



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πολυκριτήρια ανάλυση με γλωσσικές μεταβλητές για  
την υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής:  
Επισκόπηση μεθοδολογιών και ανάλυση εφαρμογών**

## **Διπλωματική Εργασία**

Σιούτης Σταύρος

**Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς**

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Πολυκριτήρια ανάλυση με γλωσσικές μεταβλητές για  
την υποστήριξη αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής:  
Επισκόπηση μεθοδολογιών και ανάλυση εφαρμογών**

**Διπλωματική Εργασία**

Σιούτης Σταύρος

**Επιβλέπων : Ιωάννης Ψαρράς**  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή το Φεβρουάριο του 2013.

.....  
.....  
.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Μάρτιος 2013

Σιούτης Σταύρος

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

Copyright © Σιούτης Σταύρος, 2013.

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

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ, στα πλαίσια των ερευνητικών δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης.

Αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων και μεθοδολογιών, με στόχο την αποτελεσματική υποστήριξη αποφάσεων για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και της εξοικονόμησης ενέργειας στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα.

Υπεύθυνος κατά την εκπόνηση της διπλωματικής ήταν ο Καθηγητής κ. Ι. Ψαρράς, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεση αυτής και την δυνατότητα που μου δόθηκε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής και Διδάκτορα Χ. Δούκα για την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη συγγραφή της εργασίας. Σημειώνω επίσης ότι οι πολυκριτήριες μεθοδολογίες που διερευνώνται και αξιολογούνται, έχουν αναπτυχθεί από τον κ. Δούκα και έχουν παρουσιαστεί σε δημοσιευμένες επιστημονικές του εργασίες.

Σιούτης Σταύρος  
Φεβρουάριος 2012

---

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Οι υφιστάμενες ενεργειακές προκλήσεις και οι κλιματικές αλλαγές προβάλλουν την αναγκαιότητα για την αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για τη αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, απαιτείται η σύμπραξη όλων των φορέων: πολιτείας, πολιτών και επιχειρήσεων. Επομένως για την αποτελεσματική υποστήριξη αποφάσεων και για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) και της εξοικονόμηση ενέργειας στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα πρέπει να αντιμετωπιστούν σφαιρικά όλα τα θέματα καθώς και οι αλληλεπιδράσεις των τριών εμπλεκόμενων κέντρων αποφάσεων, δηλαδή της Πολιτείας, των ενεργειακών εταιρειών και των χρηστών.

Επομένως στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εστιάστηκε στην υποστήριξη αποφάσεων για τη δημιουργία του κατάλληλου πλαισίου κατευθύνσεων για την Πολιτεία, που θα διαμορφώνει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την προώθηση των ΑΠΕ. Οι κλιματικές αλλαγές και η συνεχής άνοδος του ενεργειακού τομέα μαζί με την απαραίτητη προϋπόθεση για βιωσιμότητα έχουν διευρύνει τα πεδία εφαρμογής της ενεργειακής πολιτικής δημιουργώντας νέες προκλήσεις. Υποστηρικτικές μέθοδοι και εργαλεία στον τομέα αποφάσεων, όπως μοντέλα πολυκριτήριας υποστήριξης αποφάσεων (ΠΥΑ) είναι απαραίτητα για την ενεργειακή πολιτική, κατά την άσκηση των κατάλληλων προσεγγίσεων που είναι απαραίτητες για τη στήριξη της αναδιάρθρωσης του ενεργειακού τομέα σχετικά με τα πρότυπα της εξόρυξης ενέργειας, την παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση, από μη βιώσιμες σε βιώσιμες μορφές ανάπτυξης.

Αρχικά, επιχειρείται η παρουσίαση του προβλήματος της αξιολόγησης υποστηρικτικών εργαλείων αποφάσεων με τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών για την προώθηση ΑΠΕ μέσω περιγραφής της παρούσας κατάστασης και της σύνδεσης της προώθησης των ΑΠΕ με το ευρύτερο πλαίσιο της ενεργειακής πολιτικής. Ακολούθως, παρουσιάζεται και αξιολογείται το θεωρητικό πλαίσιο των μεθόδων επεξεργασίας των γλωσσικών όρων. Επίσης, παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο διαφόρων πολυκριτήριων μεθοδολογιών με χρήση γλωσσικών μεταβλητών.

