



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Μεθοδολογία λήψης αποφάσεων σε προβλήματα
επένδυσης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Τσιλιγιάννη Μάριου

Επιβλέπων καθηγητής : Ιωάννης Ψαρράς

Αθήνα, Οκτώβριος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ & ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

Μεθοδολογία λήψης αποφάσεων σε προβλήματα επένδυσης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

Τσιλιγιάννη Μάριου

Επιβλέπων καθηγητής : Ιωάννης Ψαρράς

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ...^η Οκτωβρίου 2010.

(Υπογραφή)

.....

Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

(Υπογραφή)

.....

Βασίλειος Ασημακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

(Υπογραφή)

.....

ΤΣΙΛΙΓΙΑΝΝΗΣ ΜΑΡΙΟΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

© 2010 – Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

1. Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια συντελούνται σημαντικές εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας και συγκεκριμένα στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, την ενέργεια του μέλλοντος. Νέα έργα ανανεώσιμων συντελούνται συνεχώς και η χρήση κάποιου συστήματος υποστήριξης απόφασης για τέτοιες επενδύσεις κρίνεται σημαντική. Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να προτείνει μια τέτοια μεθοδολογία που βοηθά τον αποφασίζοντα να αποφασίσει κατατάσσοντας τα κριτήρια ενός προβλήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αρχικά γίνεται μια προσπάθεια να περιγραφούν όλες οι έννοιες σχετικά με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στην Ελλάδα. Στη συνέχεια, αναλύονται οι μεθοδολογίες λήψης αποφάσεων όπως MAUT και πολυκριτηριακές ώστε να κατανοήσει ο αναγνώστης τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν. Έπειτα, καθορίζονται τα κριτήρια και οι διαστάσεις ενός προβλήματος απόφασης ανανεώσιμων για να καταστρωθεί ο πίνακας απόφασης. Τέλος, σύμφωνα με αυτόν τρέχουμε τις μεθόδους MAUT με άνισα βάρη και ELECTRE III σε δύο παραδείγματα μελέτης. Τα παραδείγματα αυτά αφορούν στο αιολικό πάρκο στο Μόδι Κρήτης και στο φωτοβολταϊκό πάρκο που πρόκειται να γίνει στην Κοζάνη και γίνεται σαφής η χρήση της μεθόδου σε πραγματικά δεδομένα. Κλείνοντας, εξάγονται τα συμπεράσματα και δίδονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Λέξεις Κλειδιά: <<Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

Πολυκριτηριακές Μέθοδοι Λήψης Αποφάσεων

Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

MAUT, ELECTRE III, PROMETHEE II

Αιολικό Πάρκο Μόδι Κρήτης

Φωτοβολταϊκό Πάρκο Κοζάνη>>

Abstract

In recent years there have been major advances in energy and specifically renewable energy, the energy of the future. New renewable projects are taking place constantly and the use of a decision support system for such investments is significant. The purpose of this diploma thesis is to propose a methodology that helps the decision maker to decide the significance of criteria used to solve a renewable energy investment problem. Initially there is an attempt to describe all the concepts related to renewable energy sources and technologies applied in Greece. Then, the decision-making methodologies such as MAUT and multicriteria decision-making methodologies are analyzed, in order to make the reader capable of understanding how they work. Then, the criteria and dimensions of a decision problem are defined in order to compile the decision matrix of the problem. Finally, according to this matrix, MAUT with unequal weights and ELECTRE III methods are used. The proposed methodology is applied in two case studies. The two selected case studies refer to the already complete wind park in Modi, Crete and the proposed solar park in Kozani. The real data of the case studies are used to evaluate the methodology and its results. Finally, conclusions are drawn and recommendations for further research are given.

Keywords: << Renewable Energy Sources (RES)

Multicriteria Decision Making Methods

Decision support systems

MAUT, ELECTRE III, PROMETHEE II

Wind Farm Modi Crete

Photovoltaic Park Kozani >>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη	5
2. Περιβάλλον, Ενέργεια και ΑΠΕ	12
2.1 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα.....	12
2.2 Τα παγκόσμια περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα.....	14
2.2.1 Η κλιματική αλλαγή.....	14
2.2.2 Το πρωτόκολλο του Κιότο	15
2.2.3 Ευρωπαϊκές δεσμεύσεις	17
2.2.4 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα.....	18
2.2.5 Νέα εποχή στην ηλεκτρική ενέργεια.....	19
2.3 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας).....	21
2.4 Ανανεώσιμη τεχνολογία και εφαρμογές στην Ελλάδα.....	27
2.4.1 Αιολική Ενέργεια	27
2.4.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια.....	30
2.4.3 Ηλιακή ενέργεια.....	32
2.4.4 Ενέργεια από βιομάζα.....	34
2.3.5 Γεωθερμική ενέργεια	37
3. Λήψη αποφάσεων και πολυκριτηριακές μέθοδοι ανάλυσης.....	41
3.1 Λήψη Αποφάσεων	41
3.1.1 Εισαγωγή	41
3.1.2 Διαδικασία και Στάδια Λήψης Αποφάσεων	42
3.1.3 Τάσεις / ρεύματα στη λήψη αποφάσεων.....	43
3.1.4 Διακριτά Προβλήματα.....	43
3.2 Πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων	44
3.2.1 Εισαγωγή	44
3.2.2 Κυριότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης	46
3.2.3 Καθορισμός συντελεστών βαρύτητας.....	49
3.2.4 Επιλογή του βέλτιστου σεναρίου.....	51
3.2.5 Σύστημα λήψης αποφάσεων με τη χρήση αθροιστικής συχνότητας ομάδων κριτηρίων (Πολυκριτηριακή θεωρία αξίας ή χρησιμότητας – Multi Attribute Utility Theory – MAUT)	51
3.2.6 Σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο (Προσέγγιση σχέσεων υπεροχής - Outranking approaches).....	52

3.2.7 Αξιολόγηση μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης – Επιλογή βέλτιστης μεθόδου για εφαρμογή	60
3.3 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στον ενεργειακό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό	60
3.4 Συμπεράσματα	62
4. Κριτήρια λήψης αποφάσεων στις ΑΠΕ	64
4.1 Είδη κριτηρίων	64
4.1.1 Τεχνικά κριτήρια	64
4.1.2 Οικονομικά κριτήρια.....	68
4.1.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια	75
4.1.4 Κοινωνικά κριτήρια	77
4.2 Μέθοδοι αξιολόγησης των κριτηρίων στον ενεργειακό σχεδιασμό.....	80
4.2.1 Σύγκριση μεθόδων.....	80
4.2.2 Electre III	83
4.2.3 Promethée II	89
4.3 Διαστάσεις	91
5. Προτεινόμενη μεθοδολογία	93
5.1 Περιγραφή της διαδικασίας.....	93
5.2 Κωδικοποίηση της γνώσης σε ένα συνολικό πίνακα με scores	96
6. Παραδείγματα μελέτης (case studies).....	112
6.1 Εγκατάσταση αιολικού πάρκου στο Μόδι Κρήτης.....	112
6.1.1 Πληροφορίες του έργου	112
6.1.2 Κατάστρωση του πίνακα απόφασης.....	114
6.1.3 Ταξινόμηση κριτηρίων	115
6.1.4 Συμπεράσματα.....	120
6.2 Κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κοζάνη	122
6.2.1 Πληροφορίες του έργου	122
6.2.2 Κατάστρωση του πίνακα απόφασης.....	124
6.2.3 Ταξινόμηση κριτηρίων	125
6.2.4 Συμπεράσματα.....	127
7. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα	129
8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	133
Α. Επεξήγηση συμβόλων και συντομογραφιών.....	133
Β. Βιβλιογραφία.....	134

2. Περιβάλλον, Ενέργεια και ΑΠΕ

2.1 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα

Θα προσπαθήσουμε εισαγωγικά να περιγράψουμε εν συντομία την ισχύουσα κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα. Το κρίσιμο σημείο που καθορίζει τις οικονομικές συνθήκες στον κλάδο της ηλεκτροπαραγωγής είναι το ζήτημα του ιδιοκτησιακού καθεστώτος των μέσων παραγωγής και διανομής. Από την αρχή υπήρξε θέμα συζήτησης, αναφορικά με το κατά πόσον ο πλήρης κρατικός έλεγχος, στηριζόμενος στη μονοπωλιακή δύναμη, μπορεί να λειτουργήσει προς όφελος του καταναλωτή ή εάν οι νόμοι μιας ελεύθερης αγοράς μπορούν να αυξήσουν την αποδοτικότητα του τομέα, με ευεργετούμενο τελικά τον καταναλωτή.

Το Φεβρουάριο του 1999 η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε τα θεμέλια για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, δίνοντας τη δυνατότητα σε μεγάλους καταναλωτές να επιλέγουν τον προμηθευτή τους, το οποίο συνεπάγεται ότι η τιμή της διαμορφώνεται πλέον από τον ελεύθερο ανταγωνισμό. Στην Ελλάδα η πρώτη προσπάθεια για μια απελευθερωμένη αγορά που θα προσέλκυε επενδύσεις ΑΠΕ έγινε με το νόμο Ν.1559/85 με τον οποίο δόθηκε η δυνατότητα σε αυτοπαραγωγούς (ΟΤΑ - κάλυψη δικών τους αναγκών) να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από ΑΠΕ μέχρι το τριπλάσιο της ισχύος των εγκαταστάσεών τους και την πώληση της περίσσειας στη ΔΕΗ. Ο νόμος αν και πρωτοποριακός έδωσε την ευκαιρία στο γραφειοκρατικό χαρακτήρα της ΔΕΗ να καθυστερήσει τις εφαρμογές των ΑΠΕ. Έτσι, το 1993 λειτουργούσαν ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος 27 MW από τις οποίες μόνο 3 MW ανήκαν σε ιδιώτες (ΟΤΑ και ΟΤΕ) ενώ οι λοιπές στη ΔΕΗ πράγμα που επιβεβαίωνε το μονοπώλιο της ΔΕΗ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της καθυστέρησης είναι ότι ο στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ στο ελληνικό σύστημα για το 2010 ήταν 12% (Δρ Α. Κοτρωνάρου, 1998) και σήμερα είναι μόλις 7% πράγμα που δείχνει ότι ο στόχος του 20% το 2020 μοιάζει ανέφικτος (IENE, 2009). Το μονοπώλιο αυτό δεν άλλαξε ούτε με το νόμο 22244/94 με τον οποίο ναι μεν απελευθερώθηκε η ανεξάρτητη παραγωγή (παραγωγή και διάθεση μόνο στη ΔΕΗ) από ΑΠΕ μέχρι 50 MW αλλά διατηρήθηκε το δικαίωμα της ΔΕΗ για κατασκευή, λειτουργία, μεταφορά και διανομή όλων των μεγάλων έργων. Βέβαια με το νόμο αυτό καθορίστηκαν σταθερές τιμές πώλησης της ανανεώσιμης ενέργειας σε επίπεδα ίσα με το 90% του γενικού τιμολογίου στη ΜΤ και υποχρέωση της ΔΕΗ να συνάπτει 10ετές συμβόλαιο αγοράς της παραγόμενης από ΑΠΕ ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή ο επενδυτής θα είχε εγγύηση κέρδους για την επένδυσή του, και θεσπίστηκε η παροχή επιδοτήσεων. Το 1999 ψηφίζεται ένας νόμος που αποδυναμώνει την ευνοϊκή τιμολόγηση των ΑΠΕ πράγμα που δείχνει πως μερικά από τα εμπόδια εισόδου των ΑΠΕ στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας ήταν και νομοθετικού περιεχομένου.

Στο επόμενο χρονικό διάστημα έγιναν αρκετές αλλαγές αλλά καμία στη ουσία δεν αφαιρούσε το μονοπώλιο από τη ΔΕΗ. Βέβαια δημιουργήθηκαν σημαντικοί θεσμικοί μηχανισμοί που μέχρι και σήμερα παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι: α) Η **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας** (ΡΑΕ), β) **Ο διαχειριστής συστήματος / δικτύου**, γ) **Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** (ΚΑΠΕ).

Α) Η ΡΑΕ ιδρύθηκε με το νόμο του 1999 και λειτουργεί ως ανεξάρτητη διοικητική αρχή επιφορτισμένη με την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας της αγοράς ενέργειας και τη διατύπωση εισηγήσεων για την τήρηση των κανόνων του ανταγωνισμού και την προστασία των καταναλωτών. Επιπλέον η ΡΑΕ διατυπώνει γνωμοδοτήσεις προς τον Υπουργό Ανάπτυξης για την αδειοδότηση εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ηλεκτροπαραγωγής και μετά την έκδοση των αδειών παρακολουθεί την πορεία υλοποίησης των έργων ΑΠΕ μέσω τριμηνιαίων δελτίων και εισηγείται την εκκαθάριση του χώρου από επενδυτές που επιδεικνύουν αδικαιολόγητη βραδύτητα. Στην ουσία η αξιολόγηση των αιτήσεων για επενδύσεις ΑΠΕ γίνεται από τη ΡΑΕ με την τεχνική υποστήριξη του ΚΑΠΕ με βάση τα κριτήρια του άρθρου 9 του κανονισμού αδειών που εκδόθηκε σύμφωνα με το άρθρο 3 του Ν. 2773/1999.

Β) Η δημιουργία του διαχειριστή δικτύου προβλέφθηκε με τις διατάξεις του νόμου του 1999 και η σύσταση του έγινε με σκοπό τη διευθέτηση των αποκλίσεων παραγωγής και ζήτησης ενέργειας. Του ανατίθεται η εφαρμογή των διατάξεων του νόμου που αποβλέπουν σε συνθήκες υγιούς ανταγωνισμού στη βάση μιας πιο απελευθερωμένης και ευέλικτης αγοράς. Έτσι μειώνεται ο επιχειρηματικός κίνδυνος και διασφαλίζεται η είσοδος νέων παικτών στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής μικρής κλίμακας. Επίσης είναι υποχρεωμένος να διασφαλίζει σε μακροχρόνια βάση περιθώριο δυναμικού εγχώρια παραγόμενης ενέργειας ώστε να καθίσταται δυνατή η αντιμετώπιση ελλείψεων ενέργειας στο μέλλον. Έτσι ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ δεν θα χρειάζεται να λάβει επιπλέον μέτρα ελέγχου παραγωγής.

Γ) Η ίδρυση του ΚΑΠΕ έγινε με σκοπό την προώθηση των ΑΠΕ, την εξοικονόμηση και την ορθολογική χρήση της ενέργειας καθώς και την κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων στους εν λόγω τομείς. Το ΚΑΠΕ λειτουργεί ως εθνικό συντονιστικό κέντρο των παραπάνω δραστηριοτήτων και διαθέτει εργαστήρια πιστοποίησης τεχνολογιών ΑΠΕ. Ταυτόχρονα εκπονεί μελέτες προσδιορισμού του φυσικού και οικονομικού δυναμικού των ΑΠΕ και συμμετέχει ενεργά στην αξιολόγηση και παρακολούθηση των επενδύσεων του χώρου περιλαμβανόμενου του τομέα εξοικονόμησης ενέργειας. (Κυριτσάκη, 2009)

2.2 Τα παγκόσμια περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα

2.2.1 Η κλιματική αλλαγή

Κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα εκατομμύρια τόνοι CO₂ κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο), από ανάγκες για ενέργεια και μεταφορές, καθώς και των άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμεινε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανατροπή αυτή αναμένεται να αλλάξει δραματικά το κλίμα τις επόμενες δεκαετίες. Το CO₂ θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Σε λιγότερο από 2 αιώνες οι άνθρωποι αυξήσαμε κατά 25% τη συνολική ποσότητα του CO₂. Κάθε χρόνο επιβαρύνουμε την ατμόσφαιρα κατά 6 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ανέβει τα επόμενα 100 χρόνια κατά 2 έως 6 βαθμούς Κελσίου.

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλη τη γη. Έρευνες σε Αμερική και Ευρώπη έδειξαν ότι κάτω από τις συνθήκες αυτές προβληματικά περιβαλλοντικά φαινόμενα όπως ξηρασίες, πλημμύρες, το El Niño κλπ, αναμένονται να είναι πιο συχνά. Οι σίγουρες συνέπειες είναι: η μείωση των αποθεμάτων νερού, οι απότομες μεταβολές στη θερμοκρασία του πλανήτη, οι υψηλές θερμοκρασίες τη θερινή περίοδο, η είσοδος των θαλάσσιων υδάτων στον παράκτιο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και η υποβάθμισή του, οι σημαντικές μετακινήσεις πληθυσμού και αγαθών και η δραματική μείωση του αριθμού των ειδών.

Η αλλαγή του κλίματος αμφισβητήθηκε στο παρελθόν και σε οποιοδήποτε προσπάθειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού αντέδρασαν lobby ισχυρών συμφερόντων. Πλέον όμως αυτή η πραγματικότητα είναι αδιαμφισβήτητη καθώς οι συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ήδη πραγματικότητα. Τα τελευταία χρόνια έχουν αυξηθεί δραματικά οι φυσικές καταστροφές (πλημμύρες, τυφώνες) και το κόστος αυτών ανυπολόγιστο.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με την καύση λιγνίτη, λιθάνθρακα, πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων ευθύνονται για μεγάλο μέρος της περιβαλλοντικής κρίσης προκαλώντας αλόγιστη ρύπανση του αέρα, του εδάφους, του υπεδάφους, του υδροφόρου ορίζοντα αλλά και κίνδυνο για την υγεία. Στην Ευρώπη οι πιο ρυπογόνοι σταθμοί παραγωγής είναι στην Ελλάδα, τη Γερμανία, την Πολωνία και την Ισπανία.

Σύμφωνα με τη WWF το 2005, η ελληνική ΔΕΗ είναι η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής λιγνίτη στον κόσμο, και οι πιο ρυπογόνοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί στην Ευρώπη είναι αυτοί του Αγ. Δημητρίου

και της Καρδίας Κοζάνης. Οι σταθμοί της ΔΕΗ εκλύουν κάθε χρόνο 43 εκατομμύρια τόνους CO₂ ποσό που αποτελεί το 40% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου της χώρας! (WWF, 2005)

2.2.2 Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί έναν «οδικό χάρτη», στον οποίο περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύονται να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) κατά ένα συγκεκριμένο στόχο σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια). Αυτό επιχειρείται να γίνει με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

1. την *εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών*,
2. την *κοινή εφαρμογή*, και
3. το *μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης*.

Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (όπως για παράδειγμα κράτη και υπόχρεες εγκαταστάσεις) κατά τη θεωρία των property rights, ενώ οι άλλοι δύο βασίζονται σε προγράμματα έργων.

Σημειώνεται ότι οι διαπραγματεύσεις για το Πρωτόκολλο του Κιότο ήταν σκληρές, καθώς οι διάφορες χώρες είχαν διαφορετικά συμφέροντα στη διεθνή προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, περιοχές που είχαν χαρακτηριστικά ψυχρό κλίμα θα ωφελούνταν από την τάση ανόδου της μέσης θερμοκρασίας, ενώ άλλες περιοχές, οι οποίες ήταν σχετικά άnuδρες, ήταν δυνατόν να δουν την οριακά καλλιεργήσιμη γη τους να μετατρέπεται σε έρημο, γεγονός που θα είχε ως συνέπεια να μειωθεί η ικανότητά τους να παράγουν τρόφιμα.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση, ο πλέον ένθερμος υποστηρικτής του Πρωτοκόλλου του Κιότο, αποφάσισε να εφαρμόσει πιλοτικά την εμπορία εκπομπών εντός της κοινότητας πριν από την επίσημη έναρξη του διεθνούς συστήματος και να ενσωματώσει το Πρωτόκολλο του Κιότο στην κοινοτική νομοθεσία μέσα από τις *Οδηγίες 2003/87/EK* και *2004/101/EK*. Σύμφωνα με αυτές, η πρώτη περίοδος του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών είναι η τριετία 2005-2007, ενώ οι επόμενες περίοδοι εμπορίες ταυτίζονται με τις πενταετείς περιόδους που προβλέπονται από το

Πρωτόκολλο του Κιότο (2008-2012, 2013-2017, κ.ο.κ.). Τα κράτη μέλη οφείλουν μέσα σε συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα να εκπονήσουν εθνικά σχέδια κατανομής, στα οποία υπάρχει πρόβλεψη, μεταξύ άλλων, για:

- τη συνολική ποσότητα δικαιωμάτων,
- την κατανομή σε επίπεδο δραστηριότητας (κατά περίπτωση),
- την κατανομή σε επίπεδο εγκατάστασης,
- τους νεοεισερχόμενους,
- τη μεθοδολογία κατανομής (μαθηματικοί τύποι, διάφορες ειδικές διατάξεις, κτλ), και
- τη λίστα των υπόχρεων εγκαταστάσεων. (Change, 2009)

Η Ελλάδα είναι η πρώτη χώρα παγκοσμίως που υπόκειται σε κυρώσεις για ασυμφωνία με τις οδηγίες του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Η Greenpeace και η WWF με κοινή καταχώριση στις εφημερίδες, παρέθεσαν μεταφρασμένα τα επίμαχα άρθρα της απόφασης CC-2007-1-8/Greece/EB του τμήματος επιβολής της Επιτροπής Συμμόρφωσης του ΟΗΕ για το Πρωτόκολλο του Κιότο. Η απόφαση του ΟΗΕ σημαίνει ότι η Ελλάδα και ενδεχομένως οι υπόχρεες ελληνικές βιομηχανίες δε θα μπορούν να αγοράσουν ή να πουλήσουν δικαιώματα ρύπων, μέσα από τους λεγόμενους ευέλικτους μηχανισμούς (χρηματιστήριο ρύπων, έργα σε αναπτυσσόμενες χώρες κτλ). Αυτό θα συμβαίνει έως ότου η Ελλάδα αποδείξει ότι συμμορφώνεται με τις υποδείξεις του ΟΗΕ. Η Ελλάδα είναι η πρώτη χώρα παγκοσμίως που υπόκειται σε κυρώσεις για ασυμφωνία με τις οδηγίες του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Ο διασυρμός της χώρας πλήττει και τη θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς υποσκάπτει το μέχρι σήμερα πρωταγωνιστικό της ρόλο στη διεθνή προσπάθεια για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. (Greenpeace, 2008)

2.2.3 Ευρωπαϊκές δεσμεύσεις

Συνολικά 75 χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν ή να περιορίσουν την αύξηση των εκπομπών αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου μέχρι το 2020, στο πλαίσιο της συμφωνίας της Κοπεγχάγης για την κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, αναφέρεται στην ανακοίνωση του ΟΗΕ ότι συνολικά 111 χώρες δήλωσαν πως στηρίζουν τη συμφωνία. Σύμφωνα με την πρώτη επίσημη λίστα που δόθηκε στη δημοσιότητα, μεταξύ των χωρών αυτών συγκαταλέγονται η Κίνα και οι ΗΠΑ, οι δύο μεγαλύτεροι ρυπαντές του πλανήτη, αλλά και η Ευρωπαϊκή Ένωση, η Ρωσία, η Ινδία και η Ιαπωνία. Μεταξύ των χωρών που δεν αναφέρονται στη λίστα είναι πολλές από τις χώρες-μέλη του ΟΠΕΚ όπως η Σαουδική Αραβία, οι οποίες φοβούνται απώλεια των εσόδων τους από το πετρέλαιο, εάν ο κόσμος στραφεί περισσότερο στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Η συμφωνία, το κείμενο της οποίας συμφωνήθηκε τις τελευταίες ώρες της συνόδου της Κοπεγχάγης μεταξύ περίπου 20 αρχηγών κρατών, θέτει τον στόχο του περιορισμού της υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από τους 2 βαθμούς Κελσίου, χωρίς ωστόσο να καθορίζει τα μέσα επίτευξης του στόχου αυτού. Περιλαμβάνει επίσης ένα πακέτο οικονομικής βοήθειας ύψους 10 δισ. δολαρίων το χρόνο στα φτωχότερα έθνη, μεταξύ 2010-2012, και τον περιορισμό των εκπομπών ρύπων και την αντιμετώπιση των συνεπειών των φυσικών καταστροφών. (Ναυτεμπορική, 2010)

Η ΕΕ έχει δεσμευτεί για μείωση 20% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως διοξείδιο του άνθρακα) μέχρι το 2020, εξοικονομώντας για την ευρωπαϊκή οικονομία 100 δις. ευρώ και για το περιβάλλον 780 τόνους CO₂. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, προκειμένου να ανταποκριθεί στις νέες προκλήσεις, θέτει φιλόδοξους αλλά και ρεαλιστικούς στόχους που θα οδηγήσουν στη διαμόρφωση νέου τοπίου στον τομέα της αγοράς ενέργειας, με την ανάπτυξη επενδύσεων και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας. Βασικό στόχο αποτελεί η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές σε ποσοστό 20% έως το 2020 με τη χρήση σε ποσοστό 10% βιοκαυσίμων στις μεταφορές σε συνδυασμό με την εξοικονόμηση ενέργειας σε ποσοστό 20% στην πρωτογενή παραγωγή. (Τ. Γεωργιοπούλου, 2007)

Οι προτάσεις της ευρωπαϊκής επιτροπής γενούν για την Ελλάδα μια μεγάλη πρόκληση προκειμένου να εκπληρωθεί ο στόχος της κοινοτικής οδηγίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού από ΑΠΕ. Σύμφωνα με αυτή, η Ελλάδα καλείται να αυξήσει τη συμβολή των ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 20,1% το 2010 (συμπεριλαμβανομένης της συμβολής των μεγάλων υδροηλεκτρικών σταθμών). Ωστόσο ο στόχος είναι πολύ υψηλός για τα ελληνικά δεδομένα αφού οι γραφειοκρατικές και οι πολιτικοοικονομικές δυσκολίες δεν επιτρέπουν επιτάχυνση στους ρυθμούς επένδυσης σε ΑΠΕ.

2.2.4 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα

Στις αρχές της δεκαετίας του '50 έκανε δειλά την εμφάνισή του, με μορφή φιλοσοφικού στοχασμού, το ενεργειακό πρόβλημα. Παρά το γεγονός ότι το 1950 τα εκτιμώμενα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα είχαν επάρκεια 20 χρόνων, επικρατούσε κάποια νηφαλιότητα σε σχέση με την ενεργειακή τροφοδότηση. Με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973 άρχισε και η συνειδητοποίηση του ενεργειακού προβλήματος. Από τότε έχει αναπτυχθεί μια πλούσια φιλολογία σχετικά με τα αίτια δημιουργίας, τις επιπτώσεις και τις πιθανές λύσεις του. Το ενεργειακό πρόβλημα, ανεξάρτητα από τη χρονική και την τοπική ιδιαιτερότητα που εμφανίζει, προσδιορίζεται κυρίως από τις εξής συνιστώσες:

1. Την ανοδική τάση των τιμών της ενέργειας, η οποία δημιουργεί αύξηση του κόστους στο σύνολο των προϊόντων και των υπηρεσιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι από την ενεργειακή κρίση μέχρι σήμερα οι τιμές του αργού πετρελαίου έχουν τετραπλασιασθεί, γεγονός που πιστοποιεί τη μονιμότητα του ενεργειακού προβλήματος ως προς την άνοδο των τιμών.
2. Την αβεβαιότητα επάρκειας και σταθερότητας της ενεργειακής τροφοδοσίας. Το φαινόμενο της αβεβαιότητας συντηρείται από τοπικές και περιφερειακές συρράξεις, οι οποίες στις περισσότερες των περιπτώσεων δημιουργούνται από παρέμβαση τρίτων προκειμένου να αυξήσουν την επιρροή τους στο διεθνές κύκλωμα του πετρελαίου.
3. Την εξάντληση των ενεργειακών πόρων, έστω και αν αυτή τοποθετείται σε μακρινούς χρονικούς ορίζοντες. (Σχήμα παρακάτω)
4. Τη ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτινων αποδεκτών. Συγκεκριμένα η ενέργεια επιδρά δυσμενώς στο περιβάλλον σε κάθε φάση της ενεργειακής ροής, δηλαδή από την εξόρυξη των πρώτων υλών μέχρι την τελική χρήση τους. Με συνέπεια να συμβάλλει τα μέγιστα στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου (από τις εκπομπές των αερίων καύσης) και ταυτόχρονα να μειώνει τη διαθεσιμότητα του υδάτινου δυναμικού (από την ποιοτική υποβάθμιση των αποδεκτών). Έτσι το ενεργειακό σύστημα είναι κυρίως υπεύθυνο για την κλιματική αλλαγή και για την παγκόσμια κρίση του νερού.
5. Το κύκλωμα διαχείρισης της ενεργειακής ροής χαρακτηρίζεται από μεγάλες απώλειες, που ανέρχονται στο 85% της πρωτογενούς ενέργειας.

Διάρκεια ζωής παγκόσμιων αποθεμάτων εξαντλήσιμων πηγών ενέργειας

Καύσιμο	Χρόνια
Λιγνίτες	510
Γαιάνθρακες	130
Φυσικό αέριο	65
Πετρέλαιο	43

Σήμερα το 80% της ενέργειας προέρχεται από ορυκτά καύσιμα, το 14% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας - ΑΠΕ, και το 6% από πυρηνικούς σταθμούς. Είναι φανερό ότι για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος είναι απαραίτητο να ελαχιστοποιηθεί η χρήση ορυκτών καυσίμων. Οποιαδήποτε όμως λύση θα πρέπει να εξασφαλίζει τις αξίες, τις παραδόσεις, την ευημερία και τις ελευθερίες του κοινωνικού συνόλου. Προς την κατεύθυνση αυτή, έχει γίνει ευρύτερα αποδεκτή η ανάγκη υλοποίησης τριών στρατηγικών με διαδοχικές (και μερικώς καλυπτόμενες) χρονικές περιόδους. Συγκεκριμένα:

- Η στρατηγική ορθολογικής διαχείρισης γνωστής και ως στρατηγική εξοικονόμησης ενέργειας.
- Η στρατηγική υποκατάστασης των συμβατικών ενεργειακών πηγών με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ).
- Η στρατηγική έλευσης στο ενεργειακό σύστημα του υδρογόνου ως ενεργειακού φορέα. (Κουρής, 2008)

2.2.5 Νέα εποχή στην ηλεκτρική ενέργεια

Είναι σαφές πως ο ηλεκτρικός τομέας αποτελεί σήμερα την πιο κρίσιμη υποδομή των σύγχρονων κοινωνιών. Έτσι η αξιοπιστία και η αδιάλειπτη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας που δεν θα είναι εκτεθειμένη σε διακοπές εφοδιασμού και απότομες αυξήσεις των τιμών γίνεται πλέον επιτακτική ανάγκη. Η στενότητα στα αποθέματα ορυκτών καυσίμων και τα μεγάλα ενεργειακά προβλήματα έχουν οδηγήσει σε νέες στρατηγικές στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής που πλέον θα δίνουν έμφαση σε αποκεντρωμένες μονάδες με αποδοτικές τεχνολογίες όπως οι ΑΠΕ.

Τέτοιες στρατηγικές που πρέπει να εφαρμόσει μια κοινωνία είναι να:

- Δημιουργήσει ενεργειακές αλυσίδες. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η χρησιμοποίηση της απορριπτόμενης θερμικής ενέργειας (από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς) για τη λειτουργία κεντρικών δικτύων θέρμανσης χώρων και νερού σε γειτνιάζοντα αστικά κέντρα, όπως στην περίπτωση στην Κοζάνη.
- Αποκεντρώσει το ενεργειακό σύστημα με την εισαγωγή συστημάτων συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, όπου είναι εφικτό (π.χ. βιομηχανίες, νοσοκομεία, οργανωμένα κτιριακά συγκροτήματα).
- Υποκαταστήσει την ηλεκτρική ενέργεια, σε κάθε προσφερόμενη τεχνολογικά περίπτωση, με φυσικό αέριο (π.χ. θέρμανση, ψύξη, μαγείρεμα).

- Κατευθύνει τις αγορές του κοινωνικού συνόλου σε προϊόντα χαμηλού ενεργειακού περιεχομένου. Ως παράδειγμα προς αποφυγήν αναφέρονται τα ευρύτατα κυκλοφορούντα προϊόντα μιας χρήσης.
- Αυξήσει το αίσθημα ευθύνης ως προς το ενεργειακό πρόβλημα των πολιτών με κατάλληλες διαφημιστικές εκστρατείες.
- Εντάξει ως ουσιαστικό παράγοντα οικονομικής ανάπτυξης και τις επενδύσεις εξοικονόμησης ενέργειας. Είναι βέβαιο ότι τέτοιες επενδύσεις θα συμβάλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος με ταυτόχρονη δημιουργία θέσεων εργασίας.
- Υποκαταστήσει τα συμβατικά καύσιμα με ΑΠΕ.

Στο νέο περιβάλλον της ενέργειας η αποκεντρωμένη παραγωγή μπορεί να καλύπτει μεγάλο εύρος νέων τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση. Η μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ και άλλων νέων και αποδοτικών τεχνολογιών αποτελεί τη νέα πρόκληση στον ενεργειακό τομέα και απαιτούνται κατάλληλες παρεμβάσεις στο δίκτυο.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, αιολικής ενέργειας, βιομάζας, μικρών υδροηλεκτρικών, συστημάτων αποθήκευσης, συμπεριλαμβάνονται στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους κάθε χώρας. Στην Ευρώπη η διείσδυση και η συμμετοχή των αποκεντρωμένων μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2030 εκτιμάται για το σύνολο της ΕΕ στο 35%-40%. Αυτό θεωρείται μεγάλη συμβολή στην ασφάλεια και στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη βιώσιμη ανάπτυξη.

