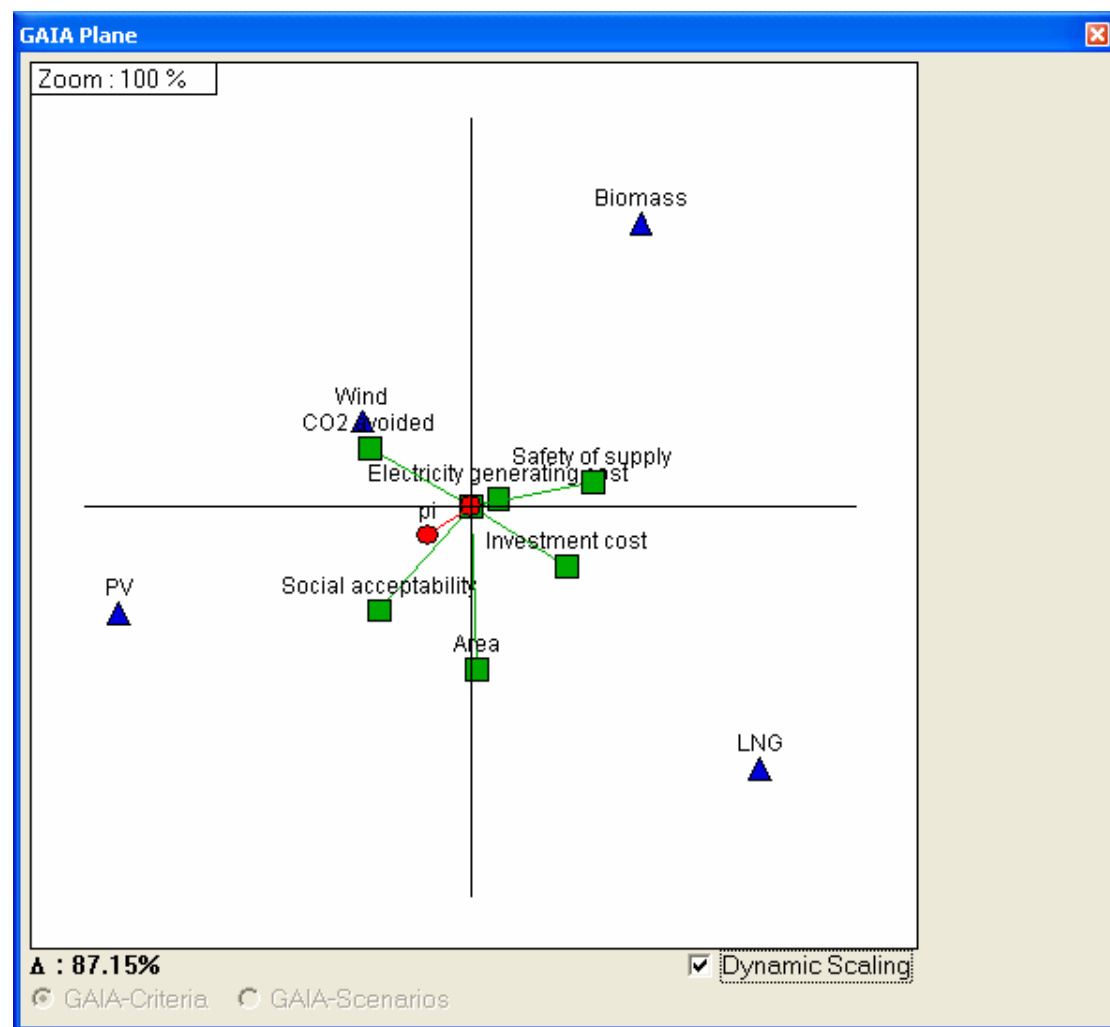


Σχήμα 6.19: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.20: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.21 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.21: Επίπεδο GAIA.

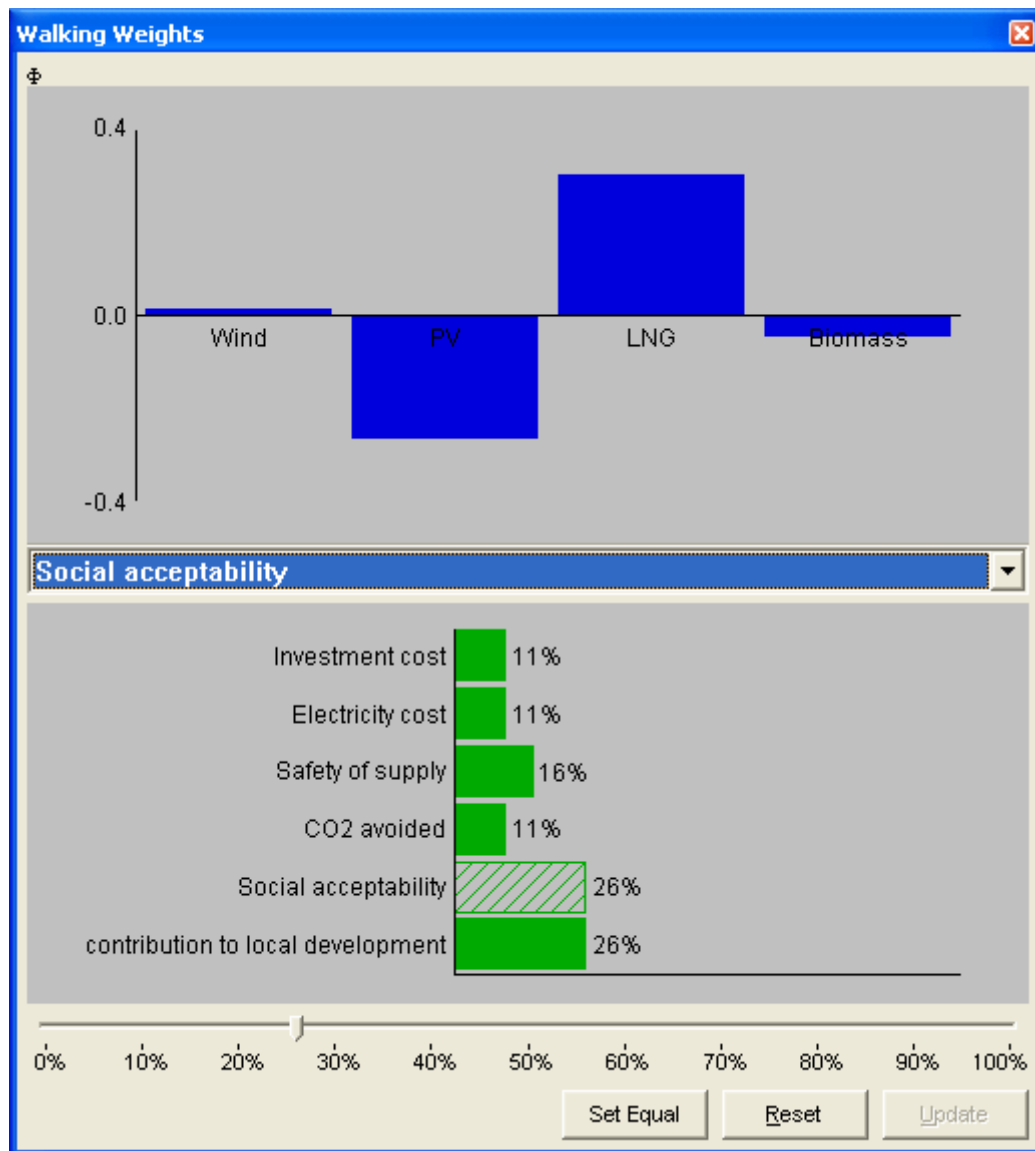
### 6.3.4 Περίπτωση 4<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στα κοινωνικά κριτήρια

Στην τέταρτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no. months), Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (qual. 1-4), Ωριμότητα τεχνολογίας (qual. 1-4), Χρήση γαιών (km<sup>2</sup>) (Σχήμα 6.22). Στα κριτήρια: Κοινωνική αποδοχή, Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία και Ενεργειακή ασφάλεια, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.23).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.24.

Criterion	Action	Category	Investment cost	Electricity cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	contribution to local development
<b>Min/Max</b>	Minimize	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize
Weight	1.0000	1.0000	1.5000	1.0000	2.5000	2.5000		
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	Usual		
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	-		
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	-		
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-		
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute		
Average Performance	17500000	0.25	3	15480000	3	2		
Standard Dev.	13850150	0.34	1	5581583	1	1		
Unit	Euros	Euro/kWh	qual. 1-4	kg/year	qual. 1-4	qual. 1-4		
Wind	8800000	0.07	Value3	20880000	Value3	Value2		
PV	36000000	0.75	Value2	18000000	Value4	Value1		
LNG	5200000	0.04	Value4	7920000	Value3	Value3		
Biomass	20000000	0.14	Value4	15120000	Value2	Value3		

Σχήμα 6.22: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).



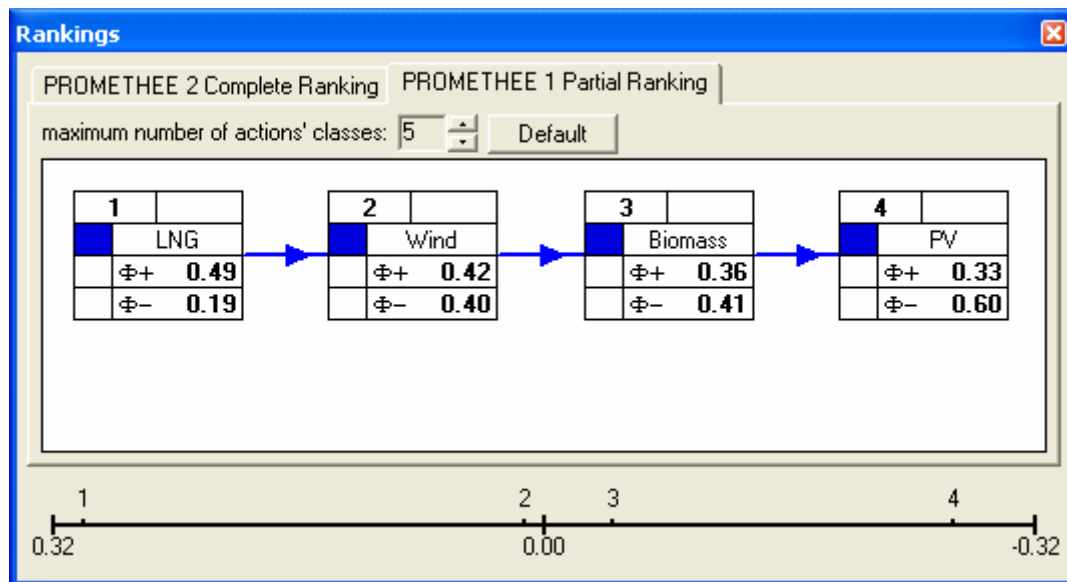
Σχήμα 6.23: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

**Preference Flows**

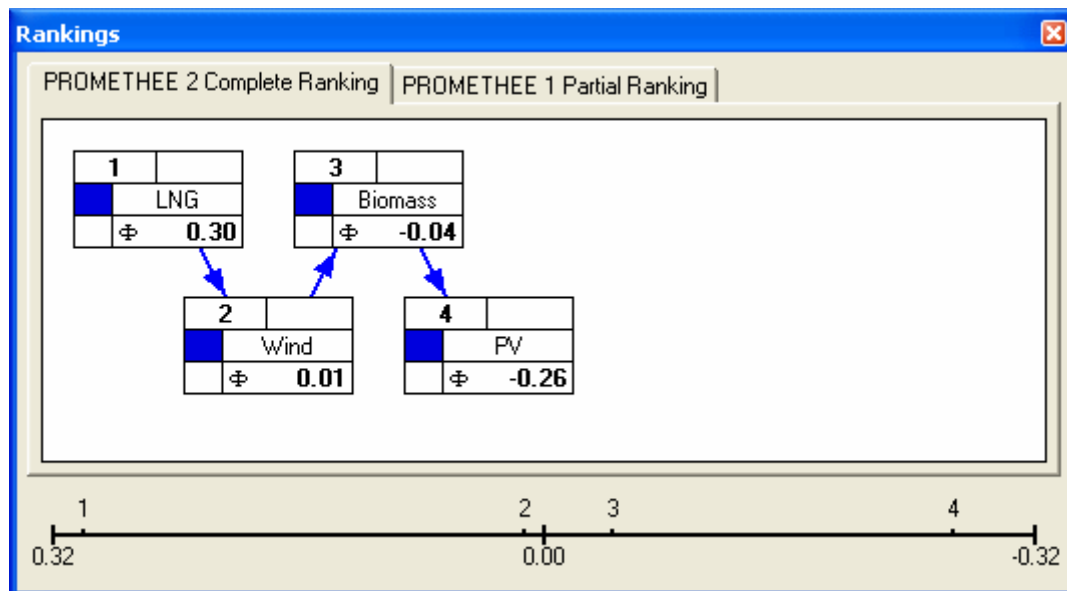
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$
Wind	0.4167	0.4040	0.0126
PV	0.3333	0.5965	-0.2632
LNG	0.4884	0.1930	0.2954
Biomass	0.3616	0.4065	-0.0449

Σχήμα 6.24: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.25 και 6.26.

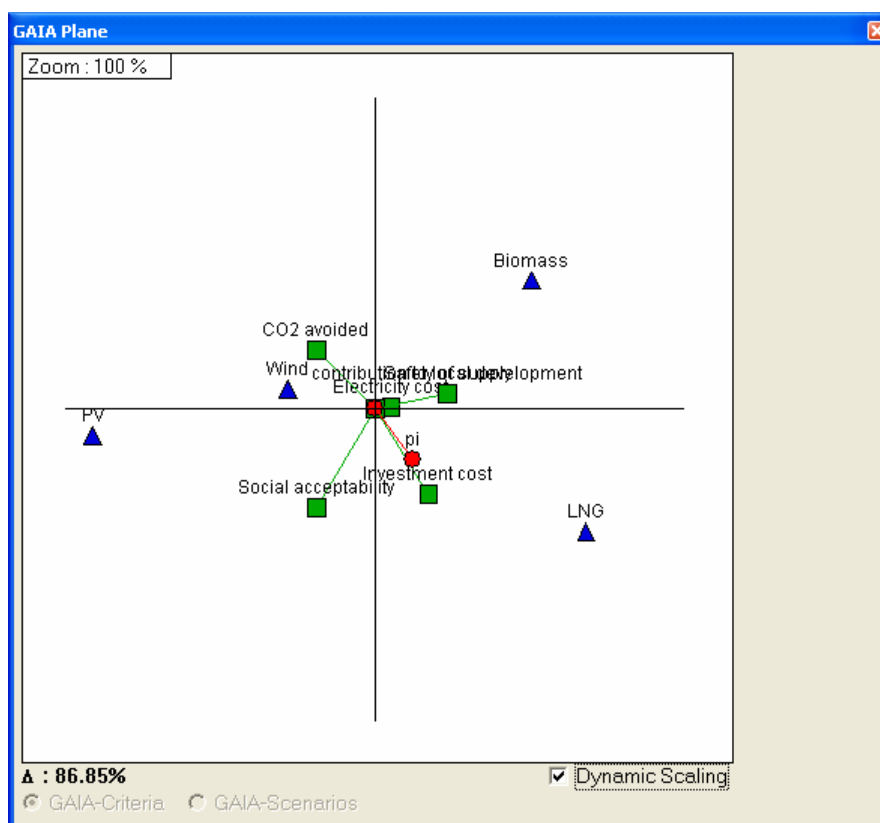


Σχήμα 6.25: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.26: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.27 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.27: Επίπεδο GAIA.

### 6.3.5 Αποτελέσματα πρώτης σύγκρισης

Οι αθροιστικές ροές προτίμησης των τεσσάρων εναλλακτικών τεχνολογιών στην πρώτη σύγκριση, για τις τέσσερις περιπτώσεις, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.28.

Πίνακας 6.28: Αθροιστικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών στην πρώτη σύγκριση για τις τέσσερις περιπτώσεις.

	Οικονομικά κριτήρια	Ενεργειακή ασφάλεια	Περιβαλλοντικά κριτήρια	Κοινωνικά κριτήρια
	φ	φ	φ	φ
wind	0.1481	0.1453	0.3487	0.0126
PV	-0.2982	-0.3000	0.0256	-0.2632
LNG	0.2400	0.1640	-0.0504	0.2954
biomass	-0.0898	-0.0093	-0.3239	-0.0449

## 6.4 Δεύτερη σύγκριση

Η αιολική ενέργεια καλύπτει το 12.7% της συνολικής ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας της Κρήτης, τα μικρά υδροηλεκτρικά το 0.3%, τα φωτοβολταϊκά συστήματα το 0.1%, ενώ η βιομάζα και τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση (Πίνακας 6.29).

Κατά τη σύγκριση που ακολουθεί αξιολογούνται με το Decision Lab 2000 τέσσερα υποθετικά σενάρια εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου της Κρήτης σε τέσσερις περιπτώσεις: προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια, στην ενεργειακή ασφάλεια, στα περιβαλλοντικά και στα κοινωνικά κριτήρια.

Πίνακας 6.29: Ενεργειακό ισοζύγιο Κρήτης (ΡΑΕ, 2006).

	wind	PV	biomass	LNG	oil
Σημερινό ισοζύγιο	12.7%	0.1%	-	-	87.1%
Σενάριο 1	15%	2%	-	-	82.9%
Σενάριο 2	25%	5%	-	-	69.9%
Σενάριο 3	25%	5%	10%	-	59.9%
Σενάριο 4	25%	5%	10%	25%	34.9%



### 6.4.1 Περίπτωση 1<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στα οικονομικά κριτήρια

Στην πρώτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no. months), Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (qual. 1-4) (Σχήμα 6.30).

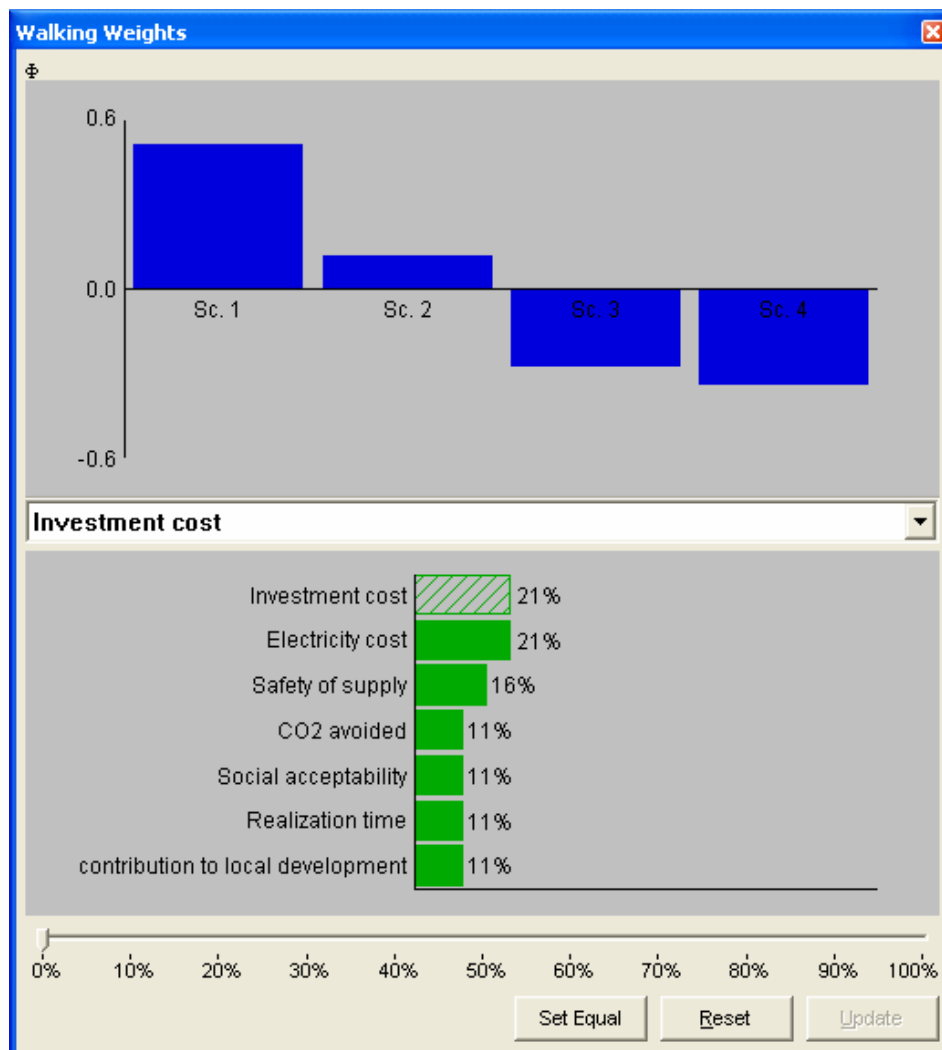
Στα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης, Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και Ενεργειακή ασφάλεια, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.31).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.32.

The screenshot shows the 'Decision Lab' software interface. On the left, the 'Properties' panel shows details for 'Sc. 3'. The main area displays the 'evaluation matrix' for 'Scenario1'.

	Investment cost	Electricity cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	Realization time	contribution to local dev
Min/Max	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Minimize	Maximize
Weight	2.0000	2.0000	1.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	U-Shape	Usual
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	1.0000	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	-	-
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	287584500	0.143	4	240407000	4	21	4
Standard Dev.	176072681	0.009	0	153389890	0	3	0
Unit	Euros	Euros/kWh	qual. 1-6	kg/year	qual. 1-6	no. months	qual. 1-6
Sc. 1	70497000	0.139	Value5	48677000	Value5	18	Value5
Sc. 2	226387000	0.150	Value4	205097000	Value4	18	Value4
Sc. 3	385427000	0.151	Value4	294977000	Value3	24	Value3
Sc. 4	468027000	0.132	Value4	412677000	Value3	24	Value3

Σχήμα 6.30: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).

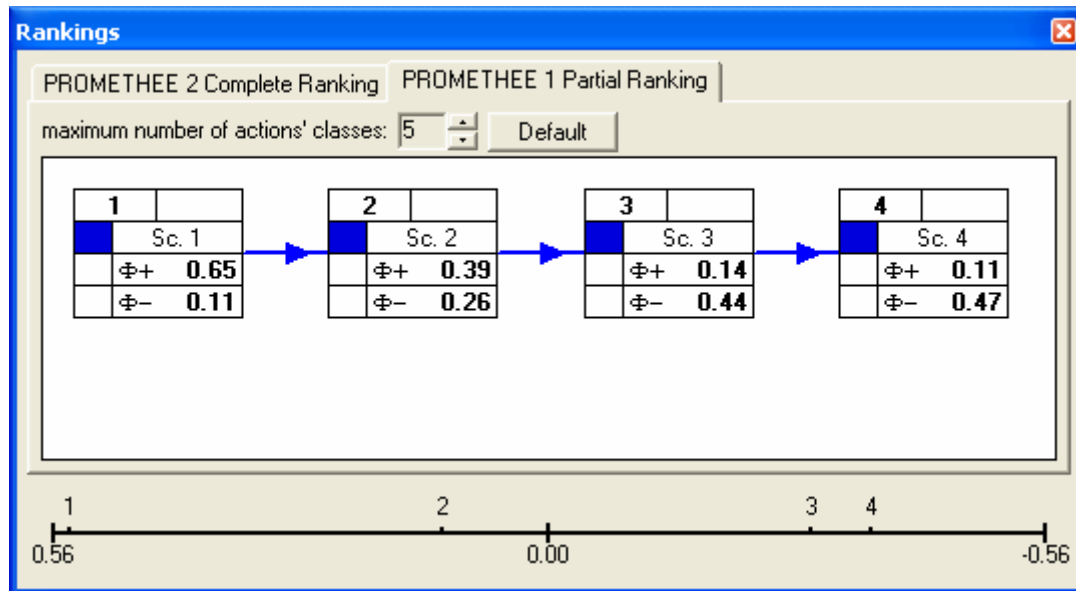


Σχήμα 6.31: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

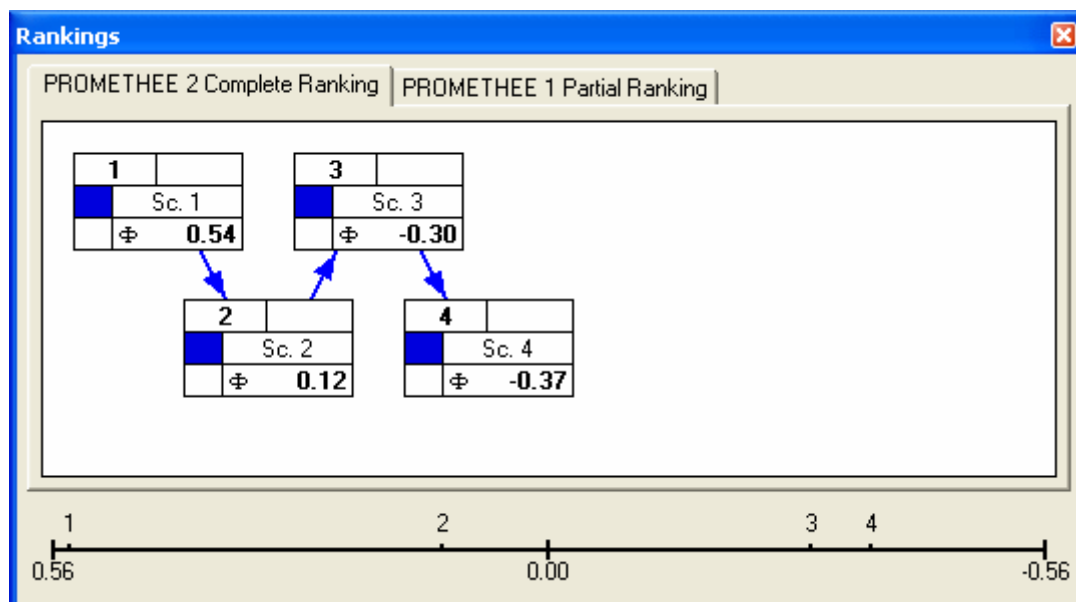
Preference Flows				
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	
Sc. 1	0.6499	0.1055	0.5444	
Sc. 2	0.3860	0.2642	0.1218	
Sc. 3	0.1404	0.4397	-0.2994	
Sc. 4	0.1068	0.4737	-0.3669	

Σχήμα 6.32: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.33 και 6.34.

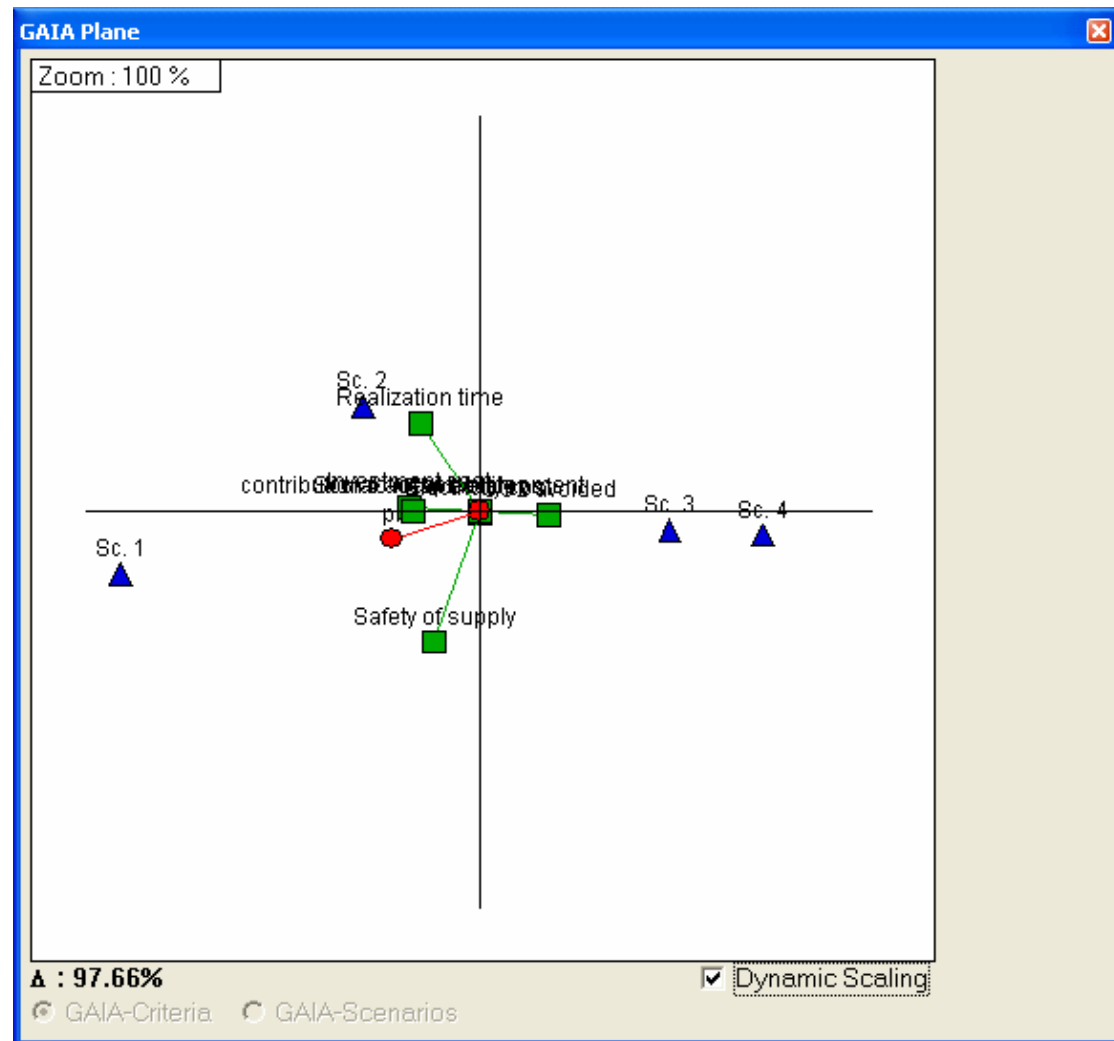


Σχήμα 6.33: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.34: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.35 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.35: Επίπεδο GAIA.