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών στην επιχειρησιακή έρευνα στα πλαίσια της επαρκούς αντιμετώπισης του τριγώνου της ενεργειακής πολιτικής το οποίο αποτελείται από την ασφάλεια του εφοδιασμού, την ανταγωνιστικότητα του ενεργειακού τομέα της και την προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος, διατυπώνεται μεθοδολογική προσέγγιση η οποία ερευνά και αξιολογεί τα διαθέσιμα προγράμματα προώθησης των ΑΠΕ καθώς και τις διαθέσιμες τεχνολογίες τους.

### **Λέξεις κλειδιά:**

Υποστήριξη Αποφάσεων, Γλωσσικές μεταβλητές, ενεργειακή πολιτική, επιχειρησιακή έρευνα, προγράμματα και τεχνολογίες ΑΠΕ

## ABSTRACT

---

The current energy challenges and climate changes highlight the need to increase the production of electricity from renewable energy sources. To increase the production of electricity from RES requires the involvement of all actors: state, citizens and businesses. Therefore for effective decision support for the promotion of Renewable Energy Sources (RES) and energy efficiency in the modern operating environment in the energy sector all issues must be addressed comprehensively and the interactions of the three decision-makers involved, ie the state of energy companies and users.

Therefore the present study is focused on decision support for the creation of an appropriate framework of guidelines for the state, which creates a favorable environment for the promotion of RES. Climate change and the continued growth of the energy sector with the necessary condition for sustainability have broadened the scope of energy policy, creating new challenges. Supporting methods and tools in decisions such as multicriteria decision support models (MCDA) is necessary for energy policy in the exercise of appropriate approaches necessary to support the restructuring of the energy sector on standards of energy extraction, production, transformation and use, from unsustainable to sustainable forms of development.

Initially, it is attempted to present the problem of evaluation decision support tools using linguistic variables for the promotion of RES through description of the current situation and connecting the promotion of RES to the broader context of energy policy. Afterwards, it is presented and is evaluated the theoretical framework for the processing of linguistic terms. It also presents the mathematical background of various multicriteria methodologies using linguistic variables.

Then, it is investigated the use of linguistic variables in operational research as part of an adequate response to the energy policy triangle consisting of security of supply, competitiveness of the energy sector and environmental protection. After that, a methodological approach is expressed which investigates and evaluates the available programs to promote renewable energy and available technologies.

**Keywords:**

Decision Support, Linguistic variables, energy policy, operations research, programs and renewable energy technologies.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	<b>9</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	
1.1 Σκοπός	10
1.2 Φάσεις	11
1.3 Δομή	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	<b>13</b>
<b>ΓΛΩΣΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕ ΔΙΑΚΡΙΤΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΕΤΑΓΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΑ</b>	
2.1 Οι γλωσσικές μεταβλητές στην λήψη αποφάσεων	14
2.2 Μέθοδοι επεξεργασίας γλωσσικών όρων	23
2.2.1 Μέθοδος Προέκτασης	23
2.2.2 Συμβολική Προσέγγιση	24
2.2.3 Μέθοδος 2-Tuple	28
2.2.4 Ο τελεστής LOWA	31
Βιβλιογραφία 2 <sup>ου</sup> κεφαλαίου	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	<b>35</b>
<b>ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ</b>	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
3.1 Ανάλυση της ασαφούς αβεβαιότητας	36
3.2 Μοντελοποίηση αβεβαιότητας	39
3.3 Μέθοδος TOPSIS	41
3.3.1 Βασικές αρχές	41
3.3.2 2-tupleTopsis	44
3.3.3 Godels Topsis	46
Βιβλιογραφία 3 <sup>ου</sup> κεφαλαίου:	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	<b>50</b>
<b>ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ</b>	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
4.1 Εισαγωγή	51
4.2 Ταξινόμηση των ΠΥΑ αιτήσεων για την ενεργειακή πολιτική	53
4.2.1 Χρήση αριθμητικής κλίμακας για την μοντελοποίηση γλωσσικών μεταβλητών	54
4.2.2 Χρήση ασαφών αριθμών για την μοντελοποίηση γλωσσικών μεταβλητών	56
4.3 Αναπαράσταση για άμεσους υπολογισμούς των γλωσσικών μεταβλητών	58