2.3 Οι Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ή ήπιες μορφές ενέργειας)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως ανανεώσιμες πηγές θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία από την Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και από πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας και κεντρικό σημείο εστίασης της σχολής των οικολογικών οικονομικών, η οποία έχει κάποια επιρροή στο οικολογικό κίνημα.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δεκαετομύρια χρόνια. Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής

κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

Τα είδη των ΑΠΕ είναι:

- Αιολική ενέργεια. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή.
- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Υδατοπτώσεις. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- Βιομάζα. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί πλατιά στο μέλλον.
- Γεωθερμική ενέργεια. Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών, όσον αφορά τη θέρμανση, και το 20%, όσον αφορά τον ηλεκτρισμό, με γεωθερμική ενέργεια.
- Ενέργεια από παλίρροιες. Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- Ενέργεια από κύματα. Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- Ενέργεια από τους ωκεανούς. Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

Η χρήση των ΑΠΕ εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα

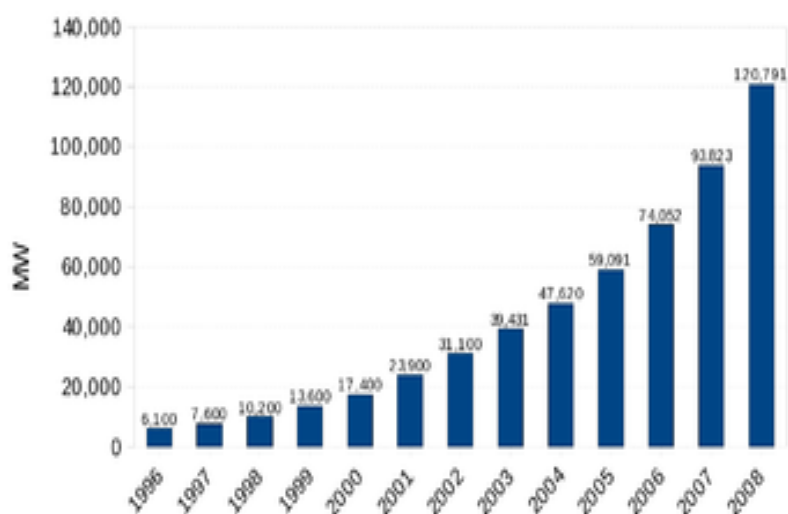
- Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Μειονεκτήματα

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Assesment, 2001)

Το παγκόσμιο δυναμικό των ΑΠΕ αυξάνεται συνεχώς. Από το τέλος του 2004 έως το τέλος του 2008 η εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών αυξήθηκε πάνω από 16 GW, των αιολικών 250% στα 121 GW, και η συνολική εγκατεστημένη ισχύς 75% στα 280 GW. Στο τέλος του 2009 το παγκόσμιο δυναμικό σε αιολικά ήταν 157,900 MW σημειώνοντας αύξηση 31% τον ίδιο χρόνο ενώ τα

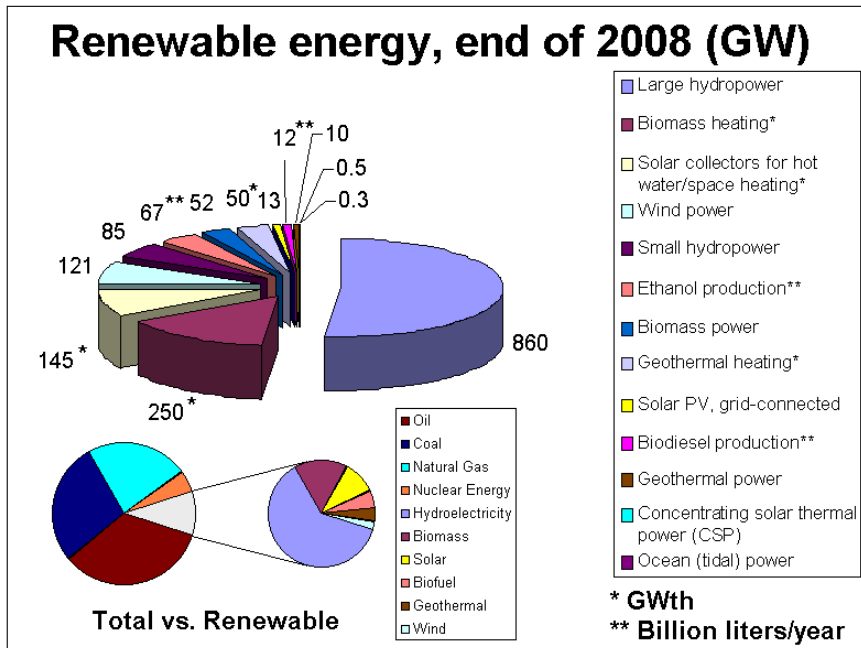
αιολικά αυτά εξυπηρετούσαν το 1,3% της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας. Η ενέργεια από γεωθερμία ξεπέρασε επίσης τα 10 GW ενώ τα βιοκαύσιμα κάλυπταν το 1,8% των μεταφορικών αναγκών το 2008. Ενδεικτικό είναι το παρακάτω διάγραμμα που δείχνει την αύξηση των αιολικών την περίοδο 1996-2008 καθώς και ο παρακάτω πίνακας:



Εξελικτική πορεία αιολικών 1996-2008 (Splettstoesser-GWEC, 2009)

Επιλεγμένοι παγκόσμιοι δείκτες	2006	2007	2008
Επένδυση σε νέες ΑΠΕ	63	104	120 δις δολάρια
Δυναμικό υπαρχουσών ΑΠΕ συμπεριλαμβανομένων υδροηλεκτρικών	1,020	1,070	1,140 GWe
Δυναμικό υπαρχουσών ΑΠΕ χωρίς υδροηλεκτρικά	207	240	280 GWe
Υπάρχοντα αιολικά	74	94	121 GWe
Βιομάζα θέρμανσης			~250 GWth
Θέρμανση νερού/χώρου από ηλιακή ενέργεια			145 GWth
Θέρμανση από γεωθερμία			~50 GWth
Ετήσια παραγωγή αιθανόλης	39	50	67
Χώρες με πολιτικές χρήσης ΑΠΕ		66	73 δις λίτρα

Επιλεγμένοι δείκτες ΑΠΕ 2006-2008 (REN21, Renewables 2010 Global Status Report, 2010)



Οι ΑΠΕ σε ποσοστά – μεταξύ τους και έναντι άλλων μορφών ενέργειας (REN21, Figures and tables from Renewables Global Status Report, 2009)

2.4 Ανανεώσιμη τεχνολογία και εφαρμογές στην Ελλάδα

2.4.1 Αιολική Ενέργεια

Για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις που εκθέτουν ένα δρομέα (πτερωτής τύπου έλικας, με ένα ή περισσότερα πτερύγια) στο ρεύμα του ανέμου, λαμβάνοντας έτσι μέρος της κινητικής του ενέργειας με αποτέλεσμα την περιστροφική κίνηση. Οι διατάξεις αυτές λέγονται αεροκινητήρες ή ανεμογεννήτριες όταν ο άξονάς τους κινεί ηλεκτρογεννήτρια παραγωγής ρεύματος. Με τη χρήση αεροκινητήρων η αιολική ενέργεια μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του δρομέα του αεροκινητήρα και του άξονά του. Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεση τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μια συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μια περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Όμως η ισχύς που παράγεται σε εφαρμογές αυτού του είδους είναι περιορισμένη, το ίδιο και η οικονομική τους σημασία. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται συνηθέστερα:

A) Για παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές συνδεδεμένες στο δίκτυο είτε για την κάλυψη ιδίων αναγκών είτε για την πώληση του ρεύματος στην εταιρεία εκμετάλλευσης του δικτύου (ανεξάρτητη παραγωγή).

B) Για παραγωγή ηλεκτρισμού σε περιοχές που δε είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, για λειτουργία είτε μόνες τους με συσσωρευτές (stand alone) ή σε συνδυασμό με σταθμό ηλεκτροπαραγωγής με diesel.

Γ) Για θέρμανση π.χ. σε θερμοκήπια, με διαδοχική μετατροπή της σε ηλεκτρισμό και ακολούθως σε θερμότητα με τη χρήση ηλεκτρικής αντίστασης, ή με την κίνηση αντλιών θερμότητας.

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανάλογα με την ισχύ που αποδίδουν. Μια μεγάλη μπορεί να έχει και ισχύ μέχρι 4000 kW. Τα πτερύγια μιας τέτοιας ανεμογεννήτριας έχουν μήκος περίπου 40 μέτρα και έτσι η επιφάνεια που καλύπτεται από την περιστροφή είναι περίπου όσο ένα ποδοσφαιρικό γήπεδο! Ο πύργος μιας μεγάλης εγκατάστασης έχει ύψος άνω των 90 μέτρων πράγμα που σημαίνει πως η εγκατάσταση ξεπερνά τα 130 μέτρα.

Κατηγορία	Ισχύς (KW)	Διάμετρος (m)	Περίοδος (sec)
Μικρές	10	6,4	0,3
	25	10	0,4
Μεσαίες	50	14	0,6
	100	20	0,9
	150	25	1,1
Μεγάλες	250	32	1,4
	500	49	2,1
	1000	64	3,1
Πολύ μεγάλες	2000	90	3,9
	3000	110	4,8
	4000	130	5,7



Χαρακτηριστικά μεγέθη ανεμογεννητριών και αιολικό πάρκο στην Εύβοια.

Τα τελευταία 20 χρόνια υπάρχει μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη που στοχεύει στην ανάπτυξη νέων υλικών, στη βελτίωση της αεροδυναμικής πτερυγίων για καλύτερο βαθμό απόδοσης και μείωση θορύβων. Ειδικά ο θόρυβος που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες έχει ελαττωθεί δραματικά. Σε απόσταση 500 μέτρων που είναι η ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση από κατοικημένες περιοχές ο θόρυβος είναι μηδαμινός χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού εξοπλισμού που δίνει έμφαση στην αποφυγή κραδασμών. Μάλιστα το κόστος παραγωγής αιολικής ενέργειας είναι κοντά σε εκείνο της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, γεγονός που ανοίγει το δρόμο για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως. Χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας, το ειδικό κόστος παραγωγής αιολικής ενέργειας έχει ήδη πέσει στο ήμισυ από το 1990 και αναμένεται επίσης μείωση της απόκλισης από το κόστος παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται στο παρελθόν για άρδευση όμως η επέκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας στις αγροτικές περιοχές εκτόπισε σε μεγάλο βαθμό τις εφαρμογές αυτές με την εγκατάσταση αντλιών. Με την 1^η ενεργειακή κρίση όμως, ανανεώθηκε πλήρως το ενδιαφέρον της βιομηχανίας και των πανεπιστημιακών ομάδων για την αιολική ενέργεια και άρχισαν να κατασκευάζονται τα πρώτα μοντέλα με ισχύ που δεν υπερέβαινε τα 50 kW και ύψος 15 μέτρα.

Όσον αφορά στην εγκατεστημένη ισχύ η Ελλάδα από τα 871 MW το 2007 ανέβηκε στα 985 MW το 2008 δηλαδή 114 MW , έναντι 125 MW το 2007 και 173 MW το 2006. Η συνεισφορά μας στο παγκόσμιο σύνολο βρισκόταν στο 0,82% το 2008, από 0,93% το 2007 και 1,01% το 2006. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. (Χριστοδουλάκης, 2010) Γενικά τα στοιχεία για την ανάπτυξη των αιολικών πάρκων δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντικά για τη χώρα μας. Όπως προκύπτει από τα στοιχεία που έδωσε στη δημοσιότητα η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας (EWEA) και η Ελληνική Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΑΝΕΤ), η Ελλάδα βρίσκεται στην 11^η θέση μεταξύ των 27 κρατών- μελών της Ε.Ε., ως προς την εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων το 2009 καθώς

εγκαταστάθηκαν μόνο 102 μεγαβάτ, και έτσι το συνολικό δυναμικό αιολικών μονάδων στην Ελλάδα, ανέρχεται σε 1.087 MW.

Βέβαια, ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότατα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας.

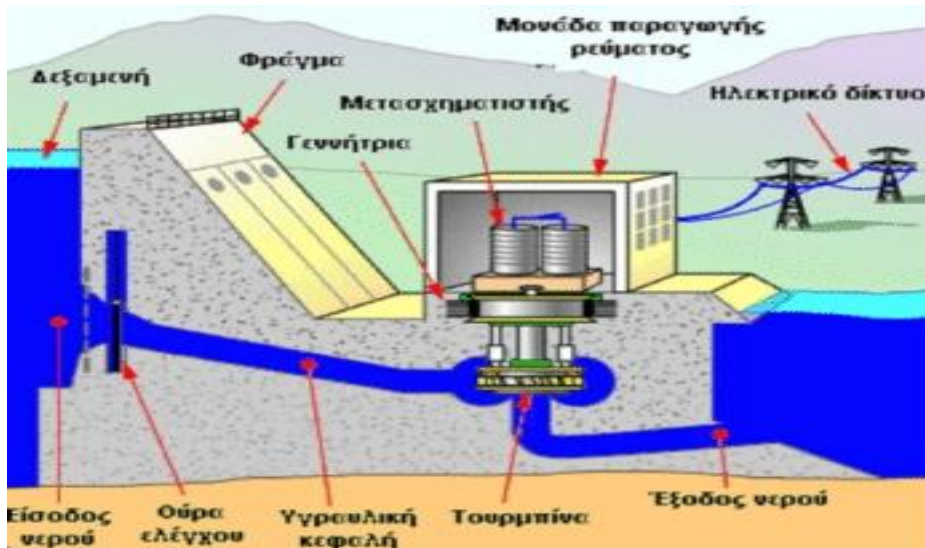
Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

Αιολικά πάρκα υπάρχουν σε πλήθος νησιών, όπως Εύβοια, Άνδρος, Λήμνος, Λέσβος, Χίος, το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχει ήδη δρομολογηθεί η δημιουργία δυο ακόμη αιολικών πάρκων, στα πλαίσια του μελλοντικού σχεδιασμού ΑΠΕ στο Νομό Κεφαλληνίας: το Αιολικό Πάρκο στο όρος "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο στη θέση "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των δυο νέων πάρκων, και σε συνδυασμό με το υφιστάμενο, ο Νομός Κεφαλληνίας θα τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 70,8 MW ηλεκτρικής ισχύος από τα αιολικά της πάρκα. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας. (ΤΕΕ.Δ.Ε., 2006)

Οι μελλοντικές προοπτικές για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα είναι ευοίωνες αφού η κατασκευή ανεμογεννητριών αποτελεί αντικείμενο τεχνολογικά και οικονομικά προσιτό και ταυτόχρονα το αιολικό δυναμικό είναι ιδιαίτερα ευνοϊκό και αν το εκμεταλλευτούμε σωστά μπορεί να συνεισφέρει ουσιαστικά στο ενεργειακό ισοζύγιο με στόχο να καλυφθεί το 25% - 30% των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια.

2.4.2 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Ένα πλήρες υδροηλεκτρικό σύστημα συμπεριλαμβάνει την πηγή ύδατος, τη σωλήνωση όδευσης του ύδατος από την πηγή στον υδροστρόβιλο, το σύστημα ελέγχου/ρύθμισης της ροής, τον υδροστρόβιλο, τη γεννήτρια ρεύματος, το ρυθμιστή της γεννήτριας και τέλος τις καλωδιώσεις για τη μεταφορά/διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη μπορούμε να διακρίνουμε 2 συστήματα: Τα ελεύθερα συστήματα δίχως αποθήκευση και τα μεγαλύτερα συστήματα όπου εφαρμόζεται αποθήκευση με φράγμα. Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με τρεχούμενο νερό (φράγματα κοιλάδων, ποτάμια, λίμνες) και εκμεταλλεύονται τη ροή ενός ποταμού ή καναλιού για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κινητική και δυναμική ενέργεια της ροής του νερού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια περιστροφής και στη συνέχεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Από τη συνολική εκάστοτε ροή, ένα σταθερό τμήμα δεν αξιοποιείται αλλά παρακάμπτεται το στρόβιλο ώστε να διασώζεται σε αυτό ο ιχθυοπληθυσμός του υδατορεύματος.



Συνοπτική σχεδίαση ΥΗΣ

Το κόστος του συστήματος αυτού ποικίλλει ανάλογα με την υδατόπτωση και τη δυναμικότητά του. Το κόστος ανά kW μειώνεται με την αύξηση του ύψους της υδατόπτωσης και με τη δυναμικότητα της μονάδας. Όσον αφορά στην ανάλυση του κόστους, τα έργα δόμησης συνιστούν περίπου το 60% του προϋπολογισμού ενώ το υπόλοιπο 40% αντιστοιχεί στο μηχανολογικό εξοπλισμό.

Η υδροηλεκτρική τεχνολογία είναι μια από τις κύριες ενεργειακές τεχνολογίες. Η δυναμικότητα των μεγάλων υδροηλεκτρικών είναι πολλαπλάσια αυτής των συμβατικών σταθμών. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι ιδιαίτερα αποδοτικοί, αξιόπιστοι και με μεγάλο χρόνο ζωής, είναι ρυθμιζόμενοι και εισάγουν ένα στοιχείο αποθήκευσης στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον που μπορεί να συμβάλλει ακόμα και στη δημιουργία νέων

υδροβιότοπων μικρής κλίμακας. Το σύνολο των επιμέρους συνιστωσών του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τα τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο και αναβαθμίζοντας το γύρω χώρο. Άλλωστε κριτήριο για την κατασκευή ή όχι ενός ΥΗΣ δεν είναι μόνο η δυνατότητα παραγωγής φτηνής και καθαρής για το περιβάλλον ενέργειας, αλλά η σωστότερη, οικολογικότερη παρέμβαση στη φύση και η σωστή περιφερειακή ανάπτυξη της χώρας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της υδροηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας είναι:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας,
- Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα προαναφερθέντα συνακόλουθα οφέλη (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος),
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.
- Προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης. (ΙΤΕΣΚ)

Υδροηλεκτρικά εργοστάσια στην Ελλάδα υπάρχουν Καστράκι Αχελώου, στη λίμνη Ταυρωπού Καρδίτσας, στην Έδεσσα κλπ . Το μέχρι σήμερα αναξιοποίητο υδροηλεκτρικό δυναμικό της ηπειρωτικής κυρίως Ελλάδος, θα μπορούσε να καλύψει σημαντικό ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Σε αρκετές περιοχές της Ηπείρου μπορούν να κατασκευαστούν από ιδιώτες μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια από τις αναξιοποίητες πλουτοπαραγωγικές πηγές της Ηπείρου αποτελεί το τεράστιο υδάτινο δυναμικό το οποίο σύμφωνα με συντηρητικές εκτιμήσεις φαίνεται να πλησιάζει το 30% του συνολικού "φρέσκου" νερού της Ελλάδας. Όλοι οι ποταμοί της Ηπείρου έχουν τις πηγές τους στην οροσειρά της Πίνδου. Η οροσειρά της Πίνδου έχει σημαντικές βροχοπτώσεις και εδαφολογία τέτοια ώστε να μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το υδάτινο δυναμικό από μεγάλες υψομετρικές διαφορές ενώ από την άλλη πλευρά το έδαφος της οροσειράς είναι τέτοιο που ευνοεί τη δημιουργία τεχνητών λιμνών και δεξαμενών ύδατος.

Οι μέχρι τώρα έρευνες έδειξαν ότι στην Ήπειρο μπορούν να δημιουργηθούν μέχρι 18 μεγάλα υδροηλεκτρικά εργοστάσια καθώς επίσης μέχρι και 50 περίπου μικρά, που μπορούν να παράγουν 5,000 GWh περίπου ετησίως. Η παραγωγή αυτή ενέργειας αντιστοιχεί στο 25% του αξιοποιήσιμου

υδάτινου δυναμικού της χώρας και στο 15% της καταναλισκόμενης ισχύος στην Ελλάδα ανά έτος. Παρακάτω, παραθέτουμε ένα πίνακα με ισχύεις τριών υδροηλεκτρικών εργοστασίων (1Γυμν.Αγ.Παρασκευής):

Υδροηλεκτρικό Εργοστάσιο	Εγκατεστημένη Ισχύς MW	Ετήσια Παραγωγή GWh	Έτος έναρξης λειτουργίας
Λούρος	10	55	1952
Πουρνάρι	30	360	1981
Πηγές Αώου	210	170	1991

2.4.3 Ηλιακή ενέργεια

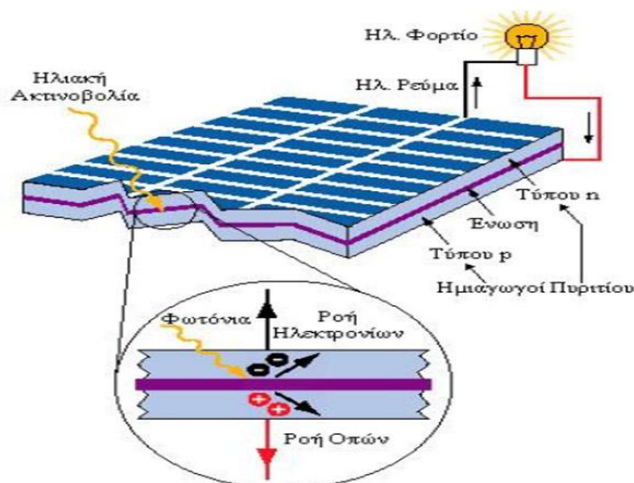
Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Το φωτοβολταϊκό (Φ/Β) φαινόμενο αφορά τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Ένας τομέας που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια, είναι ο Τομέας Προώθησης των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις για θέρμανση και κλιματισμό. Το ΚΑΠΕ παρέχει την απαιτούμενη τεχνική βοήθεια και τεχνολογία, μελετά τη σκοπιμότητα και το όφελος της εγκατάστασης και πραγματοποιεί έρευνα με πολλές εφαρμογές. Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4,6 KWh/m². Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από :

- το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη)
- το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (μπαταρίες)
- τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία.

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον. Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούνται από κατάλληλα επεξεργασμένους δίσκους πυριτίου (ηλιακά στοιχεία = solar cells) που βρίσκονται ερμητικά σφραγισμένοι μέσα σε πλαστική ύλη για να προστατεύονται από τις καιρικές συνθήκες (π.χ. υγρασία). Η μπροστινή όψη του πλαισίου προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί. Η κατασκευή αυτή, που δεν ξεπερνά σε πάχος τα 4 με 5 χιλιοστά του μέτρου, τοποθετείται συνήθως σε πλαίσιο αλουμινίου, όπως στους υαλοπίνακες των κτιρίων. Τα εσωτερικά είναι διασυνδεδεμένα εν σειρά και παραλλήλως ανάλογα με την εφαρμογή. (physics4u)



Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και εγκατεστημένα πάνελς στο κτήριο χημικών μηχανικών ΕΜΠ

Εκτός από τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούμε και τα παθητικά ηλιακά συστήματα (π.χ. βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων). Με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων μπορούμε να πετύχουμε παραγωγή ζεστού νερού:

- Σε βιομηχανίες που απαιτούν ζεστό νερό κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους διαδικασίας, όπως σαπυνοποιεία, βυρσοδεψεία, παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων, βαφεία, ζυθοποιεία κ.λ.π.
- Σε θερμοκήπια για θέρμανση χώρου και εδάφους.
- Σε μεγάλα κτίρια ιδιωτικά και δημόσια, όπως νοσοκομεία, πολυκατοικίες, κ.λ.π.

Τέλος χρησιμοποιούμε τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα όπως π.χ. τον ηλιακό θερμοσίφωνα για την οικιακή παροχή ζεστού νερού.

2.4.4 Ενέργεια από βιομάζα

Ως βιομάζα νοείται η ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που προέρχεται από οργανική ύλη. Αυτή η οργανική ύλη περιλαμβάνει το ξύλο, τα υπολείμματα από αγροτικές και δασικές δραστηριότητες, τα υπολείμματα από τις αγροτικές βιομηχανίες, τα προϊόντα ενεργειακών καλλιεργειών καθώς και κάθε άλλο υλικό που διαθέτει οργανικό φορτίο, όπως είναι τα υπολείμματα κτηνοτροφικών ομάδων και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού.

Σκοπός της ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας είναι η παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Ανάλογα με την εκάστοτε διαθέσιμη πρώτη ύλη επιλέγεται η κατάλληλη διεργασία για τη βέλτιστη αξιοποίηση. Οι διεργασίες που είναι διαθέσιμες για την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τις θερμοχημικές και τις βιοχημικές. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει την καύση, την αεριοποίηση και την πυρόλυση. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει την αναερόβια χώνευση και την αλκοολική ζύμωση.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας η οποία είναι δυνατόν να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Η χρήση της ως πηγή ενέργειας δεν είναι νέα. Σε αυτήν εξάλλου συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που παλαιότερα κάλυπταν μέχρι και το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας.

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3-4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το

ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30- 40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά. Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευσύνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Από πρόσφατη απογραφή, έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβόσιτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων, πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας δυστυχώς παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.). Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απ' ευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί, δηλαδή, η εκμετάλλευσή του να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα.

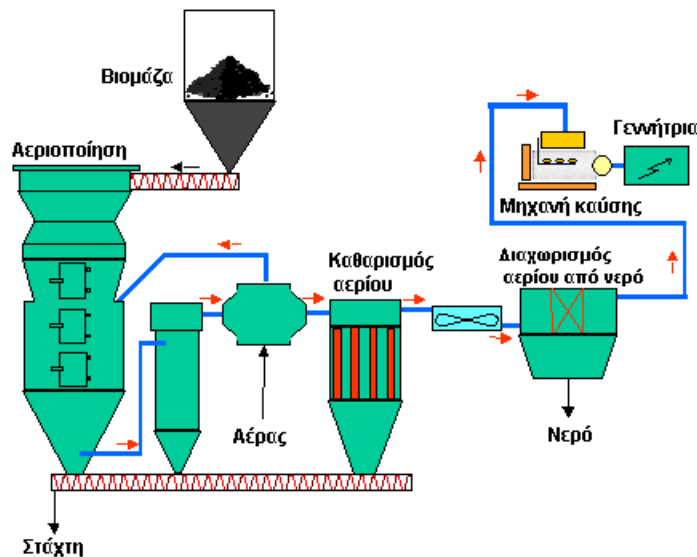
Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, που προσπαθούν, μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν, πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών τους προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών

πλεονασμάτων. Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα, και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής. Υπολογίζεται ότι, την προσεχή δεκαετία, θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100-150 εκατ. στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων. Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΙΠ (1ΜΤΙΠ= 106 ΤΙΠ, όπου ΤΙΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου) δηλαδή στο 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα. Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

- Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3-4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1-1,6 ΤΙΠ.
- Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2-3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0,7-1,2 ΤΙΠ.

Οι κυριότερες λοιπόν εφαρμογές ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι:

- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης-ψύξης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες
- Τηλεθέρμανση (εξασφάλιση ζεστού νερού) κατοικημένων περιοχών
- Θέρμανση θερμοκηπίων
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή βιομάζας
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή βιομάζας
- Ενεργειακές καλλιέργειες
- Βιοαέριο
- Παραγωγή οργανοχουμικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα.
(ΚΑΠΕ, Βιομάζα)



Σχέδιο αναπαράστασης επεξεργασίας βιομάζας

2.3.5 Γεωθερμική ενέργεια

Είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που πηγάζει από το εσωτερικό της γης. Μεταφέρεται στην επιφάνεια με θερμική επαγωγή και με την είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ζεστό νερό σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 150 °C μέχρι περισσότερο από 370 °C μεταφέρεται σε γεωτρήσεις από υπόγειες δεξαμενές σε ειδικές δεξαμενές και με την απελευθέρωση της πίεσης μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός διαχωρίζεται από τα ρευστά διοχετεύονται σε περιφερειακά τμήματα της δεξαμενής για να βοηθήσουν να διατηρηθεί η πίεση. Αν η δεξαμενή χρησιμοποιηθεί για άμεση χρήση της θερμότητας τα γεωθερμικά ρευστά τροφοδοτούν έναν εναλλακτήρα θερμότητας και να επιστέψουν στη γη. Το ζεστό νερό από την έξοδο του εναλλακτήρα χρησιμοποιείται για την θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων κ.α.

Η γεωθερμική ενέργεια χωρίζεται σε τρία πεδία:

- Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10^6 kWh /yr.

- Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
- Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Υπάρχουν δυο κύριες εφαρμογές της γεωθερμική ενέργειας.

- Η πρώτη βασίζεται στη χρήση της θερμότητας της γης για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλες χρήσεις (θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων). Αυτή η θερμότητα μπορεί να προέρχεται από γεωθερμικά γκαίζερ που φθάνουν με φυσικό τρόπο ως την επιφάνεια της γης ή γεώτρηση στον φλοιό της γης σε περιοχές που η θερμότητα βρίσκεται αρκετά κοντά στην επιφάνεια. Αυτές οι πηγές είναι συνήθως από μερικές εκατοντάδες μέχρι 3000 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της γης.
- Η δεύτερη εφαρμογή της γεωθερμικής ενέργειας εκμεταλλεύεται τις θερμές μάζες εδάφους ή υπογείων υδάτων για να κινήσουν θερμικές αντλίες για εφαρμογές θέρμανση και ψύξης.

Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας σήμερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκόσμια, αφορά στη θέρμανση θερμοκηπίων. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στις υδατοκαλλιέργειες, δεδομένου ότι πολλά είδη υδροβίων οργανισμών, όπως χέλια, γαρίδες ή φύκια αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες (25 έως 30 °C). Άλλη διαδεδομένη χρήση της γεωθερμίας είναι η θέρμανση οικισμών. Η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με την βοήθεια ενός δικτύου αγωγών (τηλεθέρμανση). Στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, μια άλλη εφαρμογή μπορεί να είναι θερμική αφαλάτωση θαλασσινού νερού, ενώ στις περιπτώσεις γεωθερμικών ρευστών υψηλής θερμοκρασίας (>150 °C) μπορεί να γίνει παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με την εκτόνωση ατμού. (Κούκος, 2010)

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας συμβάλει στην:

1. Εξοικονόμηση συναλλάγματος, με μείωση των εισαγωγών πετρελαίου.
2. Εξοικονόμηση φυσικών πόρων, κυρίως με την ελάττωση κατανάλωσης των εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη.
3. Καθαρότερη ατμόσφαιρα .

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500 μ). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμειυτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση.

Η έρευνα για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας άρχισε ουσιαστικά το 1971 με βασικό φορέα το ΙΓΜΕ και μέχρι το 1979 (πριν από τη δεύτερη ενεργειακή κρίση) αφορούσε μόνο τις περιοχές υψηλής ενθαλπίας. Κατά την εξέλιξη των εργασιών η ΔΕΗ, σαν άμεσα ενδιαφερόμενη για την ηλεκτροπαραγωγή, ανέλαβε τις παραγωγικές γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας και την ανάπτυξη των πεδίων, χρηματοδοτώντας επιπλέον τις έρευνες στις πιθανές για τέτοια ρευστά γεωθερμικές περιοχές. Συντάχθηκε ο προκαταρκτικός χάρτης γεωθερμικής ροής του ελληνικού χώρου, όπου φάνηκε ότι η γεωθερμική ροή στην Ελλάδα είναι σε πολλές περιοχές εντονότερη από τη μέση γήινη. Από το 1971 ερευνήθηκαν οι περιοχές: Μήλος, Νίσυρος, Λέσβος, Μέθανα, Σουσάκι Κορινθίας, Καμένα Βούρλα, Θερμοπύλες, Υπάτη, Αιδηψός, Κίμωλος, Πολύαιγος, Σαντορίνη, Κως, Νότια Θεσσαλία, Αλμωπία, περιοχή Στρυμόνα, περιοχή Ξάνθης, Σαμοθράκη και άλλες.

Η αυξημένη ροή θερμότητας, λόγω της έντονης τεκτονικής και μαγματικής δραστηριότητας, δημιούργησε εκτεταμένες θερμικές ανωμαλίες, με μέγιστες τιμές γεωθερμικής βαθμίδας που πολλές φορές ξεπερνούν του 100° C/km. Σε κατάλληλες γεωλογικές συνθήκες, η ενέργεια αυτή θερμαίνει «ρηχούς» υπόγειους ταμειυτήρες ρευστών σε θερμοκρασίες μέχρι 100 °C. Τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα. Η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική, καθόσον αποτελούν ενεργειακό πόρο φιλικό στο περιβάλλον, κοινωνικά αποδεκτό και παρουσιάζουν σημαντικό οικονομικό και αναπτυξιακό ενδιαφέρον.

Στην Μήλο και Νίσυρο έχουν ανακαλυφθεί σπουδαία γεωθερμικά πεδία και έχουν γίνει γεωτρήσεις παραγωγής (5 και 2 αντίστοιχα). Στην Μήλο μετρήθηκαν θερμοκρασίες μέχρι 325 °C σε βάθος 1000 m. και στην Νίσυρο 350 °C σε βάθος 1500 m. Οι γεωτρήσεις αυτές θα μπορούσαν να στηρίξουν μονάδες ηλεκτροπαραγωγής 20 και 5 MW, ενώ το πιθανό συνολικό δυναμικό υπολογίζεται να είναι την τάξης των 200 και 50 MW αντίστοιχα.

Στην Βόρεια Ελλάδα η γεωθερμία προσφέρεται για θέρμανση, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες κ.λ.π. Στην λεκάνη του Στρυμόνα έχουν εντοπισθεί τα πολύ σημαντικά πεδία Θερμών-Νιγρίτας, Λιθότροπου-Ηράκλειας, Θερμοπηγής-Σιδηρόκαστρου και Αγγίστρου. Πολλές γεωτρήσεις παράγουν νερά μέχρι 75 °C, συνήθως αρτεσιανά και πολύ καλής ποιότητας και παροχής. Μεγάλα και μικρότερα γεωθερμικά θερμοκήπια λειτουργούν στην Νιγρίτα και το Σιδηρόκαστρο. Στο Σιδηρόκαστρο, η Συνεταιριστική Επιχείρηση του Δήμου Σιδηροκάστρου προχώρησε στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων που χρησιμοποιεί νερά μιας γεώτρησης του ΙΓΜΕ. Στο

Λαγκαδά, στη Νυμφόπετρα και στη Νέα Απολλωνία λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων , ενώ στο Λαγκαδά λειτούργησε για δύο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών. Στα Ελαιχώρια Χαλκιδικής λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια. Τα αποτελέσματα από αυτές τις εφαρμογές είναι αισιόδοξα και δίνουν ώθηση για παραπέρα έρευνα σε γεωθερμικά πεδία που έχουν εντοπιστεί αλλά δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά. (Psysics4u)

Στην πεδινή περιοχή του Δέλτα Νέστου έχουν εντοπισθεί δύο πολύ σημαντικά γεωθερμικά πεδία, στο Ερατεινό Χρυσούπολης και στο Ν. Εράσμιο Μαγγάνων Ξάνθης. Νερά άριστης ποιότητας μέχρι 70 °C και σε πολύ οικονομικά βάθη παράγονται από γεωτρήσεις στις εύφορες αυτές πεδινές περιοχές. Στη Ν. Κεσσάνη και στο Πόρτο Λάγος Ξάνθης, σε μεγάλης έκτασης γεωθερμικά πεδία, παράγονται νερά θερμοκρασίας μέχρι 82 °C.

Στην λεκάνη των λιμνών Βόλβης και Λαγκαδά έχουν εντοπισθεί τρία πολύ ρηχά πεδία με θερμοκρασίες μέχρι 56 °C. Στην Σαμοθράκη υπάρχουν ενθαρρυντικά στοιχεία καθώς γεωτρήσεις βάθους μέχρι 100 μ. συνάντησαν νερά της τάξης των 100° C. (Τσιλιγκιρίδης, 2007)

Τέλος, παρατίθεται πίνακας της τεχνοοικονομικής κατάστασης των τεχνολογιών χρήσης γεωθερμικής ενέργειας:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	Τεχνική και οικονομική κατάσταση
1. Μονάδες Ηλεκτροπαραγωγής από Ρευστά Υψηλής Ενθαλπίας (>150)	
Εφαρμογές - ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση σε δίκτυο	****
2. Χρήση Γεωθερμικών Ρευστών Χαμηλής Ενθαλπίας	
Εφαρμογές - τηλεθέρμανση	****
- θερμότητα διεργασιών για βιομηχανικές / εμπορικές χρήσεις	****
3. Μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από Θερμά Ξηρά Πετρώματα	
εφαρμογές - ηλεκτροπαραγωγή με σύνδεση σε δίκτυο	*
- τηλεθέρμανση	*
- θερμότητα διεργασιών για βιομηχανικές / εμπορικές χρήσεις	*
**** τεχνολογίες ανεπτυγμένες οικονομικά	
*** ανεπτυγμένες τεχνολογίες, αλλά οικονομικές μόνο με επιδότηση	
** τεχνολογίες ακόμα στο στάδιο της έρευνας και ανάπτυξης	
* μελλοντικές, δίχως, ακόμα πρακτική εφαρμογή	

3. Λήψη αποφάσεων και πολυκριτηριακές μέθοδοι ανάλυσης

3.1 Λήψη Αποφάσεων

3.1.1 Εισαγωγή

Για αιώνες οι άνθρωποι συλλογίζονταν πως θα βελτιώσουν τη λήψη των αποφάσεών τους χωρίς πολλή επαγγελματική βοήθεια. Στις τελευταίες δεκαετίες εισήχθησαν αρκετά πεδία υποστήριξης που παρέχουν μια πειθαρχημένα ανάλυση αποφάσεων η οποία μπορεί να βοηθήσει τους αποφασίζοντες σε όλα τα πεδία της προσπάθειάς τους: επιχείρηση, επιστήμη των μηχανικών, ιατρική, νομική και προσωπική ζωή. Επειδή η αβεβαιότητα είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στη λήψη αποφάσεων, η ικανότητα να αναπαρασταθεί η γνώση σε όρους πιθανότητας - για να δούμε πως συνδυάζεται αυτή η γνώση με προτιμήσεις, να πραγματευτούμε πολύ μεγάλα και πολύπλοκα προβλήματα απόφασης χρησιμοποιώντας μοντέρνους υπολογισμούς και για να αποφύγουμε κοινά λάθη σκέψης – οδήγησε στο να μπορούμε να παράγουμε προβλέψεις που μέχρι τώρα ήταν αδύνατον να παραχθούν. (Howard, 2007)

Ο όρος ανάλυση αποφάσεων επινοήθηκε από τον Ronald A. Howard το 1964, καθηγητή του Πανεπιστημίου του Stanford. Η γραφική αναπαράσταση των προβλημάτων ανάλυσης αποφάσεων χρησιμοποιεί συνήθως διαγράμματα επιρροής και δέντρα αποφάσεων. Και τα δύο αυτά εργαλεία αναπαριστούν τις διαθέσιμες εναλλακτικές του αποφασίζοντα, την αβεβαιότητα που αντιμετωπίζει και αποτιμούν τα μέτρα αναπαριστώντας πόσο καλά επιτυγχάνουν τον αντικειμενικό τους στόχο. Οι αβεβαιότητες εκφράζονται μέσα από πιθανότητες. Η στάση του αποφασίζοντα ως προς το ρίσκο αναπαρίσταται από συναρτήσεις γενικής χρήσης και η στάση του ως προς τις ανταλλαγές μεταξύ αντικρουόμενων αντικειμένων μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας συναρτήσεις πολλαπλής απόδοσης. Σε μερικές περιπτώσεις οι συναρτήσεις μιας χρήσης, μπορούν να αντικατασταθούν από την πιθανότητα επιτυχίας φιλόδοξων προβλέψεων. Άρα ο αποφασίζων διαλέγει την απόφαση της οποίας οι συνέπειες έχουν τη μέγιστη χρήση (ή αυτή που μεγιστοποιεί την πιθανότητα επιτυχίας των φιλόδοξων προβλέψεων). Τέτοιες μέθοδοι ανάλυσης αποφάσεων χρησιμοποιούνται σε μια μεγάλη ποικιλία πεδίων περιλαμβάνοντας τις επιχειρήσεις, το περιβάλλον, την ιατρική έρευνα, το management, την έρευνα ενέργειας, τις αντιδικίες κλπ.