### 6.4.2 Περίπτωση 2<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στην ενεργειακή ασφάλεια

Στη δεύτερη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρόνος πραγματοποίησης (no. months), Ωριμότητα τεχνολογίας (qual. 1-4) (Σχήμα 6.36). Στα κριτήρια: Ενεργειακή ασφάλεια, Χρόνος πραγματοποίησης και Ωριμότητα τεχνολογίας, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.37).

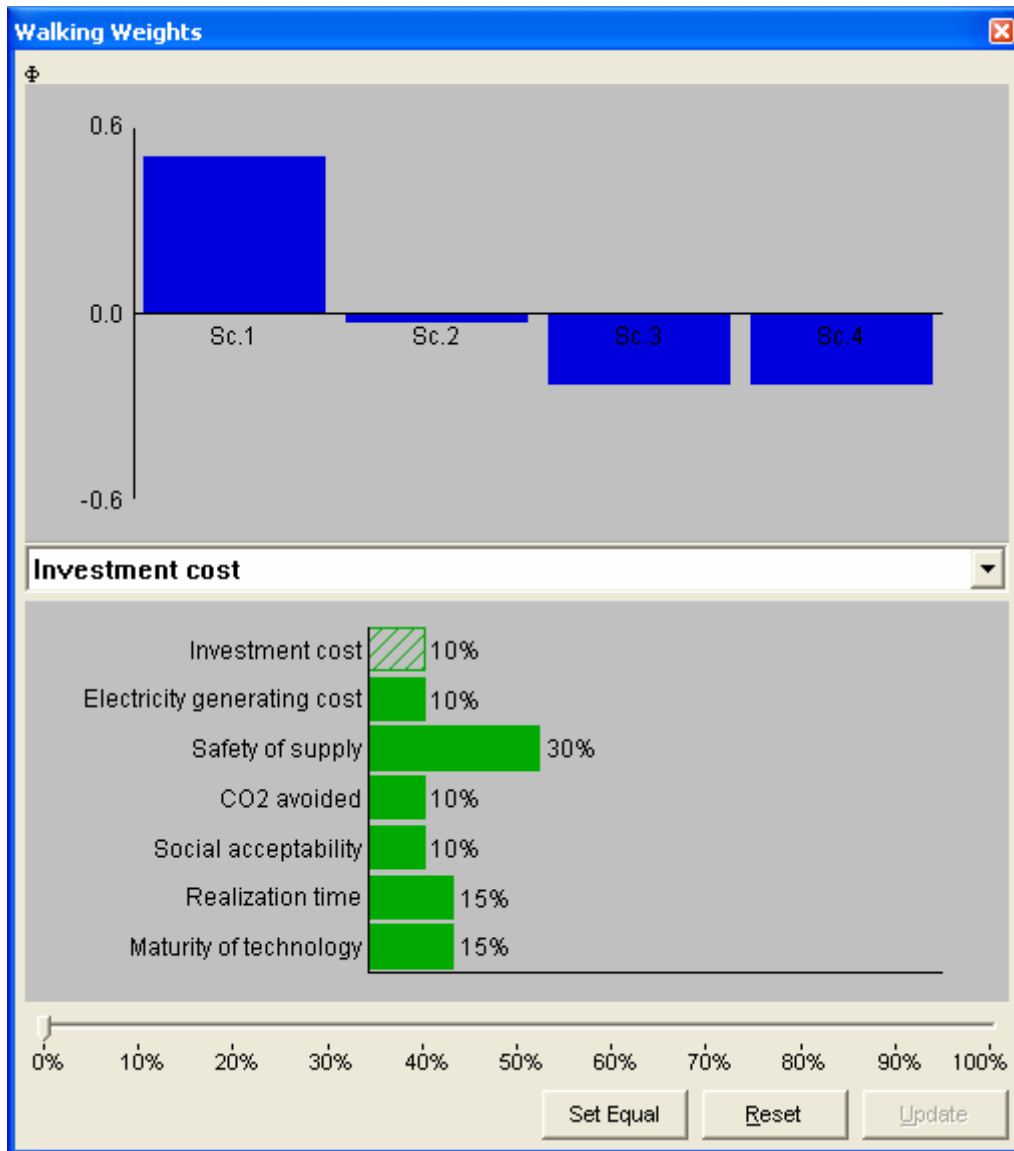
Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.38.

Decision Lab - [2.2 saf. supply cr. new]

FileEditViewInsertToolsWindowHelp

</

Σχήμα 6.36: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).

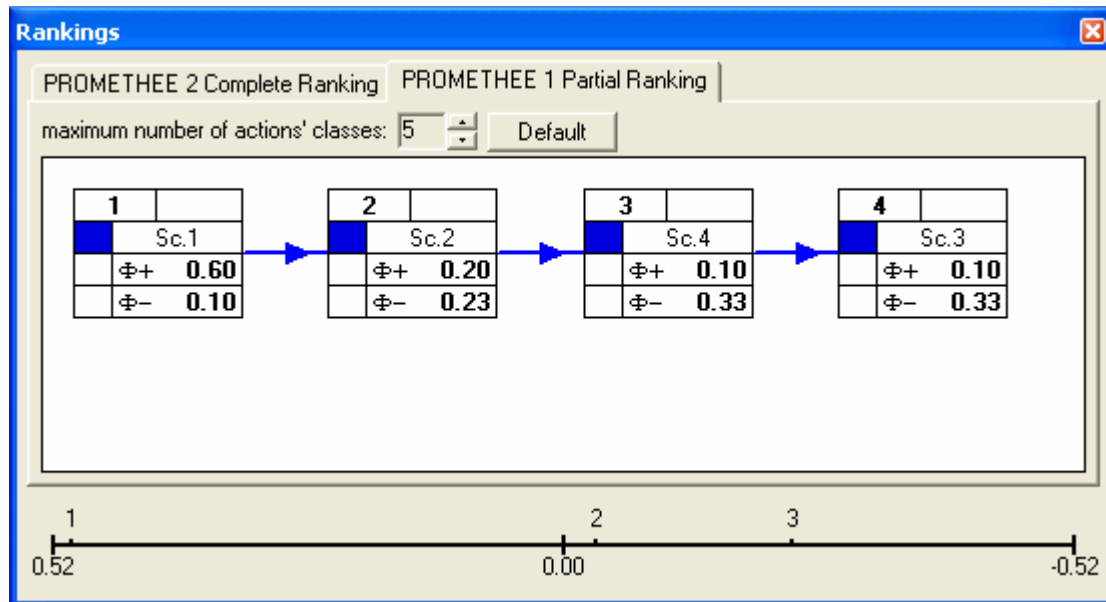


Σχήμα 6.37: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

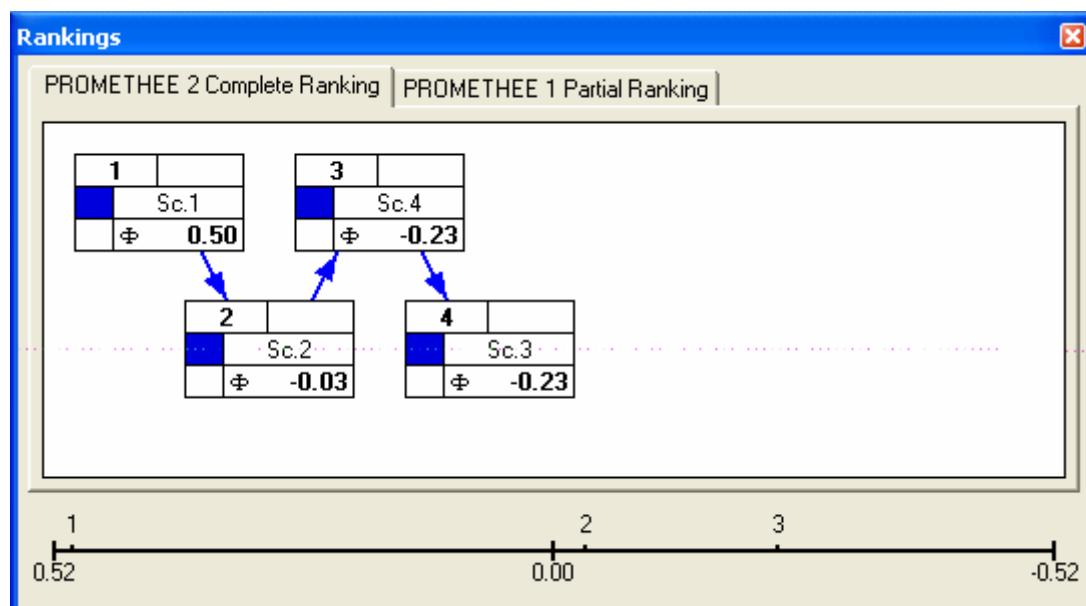
Preference Flows				
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	
Sc.1	0.6004	0.1001	0.5003	
Sc.2	0.2000	0.2338	-0.0338	
Sc.3	0.1000	0.3339	-0.2339	
Sc.4	0.1007	0.3333	-0.2326	

Σχήμα 6.38: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.39 και 6.40.

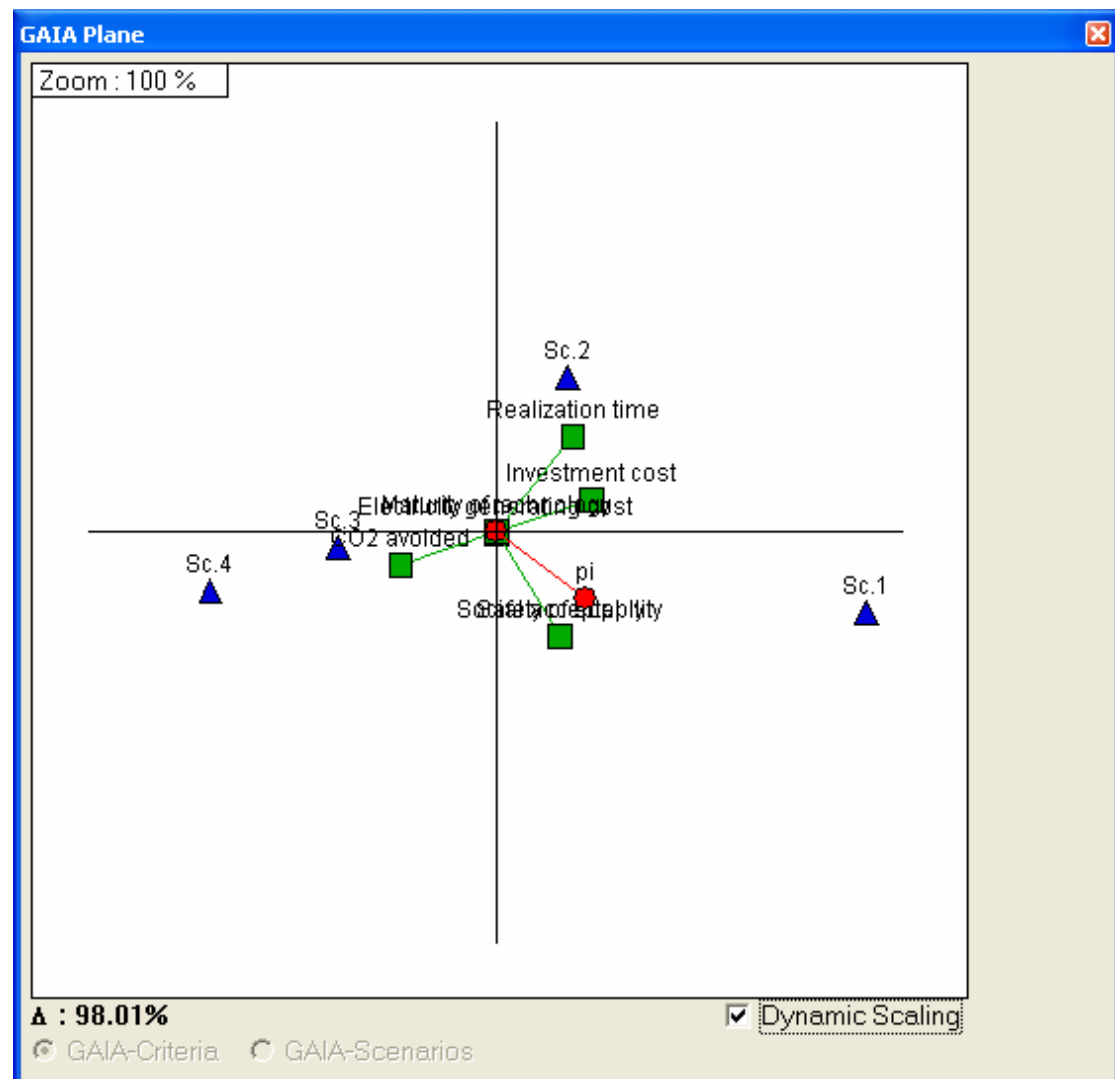


Σχήμα 6.39: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.40: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.41 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.41: Επίπεδο GAIA.



### 6.4.3 Περίπτωση 3<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στα περιβαλλοντικά κριτήρια

Στην τρίτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Χρήση γαιών (km<sup>2</sup>) (Σχήμα 6.42).

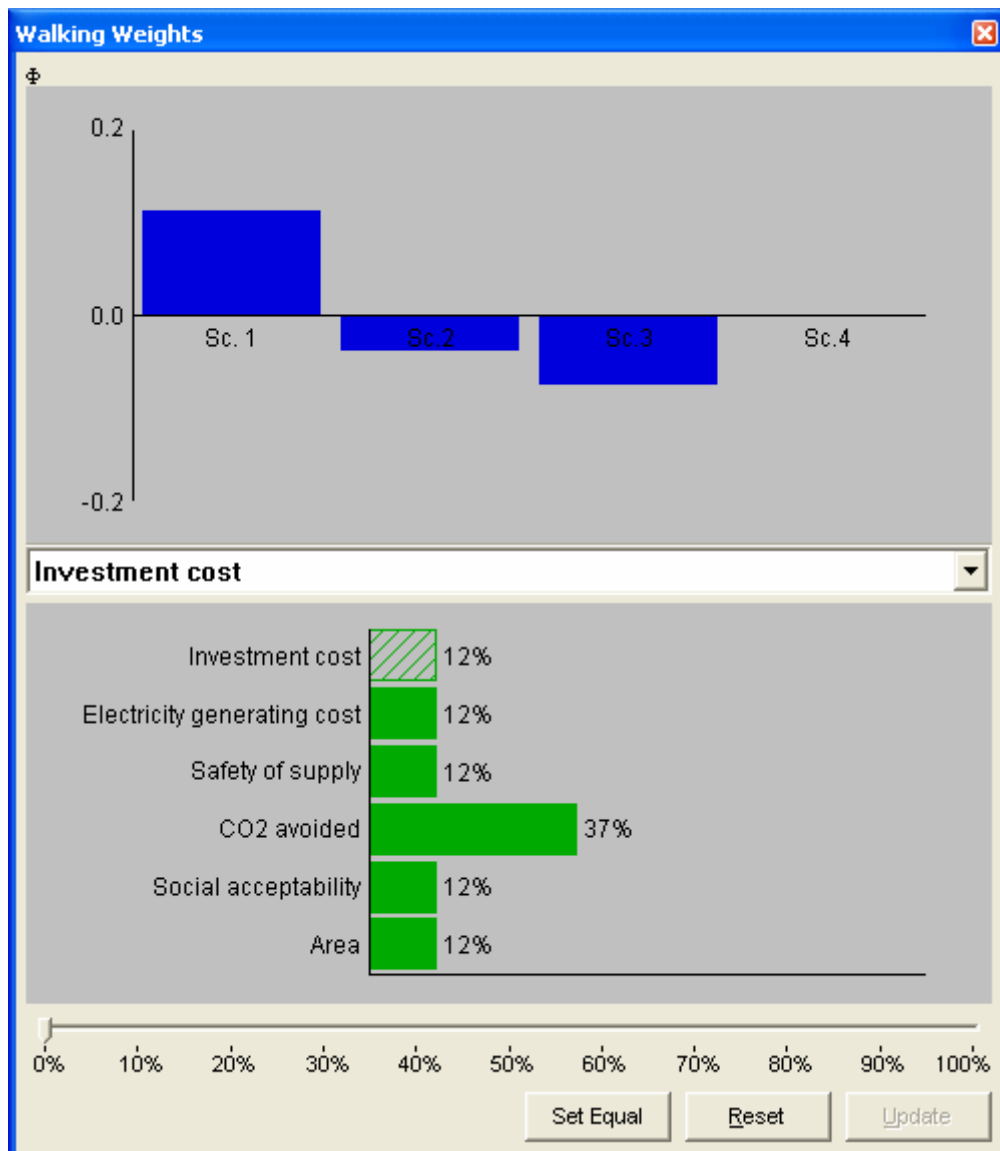
Στο κριτήριο: Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.43).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.44.

The screenshot shows the 'Decision Lab' software interface. On the left is a 'Properties' panel for the 'Investment cost' criterion. The main area displays an evaluation matrix for 'Scenario1' with the following data:

	Investment cost	Electricity generating cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	Area
<b>Min/Max</b>	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Minimize
Weight	1.0000	1.0000	1.0000	3.0000	1.0000	1.0000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	V-Shape
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	2.0000
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	287594500	0.143	4	240407000	3	241
Standard Dev.	176072681	0.009	0	153389890	0	230
Unit	Euros	Euros/MWh	qual. 1-6	kg/year	qual. 1-6	km2
Sc. 1	70497000	0.139	Value5	48877000	Value5	14
Sc. 2	226387000	0.150	Value4	205097000	Value4	72
Sc. 3	385427000	0.151	Value4	294977000	Value3	436
Sc. 4	468027000	0.132	Value4	412677000	Value3	443

Σχήμα 6.42: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).

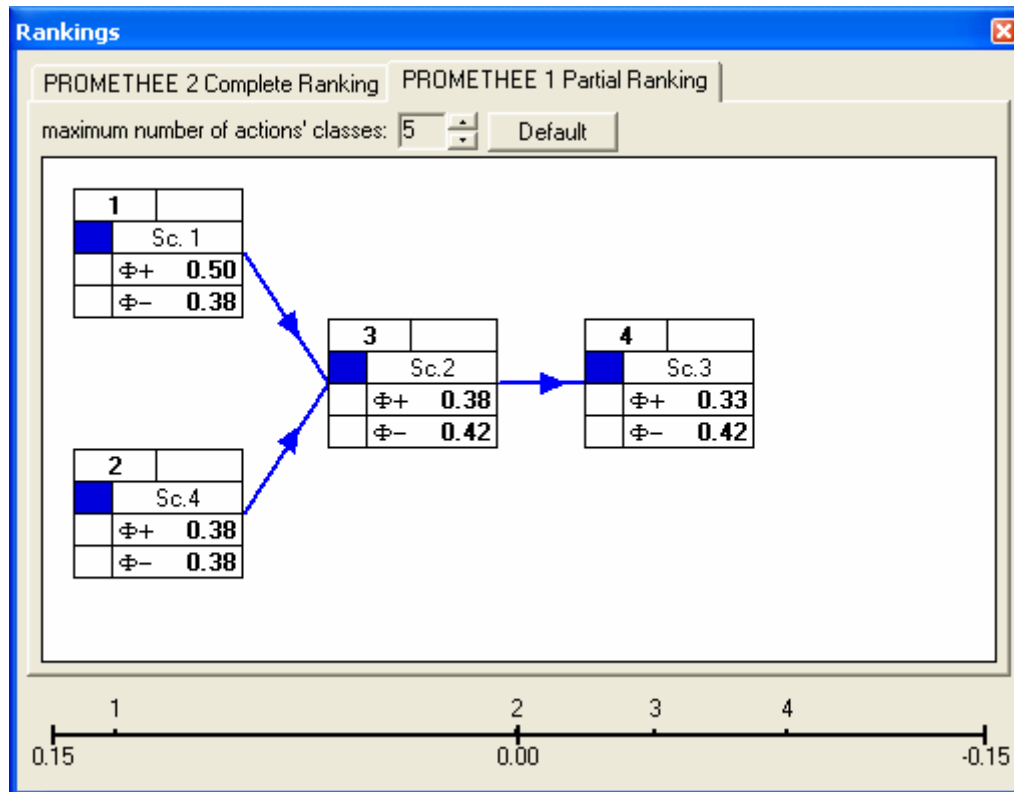


Σχήμα 6.43: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

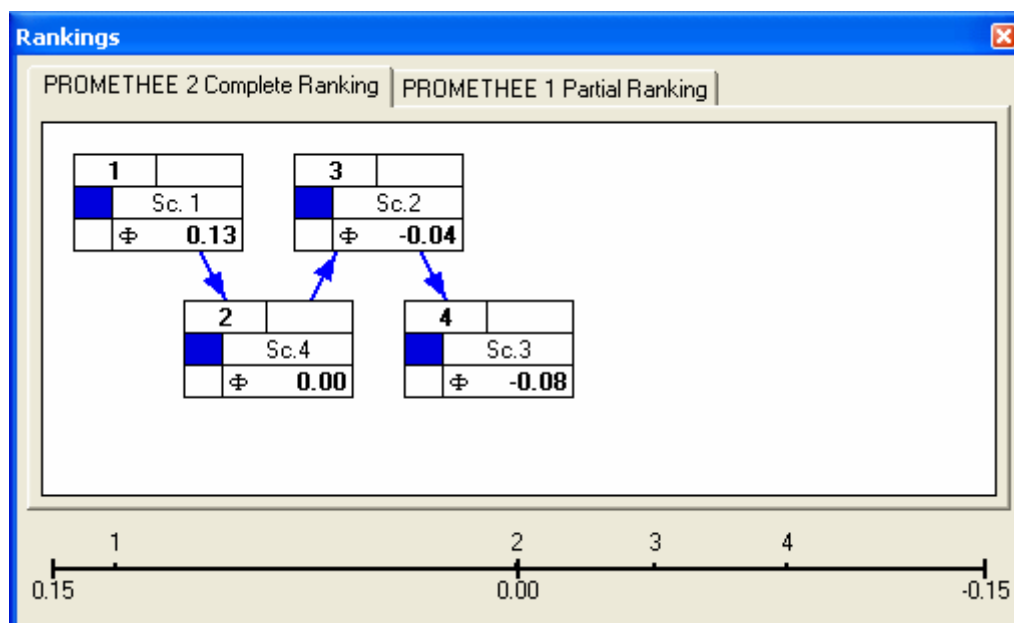
Preference Flows				
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$	
Sc. 1	0.5005	0.3751	0.1253	
Sc.2	0.3750	0.4173	-0.0423	
Sc.3	0.3333	0.4173	-0.0840	
Sc.4	0.3759	0.3750	0.0009	

Σχήμα 6.44: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.45 και 6.46.

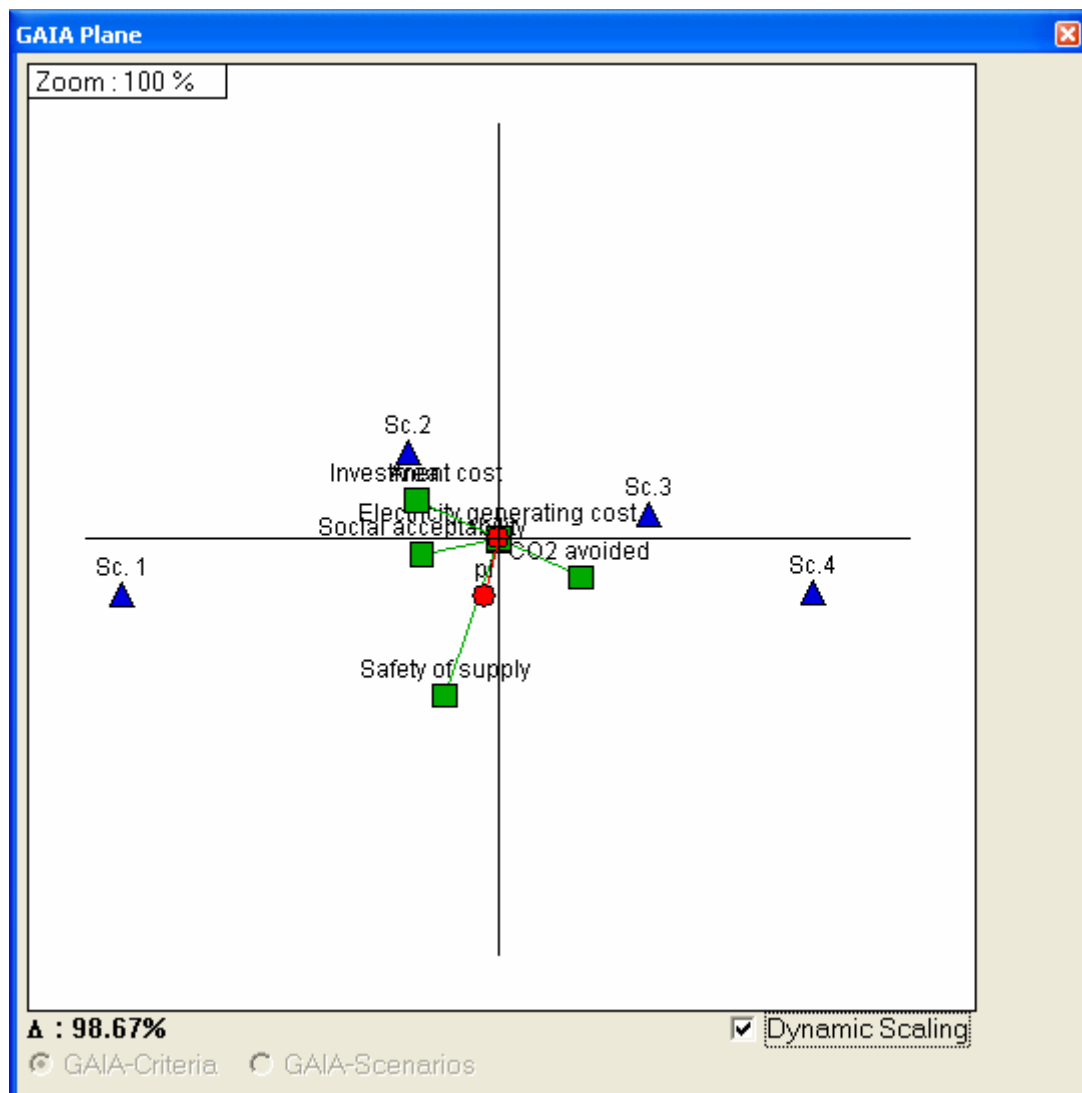


Σχήμα 6.45: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.46: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.47 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.47: Επίπεδο GAIA.

#### 6.4.4 Περίπτωση 4<sup>η</sup>: Προτεραιότητα στα κοινωνικά κριτήρια

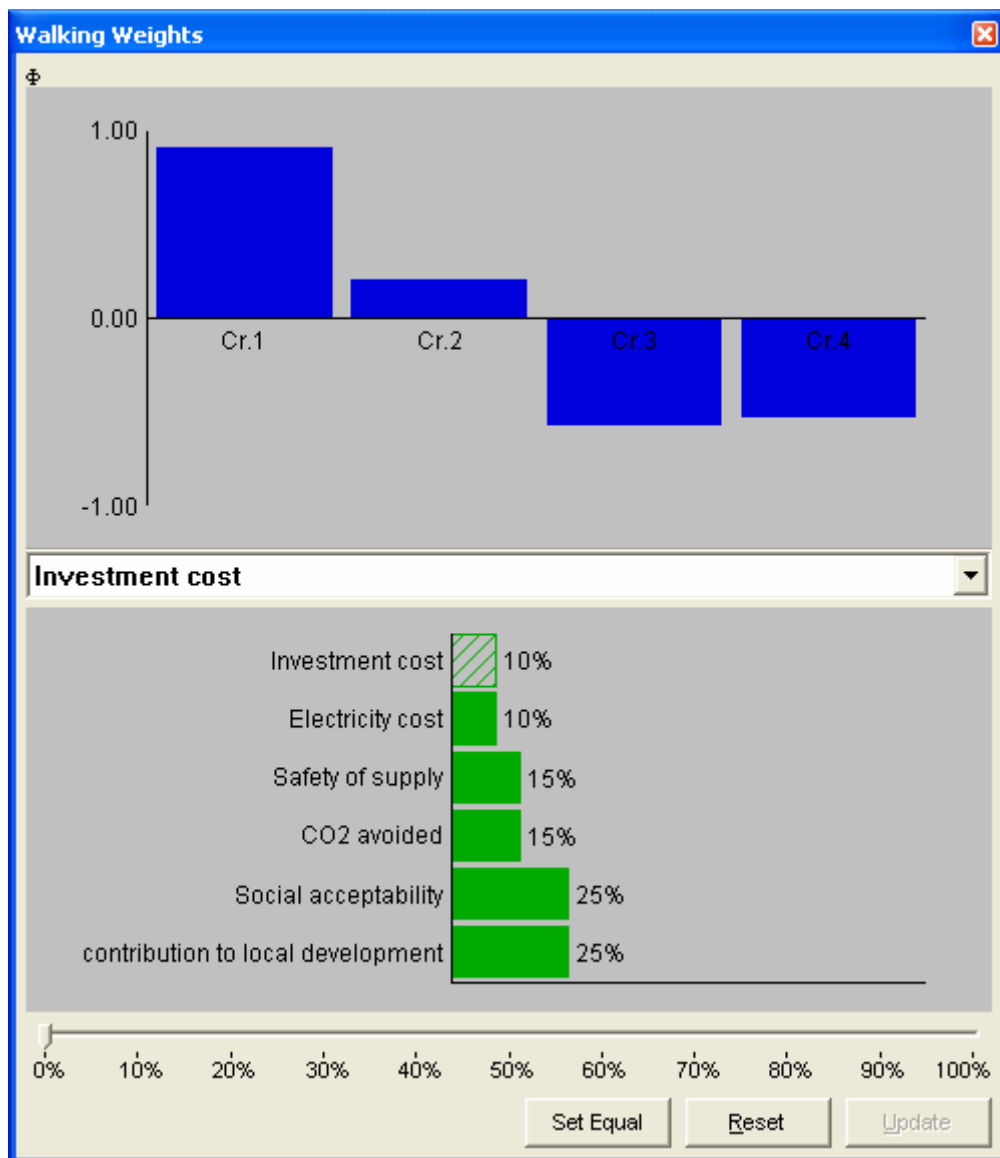
Στην τέταρτη περίπτωση επιλέχθηκαν τα κριτήρια: Κόστος εγκατάστασης (€), Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh), Ενεργειακή ασφάλεια (qual. 1-4), Βιωσιμότητα κλιματικής αλλαγής (αποφυγή CO<sub>2</sub>) (kg/year), Κοινωνική αποδοχή (qual. 1-4), Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία (qual. 1-4) (Σχήμα 6.48).