4.3.1 Συμβολική προσέγγιση	59
4.3.2 Μοντέλο προσέγγισης 2-tuple	60
4.4 Υπολογιστικά μοντέλα για την ενεργειακή πολιτική	61
4.5 Ανάλυση μοντέλων	65
4.6 Σύγχρονες ερευνητικές τάσεις	68
4.7 Συμπεράσματα	69
Βιβλιογραφία 4 <sup>ου</sup> κεφαλαίου:	71
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	<b>83</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b>	
5.1 Εισαγωγή	84
5.1.1 Επιδιώξεις	84
5.2. Χαρακτηριστικά ενεργειακού τομέα	86
5.2.1. Τύποι προγραμμάτων	86
5.2.2 Τεχνολογικές δυνατότητες	90
5.2.3 Εμπλεκόμενοι	91
5.3 Ανάλυση ευαισθησίας	98
Βιβλιογραφία 5 <sup>ου</sup> κεφαλαίου:	105
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	<b>107</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ</b>	
6.1 Συμπεράσματα	108
6.2 Προοπτικές	110





## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## 1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η υποστήριξη αποφάσεων στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα. Ο ενεργειακός τομέας είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την οικονομία και για αυτό παρουσιάζει έντονη δυναμική. Η συνεισφορά του ενεργειακού τομέα στην οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας σε περιόδους κρίσης έγγυται αναγκαία.

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων και μεθοδολογιών για την υποστήριξη αποφάσεων προώθησης ΑΠΕ με χρήση γλωσσικών μεταβλητών. Έπειτα θα παρουσιαστούν μεθοδολογίες και μοντέλα διαχείρισης διακριτών και διατεταγμένων κλιμάκων οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην ενεργειακή πολιτική με έμφαση στην προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

## 1.2 ΦΑΣΕΙΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο Σεπτέμβριος 2012- Φεβρουάριος 2013 σύμφωνα με την παρακάτω διαδικασία που αποτελείται από τις εξής φάσεις:

### **ΦΑΣΗ 1: ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ**

Κατά την διάρκεια της πρώτης φάσης έγινε μία ενδελεχής μελέτη βασικών εννοιών στον τομέα της γλωσσικής ανάλυσης προκειμένου να αποκτηθεί εικόνα για την σύνδεση των εργαλείων της ανάλυσης πάνω σε πολυκριτήρια προβλήματα συστημάτων απόφασης. Απαιτήθηκε η χρήση της ασαφούς λογικής ως συστηματικό εργαλείο για την αποτίμηση εναλλακτικών στην υποστήριξη αποφάσεων σε ενεργειακά περιβαλλοντικά συστήματα.

### **ΦΑΣΗ 2: ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ**

Μελετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν σε μικρές εφαρμογές οι τρεις τεχνικές επεξεργασίας γλωσσικών μεταβλητών που είναι η προσέγγιση προέκτασης, η συμβολική προσέγγιση και η 2-tuple ώστε να διερευνηθούν τα χαρακτηριστικά τους και να αξιολογηθούν.

### **ΦΑΣΗ 3: ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

Αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία για την χρήση της ασαφούς λογικής σε συνθήκες αβεβαιότητας. Άμεσο αποτέλεσμα η μοντελοποίηση της και η χρήση των μοντέλων σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής.

### **ΦΑΣΗ 4: ΜΕΘΟΔΟΣ TOPSIS**

Αναζήτηση στην διεθνή βιβλιογραφία για την πολυκριτήρια μέθοδο υποστήριξης αποφάσεων TOPSIS η οποία έχει πολλές εφαρμογές σε ενεργειακά περιβαλλοντικά συστήματα. Στη φάση αυτή λόγω της μετέπειτα χρήσης της μεθοδολογίας αναζητήθηκαν και οι βασικότερες πληροφορίες για τον τομέα της επιχειρησιακής έρευνας δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στη δημοσιευμένη μελέτη του ΔΟΥΚΑΣ ....