Κάποιοι συγγραφείς όπως ο (Klein, 2003) επισημαίνουν ότι οι άνθρωποι δεν παίρνουν αποφάσεις με τις παραπάνω μεθόδους και ότι ο διαισθητικός τρόπος λήψης αποφάσεων πρέπει να αντικαταστήσει τις αναλυτικές προσεγγίσεις των περισσότερων αναλυτών. Οι αναλυτές αποφάσεων πιστεύουν πως οι προσεγγίσεις τους είναι εντεταλμένες, ότι παρέχουν εντολές του τι αποφάσεις θα παρθούν βασισμένες στην κοινή λογική, και δεν παρέχουν απλά μια περιγραφική προσέγγιση

περιγράφοντας τα λάθη που κάνουν οι άνθρωποι λαμβάνοντας αποφάσεις. Γενικά, ο αποφασίζων θα πρέπει να λάβει υπ' όψιν και τις δύο προσεγγίσεις, κατανοώντας πως οι άνθρωποι κάνουν λάθη στη λήψη αποφάσεων και να παρέχει μια σταθερή βάση γι' αυτούς ώστε να λαμβάνουν καλύτερες αποφάσεις. Επίσης, αρκετές μελέτες δείχνουν πως ακόμη και η πιο απλή μέθοδος ανάλυσης αποφάσεων υπερτερεί της απλής διαίσθησης. (B. Fischhoff, 1982)

3.1.2 Διαδικασία και Στάδια Λήψης Αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων χωρίζεται στα παρακάτω στάδια που απεικονίζονται στο σχήμα:

- 1ο Στάδιο – Συγκέντρωση Πληροφορίας

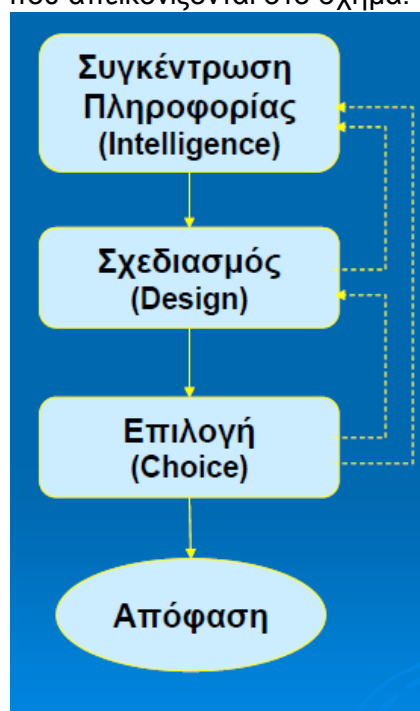
Αναγνώριση των προβλημάτων ή ευκαιριών και συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων για το υπό εξέταση θέμα

- 2ο Στάδιο - Σχεδιασμός

Οι λήπτες αποφάσεων θεωρούν συνολικά τα δεδομένα του προβλήματος και επιλέγουν τη μέθοδο και τα κριτήρια βάσει των οποίων θα γίνει η λήψη της τελικής απόφασης

- 3ο Στάδιο -Επιλογή κάποιας λύσης.

Για το σκοπό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πλειάδα μεθόδων οι οποίες προέρχονται από την Επιχειρησιακή Έρευνα και την Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (Simon, 1960)



(Roy, 1985)

3.1.3 Τάσεις / ρεύματα στη λήψη αποφάσεων

Υπάρχουν διάφορες θεωρητικές τάσεις και αντιπαράθεση σε σχέση με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Οι εν λόγω τάσεις / ρεύματα παρουσιάζονται ως εξής:

- Συστήματα Αξιών (Value Systems) – Πρεσβεύονται από την Αμερικάνικη Σχολή. Στοχεύει στην κατασκευή ενός συστήματος αξίας το οποίο προκύπτει από τη σύνθεση των προτιμήσεων των ληπτών αποφάσεων σε ότι αφορά τα κριτήρια.
- Σχέσεις Υπεροχής (Outranking Relations) – Πρεσβεύεται από τη Γαλλική ή Ευρωπαϊκή Σχολή. Στοχεύει στην αντιμετώπιση του προβλήματος της μη-συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων.
- Αναλυτική-Συνθετική Προσέγγιση (Aggregation-Disaggregation Approach). Στοχεύει στην ανάλυση της συμπεριφοράς του λήπτη αποφάσεων και τον τρόπο αντίληψής του. Με τη χρήση επαναληπτικών διαδικασιών, αναλύονται και στη συνέχεια συντίθενται σε ένα σύστημα αξιών όλες οι παράμετροι του προβλήματος και η μέθοδος κρίσης του λήπτη αποφάσεων.
- Πολυκριτήρια Βελτιστοποίηση (Multicriteria Optimization). Αποτελεί μια επέκταση του Μαθηματικού Προγραμματισμού. Στοχεύει στην επίλυση προβλημάτων όπου δεν υπάρχουν διακριτές εναλλακτικές επιλογές και οι στόχοι είναι περισσότεροι του ενός. (Χριστίνα Ευαγγέλου, 2005)

3.1.4 Διακριτά Προβλήματα

Στη διαδικασία λήψης αποφάσεων παρουσιάζονται οι εξής κατηγορίες προβλημάτων:

- Επιλογής (choice), όπου επιλέγεται η καλύτερη μεταξύ των εναλλακτικών δράσεων. Βασίζεται στην πραγματοποίηση σχετικών συγκρίσεων.
- Κατάταξης (ranking), όπου οι εναλλακτικές δράσεις κατατάσσονται από την καλύτερη προς την χειρότερη. Βασίζεται στην πραγματοποίηση σχετικών συγκρίσεων. Με αυτό τον τρόπο, η επιλογή καθορίζεται από το σύνολο των υπάρχοντων εναλλακτικών.
- Ταξινόμησης (sorting, classification, discrimination), όπου οι εναλλακτικές δράσεις τοποθετούνται σε προκαθορισμένες κατηγορίες. Βασίζεται στην πραγματοποίηση απόλυτων συγκρίσεων. Κάθε εναλλακτική κατατάσσεται με βάση συγκεκριμένους κανόνες και πρότυπα τα οποία διαχωρίζουν τις κατηγορίες. Με αυτό τον τρόπο η ταξινόμηση καθορίζεται από τα προδιαγεγραμμένα πρότυπα, κι όχι από το σύνολο των διατιθέμενων εναλλακτικών.

- Περιγραφής (description), όπου καταγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά κάθε εναλλακτικής δράσης.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών εφαρμόζουμε τεχνικές επίλυσης. Αυτές διακρίνονται σε βελτιστοποίησης και προσεγγιστικές τεχνικές.

Οι τεχνικές βελτιστοποίησης (optimization techniques) επιδιώκουν την εύρεση της βέλτιστης (καλύτερης δυνατής) λύσης ενός προβλήματος ενώ οι προσεγγιστικές / Ευρετικές τεχνικές (heuristic techniques) επιδιώκουν την εύρεση της καλύτερης δυνατής λύσης κάτω από κάποιες προϋποθέσεις και βασίζονται συνήθως σε παραδοχές με στόχο την “απλούστευση” του προβλήματος. (Χριστίνα Ευαγγέλου, 2005)

3.2 Πολυκριτηριακές μέθοδοι λήψης αποφάσεων

3.2.1 Εισαγωγή

Καθημερινά βρισκόμαστε αντιμέτωποι με πολλαπλές και πολλές φορές αντικρουόμενες επιλογές. Η ελαχιστοποίηση του κόστους και η μεγιστοποίηση της ποιότητας των προσφερόμενων υπηρεσιών είναι ζητήματα που ενδιαφέρουν τον κάθε αποφασίζοντα. Τέτοια προβλήματα είναι περισσότερο πολύπλοκα από όσο οι συμβατικές θεωρήσεις των κλασικών οικονομικών υποδεικνύουν. Η βελτίωση της απόδοσης σε έναν από τους στόχους συχνά επιτυγχάνεται μόνο με μείωση της απόδοσης σε κάποιον από τους υπόλοιπους. Η λήψη της απόφασης που αναφέραμε πιο πάνω ορίζεται κατά τον Zeleny (1982) ως η προσπάθεια επίλυσης των διλημάτων που προβάλλουν οι αντικρουόμενες επιδιώξεις.

Έτσι τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα μεθοδολογιών αποτίμησης σε μια προσπάθεια επέκτασης των δυνατοτήτων εφαρμογής της συμβατικής και κλασικής μεθόδου CBA (Cost Benefit Analysis). Οι μεθοδολογίες αυτές προσφέρουν μια νέα προοπτική κατά την οποία όχι μόνο ποσοτικές αλλά και ποιοτικές εκτιμήσεις δύνανται να ληφθούν υπ’ όψιν στη διαδικασία απόφασης.

Πριν την ανάπτυξη των μεθόδων αυτών ο καθορισμός των «καλών» ή «κακών» δράσεων γίνονταν σύμφωνα με **ένα μόνο κριτήριο**. Αυτό αντιπροσωπεύεται από μια συνάρτηση (αντικειμενική συνάρτηση, συνάρτηση χρησιμότητας – utility function) η οποία συνδέει την κάθε εναλλακτική δράση a με μια συνάρτηση $g(a)$, ώστε για κάθε δράση a που είναι καλύτερη από τη b , ισχύει $g(a) > g(b)$. Υπό αυτό το πλαίσιο τα προβλήματα απόφασης είναι πλήρως μαθηματικά ορισμένα. Ορίζοντας το σύνολο των δυνατών εναλλακτικών δράσεων (alternatives) και τη συνάρτηση g , μπορούμε να κατασκευάσουμε έναν αλγόριθμο που να οδηγεί στην προτιμητέα πρόταση. Ωστόσο

είναι σπάνιο να βρεθεί μια συγκεκριμένη εφαρμογή όπου μόνο ένα κριτήριο να δύναται να συμπεριλάβει όλη την απαιτούμενη πληροφορία για την επιτυχή σύγκριση των στοιχείων του συνόλου A (σύνολο δυνατών δράσεων). Σκοπός της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποτελεί η διερεύνηση προβλημάτων απόφασης στα οποία λαμβάνονται υπ' όψιν πολλαπλά κριτήρια. Οι διάφορες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης βασίζονται τόσο σε αναγκαίες μαθηματικές υποθέσεις, όσο και σε δεδομένα που συλλέγονται από τους αποφασίζοντες.

Πιο συγκεκριμένα, ένας αποφασίζων (DM-Decision maker) επιθυμεί να επιλέξει μεταξύ διάφορων εναλλακτικών δράσεων, χρησιμοποιώντας δύο ή περισσότερα κριτήρια. Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν υπάρχει μία μοναδική δράση που να αποδίδει καλύτερα από όλες στο σύνολο των κριτηρίων. Αυτό συνεπάγεται πως η τελική λύση εξαρτάται σημαντικά από την εισαγόμενη προτίμηση των αποφασιζόντων.

Ιστορικά το πρώτο στάδιο ανάπτυξης της πολυκριτηριακής ανάλυσης χαρακτηρίστηκε από τις μεθοδολογικές αρχές της Πολυκριτηριακής Λήψης Απόφασης (MCDM – Multi Criteria Decision Making). Βασικό στόχο αποτελούσε η απόσπαση της ξεκάθαρης υποκειμενικής προτίμησης ενός υποθετικού αποφασίζοντα και η μετέπειτα επεξεργασία της μέσω ενός αυστηρά δομημένου αλγόριθμου απόφασης. Με αυτόν τον τρόπο κάθε πολυκριτηριακό πρόβλημα ήταν δυνατόν να αντιμετωπιστεί με την κλασική μορφή ενός προβλήματος βελτιστοποίησης.

Συνολικά, οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης ενισχύουν τη διαφάνεια της διαδικασίας απόφασης και προσφέρουν βαθιά ενόραση, καταλήγοντας στην εξοικείωση των παικτών με τα σημαντικά του προς συζήτηση προβλήματος. Λειτουργούν δε, ως οδηγοί της διαδικασίας λήψης αποφάσεων σχηματίζοντας το σύνολο των εναλλακτικών δράσεων, αναγνωρίζοντας τους συμμετέχοντες, καθορίζοντας τα κριτήρια επιλογής (decision criteria), αποτιμώντας την κάθε εναλλακτική δράση. Αποσπώντας την προτίμηση των συμμετεχόντων (άμεσα με τα βάρη των κριτηρίων – criteria weights – και τον προσδιορισμό κατωφλίων αδιαφορίας, προτίμησης και άρνησης και έμμεσα με τη συνολική δόμηση του προβλήματος), επιλέγοντας το κατάλληλο μοντέλο απόφασης και τελικά προτείνοντας κάποια ή κάποιες δράσεις. Επιπλέον η πολυκριτηριακή ανάλυση προσφέρει ένα όχι μόνο ποσοτικό αλλά και ποιοτικό εργαλείο αποτίμησης της απόδοσης των πιθανών ενεργειακών πολιτικών, αλλά συγκεντρώνει κάτω από ένα δημοκρατικό και συμμετοχικό πλαίσιο όλους τους ενδιαφερόμενους και τους εμπλεκόμενους στην απόφαση. Αυτό θεωρείται απαραίτητο ιδιαίτερα στην περίπτωση των ΑΠΕ λόγω της αποκεντρωμένης φύσης τους και της αναγκαιότητας ενσωμάτωσης της τοπικής κοινωνίας στη λήψη αποφάσεων.

Η δημιουργία αναλυτικών εργαλείων διευκόλυνσης της διαδικασίας λήψης απόφασης προβάλλει πλέον ως επιτακτική ανάγκη, μιας και η εμπειρία έχει δείξει ότι οι αποφασίζοντες εστιάζουν σε ένα περιορισμένο σύνολο κριτηρίων επιλογής, βασίζονται σε ανεπαρκείς πληροφορίες και αδυνατούν να

εκτιμήσουν την αβεβαιότητα των μελλοντικών γεγονότων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κυριότερες μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης. (Πολατίδης, 2003)

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.

3.2.2 Κυριότερες μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης

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:

- 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.

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:

♦ 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).

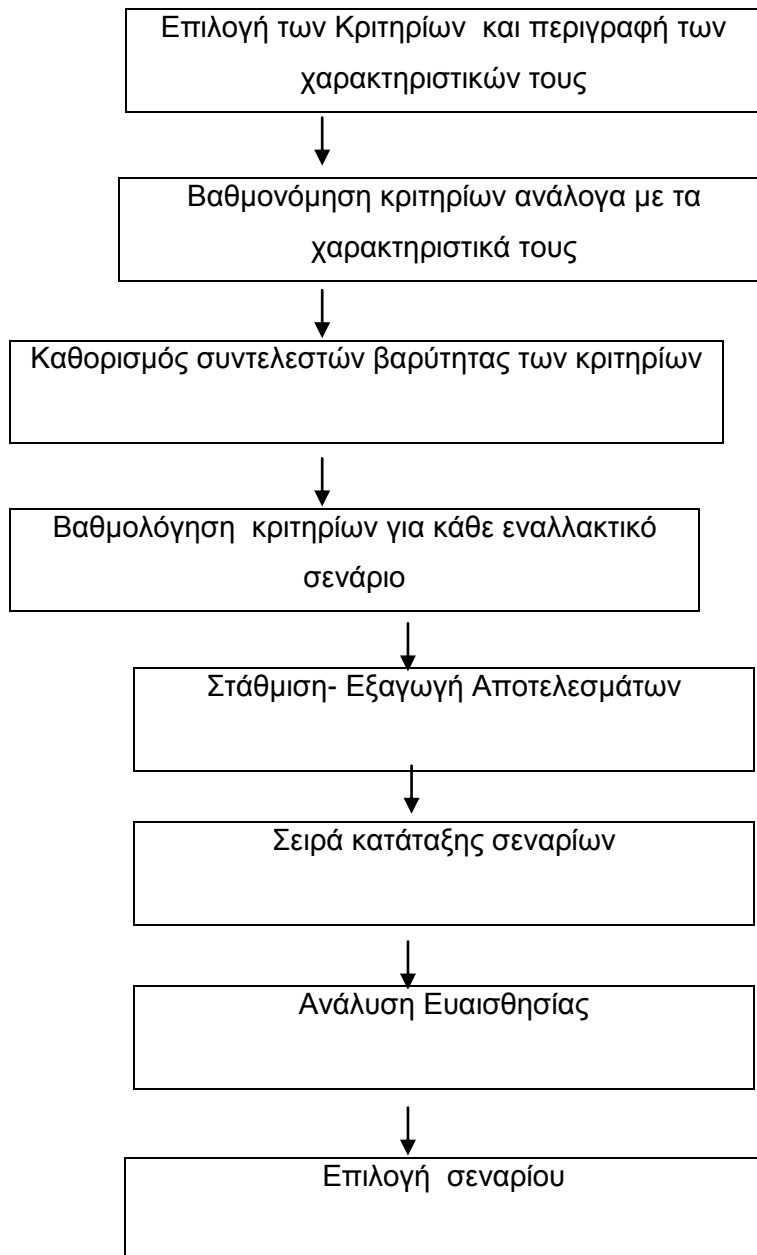
♦ Στο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

- 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:

- ♦ 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.

- ◆ Το ζητούμενο από την επίλυση του προβλήματος είναι:
 - ο προσδιορισμός της σχετικά βέλτιστης λύσης,
 - η ιεράρχηση του συνόλου των λύσεων,
 - η ταξινόμηση των λύσεων σε ομάδες.
- ◆ 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.



Απεικόνιση της διαδικασίας πολυκριτηριακής ανάλυσης

3.2.3 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.

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.

Σύμφωνα με τον (Jiang-Jiang Wang *, 2009) υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι απόδοσης συντελεστών βαρύτητας στις πολυκριτηριακές μεθόδους λήψης αποφάσεων (MCDA). Χωρίζονται σε υποκειμενικές, αντικειμενικές και συνδυασμό μεθόδων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν μέθοδοι όπως SMART, SIMOS (στις οποίες ο αποφασίζων καλείται να κατατάξει τα κριτήρια σε αύξουσα κατάταξη και στην πρώτη να τα βαθμολογήσει), pair - wise comparison (την οποία καλείται να συγκρίνει κάθε δυνατό ζεύγος κριτηρίων) και AHP (όπου καταστρώνεται ένας πίνακας με τις συγκρίσεις ζευγών της μεθόδου pair – wise). Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν μέθοδοι όπως η μέθοδος της εντροπίας (στην οποία ορίζεται η αβεβαιότητα του κάθε κριτηρίου σε σχέση με το πραγματικό σύστημα), TOPSIS (η οποία υπολογίζει την απόσταση μεταξύ της επιλεγμένης καλύτερης εναλλακτικής και της ιδανικής λύσης) και η κάθετη και οριζόντια μέθοδος (η οποία υπολογίζει τα βάρη μέσω ενός βέλτιστου μαθηματικού μοντέλου). Οι διάφορες μέθοδοι αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Categories	Weighting methods	
Subjective weighting	Simple multi-attribute rating technique (SMART) SMARTER Swing Trade-off SIMOS Pair-wise comparison AHP Least-square method Eigenvector method Delphi method Consistent matrix analysis PATTERN	
Objective weighting	Least mean square (LMS) method Minmax deviation method Entropy method TOPSIS method Vertical and horizontal method Variation coefficient Multi-objective optimization method Multiple correlation coefficient Principal component analysis	
Combination weighting	Multiplication synthesis Additive synthesis	Optimal weighting based on sum of squares Optimal weighting based on minimum bias Optimal weighting based on relational coefficient of gradation

Οι σημαντικότερες εξ αυτών παρουσιάζονται παρακάτω:

Κατηγορία μεθόδου	Μέθοδος	Περιγραφή
Υποκειμενική	SMART	Ο αποφασίζων κατατάσσει τα κριτήρια σε αύξουσα σειρά
	SIMOS	Ο αποφασίζων βαθμολογεί τα κριτήρια
	Pair – wise comparison	Ο αποφασίζων συγκρίνει όλα τα δυνατά ζεύγη κριτηρίων
	AHP	Καταστρώνεται ο πίνακας συγκρίσεων της pair - wise
Αντικειμενική	TOPSIS	Υπολογίζει απόσταση καλύτερης εναλλακτικής και ιδανικής λύσης
	Κάθετη και οριζόντια	Υπολογίζει βάρη ενός βέλτιστου μαθηματικού μοντέλου

3.2.4 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:

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.

3.2.5 Σύστημα λήψης αποφάσεων με τη χρήση αθροιστικής συχνότητας ομάδων κριτηρίων (Πολυκριτηριακή θεωρία αξίας ή χρησιμότητας – Multi Attribute Utility Theory – MAUT)

Σ' αυτό το σύστημα της πολυκριτηριακής ανάλυσης η συγκριτική αξιολόγηση των εναλλακτικών σεναρίων ακολουθεί τα εξής στάδια:

1^ο 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% (ή 1). 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%), $\sum A_i = 1$

2^ο 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%.

3^ο Στάδιο: Πραγματοποιείται ανάλυση όλων των εναλλακτικών χαρακτηριστικών κάθε επιμέρους κριτηρίου τα οποία στη συνέχεια ποσοτικοποιούνται βάσει κλίμακας 1 - 5, 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).

4^ο 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^ο στάδιο, λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή απόδοσης σε κλίμακα από 1 – 5. 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.

3.2.6 Σύστημα λήψης αποφάσεων με καθορισμό μεμονωμένων κριτηρίων και σύγκριση σεναρίων ανά ζεύγη σε κάθε κριτήριο (Προσέγγιση σχέσεων υπεροχής - Outranking approaches)

Η προσέγγιση των σχέσεων υπεροχής 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.

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.

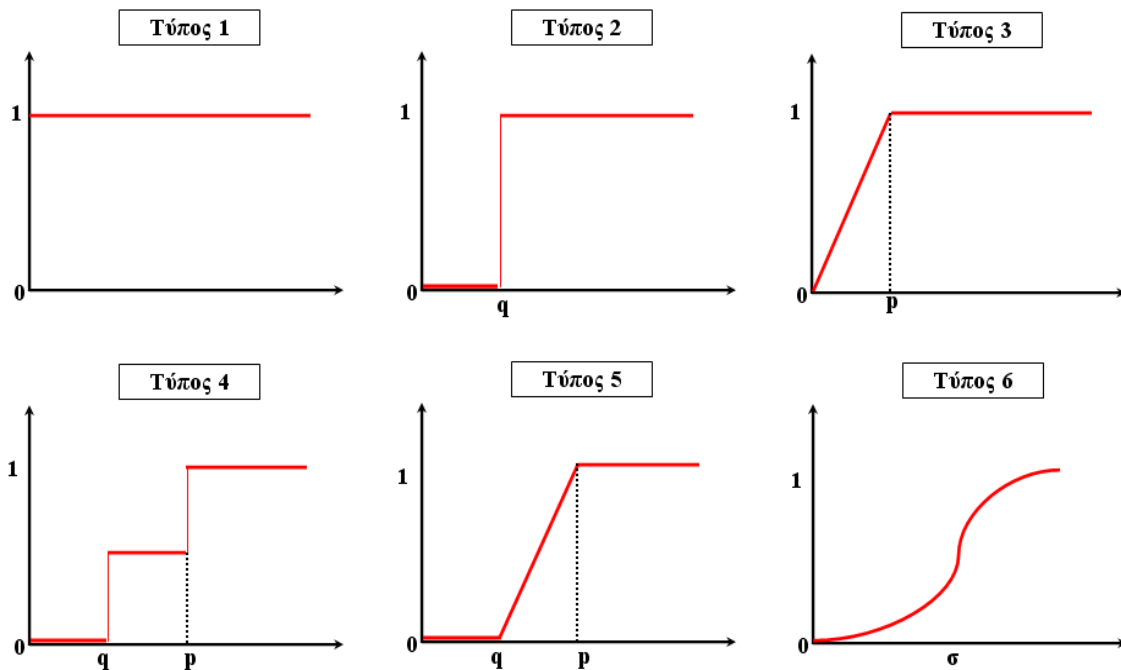
Αυτό που διαφοροποιεί τις μεθόδους υπεροχής από τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης αθροιστικής συνάρτησης, είναι ότι το μέτρο χαρακτηρισμού και αξιολόγησης των λύσεων δεν είναι μία συνολική σταθμισμένη «επίδοση», αλλά ένας δείκτης σύνθεσης των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. Αυτό σημαίνει ότι και οι 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.

Λόγω του διευρυμένου μοντέλου προτιμήσεων που ακολουθείται, δεν ισχύει η υπόθεση της μεταβατικότητας των σχέσεων υπεροχής. Δηλαδή, αν ο αποφασίζων κρίνει ότι η λύση a υπερέχει της b , και η λύση b της c , αυτό δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η λύση a υπερέχει της c . Αυτό συμβαίνει όταν η πρόταση «η λύση a 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.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι υπεροχής είναι η οικογένειες μεθόδων **ELECTRE**, και **PROMETHEE**.

Οι μέθοδοι προσέγγισης σχέσεων υπεροχής (Preference Ordering Method) χρησιμοποιεί για τη δυαδική σύγκριση των επιλογών ένα από τα εξής 6 κριτήρια:

- 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 .



Σχήμα 2. Οι 6 τύποι κριτηρίων της μεθόδου PROMETHEE

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.

Η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος με τις μεθόδους αυτές ακολουθεί τα εξής διαδοχικά στάδια:

1^ο 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.

2^ο 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%.

3° 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).

4° 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° στάδιο, λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή απόδοσης σε κλίμακα από 1 –10.

5° Στάδιο: Εφαρμογή του μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης

Η ανάπτυξη και εφαρμογή του μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης της ομάδας αυτής περιλαμβάνει τα εξής διακριτά επιμέρους βήματα:

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.

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα, 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:

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

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 $p_j(a,b) = 0$, δηλαδή η κατάσταση μη προτίμησης προσδιορίζεται επίσης με μηδενική τιμή του δείκτη.

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:

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

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 υπερέρχει 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 .

Βήμα 3: Υπολογισμός θετικών και αρνητικών ροών: στο στάδιο αυτό υπολογίζονται για κάθε λύση a , δύο μέτρα αξιολόγησης που δείχνουν σε τι βαθμό η λύση αυτή υπερέρχει ή υπολείπεται έναντι όλων των υπολοίπων επιλογών. Τα μέτρα αυτά ονομάζονται θετική και αρνητική ροή, αντίστοιχα και ορίζονται ως εξής:

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

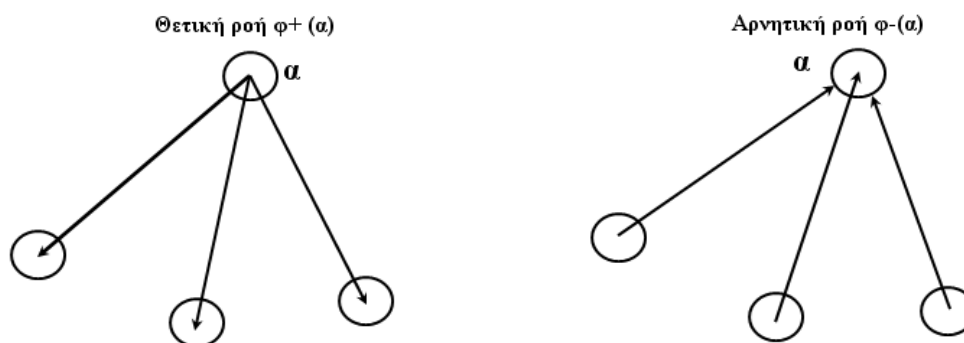
Η θετική ροή για τη λύση a προκύπτει από το άθροισμα των στοιχείων της αντίστοιχης σειράς δια του αριθμού των υπολοίπων επιλογών $(n-1)$ και δείχνει το μέσο βαθμό κυριαρχίας της λύσης.

Συνάγεται ότι όσο μεγαλύτερη η τιμή της θετικής ροής σε σχέση με τις θετικές ροές των υπολοίπων επιλογών τόσο καλύτερη είναι η λύση αυτή.

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

Η αρνητική ροή για τη λύση α 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.

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



Σχήμα 3. Η έννοια της θετικής και αρνητικής ροής στην μέθοδο PROMETHEE

Βήμα 4: Μερική κατάταξη των επιλογών: στο στάδιο αυτό κατασκευάζονται αρχικά δύο πλήρεις κατατάξεις (χωρίς ασυγκρισιμότητες) με βάση τις τιμές των θετικών και αρνητικών ρών:

Κατάταξη με βάση τις θετικές ροές:

- $\alpha S^+ b$ Αν $\phi^+(\alpha) > \phi^+(b)$ Θετική υπεροχή
- $\alpha I^+ b$ Αν $\phi^+(\alpha) = \phi^+(b)$ Θετική αδιαφορία

Κατάταξη με βάση τις αρνητικές ροές:

- $a S^- b$ Αν $\varphi^-(a) < \varphi^-(b)$ Αρνητική υπεροχή
- $a I^- b$ Αν $\varphi^-(a) = \varphi^-(b)$ Αρνητική αδιαφορία

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

Προτίμηση:	$a P_1 b$	αν	$a S^+ b$	και	$a S^- b$	ή
			$a S^+ b$	και	$a I^- b$	ή
			$a I^+ b$	και	$a S^- b$	
Αδιαφορία:	$a I_1 b$	αν	$a I^+ b$	και	$a I^- b$	
Ασυγκρισιμότητα:	$a R_1 b$	αν	$a S^+ b$	και	$a S^- b$	

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:

Καθαρή ροή:
$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

Η καθαρή ροή αποτελεί μέτρο της καθαρής υπεροχής ή κυριαρχίας κάθε επιλογής και αναγνωρίζει μόνο καταστάσεις προτίμησης και αδιαφορίας επιτρέποντας την πλήρη κατάταξη τους:

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

3.2.7 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:

- i. Σύστημα λήψης αποφάσεων με χρήση αθροιστικής συνάρτησης ομάδων κριτηρίων (Πολυκριτηριακή θεωρία αξίας ή χρησιμότητας - Multi – Attribute Value or Utility Theory)
- ii. 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:

- 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 ασυγκρισσιμότητας.
- 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. (UEST, 2005)

3.3 Η πολυκριτηριακή ανάλυση στον ενεργειακό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό

Οι εφαρμογές των μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνουν τομείς όπως ενέργεια, κατασκευές, υπηρεσίες, δημόσια πολιτική, μεταφορές, κλπ. Η χρήση τέτοιων μεθοδολογιών παρουσιάζει μακρά ιστορία στον ενεργειακό σχεδιασμό και παρέχει ένα πλήρες και έγκυρο

μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση, κατηγοριοποίηση και επιλογή ενεργειακών έργων (Siskos, Hubert, 1983 ; Coletsis et al, 2003 κλπ) και γενικά για τον προσδιορισμό της κατάλληλης πρακτικής περιβαλλοντικής διαχείρισης (Hokkanen, 1994 ; Moussiopoulos, Karagiannidis, 1997 ; Gelderman, 2001 κλπ).

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA) έχουν γίνει πολύ δημοφιλείς στη λήψη αποφάσεων σε θέματα ενέργειας εξαιτίας των πολυδιάστατων στόχων και την πολυπλοκότητα των κοινωνικοοικονομικών και βιοφυσικών συστημάτων. Τα κριτήρια των συστημάτων αυτών κατατάσσονται σε τεχνικά, οικονομικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά. Οι μέθοδοι απόδοσης βαρών των κριτηρίων κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες: υποκειμενικά βάρη, αντικειμενικά βάρη και συνδυασμός μεθόδων βαρών. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση προσφέρει μια στιβαρή οργανωτική δομή για την επίτευξη συνεπούς και διαφανούς ανάλυσης ενεργειακών πολιτικών, ενώ επιτυγχάνει το στόχο της ενσωμάτωσης της έρευνας από ποικίλους επιστημονικούς τομείς, καθώς και το συνυπολογισμό των απόψεων της τοπικής κοινωνίας. Επιπλέον ενισχύει τη διαφάνεια της διαδικασίας, καθώς τα κριτήρια απόφασης δύνανται να παρουσιαστούν στην αρχική τους μορφή χωρίς να είναι απαραίτητη η μετατροπή τους σε χρηματικές μονάδες. Για τους παραπάνω λόγους οι μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης κρίνονται κατάλληλες για την ολοκληρωμένη αποτίμηση αναπτυξιακών έργων ΑΠΕ ιδιαίτερα κάτω από το πρίσμα ενός μακροπρόθεσμου μετασχηματισμού του ενεργειακού συστήματος.

Τα αποτελέσματα ερευνών με πολυκριτηριακή ανάλυση υποδεικνύουν ότι οι συμβατικές πηγές ενέργειας, οι οποίες κρατούν και το μεγαλύτερο μερίδιο της ενεργειακής αγοράς, προκαλούν και τις σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η ασυμφωνία μεταξύ του οικονομικού και του περιβαλλοντικού συστήματος αξιών οφείλεται στην αδυναμία του σύγχρονου μηχανισμού της αγοράς να ενσωματώσει την αξία των περιβαλλοντικών αγαθών. Έτσι η τιμή της ενέργειας δεν περιλαμβάνει το κόστος που αναλαμβάνει η κοινωνία από τις επιπτώσεις της παραγωγής, όπως αυτό αναγνωρίζεται από τις φθορές που υφίσταται η ανθρώπινη υγεία και το κοινωνικό και φυσικό περιβάλλον (καλλιέργειες, δάση, μνημεία κλπ)

Πολλοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί στο παρελθόν με την εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης σε θέματα ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή. Για παράδειγμα, οι Georgoroulou et al (1998) σχεδιάζουν ένα ομαδικό πολυκριτηριακό σύστημα αποφάσεων για την εκμετάλλευση των ΑΠΕ, στηριζόμενο στη μέθοδο PROMETHEE II, και το εφαρμόζουν στην περίπτωση του Ελληνικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Τα εναλλακτικά σενάρια διείσδυσης των ΑΠΕ διαμορφώνονται από τους αναλυτές και αξιολογούνται από τους άμεσα ή έμμεσα εμπλεκόμενους στη διαδικασία απόφασης.