Στα κριτήρια: Κοινωνική αποδοχή και Συνεισφορά στην τοπική κοινωνία, προσδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.49).

Οι θετικές και αρνητικές ροές προτίμησης των εναλλακτικών τεχνολογιών παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.50.

Criterion	Action	Category	Investment cost	Electricity cost	Safety of supply	CO2 avoided	Social acceptability	contribution to local development
Min/Max	Minimize	Minimize	Minimize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize	Maximize
Weight	1.0000	1.0000	1.0000	1.5000	1.5000	2.5000	2.5000	2.5000
Preference Function	V-Shape	V-Shape	Usual	V-Shape	Usual	Usual	Usual	Usual
Indifference Threshold	-	-	-	-	-	-	-	-
Preference Threshold	2.0000	2.0000	-	2.0000	-	-	-	-
Gaussian Threshold	-	-	-	-	-	-	-	-
Threshold Unit	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute	Absolute
Average Performance	287594500	0.143	4	15480000	3	3		
Standard Dev.	176072681	0.009	0	5561583	0	0		
Unit	Euros	Euro/MWh	qual. 1-6	kg/year	qual. 1-6	qual. 1-6		
Cr.1	70497000	0.139	Value5	20880000	Value5	Value5		
Cr.2	226387000	0.150	Value4	18000000	Value4	Value4		
Cr.3	385427000	0.151	Value4	7920000	Value3	Value3		
Cr.4	468027000	0.132	Value4	15120000	Value3	Value3		

Σχήμα 6.48: Μήτρα υπολογισμών (evaluation matrix).

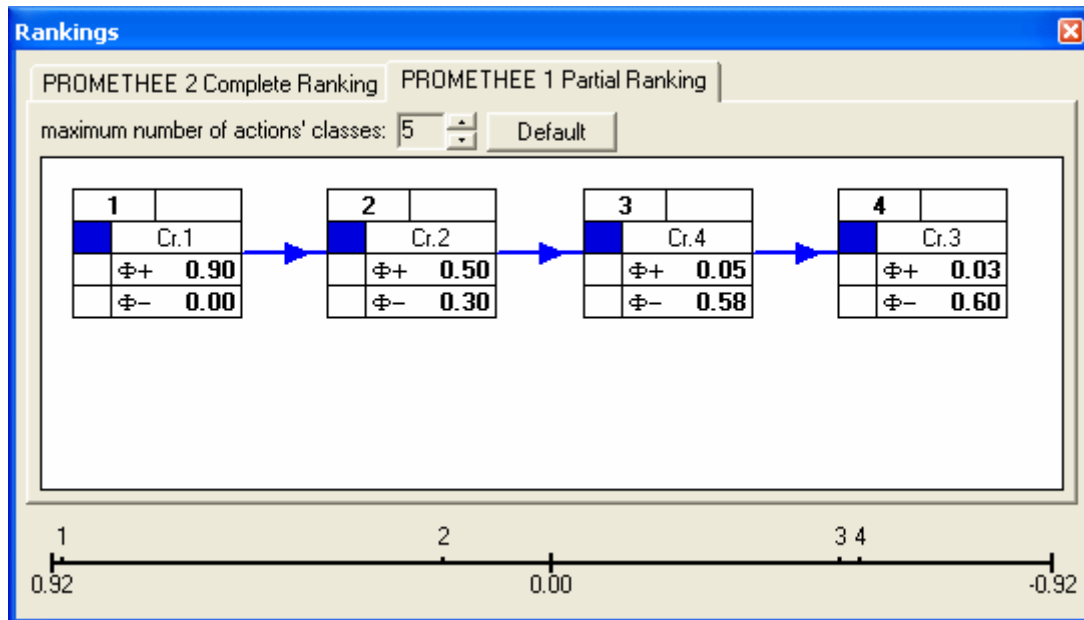


Σχήμα 6.49: Συντελεστές βαρύτητας (walking weights).

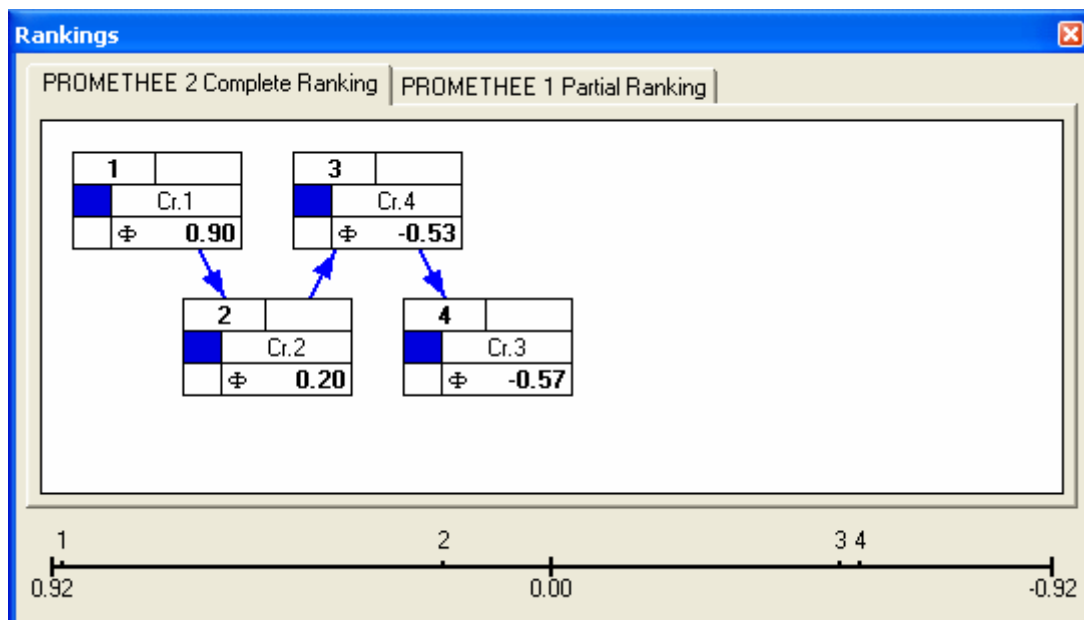
	$\Phi+$	$\Phi-$	$\Phi$
Cr.1	0.9004	0.0001	0.9003
Cr.2	0.5000	0.3005	0.1995
Cr.3	0.0333	0.6005	-0.5672
Cr.4	0.0507	0.5833	-0.5326

Σχήμα 6.50: Ροή προτίμησης (preference flows).

Τα αποτελέσματα της μερικής ταξινόμησης του PROMETHEE I και της πλήρους ταξινόμησης του PROMETHEE II παρουσιάζονται στα Σχήματα 6.51 και 6.52.

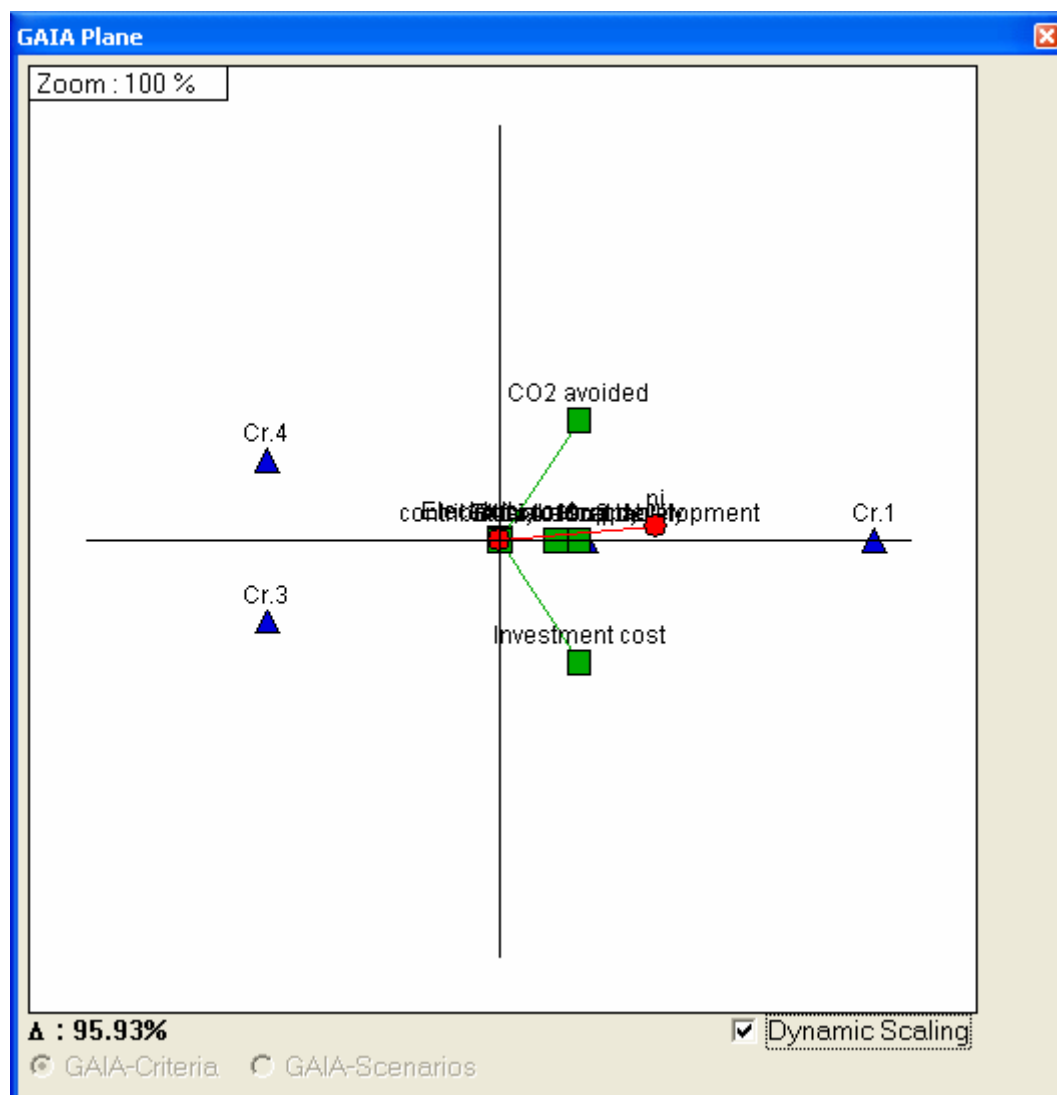


Σχήμα 6.51: Μερική ταξινόμηση Promethee 1 (partial ranking).



Σχήμα 6.52: Πλήρης ταξινόμηση Promethee 2 (complete ranking).

Στο Σχήμα 6.53 απεικονίζεται το επίπεδο GAIA.



Σχήμα 6.53: Επίπεδο GAIA.



### 6.4.5 Αποτελέσματα δεύτερης σύγκρισης

Στον Πίνακα 6.54 παρουσιάζονται οι αθροιστικές ροές των τεσσάρων υποθετικών σεναρίων εξέλιξης του ενεργειακού ισοζυγίου της Κρήτης, στις τέσσερις περιπτώσεις σύγκρισης.

Πίνακας 6.54: Αθροιστικές ροές των τεσσάρων σεναρίων στις τέσσερις περιπτώσεις σύγκρισης.

	Οικονομικά κριτήρια	Ενεργειακή ασφάλεια	Περιβαλλοντικά κριτήρια	Κοινωνικά κριτήρια
	φ	φ	φ	φ
Scenario 1	0.5444	0.5003	0.1253	0.9003
Scenario 2	0.1218	-0.0338	-0.0423	0.1995
Scenario 3	-0.2994	-0.2339	-0.0840	-0.5672
Scenario 4	-0.3669	-0.2326	0.0009	-0.5326

Σημειώνεται πως τιμές και στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στις συγκρίσεις που πραγματοποιήθηκαν προέρχονται από τις ΡΑΕ, ΔΕΗ, ΔΕΣΜΗΕ, το Υπουργείο Ανάπτυξης και διεθνή βιβλιογραφία: Afgan, Carvalho, Cavallaro.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

#### 7.1 Γενικά

Η κατά κεφαλή καταναλισκόμενη ενέργεια στις διάφορες χώρες του κόσμου ποικίλει ανάλογα με το βιοτικό και οικονομικό επίπεδο της κάθε χώρας. Το ποσοστό χρησιμοποίησης των διαφόρων μορφών ενέργειας, ποικίλει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται κυρίως από την ύπαρξη εγχώριων ενεργειακών πόρων, τη γεωγραφική θέση της και άλλες ειδικές συνθήκες, όπως διακρατικές και εμπορικές συμφωνίες.

Μια αναπτυσσόμενη χώρα, όπως η Ελλάδα, οφείλει να αξιοποιήσει το υπάρχον επιστημονικό δυναμικό της στα πλαίσια του προγραμματισμού της έρευνας, αξιολόγησης και αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων της χώρας. Ο προγραμματισμός αυτός πρέπει να είναι προϊόν συνεργασίας όλων των άμεσα ή έμμεσα ενδιαφερομένων φορέων και να βασίζεται στις ανάγκες της παραγωγής, στα προβλήματα του κοινωνικού συνόλου και γενικά να εναρμονίζεται με τους στόχους τοπικών, κρατικών, ευρωπαϊκών και παγκόσμιων αναπτυξιακών προγραμμάτων.

Το ενεργειακό πρόβλημα της Κρήτης συνίσταται, πρωτίστως, στην κάλυψη των αναγκών της Κρήτης σε ηλεκτρική ενέργεια αδιάλειπτα, αξιόπιστα και με τις μικρότερες δυνατές επιπτώσεις στους κατοίκους της και στο περιβάλλον της. Το πρόβλημα αυτό είναι κατά κύριο λόγο σύνθετο τεχνολογικό, αλλά και έντονα κοινωνικοοικονομικό και πολιτικό, και με προφανή περιβαλλοντική διάσταση. Κατά δεύτερο λόγο το ενεργειακό της Κρήτης σχετίζεται με το ευρύτερο ενεργειακό πρόβλημα της Ελλάδας και του κόσμου γενικότερα. Δηλαδή με την περιβαλλοντική και αναπτυξιακή διάσταση της βιώσιμης προσέγγισης των ενεργειακών πόρων. Το τελευταίο αποκτά ιδιαίτερη σημασία, ιδιαίτερα μετά την ενεργοποίηση του πρωτοκόλλου του Κιότο.

Η Κρήτη παρουσιάζει τα κοινά ενεργειακά προβλήματα των περισσότερων νησιών: α) Υψηλό κόστος ενέργειας. β) Μεγάλη εξάρτηση από προϊόντα πετρελαίου και μικρή ασφάλεια εφοδιασμού. γ) Εποχιακές διακυμάνσεις ενεργειακής ζήτησης (ισχύος). δ) Αυστηροί περιορισμοί προστασίας και ανάδειξης του περιβάλλοντος.

## 7.2 Συμπεράσματα

Γενικά συμπεράσματα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας και τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας:

- Η Κρήτη διαθέτει μεγάλο ανεκμετάλλετο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) καθώς και σημαντικότερα περιθώρια ορθολογικής χρήσης και εξοικονόμησης ενέργειας ενώ η ενεργειακή χρησιμοποίηση της βιομάζας συμβάλλει σημαντικά στην τελική κατανάλωση.
- Το σύστημα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργεί οριακά με μικρές ως ανύπαρκτες εφεδρείες ενώ η σημαντική αύξηση των αιχμών ζήτησης φορτίων (εποχιακές διακυμάνσεις ζήτησης που συνδέονται με τον εντατικό τουρισμό της ίδιας περιόδου) προκαλεί διακοπές παροχής ηλεκτρισμού και συνακόλουθα προβλήματα.
- Υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης της παραγωγής προκειμένου το σύστημα να λειτουργεί με την απαραίτητη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία. Επιβάλλεται η άμεση λειτουργία νέου σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή σημαντικής ενίσχυσης των υπαρχόντων καθώς το πρόβλημα ισχύος επιφέρει προφανείς δυσμενείς επιπτώσεις στην αναπτυξιακή πορεία του νησιού.
- Η Κρήτη έχει πολύ υψηλό ρυθμό αύξησης της ενεργειακής ζήτησης. Η ετήσια αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 7% σε σύγκριση με 4% που είναι ο εθνικός μέσος όρος.
- Η μέχρι σήμερα ενεργειακή ανάπτυξη της Κρήτης βασίστηκε στην ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενη από μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμα αποκλειστικά το πετρέλαιο και το μαζούτ.
- Η μεγάλη συμμετοχή του πετρελαίου στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού δημιουργεί το αυξημένο κόστος παραγωγής σε σχέση με το αντίστοιχο του Εθνικού Συστήματος.
- Υπάρχει ανάγκη ενίσχυσης του σημερινού συστήματος παραγωγής και εγκατάστασης νέου σταθμού μέχρι το 2010-12 ισχύος 200-250 MW με αλλαγή καυσίμου.
- Η λύση της διασύνδεσης με το ηπειρωτικό σύστημα, που είχε προταθεί στο παρελθόν, καίτοι σήμερα έχουν ουσιαστικά λυθεί τα τεχνικά προβλήματα της πόντισης, δεν είναι μεσοπρόθεσμα εφικτή γιατί προϋποθέτει την ενίσχυση του δικτύου υψηλής τάσης της Πελοποννήσου με την κατασκευή γραμμών υψηλής τάσης 400KV καθώς και την αναβάθμιση του Σταθμού της Μεγαλόπολης.

- Η λύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν μπορεί από μόνη της να αποτελέσει την πλήρη λύση του προβλήματος λόγω της μεταβλητότητας που παρουσιάζουν οι ΑΠΕ για την παραγωγή αξιόπιστης ενέργειας αλλά και των τεχνικο-οικονομικών περιορισμών του υπάρχοντος συστήματος.
- Το σενάριο εισαγωγής φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού αποτελεί μια περιβαλλοντικά φιλική λύση που διασφαλίζει χαμηλότερο κόστος παραγωγής και αντιμετωπίζει μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα το ενεργειακό πρόβλημα του νησιού. Η λύση αυτή ανταποκρίνεται στην πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για αποδέσμευση από το πετρέλαιο και καθαρό περιβάλλον και συμβάλλει στην ανάπτυξη της αποκεντρωμένης παραγωγής και συμπαραγωγής με βελτιστοποίηση ολόκληρου του συστήματος.
- Οι προτεινόμενες λύσεις εξυπηρετούν τους τιθέντες στόχους για κάλυψη της ζήτησης και εξασφάλισης καθαρού περιβάλλοντος με περιορισμό των εκπομπών ρύπων σε ανταγωνιστικό κόστος σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο ορίζοντα.
- Κύρια ζητούμενα είναι η εξασφάλιση ενέργειας σε ανταγωνιστικό κόστος και η εξασφάλιση καθαρού περιβάλλοντος, προϋπόθεση για την περαιτέρω τουριστική ανάπτυξη της Κρήτης.
- Η ενεργειακή πολιτική της χώρας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, συνοψίζεται στη διασφάλιση της προμήθειας ενέργειας, με ελαχιστοποίηση της εξάρτησης, κυρίως από τα ορυκτά καύσιμα. Η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας και γενικότερα η αειφόρος τεχνολογία αποτελεί τη βασικότερη και μοναδική δυνατότητα για αποφυγή της ενεργειακής εξάρτησης και για την αντιμετώπιση των επαπειλούμενων κλιματικών αλλαγών.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνεισφορά των αιολικών πάρκων στο ενεργειακό ισοζύγιο της Κρήτης. Η διείσδυση αιολικής ενέργειας ανέρχεται σε περίπου 12,7% το οποίο χαρακτηρίζεται από τους ειδικούς ως "εντυπωσιακό". Επίσης παρατηρείται πως η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων είναι άνισα κατανομημένα στο νησί (σημαντικά περισσότερη στον Ν.Λασιθίου).
- Παρόλο που η εξασφάλιση της απαραίτητης ηλεκτρικής ισχύος είναι το πρωτεύον ζήτημα, η συμμετοχή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η Ορθολογική Χρήση Ενέργειας και η Εξοικονόμηση Ενέργειας πρέπει να προωθηθεί και στους άλλους τομείς (κτίρια, μεταφορές, βιομηχανία κτλ.). Η Κρήτη προσφέρεται για την ευρεία διείσδυση όλων των ΑΠΕ (ηλιοθερμική, φωτοβολταϊκά, αβαθή γεωθερμία, βιομάζα κτλ.), καθώς και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας σε δυναμικούς κλάδους, όπως ο ξενοδοχειακός τομέας, ώστε να καταστεί πρότυπη νησιωτική περιφέρεια στη Μεσόγειο και στην Ευρώπη.

Ειδικότερα, όσον αφορά τη σύγκριση (που πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό Decision Lab 2000 με οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια) των κυριότερων πρακτικά εφαρμόσιμων εναλλακτικών τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής στο ενεργειακό σύστημα της Κρήτης, εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Η εισαγωγή φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο του νησιού αποτελεί μια περιβαλλοντικά φιλική λύση που διασφαλίζει χαμηλότερο κόστος παραγωγής, ενεργειακή ασφάλεια και νέες θέσεις εργασίας.
- Από οικονομικής πλευράς η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας υπερέχει της ανάπτυξης των φωτοβολταϊκών και της βιομάζας. Σημειώνεται πως η Κρήτη διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό άριστης ποιότητας.
- Η τεχνολογία της βιομάζας, καθώς το σύστημα είναι μη διασυνδεδεμένο και η ηλεκτροπαραγωγή με καύσιμο την βιομάζα παρέχει φορτίο βάσης (οι υπόλοιπες ΑΠΕ παρέχουν φορτίο αιχμής), σε συνδυασμό με το υψηλό εκτιμώμενο δυναμικό της, κρίνεται ελκυστική για την Κρήτη. Επίσης, σημειώνεται πως η χρήση των υπολειμμάτων των γεωργικών καλλιεργειών ως καυσίμων μπορεί να βελτιώσει τα οικονομικά της γεωργίας μειώνοντας το κόστος απόρριψης και παρέχοντας εναλλακτικές πηγές εσόδων.
- Το υψηλό κόστος κτήσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων καθιστά σήμερα οικονομικά ασύμφορη τη σημαντική αξιοποίηση του μεγάλου ηλιακού δυναμικού της Κρήτης. Σημειώνεται, πως καθώς με την πάροδο των χρόνων μειώνεται το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο αριθμός των οικονομικά αποδοτικών εφαρμογών τους αυξάνεται. Η μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας αναμένεται να είναι οικονομικά συμφέρουσα στο νησί στα επόμενα 10 έως 20 χρόνια, όταν το κόστος παραγωγής πέσει κάτω από το 0.1€/kWh.
- Τέλος, το λογισμικό Decision Lab 2000 είναι φιλικό προς τον χρήστη και ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διαχείριση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων.

### 7.3 Προτάσεις

Όπως φαίνεται και από την παρούσα εργασία, υπάρχει ευρύ πεδίο έρευνας στα θέματα αυτά. Προτείνεται να γίνουν τα ακόλουθα:

- Να μελετηθεί σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα η οικονομική σκοπιμότητα της υποβρύχιας διασύνδεσης με συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης του συστήματος Κρήτης με το Εθνικό σύστημα, και της απαιτούμενης αναβάθμισης του δικτύου υψηλής τάσης της Πελοποννήσου (σύνδεση με δίκτυο 400KV). Η παραπάνω διασύνδεση θα επιτρέψει την σημαντική αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ (κυρίως αιολικά πάρκα) και την συμβολή τους στην μεγαλύτερη δυνατή απεξάρτηση του συστήματος από τους υδρογονάνθρακες.
- Να γίνει μελέτη των απόψεων των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις χρήσεις γης και τις επιπτώσεις στο φυσικό και στο ανθρωπογενές περιβάλλον (αισθητικό, πολιτιστικό, ιστορικό, αρχαιολογικό κτλ.).
- Η συνεκτίμηση του καθαρού οικονομικού κόστους μαζί με το περιβαλλοντικό ή εξωτερικό κόστος των διάφορων εναλλακτικών ενεργειακών επιλογών.
- Η παρακολούθηση των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου της κάθε ενεργειακής επιλογής, με την πλήρη ανάλυση του ενεργειακού κύκλου ζωής της διεργασίας.
- Περαιτέρω αναζήτηση και αξιολόγηση ενεργειακών μοντέλων και σχετικών υπολογιστικών εργαλείων.
- Η αγορά του Decision Lab 2000 Professional Edition, από εργαστήριο του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την χρησιμοποίησή του στη διαχείριση προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων, καθώς η δοκιμαστική έκδοση που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έχει περιορισμό στον αριθμό των κριτηρίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.
- Η διαμόρφωση ενός ενεργειακού μοντέλου και σχετικών υπολογιστικών εργαλείων από το Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

Καλδέλλης, Ι.Κ. (1999). Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις Αθ.Σταμουλής, Αθήνα.

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (2005). Κλιματική Αλλαγή στον Ελλαδικό Χώρο.

ΚΑΠΕ (2006). Οδηγός Εφαρμογής του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών στην Ελλάδα

ΚΑΠΕ, Ecole des Mines de Paris, ZREU (2001). Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, Αθήνα.

ΡΑΕ (2003). Έκθεση της ΡΑΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Αθήνα, Φεβρουάριος 2003.

ΥΠΕΧΩΔΕ (2004). Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την περίοδο 2005-2007, Αθήνα, Δεκέμβριος 2004.

Υπουργείο Ανάπτυξης (2003). Εθνική Έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το έτος 2010, Φεβρουάριος 2003.

Υπουργείο Ανάπτυξης (2003). 2<sup>η</sup> Εθνική Έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το έτος 2010, Οκτώβριος 2003.

Φείδας, Χ. και Δ. Λάλας (2000). Περίληψη της Έκθεσης για τις Κλιματικές Αλλαγές στη Μεσόγειο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Αθήνα, Οκτώβριος 2000.

## **Διεθνής Βιβλιογραφία**

Afgan N.H. and Carvalho M.G. (2001). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants, Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal.

Bakken B.H. and Holen A.T. (2004). Energy Service Systems: Integrated Planning Case Studies, Proceedings IEEE PES, General meeting, June 2004, Denver.

Belton V. and Stewart T.J. (2002). Multiple Criteria Decision Analysis. An integrated approach, Kluwer Academic Publishers.

Brans J.P. and Vincke P. (1985). A preference ranking organization method: The Promethee method for MCDM, Management Science, 31, pp. 647-656.

Brans J.P., Vincke P. and Mareschal B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method, Vrije Universiteit Brussel, Belgium.

Brans J.P., Vincke P. and Mareschal B. (1992). How to decide with Promethee, ULB and VUB Brussels Free Universities.

Brans J.P., Mareschal B. and Vincke (1984). Promethee, a new family of outranking methods.

Cavallaro F. (2005). An Integrated Multi-criteria System to Assess Sustainable Energy Options: An Application of the Promethee Method, Dip.SEGeS-Section of Commodity Science, University of Molise, Milan.

Ecotec Research and Consulting LTD. and A. Mourelatou (2001). Renewable energies: success stories, EEA, Environmental issue report, No 27.

EEA (2003). Europe's Environment: The third assessment, Environmental issue report, No 10.



EEA (2004). Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2004, Progress by the EU and it's Member States towards achieving their Kyoto Protocol targets, Report No5/2004.

EEA (2005). Climate change and a European low-carbon energy system, Report No 1/2005.

EEA (2005). EEA core set of indicators, Guide, Technical report No 1/2005.

EEA (2005). Vulnerability and Adaptation to Climate Change in Europe, Technical report No 7/2005.

European Commission (2003). A selection of Environmental Pressure indicators for the EU and Acceding countries.