### **ΦΑΣΗ 5: ΑΠΟΔΟΣΕΙΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ**

Βάση της κωδικοποίησης της προηγούμενης φάσης αναζητήθηκαν οι αποδόσεις των εναλλακτικών και τα βάρη των κριτηρίων στα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα καθώς και στις τεχνολογικές δυνατότητες που υπάρχουν.

### **ΦΑΣΗ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

Μετά την συλλογή των πληροφοριών σε αυτή την φάση κρίθηκε αναγκαία η χρήση της εφαρμογής LTD-SS ώστε να εκπονηθεί η τελική εφαρμογή και η ανάλυση ευαισθησίας των εναλλακτικών.

## **1.3 ΔΟΜΗ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά ο στόχος της εργασίας, οι φάσεις εκπόνησής της καθώς και το παρόν υποκεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται η δομή που υιοθετήθηκε.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΛΩΣΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕ ΔΙΑΚΡΙΤΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΕΤΑΓΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΑ**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της γλωσσικής ανάλυσης καθώς και η ανάγκη σύνδεση της σε ένα πολυκριτηριακό σύστημα αποφάσεων. Γίνεται ανάλυση στο σχέδιο λύσης του συστήματος αποφάσεως με τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών. Παρουσιάζονται οι τρεις δυνατοί τρόποι αναπαράστασης ενός συνόλου γλωσσικών όρων ανάλογα με την κατανομή τους. Εστιάζεται ακόμα στις τρεις μεθόδους επεξεργασίας των γλωσσικών όρων που είναι η προσέγγιση προέκτασης, η συμβολική προσέγγιση και η 2-tuple. Συμπεραίνεται το βασικό πλεονέκτημα της 2-tuple ότι έχει την μικρότερη απώλεια πληροφορίας. Επιπλέον αναπτύσσεται μία πρωτότυπη μεθοδολογία που στηρίζεται στον τελεστή LOWA και αποσκοπεί στην αναγνώριση εκείνων των προτάσεων που εξυπηρετούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΤΑ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάγκη της χρήσης της ασαφούς λογικής ως συστηματικό εργαλείο για την αποτίμηση εναλλακτικών σε συνθήκες αβεβαιότητας. Λαμβάνεται υπόψη ο τύπος της αβεβαιότητας αφού ο πιθανολογικός βασίζεται στην λογική των δύο τιμών ενώ ο ασαφής στην λογική των πολλαπλών τιμών. Αναλύονται οι δύο τύποι αβεβαιότητας και έπειτα παρουσιάζονται οι τρόποι μοντελοποίησης. Έπειτα αντιμετωπίζεται η αβεβαιότητα στην υποστήριξη αποφάσεων σε ενεργειακά-περιβαλλοντικά συστήματα. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού παρουσιάζεται μία πολυκριτηριακή μέθοδος υποστήριξης αποφάσεων, η TOPSIS, η οποία έχει πολλές εφαρμογές σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής.

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει την ανάγκη ανάπτυξης εφαρμογών και νέων μεθόδων μοντελοποίησης της ενέργειας με έμφαση στη χρήση της Επιστήμης Επιχειρησιακής Έρευνας. Αναλυτικά και εξελιγμένα μοντέλα υποστηρίζουν τις διαδικασίες