Ωστόσο, παρόλο που οι μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης διευκολύνει τη διαδικασία του ενεργειακού σχεδιασμού, δε δύναται να επηρεάσει τις κυρίαρχες δυνάμεις της αγοράς. Προκειμένου να συμπληρωθεί το κενό αυτό, έχουν γίνει προσπάθειες για την οικονομική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από τη ρύση της ενέργειας. Εξαιτίας όμως της αβεβαιότητας που συνοδεύει τέτοιους υπολογισμούς, οι μέθοδοι αυτές συνεχίζουν να αποτελούν το ουσιαστικότερο μέσο για την ενσωμάτωση περιβαλλοντικών παραμέτρων στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε ενεργειακά θέματα. Βοηθούν στο να αναπτυχθεί ένα συμπαγές μεθοδολογικό πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων σε θέματα ενεργειακής και περιβαλλοντικής διαχείρισης καθώς η ανάπτυξη των ΑΠΕ τα επόμενα χρόνια κρίνεται αναγκαία. (Πολατίδης, 2003)

3.4 Συμπεράσματα

Είναι φανερό πως σοβαρά περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα καθώς και θέματα ασφάλειας και ενεργειακής επάρκειας εκδηλώνονται από την εκμετάλλευση των σύγχρονων συμβατικών ενεργειακών μέσων. Οι ΑΠΕ προσφέρουν μία υποσχόμενη εναλλακτική και η ανάπτυξή τους θεωρείται ως βασική προτεραιότητα για πολλές χώρες. Είναι γνωστό πως οι ΑΠΕ γενικά είναι περιβαλλοντικά φιλικότερες από τα συμβατικά καύσιμα όπως περιγράφηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπλέον, είναι ενδογενείς και έτσι προωθούν την ενεργειακή ανεξαρτησία και σε ορισμένες περιπτώσεις συνεισφέρουν στη δημιουργία θέσεων εργασίας για το τοπικό δυναμικό. Ωστόσο, επιβάλλεται να ξεπεράσουν τεχνολογικούς, θεσμικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς φραγμούς, μιας και επιδεικνύουν τοπικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις – δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης, εκτεταμένη χρήση υδάτινων πόρων, αλλαγή του τοπίου, μεταβολή των παραδοσιακών τρόπων ζωής των κατοίκων της υπαίθρου κλπ. Αυτός ο πολλαπλός χαρακτήρας των ΑΠΕ, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την επιλογή μεταξύ διαφορετικών αναπτυξιακών προτάσεων. Ωστόσο οποιαδήποτε προσπάθεια μοντελοποίησης των διαδικασιών του ενεργειακού σχεδιασμού οφείλει να λαμβάνει υπ' όψιν της τις ιδιαίτερες συνθήκες των ενεργειακών συστημάτων και δικτύων καθώς και την εν γένει δυναμικότητά τους. Επιπλέον, η άσκηση πολιτικής σε θέματα ενέργειας περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες δεσμεύσεις. Η διαδικασία της λήψης αποφάσεων πρέπει να βασίζεται σε συγκεκριμένες μεθοδολογίες, καθώς τα αποτελέσματα αυτών μπορεί να είναι μη αντιστρεπτά (π.χ. απώλεια πόρου, οικονομική αποτυχία του προγράμματος). Κρίνεται απαραίτητη η εσωτερικοποίηση των περιβαλλοντικών και μη εξωτερικοτήτων έτσι ώστε η αξιολογητική διαδικασία να βασίζεται σε περισσότερο συγκρίσιμα και ακριβή δεδομένα.

Παρά το διαθέσιμο μεγάλο αριθμό πολυκριτηριακών μεθόδων, οι συνθήκες υπό τις οποίες γίνεται η επιλογή τους αλλά και η λεπτομερής μεθοδολογία τους παρουσιάζονται, ακόμα ελλιπείς με συνέπεια να απαιτείται η προσαρμογή των προβλημάτων αξιολόγησης στη μέθοδο εκείνη που θεωρείται πιο κατάλληλη. Λύση στο ζήτημα αυτό πιστεύεται πως θα δοθεί με τη συστηματική κατηγοριοποίηση των προβλημάτων περιβαλλοντικής αξιολόγησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα κριτήρια που τίθενται και στη συνέχεια εφαρμογή εκείνης της μεθόδου που ανταποκρίνεται στα παραπάνω χαρακτηριστικά. Αυτή η πρακτική θα προσφέρει μια χρήσιμη ταξινόμηση των μεθόδων αξιολόγησης. Επίσης, η ποσοτικοποίηση και αντικειμενοποίηση των διεργασιών αξιολόγησης, καθώς και η εισαγωγή στιβαρών μαθηματικών εργαλείων για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, θα ενισχύσουν την αξιοπιστία της συγκεκριμένης προσέγγισης συνθέτοντας ένα ολοκληρωμένο και διαυγές μεθοδολογικό εργαλείο.

Οι τεχνικές πολυκριτηριακής ανάλυσης έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στις ενεργειακές εφαρμογές και οι μέθοδοι υπεροχής όπως η ELECTRE και η PROMETHEE έχουν αποδειχτεί πολύτιμες στις περιπτώσεις όπου πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες. Επιπλέον, η διεύθυνση των ΑΠΕ στα ενεργειακά συστήματα έχει πρόσφατα ερευνηθεί με τη χρήση τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης ομαδικής λήψης απόφασης. Ωστόσο, πολιτικές, οικονομικές και θεσμικές αλλαγές είναι ουσιαστικές για την εφαρμογή περιβαλλοντικών και κοινωνικών θεωρήσεων στην ενεργειακή πολιτική.

Τελικά, οι πολυκριτηριακές μέθοδοι παρέχουν το πλαίσιο εργασίας για τη συλλογή, την καταχώρηση και εν τέλει την ανάλυση όλων των σχετικών πληροφοριών καθιστώντας έτσι τη διαδικασία λήψης μιας απόφασης ανιχνεύσιμη και διαφανή.

4. Κριτήρια λήψης αποφάσεων στις ΑΠΕ

4.1 Είδη κριτηρίων

4.1.1 Τεχνικά κριτήρια

1. Αποδοτικότητα

Η αποδοτικότητα αναφέρεται στο ποσό της χρησιμοποιούμενης ενέργειας που μπορούμε να πάρουμε από μια πηγή ενέργειας. Ο συντελεστής απόδοσης είναι ο λόγος της εξερχόμενης ως προς την εισερχόμενη ενέργεια και χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει τα ενεργειακά συστήματα. Η αποδοτικότητα της ενέργειας λέγεται πως είναι ένας από τους «θεμέλιους στύλους» της ενεργειακής πολιτικής. Έχει αποδειχτεί πως η βελτίωση της αποδοτικότητας που είναι σύμφωνη με υψηλή πιστότητα εργοστασίου και χαμηλό κόστος προϊόντων είναι οικονομικά προνομιούχα. Η αποδοτική χρήση ενέργειας είναι απαραίτητη ώστε να μειώσει το ρυθμό αύξησης της ζήτησης ενέργειας. Η αποδοτικότητα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο τεχνικό κριτήριο για την αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Χαρακτηριστικά αναφέρουμε τις αποδόσεις δύο κύριων τεχνολογιών ΑΠΕ. Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt. (ΚΑΠΕ, CRES, 2006) Για τα φωτοβολταϊκά η απόδοσή τους εξαρτάται κυρίως από το υλικό κατασκευής τους. Έτσι για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο η απόδοσή του στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Για το πολυκρυσταλλικό σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Για τα φωτοβολταϊκά τύπου thin film η απόδοσή τους με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο). Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως.

Η σημασία της αποδοτικότητας φαίνεται και από το Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας. Σύμφωνα με το άρθρο 14 της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ «για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση και τις ενεργειακές υπηρεσίες», εκπονείται κάθε τρία χρόνια (2007, 2011, 2014) ένα εθνικό Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ) και υποβάλλεται στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Με το πρώτο αυτό ΣΔΕΑ επιζητείται να μεταφρασθεί ο εθνικός ενδεικτικός ποσοτικός στόχος εξοικονόμησης ενέργειας με συγκεκριμένα μέτρα και δράσεις στο επίπεδο που κάθε Κράτος-Μέλος ορίζει, ενώ παράλληλα στοχεύει στη δημιουργία διαλόγου μεταξύ της

Ευρωπαϊκής Επιτροπής και Κρατών-Μελών. Το Ελληνικό Σχέδιο Δράσης αποτελεί την πρακτική επίδειξη και παρουσίαση των εθνικών υποχρεώσεων προς την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και έχει ουσιαστική σημασία για την επίτευξη του εθνικού στόχου για Εξοικονόμηση Ενέργειας. (ΥΠΑΝ, 2007)

2. Ασφάλεια

Οι συνεχείς αλλαγές στην τεχνολογία, στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς και το ενδιαφέρον για τη δημόσια ασφάλεια κάνουν την ανάλυση των σύνθετων κριτηρίων ασφάλειας όλο και πιο απαιτητική. Η ασφάλεια των ενεργειακών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την κοινωνία, την εθνική ανάπτυξη και τις ζωές των πολιτών. Η βασική ασφάλεια των εργαζομένων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση στα έργα ΑΠΕ θα πρέπει να είναι εγγυημένη. Η ασφάλεια μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύνολο σχετικών αρχών όπως ποιότητα, αξιοπιστία, διαθεσιμότητα, συντηρησιμότητα και ασφάλεια. Η ασφάλεια είναι ταυτόχρονα ένα τεχνικό κριτήριο εφαρμοσμένης τεχνολογίας αλλά επίσης και ένα κοινωνικό κριτήριο που επιδρά στο κοινωνικό σύνολο.

Η βιομηχανία ανανεώσιμων δεν είναι απαλλαγμένη από το ρίσκο. Η παραγωγή φωτοβολταϊκών μπορεί να οδηγήσει σε έκλυση τοξικών αερίων και φυσικά η συναρμολόγηση μεγάλων, βαρέων και δυσμετακίνητων ανεμογεννητριών είναι επικίνδυνη. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι κίνδυνοι που μπορούν να αποφευχθούν και δεν μπορούν να μειώσουν τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ. Πρέπει όμως τα έργα ΑΠΕ και οι εταιρείες που τα αναλαμβάνουν να παρέχουν απόλυτη ασφάλεια. (Plumer, 2009)

3. Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία ενός ενεργειακού συστήματος έγκειται στην ικανότητά μιας συσκευής ή ενός συστήματος να λειτουργεί όπως σχεδιάστηκε, η αντοχή της / του σε βλάβες, η ικανότητά της / του να πραγματοποιεί μια συγκεκριμένη επιθυμητή λειτουργία κάτω από ορισμένες συνθήκες για έναν δεδομένο χρόνο ή η ικανότητα του να σταματήσει να λειτουργεί χωρίς αυτό να επιφέρει καταστροφικές συνέπειες. Η αξιοπιστία ήταν πάντα ένα σημαντικό θέμα στον ενεργειακό σχεδιασμό. Επίσης κάποιοι παράγοντες ή γεγονότα που σχετίζονται άμεσα με την ενεργειακή αξιοπιστία είναι οι πολιτικές τάσεις, τρομοκρατικές ενέργειες και μαζικά black-outs. Η ποιότητα του εξοπλισμού, η συντήρησή του, ο τύπος εκμεταλλευόμενης ενέργειας, ο σχεδιασμός του ενεργειακού συστήματος και το πως λειτουργεί παίζουν μεγάλο ρόλο στην αξιοπιστία του. Η αξιοπιστία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια στην αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

4. Ωριμότητα

Η τεχνική ωριμότητα είναι κριτήριο που αξιολογεί την εφαρμοσμένη τεχνολογία των ενεργειακών συστημάτων και στην περίπτωση μας των ΑΠΕ. Μετρώντας το βαθμό ωριμότητας της τεχνολογίας, μπορούμε να αναφερθούμε στο πόσο διαδεδομένη είναι η τεχνολογία σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Επομένως μπορούν να θεωρηθούν τα παρακάτω στάδια:

- τεχνολογίες που έχουν μόνο εφαρμοστεί στο εργαστήριο,
- τεχνολογίες που εφαρμόζονται μόνο σε πιλοτικά εργοστάσια όπου ο σκοπός είναι ο ίδιος με το πειραματικό στάδιο,
- τεχνολογίες με περιθώριο βελτίωσης και,
- τεχνολογίες που έχουν φτάσει τα θεωρητικά όρια αποδοτικότητας. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Όσον αφορά λοιπόν στις ΑΠΕ στη χώρα μας, οι επενδυτές θα επενδύσουν σε κάτι τεχνολογικά ώριμο που είναι ήδη εφαρμοσμένο στο χώρο μας μιας και δε συντελούνται πολλές τεχνολογικές καινοτομίες και η τεχνογνωσία προέρχεται από το εξωτερικό. Αιολικά, φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικά είναι εφαρμοσμένες και τεχνολογικά ώριμες τεχνολογίες που αποφέρουν κέρδη και εξοικονόμηση ενέργειας και ενδείκνυνται για επενδύσεις. Αντίθετα τεχνολογίες όπως πυρηνική ενέργεια, κυματική ενέργεια δεν είναι διαδεδομένες και εφαρμόσιμες ακόμα και δεν αποτελούν άμεσο στόχο επενδύσεων.

5. Λόγος πρωτογενούς ενέργειας (Primary energy ratio - PER) και αποθήκευση ενέργειας

Ορίζεται ως ο λόγος κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας προς τη ζήτηση ενέργειας των καταναλωτών. Ομοίως, η αποθήκευση πρωτογενούς ενέργειας είναι επίσης κριτήριο που παρέχει μια εκτίμηση του ποσού πρωτογενούς ενέργειας που μια δεδομένη δράση μπορεί να αποθηκεύσει. Η αποθήκευση πρωτογενούς ενέργειας μπορεί να αποτιμηθεί ως η ετήσια αποθηκευμένη ενέργεια που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτή η αποθήκευση μπορεί να εκτιμηθεί μέσω τεχνολογιών μετατροπής όπως οι ΑΠΕ είτε ως μείωση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Ο λόγος αυτός εισήχθη ώστε να αποτιμώνται οι αποδόσεις των ΑΠΕ άμεσα. Έτσι ο αποφασίζων μπορεί να διαλέξει αν θέλει αποθήκευση ενέργειας και ποιο σύστημα θα ανταποκριθεί σε αυτό καλύτερα. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

6. Σταθερότητα δικτύου

Η ένταξη παραγωγής από ΑΠΕ στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, μεταφοράς και διανομής, πρέπει να εξεταστεί από την πλευρά του δικτύου, καθώς η διασύνδεσή τους με νέες μονάδες παραγωγής, μικρής ή μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος επηρεάζει το κόστος επένδυσης των μονάδων αλλά και τα χαρακτηριστικά της παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές.

Πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας θα μεταφέρει με ασφάλεια τη ζητούμενη από τους καταναλωτές ισχύ σε κάθε σημείο, εξασφαλίζοντας παράλληλα στοιχεία ποιότητας ισχύος. Η διείσδυση μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, οι οποίες χρησιμοποιούν ασύγχρονες μηχανές, δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα ελέγχου τάσης και άεργου ισχύος. Λόγω απουσίας συστήματος διέγερσης, οι μηχανές αυτές είναι καταναλωτές άεργου ισχύος και δε συμμετέχουν στο έλεγχο τάσης – άεργου ισχύος (V-Q) του συστήματος. Το πρόβλημα γίνεται ιδιαίτερα σημαντικό σε αδύναμα ή απομονωμένα ηλεκτρικά συστήματα, όπως είναι τα δίκτυα σε περιοχές με άνεμο. Η απαίτηση άεργου ισχύος για την παραγωγή ενεργού, σε συγκεκριμένες συνθήκες, μπορεί να οδηγήσει το δίκτυο σε αστάθεια τάσης και κατάρρευση.

Το σύστημα διαχείρισης ηλεκτρικών δικτύων λοιπόν θα πρέπει να προσδιορίζει το βέλτιστο σχήμα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ο χρήστης μπορεί να υποθέσει διαφορετικά σχήματα σύνδεσης και να εξετάσει την ομαλή λειτουργία του δικτύου κάτω από διάφορες συνθήκες. Για κάθε περίπτωση λειτουργίας (σενάριο), εκτελείται ανάλυση ροής φορτίου ώστε:

- να εξεταστεί η ικανότητα του συστήματος να μεταφέρει την απαιτούμενη ισχύ εντοπίζοντας τυχόν υπερφορτίσεις των γραμμών μεταφοράς
- να εξεταστεί το προφίλ των τάσεων σε κάθε κόμβο του δικτύου
- να προσδιοριστούν τυχόν απαραίτητες ενισχύσεις του δικτύου (σε γραμμές μεταφοράς, πυκνωτές αντιστάθμισης κοκ).

Άρα ο εκάστοτε επενδυτής ή χρήστης θα πρέπει να επιλέξει την κατάλληλη τεχνολογία που θα του επιφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα στο δίκτυο. (Κίλιας Β., 2003)

4.1.2 Οικονομικά κριτήρια

7. Κόστος επένδυσης

Το κόστος επένδυσης αποτελείται από όλα τα κόστη που σχετίζονται με: την αγορά του μηχανολογικού εξοπλισμού, τις τεχνολογικές εγκαταστάσεις, την κατασκευή δρόμων και συνδέσεων στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ισχύος, της μηχανικές υπηρεσίες, τις γεωτρήσεις και άλλες δευτερεύοντες εργασίες κατασκευής. Τα κόστη των εργατών ή τα κόστη συντήρησης δεν συμπεριλαμβάνονται στο κόστος επένδυσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι οι πυρηνικές μονάδες και οι μονάδες καύσης ορυκτών καυσίμων ενέχουν μεγάλο κόστος επένδυσης και μικρά λειτουργικά κόστη ενώ οι μονάδες καύσης αερίων χαρακτηρίζονται από μικρά κεφαλαιουχικά κόστη και υψηλότερα λειτουργικά κόστη. Οι επενδυτές πρέπει να λαμβάνουν υπ' όψιν το κόστος επένδυσης και το όφελος. Το κόστος επένδυσης είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο οικονομικό κριτήριο για την αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Ενδεικτικά αναφέρουμε κόστη επένδυσης σε ΑΠΕ για τις ελληνικές τεχνολογίες. Μπορεί τα αιολικά και οι ΥΗΣ να φαίνονται φτηνότεροι από τα φωτοβολταϊκά, στην πραγματικότητα όμως εγκαθίστανται πολλά περισσότερα kW σε τεράστιες εγκαταστάσεις πράγμα που αυξάνει το συνολικό κόστος επένδυσης.

Είδος ΑΠΕ	Κόστος
Αιολικά	2.000-4.000 ευρώ / kW
Φωτοβολταϊκά	4.500-5.500 ευρώ / kW
Υδροηλεκτρικά	1.500 ευρώ / kW
Βιομάζα	740 ευρώ / kW για τηλεθέρμανση 880 ευρώ / kW για τηλεψύξη

8. Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Τα κόστη αυτά αποτελούνται από δύο μέρη. Το ένα είναι το κόστος λειτουργίας που περιλαμβάνει τις αμοιβές των εργαζομένων και τα κεφάλαια που έχουν δαπανηθεί για την ενέργεια, τα προϊόντα και τις υπηρεσίες για τη λειτουργία του συστήματος ενέργειας. Το άλλο είναι το κόστος συντήρησης το οποίο στοχεύει να επιμηκύνει τη ζωή του συστήματος και να αποφύγει βλάβες που θα το οδηγήσουν σε μη διαθεσιμότητα. Τα κεφάλαια που δαπανώνται για τη συντήρηση είναι λιγότερα από την οικονομική ζημία που μπορεί να προκαλέσει η βλάβη ενός συστήματος και αυξάνει τους δείκτες αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος. Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης χωρίζονται

επίσης σε δύο υποκατηγορίες: στα μεταβλητά και τα αμετάβλητα κόστη. Τα κόστη αυτά αποτελούν ένα επίσης ευρέως χρησιμοποιούμενο οικονομικό κριτήριο. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Στις ΑΠΕ τα κόστη αυτά είναι μικρά σε σχέση με το κόστος επένδυσης. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι στα αιολικά κυμαίνεται περίπου στο 1,5 – 2 % της αρχικής επένδυσης και για τα φωτοβολταϊκά περίπου 1,5 %. Είναι λοιπόν κόστη απαραίτητα για την ομαλή λειτουργία των συστημάτων και σαφώς πολύ μικρότερης ζημίας μιας πιθανής βλάβης όπως για παράδειγμα η καταστροφή του δρομέα μιας ανεμογεννήτριας που θα οδηγούσε σε ανέγερση του συστήματος από την αρχή με απαγορευτικά κόστη.

9. Κόστος καυσίμου

Το κόστος αυτό αναφέρεται στο κεφάλαιο που δαπανάται για την προμήθεια του αναγκαίου ακατέργαστου υλικού (για παράδειγμα το ουράνιο στους πυρηνικούς σταθμούς) για την παροχή του συστήματος ενέργειας. Το κόστος καυσίμου μπορεί να περιλαμβάνει την εξόρυξη ή τη γεώτρηση, τη μεταφορά ή την επεξεργασία καυσίμων. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Στα ΑΠΕ, η ενέργεια προσφέρεται ελεύθερη και χωρίς κόστος από το περιβάλλον άρα δε δαπανώνται κεφάλαια για καύσιμο. Θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε εδώ όμως τα κόστη μεταφοράς του εκάστοτε οργανικού φορτίου που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία της βιομάζας.

10. Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας

Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που είναι το κόστος παραγωγής της ενεργειακής μονάδας, είναι ένα κριτήριο αξιολόγησης από την πλευρά του καταναλωτή. Κυβερνήσεις, επενδυτές, παραγωγοί και καταναλωτές έχουν διαφορετικές προσδοκίες ως προς το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό είναι απαραίτητο να αξιολογείται ορθολογικά το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας του εκάστοτε ενεργειακού συστήματος. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Για παράδειγμα, η τιμή πώλησης της ενέργειας από φωτοβολταϊκά κυμαίνεται από 0,32 έως 0,55 ευρώ / kWh (ΚΥΑ, 2009) ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης των πάνελ. Συνεπώς ο επενδυτής θα πρέπει να διαλέξει επίσης και την τεχνολογία που θα του αποφέρει περισσότερα κέρδη από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.

11. Καθαρή παρούσα αξία – ΚΠΑ (Net Present Value – NPV)

Η ΚΠΑ είναι το άθροισμα όλων των χρηματοροών που αφορούν στην επένδυση, ανηγμένες σε παρούσα αξία. Η παρούσα αξία μιας μελλοντικής χρηματοροής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$PV_t = \frac{X_t}{(1+i)^t}$$

Όπου:

X_t η χρηματοροή της περιόδου t και i το επιτόκιο αναγωγής.

Η καθαρή παρούσα αξία ορίζεται ως:

$$NPV = \sum_{t=1}^n PV_t - C + \frac{S}{(1+i)^n}$$

Όπου :

PV_t η παρούσα αξία χρηματοροής της περιόδου t , n το σύνολο των περιόδων που διαρκεί η επένδυση, C η αρχική επένδυση και S η εναπομένουσα αξία στο τέλος της επένδυσης. (Κηρυτόπουλος, 2007)

- Σε περίπτωση που η παρούσα αξία των αναμενόμενων ταμειακών ροών από την επένδυση σήμερα είναι πιο υψηλή από το απαιτούμενο κόστος της επένδυσης, δηλαδή η $KPA > 0$, η επένδυση γίνεται αποδεκτή.
- Σε περίπτωση που η $KPA = 0$, ο επενδυτής πρέπει να είναι αδιάφορος με βάση αυτή το κριτήριο επιλογής.
- Σε περίπτωση που η $KPA < 0$, η επένδυση δεν πρέπει να γίνει αποδεκτή.

Η ΚΠΑ είναι μια σταθερή μέθοδος που χρησιμοποιεί τη χρονική αξία του χρήματος και αποτιμά τον μακροπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό. Εφαρμόζεται για να κρίνει την επιτευξιμότητα μιας επένδυσης.

12. Περίοδος αποπληρωμής

Η περίοδος αποπληρωμής είναι το χρονικό διάστημα που απαιτείται για να ανακτήσουμε το κόστος μιας επένδυσης.

Υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Περίοδος αποπληρωμής} = \frac{\text{ευρώ που επενδύθηκαν}}{\text{ευρώ που επιστρέφονται ετησίως (καθαρό κέρδος)}}$$

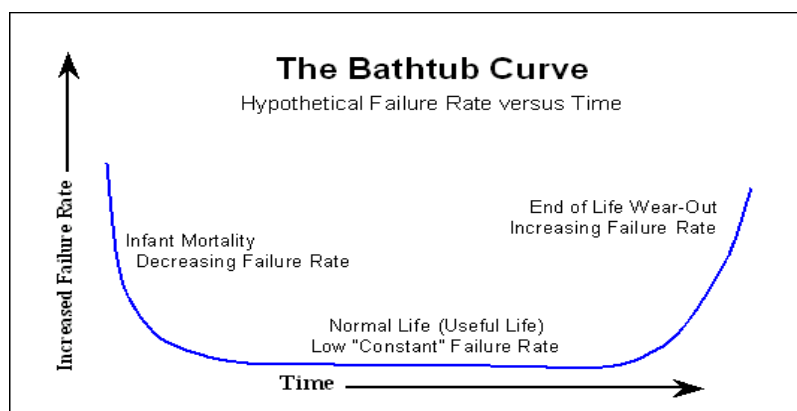
Η μέθοδος αυτή όμως παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα:

- Αγνοεί τη χρονική αξία των χρημάτων
- Αγνοεί τις ροές χρημάτων μετά την ανάκτηση της αρχικής επένδυσης

Παρόλο που είναι πρωταρχικά ένας οικονομικός όρος, η ιδέα της περιόδου αποπληρωμής επεκτείνεται σε *περίοδο αποπληρωμής ενέργειας* (η περίοδος χρόνου κατά την οποία η εξοικονόμηση ενέργειας ενός έργου είναι ίση με το ποσό ενέργειας που δαπανήθηκε από την έναρξη του έργου). (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

13. Διάρκεια ζωής έργου

Η διάρκεια ζωής ενός ενεργειακού συστήματος είναι η αναμενόμενη αντοχή του στο χρόνο ή η επιτρεπτή περίοδος λειτουργίας του. Γενικά, ένα ενεργειακό σύστημα ακολουθεί την καμπύλη bathtub όπως φαίνεται παρακάτω: Μετά την εγκατάσταση υπάρχει μια υπολογίσιμη πιθανότητα βλάβης. Στη συνέχεια ακολουθεί μια περίοδος χωρίς βλάβες ανάλογη της προσδοκώμενης διάρκειας ζωής και στο τέλος της ζωής του η πιθανότητα βλάβης αυξάνεται πάλι. Σε αντίθεση με την περίοδο αποπληρωμής, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής είναι προτιμότερη για τον επενδυτή και βοηθά στην επιλογή της καλύτερης εναλλακτικής.



Η καμπύλη bathtub δείχνει τη διάρκεια ζωής του συστήματος (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Σύμφωνα με τον οδηγό αξιολόγησης αιτήσεων της ΡΑΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ η οικονομική διάρκεια ζωής μιας επένδυσης λαμβάνεται ίση με 20 έτη. (ΡΑΕ, 2006)

14. Ισοδύναμο ετήσιο κόστος (Equivalent annual cost – EAC)

Σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. κατά την αξιολόγηση ενός σχεδίου αγοράς ενός μηχανήματος για να εκτελέσει μια συγκεκριμένη εργασία σε σχέση με την ανάθεση της εργασίας σε εργολάβο) είναι χρήσιμη η εφαρμογή του κριτηρίου του ομοιόμορφου ισοδύναμου ετήσιου κόστους (uniform annual equivalent cost). Το κριτήριο αυτό χρησιμοποιείται επικουρικά στην αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων, με τη λογική ότι το χαμηλό κόστος λειτουργίας είναι ένα από τα κλειδιά της επιτυχίας ενός προσοδοφόρου επενδυτικού σχεδίου. Επιπλέον, αξιοποιήθηκε ως κριτήριο με δεδομένο ότι κόστος χαμηλότερο από το μέσο κόστος των ανταγωνιστών, σημαίνει υψηλότερα ποσοστά βιωσιμότητας της επένδυσης σε περιόδους κρίσης της αγοράς (λόγω μείωσης των τιμών ή της ζήτησης).

Για την εφαρμογή του κριτηρίου απαιτείται η αναγωγή όλων των σταθερών και μεταβλητών δαπανών, συμπεριλαμβανομένων των επενδυτικών, σε ετήσια βάση. Εάν υπάρχουν οφέλη, τα οποία διαφοροποιούνται στα δύο σχέδια τότε αυτά συνυπολογίζονται ως «κόστη» προσημασμένα αρνητικά. (Τσώλας, 2002)

15. Επιδοτήσεις και επιχορηγήσεις

Είναι σαφές πως κάποια κρατική ή ευρωπαϊκή επιδότηση ενισχύει την επένδυση σε ΑΠΕ. Δύο τέτοια χαρακτηριστικά παραδείγματα στην Ελλάδα είναι ο Αναπτυξιακός νόμος του 2004 και το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας / Γ' ΚΠΣ του 2006:

Ο Αναπτυξιακός νόμος είναι ένα οικονομικό εργαλείο-ομπρέλα, που καλύπτει όλες τις ιδιωτικές επενδύσεις στην Ελλάδα, σε όλους τους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας. Έχει έναν ισχυρό περιφερειακό χαρακτήρα, το δε επίπεδο δημόσιας υποστήριξης εξαρτάται καθοριστικά από τη γεωγραφική περιοχή, στην οποία η δεδομένη ιδιωτική επένδυση προγραμματίζεται να υλοποιηθεί. Περιοχές με υψηλά ποσοστά ανεργίας και χαμηλό κατά κεφαλήν εισόδημα λαμβάνουν την υψηλότερη κρατική επιχορήγηση ανά επένδυση. Σε ευνοϊκή θέση βάσει του νόμου 3299/04, βρίσκονται επενδύσεις για εγκαταστάσεις ΑΠΕ (που παράγουν συγχρόνως ηλεκτρική ενέργεια - και θερμότητα), παρόμοια και άλλες επιλεγμένες κατηγορίες επενδύσεων, όπως επενδύσεις υψηλής τεχνολογίας, προστασίας του περιβάλλοντος, τουρισμός, κ.λ.π.. Πιο συγκεκριμένα, οι κύριες

επιχορηγήσεις από το νόμο 3299/04, σχετικά με τη δημόσια ενίσχυση για επενδύσεις ΑΠΕ είναι οι ακόλουθες:

- 35% χορηγείται στο συνολικό επιλέξιμο κόστος επένδυσης ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένου του κόστους σύνδεσης με το δίκτυο). Το ποσοστό επιχορήγησης είναι 40% στη Θράκη και στη συνοριακή ζώνη (20 χλμ) της ανατολικών Μακεδονίας και της Ηπείρου, ενώ είναι 30% στα νομαρχιακά διαμερίσματα Αττικής και Θεσσαλονίκης.
- Εναλλακτικά, παρέχεται φοροαπαλλαγή 100% στο συνολικό επιλέξιμο κόστος επένδυσης από ΑΠΕ για περίοδο δέκα ετών.
- Το επί τις (%) ποσοστό της δημόσιας επιχορήγησης αυξάνεται κατά 5 έως 15 ποσοστιαίες μονάδες (επιδότηση) στις ακόλουθες περιπτώσεις:

i) Νέες επιχειρήσεις (< 1 έτος): επιδότηση 5%

ii) Μικρές & μέσου μεγέθους επιχειρήσεις: 5-15% επιδότηση (ΜΜΕ στις παραμεθόριες περιοχές χαμηλού ΑΕΠ λαμβάνουν τη μέγιστη επιδότηση)

Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις, το γενικό επίπεδο δημόσιας επιχορήγησης δεν μπορεί να υπερβεί 55%.

- Το ποσοστό επιχορήγησης ή της φορολογικής απαλλαγής είναι ανεξάρτητο από την τεχνολογία ΑΠΕ (αιολικά, βιομάζα, μικρά υδροηλεκτρικά, κ.λ.π.)
- Απαιτούμενα ίδια κεφάλαια: 25% (min) του συνολικού κόστους επένδυσης.
- Απαιτούμενο ελάχιστο κόστος επένδυσης: 100,000-500,000 Ευρώ (ανάλογα με το μέγεθος της επιχείρησης)
- Μέγιστος ύψος επιχορήγησης: 20 εκατομμύρια Ευρώ (σωρευτικά για 5 έτη)
- Απαιτείται Άδεια Εγκατάστασης με την αίτηση έργου (πρόταση επιχορήγησης)

Προτάσεις ιδιωτικών επενδύσεων μπορούν να υποβληθούν στο Αναπτυξιακό Νόμο οποιαδήποτε στιγμή και αξιολογούνται ανάλογα με την πληρότητα των απαιτούμενων κριτηρίων επιλογής, δηλαδή, ανεξάρτητα από άλλες υποβληθείσες προτάσεις. Ο νόμος 3299/04 δεν έχει συνολικό ανώτατο όριο προϋπολογισμού, κατά συνέπεια (θεωρητικά) κανένα όριο στον αριθμό και τον προϋπολογισμό των προτάσεων που μπορούν να χρηματοδοτηθούν.

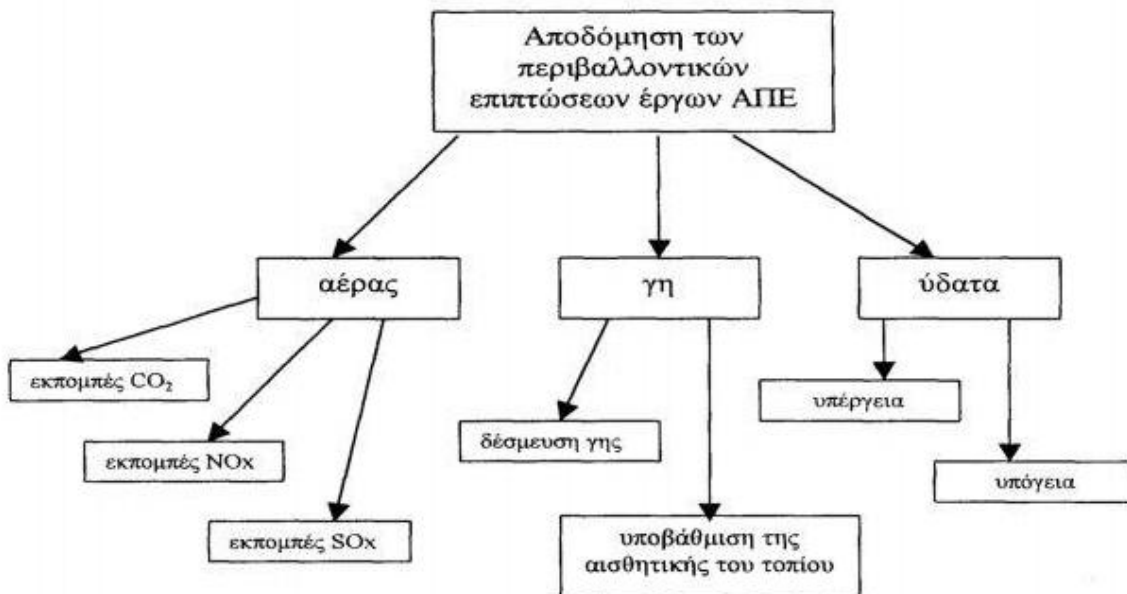
Το Μέτρο 2.1 του υποπρογράμματος 2 του Εθνικού Επιχειρησιακού Προγράμματος Ανταγωνιστικότητας (ΕΠΑΝ) / Γ' ΚΠΣ(2000-2006) είναι εξολοκλήρου εστιασμένο στη παροχή δημόσιας ενίσχυσης (επιχορήγησης) σε ιδιωτικές επενδύσεις που αφορούν: α) τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), β) την ορθολογική χρήση ενέργειας (ΟΧΕ) και γ) τη μικρής κλίμακας (<50 MW_e) Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ). Ο συνολικός προϋπολογισμός του Μέρους 2.1, για την περίοδο 2000-2006 του Γ' ΚΠΣ, είναι 1.07 δις Ευρώ, εκ των οποίων το 35,6% ή

382 εκ. Ευρώ είναι η διαθέσιμη δημόσια ενίσχυση για επενδύσεις σε ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΣΗΘ. Περίπου τα 2/3 της συνολικής διαθέσιμης ενίσχυσης (~ 260 εκ. Ευρώ) προβλέπεται να αποδοθούν συγκεκριμένα σε επενδυτικά έργα για ΑΠΕ (κυρίως αιολικά πάρκα).