European Commission (2003). External Costs, Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport.

Hobbs B.F. and Meier P.M. (2000). Energy decisions and the environment – A guide to the use of multicriteria methods, Kluwer Academic Publishers.

IEA (1999). Preliminary Analysis of the European Union Proposal on the Kyoto Mechanisms, June 8, 1999.

IEA (2000). Advanced Local Energy Planning – a Guidebook, Program Energy Conservation in Buildings and Community Systems, Annex 33.

IEA (2002). Energy Policies of IEA Countries: Greece 2002 Review.

Mourelatou, A. and I. Smith (2002). Energy and Environment in the European Union, EEA, Environmental issue report, No 31.

Pohekar S.D. and Ramachandran M. (2003). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – A review, Birla Institute of Technology and Science, India.

Roy B. (1989). Decision-aid and decision-making, Lamsade, Univesité de Paris-Dauphine, Paris, France.

Roy B. (1993). Decision science or decision-aid science?, European Journal of Operational Research, vol.66, pp.184.

United Nations Millennium Declaration (2000), Resolution adopted by the General Assembly of the United Nations, 18 September 2000.

United Nations Development Program (2000), World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability.

### ***Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο***

[www.cres.gr](http://www.cres.gr)

[www.dei.gr](http://www.dei.gr)

[www.desmie.gr](http://www.desmie.gr)

[www.eea.eu.int](http://www.eea.eu.int)

[www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int)

[www.iea.org](http://www.iea.org)

[www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)

[www.rae.gr](http://www.rae.gr)

[www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)

[www.visualdecision.com](http://www.visualdecision.com)

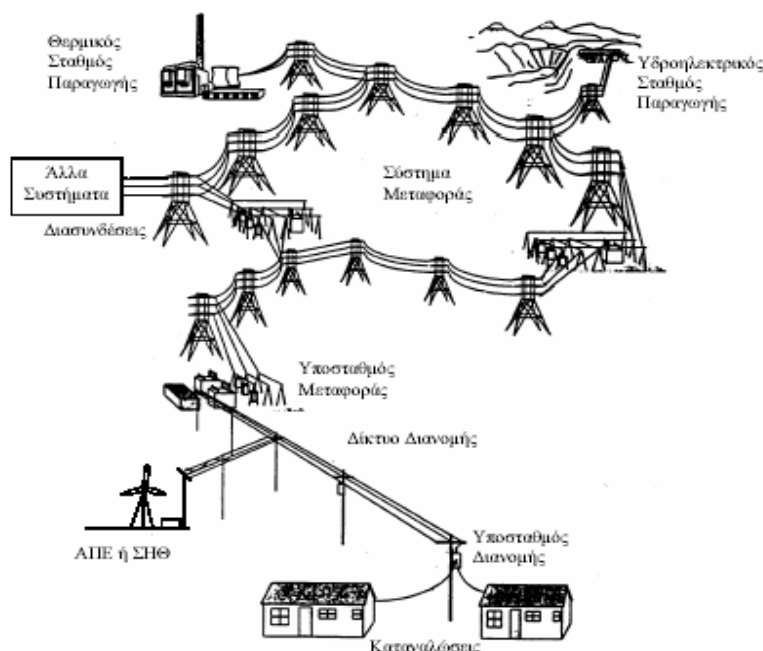
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

#### Α.1 Η ανάπτυξη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '70, παρατηρείται διεθνώς μία συνεχής συγκέντρωση της παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους “Σταθμούς Παραγωγής” και παράλληλα ανάπτυξη των δικτύων Μεταφοράς και Διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας (Σχήμα Α.1). Αυτό συνέβη και στην Ελλάδα με την ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, η οποία κατά την περίοδο 1956-63 εξαγόρασε τις 300 περίπου ηλεκτρικές εταιρείες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα (ΡΑΕ, 2003).

Όμως με αφορμή τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του '70, άρχισε να γίνεται διεθνώς συνείδηση η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, αφενός μεν για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διατιθέμενοι ενεργειακοί πόροι, αφετέρου δε για



Σχήμα Α.1: Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΡΑΕ, 2003)

να περιορίζεται η ρύπανση του περιβάλλοντος. Άρχισε τότε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας, σε αντιστάθμισμα των Συμβατικών Πηγών, όπως είναι το κάρβουνο και το πετρέλαιο, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας, η οποία βεβαίως παρουσιάζει τα γνωστά προβλήματα. Παράλληλα άρχισε μια προσπάθεια για την εξοικονόμηση και γενικότερα την καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας. Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΡΑΕ, 2003).

Βασικό πλεονέκτημα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έναντι των συμβατικών πηγών είναι το ότι ανανεώνονται από τη φύση και δεν προκαλούν μόλυνση της ατμόσφαιρας. Όμως ο ρυθμός με τον οποίο παρέχεται η ενέργεια από τις ΑΠΕ δεν είναι ελεγχόμενος, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται όταν το απαιτούν οι ανθρώπινες ανάγκες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η ηλεκτρική ενέργεια δύσκολα αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες, οδηγεί στην ανάγκη της σύνδεσης των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο και την παράλληλη λειτουργία τους με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Δεδομένου δε ότι για τεχνολογικούς λόγους οι μονάδες των ΑΠΕ είναι μικρής ισχύος, συγκριτικά με τις μονάδες της συμβατικής παραγωγής, συνδέονται κατά γενικό κανόνα στο επίπεδο του Δικτύου Διανομής (ΡΑΕ, 2003).

Για τα συστήματα Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ), βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το ότι επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιείται και η θερμική ενέργεια, η οποία αναπόφευκτα παράγεται κατά την διαδικασία μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Η ισχύς των σταθμών ΣΗΘ, δεδομένου ότι εξυπηρετούν τοπικές ανάγκες (π.χ. ένα νοσοκομείο), είναι σχετικά μικρή και για το λόγο αυτό η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυτών συνδέεται κατά κανόνα όπως και οι ΑΠΕ, στο Δίκτυο Διανομής. Η πρωτογενής ενέργεια στις εγκαταστάσεις Συμπαγωγής, είναι συχνά το Φυσικό Αέριο, το οποίο διανέμεται με τρόπο αντίστοιχο της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν όμως και άλλες πηγές όπως το Βιοαέριο ή η Βιομάζα η χρησιμοποίηση των οποίων μπορεί να εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς (π.χ. απαλλαγή από τα απορρίμματα) (ΡΑΕ, 2003).

Με τη σύνδεση των ΑΠΕ και των ΣΗΘ, επιτυγχάνεται η “διανεμημένη παραγωγή” της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην κατανάλωση της, με αποτέλεσμα να μειώνεται η φόρτιση και οι απώλειες των Δικτύων Μεταφοράς και Διανομής (ΡΑΕ 2003).





Σχήμα Α.3: Αιολικό πάρκο στο Λαύριο Αττικής (ΚΑΠΕ, 2003)

### Α.2.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Αποτελεί μία ανανεώσιμη μορφή ενέργειας, η οποία χρησιμοποιήθηκε από τα πρώτα βήματα ανάπτυξης των ηλεκτρικών εφαρμογών, κυρίως με την κατασκευή φραγμάτων και την δημιουργία υδάτινων ταμιευτήρων μεγάλων ποταμών (Σχήμα Α.4). Τα τελευταία όμως χρόνια αναπτύσσεται ραγδαία η τεχνική των “Μικρών Υδροηλεκτρικών” (Σχήμα Α.5), ισχύος μέχρι 10 MW, τα οποία εγκαθίστανται σε μικρά σχετικά ρέματα και έχουν περιορισμένη επίδραση στο περιβάλλον, αφού περιλαμβάνουν απλώς μία υδροληψία, έναν αγωγό υπό πίεση και τον υδροστρόβιλο. Βασικής σημασίας τόσο για την αποδοτικότητα της επένδυσης όσο και για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, είναι η κατάλληλη επιλογή της θέσης και η όλη σχεδίαση του έργου (ΡΑΕ, 2003).



Σχήμα Α.4: Υδροηλεκτρικό έργο στο Παρανέστι Δράμας (Πολυτεχνείο Κρήτης, 2002)

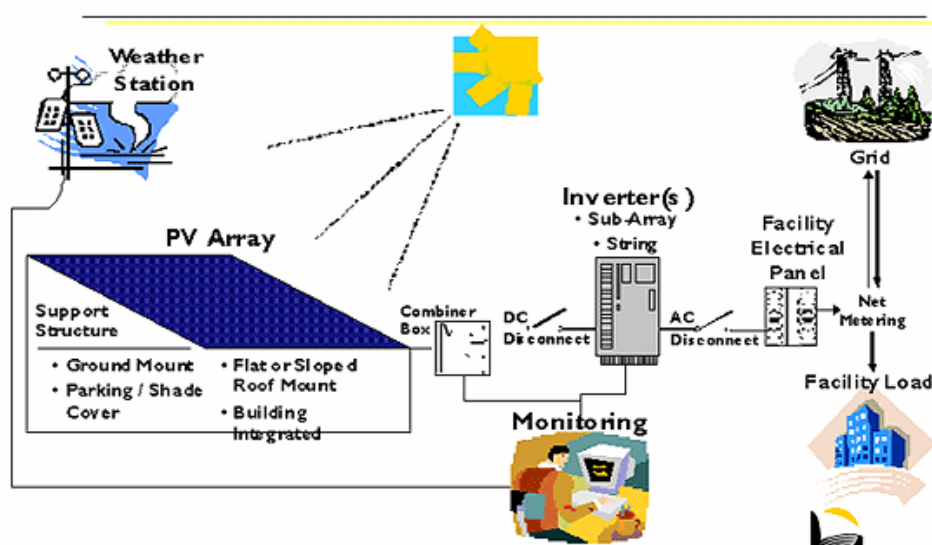




Σχήμα Α.5: Μικρό υδροηλεκτρικό έργο (ΡΑΕ, 2003)

### Α.2.3 Ηλιακή ενέργεια

Η αξιοποίηση της με την απευθείας μετατροπή της σε ηλεκτρική μέσω των "φωτοβολταϊκών στοιχείων", παρουσιάζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα (Σχήμα Α.6). Το μοναδικό τους μειονέκτημα είναι ότι απαιτούν την διάθεση μεγάλων επιφανειών για την εγκατάστασή τους και κυρίως το υψηλό κόστος κτήσης τους. Πολύ αποδοτικότερη, με τα σημερινά δεδομένα κόστους, είναι η απευθείας αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση νερού ή θέρμανση (ή και δροσισμό) χώρων (ΡΑΕ, 2003).

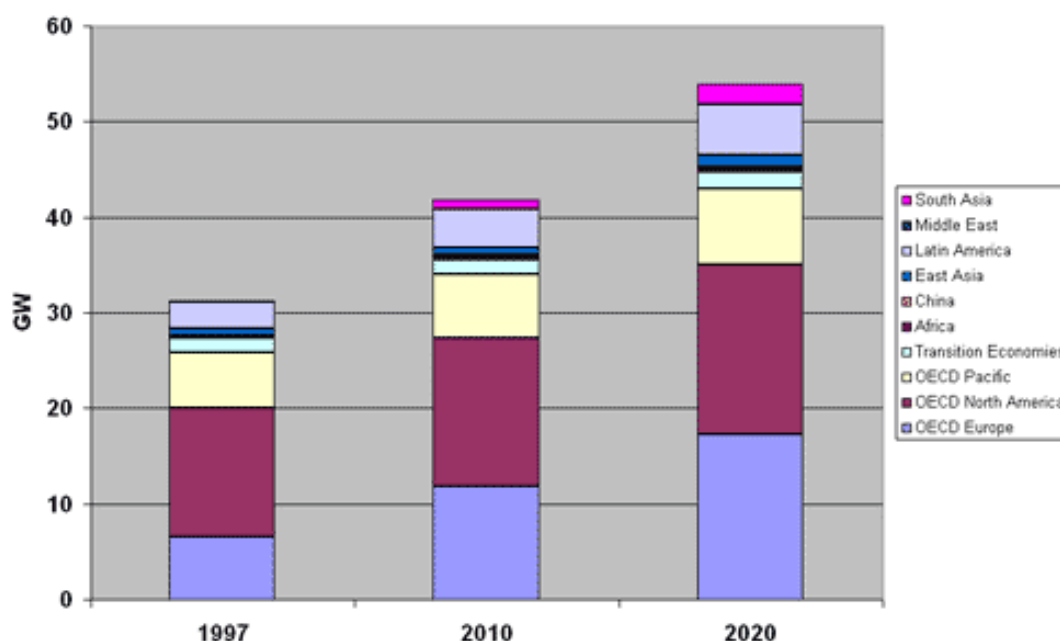


Σχήμα Α.6: Τυπική διάταξη φωτοβολταϊκού συστήματος (Globalsolar, 2004)

### A.2.4 Βιομάζα

Ο όρος βιομάζα υποδηλώνει τα πάσης φύσεως υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυσικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, πριν ή μετά την βιομηχανική τους επεξεργασία, καθώς και τα αστικά λύματα και τα απορρίματα. Η αξιοποίησή της γίνεται χωρίς κατεργασία (απευθείας καύση) ή με διάφορες θερμοχημικές (π.χ. πυρόλυση, αεριοποίηση) ή βιομηχανικές διεργασίες (π.χ. αερόβια ζύμωση). Προσφέρεται ιδιαίτερα για την κάλυψη αναγκών θερμότητας σε γεωργικές εφαρμογές, όπου και διατίθεται η πρώτη ύλη ή και την τηλεθέρμανση πόλεων με παράλληλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ενεργειακή αξιοποίηση των απορριμάτων (PAE, 2003).

Με εκτιμώμενο εγκατεστημένο δυναμικό παραγωγής 14.000 MW κατ' έτος, η βιομάζα αποτελεί τη μεγαλύτερη μη υδροηλεκτρική ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρισμού διεθνώς (Σχήμα Α.7). Βασικής σημασίας για την αποδοτικότητα των απαιτούμενων σημαντικών συχνά επενδύσεων και για τις επιπτώσεις στο περιβάλλον της περιοχής, έχουν η εξασφάλιση της πρώτης ύλης (σε ποιότητα και ποσότητα) και η τεχνολογία η οποία θα εφαρμοστεί (PAE, 2003).



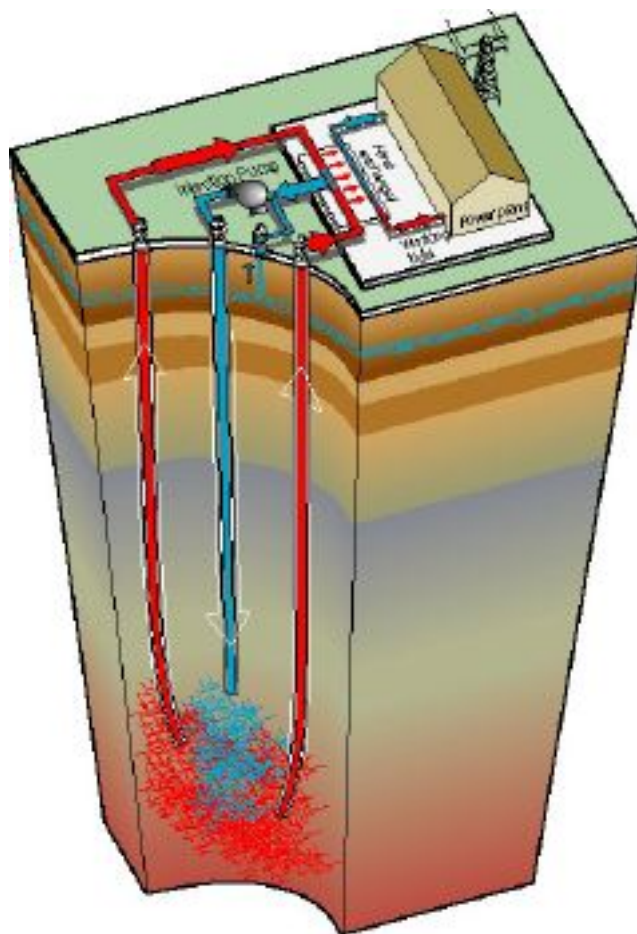
Σχήμα Α.7: Παγκόσμιο εγκατεστημένο δυναμικό παραγωγής από βιομάζα και πρόβλεψη για το μέλλον (IEA, 2000)



### A.2.5 Γεωθερμική ενέργεια

Ανάλογα με την θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών που λαμβάνονται με γεωτρήσεις, διακρίνεται σε "χαμηλής" (25-1000°C) "μέσης" (100-1500°C) και "υψηλής" (άνω των 1500 °C) ενθαλπίας. Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης ενθαλπίας βρίσκει πολλές εφαρμογές στη γεωργική βιομηχανία και τη θέρμανση χώρων, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προσφέρεται η υψηλής ενθαλπίας (Σχήμα Α.8) (ΡΑΕ, 2003).

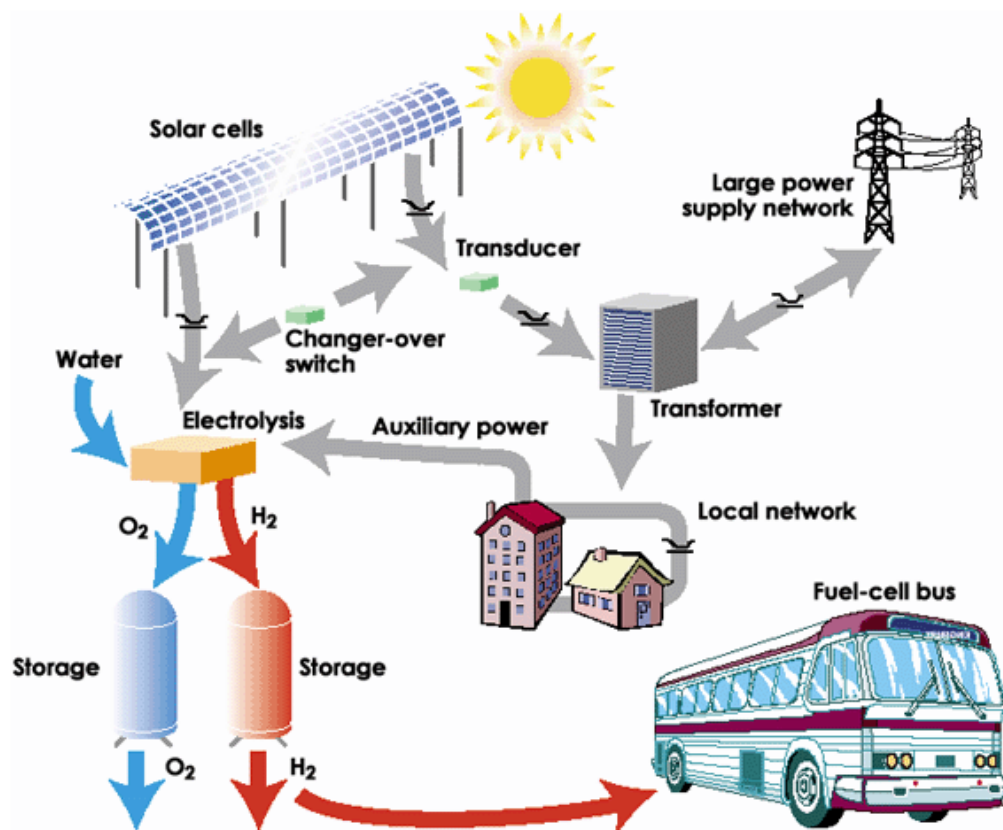
Η εφαρμοζόμενη τεχνολογία, σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού, αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για τον περιορισμό των επιπτώσεων στο περιβάλλον. Με την επιστροφή των ρευστών στο υπέδαφος αμέσως μετά τη χρήση τους μέσω μίας ιδιαίτερης γεώτρησης, μπορεί να αντιμετωπίζονται ικανοποιητικά οι επιπτώσεις στο περιβάλλον (ΡΑΕ, 2003).



Σχήμα Α.8: Σχηματική αναπαράσταση γεωθερμικής εγκατάστασης (University of California, 2000)

### A.2.6 Κυψέλες καυσίμου

Η ανάπτυξή τους βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, υπάρχουν όμως βάσιμες ελπίδες ότι θα επιφέρουν στο μέλλον επανάσταση στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές, με αρχή ίσως και εντός της τρέχουσας δεκαετίας (Σχήμα Α.9). Λειτουργούν με τη χρήση Φυσικού Αερίου ή άλλων αερίων και μελλοντικά Υδρογόνου, το οποίο εκτιμάται ότι θα μπορεί να λαμβάνεται από το νερό με την εκτεταμένη χρήση ΑΠΕ (ΡΑΕ, 2003).



Σχήμα Α.9: Χρήση της τεχνολογίας των κυψελών καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεταφορές (IEA, 2004)

### **A.3 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα**

#### **A.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Τα μικρά υδροηλεκτρικά είναι στις περισσότερες περιπτώσεις "συνεχούς ροής", δηλαδή το τυχόν φράγμα είναι αρκετά μικρό, συνήθως μόνο ένας υδροφράκτης, και αποθηκεύεται εν γένει ελάχιστο ή καθόλου νερό. Τα έργα εξυπηρετούν μόνο τη λειτουργία ρύθμισης της στάθμης του νερού στο στόμιο εισόδου του υδροηλεκτρικού σταθμού, οπότε οι εγκαταστάσεις συνεχούς ροής δεν έχουν τα ίδια είδη δυσμενών επιπτώσεων στο τοπικό περιβάλλον με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Φυσικά υπάρχουν κάποια περιβαλλοντικά προβλήματα, ειδικότερα όπου το νερό αποσπάζεται σε κάποια απόσταση από το σημείο στο οποίο εκβάλλει πίσω στον ποταμό. Τότε, το τμήμα του παρακαμθέντος ποταμού μπορεί να αποξηρανθεί ή να είναι δυσάρεστο στην όψη, εκτός εάν επιτρέπεται μια επαρκής ροή αντιστάθμισης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι νέες εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικών σχεδιάζονται έτσι ώστε να αφήνεται μία ικανοποιητική ποσότητα νερού να παρακάμπτει τους στρόβιλους, το οποίο δεν είναι δύσκολο εκτός από τις περιόδους χαμηλής ροής (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Ένα άλλο θέμα που απαιτεί προσοχή είναι η ανάγκη αποφυγής κάθε επίπτωσης στα ψάρια και την ποτάμια χλωρίδα και πανίδα, αλλά οι σύγχρονες εγκαταστάσεις μικρών υδροηλεκτρικών σχεδιάζονται με το πρόβλημα αυτό κατά νου. Μερικά συστήματα μικρού ύψους πτώσης επιτρέπουν στα ψάρια να περνούν αλώβητα μέσα από το στρόβιλο, αλλά εφαρμόζονται και διάφορα είδη στοιχείων προστασίας όπως φυσικά ή ηλεκτρικά προσπετάσματα και προσπετάσματα υπερήχων. Προκειμένου να διασφαλιστεί η ακίνδυνη παράκαμψη του υδροηλεκτρικού σταθμού από τα αποδημητικά ψάρια εγκαθίστανται ιχθυόσκαλες (ένα σύνολο μικρών υδατοπτώσεων μέσα σε ένα κανάλι) (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι στρόβιλοι πρέπει να προστατεύονται από τις φερτές ύλες που συνήθως βρίσκονται στα ποτάμια, είτε είναι φυσικές (φύλλα, κλαδιά, κλπ) είτε τεχνητές (πλαστικά ή άλλα απορρίματα). Αυτό γίνεται με τη χρήση σητών, των οποίων ο καθαρισμός συνιστά σημαντικό ποσοστό του λειτουργικού κόστους, ειδικά στις περιπτώσεις μικρού ύψους πτώσης όπου διέρχονται μεγάλες παροχές. Δια νόμου απαγορεύεται στους χειριστές των υδροηλεκτρικών σταθμών να ξαναρίχνουν στον

ποταμό τα απορρίματα που συλλέγονται από τις σήτες. Έτσι, η συλλογή και η αποκομιδή των απορριμάτων σε έναν μικρό υδροηλεκτρικό σταθμό μπορούν να συμβάλλουν στο σημαντικό καθαρισμό προς γενικό όφελος του ποταμού κατάντη, με αρκετή πάντως επιβάρυνση για το χειρισμό του σταθμού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Υπάρχουν και κάποια άλλα ζητήματα περιβαλλοντικής επίπτωσης που σχετίζονται με την οξυγόνωση του νερού (ή την έλλειψή της), τη διατάραξη ή αποσάθρωση της κοίτης του ποταμού αμέσως κατάντη των σωλήνων υδροληψίας του στροβίλου, το θόρυβο του ηλεκτρικού εξοπλισμού, τα ηλεκτρικά καλώδια, τη γενική εμφάνιση μιας εγκατάστασης, κλπ. Εντούτις, είναι δυνατό όλα αυτά τα προβλήματα να αμβλυνθούν με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών σχεδιασμού και το τελικό προϊόν αποτελεί μια μακροβιότατη, αξιόπιστη και εν δυνάμει οικονομική πηγή καθαρής ενέργειας (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### **A.3.2 Οικονομικά στοιχεία των μικρών υδροηλεκτρικών**

Κάνοντας χρήση των σύγχρονων συμβάσεων για τη χρηματοοικονομική αξιολόγηση, οι περισσότερες νέες εγκαταστάσεις μικρών υδροηλεκτρικών εμφανίζονται να παράγουν σχετικά ακριβή ηλεκτρική ενέργεια, καθώς το υψηλό κόστος των αρχικών κεφαλαίων αποπληρώνεται συνήθως μόνο μετά από 10 με 20 χρόνια (αν και τα συστήματα αυτά εν γένει διαρκούν, χωρίς σημαντικά κόσθη αντικατάστασης, για 50 χρόνια ή παραπάνω). Αντίθετα, η λειτουργία ενός παλαιότερου υδροηλεκτρικού που έχει αποπληρώσει την αρχική επένδυση είναι ολιγοδάπανη καθώς οι μόνες δαπάνες σχετίζονται με τις σποραδικές συντηρήσεις και αντικαταστάσεις (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Για παράδειγμα, το μοναδικό κόστος κυριότητας ενός τυπικού μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού μικρού ύψους πτώσης στη Μεγάλη Βρετανία μπορεί να είναι €0,07/kWh κατά τη διάρκεια των πρώτων δέκα ετών ενόσω αποπληρώνεται η αρχική επένδυση, αλλά στη συνέχεια, λόγω των χαμηλών τρεχούμενων δαπανών, το κόστος αυτό μειώνεται περίπου στο ένα δέκατο της ανωτέρω τιμής, δηλ. σε €0,007/kWh. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η παραγωγή κατά την πρώτη δεκαετία θα είναι σαφώς πιο δαπανηρή από την αγοραζόμενη από το δίκτυο ισχύ, καίτοι αφότου αποπληρωθεί η αρχική επένδυση οι τιμές της υδροηλεκτρικής ισχύος καθίστανται ελκυστικότερες (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Γενικά, οι λήψεις αποφάσεων για τη χρήση μιας τεχνολογίας εξαρτώνται πρωτίστως από τα οικονομικά στοιχεία, επομένως φυσιολογικά υφίσταται η ανάγκη

ελάτωσης του κόστους των μικρών υδροηλεκτρικών. Τα υδροηλεκτρικά με το ελάχιστο κόστος είναι τα μεγάλου ύψους πτώσης, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος πτώσης τόσο μικρότερη ποσότητα νερού απαιτείται για μία ορισμένη ποσότητα ισχύος, οπότε χρειάζεται μικρότερος και χαμηλότερος κόστους εξοπλισμός. Επομένως, στις ορεινές περιοχές ακόμη και τα μικρά ρυάκια, εάν χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα ύψη πτώσης, μπορούν να αποδώσουν σημαντικά επίπεδα ισχύος σε ελκυστικά χαμηλά κόστη (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Εντούτοις, οι θέσεις μεγάλου ύψους πτώσης τείνουν να βρίσκονται σε περιοχές με χαμηλή πυκνότητα πληθυσμού, όπου η ζήτηση για ηλεκτρισμό είναι μικρή και οι μεγάλες αποστάσεις μεταφοράς προς τα κύρια πληθυσμιακά κέντρα μπορούν να αποδυναμώσουν τα πλεονεκτήματα χαμηλού κόστους των απόμακρων συστημάτων μεγάλου ύψους πτώσης. Εξάλλου, οι θέσεις με μεγάλο ύψος πτώσης είναι σχετικά σπάνιες, ενώ η πλειοψηφία των καλύτερων στην Ευρώπη και άλλες αναπτυγμένες περιοχές έχουν ήδη αξιοποιηθεί. Συνεπώς, το σημαντικότερο πεδίο για επέκταση της χρήσης των μικρών υδροηλεκτρικών είναι οι θέσεις μικρού ύψους πτώσης, αν και φυσικά υπάρχουν ακόμα προς εκμετάλλευση πολλές καλές θέσεις μεγάλου και μέσου ύψους πτώσης (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι περισσότερες θέσεις μικρού ύψους πτώσης προς το παρόν είναι στην καλύτερη περίπτωση μόνο οριακά ελκυστικές από οικονομικής πλευράς έναντι της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής με ορυκτά καύσιμα, και γι' αυτό το λόγο παραμένουν ανεκμετάλλευτες πολλές πιθανές περιοχές (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### **A.3.3 Δυσκολίες στην ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών**

Η ανάπτυξη των μικρών υδροηλεκτρικών μειονεκτεί λόγω μιας γενικής αποτυχίας αποδοχής παρόμοιας υποστήριξης με αυτή που δόθηκε για την καινοτομική λειτουργία άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αυτό ενδεχομένως συνέβη επειδή (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- Επικρατεί ευρέως η αντίληψη ότι η τεχνολογία των μικρών υδροηλεκτρικών είναι ώριμη και πλήρως αναπτυγμένη και ότι επαρκούν από μόνες τους οι δυνάμεις της αγοράς για την εξέλιξή της, οπότε δεν χρειάζεται σημαντική θεσμική παρότρυνση ή υποστήριξη. Για το λόγο αυτό, τα μικρά υδροηλεκτρικά συνήθως δεν περιλαμβάνονται (ή έχουν ένα ελάχιστο μερίδιο συμμετοχής) στα προγράμματα που έχουν σκοπό να βοηθήσουν άλλα σχήματα ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

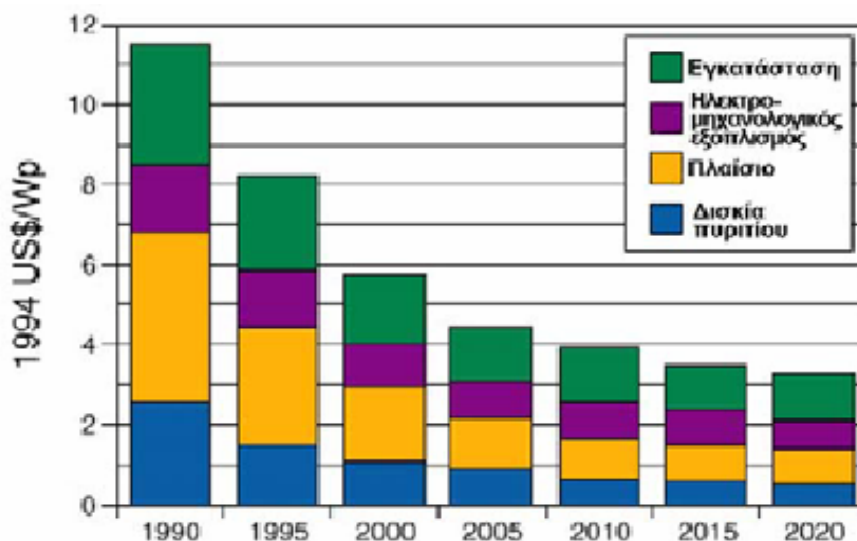
- Η οικονομική ανάλυση των μικρών υδροηλεκτρικών έργων γενικά δεν παρέχει καμία ιδιαίτερη πίστωση για την εξαιρετικά μακροχρόνια ωφέλιμη διάρκεια ζωής και τα χαμηλά λειτουργικά κόστη των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών, και τα υψηλά αρχικά κόστη τείνουν να τα κάνουν να φαίνονται ως οικονομικά μη ελκυστικά σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα, εκτός εάν διατίθενται μικρά χαμηλά προεξοφλητικά επιτόκια.
- Υπήρξε μια τάση ανάπτυξης των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών με τον ίδιο ακριβώς τρόπο με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, η οποία οδηγεί σε υψηλές λειτουργικές δαπάνες σχεδιασμού και ενίοτε σε λανθασμένη βελτιστοποίηση των συστημάτων, ώστε να μεγιστοποιείται η απόληψη ενέργειας αντί του να βελτιστοποιείται η οικονομική αποδοτικότητα.
- Υπάρχουν πολλά άλλα θεσμικά εμπόδια, ως αποτέλεσμα κυρίως των δυσκολιών που ανακύπτουν στις περρισότερες χώρες για την απόκτηση άδειας απόληψης νερού από τους ποταμούς.