σχεδιασμού της ενέργειας και παρέχουν πληθώρα αναλυτικών στοιχείων για τη λήψη αποφάσεων. Τα Πολυκριτήρια Υποστήριξης Αποφάσεων (ΠΥΑ) μοντέλα απαιτούνται για να αναλύσουν όλες τις πολλαπλές όψεις των εξεταζόμενων επιλογών, σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα κριτηρίων αξιολόγησης κάτω από συνθήκες υψηλού επιπέδου αβεβαιότητας. Ο σκοπός του κεφαλαίου είναι να διερευνήσει διαφορετικές γλωσσικές εκπροσωπήσεις και υπολογιστικά μοντέλα στη ΠΥΑ που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να στηρίξουν την ενεργειακή πολιτική και να καθιερωθεί μια σαφής σύνδεση μεταξύ τους. Μια συνοπτική παρουσίαση αυτών των εναλλακτικών μοντέλων παρατίθεται, συμπεριλαμβανομένων και των σχετικών "υπέρ" και "κατά" και περιγράφει την ανάγκη για άμεση και διαφανή πλαίσια και τις μεθόδους της μείωσης των διαφορών μεταξύ των φορέων χάραξης ενεργειακής πολιτικής σκέψης. Ακόμα μια λεπτομερής ανασκόπηση έχει εκπονηθεί, ώστε να απεικονιστούν οι ΠΥΑ εφαρμογές, με "παραδοσιακές" μεθόδους, σε συναφείς τομείς πολιτικής ενέργειας. Η χρήση των γλωσσικών υπολογιστικών τεχνικών για την επεξεργασία των γλωσσικών μεταβλητών έχει χρησιμοποιηθεί σε ΠΥΑ προβλήματα για να περιορίσει τις διαφορές ανάμεσα στην ανθρώπινη λογική, την εκπροσώπηση και την πληροφορική. Ο άμεσος υπολογισμός των γλωσσικών μεταβλητών παρέχει στους αρμόδιους λήψης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογούν τις εξεταζόμενες επιλογές ενέργειας. Η μέθοδος TOPSIS είναι εύκολα κατανοητή από τον άνθρωπο, επειδή οι υποκείμενες έννοιες της, η απόσταση, η ιδανική λύση και η μη-ιδανική λύση, χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην καθημερινή ζωή. Μια ποιοτική αξιολόγηση των διαφόρων επιλογών έχει αναπτυχθεί για τη μοντελοποίηση των γλωσσικών μεταβλητών για την στήριξη ενεργειακής πολιτικής. Το κεφάλαιο αυτό διερευνά τη σχέση μεταξύ ΠΥΑ μεθοδολογικών ζητημάτων με τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών και την πραγματική ενεργειακή πολιτική και θεσπίζει μια σαφή σύνδεση μεταξύ τους. Η χρήση γλωσσικών μεταβλητών σε ΠΥΑ είναι αρκετά ικανή για τον επαρκή χειρισμό των συνήθως ελλειπών, αβέβαιων πληροφοριών για να προσδιοριστούν ποσοτικά στοιχεία. Τέλος παρουσιάζεται η έννοια της ΠΥΑ που με απευθείας υπολογισμό των γλωσσικών μεταβλητών παρέχει στους αρμόδιους λήψης αποφάσεων την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των επιλογών που εξετάζονται σε όλες τις διαστάσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ**


Το παρόν κεφάλαιο εστιάζεται στην εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας TOPSIS στον ελληνικό ενεργειακό τομέα. Εστιάζοντας στην υποστήριξη αποφάσεων για τη δημιουργία του κατάλληλου πλαισίου κατευθύνσεων για την Πολιτεία, που θα διαμορφώνει ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την προώθηση των ΑΠΕ. Αρχικά με βάση την κωδικοποίηση του κεφαλαίου 4 αναφέρονται οι ενεργειακές επιδιώξεις, τα προγράμματα που εφαρμόζονται στην Ελλάδα, οι τεχνολογικές δυνατότητες που υπάρχουν στην Ελλάδα και ακόμη αναφέρονται οι εμπλεκόμενοι που δραστηριοποιούνται στην ενεργειακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα παρουσιάζεται η αξιολόγηση των προγραμμάτων και των τεχνολογιών με βάση τις αποδόσεις τους σε συγκεκριμένα κριτήρια καταλήγοντας στις καλύτερες εναλλακτικές με την χρήση της 2-tuple TOPSIS. Ακόμη σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση ευαισθησίας των προγραμμάτων και των τεχνολογιών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί τον επίλογο της εργασίας και αναδεικνύει τα κυριότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και τις προοπτικές για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο της εργασίας.