Οι κύριες παροχές του Μέτρου 2.1 του ΕΠΑΝ, που αφορούν την δημόσια χρηματοδότηση για επενδύσεις ΑΠΕ, είναι οι ακόλουθες :

- Η δημόσια ενίσχυση (επιχορήγηση) στη συνολική επιλέξιμη δαπάνη των επενδύσεων για ΑΠΕ :
 1. Αιολικά πάρκα, θερμικά ηλιακά συστήματα : 30%
 2. Μικρά υδροηλεκτρικά, βιομάζα, γεωθερμία, θερμικά ηλιακά συστήματα υψηλής τεχνολογίας, παθητικά ηλιακά : 40%
 3. Φωτοβολταϊκά : 40-50%
- Το ποσοστό της ενίσχυσης επί τις (%) είναι ανεξάρτητο από τη γεωγραφική περιοχή της χώρας, εξαιρουμένων των φωτοβολταϊκών.
- Απαιτούμενη ίδια συμμετοχή : 30% (ελάχιστο) στο συνολικό προϋπολογισμό της επένδυσης
- Ελάχιστο απαιτούμενο κόστος επένδυσης : 44.000 Ευρώ
- Μέγιστο επιχορηγούμενο επενδυτικό κόστος : 44 εκ. Ευρώ
- Απαιτείται άδεια εγκατάστασης για την υποβολή πρότασης επένδυσης (πρόταση επιχορήγησης) (ΚΑΠΕ, Οικονομικοί Μηχανισμοί Υποστήριξης των ΑΠΕ στην Ελλάδα: Οδηγίες για τους επενδυτές, 2005)

4.1.3 Περιβαλλοντικά κριτήρια



16. Εκπομπές σωματιδίων

Παρ' όλο που οι ΑΠΕ αξιοποιούν «καθαρές» μορφές ενέργειας, η κατασκευή φωτοβολταϊκών πλαισίων η επεξεργασία της βιομάζας ενέχουν περιβαλλοντικό κίνδυνο. Οι εκπομπές σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ένα από τα κύρια προβλήματα των συστημάτων ενέργειας και θέλουμε να το εξαλείψουμε με τις ΑΠΕ. Κατά την καύση λοιπόν της βιομάζας ή την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυττάρων εκπέμπονται σωματίδια. Τα σωματίδια αυτά δημιουργούνται στην ατμόσφαιρα από την μετατροπή των εκπομπών διοξειδίου του θείου SO_2 και οξειδίων του αζώτου NO_x (NO και NO_2) και προκαλούν θαμπή ατμόσφαιρα μειώνοντας την ορατότητα. Το SO_2 μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό του αναπνευστικού συστήματος, ερεθισμούς στο δέρμα και εκζέματα, καθώς και αύξηση θνησιμότητας των ηλικιωμένων κατά τα επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης με SO_2 . Τα Οξειδία του αζώτου (NO_x) αποτελούν τον κύριο ρύπο της όξινης βροχής. Προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα στους ασθματικούς και στα παιδιά, ενώ επηρεάζουν και τη βλάστηση. Το ρίσκο για τους ανθρώπους εξαρτάται από το μέγεθος, τη διανομή, τη συγκέντρωση, τη μικροδομή και τη χημική σύσταση των σωματιδίων που απελευθερώνονται. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

17. Διαταραχή οικοσυστήματος

Ο εκάστοτε αποφασίζων θα πρέπει να έχει κατά νου ότι το έργο δεν θα πρέπει να αλλοιώνει το οικοσύστημα ή αν γίνεται να γίνεται στο ελάχιστο δυνατό. Για παράδειγμα, η κατασκευή ενός φράγματος, μπορεί να προκαλέσει μετακινήσεις ή και μείωση του πληθυσμού της πανίδας όπως για παράδειγμα τα ψάρια που ενδεχομένως να παγιδεύονται κοντά στους ταμιευτήρες. Ένα αιολικό πάρκο επίσης μπορεί να απομακρύνει τα πτηνά της περιοχής ή για την κατασκευή ενός οποιουδήποτε ΑΠΕ να χρειάζεται να κοπούν δέντρα για την κατασκευή του. Οι εκσκαφές, η δημιουργία τούνελ και όλες οι διαδικασίες κατασκευής αποσταθεροποιούν τη χλωρίδα και την πανίδα. Γι αυτό η επιλογή τοποθεσίας θα πρέπει να γίνεται με σύνεση και μετά από εκτεταμένη μελέτη της γύρω περιοχής. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

18. Τοποθεσία και χρήση γης

Κάθε ενεργειακό σύστημα απασχολεί κάποιο κομμάτι γης το οποίο είναι πολύ σημαντικό για την αξιολόγησή του συστήματος. Κάθε ενεργειακό σύστημα απαιτεί και διαφορετικό μέγεθος γης και κυρίως οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας βιομάζας και βιοκαυσίμων απαιτούν το μεγαλύτερο κομμάτι γης. (Jiang-Jiang Wang *, 2009) Το τοπίο επηρεάζεται άμεσα από τη γη που καταλαμβάνεται. Η χρήση της γης μπορεί επίσης να αποτελέσει και κοινωνικό κριτήριο αξιολόγησης ενός συστήματος. Το σημείο αυτό θα πρέπει να είναι κατάλληλο και αποδοτικό για κάθε ΑΠΕ: Για τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να είναι ψηλό σημείο με καλό άνεμο όλες τις εποχές του χρόνου. Από την άλλη, τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να βρίσκονται σε σημείο με καλή ηλιοφάνεια και χωρίς σκιάσεις (για να μην έχουμε ανάστροφη πόλωση) όλη τη διάρκεια λειτουργίας τους ενώ οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί θα πρέπει να κατασκευαστούν σε σημείο όπου επιτρέπει μορφολογικά την κατασκευή. Συνεπώς η επιλογή της τοποθεσίας είναι ζωτικής σημασίας απόφαση για τον επενδυτή.

19. Ηχορύπανση

Η ηχορύπανση είναι ένας ανεπιθύμητος ήχος δημιουργούμενος από τις μηχανές στα σημεία παραγωγής ενέργειας που διαταράσσει τη δραστηριότητα ή την ισορροπία την ανθρώπινης ή της ζωικής φύσης. Μπορεί να δημιουργείται από τις γεννήτριες στα αιολικά πάρκα, τους μετασχηματιστές και γενικά οποιαδήποτε δραστηριότητα στα σημεία παραγωγής. Δεν οδηγεί μόνο σε περιβαλλοντικές διαταραχές αλλά επίσης και σε προβλήματα στην σωματική και ψυχική υγεία των ανθρώπων. Ειδικά, η χρόνια έκθεση στην ηχορύπανση στον εργασιακό χώρο μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε απώλεια ακοής. Εκτός από περιβαλλοντικό κριτήριο λοιπόν μπορεί να είναι και ένα σημαντικό κοινωνικό κριτήριο αξιολόγησης ενεργειακών συστημάτων.

Ας πάρουμε το παράδειγμα του θορύβου των ανεμογεννητριών. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του: δηλαδή μηχανικός και αεροδυναμικός.

- Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.)
- Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του .

Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 μέτρων, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.

4.1.4 Κοινωνικά κριτήρια

20. Κοινωνική αποδοχή

Τα κοινωνικά κριτήρια αποτέλεσαν τα σημαντικότερα κριτήρια την τελευταία δεκαετία στο θέμα των ενεργειακών συστημάτων. Η κοινωνική αποδοχή εκφράζει τη σύνοψη των γνώμων συσχετιζόμενων με τα ενεργειακά συστήματα και την υποτιθέμενη πραγματοποίηση των έργων αυτών από την

πλευρά του καταναλωτή. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί η γνώμη του πληθυσμού και των οργανώσεων μπορεί να επηρεάσει πολύ το ποσό χρόνου που χρειάζεται ένα έργο για να ολοκληρωθεί. Η κοινωνική αποδοχή δεν εκφράζεται ως ένα μετρήσιμο μέγεθος. Δεν είναι ένα ποσοτικό κριτήριο αλλά ποιοτικό. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των εναλλακτικών δράσεων μπορούν να αποκτηθούν σύμφωνα με τα αποτελέσματα έρευνας που θα λάβει χώρα στην τοπική κοινότητα ή πόλη.

Μετά από έρευνα του ΚΑΠΕ το 2005 για την κοινωνική αποδοχή επισημάνθηκαν τα παρακάτω σημεία:

- Γενικά οι άνθρωποι έχουν μια θετική αντιμετώπιση για την εφαρμογή εξοικονόμησης ενέργειας (ΕΕ) και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) σε ατομικό επίπεδο, αλλά θεωρούν ότι δεν έχουν αρκετή πληροφόρηση.
- Σημαντικό εμπόδιο θεωρείται το κόστος των τεχνολογιών και υπάρχει ελάχιστη διάκριση μεταξύ τεχνολογιών χαμηλού και υψηλού κόστους στην κοινή γνώμη.
- Οι θεωρούμενες ως πιο σημαντικές εφαρμογές είναι οι τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας και οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα κτήρια.
- Ενώ οι περισσότεροι άνθρωποι είναι διατεθειμένοι να εφαρμόσουν τεχνικές ΑΠΕ στην κατοικία τους, είναι ιδιαίτερα διστακτικοί στο να κάνουν το ίδιο στο χώρο εργασίας τους.
- Φαίνεται ότι ο κόσμος περιμένει αρκετές παρεμβάσεις από το Κράτος και παράλληλη ενημέρωση από τα ΜΜΕ, ενώ προσδοκά λιγότερα πράγματα σε επίπεδο συλλογικό ή τοπικό.

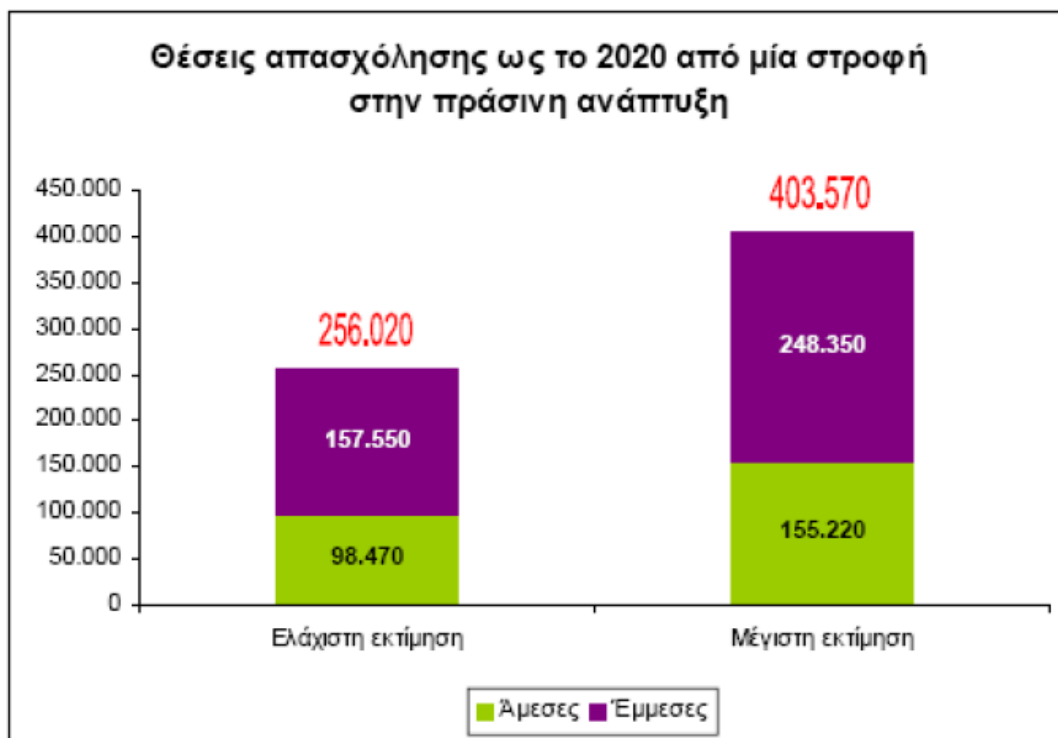
Η ευαισθητοποίηση των τοπικών κοινωνιών είναι ιδιαίτερα σημαντική και μπορεί να ενισχυθεί από το ενδιαφέρον πολλών ιδιωτικών φορέων της τοπικής αγοράς καθώς και από τη δράση μη κυβερνητικών οργανώσεων, αλλά απαιτείται μεγαλύτερη ενημέρωση της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, η οποία θα πρέπει να προχωρήσει όχι μόνο στην ενημέρωση των πολιτών, αλλά και σε πιλοτικές εφαρμογές.

Μια άλλη κατηγορία κοινού με καθοριστικό ρόλο είναι οι επαγγελματίες, οι οποίοι είτε άμεσα είτε έμμεσα μπορούν να εφαρμόσουν τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας. Σε αυτούς θα πρέπει να προσανατολιστούν δράσεις ενημέρωσης σχετικά με τεχνολογικά, θεσμικά και οικονομικά θέματα. Τέλος, η ένταξη του θέματος των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας στα σχολεία μπορεί να δώσει σημαντική ώθηση στα θέματα αποδοχής του κοινού, όπως και έχει καταδειχθεί από την ανταπόκριση των μαθητών κατόπιν σύντομης ενημέρωσης για τα θέματα αυτά. (Τζανακάκη Ε., 2005)

21. Δημιουργία θέσεων εργασίας

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας απασχολούν πολλούς εργαζόμενους κατά τον κύκλο ζωής τους, από την κατασκευή και τη λειτουργία έως και την παύση τους και γι αυτό το λόγο βρίσκονται σε άμεση σύνδεση με τις τοπικές κοινωνίες. Οι κοινωνίες αυτές βασίζουν την ανάπτυξη και την ευημερία τους στα συστήματα αυτά για πολλές δεκαετίες. Η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι ευεργετική στο να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Στη διαδικασία λήψης αποφάσεων των τοπικών κυβερνήσεων, η δημιουργία θέσεων εργασίας είναι πολύ σημαντικό κριτήριο και αξιολογεί στην ουσία τις συνεισφορές της τοπικής αυτοδιοίκησης. (Jiang-Jiang Wang *, 2009)

Χαρακτηριστικά, παραθέτουμε τις προβλέψεις αύξησης θέσεων εργασίας στην Ελλάδα σε μια υποθετική στροφή στην «πράσινη» ενέργεια:



22. Κοινωνικά οφέλη

Τα κοινωνικά οφέλη ήταν αδιαμφισβήτητα το πιο σημαντικό κριτήριο στη ζωή των ανθρώπων τις τελευταίες δεκαετίες. Το κριτήριο αυτό εκφράζει την κοινωνική πρόοδο που συντελείται στις κοινωνίες που εισάγεται ένα ενεργειακό έργο, ειδικά σε λιγότερα ανεπτυγμένες. Το κοινωνικό όφελος είναι και αυτό ένα ποιοτικό κριτήριο και δεν μπορεί να είναι μετρήσιμο μέγεθος. Αυτό το κριτήριο είναι ανακεφαλαιωτικό αλλά κάποια στοιχεία το ξεχωρίζουν όπως η βελτίωση της κοινωνικής ζωής και η αύξηση του εισοδήματος. Τα κοινωνικά οφέλη χρησιμοποιήθηκαν άμεσα στο να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων σε τέτοια θέματα.

4.2 Μέθοδοι αξιολόγησης των κριτηρίων στον ενεργειακό σχεδιασμό

4.2.1 Σύγκριση μεθόδων

Η ανάγκη για αυστηρές και αντικειμενικές κρίσεις και το να επιτρέπεται στον ερευνητή να εξετάσει εκείνα τα στοιχεία των μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης που θεωρούνται σημαντικά για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση έργων και επενδύσεων ΑΠΕ οδήγησε σε μια προσπάθεια συνολικής συγκριτικής αξιολόγησης των μεθοδολογιών στα πλαίσια της λήψης αποφάσεων ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Παρατίθεται παρακάτω ένας πίνακας ο οποίος παρουσιάζει τις μεθοδολογίες πολυκριτηριακής ανάλυσης που εμφανίζονται στη βιβλιογραφία ως επικρατέστερες για τη λήψη των αποφάσεων σε ενεργειακά και περιβαλλοντικά ζητήματα όπως οι ΑΠΕ και η αξιολόγησή τους σύμφωνα με μια σειρά παραμέτρων. Η κλίμακα +++ / --- είναι ποιοτική από τη φύση της (το +++ είναι περισσότερο επιθυμητό από το + και το --- είναι λιγότερο επιθυμητό από το -) σύμφωνα με τον Ηρακλή Πολατίδη.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα, η μέθοδος ELECTRE III, η PROMETHEE II, η NAIADE και η FLAG φαίνεται να επικρατούν έναντι των υπολοίπων καθώς συγκεντρώνουν τα περισσότερα «+» και τα λιγότερα «-» κατά τη συγκριτική αξιολόγηση των τεχνικών. Ωστόσο η τελική επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου για κάθε ξεχωριστό πρόβλημα λήψης απόφασης εξαρτάται από τη φύση του ίδιου του προβλήματος και από τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση, η αυστηρή δόμηση της διαδικασίας αξιολόγησης διασφαλίζει τη συνοχή των μεθόδων εκτίμησης με το πραγματικό πρόβλημα προς αντιμετώπιση. Όμως παρ' όλη την ανάπτυξη πλήθους τεχνικών πολυκριτηριακής ανάλυσης καμία δεν θεωρείται η ισχυρότερη για όλες τις κατηγορίες προβλημάτων απόφασης. Υπάρχουν δηλαδή πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που συνδέονται με την κάθε μέθοδο και γι' αυτό απαιτείται προσοχή και σωστή κρίση πριν από την επιλογή μιας ή άλλης τεχνικής. Έτσι για το ίδιο πρόβλημα, διαφορετικές μέθοδοι καταλήγουν σε διαφορετικές προτάσεις. Το γεγονός αυτό δεν πρέπει να αντιμετωπιστεί ως εγγενές μειονέκτημα των μεθοδολογιών πολυκριτηριακής ανάλυσης, αλλά αντίθετα ως ένα χαρακτηριστικό που προβάλλει τη δυνατότητα των τεχνικών αυτών να προσαρμόζονται και να αναδεικνύουν τις διαφορετικές αξίες των συμμετεχόντων.

Εδώ θεωρείται πως οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης που βασίζονται στη δημιουργία σχέσεων υπεροχής μεταξύ των εναλλακτικών προτάσεων (οικογένειες ELECTRE και PROMETHEE και ειδικά η ELECTRE III και η PROMETHEE II) είναι μακράν οι πλέον κατάλληλες για την αντιμετώπιση ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων (κατ' επέκταση και προβλημάτων ΑΠΕ), καθώς:

- Θεωρούν το βάρος του κάθε κριτηρίου ως το βαθμό σημαντικότητάς του και όχι ως το ρυθμό αντικατάστασης με κάποιο άλλο κριτήριο.
- Δύνανται να ενσωματώσουν λειτουργικά την έννοια της *ισχυρούς αειφορίας*, καθώς περιορίζουν την αντιστάθμιση μεταξύ των κριτηρίων.
- Χειρίζονται ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα.
- Υποστηρίζουν μεγάλο αριθμό αποφασιζόντων.
- Αντιμετωπίζουν την ατέλεια των δεδομένων μέσω της απλής και συνεπούς προσέγγισης του προσδιορισμού των ορίων αδιαφορίας και προτίμησης.
- Επιβάλλουν καθεστώς ασθενούς συγκρισιμότητας μεταξύ των εναλλακτικών σεναρίων καταλήγοντας στη μερική κατάταξή τους (η γενική περίπτωση), ενώ παράλληλα επιτρέπουν σε μεμονωμένα ζεύγη δράσεων να παραμένουν μη συγκρίσιμα μεταξύ τους, όταν η διαθέσιμη πληροφορία δεν επαρκεί για την ακριβή κατάταξή τους.

Οι μέθοδοι ELECTRE III και PROMETHEE II παρουσιάζονται στην επόμενη υποενότητα.
(Πολατίδης, 2003)

Πλαίσιο ενεργειακών και περιβαλλοντικών προβλημάτων: Συγκριτική αξιολόγηση των μεθόδων ΠΑ

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	Μοντελοποίηση της προτίμησης	Διαδικασία συνάθροισης των κριτηρίων – δυνατότητα αντιστάθμισης	Θεωρητικά και τεχνικά γνωρίσματα	Πρακτικές θεωρήσεις – επιπλέον κριτήρια	Αντιμετώπιση της αβεβαιότητας	Ασθενής συγκρισιμότητα - αδυναμία επίτευξης κοινού μέτρου σύγκρισης
		Βάρη ως ρυθμοί ανταλλαξιμότητας. Βάρη ως συντελεστές σημαντικότητας	Ασθενής - Ισχυρή αειφορία.	Ικανότητα χειρισμού των δεδομένων. Αλληλεπίδραση της μεθόδου με τον χρήστη. Δυνατότητα ιεράρχησης των κριτηρίων – εναλλακτικών.	Ευκολία χρήσης. Αριθμός παραμέτρων προς εκτίμηση. Ερμηνεία των παραμέτρων. Υποστήριξη μεγάλου αριθμού DMs. Υποστήριξη μεγάλου αριθμού εναλλακτικών – κριτηρίων. Δέσμευση χρόνου και δυναμικού. Σταθερότητα των αποτελεσμάτων.	Κατανομές πιθανότητας. Ασαφή σύνολα. Όρια τιμών.
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑ						
MAUT	--	--	++	++	+	--
ELECTRE I	+++	+	+	++	-	+
ELECTRE II	+	++	+	+	+	++
ELECTRE III	+	++	+	++	++	++
ELECTRE IV	-	++	+	+++	+	+
ELECTRE TRI	+	++	+	++	+	+
PROMETHEE I	+	+	+	++	++	+
PROMETHEE II	+	+	+	+++	+	+
REGIME	+	+	+	++	++	+++
GOAL PROGR.	-	-	+	++	+	+
AHP	--	-	++	+	+	-
NAIADE	-	+	+	++	+++	+++
FLAG	-	++	+	+++	+	++
SMAA	-	-	++	++	+	-
SMART	--	-	+	++	+	-
LEXICOGRAPHIC	-	-	++	+++	-	-

4.2.2 Electre III

Στην Electre III στόχος της ανάλυσης είναι η κατάταξη των εναλλακτικών από τις καλύτερες προς τις χειρότερες.

Ανάπτυξη της σχέσης υπεροχής

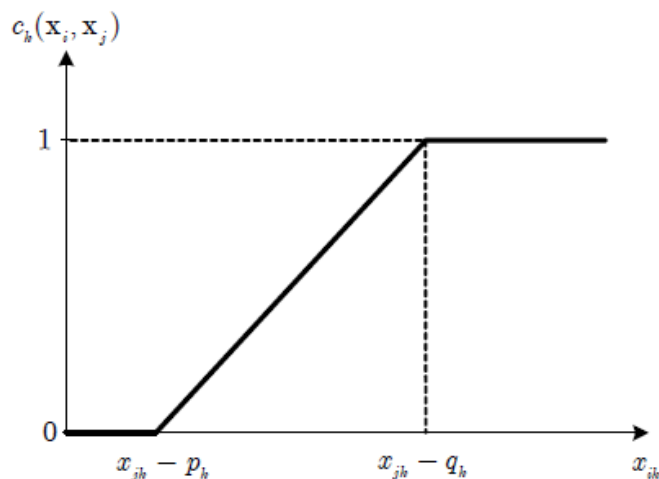
Στη μέθοδο ELECTRE III η ανάπτυξη της σχέσης υπεροχής βασίζεται στους ελέγχους συμφωνίας και ασυμφωνίας. Δεδομένου ενός ζεύγους εναλλακτικών x_i και x_j , στόχος του ελέγχου συμφωνίας είναι η αξιολόγηση των ενδείξεων που υποστηρίζουν τον ισχυρισμό «η εναλλακτική x_i είναι τουλάχιστον εξίσου καλή με την εναλλακτική x_j ». Περιπτώσεις όπου $x_{ik} - x_{jk} \geq 0$ (η επίδοση x_{ik} της x_i στο κριτήριο x_k είναι τουλάχιστον ίση με την επίδοση x_{jk} της x_j στο ίδιο κριτήριο) θεωρείται ότι υποστηρίζουν τον παραπάνω ισχυρισμό (είναι σε συμφωνία με τον ισχυρισμό). Για το σκοπό αυτό ελέγχονται οι επιδόσεις των δύο εναλλακτικών στα επιμέρους κριτήρια αξιολόγησης και υπολογίζεται ο δείκτης συμφωνίας (concordance index) ως εξής:

$$C(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n w_k c_k(x_i, x_j)$$

Στον υπολογισμό του δείκτη συμφωνίας ως w_k συμβολίζεται το βάρος του κριτηρίου x_k . Τα βάρη των κριτηρίων θεωρούνται ως θετικοί πραγματικοί αριθμοί έτσι ώστε $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$. Σε αντίθεση με την πολυκριτήρια θεωρία χρησιμότητας, στη θεωρία των σχέσεων υπεροχής τα βάρη των κριτηρίων δεν υποδηλώνουν βαθμούς παραχώρησης. Τα βάρη στην περίπτωση αυτή ουσιαστικά υποδηλώνουν την ισχύ κάθε κριτηρίου σε μια διαδικασία «ψηφοφορίας» μεταξύ των κριτηρίων. Για παράδειγμα, εάν όλα τα κριτήρια είναι ισοβαρή, τότε ένας δείκτης συμφωνίας $(x_i, x_j) = 0.6$ υποδηλώνει ότι το 60% των κριτηρίων υποστηρίζει την υπεροχή της x_i έναντι της x_j . Εάν τα κριτήρια δεν είναι ισοβαρή, το ίδιο αποτέλεσμα υποδεικνύει ότι το 60% των «ψηφών» των κριτηρίων υποστηρίζει την υπεροχή της x_i έναντι της x_j . Οι τιμές του δείκτη συμφωνίας κυμαίνονται στο διάστημα από 0 έως 1. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του δείκτη (κοντά στο 1) τόσο ισχυρότερες ενδείξεις υπάρχουν που υποστηρίζουν την υπεροχή της x_i έναντι της x_j και το αντίθετο. Στον υπολογισμό του δείκτη συμφωνίας C , ως $c_k(x_i, x_j)$ συμβολίζεται ο μερικός δείκτης συμφωνίας για το κριτήριο x_k . Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται ως εξής:

$$c_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & x_{ik} < x_{jk} - p_k \\ \frac{x_{ik} - x_{jk} + p_k}{p_k - q_k} & x_{ik} \in [x_{jk} - p_k, x_{jk} - q_k] \\ 1 & x_{ik} > x_{jk} - q_k \end{cases}$$

Τα p_k και q_k είναι τα κατώφλια προτίμησης και αδιαφορίας για το κριτήριο x_k . Το κατώφλι προτίμησης (preference threshold) αναπαριστά τη διαφορά $x_{jk} - x_{ik}$ κάτω από την οποία δεν ισχύει η πρόταση «η x_i είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η x_j στο κριτήριο x_k ». Αντίστοιχα, το κατώφλι αδιαφορίας (indifference threshold) αναπαριστά την διαφορά $x_{jk} - x_{ik}$ πάνω από την οποία η πρόταση «η x_i είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η x_j στο κριτήριο x_k » ισχύει με απόλυτη βεβαιότητα. Προφανώς, τα δύο αυτά κατώφλια ορίζονται έτσι ώστε $p_k \geq q_k \geq 0$.

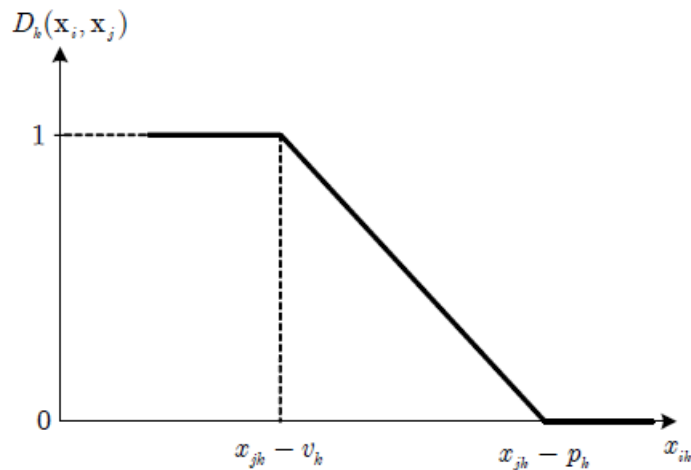


Μερικός δείκτης συμφωνίας στη μέθοδο ELECTRE III

Ο δείκτης ασυμφωνίας κατασκευάζεται για κάθε κριτήριο εισάγοντας ένα κατώφλι veto v_k ως εξής :

$$D_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & x_{ik} > x_{jk} - p_k \\ \frac{x_{jk} - x_{ik} - p_k}{v_k - p_k} & x_{ik} \in [x_{jk} - v_k, x_{jk} - p_k] \\ 1 & x_{ik} < x_{jk} - v_k \end{cases}$$

Το κατώφλι veto ($v_k \geq p_k \geq 0$) αναπαριστά την διαφορά $x_{jk} - x_{ik}$ πάνω από την οποία το κριτήριο x_k θέτει veto στην υπεροχή της x_i έναντι της x_j .



Ο δείκτης ασυμφωνίας στη μέθοδο ELECTRE III

Με την ολοκλήρωση των ελέγχων συμφωνίας και ασυμφωνίας, τα αποτελέσματά τους συνδυάζονται με τον υπολογισμό του δείκτη αξιοπιστίας (credibility index) $\sigma(x_i, x_j)$ ο οποίος αποδίδει ένα συνολικό μέγεθος της υπεροχής της x_i έναντι της x_j . Ο υπολογισμός του δείκτη αξιοπιστίας πραγματοποιείται ως εξής:

$$\sigma(x_i, x_j) = \begin{cases} C(x_i, x_j) & F = \emptyset \\ C(x_i, x_j) \cdot \prod_{x_k \in F} \frac{1 - D_k(x_i, x_j)}{1 - C(x_i, x_j)} & F \neq \emptyset \end{cases}$$

όπου F είναι το σύνολο των κριτηρίων για τα οποία $D_k(x_i, x_j) > C(x_i, x_j)$.

Εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής

Έχοντας αναπτύξει τη σχέση υπεροχής, η εκμετάλλευσή της στα πλαίσια της μεθόδου ELECTRE III πραγματοποιείται με την ανάπτυξη δύο κατατάξεων των εναλλακτικών. Πριν όμως την ανάπτυξη αυτών των κατατάξεων αρχικά αποσαφηνίζεται η σχέση υπεροχής που αναπτύχθηκε. Για το σκοπό αυτό εισάγεται το κατώφλι λ έτσι ώστε εάν $\sigma(x_i, x_j) \geq \lambda$ τότε $x_i S^+ x_j$, διαφορετικά $x_i S^- x_j$ (η x_i δεν είναι τουλάχιστον εξίσου καλή με τη x_j). Με την αποσαφήνιση αυτή της σχέσης υπεροχής, η πρώτη κατάταξη Z_1 αναπτύσσεται με την ακόλουθη διαδικασία:

1. Για κάθε εναλλακτική x_i εντοπίζεται το σύνολο O_i των εναλλακτικών έναντι των οποίων υπερέχει η x_i . Αντίστοιχα προσδιορίζεται το σύνολο O_i' των εναλλακτικών οι οποίες υπερέχουν της x_i .
2. Για κάθε εναλλακτική προσδιορίζεται η διαφορά $Q_i = |O_i| - |O_i'|$, όπου ως i συμβολίζεται το πλήθος των εναλλακτικών σε κάθε σύνολο.

3. Καθορίζεται το σύνολο D_1 με τις εναλλακτικές με την υψηλότερη διαφορά Q .
Εξετάζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

- Εάν $D_1 = 1$ τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία από το βήμα (1) εξαιρώντας όμως τώρα από την ανάλυση την εναλλακτική που εντάχθηκε στο σύνολο D_1 .
- Εάν $|D_1| > 1$ τότε επαναλαμβάνονται τα παραπάνω βήματα εντός του συνόλου D_1 και προσδιορίζεται το υποσύνολο εναλλακτικών του D_1 με την υψηλότερη διαφορά Q (σύνολο D_2). Εάν $|D_2| = 1$ τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία για το σύνολο $D_1 - D_2$, διαφορετικά η διαδικασία επαναλαμβάνεται για το σύνολο D_2 . Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται μέχρι τον πλήρη έλεγχο του D_1 και στη συνέχεια επαναλαμβάνεται για το σύνολο $A - D_1$.

Η δεύτερη κατάταξη Z_2 αναπτύσσεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, με τη διαφορά ότι σε αυτή την περίπτωση, στο βήμα (2) της διαδικασίας εξετάζονται οι εναλλακτικές με την χαμηλότερη διαφορά Q . Η τελική κατάταξη καθορίζεται ως η τομή των δύο κατατάξεων. Ειδικότερα, θεωρώντας δύο εναλλακτικές x_i και x_j , και συμβολίζοντας ως P_1, I_1 τις σχέσεις προτίμησης και αδιαφορίας βάσει της κατάταξης Z_1 και αντίστοιχα ως P_2, I_2 τις σχέσεις προτίμησης και αδιαφορίας βάσει της κατάταξης Z_2 , καθορίζονται οι ακόλουθες σχέσεις στην τελική κατάταξη των εναλλακτικών:

$$x_i P x_j \Leftrightarrow \begin{cases} (x_i P_1 x_i) \wedge (x_i P_2 x_i) \\ (x_i P_1 x_i) \wedge (x_i I_2 x_i) \\ (x_i I_1 x_i) \wedge (x_i P_2 x_i) \end{cases}$$

$$x_i I x_j \Leftrightarrow (x_i I_1 x_i) \wedge (x_i I_2 x_i)$$

$$x_i R x_j \Leftrightarrow \text{διαφορετικά}$$

Παράδειγμα

Έστω ότι μετά την ολοκλήρωση των ελέγχων συμφωνίας και ασυμφωνίας σε ένα πρόβλημα έξι εναλλακτικών με 4 κριτήρια:

	x_1	x_2	x_3	x_4
x_1	-300	3	2	2
x_2	-250	3	1	2
x_3	-250	2	2	2
x_4	-200	2	2	1
x_5	-200	2	1	2
x_6	-100	1	1	1
Βάρη	0.33	0.27	0.20	0.20
Κατώφλια βέτο	150	2	-	-

και δεδομένου ότι τα κατώφλια προτίμησης και αδιαφορίας για τα τέσσερα κριτήρια είναι $p_1 = 70$, $p_2 = p_3 = p_4 = 1$ και $q_1 = 20$, $q_2 = q_3 = q_4 = 1$ καταλήγουμε στον παρακάτω πίνακα που δείχνει τα αποτελέσματα του δείκτη αξιοπιστίας για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων (κατώφλι συμφωνίας το 0,8).