## A.4 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα

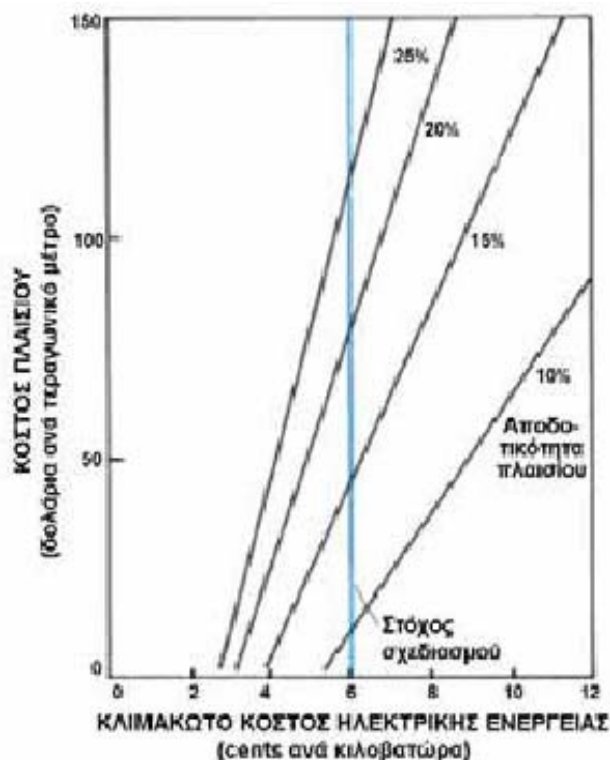
### A.4.1 Οικονομικά στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων

Προκειμένου να υπάρξει ευρεία χρήση των φωτοβολταϊκών, τα κόστη τους πρέπει να είναι ανταγωνιστικά με εκείνα των συμβατικών μορφών ηλεκτρισμού. Η μέση τιμή του ηλεκτρισμού είναι €0,017 - 0,15 ανά kWh, ενώ τα φωτοβολταϊκά παράγουν σήμερα ηλεκτρική ενέργεια με €0,5 - 0,6/kWh. Επομένως, τα κόστη πρέπει να μειωθούν κατά πέντε φορές περίπου για να είναι ανταγωνιστικά στη χονδρική αγορά ηλεκτρισμού. Όπως προκύπτει από το Σχήμα Α.10, όπου απεικονίζεται το σχετικό ποσοστό του κόστους κάθε στοιχείου ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, οι κυψέλες συνιστούν ένα σημαντικό ποσοστό του τελικού κόστους, κυρίως λόγω της απαίτησης για υψηλής καθαρότητας πυρίτιο (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Το κόστος της φωτοβολταϊκής ενέργειας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, με πιο σημαντικούς την αποδοτικότητα του πλαισίου, τη διάρκεια ζωής και το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας. Το σχήμα Α.11 παρουσιάζει τις συσχετίσεις του κόστους και της αποδοτικότητας του πλαισίου που οδηγούν σε ειδικά κόστη του ηλεκτρισμού, για διάρκεια ζωής 30 ετών του πλαισίου και βάσει διάφορων οικονομικών υποθέσεων. Από αυτές προκύπτει ότι τα πλαίσια μικρότερης αποδοτικότητας πρέπει να κοστίζουν λιγότερο από τα πλαίσια υψηλής αποδοτικότητας για την παραγωγή ηλεκτρισμού με το ίδιο κόστος. Συνεπώς, υπάρχει μια επιβάρυνση για την υψηλότερη αποδοτικότητα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).



Σχήμα Α.10: Μεταβολή του κόστους φωτοβολταϊκού συστήματος με το χρόνο (ΚΑΠΕ, 2001)



Σχήμα Α.11: Συσχετίσεις μεταξύ του κόστους και της αποδοτικότητας των πλαισίων που οδηγούν σε ειδικά κόστη ηλεκτρικής ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2001)

Παρόμοιες καμπύλες ισχύουν για τα συγκεντρωτικά συστήματα, αλλά σ' αυτά είναι αναγκαίες υψηλότερες αποδοτικότητες ώστε να αντισταθμιστούν τα υψηλότερα κόστη των συστημάτων εξισορρόπησης που σχετίζονται με τους απαραίτητους φακούς ή κάτοπτρα και τα τροchioδεικτικά συστήματα. Και στις δύο περιπτώσεις, μπορεί να αντισταθμιστεί η αποδοτικότητα με τα σχετικά με τη θέση εγκατάστασης κόστη (π.χ. για τις γαίες, την καλωδίωση και τη δομή στήριξης) ώστε να επιτευχθεί το ίδιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας. Η εγγυημένη ανθεκτικότητα των φωτοβολταϊκών ενισχύει την οικονομική αποδοτικότητά τους, ειδικά σε εφαρμογές όπου η συντήρηση αποτελεί κύριο μέλημα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η παγκόσμια εμπορική παραγωγή φωτοβολταϊκών ετησίως ανέρχεται σε 60MW και κατανέμεται περίπου εξίσου στις ΗΠΑ, την Ιαπωνία και την ΕΕ. Οι περισσότερες από τις αγορές υπάγονται στην κατηγορία υψηλής αξίας, δηλαδή είναι αγορές όπου τα σημερινά φωτοβολταϊκά συστήματα ανταγωνίζονται τους παραδοσιακούς τρόπους παροχής της ηλεκτρικής ισχύος. Οι εφαρμογές αυτές είναι κατά κύριο λόγο απομακρυσμένες από το ηλεκτρικό δίκτυο, εξυπηρετώντας ανάγκες όπως η άντληση νερού, η εξ αποστάσεως επικοινωνία, η ψύξη, οι φωτεινοί σηματοδότες, ο φωτισμός έκτακτης ανάγκης, η προστασία σωληνώσεων από τη



διάβρωση και η ηλεκτροδότηση χωριών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Ανταγωνισμός υπάρχει κυρίως με τις ντιζελογεννήτριες και με την επέκταση των ηλεκτρικών γραμμών μεταφοράς. Το κόστος επέκτασης του δικτύου είναι τέτοιο που, εάν ένα ηλεκτρικό φορτίο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη του μισού χιλιομέτρου από την υπάρχουσα γραμμή, τα φωτοβολταϊκά θα είναι οικονομικώς αποδοτικά συγκρινόμενα με την επέκταση της γραμμής. Καθώς μειώνεται το κόστος των φωτοβολταϊκών συστημάτων, ο αριθμός των οικονομικά αποδοτικών εφαρμογών τους αυξάνεται. Ο τελικός στόχος, δηλαδή η μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αναμένεται να επιτευχθεί στα επόμενα 10 έως 20 χρόνια, όταν οι τιμές των φωτοβολταϊκών θα πέσουν κάτω από το €0,1/KWh (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### **A.4.2 Περιβαλλοντικές θεωρήσεις**

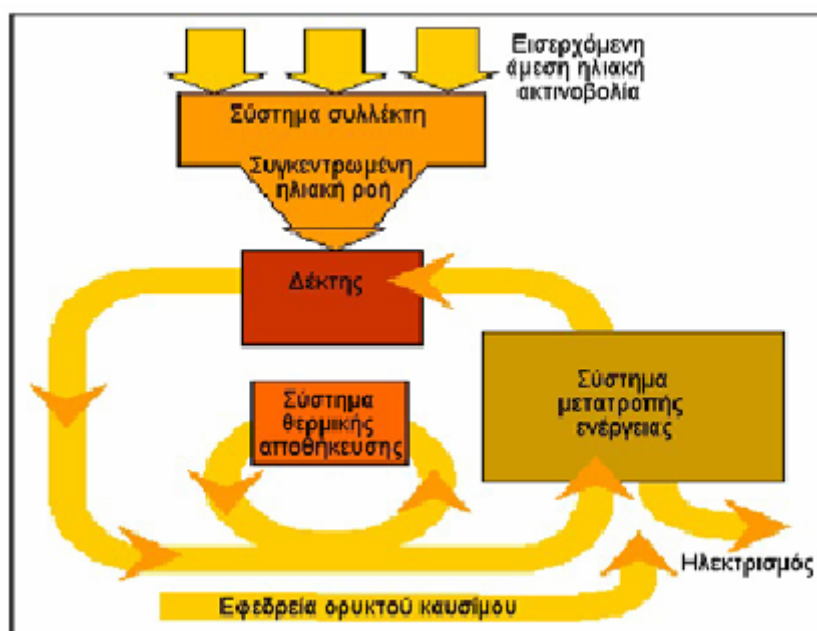
Τα φωτοβολταϊκά συστήματα προκαλούν ελάχιστα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο εξοπλισμός παραγωγής παράγει ηλεκτρισμό αθόρυβα και δεν εκπέμπει κανενός είδους επιβλαβή αέρια κατά τη λειτουργία του. Το βασικό υλικό για τα πιο συνήθη πλαίσια (πυρίτιο) είναι εντελώς αβλαβές και διατίθεται εν αφθονία. Πιθανοί κίνδυνοι πάντως υπάρχουν, σχετιζόμενοι με την παραγωγή ορισμένων από τις λιγότερο συνήθεις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης. Οι δύο πιο ελπιδοφόρες επιλογές, το τελλουριούχο κάδμιο και ο δισηληνιούχος ινδικός χαλκός, περιέχουν μικρές ποσότητες σουλφιδίου του καδμίου, το οποίο θέτει ενδεχόμενους κινδύνους από το κάδμιο κατά την παραγωγή των πλαισίων. Υφίστανται δοκιμασμένες μέθοδοι που διέπουν την διαχείριση τέτοιων σύνθετων ουσιών, οι οποίες υιοθετούνται καθ' όλη τη διαδικασία παραγωγής (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Μια κριτική σχετικά με τα πρώτα φωτοβολταϊκά πλαίσια ήταν ότι κατανάλωναν περισσότερη ενέργεια κατά την παραγωγή τους από όση παρήγαγαν κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Με τις σύγχρονες μεθόδους παραγωγής και τις βελτιωμένες αποδοτικότητες λειτουργίας αυτός ο ισχυρισμός πλέον δεν ευσταθεί. Η ακριβής ενεργειακή απολαβή εξαρτάται από τον διαθέσιμο ηλιακό πόρο και τον βαθμό στον οποίο το σύστημα είναι λειτουργικό. Τα υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας και ένας υψηλός συντελεστής αξιοποίησης αποφέρουν πιο γρήγορες ενεργειακές απολαβές απ' ό,τι εάν υπάρχει λιγότερο ηλιακό φως και λιγότερη χρήση αλλά συνήθως ο χρόνος αποπληρωμής είναι έως δυό έτη (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### Α.5 Συγκεντρωτικά Ηλιακά Συστήματα

Οι τεχνολογίες ηλιακής συγκέντρωσης είναι διατάξεις που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια εστιάζοντας την ηλιακή ακτινοβολία σ' ένα σημείο ή μία γραμμή εστίασης, και μπορούν να εφαρμοσθούν για την ενεργοποίηση χημικών αντιδράσεων ή για παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα ηλιακά συστήματα χημικής ενέργειας αξιοποιούν τις εν λόγω τεχνολογίες ηλιακής συγκέντρωσης για την ενεργοποίηση θερμοχημικών, φωτοχημικών ή ηλεκτροχημικών διεργασιών. Οι εφαρμογές αυτών των τεχνολογιών βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο και είναι πολλά υποσχόμενες μελλοντικά (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Τα πλέον ώριμα συστήματα Ηλεκτροπαραγωγής με Ηλιακή Συγκέντρωση (ΗΗΣ) που χρησιμοποιούν τεχνολογίες αυτού του είδους βρίσκονται ήδη στο στάδιο της εμπορευματοποίησης, και μονάδες ισχύος πολλών MW παράγουν τη φθηνότερη ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια παγκοσμίως τα τελευταία 15 έτη. Τα τελικά στάδια της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση συστημάτων ΗΗΣ είναι όμοια με αυτά της συμβατικής ηλεκτροπαραγωγής (Σχήμα Α.12), καθώς η τελική διεργασία ενεργειακής μετατροπής βασίζεται στη χρήση ατμού ή αερίου για την περιστροφή στροβίλων ή την κίνηση ενός εμβόλου σε μία μηχανή Stirling. Πάντως, σ' ένα σύστημα ΗΗΣ ο ατμός ή το θερμό αέριο παράγεται μέσω της συγκέντρωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).



Σχήμα Α.12: Βασικές αρχές της τεχνολογίας ηλεκτροπαραγωγής με ηλιακή συγκέντρωση (ΚΑΠΕ, 2001)

Θεωρείται, ειδικότερα από το πρόγραμμα SolarPaces της Διεθνούς Επιτροπής Ενέργειας (IEA), ότι οι τρεις πολλά υποσχόμενες αρχιτεκτονικές θερμικής ηλιακής ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την τεχνική που χρησιμοποιείται για τη συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας, είναι (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- τα παραβολικά κοίλα,
- οι ηλιακοί πύργοι ισχύος, και
- τα συστήματα δίσκου.

Πολλά τέτοια συστήματα είναι δυνατά, τα οποία μπορούν να συνδιάζονται με άλλες ανανεώσιμες και μη τεχνολογίες σε υβριδικά συστήματα.

### **A.5.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των Συγκεντρωτικών Ηλιακών Συστημάτων**

Όσον αφορά τις εγκαταστάσεις παραβολικών κοίλων, περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορεί να προκληθούν λόγω της εκχύλισης ή διαρροής του ρευστού μεταφοράς της θερμότητας. Το ρευστό είναι συνήθως κάποιος αρωματικός υδρογονάνθρακας που μπορεί να έχει χαρακτηριστεί, ανάλογα με τη χώρα ή την πολιτεία, ως επικίνδυνο υλικό. Όταν συμβεί διαρροή, το μολυσμένο έδαφος μεταφέρεται σε μία εγκατάσταση βιολογικής αποκατάστασης εντός του σταθμού όπου με χρήση γηγενών βακτηρίων του χώματος αποσυντίθεται το ρευστό μέχρις ότου η συγκέντρωση του μειωθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Εκτός από τις διαρροές ρευστού, κατά την κανονική λειτουργία λαμβάνει χώρα και κάποιο επίπεδο εκπομπών ατμών του ρευστού από το σώμα των βαλβίδων και τα στεγανωτικά των αντλιών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Κατά τη λειτουργία των σταθμών ηλιακού πύργου ισχύος δεν απελευθερώνονται επικίνδυνες εκπομπές υγρών ή αερίων. Εάν προκύψει διασπορά άλατος, αυτό θα στερεοποιηθεί προτού συμβεί κάποια σημαντική μόλυνση του εδαφους. Όταν οι δύο αυτές τεχνολογίες υβριδοποιούνται με κάποιο συμβατικό σταθμό ορυκτών καυσίμων, τότε εκπομπές θα απελευθερώνονται από το μη ηλιακό τμήμα του σταθμού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων δίσκου/μηχανής είναι ελάχιστες. Οι μηχανές Stirling είναι γνωστές για την αθόρυβη λειτουργία τους, σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης βενζίνης ή ντίζελ, ενώ ακόμα και οι μηχανές Brayton υψηλής ανάκτησης αναφέρεται ότι είναι σχετικά αθόρυβες. Η μεγαλύτερη πηγή θορύβου από ένα σύστημα δίσκου Stirling είναι ο ανεμιστήρας της ψυκτικής

μονάδας. Από την άλλη, τα συστήματα αυτά δεν έχουν διαδοθεί αρκετά ώστε να αποτιμηθούν ρεαλιστικά οι οπτικές επιπτώσεις τους. Τα συστήματα μπορεί να έχουν μεγάλο ύψος κατατομής, εκτεινόμενα έως και 15 μέτρα επάνω από το έδαφος. Οι εκπομπές από αυτά τα συστήματα είναι εξαιρετικά χαμηλές. Πέρα από την πιθανότητα διασποράς μικρών ποσοτήτων λαδιού μηχανής ή ψυκτικού υγρού ή γράσου από το κιβώτιο ταχυτήτων, τα συστήματα αυτά δεν παράγουν υγρά απόβλητα όταν λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

## **A.6 Ζητήματα ενδιαφέροντος για τις μονάδες ισχύος γεωθερμικών μονάδων**

### **A.6.1 Οικονομικότητα της γεωθερμικής ισχύος**

Οι λεπτομερείς αποτιμήσεις της γεωθερμικής πηγής και οι μελέτες σκοπιμότητας ενοποιούν τις πληροφορίες από τις έρευνες επιφανείας και τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων ώστε να εκτιμηθεί η βιώσιμη παραγωγική ικανότητα ενός ταμιευτήρα με τη χρήση της υφιστάμενης τεχνολογίας ανάπτυξης. Η τελική ανάπτυξη του πεδίου ολοκληρώνεται μαζί με τη μονάδα. Οι σχετικές με την κατασκευή και λειτουργία ενός γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής δαπάνες ποικίλλουν ευρέως και εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Ο τύπος της πηγής (ατμός ή ζεστό νερό), η θερμοκρασία της πηγής και η παραγωγικότητα του ταμιευτήρα επηρεάζουν τον αριθμό των γεωτρήσεων που πρέπει να διανοιχτούν για μια δεδομένη ισχύ της εγκατάστασης. Το μέγεθος της εγκατάστασης παραγωγής, ο τύπος της μονάδας ηλεκτροπαραγωγής (μονοβάθμιας ακαριαίας ατμοποίησης, δυαδικού κύκλου, κλπ.) και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί καθορίζουν το κόστος του συστήματος μετατροπής της ενέργειας. Το κόστος του κεφαλαίου και το κόστος των εργατικών καθορίζουν το κόστος λειτουργίας της μονάδας, δηλ. την εξόφληση των οφειλών και τη λειτουργία και συντήρηση. Ο Πίνακας A.13 συνοψίζει την επίδραση της ονομαστικής ισχύος και της θερμοκρασίας της πηγής στο κόστος του σταθμού για τις μικρού μεγέθους δυαδικές μονάδες (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι δαπάνες κεφαλαίου ανά kW μεταβάλλονται αντιστρόφως προς τη θερμοκρασία και την ονομαστική ισχύ, ενώ οι ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης (οι οποίες κυμαίνονται από 1,5 έως 4.5 cents ανά παραγόμενη kWh) αυξάνονται με την ονομαστική ισχύ αλλά δεν εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του ρευστού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Πίνακας A.13: Κόστη κεφαλαίου και λειτουργίας και συντήρησης για μικρές γεωθερμικές μονάδες δυαδικού κύκλου (DiPirro, 1998)

Καθαρή ισχύς (kW)	Θερμοκρασία πηγής (°C)			Συνολικό κόστος Λ&Σ (\$/έτος)
	100	120	140	
	Κύριο κόστος (\$/kW)			
100	2.535	2.210	2.015	19.100
200	2.340	2.040	1.860	24.650
500	2.145	1.870	1.705	30.405
1.000	1.950	1.700	1.550	44.000

Οι δαπάνες κεφαλαίου και οι ετήσιες δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης είναι ευμενείς όταν συγκρίνονται με αυτές των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και είναι απολύτως ευμενείς για τις απομακρυσμένες τοποθεσίες όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται συνήθως από ντιζελομηχανές (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι τρεις πιο βασικές παράμετροι όσον αφορά το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας είναι το μέγεθος της εγκατάστασης, η θερμοκρασία της πηγής και το βάθος του παραγωγικού φρέατος. Το κόστος αυτό μειώνεται με την αύξηση των τιμών των πρώτων δύο από τις ανωτέρω παραμέτρους, ενώ αυξάνεται (σχεδόν γραμμικά) με την αύξηση του βάθους του παραγωγικού φρέατος. Στον Πίνακα Α.14 παρουσιάζεται το σύνηθες κόστος της μονάδας ισχύος από γεωθερμικούς σταθμούς, βάσει ενός προεξοφλητικού επιτοκίου 10% και για συντελεστή δυναμικού 90% (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Με το μοναδιαίο κόστος παραγωγής από ντίζελ να κυμαίνεται από 10 μέχρι και 0.2 €/kWh, η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί πολύ ελκυστική επιλογή, ειδικά για τις απομακρυσμένες εκτός δικτύου περιοχές και τα μικρά νησιά, όπου η παραγωγή από ντίζελ είναι συχνά η μόνη λύση (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Πίνακας Α.14: Κόστος της μονάδας ισχύος σε cents/kWh από τρεις κύριους τύπους γεωθερμικών μονάδων (DiPippo, 1998)

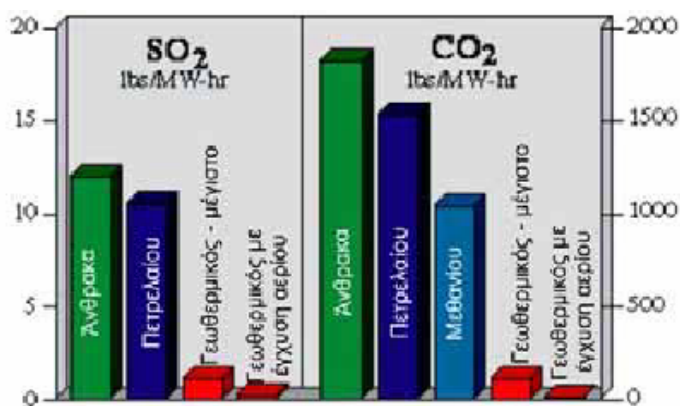
	Πηγή Υψηλής Ποιότητας	Πηγή Μέτριας Ποιότητας	Πηγή Χαμηλής Ποιότητας
Μικρές μονάδες (<5 MW)	5,0 - 7,0	5,5 - 8,5	6,0 - 10,5
Μέσες μονάδες (5-30 MW)	4,0 - 6,0	4,5 - 7,0	Μη κατάλληλη
Μεγάλες μονάδες (>30 MW)	2,5 - 5,0	4,0 - 6,0	Μη κατάλληλη

### A.6.2 Πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας

Η γεωθερμική ενέργεια διαθέτει διάφορα θετικά γνωρίσματα που την καθιστούν ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας και μερικές άλλες ΑΠΕ. Ειδικότερα:

- Αποτελεί έναν τοπικό ενεργειακό πόρο που μπορεί να μειώσει τη ζήτηση για εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα.
- Έχει σημαντική θετική επίδραση στο περιβάλλον με την αντικατάσταση της καύσης των ορυκτών καυσίμων.
- Είναι αποδοτική και ανταγωνιστική με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.
- Οι γεωθερμικοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν συνεχώς, χωρίς εμπόδια που επιβάλλονται από τις καιρικές συνθήκες, αντίθετα από άλλες ΑΠΕ.
- Διαθέτει εγγενή ικανότητα αποθήκευσης και είναι καταλληλότερη για την κάλυψη της ζήτησης του φορτίου βάσης.
- Είναι μία αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή που δεν απαιτεί αποθήκευση ή μεταφορά των καυσίμων.

Επιπλέον, η νεώτερη γενιά των γεωθερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής εκπέμπει μόνο 136 g διοξειδίου του άνθρακα ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά μέσο όρο, έναντι των 453 g/kWh CO<sub>2</sub> μιας μονάδας με καύσιμο φυσικό αέριο ή των 1042 g/kWh CO<sub>2</sub> από ένα θερμικό σταθμό άνθρακα. Στο Σχήμα A.15 παρέχεται μία σύγκριση των εκπομπών SO<sub>2</sub> (κύριο αίτιο της όξινης βροχής) και CO<sub>2</sub> (αέριο του θερμοκηπίου και της παγκόσμιας κλιματικής μεταβολής) μεταξύ εγκαταστάσεων ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο άνθρακα και πετρέλαιο, και γεωθερμικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με ή χωρίς έγχυση των αερίων αποβλήτων πίσω στο έδαφος (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

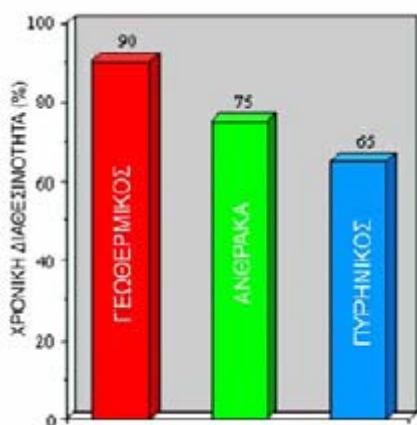


Σχήμα A.15: Συγκρίσεις εκπομπών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής διαφόρων καυσίμων (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001)

Αυτή τη στιγμή, οι ΑΠΕ με το μέγιστο δυναμικό και τις χαμηλότερες εκπομπές στην Ευρώπη, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, είναι η υδραυλική και η γεωθερμική ενέργεια. Σημειώνεται επίσης ότι οι συντελεστές δυναμικού των υδροηλεκτρικών και των γεωθερμικών σταθμών στην Ευρώπη είναι τη στιγμή αυτή πάνω από 70%, ενώ οι τυπικές τιμές για τα ηλιακά και τα αιολικά συστήματα είναι 20 έως 35%. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, δηλαδή το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να παράγεται η ονομαστική ενέργεια, εξαρτάται κυρίως από τη φύση της πηγής και κατά δεύτερο λόγο από τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η εμπειρία δείχνει ότι η διαθεσιμότητα των γεωθερμο-ηλεκτρικών μονάδων συχνά είναι άνω του 90%. Το ιστόγραμμα του σχήματος Α.16 παρουσιάζει μία σύγκριση των ποσοστών του χρόνου, κατά μέσο όρο, που οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής γεωθερμίας, άνθρακα και πυρηνικών είναι διαθέσιμες για να παράγουν ηλεκτρισμό (δηλ. το συντελεστή διαθεσιμότητας). Υπό αυτές τις περιστάσεις, ο συντελεστής της εγκατάστασης, που ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που η μονάδα πραγματικά παράγει ενέργεια, είναι σχεδόν ίσος με το συντελεστή διαθεσιμότητας (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Πρέπει να σημειωθεί ότι, αυτή τη στιγμή στην Ευρώπη το χαμηλότερο κόστος των συμβατικών καυσίμων, ειδικά του φυσικού αερίου, με αυστηρά οικονομικά κριτήρια καθιστά ανταγωνιστικές μόνο τις καλύτερες από τις γεωθερμικές πηγές. Εντούτις, η γεωθερμική ενέργεια θα μπορούσε να γίνει πιο ανταγωνιστική προς τις συμβατικές πηγές ενέργειας εάν η σύγκριση δεν περιοριζόταν αυστηρά στα οικονομικά κριτήρια αλλά λαμβάνονταν υπόψη και άλλοι παράγοντες, όπως τα "εξωτερικά κόστη" και οι οικονομικές συνέπειές τους (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).



Σχήμα Α.16: Συντελεστές διαθεσιμότητας τριών τύπων σταθμών παραγωγής (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001)



### **A.6.3 Προβλήματα παραγωγής και ρύπανσης**

Στα κύρια προβλήματα κατά την παραγωγή γεωθερμικής ισχύος περιλαμβάνονται οι αποθέσεις μετάλλων, οι μεταβολές στις υδρολογικές συνθήκες και η διάβρωση του εξοπλισμού. Προβλήματα ρύπανσης προκύπτουν κατά το χειρισμό των γεωθερμικών αποβλήτων, τόσο του νερού όσο και του ατμού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### **A.6.3.1 Αποθέσεις μετάλλων**

Σε μερικά πεδία όπου επικρατεί το νερό μπορεί να υπάρξουν αποθέσεις μετάλλων από το ζέων γεωθερμικό ρευστό. Για παράδειγμα, η απόθεση πυριτίου στα φρέατα προκάλεσε προβλήματα στο πεδίο του Salton Sea (Καλιφόρνια). Συχνότερα, μπορεί να περιοριστεί η ανάπτυξη ενός πεδίου από το σχηματισμό αποθέσεων ανθρακικών αλάτων ασβεστίου στα φρέατα ή στα πετρώματα της περιοχής, όπως για παράδειγμα συνέβη στην Τουρκία και τις Φιλιππίνες. Τα πεδία με ζεστά νερά και υψηλά ολικά ανθρακικά άλατα τελευταία αντιμετωπίζονται με καχυποψία. Κατά την απόρριψη των θερμών υγρών αποβλήτων στην επιφάνεια, η απόθεση πυριτίου στους αγωγούς και τους διαύλους του νερού μπορεί να προκαλέσει προβλήματα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### **A.6.3.2 Υδρολογικές αλλαγές**

Η εκτεταμένη παραγωγή από φρέατα αλλάζει τις τοπικές υδρολογικές συνθήκες. Η ελάττωση της πίεσης του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να προκαλέσει βρασμό στο νερό των πετρωμάτων (που οδηγεί σε μεταβολές των χαρακτηριστικών του ρευστού της γεώτρησης), τη διείσδυση κρύου νερού από τις παρυφές του πεδίου, ή μεταβολές στη χημεία του νερού λόγω των μειωμένων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων των αερίων. Μετά από την παρατεταμένη άντληση ζεστού νερού από πετρώματα μικρής αντοχής μπορεί να συμβεί τοπική γαιόχωση (μέχρι μερικά μέτρα) και να μειωθεί σε ένταση η αρχική φυσική θερμική δραστηριότητα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### **A.6.3.3 Ρύπανση**

Από τις μη ηχομονωμένες γεωτρήσεις εκροής μπορεί να προκύψει υψηλό επίπεδο θορύβου (μέχρι 120 dB), ενώ οι εκτονώσεις των φρεάτων μπορεί να πεκάσουν αλατούχα και πυριτιούχα ρευστά στα φυτά και τα κτίρια. Με την εφαρμογή

ορθών πρακτικών μπορούν να μειωθούν οι επιδράσεις αυτές σε αποδεκτά επίπεδα. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής, λόγω της χαμηλότερης αποδοτικότητά τους, εκπέμπουν περισσότερους υδρατμούς ανά μονάδα ισχύος από τους σταθμούς με ορυκτά καύσιμα. Ο ατμός από τους σιγαστήρες των κεφαλών των φρεάτων και τους πύργους ψύξης των σταθμών μπορεί να προκαλέσει τοπικά μια αυξημένη τάση για σχηματισμό ομίχλης και χειμερινού πάγου (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Τα απόβλητα γεωθερμικά νερά που ελευθερώνονται σε υδάτινους διαύλους μπορεί να προκαλέσουν πρόβλημα θερμικής ρύπανσης, εκτός εάν αραιώνονται κατά 100:1 τουλάχιστο. Οι γεωθερμικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορούν να έχουν τέσσερα κύρια ρεύματα αποβλήτων:

- Μεγάλοι όγκοι απορριπτόμενου ζεστού αλατούχου νερού παράγονται στα υδροθερμικά πεδία.
- Μη καθαρός υδρατμός αναδύεται από τους πύργους ψύξης των σταθμών.
- Οι πύργοι ψύξης παράγουν επίσης μια ροή συμπυκνώματος που περιέχει ποικίλες συγκεντρώσεις αμμωνίας, σουλφιδίων, ανθρακικών αλάτων και βορίου.
- Απόβλητα αέρια διαφεύγουν από τις εξόδους απαερίωσης των αντλιών.

Οι γεωθερμικοί ατμοί ποικίλουν ευρέως ως προς τα περιεχόμενα αέρια (συχνά 0,1-5%), τα οποία είναι κυρίως διοξείδιο του άνθρακα, υδρόθειο, μεθάνιο και αμμωνία. Η απαγωγή του υδρόθειου μπορεί να προκαλέσει αντιδράσεις εάν δεν τδιασκορπίζεται επαρκώς (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η απόπτωση της διασποράς των σουλφιδίων στα δέντρα και τα φυτά φαίνεται να είναι μικρή. Η αμυγή συγκέντρωση ραδονίου στον ατμό ( $3 \times 10^{-10}$  nanocuries/g ή 0,17,4 kilobecquerels/kg), όταν διασκορπίζεται είναι απίθανο να έχει επιπτώσεις στην υγεία. Ο υδράγγυρος των γεωθερμικών ρυστών ( $10^{-10}$  μg/kg) τελικά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, αλλά οι δημιουργούμενες συγκεντρώσεις δεν είναι επικίνδυνες (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η ύσταση των γεωθερμικών περών ποικίλλει ευρέως. Σε σύγκριση με τα επιφανειακά, τα περισσότερα γεωθερμικά νερά περιέχουν υπερβολικές συγκεντρώσεις βορίου, φθοριδίων, αμμωνίας, πριπίου, υδρόθειου και ασενικού. Στα συήθη αραά γεωθερμικά νερά, οι συγκεντρώσεις των βαρέων μετάλλων π.χ. σόδηρου, αγγανίου, μόλυβου, ψευαργύρου, καδμίου και θαλίου, σάνια υπεβαίνου τα επιτρεπόμενα για το πόσιμο νερό επίπεδα. Πάτως, οι συμπυκνόμενες άμες μποεί να περιέχουν ικανά επίπεδα βαέων μετλλων (ΚΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Λόγω της σύνθεσής τους, τα απόβλητα γεωθερμικά νερά ή συμπυκνώματα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στις παροχές πόσιμου ή αρδευτικού νερού και την υδρόβια ζωή. Η αμμωνία μπορεί να αυξήσει την ανάπτυξη φυκιών στους υδάτινους διαύλους και να ευνοήσει τον ευτροφισμό τους, ενώ η εισχώρηση του βορίου στα αρδευτικά ύδατα μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ευαίσθητα φυτά, όπως τα εσπεριδοειδή. Μικρές ποσότητες ιζήματος μεταλλικού σουλφιδίου, που περιέχουν αρσενικό, αντιμόνιο και υδράργυρο, μπορεί να συσσωρευτούν στα ιζήματα των ρυακιών και να προκαλέσουν ανεπιθύμητα υψηλές (πάνω από 0,5ppm) συγκεντρώσεις υδραργύρου στα ψάρια (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### *A.6.3.4 Επανέγχυση*

Το πρόβλημα της επιφανειακής διάθεσης μπορεί να αποφευχθεί με την επανέγχυση των απορριπτόμενων νερών ή συμπυκνωμάτων πίσω στο υπέδαφος μέσω φρεάτων απόρριψης. Η επανέγχυση του συμπυκνώματος ατμού εμφανίζει λίγα προβλήματα και εφαρμόζεται στην Ιταλία και τις ΗΠΑ. Μια πιο δύσκολη περίπτωση επανέγχυσης συνιστούν οι πολύ μεγαλύτεροι όγκοι του διαχωριζόμενου απόβλητου ζεστού νερού στα πεδία υπερίσχυσης νερού (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

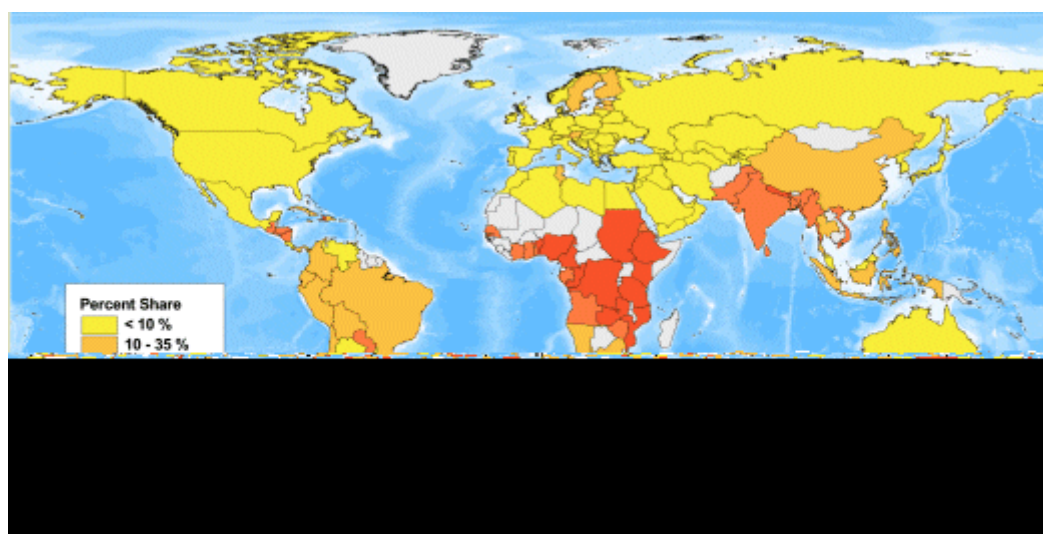
Η απόθεση πυριτίου και ανθρακικών αλάτων μπορεί να προκαλέσει αποφράξεις στις σχισμές των πετρωμάτων, εάν δεν ικανοποιούνται οι κατάλληλες θερμοκρασιακές, χημικές και υδρολογικές συνθήκες στο βάθος απόρριψης. Σε μερικές περιπτώσεις, μπορεί να είναι απαραίτητη πριν την επανέγχυση η χημική επεξεργασία της άλμης. Η επιλεκτική επανέγχυση του νερού στο θερμικό σύστημα μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση των πιέσεων του υδροφόρου ορίζοντα και στην απόληψη περισσότερης θερμότητας από το πέτρωμα. Ένα επιτυχές σύστημα επανέγχυσης νερού λειτουργεί για αρκετά χρόνια στο Ahuachapan του Ελ Σαλβαδόρ (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

## **A.7 Δυναμικό της αγοράς και επιπτώσεις της Βιο-ισχύος**

### **A.7.1 Κατάσταση της αγοράς και δυναμικό αυτής**

Με εκτιμώμενο εγκατεστημένο δυναμικό παραγωγής 14.000 MW κατ' έτος, η βιομάζα αποτελεί τη μεγαλύτερη μη υδροηλεκτρική ανανεώσιμη πηγή ηλεκτρισμού διεθνώς (Σχήμα A.17). Η βιομηχανία της βιομάζας διαφέρει από τις άλλες ανανεώσιμες στο ότι εμπλέκει τόσο τις γεωργικές και δασοκομικές κοινότητες όσο και τη βιομηχανία ηλεκτροπαραγωγής. Συχνά, οι απόψεις γύρω από τα πλεονεκτήματα των μακροπρόθεσμων συμβολαίων καυσίμου και τις συμβατικές υποχρεώσεις που αυτά συνεπάγονται για τις εταιρείες προμήθειάς του (συχνά πολύ μικρές) είναι πολύ διαφορετικές (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Αυτή η κατάσταση έχει αναχθεί σε βασικό εμπόδιο στην ανάπτυξη των ενεργειακών καλλιεργειών και γίνονται ακόμα προσπάθειες να βρεθούν μορφές συνεργασίας που να αντιμετωπίζουν αυτές τις διαφορές και να παρέχουν δίκαιες αποδόσεις και στις δύο πλευρές. Η πλειοψηφία των σχημάτων μετατροπής της βιομάζας σε ηλεκτρισμό αναπτύχθηκε στη χαρτοβιομηχανία και τη δασική βιομηχανία, όπου οι μεγάλες συμπράξεις και η ανάγκη διαχείρισης των αποβλήτων ήταν κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία. Πέρα από τους τομείς αυτούς, τα εν λόγω σχήματα έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία μόνο σε χώρες όπου υλοποιήθηκαν ειδικές πολιτικές, περιλαμβανομένων των φοροαπαλλαγών και των επιδοτήσεων (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).



Σχήμα A.17: Ποσοστό συμμετοχής της βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας (IEA, 2001)

Τα μη διασυνδεδεμένα πολυσυναρτησιακά συστήματα παρέχουν την πιο μεγάλη ευκαιρία διεθνούς εξάπλωσης για τη βιο-ισχύ. Βραχυπρόθεσμα, είναι πιο πιθανό να βρεθεί αγορά για τον ηλεκτρισμό από βιομάζα εκεί όπου (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- τα υπολείμματα βιομάζας δημιουργούν πρόβλημα διάθεσης των αποβλήτων,
- η διάθεση χαμηλού κόστους υπολειμμάτων βιομάζας συνδυάζεται με μια έντονη αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρισμό, ή
- οι φιλικές προς το περιβάλλον πολιτικές και οι ανησυχίες γύρω από την κλιματική αλλαγή ενθαρρύνουν την εφαρμογή του.

Όσον αφορά την Ε.Ε., η παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα είναι σημαντική στις Σουηδία, Φινλανδία, Αυστρία και Δανία, κυρίως σε σχήματα Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θέρμανσης στις βιομηχανίες χάρτου και σε μεγάλα συστήματα τηλεθέρμανσης. Στις άλλες χώρες η βιομάζα χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή σε μικρότερη κλίμακα και συνήθως σε αγορές αιχμής ως συμπααραγωγή, ή ως τρόπος συμμόρφωσης με τις φιλοπεριβαλλοντικές πολιτικές. Καθώς η αεριοποίηση και οι άλλες προηγμένες διεργασίες βρίσκονται ακόμα σε εξελικτικό στάδιο, η τεχνολογία που κυρίως χρησιμοποιείται είναι αυτή του συμβατικού κύκλου ατμού, ενώ εφαρμογές συνδιασμένης καύσης με άνθρακα υπάρχουν στη Σουηδία (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Όσον αφορά τα απόβλητα, ο ρυθμός αξιοποίησης δεν εξαρτάται μόνο από το κόστος και τη διαθεσιμότητα των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας, αλλά και από τις εθνικές πολιτικές διαχείρισης των αποβλήτων. Για παράδειγμα, η υιοθέτηση της Κοινοτικής Οδηγίας για τις χωματερές στην Ε.Ε., βάσει της οποίας θα απαγορεύεται η ταφή των οργανικών υλικών χωρίς προηγούμενη επεξεργασία, θα επιτάχυνε την εφαρμογή εγκαταστάσεων καύσης των αστικών στερεών αποβλήτων. Εκτός της Ε.Ε., οι βελτιώσεις στις πρακτικές διαχείρισης των αποβλήτων οδηγούν επίσης σε μια επέκταση της αγοράς και σε πιθανές ευκαιρίες εξαγωγών, κυρίως στη Βόρεια Αμερική και την Ιαπωνία, όπου έχει αναπτυχθεί υποδομή για την επεξεργασία των αποβλήτων (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### A.7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή εμπεριέχει πολύπλοκα περιβαλλοντικά ζητήματα. Υπάρχει μια γενική ομολογία για τα παγκόσμια οφέλη από τη χρήση της βιομάζας (αέρια θερμοκηπίου). Το κλειδί για την επιτυχημένη ανάπτυξη της βιο-ισχύος είναι η αποδοτική χρήση της πηγής με σύγχρονα συστήματα μετατροπής που μεγιστοποιούν την παραγόμενη ενέργεια και ελαχιστοποιούν τα υποπροϊόντα των διεργασιών μετατροπής (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### A.7.2.1 Ποιότητα του αέρα

Η ηλεκτροπαραγωγή με χρήση βιομάζας ή ορυκτών καυσίμων παράγει αερολύματα, όπως διοξείδιο του θείου, οξείδια του αζώτου και διοξείδιο του άνθρακα. Η χρήση της βιο-ισχύος παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- Μειωμένες εκπομπές θείου: Οι περισσότερες μορφές βιομάζας περιέχουν πολύ μικρά ποσά θείου, οπότε ένας σταθμός ηλεκτροπαραγωγής βιομάζας εκπέμπει ελάχιστο διοξείδιο του θείου, που είναι αίτιο της όξινης βροχής. Ο άνθρακας περιέχει συνήθως μέχρι 5% θείο και η σύγκαυση με βιομάζα μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές  $\text{SO}_2$  του σταθμού σε σχέση με τη λειτουργία μόνο με άνθρακα. Υπάρχει μια σχέση περίπου ένα προς ένα μεταξύ της μείωσης του  $\text{SO}_2$  και του ποσοστού της εισροής θερμότητας από βιομάζα (π.χ. η χρήση βιομάζας στο 5% της εισροής θερμότητας σε μία μονάδα ηλεκτροπαραγωγής άνθρακα θα μειώσει τις εκπομπές  $\text{SO}_2$  περίπου κατά 5%).
- Μειωμένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου: Πρόσφατα τεστ συνδιασμένης καύσης βιομάζας σε αρκετούς σταθμούς άνθρακα παγκοσμίως έχουν επιδείξει ότι οι εκπομπές των  $\text{NO}_x$  μπορούν να μειωθούν σε σχέση με τη λειτουργία μόνο με άνθρακα. Έτσι, με την προσεκτική ρύθμιση της διεργασίας της καύσης, η μείωση των  $\text{NO}_x$  είναι διπλάσια του λόγου της εισροής θερμότητας από βιομάζα, δηλαδή για σύγκαυση βιομάζας στο 5% της εισροής θερμότητας θα επιτευχθεί μείωση των  $\text{NO}_x$  της μονάδας κατά 10%. Εξάλλου, ακόμα μεγαλύτερες μειώσεις στα  $\text{NO}_x$  μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση της βιομάζας σε διάταξη μετάκαυσης, όπου έως και το 20% του καυσίμου του λέβητα εγχύεται επάνω από την κύρια ζώνη καύσης.
- Μειωμένες εκπομπές άνθρακα: Τα φυτά κατά την ανάπτυξή τους απορροφούν  $\text{CO}_2$ . Όταν η παραγωγή της βιο-ισχύος αντιμετωπίζεται ως συνεχής κύκλος, π.χ.

καλλιεργώντας ενεργειακά φυτά ή επαναφυτεύοντας αγροτεμάχια, αποτελεί έναν τρόπο ανακύκλωσης του άνθρακα. Έτσι, μπορεί η βιο-ισχύς να θεωρηθεί ως μία λύση ηλεκτροπαραγωγής που δεν διαταράσσει το ισοζύγιο του άνθρακα.

- Μείωση άλλων εκπομπών: Αέριο μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ) παράγεται στις χωματερές από την αποσύνθεση υλικού βιομάζας, αλλά και από την αποσύνθεση της ζωικής κοπριάς, είτε αυτή επιστρώνεται στο έδαφος είτε αφήνεται ακάλυπτη σε στέρνες. Το μεθάνιο (το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου) εκτονώνεται συνήθως κατ' ευθείαν στον αέρα, αλλά μπορεί να συλλεχθεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

#### A.7.2.2 Ποιότητα των υδάτων

Η ζωική κοπριά περιέχει άζωτο, φώσφορο, κάλιο, χλώριο και μικρά ποσά θείου, που μπορεί να μολύνουν το νερό. Κανονικά, η κοπριά χρησιμοποιείται ως λίπασμα ή χωνεύεται σε στέρνες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας των λυμάτων. Και οι δύο αυτές εφαρμογές εδάφους μπορούν να προκαλέσουν τη διήθηση των παραπάνω ουσιών στα υπόγεια ύδατα ή την άμεση απόληξή τους σ' έναν υδροφόρο με την απορροή των όμβριων υδάτων. Η χρήση της ζωικής κοπριάς ως πηγής καυσίμου περιορίζει τη μόλυνση των υδάτων μειώνοντας την απορροή των ουσιών αυτών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

#### A.7.2.3 Χρήσεις των γαιών

Τα ξυλώδη υλικά και τα υπολείματα των κήπων αποτελούν το 20% περίπου του συνολικού ποσού των μη βλαβερών αποβλήτων που οδηγούνται στις χωματερές. Ένα μέρος των υλικών αυτών είναι μολυσμένο και κατάλληλο μόνο για απόρριψη. Η χρήση των "καθαρών" αποβλήτων ως καύσιμο αποσπά μία ποσότητα από τα υλικά που απορρίπτονται στις χωματερές, επεκτείνοντας έτσι τη ζωή-χωρητικότητά τους (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι ενεργειακές καλλιέργειες αναπτύσσονται σε υπο-αξιοποιούμενες γεωργικές εκτάσεις. Γενικά, δεν αντικαθιστούν βοσκότοπους, υδροβιότοπους, φυσικά δάση ή γεωργική γη υψηλής αξίας, ενώ απαιτούν λιγότερα παρασιτοκτόνα και ζιζανιοκτόνα σε σχέση με τις άλλες καλλιέργειες, μειώνοντας έτσι την απορροή χημικών στα επιφανειακά ή υπόγεια ύδατα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### **A.7.3 Οικονομικές επιπτώσεις**

Από τη βιομάζα μπορεί να ωφεληθεί η ενεργειακή ασφάλεια των κρατών καθώς, με τη διεύρυνση του φάσματος των πηγών τροφοδοσίας τους, οι χώρες ενδυναμώνουν την οικονομία τους και βελτιώνουν το εμπορικό τους ισοζύγιο. Ένα εξίσου βασικό όφελος είναι η ανάπτυξη της αγροτικής οικονομίας, αφού η βιομάζα είναι ογκώδης και η μεταφορά της ακριβή, οπότε οι εγκαταστάσεις μετατροπής της θα πρέπει να είναι κοντά στους τόπους διάθεσής της. Εξάλλου, οι αγρότες αναζητούν άλλες εμπορικές καλλιέργειες ή πηγές εσόδων ενώ, όσο αναπτύσσεται ο πληθυσμός πέρα από τις αστικές και προαστιακές περιοχές, τόσο μεγαλώνουν οι ανάγκες για ηλεκτροδότηση των αγροτικών περιοχών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η χρήση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών ως καυσίμων για ηλεκτροπαραγωγή μπορεί να βελτιώσει τα οικονομικά της γεωργίας μειώνοντας το κόστος απόρριψης και παρέχοντας εναλλακτικές πηγές εσόδων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες ανοίγουν μία εντελώς νέα αγορά για τη γεωργία, που έχει το δυναμικό να αποτελέσει μια σταθερή πηγή εισοδήματος στην αγροτική κοινωνία. Για παράδειγμα, σύμφωνα με εκτιμήσεις του ινστιτούτου EPRI, η παραγωγή πέντε πεντάκις εκατ. Btu ηλεκτρισμού σε 20 εκατ. εκτάρια γης θα αύξανε το γεωργικό εισόδημα κατά 12 δισεκατ. δολάρια ετησίως (για σύγκριση, οι ΗΠΑ καταναλώνουν περίπου 90 πεντάκις εκατ. Btu ανά έτος) (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, 2001).

Τέλος, δεν είναι πλέον επιθυμητή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών η κατασκευή μεγάλων σταθμών ηλεκτροπαραγωγής βάσης, ειδικά στις περισσότερες απομακρυσμένες περιοχές. Οι μικρές εγκαταστάσεις βιο-ισχύος έχουν μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και μπορούν να λειτουργούν με τις τοπικά παραγόμενες πρώτες ύλες. Συμπερασματικά, η χρήση της βιομάζας επιφέρει τριπλό όφελος στον αγροτικό πληθυσμό, αφού διατηρεί τον πλούτο κοντά, αμείβει τους αγρότες για την παραγωγή των καυσίμων βιομάζας και παρέχει καθαρή ενέργεια (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

### **A.7.4 Εμπόδια για την περαιτέρω διεύρυνση**

Το κύριο εμπόδιο στην ευρεία αποδοχή του ηλεκτρισμού από βιομάζα είναι το κόστος απόδοσής του, που μπορεί να είναι μέχρι και τριπλάσιο του κόστους του ηλεκτρισμού που παράγεται από ορυκτά καύσιμα. Καίτοι οι υφιστάμενοι φόροι και



επιχορηγήσεις μπορούν να καταστήσουν εφικτή την εφαρμογή, θα πρέπει να διατηρηθούν σε παραδεκτά επίπεδα και τελικά να αποσυρθούν. Επομένως, η αντιμετώπιση των τριών στοιχείων που διαμορφώνουν το μοναδιαίο κόστος του ηλεκτρισμού, δηλαδή το κεφάλαιο, το καύσιμο και η λειτουργία, είναι άμεσης προτεραιότητας (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι σύγχρονες τεχνολογίες μετατροπής (δηλ. αεριοποίηση και πυρόλυση) παρέχουν μεγάλες αποδοτικότητες ηλεκτροπαραγωγής. Πάντως, αυτές δεν έχουν δοκιμαστεί εμπορικά και αντιμετωπίζουν πολλά εμπόδια πριν καταστούν πλήρως αποδεκτές και ενσωματωθούν στις παραδοσιακές ενεργειακές αγορές, όπως π.χ. προβλήματα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- τεχνολογικά και λειτουργίας και συντήρησης,
- χρηματοδότησης και σχετικών δαπανών,
- τροφοδοσίας καυσίμων και προμηθειών,
- αποδοχής από την αγορά και καθιέρωσης.

Έτσι, παρότι σήμερα υπάρχουν επιδεικτικές εφαρμογές συνδυασμένης καύσης και αεριοποίησης σε αρκετές εταιρείες ηλεκτρισμού, τα εναπομείναντα τεχνολογικά εμπόδια αφορούν (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001):

- Την εμπορευσιμότητα της τέφρας, καθώς από διάφορα εθνικά και διεθνή πρότυπα δεν επιτρέπεται η παρουσία οργανικών υλών στην τέφρα που χρησιμοποιείται για επίστρωση. Από δοκιμές έχει προκύψει ότι η τέφρα της σύγκαυσης δεν επηρεάζει τις ιδιότητες αντοχής και γίνονται προσπάθειες για την αλλαγή των προτύπων.
- Τη διάβρωση, καθώς το υψηλό περιεχόμενο σε χλώριο μερικών πωδών καλλιεργειών έχει προκαλέσει διάβρωση στους εναλλάκτες θερμότητας. Η απελευθέρωση των ενώσεων χλωρίου μπορεί να εμποδιστεί με πρόσθετα θείου. Οι προκύπτουσες εκπομπές πάντως μπορεί να αναιρέσουν τις θετικές επιπτώσεις της βιομάζας.
- Τις εκπομπές NO<sub>x</sub>. Γενικά, με τη σύγκαυση βιομάζας προκύπτουν χαμηλότερες εκπομπές NO<sub>x</sub> από αυτές του άνθρακα. Πάντως, για ορισμένες καλλιέργειες έχει παρατηρηθεί ότι τα επίπεδα NO<sub>x</sub> αυξάνουν. Ένα στάδιο μετάκαυσης με βιοαέριο ή φυσικό αέριο συνιστάται για τη μείωση των εκπομπών NO<sub>x</sub>.