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	1.00	0.80	0.80	0.67	0.67	0.00
X_2	1.00	1.00	1.00	0.80	0.80	0.00
X_3	1.00	1.00	1.00	0.80	0.80	0.00
X_4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67
X_5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67
X_6	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζουμε τα σύνολα O_i^1 και $O_i'^1$ για όλες τις εναλλακτικές (ο δείκτης 1 υποδεικνύει την πρώτη επανάληψη της διαδικασίας κατάταξης):

	O_i^1	$O_i'^1$	Q_i^1
X_1	X_2, X_3	X_2, X_3, X_4, X_5	-2
X_2	X_1, X_3, X_4, X_5	X_1, X_3, X_4, X_5	0
X_3	X_1, X_2, X_4, X_5	X_1, X_2, X_4, X_5, X_6	-1
X_4	X_1, X_2, X_3, X_5	X_2, X_3, X_5, X_6	0
X_5	X_1, X_2, X_3, X_4	X_2, X_3, X_4, X_6	0
X_6	X_3, X_4, X_5	-	3

Από εδώ λαμβάνεται καλύτερη η x_6 και αφαιρώντας τη από τη διαδικασία περνάμε στη 2^η επανάληψη:

	O_i^2	$O_i'^2$	Q_i^2
X_1	X_2, X_3	X_2, X_3, X_4, X_5	-2
X_2	X_1, X_3, X_4, X_5	X_1, X_3, X_4, X_5	0
X_3	X_1, X_2, X_4, X_5	X_1, X_2, X_4, X_5	0
X_4	X_1, X_2, X_3, X_5	X_2, X_3, X_5	1
X_5	X_1, X_2, X_3, X_4	X_2, X_3, X_4	1

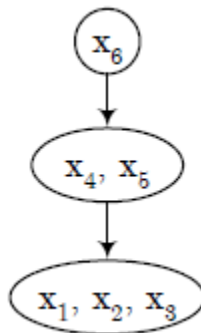
Ως καλύτερες εναλλακτικές εντοπίζονται οι x_4 και x_5 . Η ανάλυση επαναλαμβάνεται θεωρώντας μόνο αυτές τις δύο εναλλακτικές:

	$O_i^{2,1}$	$O_i'^{2,1}$	$Q_i^{2,1}$
x_4	x_5	x_5	0
x_5	x_4	x_4	0

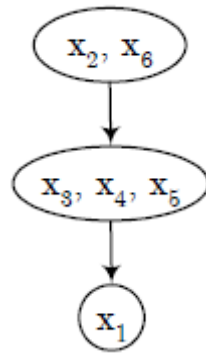
Επομένως οι x_4 και x_5 θεωρούνται ισοδύναμες. Εξαιρώντας τις εναλλακτικές αυτές από την ανάλυση, η διαδικασία προχωρά στην τρίτη επανάληψη:

	O_i^3	$O_i'^3$	Q_i^3
x_1	x_2, x_3	x_2, x_3	0
x_2	x_1, x_3	x_1, x_3	0
x_3	x_1, x_2	x_1, x_2	0

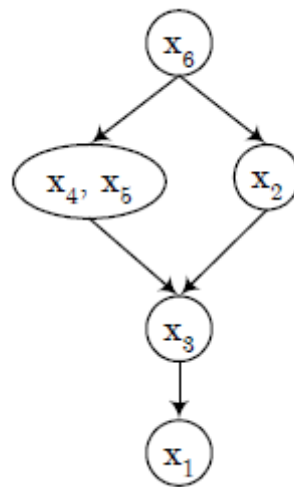
Προφανώς οι x_1, x_2 και x_3 θεωρούνται ισοδύναμες και η κατασκευή της κατάταξης Z_1 ολοκληρώνεται. Η κατάταξη που αναπτύχθηκε αποδίδεται γραφικά ως εξής:



Ανάλογη διαδικασία χρησιμοποιείται και για την ανάπτυξη της κατάταξης Z_2 . Ξεκινώντας από τα αποτελέσματα της πρώτης επανάληψης εντοπίζεται η χειρότερη εναλλακτική (η εναλλακτική με το μικρότερο Q_i^1), η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι η x_1 . Η εναλλακτική αυτή εξαιρείται από την ανάλυση και η διαδικασία προχωρά στη δεύτερη επανάληψη. Ως χειρότερες εναλλακτικές εντοπίζονται οι x_3, x_4 και x_5 . Η ανάλυση επαναλαμβάνεται θεωρώντας μόνο αυτές τις εναλλακτικές. Στη συνέχεια οι x_3, x_4 και x_5 αποδεικνύονται ισοδύναμες. Εξαιρώντας τις εναλλακτικές αυτές από την ανάλυση, η διαδικασία προχωρά στην τρίτη επανάληψη. Τέλος, οι x_2 και x_6 θεωρούνται ισοδύναμες και η κατασκευή της κατάταξης Z_2 ολοκληρώνεται. Η κατάταξη που αναπτύχθηκε αποδίδεται γραφικά ως εξής:



Συνδυάζοντας τις κατατάξεις Z_1 και Z_2 διαμορφώνεται η τελική κατάταξη Z η οποία αποδίδεται γραφικά ως εξής:



4.2.3 Promethée II

Οι μέθοδοι της οικογένειας PROMETHEE αναπτύχθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Η φάση της ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής στόχος βασίζεται στον προσδιορισμό του δείκτη προτίμησης (preference index) $\pi(x_i, x_j)$ για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων x_i και x_j . Ο δείκτης αυτός ορίζεται παρόμοια με το δείκτη συμφωνίας στις μεθόδους ELECTRE:

$$\pi(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n w_k p_k(x_i, x_j)$$

Ο μερικός δείκτης προτίμησης $p_k(x_i, x_j)$ για το κριτήριο x_k ορίζεται συναρτήσει της διαφοράς $x_{ik} - x_{jk}$ μεταξύ των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στο κριτήριο x_k . Ειδικότερα:

$$p_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0 & \text{εάν } x_{ik} < x_{jk} \\ h_k(x_{ik} - x_{jk}) & \text{εάν } x_{ik} \geq x_{jk} \end{cases}$$

Για τη μορφή της συνάρτησης h_k έχουν προταθεί έξι περιπτώσεις όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.2.6.

Με τον καθορισμό της συνάρτησης h_k με βάση τις παραπάνω έξι επιλογές είναι δυνατός ο υπολογισμός του δείκτη προτίμησης $\pi(x_i, x_j)$ για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων. Ο δείκτης προτίμησης παίρνει τιμές από το διάστημα $[0, 1]$, έτσι ώστε:

1. $\pi(x_i, x_j) \approx 0 \Rightarrow$ οριακή υπεροχή της x_i έναντι της x_j
2. $\pi(x_i, x_j) \approx 1 \Rightarrow$ ισχυρή υπεροχή της x_i έναντι της x_j .

Για την εκμετάλλευση της σχέσης υπεροχής που αναπτύσσεται υπολογίζονται τα ακόλουθα μεγέθη για κάθε εναλλακτική x_i :

- Ροή εισόδου (entering flow):
$$\phi^-(x_i) = \sum_{\forall x_j \in A} \pi(x_j, x_i)$$
- Ροή εξόδου (leaving flow):
$$\phi^+(x_i) = \sum_{\forall x_j \in A} \pi(x_i, x_j)$$
- Καθαρή ροή (net flow):
$$\phi(x_i) = \phi^+(x_i) - \phi^-(x_i)$$

Η ροή εξόδου $\phi^+(x_i)$ δείχνει την υπεροχή της εναλλακτικής x_i έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών, ενώ η ροή εισόδου $\phi^-(x_i)$ αναπαριστά την υπεροχή όλων των υπολοίπων εναλλακτικών έναντι της x_i . Η καθαρή ροή αποτελεί ένα συνολικό μέγεθος αξιολόγησης της εναλλακτικής x_i έναντι όλων των υπολοίπων εξεταζόμενων εναλλακτικών.

Στην PROMETHEE II, υπάρχει μια κατάταξη των εναλλακτικών με βάση τις συνολικές τους ροές. Η κατάταξη αυτή είναι πλήρης (δε λαμβάνεται υπόψη η σχέση ασυγκριτικότητας) και προσδιορίζεται απλά ως εξής:

$$x_i P x_j \Leftrightarrow \phi(x_i) > \phi(x_j)$$

$$x_i I x_j \Leftrightarrow \phi(x_i) = \phi(x_j)$$

(Δούμπος, 2005)

4.3 Διαστάσεις

Τα δημόσια προβλήματα λήψης αποφάσεων στον ενεργειακό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλούς στόχους και πολλές διαφορετικές ομάδες ενδιαφερόμενων. Επιπλέον, η λήψη των αποφάσεων οφείλει να λαμβάνει υπόψη της τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κλιμάκων χώρου και χρόνου, της πολυπλοκότητας των φυσικών και κοινωνικών δομών και των συχνά μη μετρήσιμων, αντικρουόμενων και πολλαπλών κοινωνικών επιδιώξεων. Η πολυπλοκότητα αυτή των ενεργειακών και περιβαλλοντικών συστημάτων σε συνδυασμό με τη σοβαρότητα και δριμύτητα των επιπτώσεων των ανθρώπινων ενεργειών στον πλανήτη καθιστά αναγκαία τη λήψη των αποφάσεων μέσω στιβαρών και αυστηρά δομημένων πλαισίων και όχι ακολουθώντας μία 'δαισθητικού τύπου' διαδικασία λήψης απόφασης. Επιπλέον, εμπλέκονται πολλοί ενδιαφερόμενοι (άμεσα και έμμεσα), οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τους τις επιπτώσεις των πολιτών αυτών, και για αυτό επιθυμούν να συμμετέχουν στη λήψη των αποφάσεων. Συνεπώς είναι εύλογο πως θα ανακύψουν αντικρουόμενα συμφέροντα και πολλαπλοί προς επίτευξη στόχοι, παράγοντες τους οποίους πρέπει να αντιμετωπίζει – ενσωματώνει κάθε μεθοδολογικό εργαλείο διευκόλυνσης της σχετικής λήψης των αποφάσεων. (Ηρακλής Πολατίδης, 2004). Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι διαστάσεις του προβλήματος απόφασης σε μια προσπάθεια να εκφραστούν τα αντικρουόμενα συμφέροντα και καταστάσεις και η κατανομή βαρών σε κάθε κριτήριο. Αποδίδουμε βαθμούς που συνδέει κάθε κριτήριο με κάθε διάσταση και οι βαθμοί αυτοί κυμαίνονται από 0 έως 5 (καθόλου έως πλέον σημαντικό).

A. Αποφασίζων

Ο κάθε αποφασίζων στο θέμα επένδυσης ΑΠΕ δίνει διαφορετική βαρύτητα στα κριτήρια που αναφέρθηκαν στο 4.1. Χωρίζουμε τους αποφασίζοντες σε τρεις κατηγορίες:

1. Δημόσιο: Με τον όρο δημόσιο αναφερόμαστε και στην τοπική αυτοδιοίκηση αλλά και ευρύτερα στις αποφάσεις της κεντρικής κυβέρνησης στο θέμα των ΑΠΕ.
2. Επιχείρηση / Μη κυβερνητικές οργανώσεις: Αναφέρεται σε μεγαλύτερα έργα ΑΠΕ που λαμβάνουν χώρα με πρωτοβουλία επιχειρήσεων.
3. Ιδιώτης / επενδυτής: Αναφέρεται σε οποιονδήποτε μεμονωμένο αυτοπαραγωγό για κάλυψη των ιδίων του αναγκών είτε για πώληση στη ΔΕΗ της παραγόμενης ενέργειας.

B. Μέγεθος έργου

Μπορεί να θεωρηθεί ως 1) μικρό, 2) μεσαίο ή 3) μεγάλο. Για παράδειγμα ένα μεγάλο έργο ΑΠΕ δίνει περισσότερη σημασία στη διάρκεια ζωής και στο κόστος συντήρησης από ότι ένα μικρό αφού ένα

συχνό πρόβλημα μπορεί να είναι ασήμαντο για ένα μικρό έργο αλλά για ένα μεγάλο να κοστίζει πολύ περισσότερο. Έτσι στο μέγεθος του έργου τα σημαντικότερα κριτήρια είναι τα οικονομικά και τα τεχνικά.

Γ. Χρόνος περάτωσης

Ένα έργο φωτοβολταϊκών έχει μικρότερο χρόνο περάτωσης από ένα αιολικό πάρκο ή ακόμη περισσότερο από έναν υδροηλεκτρικό σταθμό. Έτσι ανάλογα με τη χρήση και την αμεσότητα της ανάγκης για ενέργεια πρέπει να επιλέγεται η σωστή επένδυση αφού ληφθούν υπ' όψιν τα κριτήρια σύμφωνα και με το χρόνο περάτωσης. Διακρίνεται σε 1)μακρός και 2)βραχύς.

Δ. Οικονομικοτεχνικό επίπεδο χώρας

Ανάλογα με το επίπεδο της χώρας λαμβάνονται και οι αντίστοιχες αποφάσεις για ΑΠΕ. Η Γερμανία για παράδειγμα δεν δίνει την ίδια βαρύτητα στην ωριμότητα ή στο κόστος της επένδυσης που θα δώσει η Ελλάδα και αυτό γιατί είναι και πιο ανεπτυγμένη και έχει και περισσότερη εμπειρία στο θέμα ΑΠΕ. Διακρίνονται λοιπόν σε 1)αναπτυγμένες και 2)αναπτυσσόμενες.

Ε. Θεσμικό / Νομικό πλαίσιο

Το θεσμικό πλαίσιο είναι μια βασική διάσταση στη λήψη αποφάσεων και καθορίζει σημαντικά την πρόοδο των έργων ΑΠΕ. Η γραφειοκρατία ή οι νομικές διατάξεις μπορεί να είναι απαγορευτικές για τις επενδύσεις ΑΠΕ και σχετίζονται άμεσα με τα κριτήρια. Διακρίνεται σε 1)αυστηρό και 2)χαλαρό. Το θεσμικό πλαίσιο σχετίζεται ελάχιστα με τα περισσότερα κριτήρια.

5. Προτεινόμενη μεθοδολογία

5.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Παρακάτω παρουσιάζεται μεθοδολογία για την κατάταξη των κριτηρίων ενός προβλήματος απόφασης από το σημαντικότερο προς το λιγότερο σημαντικό διευκολύνοντας την απόδοση βαρών και την αξιολόγησή τους. Γίνεται η προσπάθεια να δοθεί ένα απλό και κατανοητό μοντέλο που μπορεί να χειριστεί οποιοσδήποτε και αποτελείται από τα εξής βήματα:

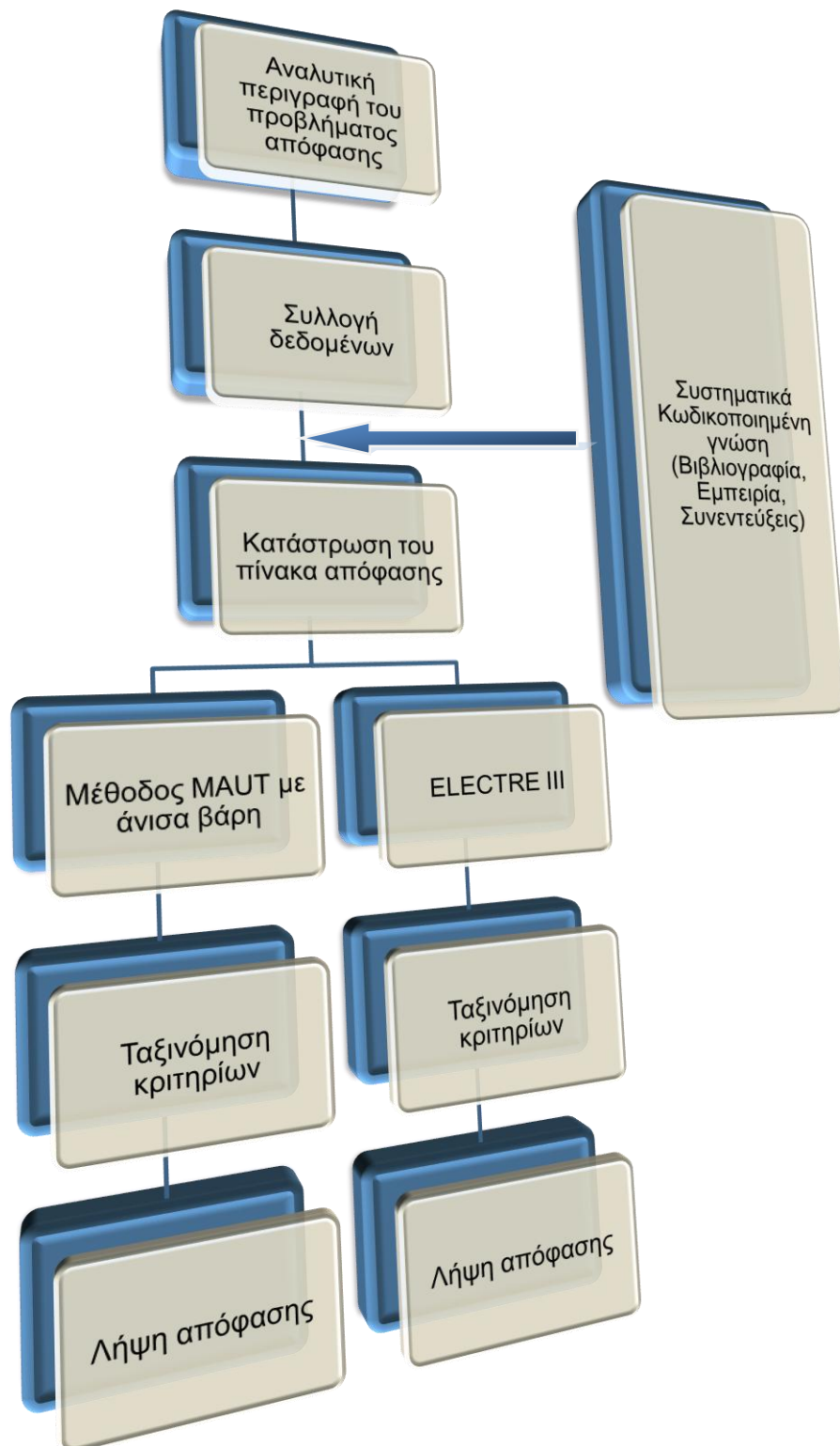
1. Αναλυτική περιγραφή του προβλήματος. Στο βήμα αυτό ο μελετητής περιγράφει ακριβώς τα σχέδια της μελλοντικής του επένδυσης π.χ. επιλέγει σε ποια κατηγορία επενδυτή βρίσκεται, πού θέλει να εγκαταστήσει το έργο ΑΠΕ, την οικονομική του δυνατότητα κλπ.
2. Συλλογή δεδομένων. Στο βήμα αυτό ο μελετητής κάνει την απαραίτητη έρευνα αγοράς είτε βιβλιογραφική είτε αυτοπρόσωπη με σκοπό να έχει πλήρη γνώση της επένδυσης που πρόκειται να κάνει. Αυτό συνεπάγεται έρευνα του θεσμικού/νομικού πλαισίου της χώρας, έρευνα των εταιρειών που αναλαμβάνουν έργα ΑΠΕ κ.ο.κ.
3. Κατάστρωση του πίνακα / μητρώου απόφασης.
 - a. Έχοντας ήδη γνώση των κριτηρίων και των διαστάσεων του αρχικού προβλήματος, συνθέτει πίνακα απόφασης για το πρόβλημα **της κατάταξης των κριτηρίων του αρχικού προβλήματος σε σχέση με την σημαντικότητά τους** . Το νέο πρόβλημα απόφασης έχει σαν εναλλακτικές (προς κατάταξη) τα κριτήρια αξιολόγησης του αρχικού προβλήματος. Η κάθε μία από τις εναλλακτικές πρέπει να βαθμολογηθεί ως προς την σημασία της κάτω από διάφορες συνθήκες προβλήματος.
 - b. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιείται κωδικοποιημένη πρότερη γνώση (η οποία μπορεί να προέρχεται από εμπειρία, βιβλιογραφία, συνεντεύξεις κτλ), η οποία περιγράφει την σημασία του κάθε κριτηρίου για κάθε διάσταση προβλήματος της ενότητας 4.3 (Αποφασίζων, Μέγεθος έργου, Θεσμικό πλαίσιο κτλ). Στην περίπτωση μας, η κωδικοποίηση παίρνει την μορφή πίνακα με scores, στον οποίο το κάθε κριτήριο βαθμολογείται από 0 έως 5 σε σχέση με την σημασία που έχει για την διάσταση αυτή. Π.χ το NPV μπορεί να έχει σημασία 5 για Εταιρείες, σημασία 4 για το Δημόσιο Τομέα και σημασία 1 για ιδιώτες.

Έτσι, καθώς κάθε πρόβλημα απόφασης, έχει μοναδική κατανομή διαστάσεων (π.χ. Αποφασίζων: Εταιρεία, Θεσμικό πλαίσιο: Ισχυρο, κτλ), είναι δυνατόν να κατασκευαστεί πίνακας απόφασης που θα περιλαμβάνει την βαθμολογία όλων των εναλλακτικών (δηλαδή των κριτηρίων του αρχικού προβλήματος) σε σχέση με οποιονδήποτε συνδυασμό Αποφασίζοντος, Θεσμικού πλαισίου, Διάρκεια περάτωσης επένδυσης, κτλ. Για παράδειγμα

στην περίπτωση δημοσίου έργου μεγάλου μεγέθους, το κάθε κριτήριο του αρχικού προβλήματος (αποπληρωμή, NPV, κόστος κτλ) μετατρέπεται σε εναλλακτική ενός προβλήματος στο οποίο βαθμολογείται σε δύο κριτήρια: για την σημασία του για την λήψη αποφάσεων από Δημόσιους Οργανισμούς, και για την σημασία του για την λήψη αποφάσεων σε μεγάλα έργα.

4. Χρήση μεθόδων. Στη συνέχεια ο μελετητής επιλύει το συγκεκριμένο πρόβλημα κατάταξης κριτηρίων με ήδη υπάρχουσες μεθόδους. Στην μεθοδολογία που περιγράφεται εδώ, ο μελετητής έχει δύο επιλογές. Η πρώτη είναι να κάνει χρήση μεθόδου MAUT με άνισα βάρη είτε χρήση της πολυκριτηριακής μεθόδου ELECTRE III.
 - a. Στη μέθοδο MAUT με άνισα βάρη πρώτα πολλαπλασιάζονται τα κριτήρια της κάθε διάστασης με έναν συντελεστή – βάρος ανάλογα με τη σημαντικότητα της διάστασης (για παράδειγμα μπορούμε να θεωρήσουμε τον αποφασίζων ως πιο σημαντικό και να βάλουμε βάρος 0,5 στο μέγεθος έργου συντελεστή 0,2 και στις υπόλοιπες διαστάσεις 0,1 έχοντας όλα άθροισμα 1) και έτσι προκύπτει ένας νέος πίνακας απόφασης. Έπειτα βρίσκουμε το μέσο όρο κάθε στήλης και κατατάσσουμε τα κριτήρια βάσει του μέσου όρου αυτού. Αν θέλουμε αύξουσα σειρά σημαντικότητας των κριτηρίων τότε τα κατατάσσουμε από το μικρότερο προς το μεγαλύτερο μέσο όρο και για φθίνουσα σειρά το αντίστροφο.
 - b. Η μέθοδος ELECTRE III είναι περισσότερο περίπλοκη σε πράξεις γι αυτό χρησιμοποιούμε λογισμικό για την κατάταξη των κριτηρίων αφού θέσουμε τα βάρη και οποιαδήποτε άλλη παράμετρο χρειάζεται σύμφωνα με τα κεφάλαια 3.2 και 4.2.2.

Παρακάτω παρατίθεται ένα διάγραμμα που παρουσιάζει την παραπάνω διαδικασία:



5.2 Κωδικοποίηση της γνώσης σε ένα συνολικό πίνακα με scores

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η προσπάθεια να αποδοθεί η σχέση κριτηρίων και διαστάσεων μέσω ενός πίνακα με score από 0 έως 5. Η κάθε διάσταση βαθμολογεί διαφορετικά τα κριτήρια όπως περιγράφεται παρακάτω.

A. Αποφασίζων

1. Για το δημόσιο τα σημαντικότερα κριτήρια είναι τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά αφού σχετίζονται άμεσα με τη σχέση του με τους πολίτες. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα τα περιβαλλοντικά κριτήρια έχουν βαθμούς 4 και 5 και ειδικά τα κριτήρια της διαταραχής οικοσυστήματος και της γεωγραφικής τοποθεσίας σημειώνονται με 5 πράγμα που δείχνει τη μεγάλη σημασία τους για τον αποφασίζων δημόσιο. Το ίδιο συμβαίνει και με τα κοινωνικά κριτήρια, με τη δημιουργία θέσεων και τα κοινωνικά οφέλη να βαθμολογούνται με 5.

Κριτήρια για δημόσιο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
4	5	5	4

Κριτήρια για δημόσιο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
4	5	5

Ακολουθούν τα τεχνικά και τέλος τα οικονομικά αφού ένα δάνειο για επένδυση π.χ. αποπληρώνεται πιο εύκολα από το κράτος παρά έναν ιδιώτη. Στο θέμα των τεχνικών κριτηρίων σημαντικότερα καθίστανται η ασφάλεια και η αξιοπιστία και βαθμολογούνται με 5 ενώ λιγότερο σημαντικά η ωριμότητα και το PER όχι όμως αμελητέα και βαθμολογούνται με 3.

Κριτήρια για δημόσιο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
4	5	5	3	3	4

Τέλος τα οικονομικά κριτήρια με την ΚΠΑ και το κόστος συντήρησης να βαθμολογούνται με 4 ως τα σημαντικότερα και το κόστος καυσίμου το λιγότερο σημαντικό με 1 αφού οι ΑΠΕ έχουν μηδενικό κόστος καυσίμου και μόνο η βιομάζα έχει κάποιο μικρό κόστος ή κόστος μεταφοράς.

Κριτήρια για δημόσιο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
3	4	1	3	4	3	3	3	4

2. Για την επιχείρηση πρωτεύοντα είναι τα οικονομικά κριτήρια και η επίτευξη κέρδους (μιας και αυτός είναι ο αντικειμενικός της στόχος) με το μικρότερο κόστος, συντήρηση κλπ. Έτσι βαθμολογούνται με 5 το κόστος επένδυσης, συντήρησης και η αποπληρωμή και με 0 το κόστος καυσίμου αφού οι ΑΠΕ δε χρησιμοποιούν καύσιμο και θεωρούμε πως έργα βιομάζας αναλαμβάνει μόνο το δημόσιο. Με 4 βαθμολογούνται επιπλέον 4 οικονομικά κριτήρια πράγμα που δείχνει τη σημαντικότητα της κατηγορίας αυτής κριτηρίων για τον αποφασίζων επιχείρηση.

Κριτήρια για επιχείρηση								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
5	5	0	4	4	5	4	3	4

Ακολουθούν τα τεχνικά με σημαντικότερες την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία με βαθμό 4 και λιγότερο σημαντικό το PER με βαθμό 1 αφού η πρωτογενής ενέργεια και η αποθήκευση δεν είναι πρωτεύον μέλημα των αποφασιζόντων αυτών.

Κριτήρια για επιχείρηση					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
4	4	4	2	1	2

Τέλος τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά μιας και θέλουν να βρισκονται στα νομικά πλαίσια όσον αφορά στο σεβασμό του περιβάλλοντος αλλά προέχει για αυτές το κέρδος. Για παράδειγμα δίνουν λιγότερη σημασία στην εκπομπή σωματιδίων ή στην κοινωνική αποδοχή και τα κριτήρια αυτά βαθμολογούνται με 3.

Κριτήρια για επιχείρηση			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
3	4	4	4

Κριτήρια για επιχείρηση		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
3	4	3

- Τέλος οι ιδιώτες θεωρούν και αυτοί σημαντικότερα τα οικονομικά μιας και δεν έχουν τεράστια οικονομική δυνατότητα και τέτοιες επενδύσεις αποτελούν οικονομίες αρκετών ετών και ακολούθως τα περιβαλλοντικά κριτήρια. Με 5 βαθμολογούνται το κόστος επένδυσης, συντήρησης και η αποπληρωμή καθώς και η ηχορρύπανση από τα περιβαλλοντικά. Το κόστος καυσίμου είναι 0 όπως και πριν ενώ η ΚΠΑ ή το EAC δεν ενδιαφέρουν ιδιαίτερα τον απλό ιδιώτη οπότε και βαθμολογούνται με 1 μιας και τέτοια οικονομικά μεγέθη δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία για ένα έργο ΑΠΕ που γίνεται π.χ. σε μια οικία λόγω της μικρής του συνήθως έκτασης και σε ενεργειακό αλλά και σε επενδυτικό επίπεδο.

Κριτήρια για ιδιώτη								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
5	5	0	4	1	5	4	1	5

Τα scores στα περιβαλλοντικά κριτήρια είναι μόνο 4 και 5 γιατί πρωτίστως ο ιδιώτης που αναλαμβάνει έργο ΑΠΕ ενδιαφέρεται για την εξασφάλιση της υγείας και της προστασίας του.

Κριτήρια για ιδιώτη			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
4	4	4	5

Από τα τεχνικά κριτήρια οι ιδιώτες θεωρούν σημαντικότερη την ασφάλεια και βαθμολογείται με 5 ενώ το PER ή η σταθερότητα δικτύου δεν είναι άμεσης σημασίας και βαθμολογείται με 1 και 2 αντίστοιχα.

Κριτήρια για ιδιώτη					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
4	5	4	3	1	2

Στα κοινωνικά κριτήρια η δημιουργία θέσεων εργασίας βαθμολογείται με 0 μιας και δεν απασχολεί τον ιδιώτη το θέμα αυτό στην δική του οικιακή εγκατάσταση. Τα ευρύτερα κοινωνικά οφέλη όμως τον ενδιαφέρουν μιας και είναι μέλος της κοινωνίας αυτής και ενδιαφέρεται για την εξέλιξη της.

Κριτήρια για ιδιώτη		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
3	0	3

B. Μέγεθος έργου

Τα scores που αποδίδονται παρακάτω δείχνουν ότι όσο ανεβαίνει κλιμακωτά το μέγεθος έργου τόσο μεγαλύτερη σημασία δίνεται στα κριτήρια.

1. Ένα μικρό έργο έχει σημαντικότερα κριτήρια την ασφάλεια και τη συντήρηση τα οποία βαθμολογούνται με 4. Τα κριτήρια αυτά είναι σημαντικά για κάθε μέγεθος έργου. Με 0 βαθμολογούνται οικονομικά κριτήρια όπως το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και το EAC που δεν έχουν συσχέτιση με το μικρό έργο και για ελάχιστη συσχέτιση με 1.

Κριτήρια για μικρό έργο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
3	4	2	0	2	3	3	0	2

Κριτήρια για μικρό έργο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
3	4	3	3	2	3

Ένα μικρό έργο δεν επηρεάζει το περιβάλλον ούτε την κοινωνία σε μεγάλο βαθμό οπότε εδώ συναντάμε μικρά scores 1 και 2:

Κριτήρια για μικρό έργο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
2	2	2	2

Κριτήρια για μικρό έργο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
2	1	2

2. Όσο μεγαλύτερο το έργο τόσο περισσότερα έξοδα πράγμα που απαιτεί συνέπεια και σύνεση στη λήψη απόφασης. Έτσι σε ένα μεσαίου μεγέθους έργο αυξάνεται η σημαντικότητα αρκετών κριτηρίων και πολλά από αυτά βαθμολογούνται με 4 (αποδοτικότητα, ασφάλεια, αξιοπιστία, σταθερότητα δικτύου, κόστη κλπ.)

Κριτήρια για μεσαίο έργο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
4	4	3	0	3	4	4	2	4

Κριτήρια για μεσαίο έργο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
4	4	4	4	3	4

Με την ίδια λογική αυξάνεται και η σημαντικότητα των περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων και τα σημαντικότερα είναι αυτά της διαταραχής του οικοσυστήματος και της ηχορρύπανσης που βαθμολογούνται με 4.

Κριτήρια για μεσαίο έργο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
3	4	3	4

Κριτήρια για μεσαίο έργο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
3	2	3

3. Ένα μεγάλο έργο πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τα σημαντικά κόστη κατασκευής και συντήρησης (και πραγματοποιείται πιο εύκολα με τη βοήθεια επιδότησης), την ασφάλεια, την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία, τη σταθερότητα στο δίκτυο και την αλλοίωση του τοπίου γι αυτό και όλα αυτά τα κριτήρια βαθμολογούνται με 5.

Κριτήρια για μεγάλο έργο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
5	5	3	1	4	4	4	2	5

Κριτήρια για μεγάλο έργο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
5	5	5	5	4	5

Αύξουσας σημασίας είναι και τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια για ένα μεγάλο έργο. Για παράδειγμα, μια κατασκευή ενός υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ) προκαλεί μεγάλη αλλαγή στο τοπίο σε σχέση με ένα μικρό έργο φωτοβολταϊκών. Γι αυτό και τα περιβαλλοντικά βαθμολογούνται εδώ με 4 και 5. Η εκπομπή σωματιδίων μας ενδιαφέρει μόνο στο στάδιο κατασκευής φ/β πλαισίων και γι αυτό βαθμολογείται με 3.

Κριτήρια για μεγάλο έργο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
3	5	4	4

Κριτήρια για μεγάλο έργο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
3	3	4

Γ. Χρόνος περάτωσης

Ο χρόνος περάτωσης συνδέεται ελάχιστα και μερικές φορές μηδενικά με τα τεχνικά και περιβαλλοντικά κριτήρια, όμως συνδέεται άμεσα με τα οικονομικά.

1. Ένα γρήγορο έργο συνδέεται περισσότερο με τα οικονομικά κριτήρια και ιδιαίτερα με το κόστος επένδυσης, συντήρησης, την αποπληρωμή και τη ζωή του τα οποία βαθμολογούνται με 3 και όχι με μεγαλύτερη βαθμολογία μιας και ένα γρήγορο έργο δεν απαιτεί τους ίδιους πόρους με ένα που χρειάζεται μεγάλο χρόνο για να ολοκληρωθεί.

Κριτήρια για έργο βραχέως περάτωσης								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
3	3	1	0	1	3	3	1	2

Ένα βραχυπρόθεσμο έργο συνδέεται ελάχιστα ή καθόλου με τα τεχνικά κριτήρια γι' αυτό και βαθμολογούνται με 0 κριτήρια όπως αποδοτικότητα, ωριμότητα, PER.

Κριτήρια για έργο βραχέως περάτωσης					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
0	2	1	0	0	1

Όμοια με περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια αφού ένα «γρήγορο» έργο δεν προλαβαίνει να επηρεάσει σημαντικά κοινωνία και περιβάλλον. Γι αυτό και τα κριτήρια αυτά βαθμολογούνται με 0 και 1.

Κριτήρια για έργο βραχέως περάτωσης		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
0	1	0

Κριτήρια για έργο βραχέως περάτωσης			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
1	1	0	1

2. Ένα μακροπρόθεσμο έργο για παράδειγμα δίνει μεγάλη σημασία στο κόστος κατασκευής, στο χρόνο αποπληρωμής στη διάρκεια ζωής του, στη συντήρησή του και στο αν υπάρχουν επιδοτήσεις για να πραγματοποιηθεί γιατί όλα απαιτούν χρηματικό κόστος οπότε όλα αυτά τα κριτήρια βαθμολογούνται με 4.

Κριτήρια για έργο μακράς περάτωσης								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
4	4	1	0	1	4	4	1	4

Όσον αφορά στη σύνδεσή του με τα τεχνικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια όσα έχουν βαθμολογηθεί με 0 παραμένουν ενώ αυξάνεται κατά 1 (ή 2 όπως η δημιουργία θέσεων εργασίας) η βαθμολογία μερικών σημαντικών κριτηρίων μιας και ένα μακροπρόθεσμο έργο μπορεί να επηρεάσει κοινωνία και περιβάλλον (αν π.χ. για να κατασκευαστεί χρειάζονται 5 χρόνια οι κάτοικοι μπορεί να ενοχληθούν από τα συνεχή έργα, φορτοεκφορτώσεις, ηχορρύπανση ή να αλλοιωθεί αρκετά το τοπίο).

Κριτήρια για έργο μακράς περάτωσης					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
0	3	2	0	0	2

Κριτήρια για έργο μακράς περάτωσης			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
1	2	0	2

Κριτήρια για έργο μακράς περάτωσης		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
0	3	0

Δ. Οικονομικοτεχνικό επίπεδο χώρας

1. Λόγω του υψηλού επιπέδου της, μια ανεπτυγμένη χώρα, θεωρεί πολύ σημαντικά και τα περιβαλλοντικά και τα κοινωνικά κριτήρια αφού στοχεύει σε μια εύρωστη και εξελισσόμενη σε κάθε τομέα κοινωνία. Γι αυτό και η κοινωνική αποδοχή και η δημιουργία θέσεων εργασίας βαθμολογούνται με 5 και τα περισσότερα από τα περιβαλλοντικά κριτήρια με 4.

Κριτήρια για ανεπτυγμένη χώρα		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
5	5	4

Μπορεί βέβαια να επισημανθεί πως η τοποθεσία την ενδιαφέρει λιγότερο μιας και διαθέτει όλα τα μέσα να μεταβεί σε οποιοδήποτε σημείο της επικράτειας της για να ελέγξει το έργο. Αντίθετα, μια αναπτυσσόμενη χώρα θα έπρεπε να προσέξει περισσότερο που θα εγκαταστήσει το έργο της μιας και οι δυνατότητες της είναι περιορισμένες σε θέματα μεταφοράς και οργάνωσης και θα πρέπει να βρίσκεται σε κεντρικό σημείο και όχι απομονωμένο.

Κριτήρια για ανεπτυγμένη χώρα			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
4	4	3	4

Μια ανεπτυγμένη χώρα έχει μεγαλύτερη τεχνολογική ωριμότητα και λαμβάνει υπ' όψιν τα τεχνικά κριτήρια κατασκευής. Όμως, η ωριμότητα, η αξιοπιστία, η ασφάλεια και γενικά όλα τα τεχνικά

κριτήρια είναι δεδομένα για τη χώρα αυτή και δε χρειάζεται να δώσει τόσο μεγάλη σημασία σε αυτά όσο θα έπρεπε να δώσει μια αναπτυσσόμενη χώρα. Γι αυτό και η επικρατούσα βαθμολογία είναι το 3.

Κριτήρια για ανεπτυγμένη χώρα					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
3	4	3	3	2	3

Για την ανεπτυγμένη χώρα τα οικονομικά κριτήρια παίζουν μεν αλλά όχι μεγάλο ρόλο μιας και η χώρα διαθέτει πολλούς πόρους για επενδύσεις επομένως τα κριτήρια βαθμολογούνται με 2 και 3. Η χώρα μπορεί να επενδύσει εύκολα αλλά βέβαια θα πρέπει να ελέγχει και τα οικονομικά της.