Στη χρήση της βιομάζας για ηλεκτροπαραγωγή μεγάλη σημασία έχουν τα οικονομικά εμπόδια. Ένα μέρος του κόστους συνδέεται με τον κίνδυνο, πραγματικό ή υποθετικό, της αδοκίμαστης τροφοδοσίας με καύσιμο ή τεχνολογίας μετατροπής. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εμπλοκή των μεγάλων, οικονομικά σταθερών εταιρειών ηλεκτρισμού, οι οποίες πάντως εστιάζουν στα τελικά κέρδη και είναι

επιφυλακτικές με τις τεχνολογίες αβέβαιης βιωσιμότητας. Τα κρατικά κίνητρα είναι σημαντικά στον τομέα αυτό (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η προμήθεια του καυσίμου έχει αναχθεί σε ένα από τα πιο περίπλοκα θέματα της εγκατάστασης υπηρεσιών βιο-ισχύος. Τα καύσιμα αυτά στην καλύτερη περίπτωση είναι καθαρά υποπροϊόντα ξύλου από εγκαταστάσεις αρχικής επεξεργασίας δασικών προϊόντων, όπως είναι τα πριονιστήρια ή οι μονάδες χάρτου και πολτού. Πάντως, όταν η κατάλληλη μονάδα δεν βρίσκεται εντός μιας εφικτής ακτίνας μεταφοράς (π.χ. κάτω από 80 km), πρέπει να βρεθούν αξιόπιστες εναλλακτικές πηγές. Ένα σημαντικό θέμα είναι η ποιότητα και η ποσότητα των υλικών που παραδίδονται στη μονάδα, οι οποίες πρέπει να είναι σταθερές και αξιόπιστες για την αποδοτική λειτουργία της (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

## **A.8 Ζητήματα ενδιαφέροντος για την αιολική ενέργεια**

### **A.8.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης της αιολικής ενέργειας**

#### **A.8.1.1 Πλεονεκτήματα**

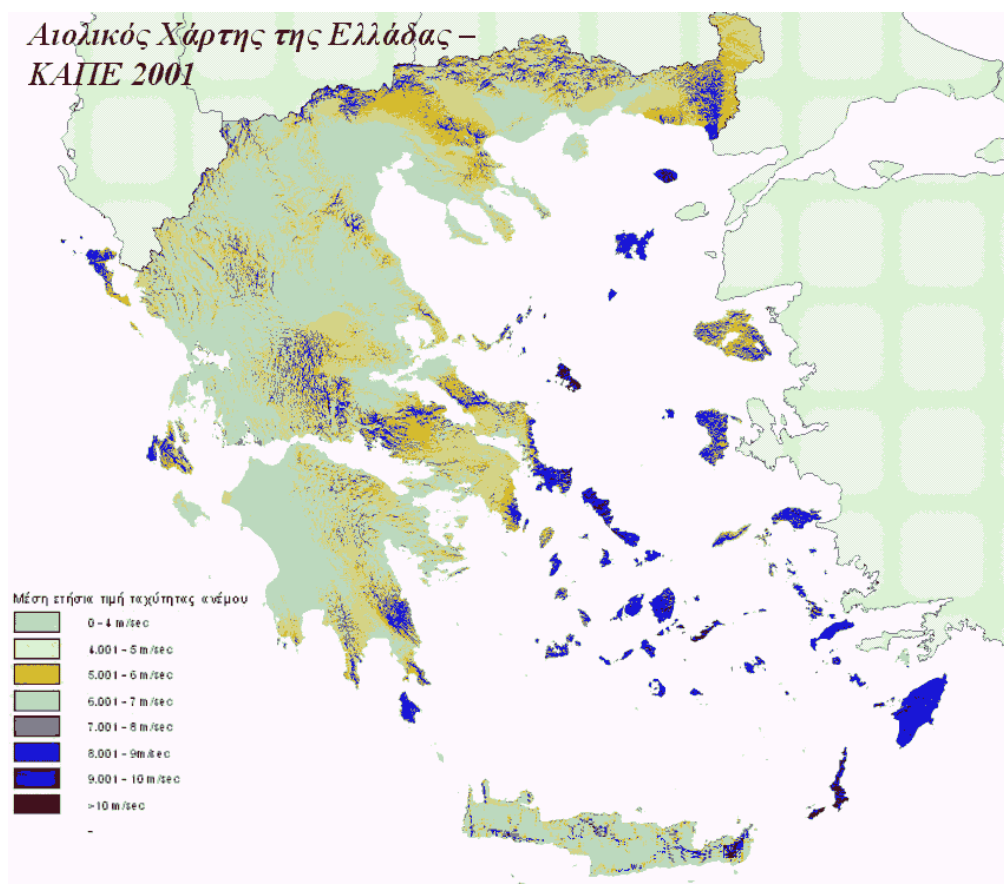
Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια είναι (Καλδέλλης, 1999):

- Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η αιολική ενέργεια δεν εξαντλείται σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθώς και της Ελλάδας (π.χ. Αθήνα, Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη κ.λ.π.) καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.

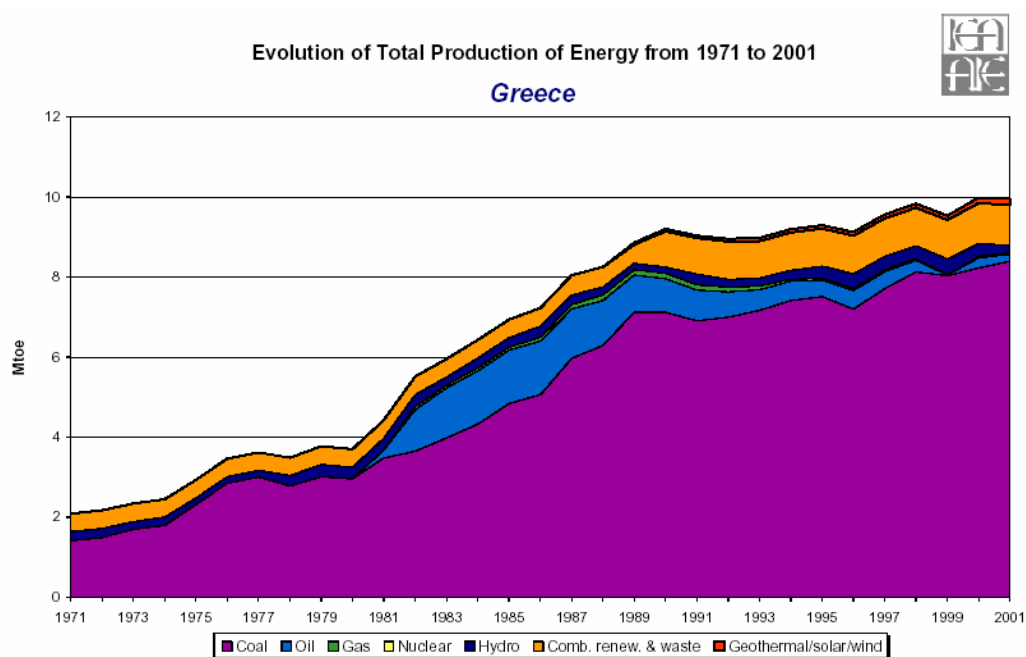
Επιπλέον ειδικά για την Ελλάδα ισχύουν και τα ακόλουθα στοιχεία (Καλδέλλης, 1999):

- Η Ελλάδα διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό (κυρίως τα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου) και μάλιστα άριστης ποιότητας. Στα περισσότερα νησιά εμφανίζονται άνεμοι σημαντικής ταχύτητας και διάρκειας σχεδόν ολόκληρο το έτος (Σχήμα Α.18).
- Η περιορισμένη συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο (Σχήμα Α.19), καθιστά προφανείς τις σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες σύστασης αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, σε μια αγορά με σημαντικό αριθμό αναξιοποίητων θέσεων εγκατάστασης.
- Η ισχυρή εξάρτηση της Ελλάδας από εισαγόμενα καύσιμα, οδηγούν σε εξάρτησή της από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το εισαγόμενο πετρέλαιο προέρχεται κυρίως από χώρες υψηλού πολιτικο-οικονομικού κινδύνου και οι οποίες εμπλέκονται αρκετά συχνά σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο ίσως παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν

μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια, πράγμα που οδηγεί σε υπερβολική αβεβαιότητα τον αντίστοιχο σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας.



Σχήμα Α.18: Αιολικός χάρτης της Ελλάδας (ΚΑΠΕ, 2001)



Σχήμα Α.19: Εξέλιξη του ενεργειακού ισοζυγίου στην Ελλάδα (IEA, 2002)

- Η υψηλή σεσμικότητα της χώρας μας εγκυμονεί κινδύνους για τις θερμοηλεκτρικές και κυρίως τις πυρηνικές εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να θεωρείται προβληματική στο άμεσο μέλλον η κατασκευή πυρηνικών μονάδων. Προφανώς με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα είναι δυνατή η δημιουργία υψηλής ασφάλειας συμβατικών μονάδων, με δυσανάλογη όμως αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.
- Η σημαντική διασπορά και ανομοιομορφία του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα τμήματα της χώρας μας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ότι ακόμα και σε περίπτωση που η μέση τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας θα είναι ελαφρώς κατώτερη του οριακού κόστους της παραγόμενης αιολικής kWh, σε αρκετά νησιά το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είναι πολλαπλάσιο του οριακού κόστους παραγωγής της ΔΕΗ.
- Η δυνατότητα τόνωσης της ελληνικής κατασκευαστικής δραστηριότητας με προϊόντα υψηλής Εγχώριας Προστιθέμενης Αξίας και συγκριτικά χαμηλού επενδυτικού κόστους, όπως θα μπορούσε να αποτελέσει η απόφαση συμπαραγωγής ανεμογεννητριών στη χώρα μας, συνεισφέροντας ταυτόχρονα και στη μείωση της ανεργίας. Η εκτιμώμενη Εγχώρια Προστιθέμενη Αξία μπορεί να φθάσει και να υπερβεί και στο 90% του συνολικού κόστους μιας ανεμογεννήτριας, ενισχύοντας ταυτόχρονα την εθνική οικονομία.
- Η αξιόλογη εγχώρια ηλεκτρο-μηχανολογική εμπειρία, καθώς και το σημαντικό ενδιαφέρον και δραστηριότητα στη γνωστική περιοχή της αιολικής ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

#### A.8.1.2 Μειονεκτήματα

Τα κυριότερα μειονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια είναι (Καλδέλλης, 1999):

- Η χαμηλή ροή αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου ( $W/m^2$ ) κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Τυπικές τιμές ροής της αξιοποιούμενης αιολικής ισχύος κυμαίνονται μεταξύ  $200W/m^2$  και  $400W/m^2$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες αύξησης της συγκέντρωσης ισχύος των αιολικών μηχανών, οι οποίες σε επιλεγμένες περιπτώσεις πλησιάζουν ή και υπερβαίνουν τα  $500W/m^2$ .

- Η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων δεν μας δίνει την δυνατότητα να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε. Το γεγονός αυτό μας υποχρεώνει να χρησιμοποιούμε τις αιολικές μηχανές κυρίως σαν εφεδρικές πηγές ενέργειας σε συνδυασμό πάντοτε με κάποια άλλη πηγή ενέργειας (π.χ. σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες diesel κ.λ.π.).
- Σε περιπτώσεις διασύνδεσης της αιολικής εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο η παραγόμενη ενέργεια δεν πληρεί πάντοτε τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η τοποθέτηση αυτοματισμών ελέγχου, μηχανημάτων ρύθμισης τάσεως και συχνότητας, καθώς και ελέγχου της άεργης ισχύος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα έχει δώσει λύσεις στα περισσότερα από τα αναφερόμενα προβλήματα, ιδιαίτερα με την κατασκευή ανεμογεννητριών μεταβλητού βήματος και μεταβλητών στροφών. Παρόλα αυτά υπάρχει κάποιο αυξημένο κόστος για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της παραγόμενης ενέργειας, το οποίο προστίθεται στο συνολικό κόστος της παραγόμενης kWh. Τέλος, ακόμα και σήμερα εξακολουθούν να μας απασχολούν οι διαδικασίες ζεύξης-απόζευξης αιολικών μηχανών στο ηλεκτρικό δίκτυο, λόγω των μεταβατικών φαινομένων που αυτές προκαλούν.
- Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος (λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας) και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης, καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης και εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας.
- Ένα ακόμα μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού. Στην πραγματικότητα αξιοποιείται μόνο την κινητική ενέργεια, η οποία αντιστοιχεί σε ένα περιορισμένο φάσμα ταχύτητας του ανέμου.
- Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι από το σύνολο της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια, μόνο ένα περιορισμένο μέρος της μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και περιορισμών.
- Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί το σχετικά υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, ειδικά μάλιστα για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Στο σημείο αυτό

πρέπει να προστεθεί ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπίεσει σημαντικά τις τιμές των ανεμογεννητριών.

### **A.8.2 Ποιότητα ισχύος**

Με την τρέχουσα ηλεκτρική τεχνολογία των ανεμογεννητριών, η μέγιστη τιμή αιολικής διείσδυσης με την οποία τα περισσότερα ηλεκτρικά συστήματα είναι ασφαλή κυμαίνεται μεταξύ 10 και 15%. Το άνω όριο στην ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρικό σύστημα αντικατοπτρίζει τις ανησυχίες γύρω από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ισχύος που παρέχεται από το αιολικό σύστημα, που είναι η ποιότητα ισχύος. Ειδικότερα, η ανησυχία σχετίζεται με την επίδραση της χρονικά μεταβαλλόμενης αιολικά παραγόμενης ισχύος στη βραχυπρόθεσμη ευστάθεια της τάσης και της συχνότητας της συνδιασμένης ισχύος που παρέχεται στο φορτίο (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Η αποδεκτή τιμή διείσδυσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων είναι οι λεπτομέρειες της αιολικής τεχνολογίας, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συμβατικών πηγών παραγωγής, και η δυναμικότητα και το μήκος των γραμμών μεταφοράς που συνδέουν τις πηγές με το φορτίο. Το άνω όριο στην ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να συνδυαστεί με τις συμβατικές πηγές δεν αποτελεί αυστηρό περιορισμό, και η τιμή του θα αυξηθεί με την απόκτηση περισσότερης λειτουργικής εμπειρίας, τις αλλαγές της τεχνολογίας και την πιο στενή συσχέτιση των συστημάτων ελέγχου των αιολικών και των συμβατικών πηγών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Το σημαντικότερο από τα χαρακτηριστικά της ποιότητας ισχύος είναι η μεταβλητότητα με το χρόνο. Άλλες παράμετροι της ποιότητας ισχύος περιλαμβάνουν το συντελεστή ισχύος, την αρμονική παραμόρφωση, τις διακυμάνσεις της τάσης και τις αποκλίσεις της συχνότητας. Η σχετική τους βαρύτητα εξαρτάται από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο και την επιλογή των ανεμογεννητριών (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι πρώιμες ανεμογεννήτριες με επαγωγικές γεννήτριες διέθεταν ανεπαρκή ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό αντιστάθμισης της άεργης ισχύος, με αποτέλεσμα οι εταιρίες ηλεκτρισμού να υφίστανται αυξημένες απώλειες μεταφοράς και δυσκολία ελέγχου της τάσης του συστήματος. Οι χειριστές των αιολικών μονάδων αναγκάστηκαν να βελτιώσουν την ποιότητα της παρεχόμενης στο δίκτυο ισχύος όταν οι εταιρείες ηλεκτρισμού άρχισαν να χρεώνουν για την υποστήριξη των υπέρμετρων VAr (άεργος ισχύς). Οι εταιρείες απαιτούν πλέον οι μικροί παραγωγοί που

χρησιμοποιούν επαγωγικές γεννήτριες να παρέχουν στο σημείο της διασύνδεσης συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα. Η τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας παρέχει ένα πλήρες φάσμα ελέγχου του συντελεστή ισχύος σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας, ακόμη και κατά τη διακοπή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι αρμονικές είναι ανεπιθύμητες παραμορφώσεις της ημιτονοειδούς τάσης ΕΡ της εταιρείας ηλεκτρισμού και των κυματομορφών του ρεύματος, οι οποίες χρήζουν προσοχής λόγω της ζημιάς που μπορεί να προκληθεί τόσο στον εξοπλισμό της διανομής της εταιρείας ηλεκτρισμού όσο και στις συσκευές των πελατών. Τα προηγμένα συστήματα αντιστροφών που χρησιμοποιούνται σήμερα στις αιολικές εγκαταστάσεις παράγουν ισχύ με πολύ μικρή αρμονική παρμόρφωση. Πλέον, με την προσθήκη διατάξεων διόρθωσης των αρμονικών και τη χρήση προηγμένων ηλεκτρονικών ισχύος στις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας, οι αρμονικές δεν προκαλούν σημαντικά προβλήματα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Όταν οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν, η παραγωγή ισχύος τους μεταβάλλεται από δευτερόλεπτο σε δευτερόλεπτο, ανάλογα με την ένταση και την τύρβη του ανέμου. Η επίδραση του πύργου, καθώς τα πτερύγια περιστρέφονται πίσω του, εισάγει επίσης μια περιοδική διαταραχή στην παραγόμενη ισχύ, που είναι μεγαλύτερη στις υψηλότερες ταχύτητες του ανέμου. Αυτές οι διακυμάνσεις της ισχύος προκαλούν μεταβολές της τάσης στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο, το λεγόμενο "τρεμόπαιγμα". Τα όρια στο τρεμόπαιγμα που μπορεί να προκαλέσει ο τυχόν συνδεδεμένος εξοπλισμός καθορίζονται από σχετικά πρότυπα που τίθενται ώστε να αποφευχθεί η διαταραχή σε άλλους καταναλωτές (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).

Οι ρυθμιζόμενες με απώλεια στήριξης ανεμογεννήτριες παράγουν λιγότερες διαταραχές από αυτές με μεταβολή του βήματος. Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουν πολύ μικρή επίδραση, ενώ αυτές με επαγωγικές γεννήτριες (συνηθέστερες) μπορούν επίσης κατά την εκκίνησή τους να προκαλέσουν διαταραχές. Αυτό αποτελεί κατά κανόνα πρόβλημα του παρελθόντος, καθώς στα περισσότερα μοντέλα εγκαθίστανται μονάδες "ήπιας εκκίνησης". Πάντως, πρέπει επίσης να εξετάζεται η απότομη μεταβολή της τάσης που θα εμφανιστεί όταν διακοπεί η λειτουργία της ανεμογεννήτριας ενώ βρίσκεται σε πλήρη ισχύ, λόγω ισχυρών ανέμων. Συνήθως γίνεται αποδεκτό ότι, υπό κανονικές συνθήκες, είναι απίθανο να διακοπεί η λειτουργία περισσότερων της μίας ή δύο ανεμογεννήτριες ταυτόχρονα (ΚΑΠΕ, Ecole des mines de Paris, ZREU, 2001).



### **A.8.3 Συγκριτικά στοιχεία κόστους παραγόμενης ενέργειας**

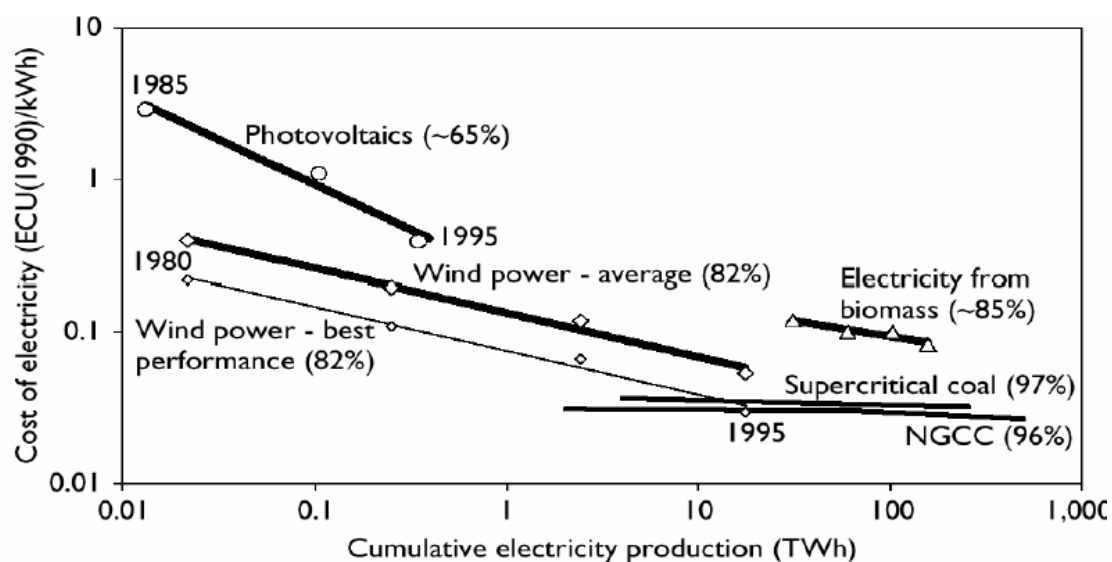
Η βιωσιμότητα και κατά μείζονα λόγο η ελκυστικότητα μιας οποιασδήποτε ανανεώσιμης πηγής ενέργειας εξαρτάται κατά κύριο λόγο, τουλάχιστον σε μακροοικονομικές αναλύσεις, από την συγκριτική θέση της τιμής της παραγόμενης μονάδος ενέργειας (kWh) σε σχέση με το κόστος των υπολοίπων ήδη χρησιμοποιούμενων πηγών ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

Βέβαια η χρησιμοποίηση του κόστους παραγωγής μιας kWh σαν το μόνο κριτήριο για τη συγκριτική αξιολόγηση της αιολικής ενέργειας σε σχέση με τις υπόλοιπες πηγές, παραβλέπει βασικές κοινωνικές παραμέτρους, όπως η διαθεσιμότητα ή ο ρυθμός εξάντλησης των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, η εμπειρία και η αξιοπιστία εκμετάλλευσης των πηγών ενέργειας, και βέβαια η φιλικότητα των χρησιμοποιούμενων μορφών της ως προς το περιβάλλον (Καλδέλλης, 1999).

Αν επιμείνουμε στη λογιστική σύγκριση του κόστους της παραγόμενης μονάδας ενέργειας, κινδυνεύουμε να οδηγηθούμε σε λάθος συμπεράσματα, δεδομένου ότι οι αναλύσεις αναφέρονται σε μέσο εθνικό ή παγκόσμιο κόστος παραγωγής και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή ανάλογα με τον τύπο της παραγωγής, την ευκολία πρόσβασης στις πρώτες ύλες, τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία και τις χρηματοοικονομικές και εργασιακές συνθήκες κάθε περιοχής. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν το μέσο εθνικό κόστος παραγωγής ενέργειας από το λιθάνθρακα, να είναι μικρότερο κατά τι από αυτό της αιολικής ενέργειας και ταυτόχρονα σε ορισμένες περιοχές της χώρας το κόστος της αιολικής kWh να είναι μόλις το ένα τρίτο του κόστους παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα. Στις περιπτώσεις αυτές η θεωρητική προσέγγιση της οικονομίας της ελεύθερης αγοράς υποστηρίζει ότι το μακροοικονομικό βέλτιστο θα επιτευχθεί μόνο αν σε κάθε περιοχή χρησιμοποιηθεί η φθηνότερη μορφή ενέργειας, αντικαθιστώντας πλήρως τις υπόλοιπες σε χρήση μορφές ενέργειας. Βάσει της ανάλυσης αυτής, τόσο η Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και η NASA πρόβλεψαν σημαντικούς ρυθμούς διεύδυσης της αιολικής ενέργειας στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά μέχρι το έτος 2010 (Καλδέλλης, 1999).

Επιστέφοντας στην εκτίμηση του κόστους της παραγόμενης αιολικής ενέργειας, πρέπει να υπογραμμισθεί ότι αυτό εξαρτάται από πλήθος παραμέτρων, κυριότεροι εκ των οποίων είναι: α) η ποιότητα του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, β) το μέγεθος της αιολικής μηχανής, γ) η αξιοπιστία και το τεχνολογικό επίπεδο της ανεμογεννήτριας, δ) ο βαθμός συνεργασίας του τοπικού αιολικού δυναμικού και της χρησιμοποιούμενης ανεμογεννήτριας (Καλδέλλης, 1999).

Στο Σχήμα Α.20 παρουσιάζεται μια εκτίμηση του μέσου κόστους παραγωγής ενέργειας από διαφορετικές πηγές σε €/kWh. Όπως παρατηρείται η τιμή της αιολικής kWh εκτιμάται σε 0.041€/kWh έως 0.074€/kWh, οπότε η αιολική ενέργεια διατηρεί την ανταγωνιστικότητά της και χωρίς να συμπεριληφθούν τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά ωφέλη από τη χρήση της (Καλδέλλης, 1999).

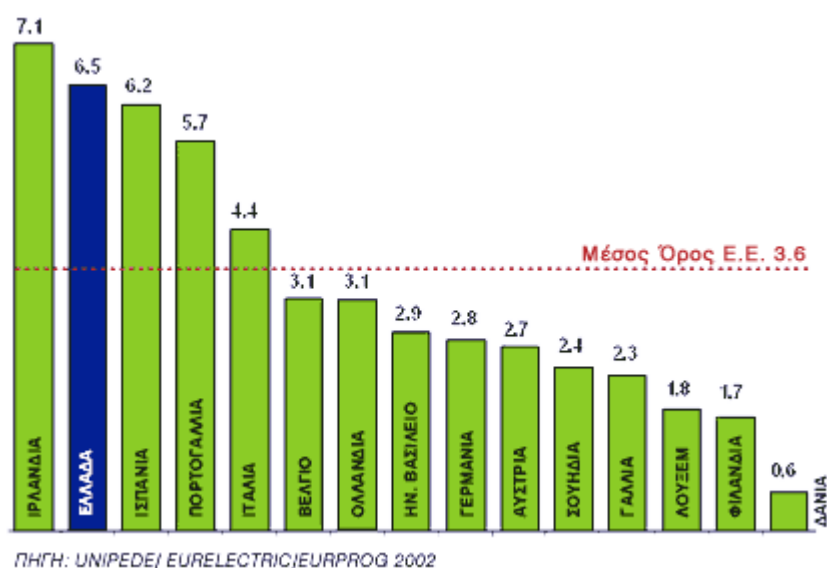


Σχήμα Α.20: Μέσο κόστος παραγωγής ενέργειας από διαφορετικές πηγές (IEA, 2000)

## Α.9 Εξωτερικό κόστος παραγωγής και χρήσης της ενέργειας

### Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έγινε ευρέως αποδεκτό ότι η ευημερία κατά την γενική έννοια δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την οικονομική ευμάρεια, όπως συνηθίζεται να μετράται από διάφορους οικονομικούς αναλυτές, αλλά και από την υγεία του φυσικού περιβάλλοντος στο οποίο οι κοινωνίες αναπτύσσονται. Τις τελευταίες δεκαετίες η υποβάθμιση του περιβάλλοντος απέκτησε τέτοιες διαστάσεις ώστε αφενός να θέτει σε αμφισβήτηση τις βασικές αρχές λειτουργίας του οικονομικού συστήματος, αφετέρου να διευρύνεται και να ισχυροποιείται η κοινωνική απαίτηση για προστασία του περιβάλλοντος. Καθώς ο ρυθμός κατανάλωσης ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται (Σχήμα Α.21), οι πιέσεις προς το περιβάλλον αναμένονται ολοένα και πιο ισχυρές. Στις νέες συνθήκες που δημιουργούνται οι προσπάθειες στρέφονται κατά κύριο λόγο στην κατεύθυνση της ορθολογιστικής χρήσης και της εξοικονόμησης ενέργειας. Με δεδομένη τη σχέση μεταξύ ενέργειας και περιβάλλοντος και την αντίφαση μεταξύ οικονομικών και περιβαλλοντικών κριτηρίων αξιολόγησης των εναλλακτικών πολιτικών, γίνεται φανερή η ανάγκη επέκτασης των βασικών αρχών της οικονομικής επιστήμης, έτσι ώστε να γίνει δυνατή μια ριζική αναθεώρηση του τρόπου τιμολόγησης της ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).



Σχήμα Α.21: Ετήσια ποσοστιαία (%) αύξηση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ε.Ε.  
(Unipede/Eurelectric/Eurprog, 2002)

### **A.9.1 Θεώρηση του εξωτερικού κόστους**

Το άριστο επίπεδο περιορισμού της ρύπανσης εξακολουθεί να προσδιορίζεται με βάση το παραδοσιακό σύστημα αξιών, που εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες, δεν αναγνωρίζει χρηματική τιμή για το περιβάλλον και δεν ενσωματώνει το κόστος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Τελικά σαν εξωτερικό κόστος της ενέργειας ορίζεται το κόστος που οφείλεται στη μείωση της ευημερίας του κοινωνικού συνόλου (γι' αυτό ονομάζεται και κοινωνικό κόστος), όταν η μείωση αυτή δεν αποζημιώνεται. Η διαδικασία αποτίμησης του εξωτερικού κόστους στην παραγωγική διαδικασία δεν είναι νέα και ένα από τα πρώτα πεδία στα οποία γίνεται συστηματική προσπάθεια υπολογισμού του εξωτερικού κόστους είναι ο ενεργειακός τομέας. Το ενδιαφέρον αυτό τεκμηριώνεται τόσο από τον αναντικατάστατο και πολυδιάστατο ρόλο της ενέργειας μέσα στην οικονομία όσο και από το πλήθος και τη σοβαρότητα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνεπάγεται η παραγωγή και η χρήση της ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

Το συνολικό εξωτερικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας με τη χρήση συμβατικών καυσίμων περιλαμβάνει το περιβαλλοντικό κόστος, το γενικό μακροοικονομικό κόστος και τις κρατικές επιδοτήσεις.