Κριτήρια για ανεπτυγμένη χώρα								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
3	3	2	2	3	3	3	2	3

2. Από την άλλη μια αναπτυσσόμενη χώρα υπολογίζει περισσότερο τα οικονομικά κριτήρια αφού δεν έχει τεράστιες οικονομικές δυνατότητες και δεν έχει εδραιωθεί στον τομέα ανάπτυξης. Γι αυτό το κόστος επένδυσης και οι επιδοτήσεις βαθμολογούνται με 5.

Κριτήρια για αναπτυσσόμενη χώρα								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
5	4	2	3	3	4	4	3	5

Τα τεχνικά κριτήρια είναι εξίσου σημαντικά. Εφόσον η χώρα δεν είναι ανεπτυγμένη, πρέπει να προσέξει περισσότερο θέματα ασφάλειας, αξιοπιστίας, σταθερότητας μιας και δεν είναι ώριμη ούτε διαθέτει τις ικανότητες να διορθώσει κάποιο από τα παραπάνω άμεσα. Π.χ. μια βλάβη σε ΑΠΕ

διορθώνεται πολύ εύκολα στη Γερμανία όπου υπάρχει τεχνογνωσία και ανταλλακτικά παρά σε μια απομονωμένη περιοχή στην Αφρική. Έτσι βαθμολογούνται με μεγαλύτερο score τα κριτήρια αυτά.

Κριτήρια για αναπτυσσόμενη χώρα					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
4	4	4	4	2	4

Τα κοινωνικά κριτήρια έχουν και εδώ μεγάλη σημασία. Σε ένα αναπτυσσόμενο κράτος όπου οι κάτοικοι δεν έχουν πολλές γνώσεις είναι πιο δύσκολο να αποδεχτούν κάτι καινούριο και ριζοσπαστικό όπως ένα έργο ΑΠΕ που θα επιφέρει αλλαγές στη ζωή τους. Η δημιουργία επίσης θέσεων και άλλα κοινωνικά οφέλη είναι άκρως σημαντική για να οδηγήσει τη χώρα σε πορεία ανάπτυξης.

Κριτήρια για αναπτυσσόμενη χώρα		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
5	5	4

Μεγάλη σημασία και τα περιβαλλοντικά και ιδιαίτερα η τοποθεσία όπως αναφέρθηκε στο παράδειγμα παραπάνω.

Κριτήρια για αναπτυσσόμενη χώρα			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
4	4	5	4

E. Θεσμικό / Νομικό πλαίσιο

1. Αυτό που λαμβάνει περισσότερο υπ' όψιν ένα αυστηρό θεσμικό πλαίσιο είναι η ασφάλεια, η προστασία του περιβάλλοντος και τα κοινωνικά κριτήρια και το ότι όλα αυτά κινούνται σε

νόμιμα πλαίσια. Γι αυτό η ασφάλεια βαθμολογείται με 5 όπως και η εκπομπή σωματιδίων, η περιβαλλοντική διαταραχή, η κοινωνική αποδοχή και τα κοινωνικά οφέλη. Από τα υπόλοιπα κριτήρια τα περισσότερα δε σχετίζονται και βαθμολογούνται με 0 ή σχετίζονται ελάχιστα και βαθμολογούνται με 1 ή 2.

Κριτήρια για αυστηρό πλαίσιο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
5	5	4	4

Κριτήρια για αυστηρό πλαίσιο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
5	4	5

Εδώ φαίνεται πως η ασφάλεια αποτελεί σημαντικότερο κριτήριο μιας και αναφέρεται σε συνθήκες εργασίας εργαζομένων, βασικό στοιχείο ενός αυστηρού νομικού πλαισίου.

Κριτήρια για αυστηρό πλαίσιο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
0	5	0	0	2	2

Το πλαίσιο βέβαια έχει μικρή συσχέτιση με τα οικονομικά κριτήρια:

Κριτήρια για αυστηρό πλαίσιο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
2	1	0	0	0	1	0	0	2

Στο χαλαρό θεσμικό πλαίσιο ισχύουν τα ίδια απλά με μικρότερη έμφαση στις μέγιστες βαθμολογίες:

Κριτήρια για χαλαρό πλαίσιο			
Περιβαλλοντικά			
Εκπομπή σωματιδίων	Διαταραχή οικοσυστήματος	Τοποθεσία	Ηχορρύπανση
Scores			
4	4	3	3

Κριτήρια για χαλαρό πλαίσιο		
Κοινωνικά		
Κοινωνική αποδοχή	Δημιουργία θέσεων εργασίας	Κοινωνικά οφέλη
Scores		
4	3	4

Κριτήρια για χαλαρό πλαίσιο					
Τεχνικά					
Αποδοτικότητα	Ασφάλεια	Αξιοπιστία	Ωριμότητα	PER	Σταθερότητα δικτύου
Scores					
0	3	0	0	1	1

Κριτήρια για χαλαρό πλαίσιο								
Οικονομικά								
Επένδυση	Συντήρηση	Καύσιμο	Κόστ.ηλ.ενέργ.	ΚΠΑ	Αποπληρωμή	Ζωή	EAC	Επιδοτ.
Scores								
1	1	0	0	0	1	0	0	1

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας στον οποίον φαίνονται τα συγκεντρωμένα τα κριτήρια που αναφέραμε παραπάνω, οι διαστάσεις, καθώς και το μεταξύ τους score (από **0 έως 5** – όπου 0 το καθόλου σημαντικό και 5 το περισσότερο) για εναλλακτικές αποφάσεις επενδύσεων ΑΠΕ. Από 1 έως 22 αναπαρίστανται τα κριτήρια και από Α έως Ε οι διαστάσεις.

		Κριτήρια																					
		Τεχνικά						Οικονομικά							Περιβαλλοντικά					Κοινωνικά			
		1.Αποδοτικότητα	2.Δοσφάλεια	3.Αξιοπιστία	4.Ωριμότητα	5.PER	6.Σταθερότητα δικτύου	7.Επένδυση	8.Συντήρηση	9.Καύσιμο	10.Κόστ.ηλ.ενέργ.	11.ΚΙΠΑ	12.Αποπληρωμή	13.Ζωή	14.ΕΑC	15.Επιδοτ. σωματιδίων	16.Εκπομπή	17.Διαταραχή οικουοιστήματος	18.Τοποθεσία	19.Ηχορρύπανση	20.Κοινωνική αποδοχή	21.Δημιουργία θέσεων εργασίας	22.Κοινωνικά οφέλη
Διαστάσεις	Scores																						
Α.Αποφα	1)	4	5	5	3	3	4	3	4	1	3	4	3	3	3	4	4	5	5	4	4	5	5
	2)	4	4	4	2	1	2	5	5	0	4	4	5	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3
	3)	4	5	4	3	1	2	5	5	0	4	1	5	4	1	5	4	4	4	5	3	0	3
Β.Μέγεθο	1)	3	4	3	3	2	3	3	4	2	0	2	3	3	0	2	2	2	2	2	2	1	2
	2)	4	4	4	4	3	4	4	4	3	0	3	4	4	2	4	3	4	3	4	3	2	3
	3)	5	5	5	5	4	5	5	5	3	1	4	4	4	2	5	3	5	4	4	3	3	4
Γ.Γε	1)	0	2	1	0	0	1	3	3	1	0	1	3	3	1	2	1	1	0	1	0	1	0
	2)	0	3	2	0	0	2	4	4	1	0	1	4	4	1	4	1	2	0	2	0	3	0
Δ.επί	1)	3	4	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	4	4	3	4	5	5	4
	2)	4	4	4	4	2	4	5	4	2	3	3	4	4	3	5	4	4	5	4	5	5	4
Ε.πλ	1)	0	5	0	0	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	2	5	5	4	4	5	4	5
	2)	0	3	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	4	4	3	3	4	3	4

Συνολικός πίνακας score για την κωδικοποίηση της γνώσης

Στην εν λόγω εργασία όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5.1 θα μελετηθούν τα προβλήματα απόφασης ΑΠΕ με τη χρήση 2 μεθόδων:

1. Μέθοδος MAUT με ανισοβαρείς διαστάσεις: Υπολογίζεται η καλύτερη δυνατή επίδοση αφού πρώτα τίθενται συντελεστές βαρύτητας («βάρη») στις διάφορες διαστάσεις όπως περιγράφεται στην υποενότητα 3.2.5.
2. Μέθοδος ELECTRE III: όπως αυτή περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.2.2.

Παρακάτω παρατίθεται ένα τέτοιο παράδειγμα λήψης απόφασης:

Παράδειγμα

Έστω ότι το **δημόσιο** αναλαμβάνει μια επένδυση έργου ΑΠΕ με **μεγάλη έκταση, βραχυπρόθεσμη** περάτωση, σε **αναπτυσσόμενη** χώρα με **αυστηρό** νομικό / θεσμικό πλαίσιο. Τότε το μητρώο απόφασης παίρνει τη μορφή:

Παράδειγμα		Κριτήρια																					
		Τεχνικά					Οικονομικά										Περιβαλλοντικά				Κοινωνικά		
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.
Διαστάσεις		Scores																					
A.	1)	4	5	5	3	3	4	3	4	1	3	4	3	3	3	4	4	5	5	4	4	5	5
B.	3)	5	5	5	5	4	5	5	5	3	1	4	4	4	2	5	3	5	4	4	3	3	4
Γ.	1)	0	2	1	0	0	1	3	3	1	0	1	3	3	1	2	1	1	0	1	0	1	0
Δ.	2)	4	4	4	4	2	4	5	4	2	3	3	4	4	3	5	4	4	5	4	5	5	4
E.	1)	0	5	0	0	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	2	5	5	4	4	5	4	5

6. Παραδείγματα μελέτης (case studies)

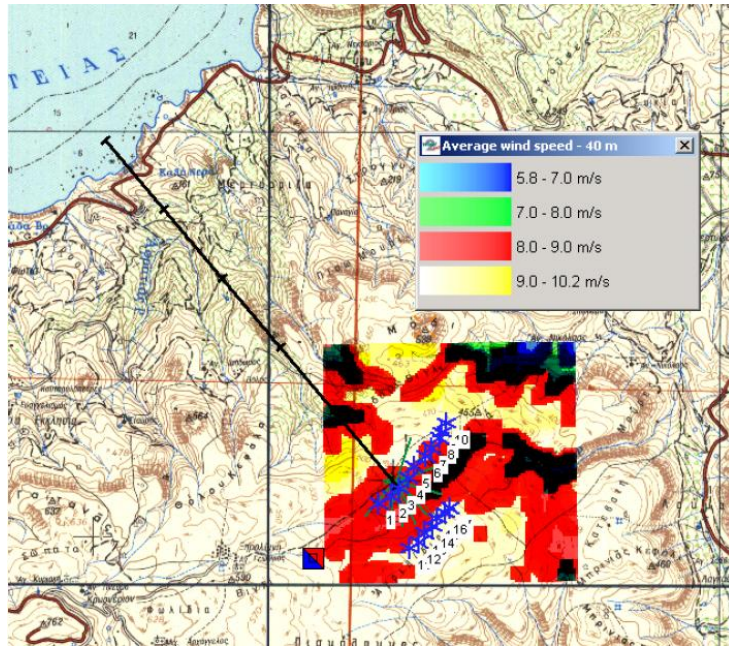
Παρακάτω παρατίθενται δύο παραδείγματα μελέτης της διαδικασίας που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5 ώστε να γίνει κατανοητή η εφαρμογή της σε πραγματικά προβλήματα. Το ένα παράδειγμα μελέτης αφορά στην εγκατάσταση αιολικού πάρκου στο Μόδι Κρήτης (πραγματοποιημένο έργο) και το δεύτερο την κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κοζάνη (υπό μελέτη έργο).

6.1 Εγκατάσταση αιολικού πάρκου στο Μόδι Κρήτης

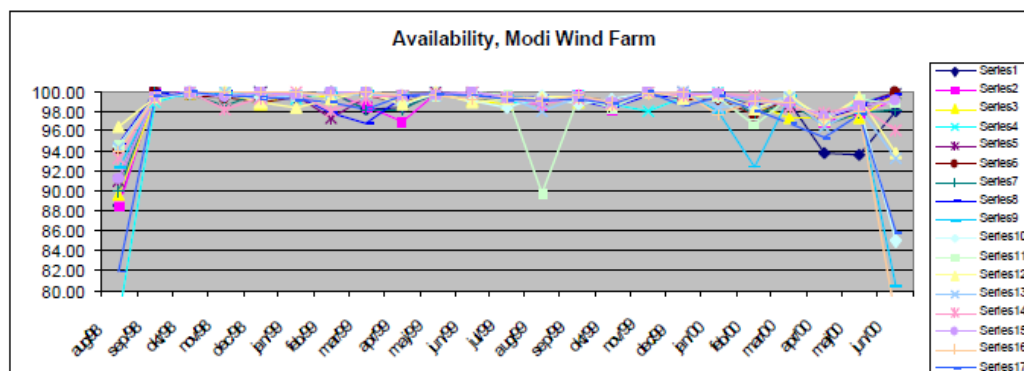
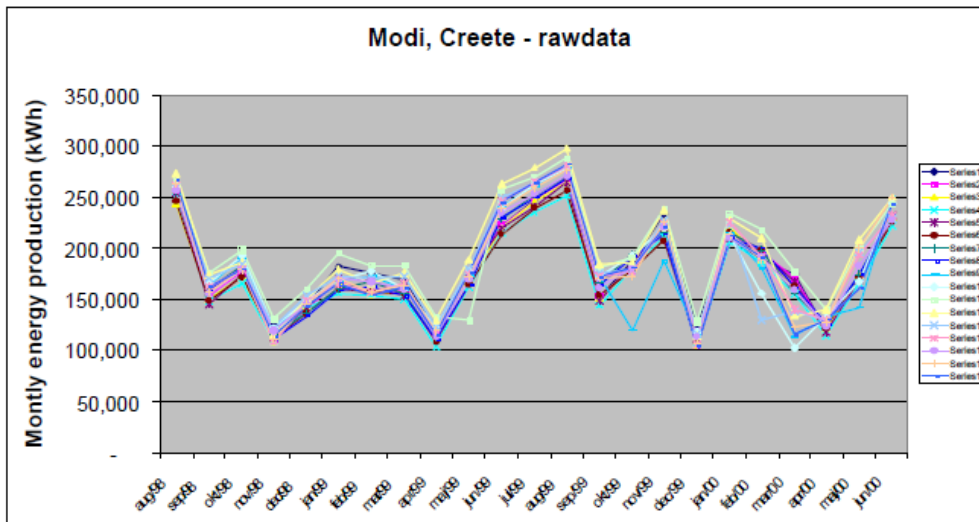
Στο εν λόγω παράδειγμα μελέτης θα εξεταστεί μια ήδη πραγματοποιημένη μελέτη ΑΠΕ στη θέση Μόδι Κρήτης για να μελετηθεί η ισχύς και η εφαρμοστικότητα της μεθόδου μας σε πραγματικά δεδομένα και θα ταξινομηθούν τα κριτήρια που θα έπρεπε να μελετήσει η εταιρεία για το έργο.

6.1.1 Πληροφορίες του έργου

Στη θέση «Μόδι», κοντά στην ομώνυμη βουνοκορφή, βρίσκεται το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο που αναπτύχθηκε στην Ελλάδα. Το πάρκο ξεκίνησε τη λειτουργία του τον Απρίλιο του 1998, με 17 ανεμογεννήτριες παραταγμένες στη σειρά στο άγριο κρητικό τοπίο να παράγουν συνολικά 10,2 MW. Στον ίδιο χώρο, που λούζεται από άπλετο φως, δημιουργήθηκε ο πρώτος πειραματικός φωτοβολταϊκός σταθμός ισχύος 171,6 KW. (ΟΜΙΛΟΣ ΡΟΚΑΣ Ενέργεια και άγρια ομορφιά , 2008). Το αιολικό πάρκο αποτελείται από 17 ανεμογεννήτριες των 600 kW , ρότορα διαμέτρου 44 μέτρων διατεταγμένες σε σειρά. Οι ανεμογεννήτριες σε κάθε σειρά απέχουν μεταξύ τους περίπου 130 μέτρα (δηλαδή 2,9 φορές η διάμετρος ρότορα) και ανάμεσα στις 2 σειρές υπάρχει απόσταση 630 μέτρων (δηλαδή 14,3 φορές η διάμετρος ρότορα). Το έδαφος της εγκατάστασης είναι ορεινό και τραχύ (σκληρότητα 1,2) ενώ το κλίμα θερμό και υγρό.



Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα που προέρχεται από μελέτες της εταιρείας κατασκευής, η περιοχή εγκατάστασης έχει μεγάλη ταχύτητα ανέμων και επίσης έχει υπολογιστεί και η φορά τους ώστε να στραφούν κατάλληλα οι ανεμογεννήτριες.



Τα παραπάνω διαγράμματα δείχνουν την παραγωγή ενέργειας και τη διαθεσιμότητα ενέργειας των ανεμογεννητριών μετά την εγκατάστασή τους σε διάστημα δύο ετών. Η μέση τιμή της διαθεσιμότητας είναι 99,3% πράγμα που βεβαιώνει τη σωστή επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης. Παρακάτω παρατίθενται δύο εικόνες από την τοποθεσία της περιοχής. (www.emd.dk, 2003)



6.1.2 Κατάστρωση του πίνακα απόφασης

Σύμφωνα με τα παραπάνω και παράλληλα με το κεφάλαιο 4.3 το συγκεκριμένο έργο ΑΠΕ έχει ως αποφασίζων την ιδιωτική επιχείρηση ΡΟΚΑΣ, έχει μεσαίο μέγεθος αφού μιλάμε για παραγωγή 10,2 kW, είχε μεγάλο χρόνο περάτωσης αφού απαιτήσε τη κατασκευή 17 μεγάλων ανεμογεννητριών, έλαβε χώρα σε ανεπτυγμένη χώρα με πρότερη εμπειρία κατασκευής έργων ΑΠΕ και με αυστηρό θεσμικό πλαίσιο όσον αφορά στην ενέργεια αφού ακόμη και σήμερα η απελευθέρωση ενέργειας είναι μείζον ζήτημα στην Ελλάδα πόσο μάλλον αν ληφθεί υπ' όψιν ότι ήταν το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο. Σύμφωνα με αυτά καταστρώνουμε τον πίνακα απόφασης που περιγράφηκε στο τέλος του 4.3.

		Κριτήρια																					
		Τεχνικά						Οικονομικά								Περιβαλλοντικά					Κοινωνικά		
		1.Αποδοτικότητα	2.Ασφάλεια	3.Αξιοπιστία	4.Οριμότητα	5.PER	6.Σταθερότητα δικτύου	7.Επένδυση	8.Συντήρηση	9.Καύσιμο	10.Κόστ.ηλ.ενέργ.	11.ΚΓΠΑ	12.Αποπληρωμή	13.Ζωή	14.ΕΑC	15.Επίδοτ.συνταξιακών	16.Εκπομπή οκκαιατμήματος	17.Διαταραχή	18.Τοποθεσία	19.Ηχοαπομίτωση	αποδοχή	20.Κοινωνική	Αέσιων εργασιών
Διαστάσεις	Scores																						
Α.Αποφασίζων	2)	4	4	4	2	1	2	5	5	0	4	4	5	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3
Β.Μέγεθος	2)	4	4	4	4	3	4	4	4	3	0	3	4	4	2	4	3	4	3	4	3	2	3
Γ.Περάτωση	1)	0	2	1	0	0	1	3	3	1	0	1	3	3	1	2	1	1	0	1	0	1	0
Δ.Επίπεδο	1)	3	4	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	4	4	3	4	5	5	4
Ε.Πλαίσιο	1)	0	5	0	0	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	2	5	5	4	4	5	4	5

6.1.3 Ταξινόμηση κριτηρίων

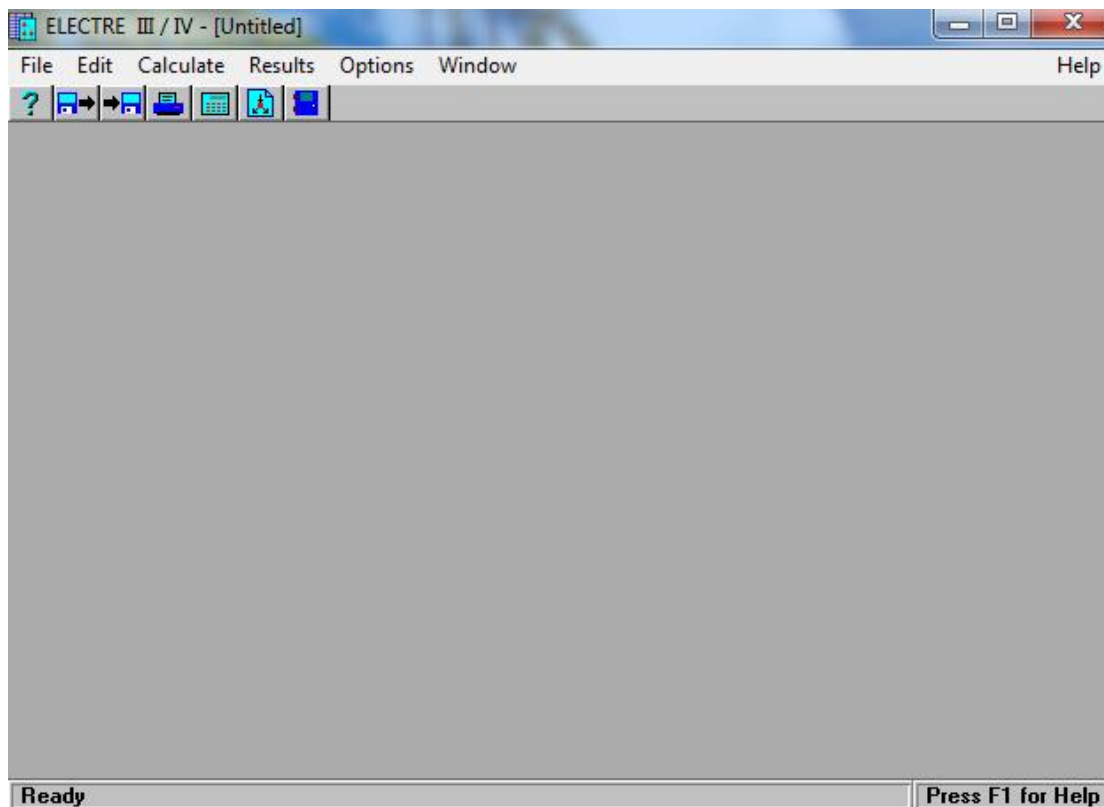
Έχοντας καταστρώσει τον παραπάνω πίνακα, μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο μεθόδους για την ταξινόμηση των κριτηρίων, τη μέθοδο MAUT με άνισα βάρη και τη μέθοδο ELECTREE III.

- α) Παραθέτουμε παρακάτω τη μέθοδο MAUT αφού πρώτα θέσουμε βάρη (πολλαπλασιάζοντας κάθε γραμμή) 0,5 στη διάσταση Α ως σημαντικότερη, 0,2 στη διάσταση Β και 0,1 στις λοιπές. Αυτό γιατί θεωρούμε πως ο αποφασίζων είναι η σημαντικότερη διάσταση του προβλήματος απόφασης. Με τη βοήθεια του excel αφού πρώτα πολλαπλασιαστούν οι γραμμές του αρχικού πίνακα με τα βάρη προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

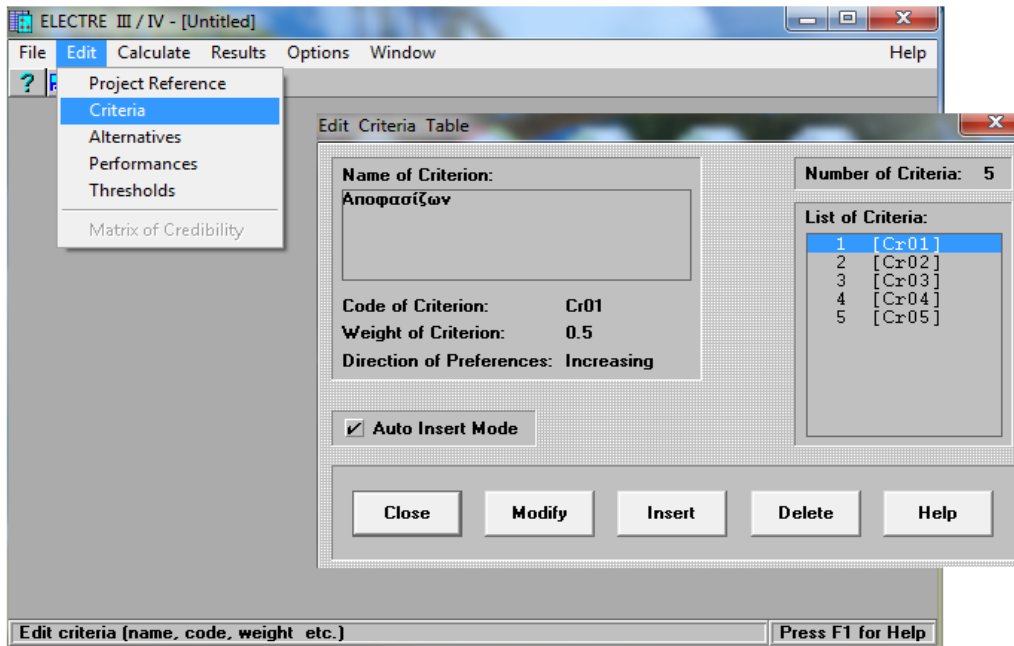
A.Αποφασίζων	2	2	2	1	0,5	1	2,5	2,5	0	2	2	2,5	2	1,5	2	1,5	2	2	2	1,5	2	1,5
B.Μέγεθος	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,6	0	0,6	0,8	0,8	0,4	0,8	0,6	0,8	0,6	0,8	0,6	0,4	0,6
Γ.Περάτωση	0	0,2	0,1	0	0	0,1	0,3	0,3	0,1	0	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Δ.Επίπεδο	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4
Ε.Πλαίσιο	0	0,5	0	0	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
sum	3,1	3,9	3,2	2,1	1,5	2,4	4,1	4	0,9	2,2	3	4	3,4	2,2	3,5	3,1	3,8	3,3	3,7	3,1	3,4	3
avg	0,62	0,78	0,64	0,42	0,3	0,48	0,82	0,8	0,18	0,44	0,6	0,8	0,68	0,44	0,7	0,62	0,76	0,66	0,74	0,62	0,68	0,6

Η τελευταία γραμμή είναι ο μέσος όρος κάθε στήλης και σύμφωνα με αυτή ταξινομούμε τα κριτήρια. Ο μεγαλύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στο σημαντικότερο κριτήριο και ο μικρότερος στο λιγότερο σημαντικό.

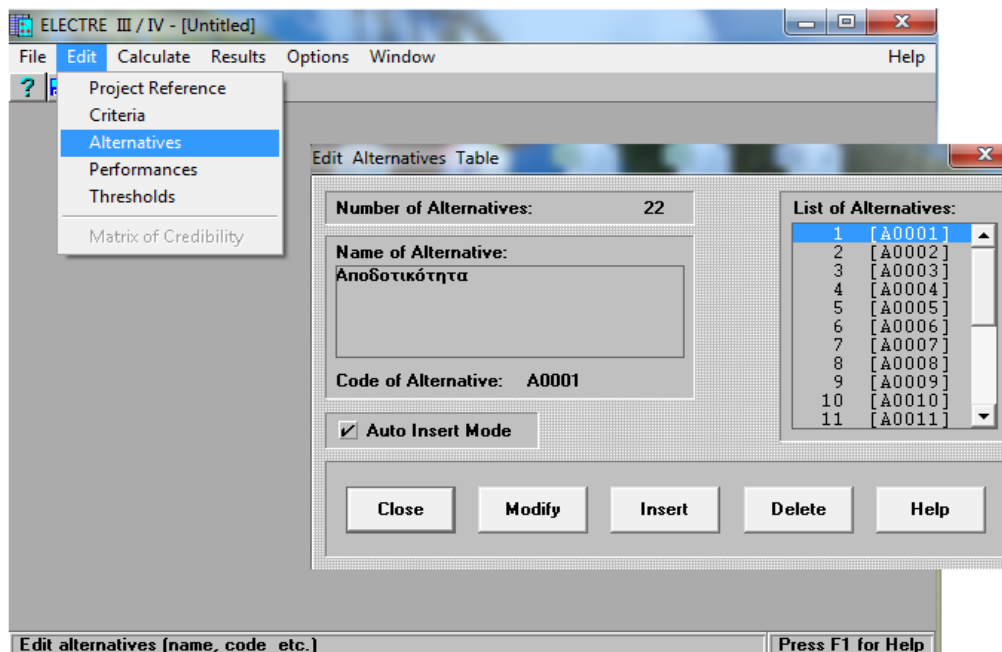
- b) Η μέθοδος ELECTREE III γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού για να αποφευχθούν εκτενείς πράξεις. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιείται από το Εργαστήριο Υποστήριξης Συστήματος Απόφασης και υπολογίζει τις μεθόδους ELECTRE III και IV.



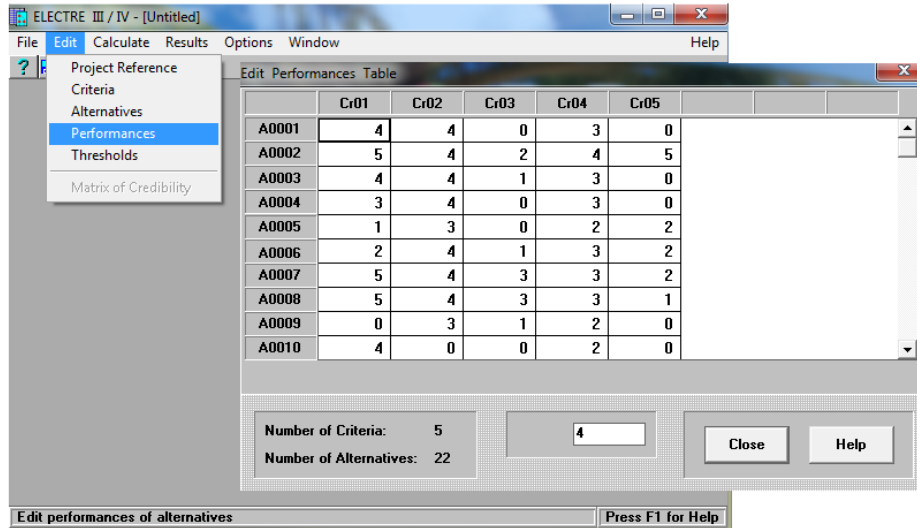
Αρχικά καθορίζονται οι εναλλακτικές και τα κριτήρια του προβλήματος απόφασης. Στη μέθοδο που προτείνεται στην εν λόγω εργασία εναλλακτικές αποτελούν τα κριτήρια 1-22 που έχουν οριστεί προηγουμένως και εναλλακτικές οι διαστάσεις A-E. Αυτό γιατί θέλουμε να ταξινομήσουμε με φθίνουσα σημασία τα κριτήρια 1-22. Η διαδικασία ορισμού κριτηρίων και διαστάσεων φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



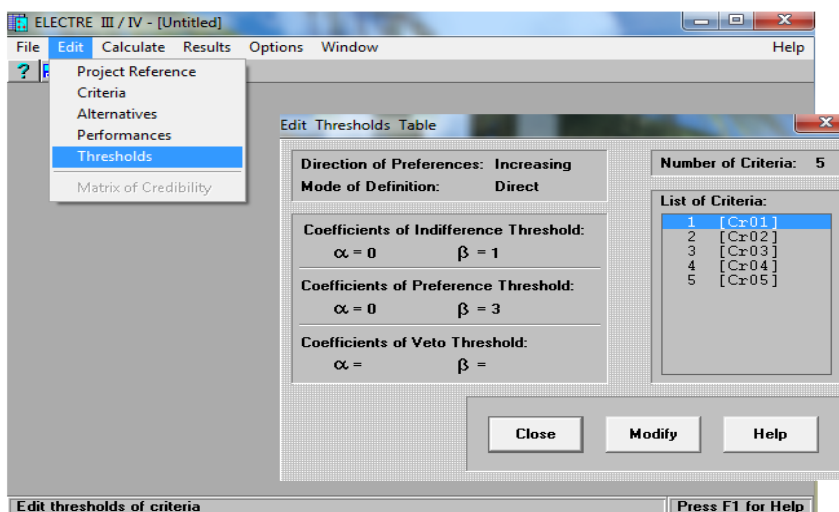
Σε κάθε κριτήριο (στην περίπτωση αυτής της εργασίας είναι οι διαστάσεις A-E) βάζουμε όνομα και βάρος (όπως πριν 0,5 στον αποφασίζων κ.ο.κ.) και στη συνέχεια προσθέτουμε στο πρόγραμμα και όλες τις εναλλακτικές (κριτήρια στην περίπτωση αυτής της εργασίας).



Έπειτα συμπληρώνονται τα performances που είναι τα scores του πίνακα απόφασης που καταστρώθηκε παραπάνω αφού πρώτα αντιμετωπιστούν τα στοιχεία του πίνακα (γραμμές σε στήλες) γιατί όπως αναφέρθηκε παραπάνω στη μέθοδο που προτείνεται εδώ πρέπει να ταξινομηθούν τα κριτήρια 1-22 (και όχι οι εναλλακτικές όπως σε άλλα προβλήματα με ELECTRE).



Στη συνέχεια ορίζουμε τα κατώφλια (thresholds) για κάθε διάσταση. Στο συντελεστή α θέτουμε 0 γιατί θέλουμε τα κατώφλια να είναι κάποιος σταθερός αριθμός και όχι ποσοστό (σύμφωνα με τη γραμμική συνάρτηση $\rho = \alpha * g(\alpha) + \beta$ όπου ρ το κατώφλι προτίμησης $g(\alpha)$ το score της εναλλακτικής α και α και β οι συντελεστές που θέτουμε – ομοίως ισχύει και για το κατώφλι αδιαφορίας q). Επειδή η κλίμακα στο πρόβλημα είναι από 0-5 θέτουμε ως κατώφλι αδιαφορίας έναν μικρό αριθμό κοντά στην ελάχιστη διαφορά των scores σε κάθε στήλη που την υπολογίζει και το πρόγραμμα (Min (Δg_j)), και ως κατώφλι προτίμησης μια μεγαλύτερη διαφορά που δηλώνει σίγουρη προτίμηση ενός κριτηρίου σε σχέση με κάποιο άλλο, δηλαδή εδώ 3. Δηλαδή $\beta_1 = q = 1$ και $\beta_2 = \rho = 3$ όπως φαίνεται και στην εικόνα. Δεν επιλέγονται τα κατώφλια veto ως μια απλούστευση της μεθόδου.



Τέλος, πατώντας calculate το πρόγραμμα λύνει το πρόβλημα απόφασης και ταξινομεί τα κριτήρια και τα αποτελέσματα παρατίθενται στην καρτέλα results. Έτσι λοιπόν προκύπτουν δύο διαφορετικές ταξινομήσεις για τα κριτήρια τα οποία θα έπρεπε να λάβει υπ' όψιν η εταιρεία ΡΟΚΑΣ για την επένδυση του έργου ΑΠΕ στο Μόδι Κρήτης. Οι δύο αυτές ταξινομήσεις παρατίθενται παρακάτω σε

φθίνουσα σειρά δηλαδή από το πλέον σημαντικό κριτήριο έως το λιγότερο σημαντικό. Τα πλαίσια που υπάρχουν στη μέθοδο ELECTRE III αλλά και στη MAUT δηλώνουν ότι τα κριτήρια μέσα σε αυτά είναι ίδιας σημασίας.