#### **A.9.1.1 Το περιβαλλοντικό κόστος**

Μέσα στην έννοια του περιβαλλοντικού κόστους περιέχεται η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος από τη διαδικασία παραγωγής, μεταφοράς και χρήσης της ενέργειας. Οι βασικότερες επιδράσεις της παραγωγής ενέργειας από τη χρήση συμβατικών καυσίμων περιλαμβάνει την καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας στην περιοχή εξόρυξης ή στους διάφορους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς, την ψυχοσωματική επίδραση στο ανθρώπινο είδος, την καταστροφή των οικοδομικών υλικών και των μνημείων καθώς και τη μεταβολή του κλίματος. Σε αντίθεση με τις συμβατικές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν προκαλούν καμία σχεδόν επιβάρυνση στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα συχνά τα ανανεώσιμα ενεργειακά συστήματα να μην εμφανίζουν αξιόλογο να μετρηθεί περιβαλλοντικό κόστος. Με τον τρόπο αυτό γίνεται σαφής η πλασματικότητα της σύγκρισης της ισχύουσας τιμής διάθεσης μιας ανανεώσιμης και μιας συμβατικής kWh, δεδομένου ότι στη σημερινή τιμή της ενέργειας συμπεριλαμβάνεται μόνο το ποσοτικό (μετρήσιμο) κόστος παραγωγής ενέργειας, ενώ αγνοείται παντελώς η περιβαλλοντική συνιστώσα του κόστους παραγωγής ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

Σύμφωνα με τα τελευταία αποτελέσματα ερευνών και λαμβάνοντας υπόψιν τη μεγάλη αβεβαιότητα στην αριθμητική εκτίμηση του συνόλου των συνιστωσών του

"κοινωνικού κόστους", το περιβαλλοντικό κόστος μιας συμβατικής MWh εκτιμάται σε 20€, ενώ το περιβαλλοντικό κόστος μιας αντίστοιχης αιολικής MWh δεν υπερβαίνει τα 2€ (Καλδέλλης, 1999).

#### *A.9.1.2 Το γενικό μακροοικονομικό κόστος*

Η επιβάρυνση του εμπορικού ισοζυγίου, η εξάρτηση από τις χώρες που ελέγχουν τα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα, μαζί με την εξάντληση των εγχώριων αλλά και παγκόσμιων ενεργειακών αποθεμάτων από τη μια πλευρά και η μείωση της ανεργίας, η αύξηση του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος και η υψηλή εγχώρια προστιθέμενη αξία από την άλλη πλευρά, αποτελούν τα κυριότερα παραδείγματα μακροοικονομικού κόστους από τη χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας και μακροοικονομικού οφέλους από την πιθανή εγχώρια κατασκευή, εγκατάσταση και χρήση συμβατικών ή ανανεώσιμων σταθμών παραγωγής ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

Σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, τα ανανεώσιμα συστήματα παραγωγής ενέργειας προκαλούν κατά κύριο λόγο θετικά μακροοικονομικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, τα γενικά μακροοικονομικά οφέλη από την παραγωγή και κατανάλωση μιας αιολικής kWh στη θέση μιας αντίστοιχης πετρελαϊκής μπορούν υπό προϋποθέσεις να υπερβούν το 0,03€/ kWh (Καλδέλλης, 1999).

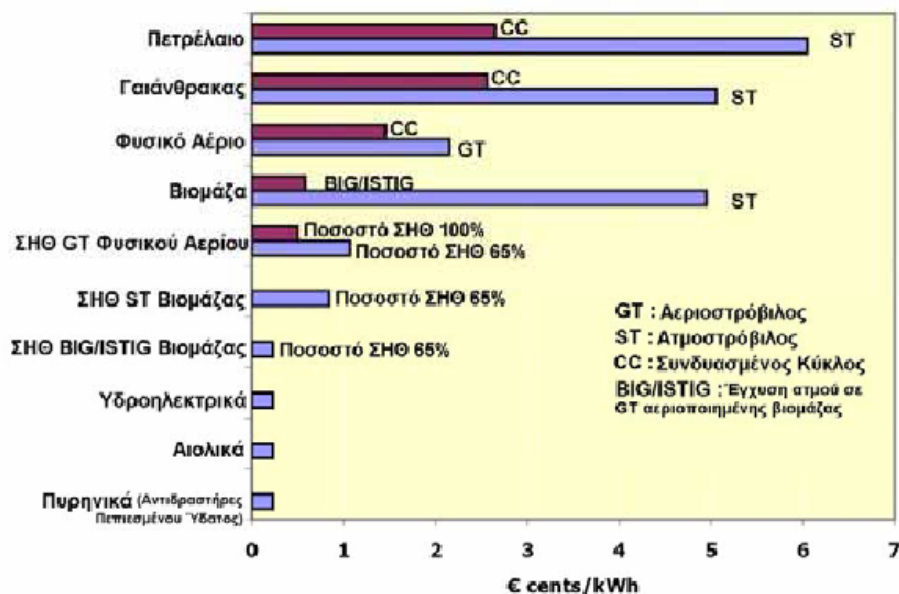
#### *A.9.1.3 Οι κρατικές επιδοτήσεις*

Οι κρατικές επιδοτήσεις στον τομέα της παραγωγής ενέργειας περιλαμβάνουν άμεσες χρηματοδοτήσεις, όπως για παράδειγμα οι επιδοτήσεις για έρευνα και ανάπτυξη ενεργειακών συστημάτων, αλλά και έμμεσες όπως η τεχνολογική και διοικητική υποδομή, που η πολιτεία παρέχει σε μονάδες παραγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, στις άμεσες επιδοτήσεις περιλαμβάνονται εκτός από τις δαπάνες για την έρευνα και ανάπτυξη συμβατικών αλλά και πυρηνικών κατά κύριο λόγο μορφών ενέργειας, οι επιταχυνόμενες αποσβέσεις και επιδοτήσεις για την αγορά μηχανημάτων περιορισμού της ρύπανσης καθώς και για την αγορά μηχανημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας. Από την άλλη πλευρά οι έμμεσες κρατικές επιδοτήσεις περιλαμβάνουν το κόστος των σταθμών μετρήσεως και ελέγχου της ρύπανσης, το κόστος της αυξημένης υλικοτεχνικής υποδομής, το κόστος ενίσχυσης των διοικητικών υπηρεσιών καθώς και το κόστος επιπλέον προσωπικού όπως πυροσβέστες, αστυνομικές δυνάμεις αλλά και αυξημένης νοσοκομειακής υποστήριξης, κοντά σε μονάδες παραγωγής ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).

Στο σημείο αυτό βέβαια πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι κρατικές επιδοτήσεις και χρηματοδοτήσεις που δίνονται για την ενίσχυση και των εφαρμογών των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας. Από πρόσφατα στοιχεία προκύπτει ότι η πολιτεία επιδοτεί έμμεσα ή άμεσα την παραγωγή ενέργειας από θερμικούς σταθμούς με ποσά που κυμαίνονται από 6,7€/MWh για το φυσικό αέριο έως και 17€/MWh για λιγνιτικής βάσης μονάδες. Η αντίστοιχη επιδότηση των αιολικών και των ηλιακών σταθμών υπερβαίνει οριακά τα 3,5€/MWh (Καλδέλλης, 1999).

Για την αντικειμενική σύγκριση των θερμικών και των ανανεώσιμων σταθμών παραγωγής υπολογίζεται στη συνέχεια και το αντίστοιχο εξωτερικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας, οπότε από την προηγηθείσα ανάλυση προκύπτει ότι για την περίπτωση χρήσης λιγνίτη το κοινωνικό κόστος της παραγόμενης ενέργειας είναι 45,38€/MWh. Αντίστοιχα το εξωτερικό κόστος μιας πετρελαϊκής MWh εκτιμάται σε 44,62€/MWh, ενώ για το φυσικό αέριο έχουμε 28€/MWh. Από την άλλη πλευρά μια αιολική MWh αποκομίζει στο κοινωνικό σύνολο τελικά όφελος ίσο με 3,03€/MWh και η αντίστοιχη ηλιακή 1,31€/MWh (Καλδέλλης, 1999).

Συνεπώς κατά την τελική σύγκριση μιας μονάδας ενέργειας με πραγματικούς όρους, συμπεριλαμβανομένου και του κοινωνικού κόστους, μια πετρελαϊκή MWh στοιχίζει στις περισσότερες περιπτώσεις στον καταναλωτή 165,2€/MWh, ενώ μια αντίστοιχη αιολική μόλις 117€/MWh. Αντίστοιχα αποτελέσματα σύγκρισης παρουσιάζονται στο Σχήμα Α.22 για τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας (Καλδέλλης, 1999).



Σχήμα Α.22: Περιβαλλοντικά εξωτερικά κόστη της ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη  
(Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003)

### **A.9.2 Σύγκριση του εξωτερικού κόστους μεταξύ των συμβατικών, πυρηνικών και ανανεώσιμων καυσίμων**

Μια συγκριτική αξιολόγηση των συμβατικών, πυρηνικών και ανανεώσιμων καυσίμων αποκαλύπτει μια ευρεία σειρά επιδράσεων από ένα ευρύ φάσμα τεχνολογιών της ηλεκτρικής παραγωγής. Τα στοιχεία δείχνουν εμφανώς ότι τα εξωτερικά κόστη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρουν πολύ, ανάλογα με την επιλογή των καυσίμων, την τεχνολογία και την τοποθεσία.

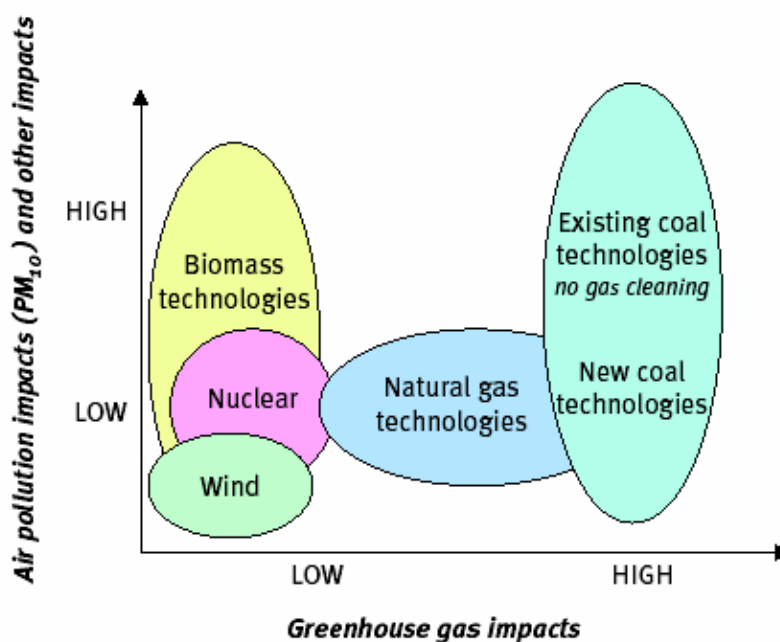
Ο στόχος της μελέτης ExternE της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ήταν να εκτιμηθούν τα εξωτερικά κόστη, δηλ. οι σημαντικότερες επιδράσεις που προέρχονται από την παραγωγή και την κατανάλωση σχετικών με την ενέργεια δραστηριοτήτων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

Η μεθοδολογία της μελέτης ExternE έχει εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα καυσίμων, διαφορετικών τεχνολογιών και τοποθεσιών. Το γενικό αποτέλεσμα συνοψίζεται στο Σχήμα A.23. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μπορεί να περιγραφεί ως εξής (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003):

- Γενικά, οι τεχνολογίες της αιολικής ενέργειας είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον όσον αφορά τις εκπομπές των "κλασσικών" ρύπων ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , σωματίδια σκόνης) και όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Δεν είναι κάθε θέση εξίσου κατάλληλη για την αιολική ηλεκτροπαραγωγή, και στο γεγονός αυτό οφείλεται η μεταβλητότητα στα εξωτερικά κόστη λόγω του θορύβου ή άλλων αρνητικών επιδράσεων.
- Η πυρηνική ενέργεια γενικά προκαλεί χαμηλά εξωτερικά κόστη, αν και συμπεριλαμβάνεται η πολύ χαμηλή πιθανότητα ατυχημάτων με πολύ υψηλές συνέπειες. Είναι επίσης μια τεχνολογία με πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
- Υπάρχουν πολλές διαφορετικές τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής από τη βιομάζα που μπορούν να κυμανθούν σε χαμηλά έως υψηλά εξωτερικά κόστη. Παράγουν πολύ χαμηλές εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου.
- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια πολύ καθαρή τεχνολογία στο στάδιο χρήσης, αλλά ασκούν αξιοσημείωτες επιδράσεις κατά τον κύκλο ζωής τους.
- Οι τεχνολογίες του φυσικού αερίου είναι αρκετά καθαρές, όσον αφορά τους κλασσικούς ρύπους ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , σωματίδια σκόνης), αλλά ο αντίκτυπός τους στην κλιματική αλλαγή εξαρτάται έντονα από την αποδοτικότητα της τεχνολογίας. Οι νεώτερες τεχνολογίες συνδυασμένου κύκλου καύσης μπορούν επίσης να

ταξινομηθούν στην παραγωγή μέσω των έως χαμηλών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

- Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο γαιάνθρακα φέρουν το αρνητικό χαρακτηριστικό των πολύ υψηλών εκπομπών CO<sub>2</sub>, ακόμη και για τις νέες, αποδοτικότερες τεχνολογίες. Οι παλαιές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας από γαιάνθρακα είναι επίσης πολύ υψηλοί εκπομποί των κλασσικών ρύπων, αποτελώντας συνολικά τη χειρότερη διαθέσιμη τεχνολογία.
- Για την αιολική ενέργεια πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι επιδράσεις από τις διαδικασίες κατασκευής γίνονται σημαντικές, δεδομένου ότι κανένας ρύπος δεν εκπέμπεται κατά τη διάρκεια της ηλεκτρικής παραγωγής. Αυτές οι επιδράσεις και τα αντίστοιχα κόστη υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τις βάσεις δεδομένων των εκπομπών που παράγονται κατά την παραγωγή χάλυβα και σκυροδέματος, που αποτελούν τα υλικά κατασκευής των ανεμογεννητριών. Οι επιδράσεις από το θόρυβο είναι αρκετά χαμηλές. Ο αντίκτυπος από την οπτική παρείσφρηση είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Και οι δύο επιδράσεις μπορούν να ελαχιστοποιηθούν μέσω του κατάλληλου σχεδιασμού. Ο αντίκτυπος στα πουλιά και τα ζώα είναι αμελητέος όταν ποσοτικοποιείται. Τα ατυχήματα κατά τη διάρκεια της κατασκευής, ή λόγω των συγκρούσεων στη θάλασσα (στην περίπτωση των παράκτιων εγκαταστάσεων), είναι επίσης πολύ μικρά, αλλά μπορούν να γίνουν σχετικά σημαντικά όταν μειωθούν περαιτέρω οι εκπομπές από την παραγωγή των υλικών κατασκευής.



Σχήμα Α.23: Διάγραμμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων των κυριότερων τεχνολογιών ηλεκτροπαραγωγής (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).



Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα των αποτελεσμάτων της μελέτης ExternE είναι ότι συγκεκριμενοποιούνται ανάλογα με την περιοχή. Αυτό παρουσιάζεται σαφώς στον Πίνακα Α.24. Σημειώνεται ότι δεν εφαρμόζονται χαρακτηριστικά όλοι οι κύκλοι καυσίμων σε όλες τις ευρωπαϊκές χώρες που συμμετείχαν στα στάδια εφαρμογής της μελέτης, έτσι διάφορα κελιά αφήνονται κενά. Το φάσμα των αποτελεσμάτων για κάθε τεχνολογία καυσίμου αποτελείται και από τις τεχνολογικές διαφορές και από τη διαφορετική τοποθεσία εφαρμογής (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

Στον Πίνακα Α.25 παρουσιάζονται οι διαφορετικές κατηγορίες ζημιάς που επιφέρουν τα εξωτερικά κόστη και το ποσοτικοποιημένο οριακό εξωτερικό κόστος της ηλεκτρικής παραγωγής στη Γερμανία. Σε αυτόν τον πίνακα, εκτός από τα κόστη που επιβάλλονται στην κοινωνία λόγω των ποικίλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, παρουσιάζονται και οι δαπάνες αποφυγής για τις αρνητικές επιδράσεις στα οικοσυστήματα (π.χ. η όξινη βροχή) και την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

Πίνακας Α.24: Εξωτερικά κόστη σε για τις τεχνολογίες ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003)

EXTERNAL COST FIGURES FOR ELECTRICITY PRODUCTION IN THE EU FOR EXISTING TECHNOLOGIES <sup>1</sup> (IN € CENT PER kWh*)									
Country	Coal & lignite	Peat	Oil	Gas	Nuclear	Biomass	Hydro	PV	Wind
AT				1-3		2-3	0.1		
BE	4-15			1-2	0.5				
DE	3-6		5-8	1-2	0.2	3		0.6	0.05
DK	4-7			2-3		1			0.1
ES	5-8			1-2		3-5**			0.2
FI	2-4	2-5				1			
FR	7-10		8-11	2-4	0.3	1	1		
GR	5-8		3-5	1		0-0.8	1		0.25
IE	6-8	3-4							
IT			3-6	2-3			0.3		
NL	3-4			1-2	0.7	0.5			
NO				1-2		0.2	0.2		0-0.25
PT	4-7			1-2		1-2	0.03		
SE	2-4					0.3	0-0.7		
UK	4-7		3-5	1-2	0.25	1			0.15

Πίνακας Α.25: Ποσοτικοποιημένο οριακό εξωτερικό κόστος της ηλεκτρικής παραγωγής στη Γερμανία (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2003).

<b>QUANTIFIED MARGINAL EXTERNAL COSTS OF ELECTRICITY PRODUCTION IN GERMANY<sup>2</sup></b> <b>(IN € CENT PER kWh)</b>							
	Coal	Lignite	Gas	Nuclear	PV	Wind	Hydro
<b>Damage costs</b>							
Noise	0	0	0	0	0	0.005	0
Health	0.73	0.99	0.34	0.17	0.45	0.072	0.051
Material	0.015	0.020	0.007	0.002	0.012	0.002	0.001
Crops	0	0	0	0.0008	0	0.0007	0.0002
Total	0.75	1.01	0.35	0.17	0.46	0.08	0.05
<b>Avoidance costs</b>							
Ecosystems	0.20	0.78	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03
Global Warming	1.60	2.00	0.73	0.03	0.33	0.04	0.03

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### **B.1 Επιμέρους βήματα πολυκριτηριακής ανάλυσης της ομάδας ELECTRE και PROMETHEE**

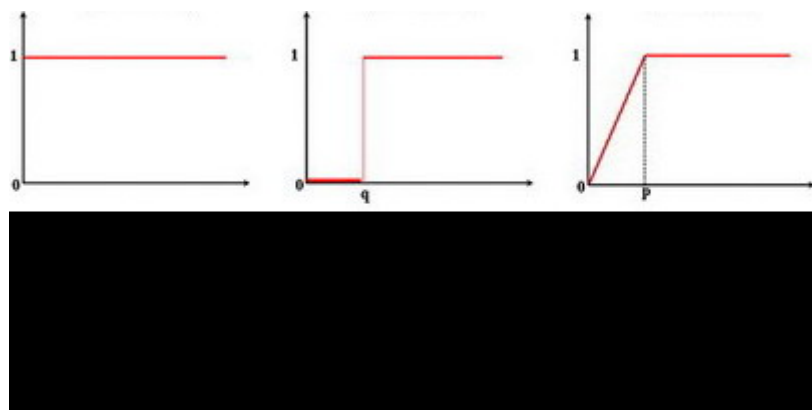
Η ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης της ομάδας ELECTRE και PROMETHEE περιλαμβάνει τα εξής διακριτά επιμέρους βήματα (Brans, Mareschal and Vincke, 2005):

Βήμα 1: Δυαδική σύγκριση επιλογών ανά κριτήριο: στο στάδιο αυτό εξετάζονται διαδοχικά σε κάθε κριτήριο  $j$  όλα τα ζεύγη επιλογών  $a$  και  $b$  και με βάση τη διαφορά των επιδόσεων  $d_j(a,b)$  τους και τον τύπο του κριτηρίου υπολογίζονται οι δείκτες προτίμησης  $p_j(a,b)$ . Οι δείκτες αυτοί παίρνουν τιμές στο διάστημα  $[0-1]$  και δείχνουν το βαθμό στον οποίο η επιλογή  $a$  προτιμάται από την επιλογή  $b$  στο συγκεκριμένο κριτήριο (Brans, Mareschal and Vincke, 1984).

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα Β1, στην περίπτωση των κριτηρίων τύπου (1) και (2), ο δείκτης  $p_j(a,b)$  παίρνει τιμές 0 και 1, ενώ στην περίπτωση του τύπου (4), παίρνει και την ενδιάμεση τιμή 0,5. Στην περίπτωση της γραμμικής μεταβολής που ακολουθείται στα κριτήρια τύπου (3) και (5) η τιμή του δείκτη προκύπτει από γραμμική παρεμβολή μεταξύ των ορίων. Έτσι για παράδειγμα στην περίπτωση ενός κριτηρίου τύπου (5) με τιμές κατωφλίων  $q$  και  $p$ , και διαφορά επιδόσεων των δύο επιλογών  $q < d_j(a,b) < p$ , η τιμή του δείκτη προτίμησης θα είναι (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

$$p_j(a,b) = \frac{d_j(a,b) - q}{p - q}$$

Το αποτέλεσμα της δυαδικής σύγκρισης όλων των ζευγών των εξεταζόμενων επιλογών σε ένα κριτήριο αποτυπώνεται σε έναν τετραγωνικό πίνακα διαστάσεων  $n \times n$  ( $n$ : ο αριθμός των λύσεων). Ο πίνακας δεν είναι συμμετρικός καθώς αν  $p_j(a,b) > 0$ , τότε εξ ορισμού  $p_j(b,a) = 0$ , δηλαδή η κατάσταση μη προτίμησης προσδιορίζεται επίσης με μηδενική τιμή του δείκτη (Brans, Mareschal and Vincke, 1984).



Σχήμα B1: Οι έξι τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE (Brans, Mareschal and Vincke, 1984)

Το πρώτο βήμα ολοκληρώνεται όταν εξετασθούν και τα  $m$  κριτήρια αξιολόγησης, δηλαδή κατασκευασθούν  $m$  τετραγωνικοί πίνακες  $n \times n$ .

Βήμα 2: Υπολογισμός συνολικών δεικτών προτίμησης: για κάθε ζεύγος επιλογών  $a$  και  $b$  υπολογίζεται ένας συνολικός δείκτης προτίμησης  $P(a,b)$  ως άθροισμα των μερικών σχέσεων προτίμησης σε κάθε κριτήριο  $p_j(a,b)$ , σταθμισμένο ανάλογα με τους συντελεστές βαρύτητας των κριτηρίων (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

$$P(a,b) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot p_j(a,b)$$

Οι δείκτες συνολικής προτίμησης  $P(a,b)$  παίρνουν τιμές επίσης στο διάστημα  $[0,1]$  και υποδηλώνουν αν και σε τι βαθμό η επιλογή  $a$  επαληθεύει τον ισχυρισμό ότι υπερέχει έναντι της επιλογής  $b$  λαμβάνοντας υπόψη το σύνολο των κριτηρίων. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των συνολικών δεικτών προτίμησης αποτυπώνονται σε έναν τελικό πίνακα διαστάσεων  $n \times n$ . Το κελί  $(i, j)$  του πίνακα περιλαμβάνει την τιμή του συνολικού δείκτη προτίμησης της επιλογής  $i$  έναντι της επιλογής  $j$  (Brans, Mareschal and Vincke, 1984).

Βήμα 3: Υπολογισμός θετικών και αρνητικών ροών: στο στάδιο αυτό υπολογίζονται για κάθε λύση  $\alpha$ , δύο μέτρα αξιολόγησης που δείχνουν σε τι βαθμό η λύση αυτή υπερέχει ή υπολείπεται έναντι όλων των υπολοίπων επιλογών. Τα μέτρα αυτά ονομάζονται θετική και αρνητική ροή, αντίστοιχα και ορίζονται ως εξής (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

- Θετική ροή:  $\phi^+(\alpha) = \frac{\sum_{j=1}^n P(\alpha, j)}{n-1}$

Η θετική ροή για τη λύση  $\alpha$  προκύπτει από το άθροισμα των στοιχείων της αντίστοιχης σειράς δια του αριθμού των υπολοίπων επιλογών ( $n-1$ ) και δείχνει το μέσο βαθμό κυριαρχίας της λύσης. Συνάγεται ότι όσο μεγαλύτερη η τιμή της θετικής ροής σε σχέση με τις θετικές ροές των υπολοίπων επιλογών τόσο καλύτερη είναι η λύση αυτή (Brans, Mareschal and Vincke, 1984).

$$\bullet \text{ Αρνητική ροή: } \phi^{-}(\alpha) = \frac{\sum_{j=1}^n P(\alpha, j)}{n-1}$$

Η αρνητική ροή για τη λύση  $\alpha$  προκύπτει από το άθροισμα των στοιχείων της αντίστοιχης στήλης δια του αριθμού των υπολοίπων επιλογών ( $n-1$ ) και δείχνει το μέσο βαθμό που η λύση αυτή κυριαρχείται από τις υπόλοιπες επιλογές. Συνάγεται ότι όσο μικρότερη η τιμή της αρνητικής ροής σε σχέση με τις αρνητικές ροές των υπολοίπων επιλογών τόσο καλύτερη είναι η λύση αυτή (Brans, Mareschal and Vincke, 1984).

Στο Σχήμα Β2 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η έννοια της θετικής και αρνητικής υπεροχής ή κυριαρχίας.

- Κατάταξη με βάση τις θετικές ροές:

$\alpha S^{+} b$

$\text{An } \phi^{+}(\alpha) > \phi^{+}(b)$

**Θετική υπεροχή**

$\alpha I^{+} b$

$\text{An } \phi^{+}(\alpha) = \phi^{+}(b)$

**Θετική αδιαφορία**

- Κατάταξη με βάση τις αρνητικές ροές:

$\alpha S^{-} b$

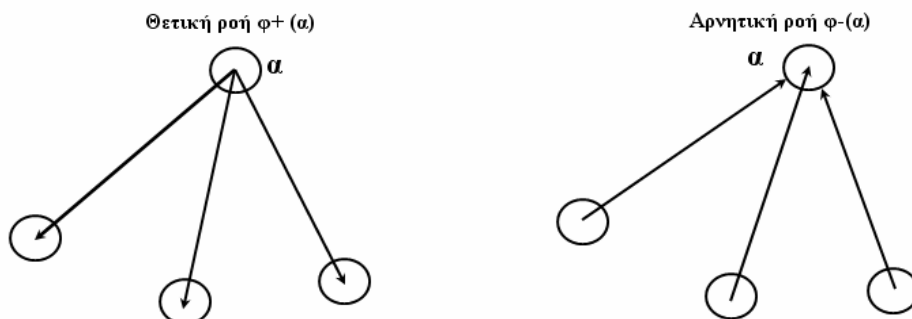
$\text{An } \phi^{-}(\alpha) < \phi^{-}(b)$

**Αρνητική υπεροχή**

$\alpha I^{-} b$

$\text{An } \phi^{-}(\alpha) = \phi^{-}(b)$

**Αρνητική αδιαφορία**



Σχήμα Β.2: Η έννοια της θετικής και αρνητικής ροής στην μέθοδο PROMETHEE (Δούμπος και Ζοπουνίδης, 2001)

Βήμα 4: Μερική κατάταξη των επιλογών: στο στάδιο αυτό κατασκευάζονται αρχικά δύο πλήρεις κατατάξεις (χωρίς ασυγκρισιμότητες) με βάση τις τιμές των θετικών και αρνητικών ροών (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

- Κατάταξη με βάση τις θετικές ροές:

$\alpha S^+ b$	$\text{An } \varphi^+(\alpha) > \varphi^+(b)$	Θετική υπεροχή
$\alpha I^+ b$	$\text{An } \varphi^+(\alpha) = \varphi^+(b)$	Θετική αδιαφορία

- Κατάταξη με βάση τις αρνητικές ροές:

$\alpha S^- b$	$\text{An } \varphi^-(\alpha) < \varphi^-(b)$	Αρνητική υπεροχή
$\alpha I^- b$	$\text{An } \varphi^-(\alpha) = \varphi^-(b)$	Αρνητική αδιαφορία

Η μερική κατάταξη που περιλαμβάνει καταστάσεις προτίμησης, αδιαφορίας και ασυγκρισιμότητας, προκύπτει ως τομή των δύο αυτών κατατάξεων (θετικής και αρνητικής) ως εξής (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

Προτίμηση:	$\alpha P_I b$	αν	$\alpha S^+ b$	και	$\alpha S^- b$	ή
			$\alpha S^+ b$	και	$\alpha I^+ b$	ή
			$\alpha I^+ b$	και	$\alpha S^- b$	
Αδιαφορία:	$\alpha I_I b$	αν	$\alpha I^+ b$	και	$\alpha I^- b$	
Ασυγκρισιμότητα:	$\alpha R_I b$	αν	$\alpha S^+ b$	και	$\alpha S^- b$	

Βήμα 5: Πλήρης κατάταξη των επιλογών: στο τελικό αυτό στάδιο της μεθόδου κατασκευάζεται μια μοναδική πλήρης κατάταξη των επιλογών με βάση ένα καθαρό μέτρο υπεροχής κάθε επιλογής. Το μέτρο αυτό ονομάζεται καθαρή ροή και προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ θετικής και αρνητικής ροής (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

$$\text{Καθαρή ροή: } \varphi(\alpha) = \varphi^+(\alpha) - \varphi^-(\alpha)$$

Η καθαρή ροή αποτελεί μέτρο της καθαρής υπεροχής ή κυριαρχίας κάθε επιλογής και αναγνωρίζει μόνο καταστάσεις προτίμησης και αδιαφορίας επιτρέποντας την πλήρη κατάταξη τους (Brans, Mareschal and Vincke, 1984):

Προτίμηση:	$\alpha P_{II} b$	αν	$\varphi(\alpha) > \varphi(b)$
Αδιαφορία:	$\alpha P_{II} b$	αν	$\varphi(\alpha) = \varphi(b)$