6.1.4 Συμπεράσματα

Παρατηρούμε πως και οι δύο μέθοδοι θεωρούν τα κριτήρια 2, 7, 8, 12 (ασφάλεια, κόστος επένδυσης, κόστος λειτουργίας και συντήρησης, περίοδος αποπληρωμής αντίστοιχα) ως τα σημαντικότερα και τα 5, 9 (PER, κόστος καυσίμου αντίστοιχα) ως λιγότερο σημαντικά πράγμα που επιβεβαιώνει την ισχύ και των δύο μεθόδων και το ότι εκτελέστηκαν σωστά. Το γράφημα κατάταξη απλά δίνει μια φθίνουσα ταξινόμηση των κριτηρίων 1 έως 22 από το σημαντικότερο ως το λιγότερο σημαντικό. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται όμως δίνει τη δυνατότητα ενός υπολογισμού ενός final graph στο οποίο ενδέχεται να υπάρχουν διακλαδώσεις. Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχουν διακλαδώσεις στο τελικό γράφημα παρά μόνο αλλάζει η σημασία του κριτηρίου 5 από το 9 και δε βρίσκονται στο ίδιο πλαίσιο. Θα μπορούσαν όμως να υπάρχουν διακλαδώσεις το οποίο θα σήμαινε ότι τα διακλαδωνόμενα κριτήρια είναι ασυγκρίσιμα μεταξύ τους και θα πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν υπό περίπτωση. Αυτό είναι ένα χρήσιμο συμπέρασμα που εξέρχεται από τη μέθοδο αυτή μέσω του τελικού γραφήματος και δεν μπορεί να εξαχθεί η MAUT.

Έγινε λοιπόν μια κατάταξη κριτηρίων με δύο μεθόδους που δίνει στον αποφασίζοντα (εδώ επιχείρηση) τη δυνατότητα να ελέγξει ποια κριτήρια πρέπει να προσέξει περισσότερο και ποια λιγότερο ανάλογα με τους στόχους που έχει θέσει για τη λύση του προβλήματος απόφασής του. Πρόκειται δηλαδή για ένα εργαλείο που υποστηρίζει την απόφαση του και παρ' όλα τα πιθανά του μειονεκτήματα δίνει μια σαφή εικόνα του προβλήματος στη διαδικασία λήψης της απόφαση

Μέθοδος MAUT	Μέθοδος ELECTRE III	
	Κατάταξη	Τελικό γράφημα
<p style="text-align: center;">7</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">8</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">12</div> <p style="text-align: center;">2</p> <p style="text-align: center;">17</p> <p style="text-align: center;">19</p> <p style="text-align: center;">15</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">13</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">21</div> <p style="text-align: center;">18</p> <p style="text-align: center;">3</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">16</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">20</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">11</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">22</div> <p style="text-align: center;">6</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">10</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 2px auto;">14</div> <p style="text-align: center;">4</p> <p style="text-align: center;">5</p> <p style="text-align: center;">9</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0007 A0008 A0012 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0002 A0017 A0019 A0021 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0001 A0003 A0011 A0013 A0015 A0018 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0020 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0016 A0022 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0014 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0004 A0006 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0010 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> A0005 A0009 </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0007 A0008 A0012 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0002 A0017 A0019 A0021 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0001 A0003 A0011 A0013 A0015 A0018 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0020 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0016 A0022 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0014 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0004 A0006 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0010 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> A0005 </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> A0009 </div>

6.2 Κατασκευή φωτοβολταϊκού πάρκου στην Κοζάνη

Στο εν λόγω παράδειγμα μελέτης θα εξεταστεί ένα υπό χρηματοδότηση έργο, σε αντίθεση με πριν που ήταν ήδη ολοκληρωμένο, για να μελετηθεί και εδώ η εφαρμοστικότητα και η αποτελεσματικότητα της μεθόδου με διαφορετικές διαστάσεις από ότι πριν.

6.2.1 Πληροφορίες του έργου

Το μεγαλύτερο φωτοβολταϊκό πάρκο στον κόσμο, αξίας άνω των 600 εκατ. ευρώ, φιλοδοξεί να κατασκευάσει η ΔΕΗ στην Κοζάνη και γι αυτόν τον λόγο βρίσκεται σε προχωρημένες συζητήσεις με αμερικανική εταιρεία που ειδικεύεται στο αντικείμενο. Το μεγάλο project επιχειρείται να φιλοξενηθεί σε έκταση που μπορεί να ξεκινάει από τα 5.000 αλλά να φτάσει μέχρι και τα 8.000 στρέμματα, αναλόγως του πόσα από τα πολλές χιλιάδες ανεκμετάλλευτα στρέμματα των πρώην λιγνιτωρυχείων της Κοζάνης θα διαθέσει η ΔΕΗ. Το κοινοπρακτικό σχήμα που θα προκύψει θα ελέγχεται σύμφωνα με τις πληροφορίες κατά 51% από τη ΔΕΗ και κατά 49% από τον ξένο εταίρο (οι πληροφορίες μιλούν για την αμερικανική AES που δραστηριοποιείται σε πάνω από 30 χώρες παρέχοντας εξειδικευμένες υπηρεσίες) ενώ καταβάλλεται προσπάθεια η συμφωνία να έχει κλείσει πριν από τη ΔΕΘ 2010, ώστε να ανακοινωθεί από την κυβέρνηση ως ένα μεγάλο έργο πράσινης ανάπτυξης σε μια άκρως επιβαρημένη περιβαλλοντικά περιοχή. Αναλόγως της έκτασης στην οποία θα κατασκευαστεί, η ισχύς του πάρκου μπορεί να ξεκινήσει από τα 200 αλλά να φτάσει και τα 300 MW, ενώ για να αντιληφθεί κανείς τι σημαίνει αυτό σε τάξη μεγέθους, το μεγαλύτερο σήμερα φωτοβολταϊκό στον κόσμο έχει ισχύ 60 MW και βρίσκεται στην περιοχή La Mancha της Καστίλλης στην Ισπανία. Όσο γι αυτό που δρομολογεί στη Μεγαλόπολη η ΔΕΗ, ισχύος 50 MW, όταν θα ολοκληρωθεί θα είναι το 5ο σε μέγεθος παγκοσμίως. Σε κάθε περίπτωση πρόκειται για επένδυση, ο προϋπολογισμός της οποίας, αναλόγως της διαθέσιμης έκτασης θα ξεκινάει από τα 600 αλλά μπορεί να φτάσει και τα 800 εκατ. ευρώ ή και ακόμη υψηλότερα.



Σύμφωνα με επιβεβαιωμένες πληροφορίες, οι συζητήσεις που άρχισαν μεταξύ της υπερατλαντικής εταιρείας και της ΔΕΗ πριν από τέσσερις μήνες, καταλήγουν εντός των επόμενων εβδομάδων. Ένα από τα βασικά σημεία τριβής των διαπραγματεύσεων όλο αυτό το διάστημα ήταν το ποσοστό συμμετοχής των δύο εταιρειών στο κοινοπρακτικό σχήμα που θα συσταθεί για την υλοποίηση του έργου. Αρχικά οι αμερικανοί επενδυτές διεκδικούσαν συμμετοχή σε ποσοστό 51% αλλά φέρονται να πείστηκαν τελικώς ότι είναι αδύνατον να προχωρήσει το έργο στη συγκεκριμένη περιοχή και πολύ περισσότερο σε εκτάσεις του Δημοσίου που έχουν παραχωρηθεί προς εκμετάλλευση στη ΔΕΗ από ένα επενδυτικό σχήμα στο οποίο η τελευταία δεν θα έχει την πλειοψηφία. Ύστερα από αυτό, η συμφωνία φαίνεται ότι βαίνει προς το τελικό στάδιο καθώς απομένει να ρυθμιστούν ακόμη κάποιες επί μέρους λεπτομέρειες. Πάντως, όταν πρόκειται για εκτάσεις σαν αυτές που έχουν παραχωρηθεί εδώ και τόσα χρόνια στη ΔΕΗ, και κάτω από συγκεκριμένες προϋποθέσεις, μπορεί να γίνουν αντίστοιχες συμφωνίες, χωρίς να χρειάζεται να καταφύγει η επιχείρηση σε διαγωνισμό.

Τις τελευταίες ημέρες, σε συσκέψεις που έγιναν στη ΔΕΗ έγινε σαφές ότι τα αποκατεστημένα ορυχεία του λιγνιτικού κέντρου Δυτικής Μακεδονίας προσφέρουν τεράστιες δυνατότητες για πράσινη ανάπτυξη. Ήδη, και ενώ οι αρχικές σκέψεις για το έργο αφορούσαν έκταση 5.000 στρεμμάτων όπου θα εγκαθίσταντο 200 MW, κατέστη γνωστό ότι μπορεί να διατεθούν ακόμη και 8.000 στρέμματα ή και περισσότερα, ικανά να φιλοξενήσουν 300 MW.

Το θέμα της ανάπτυξης φωτοβολταϊκών πάρκων μεγάλης κλίμακας στο λιγνιτικό λεκανοπέδιο Κοζάνης- Πτολεμαΐδας είχε συζητηθεί ξανά παλιότερα για την αξιοποίηση των αχανών εκτάσεων των 160.000 στρεμμάτων του λιγνιτικού κέντρου Κεντρικής Μακεδονίας, για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών πάρκων ισχύος ακόμη μεγαλύτερης από εκείνα των 50 MW της Μεγαλόπολης. Το

σκεπτικό είναι αντίστοιχο με εκείνο σχετικά με την αξιοποίηση των εξαντλημένων ορυχείων της επιχείρησης στη Μεγαλόπολη: Η σταδιακή μετάβαση της περιοχής στη μεταλιγνιτική περιοχή με έργα μηδενικών εκπομπών ρύπων, αλλά και η δημιουργία θέσεων απασχόλησης μέσω αναπτυξιακών έργων στις πληγείσες από τη ρύπανση Κοζάνη και Πτολεμαΐδα. (Φιντικάκης, 2010)



6.2.2 Κατάστρωση του πίνακα απόφασης

Σύμφωνα με τα παραπάνω και παράλληλα με το κεφάλαιο 4.3 το συγκεκριμένο έργο ΑΠΕ έχει ως αποφασίζων τη ΔΕΗ που είναι δημόσιος οργανισμός (παρόλο που η κοινοπραξία ορίζει ιδιοκτησία της ΔΕΗ το 51% και το υπόλοιπο 49% στην αμερικάνικη εταιρεία θεωρούμε τη ΔΕΗ ως αποφασίζων), έχει μεγάλο μέγεθος αφού πρόκειται για το μεγαλύτερο πάρκο αυτή τη στιγμή, θα έχει μεγάλο χρόνο περάτωσης αφού απαιτήσε τη κατασκευή φωτοβολταϊκών σε έκταση 5.000-8.000 στρεμμάτων, λαμβάνει χώρα σε ανεπτυγμένη χώρα με πρότερη εμπειρία κατασκευής έργων ΑΠΕ και με αυστηρό θεσμικό πλαίσιο όσον αφορά στην ενέργεια. Σύμφωνα με αυτά καταστρώνουμε τον πίνακα απόφασης που περιγράφηκε στο τέλος του 4.3.

		Κριτήρια																					
		Τεχνικά						Οικονομικά									Περιβαλλοντικά				Κοινωνικά		
		1. Αποδοτικότητα	2. Ασφάλεια	3. Αξιοπιστία	4. Οριμότητα	5. PER	6. Σταθερότητα δικτύου	7. Επέκταση	8. Συντήρηση	9. Καύσιμο	10. Κόστ. ηλ. ενέργ.	11. ΚΠΑ	12. Αποπληρωμή	13. Ζωή	14. ΕΑC	15. Επίδοτ. σωματιδίων	16. Εκπομπή οξυοστίτηματος	17. Διαταραχή	18. Τοποθεσία	19. Ηχορύπανση	20. Κοινωνική αποδοχή	21. Δημιουργία θέσεων εργασίας	22. Κοινωνικά οφέλη
Διαστάσεις		Scores																					
Α.Αποφασίζων	1)	4	5	5	3	3	4	3	4	1	3	4	3	3	3	4	4	5	5	4	4	5	5
Β.Μέγεθος	3)	5	5	5	5	4	5	5	5	3	1	4	4	4	2	5	3	5	4	4	3	3	4
Γ.Περάτωση	1)	0	2	1	0	0	1	3	3	1	0	1	3	3	1	2	1	1	0	1	0	1	0
Δ.Επίπεδο	1)	3	4	3	3	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	3	4	4	3	4	5	5	4
Ε.Πλαίσιο	1)	0	5	0	0	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	2	5	5	4	4	5	4	5

6.2.3 Ταξινόμηση κριτηρίων

Έχοντας καταστρώσει τον παραπάνω πίνακα, μπορούμε να ακολουθήσουμε δύο μεθόδους για την ταξινόμηση των κριτηρίων, τη μέθοδο MAUT με άνισα βάρη και τη μέθοδο ELECTREE III.

- α) Παραθέτουμε παρακάτω τη μέθοδο MAUT αφού πρώτα θέσουμε βάρη 0,5 στη διάσταση Α ως σημαντικότερη, 0,2 στη διάσταση Β και 0,1 στις λοιπές. Αυτό γιατί θεωρούμε πως ο αποφασίζων είναι η σημαντικότερη διάσταση του προβλήματος απόφασης. Ακολουθούμε δηλαδή ακριβώς την ίδια διαδικασία με πριν. Με τη βοήθεια του excel αφού πρώτα πολλαπλασιαστούν οι γραμμές του αρχικού πίνακα με τα βάρη προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

A.Αποφασίζων	2	2,5	2,5	1,5	1,5	2	1,5	2	0,5	1,5	2	1,5	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	2	2	2,5	2,5
B.Μέγεθος	1	1	1	1	0,8	1	1	1	0,6	0,2	0,8	0,8	0,8	0,4	1	0,6	1	0,8	0,8	0,6	0,6	0,8
Γ.Περάτωση	0	0,2	0,1	0	0	0,1	0,3	0,3	0,1	0	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Δ.Επίπεδο	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4
Ε.Πλαίσιο	0	0,5	0	0	0,2	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0,2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5
sum	3,3	4,6	3,9	2,8	2,7	3,6	3,3	3,7	1,4	1,9	3,2	3	2,9	2,2	3,7	3,6	4,5	4	3,7	3,6	4,1	4,2
avg	0,66	0,92	0,78	0,56	0,54	0,72	0,66	0,74	0,28	0,38	0,64	0,6	0,58	0,44	0,74	0,72	0,9	0,8	0,74	0,72	0,82	0,84

Η τελευταία γραμμή είναι ο μέσος όρος κάθε στήλης και σύμφωνα με αυτή ταξινομούμε τα κριτήρια. Ο μεγαλύτερος μέσος όρος αντιστοιχεί στο σημαντικότερο κριτήριο και ο μικρότερος στο λιγότερο σημαντικό.

- b) Η μέθοδος ELECTREE III γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού για να αποφευχθούν εκτενείς πράξεις. Ακολουθούνται ακριβώς τα ίδια βήματα με το προηγούμενο case study για να ταξινομηθούν τα κριτήρια δηλαδή ορίζονται criteria, alternatives και thresholds και τέλος calculate.

Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων (φθίνουσα κατάταξη κριτηρίων) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

6.2.4 Συμπεράσματα

Στον πίνακα αυτόν φαίνεται πως και οι δύο μέθοδοι θεωρούν τα κριτήρια 2, 17, 18, 19, 22 (ασφάλεια, διαταραχή οικοσυστήματος, τοποθεσία, ηχορρύπανση, κοινωνικά οφέλη αντίστοιχα) ως πιο σημαντικά και τα 9, 10, 14 (καύσιμο, κόστος ηλεκτρικής ενέργειας και EAC αντίστοιχα) ως λιγότερο σημαντικά με διαφορετική βέβαια ιεράρχηση και επίσης παρατηρείται μια μικρή διαφορά στην ιεράρχηση των ενδιάμεσων κριτηρίων. Όπου υπάρχει πλαίσιο σημαίνει ότι τα κριτήρια μέσα σε αυτό έχουν την ίδια σημασία. Συγκριτικά με το προηγούμενο case study παρατηρείται ότι και στα δύο σημαντική είναι η ασφάλεια και λιγότερο σημαντικό το EAC και το κόστος καυσίμου. Επίσης εδώ που ο αποφασίζων είναι το δημόσιο τονίζονται περιβαλλοντικά κριτήρια ενώ στην προηγούμενη μελέτη που ο αποφασίζων είναι επιχείρηση τονίζονται οικονομικά κριτήρια. Όπως και πριν, παρατίθεται και το τελικό γράφημα το οποίο δείχνει πως τα κριτήρια 4, 7 (ωριμότητα και κόστος επένδυσης) δε μπορούν να συγκριθούν με τα 11, 16 (ΚΠΑ και εκπομπή σωματιδίων) και πρέπει να ελεγχθούν υπό περίπτωση. Είναι μια χρήσιμη ιδιότητα του προγράμματος για την ELECTRE III που δίνει μια επιπλέον δυνατότητα απόφασης στον εκάστοτε αποφασίζοντα.

Έτσι, παρατίθεται μια τεκμηριωμένη μέθοδος για τον αποφασίζων δημόσιο με την οποία μπορεί να έχει μια σαφή εικόνα του προβλήματος με την οποία θα δύναται να δώσει την πρέπουσα σημασία στο κάθε κριτήριο για την επένδυση στο συγκεκριμένο έργο ΑΠΕ.

Μέθοδος MAUT		Μέθοδος ELECTRE III	
		Κατάταξη	Τελικό γράφημα
	2		
	17		
	22		
	21		
	18		
	3		
	8		
	15		
	19		
	6		
	16		
	20		
	1		
	7		
	11		
	12		
	13		
	4		
	5		
	14		
	10		
	9		

7. Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε μια προσπάθεια παρουσίασης μιας μεθοδολογίας λήψης αποφάσεων για την επίλυση προβλημάτων σχετικά με επενδύσεις σε ΑΠΕ. Λόγω της συνεχούς αύξουσας σημασίας τους στην αγορά ενέργειας έγινε η προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα εργαλείο που να μπορεί να υποστηρίξει την απόφαση των επενδυτών σε τέτοια θέματα έτσι ώστε να προωθηθεί περαιτέρω η ανάπτυξη των έργων ΑΠΕ. Αναλύθηκαν οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι κυριότερες μεθοδολογίες λήψης αποφάσεων και τέλος περιγράφηκε και εφαρμόστηκε μια διαδικασία με την οποία αυτές οι μέθοδοι εφαρμόζονται στην πράξη σε προβλήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Μέσω της ανάλυσης των τεχνολογιών ΑΠΕ αποκομίστηκε μια επαρκής γνώση για το αντικείμενο και για το ποιες τεχνολογίες εφαρμόζονται στην Ελλάδα μιας και αποτελούν το μέλλον στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Μέσω της ανάλυσης των μεθοδολογιών λήψης αποφάσεων αποκομίστηκε επαρκής γνώση για το τι είναι αυτές οι μεθοδολογίες και ποιο σκοπό εξυπηρετούν στα χέρια του εκάστοτε αποφασίζοντα. Είναι ένα χρήσιμο εργαλείο που βοηθά στην ταξινόμηση των εναλλακτικών σεναρίων που πρέπει να εξετάσει ο αποφασίζων σε κάποιο πρόβλημα με πολλές συνιστώσες, στην περίπτωση μας πρόβλημα απόφασης στον ενεργειακό τομέα. Με την εφαρμογή της διαδικασίας που περιγράφηκε σε κάποια πραγματικά παραδείγματα μελέτης, έγινε φανερή η εφαρμοστικότητα της μεθόδου σε θέματα ενεργειακού σχεδιασμού. Δόθηκε μια κατανοητή και εύκολα υλοποιήσιμη μέθοδος που θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμη σε κάθε μελέτη κατασκευής έργου ΑΠΕ.

Χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι MAUT και η πολυκριτηριακή ELECTRE III. Η δεύτερη χρησιμοποιεί κριτήρια και εναλλακτικές και ταξινομεί τις εναλλακτικές. Εδώ γίνεται κάτι διαφορετικό. Θεωρούμε ένα καινούριο πρόβλημα απόφασης στο οποίο οι εναλλακτικές είναι τα κριτήρια του προβλήματος ΑΠΕ 1 – 22 ενώ ως κριτήρια του αρχικού προβλήματος είναι οι διαστάσεις A – E. Έτσι με τη μέθοδο αυτή που προτείνεται ταξινομούνται κριτήρια και όχι εναλλακτικά σενάρια. Και για τη MAUT και για την ELECTRE III χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας των score που καταστρώθηκε στο κεφάλαιο 4.3. Ο πίνακας των scores αποτελείται από στήλες κριτήρια και γραμμές διαστάσεις. Έγινε προσπάθεια να αναφερθούν όλα σημαντικά κριτήρια και οι διαστάσεις. Τα κριτήρια ταξινομούνται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τον (Jiang-Jiang Wang *, 2009) και οι διαστάσεις έχουν σε μεγάλο βαθμό ορθογωνιότητα μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μια από τις πέντε διαστάσεις είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους και δεν επηρεάζει η μια την άλλη. Σε κάποιο άλλο πρόβλημα απόφασης θα μπορούσαν να έχουν μικρή ή μεγαλύτερη σχέση και τότε θα έπρεπε να γίνει προσεκτική ανάλυση των αποτελεσμάτων και να αναλυθεί η σχέση αυτή και πως επηρεάζει το πρόβλημα. Τα scores του πίνακα απόφασης συμπληρώθηκαν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία και θα

μπορούσαν να έχουν διαφορετικές τιμές. Αυτό θα μπορούσε να είναι αντικείμενο μιας νέας μελέτης μιας και η πηγή των scores θα μπορούσε να προερχόταν και από άλλες μεθόδους συλλογής δεδομένων.

Στα παραδείγματα μελέτης που παρατίθενται γίνεται σαφής η μεθοδολογία που προτείνεται στην εν λόγω μελέτη. Και στα δύο αναγνωρίζονται πρώτα οι διαστάσεις του προβλήματος και έπειτα από την κατάστρωση του πίνακα και την εφαρμογή της μεθοδολογίας εξέρχονται ως αποτελέσματα οι φθίνουσες κατατάξεις των κριτηρίων. Αυτό είναι σημαντικό γιατί μπορεί να ελέγξει κάποιος τι πρέπει να προσέξει περισσότερο σε κάποια επένδυση έργου ΑΠΕ ώστε να πάρει τη σωστή απόφαση. Παρατηρείται ότι καθώς αλλάζουν οι διαστάσεις από το ένα πρόβλημα στο άλλο, αλλάζει και η σειρά των κριτηρίων, πράγμα λογικό και αναμενόμενο αφού κάθε πρόβλημα έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και απαιτεί ανάλογες αποφάσεις.

Συμπερασματικά λοιπόν αυτά που αποκομίστηκαν από την εν λόγω μελέτη είναι:

- Επαρκής γνώση τεχνολογιών ΑΠΕ και πολυκριτηριακών μεθοδολογιών λήψης αποφάσεων.
- Κατανόηση των συνιστωσών ενός προβλήματος ΑΠΕ (κριτήρια και διαστάσεις).
- Εφαρμογή πολυκριτηριακών και MAUT μεθόδων λήψης απόφασης σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού.
- Παρουσίαση ενός εργαλείου κατάταξης κριτηρίων που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν σε μια επένδυση σε ΑΠΕ.

Σύμφωνα λοιπόν με όλα τα παραπάνω δημιουργούνται στον αναγνώστη τα παρακάτω εύλογα ερωτήματα:

- Είναι η μέθοδος που περιγράφεται χρήσιμο εργαλείο για την καθοδήγηση της λήψης αποφάσεων σε ΑΠΕ;
- Από ποιούς μπορεί να εφαρμοστεί και εφαρμόζεται εύκολα ή απαιτεί ειδικές γνώσεις και εξοπλισμό;
- Πώς αυτή η μέθοδος συγκρίνεται με άλλες μεθόδους απόδοσης βαρών και λήψης αποφάσεων γενικότερα;
- Έχει πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα από πλευρά ευκολίας, ταχύτητας, ποιότητας αποτελεσμάτων και πεδίου εφαρμογής;

Απαντώντας στα παραπάνω μπορεί να ειπωθεί ότι η μέθοδος αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο στην υποστήριξη απόφασης. Εφαρμόζεται εύκολα από κάποιον αναγνώστη με στοιχειώδης γνώσεις σε

ενεργειακά ζητήματα ΑΠΕ και στη επιστήμη της λήψης αποφάσεων και δεν απαιτεί ειδικό εξοπλισμό πέρα από υπολογιστή με συγκεκριμένο λογισμικό. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι καινοτόμος στην απόδοση βαρών και γίνεται μέσω της βιβλιογραφίας. Είναι μια υποκειμενική μεν μέθοδος που στηρίζεται δε σε ισχύοντα και ακριβή δεδομένα. Η όλη διαδικασία είναι γρήγορη, απλή, δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα που συμφωνούν με την κοινή λογική όπως είδαμε στα δύο case studies και θα μπορούσε να επεκταθεί να εφαρμοστεί και ευρύτερα και σε άλλα ενεργειακά προβλήματα απόφασης.

Βλέποντας και απαντώντας λοιπόν αυτά τα ερωτήματα παρατηρείται πως η έρευνα μπορεί να επεκταθεί ακόμη περισσότερο σε κάποια κεφάλαια ή να γίνουν κάποιες αλλαγές έτσι ώστε να διαπιστώσουμε αν εξάγονται παρόμοια αποτελέσματα με τα παρόντα και ακόμα περισσότερο να δημιουργηθεί ένα ακόμη πιο ισχυρό εργαλείο που να τεκμηριώνει και να υποστηρίζει τη λήψη μιας απόφασης σε θέματα ΑΠΕ. Αυτή η επέκταση και μελλοντική έρευνα αναφέρεται στα εξής:

- *Λήψη δεδομένων για την ακόμα πιο τεκμηριωμένη απόδοση των scores κατά τη διαδικασία κατάστρωσης του πίνακα απόφασης.* Εδώ θα μπορούσαν να δοθούν ερωτηματολόγια στους συμβούλους μιας εταιρείας, για παράδειγμα, που ενδιαφέρεται να επενδύσει σε ΑΠΕ και να βαθμολογήσουν οι ίδιοι τα κριτήρια και τις διαστάσεις ανάλογα με τους δικούς τους στόχους. Ο μέσος όρος των αντίστοιχων προβλέψεων του καθενός θα απάρτιζε κάθε ένα στοιχείο του νέου πίνακα σημειώνοντας πάντα και τη διασπορά του καθενός score μεταξύ των συμβούλων.
- *Επιπλέον κριτήρια και διαστάσεις στον πίνακα απόφασης.* Επειδή ένα πρόβλημα απόφασης ΑΠΕ δε μένει στάσιμο αλλά εξελίσσεται διαρκώς, ενδέχεται να υπάρξουν επιπλέον κριτήρια από τα 22 που αναφέρθηκαν ή ακόμα και κάποια νέα κατηγορία κριτηρίων πέρα από τις 4 που αναφέρθηκαν. Όμοια μπορεί να υπάρξουν ή να χρειάζεται να μελετηθούν επιπλέον διαστάσεις από τις 5 ελέγχοντας πάντα αν υπάρχει ορθογωνιότητα μεταξύ τους.
- *Επιλογή άλλης μεθόδου λήψης απόφασης.* Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε μέθοδος MAUT και ELECTRE III κρίνοντας τις ως καταλληλότερες για τα ενεργειακά προβλήματα σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Θα μπορούσε να εφαρμοστεί και κάποια άλλη πολυκριτηριακή μέθοδος όπως η PROMETHEE. Επιπλέον θα μπορούσαν να εφαρμοστούν όλες οι γνωστές μέθοδοι πολυκριτηριακών και στο τέλος να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που βγάζουν για το ίδιο πρόβλημα.
- *Απόδοση διαφορετικών βαρών στις διαστάσεις.* Στα παραδείγματα μελέτης τέθηκαν βάρη 0,5 στον αποφασίζοντα, 0,2 στο μέγεθος έργου και 0,1 στις υπόλοιπες διαστάσεις. Αυτό γιατί θεωρήσαμε πως ο αποφασίζων είναι ο σημαντικότερος παράγων για τη λήψη μιας απόφασης. Θα μπορούσαν να αποδοθούν διαφορετικά βάρη στην κάθε μια διάσταση σύμφωνα με κάποια προηγούμενη έρευνα ή ακόμα και απόδοση ίσων βαρών σε όλες τις

διαστάσεις και σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόζουμε μια υποκειμενική μέθοδο απόδοσης βαρών. Θα μπορούσε να εφαρμοστεί οποιαδήποτε από τις μεθόδους που αναφέρονται στο κεφάλαιο 3.2.3.

- *Ορισμός κατώφλιου veto στο πρόγραμμα της ELECTRE III.* Για απλούστευση της μεθόδου αγνοήσαμε το κατώφλι veto. Το κατώφλι veto αναπαριστά την διαφορά των scores $x_{jk} - x_{ik}$ πάνω από την οποία το κριτήριο x_k θέτει veto στην υπεροχή της x_i έναντι της x_j . Έτσι κάποιο κριτήριο δεν θα υπερέχει κάποιου άλλου όπως γινόταν με το κατώφλι προτίμησης και τα αποτελέσματα θα είναι διαφορετικά στην κατάταξη.

Κλείνοντας, αναφέρουμε πως αυτή η μεθοδολογία που προτείνεται θα μπορεί αν βελτιωθεί και εξελιχτεί περαιτέρω να αποτελέσει βασικό βοηθό ενός manager στη λήψη αποφάσεων σε προβλήματα ΑΠΕ και να συντελέσει στην τεκμηριωμένη και σωστή λύση τους.

8. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Επεξήγηση συμβόλων και συντομογραφιών

Σύμβολο / συντομογραφία	Επεξήγηση
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΡΑΕ	Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
ΟΤΑ	Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης
ΟΠΕΚ	Οργανισμός εξαγωγών Πετρελαιοπαραγωγών Κρατών
ΥΗΣ	Υδροηλεκτρικός Σταθμός
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
ΤΙΠ	Τόνοι Ισοδύναμου Πετρελαίου
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΣΔΕΑ	Σχέδιο Δράσης Ελληνικής Αποδοτικότητας
ΕΠΑΝ	Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ανταγωνιστικότητας
ΣΗΘ	Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού Θερμότητας
ΚΠΣ	Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης
WWF	World Wildlife Fund
PER	Primary Energy Ratio
NPV	Net Present Value
EAC	Equivalent Annual Cost
DM	Decision Maker
MCDM	Multi Criteria Decision Making
SMART	Similarity Measure Anchored Ranking Technique
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal
AHP	Analytic Hierarchy Process
MAUT	Multi Attribute Utility Theory
ρ	Κατώφλι προτίμησης
q	Κατώφλι αδιαφορίας
v	Κατώφλι veto
S^+, S^-	Θετική, αρνητική υπεροχή
I^+, I^-	Θετική, αρνητική αδιαφορία
φ^+, φ^-	Θετική, αρνητική ροή
R	Αδιαφορία
D	Δείκτης ασυμφωνίας
P	Προτίμηση
σ	Δείκτης αξιοπιστίας
π	Δείκτης προτίμησης
SO _x	Οξείδια του θείου
NO _x	Οξείδια του αζώτου

B. Βιβλιογραφία

Assesment, W. E. (2001). *Renewable energy technologies*.

B. Fischhoff, L. D. (1982). *Calibration of Probabilities: The State of the Art to 1980,*” in *Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press .

Change, U. N. (2009). *Kyoto Protocol: Status of Ratification*.

Greenpeace. (2008, Μάιος 13). *Η Ελλάδα και το Πρωτόκολλο του Κιότο*.

Howard, R. A. (2007). *The foundations of decision analysis revisited*. New York: Cambridge University Press , 1-44.

Jiang-Jiang Wang *, Y.-Y. J.-F.-H. (2009). *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy*.

Klein, G. (2003). *The power of intuition*. New York.

physics4u. (n.d.). *Ανάκτηση από <http://www.physics4u.gr/energy/sunenergy.html>*

Plumer, B. (2009). *Is Renewable Energy Good For Workplace Safety? The New Republic* .

Psysics4u. (n.d.). *Ανάκτηση από <http://www.physics4u.gr/energy/geotherme.html>*

REN21. (2009). *Figures and tables from Renewables Global Status Report*. *Ανάκτηση από http://www.ren21.net/globalstatusreport/GSR2009_Figures.asp*

REN21. (2010). *Renewables 2010 Global Status Report*.

Roy, B. (1985). *Methodologie Multicritere d 'Aide a la Decision*.

Simon, H. (1960). *THE NEW SCIENCE OF MANAGEMENT DECISION*. New York.

Splettstoesser-GWEC, T. (2009). *GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY*.

UEST, E. (2005). *Development of best management systems for high priority waste streams in Cyprus*.

WWF. (2005). *Η ΔΕΗ έχει τα πρωτεία στις 30 πιο ρυπογόνες επιχειρήσεις της Ευρώπης* .

www.emd.dk. (2003). *Modi, Crete, Greece – Case study*. *Ανάκτηση από www.emd.dk*.

Δούμπος, Μ. (2005). *ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ*. Χανιά.

Δρ Α. Κοτρωνάρου, Δ. Α. (1998). *ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΗΝ ΧΩΡΑ ΜΑΣ*.

Ηρακλής Πολατίδης, Δ. Χ. (2004). *ΜΙΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ, ΠΟΛΥΣΥΜΜΕΤΟΧΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΕΝΔΥΣΕΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ*.

- IENE. (2009). *Η Διείσδυση των ΑΠΕ στο Ηλεκτρικό Δίκτυο και οι Εθνικοί Στόχοι για το 2020.*
- ΙΤΕΣΚ. (n.d.). *Υδροηλεκτρική Ενέργεια. Ανάκτηση από Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας:*
<http://www.allaboutenergy.gr/Paragogi324.html>
- ΚΑΠΕ. (2006). *CRES. Ανάκτηση Μάιος 5, 2010, από*
<http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24766&locale=el>
- ΚΑΠΕ. (n.d.). *Βιομάζα.* http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf.
- ΚΑΠΕ. (2005). *Οικονομικοί Μηχανισμοί Υποστήριξης των ΑΠΕ στην Ελλάδα: Οδηγίες για τους επενδυτές.*
- Κηρυττόπουλος, Κ. (2007). *Παίγνιο Επιχειρήσεων Επιχειρηματικά Σχέδια (Business Plans).*
- Κίλιας Β., Ψ. Μ. (2003). *Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών για τη Διερεύνηση Παραμέτρων Σύνδεσης Έργων ΑΠΕ στα Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας.*
- Κούκος, Π. (2010). *Προστασία περιβάλλοντος - Γεωθερμική ενέργεια.*
- Κουρής, Δ. Μ. (2008, Απρίλιος 17). *Το ενεργειακό πρόβλημα αναζητεί λύση.*
- ΚΥΑ. (2009). *Νόμος 12323/00 175/4.6.2009.*
- Κυριτσάκη, Ό. (2009). *Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στην Ελλάδα.*
- Ναυτεμπορική. (2010, Μαρτίου 31). *ΟΗΕ: Δέσμευση 75 κρατών για περιορισμό ως το 2020 των εκπομπών αερίων.*
- ΟΜΙΛΟΣ ΡΟΚΑΣ Ενέργεια και άγρια ομορφιά . (2008). *Καθημερινή .*
- Πολατίδης, Η. (2003). *Περιβαλλοντική Πολιτική και Διαχείριση.*
- ΡΑΕ. (2006). *ΟΔΗΓΟΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΙΤΗΣΕΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΠΕ ΚΑΙ ΜΙΚΡΗ ΣΗΘ.*
- Τ. Γεωργιοπούλου, Κ. (2007, 1 11). *Πρωτοβουλία ΕΕ για την ενέργεια και το περιβάλλον.*
- ΤΕΕ.Δ.Ε. (2006). *Αιολική Ενέργεια - Η κατάσταση στην Ελλάδα. Τεχνικά θέματα .*
- Τζανακάκη Ε., Μ. Δ. (2005). *ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: Η ΑΠΟΔΟΧΗ ΤΟΥ ΚΟΙΝΟΥ. ΚΑΠΕ .*
- Τσιλιγκιρίδης, Γ. (2007). *Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας.*
- Τσώλας, Γ. (2002). *Εκπόνηση οικονομικοτεχνικών μελετών. Αθήνα: Πατάκης.*
- ΥΠΑΝ. (2007). *ΣΧΕΔΙΑ ΔΡΑΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΣΔΕΑ). Αθήνα.*
- Φιντικάκης, Γ. (2010). *Μέγα φωτοβολταϊκό στην Κοζάνη. ΤΑ ΝΕΑ .*
- Χριστίνα Ευαγγέλου, Ν. Κ. (2005). *Πολυκριτήρια Ανάλυση και Λήψη Αποφάσεων.*
- Χριστοδουλάκης, Α. (2010). *Με Αργούς Ρυθμούς η Ανάπτυξη Αιολικών Πάρκων στην Ελλάδα . το ΒΗΜΑ .*