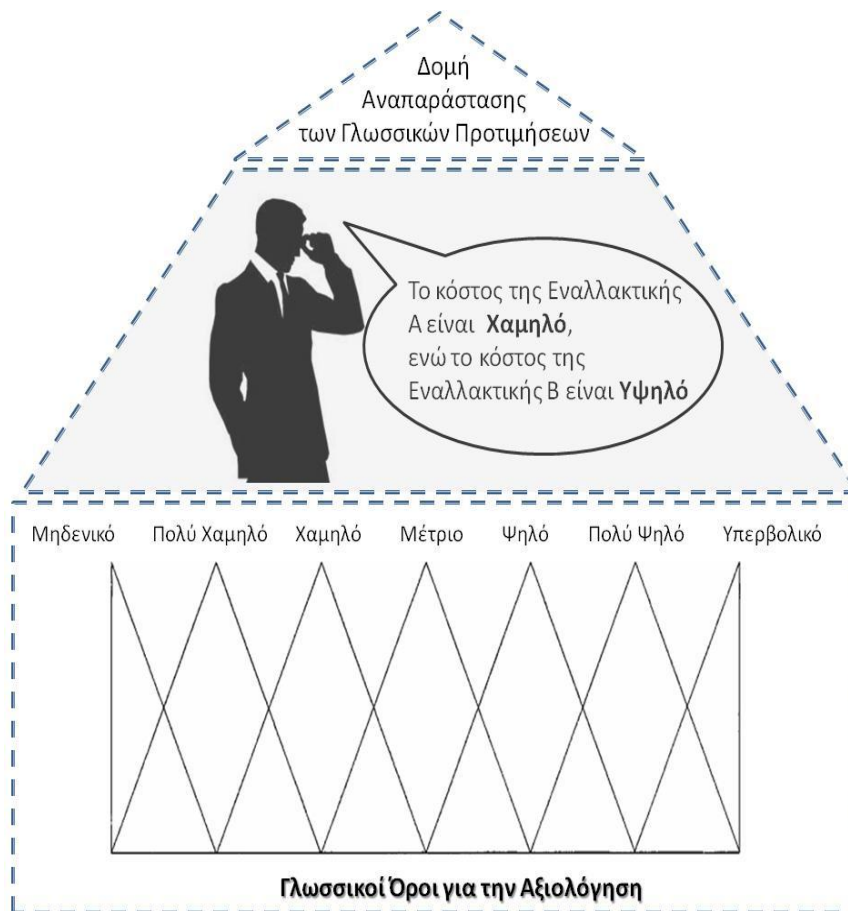
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΛΩΣΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΕ  
ΔΙΑΚΡΙΤΗ ΚΑΙ  
ΔΙΑΤΕΤΑΓΜΕΝΗ ΚΛΙΜΑΚΑ**



## 2.1 Βασικές Αρχές Γλωσσικής Ανάλυσης

**Εισαγωγή** Η ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών βασίζεται στη χρήση της γλωσσικής προσέγγισης και χρησιμοποιείται για τη λύση προβλημάτων λήψης απόφασης με τη χρήση γλωσσικών πληροφοριών. Η βασική φιλοσοφία της χρήσης γλωσσικών μεταβλητών (λέξεων της φυσικής γλώσσας) και οι βασικές υπολογιστικές προσεγγίσεις παρουσιάστηκαν από τον Zadeh το 1973.

Η εφαρμογή τους είναι πολύ αποδοτική στην ανάπτυξη της θεωρίας και των μεθόδων υποστήριξης αποφάσεων επειδή εισάγει ένα περισσότερο ευέλικτο πλαίσιο εργασίας το οποίο επιτρέπει την αναπαράσταση των πληροφοριών με έναν πιο άμεσο και επαρκή τρόπο όταν δε μπορούν να καθοριστούν ακριβώς οι ποσοτικές πληροφορίες. Με αυτόν τον τρόπο, εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης μιας ποιοτικής έννοιας.



**Σχήμα 2.1.1** Τυπικό γλωσσικό περιβάλλον λήψης αποφάσεων

Μια γλωσσική μεταβλητή είναι μεταβλητή των οποίων οι τιμές δεν είναι αριθμοί αλλά λέξεις ή φράσεις σε μια φυσική ή τεχνητή γλώσσα. Ο κύριος σκοπός της χρήσης γλωσσικών αξιών (λέξεις ή φράσεις) αντί των αριθμών είναι ότι οι γλωσσικοί χαρακτηρισμοί είναι, σε γενικές γραμμές, λιγότερο συγκεκριμένες από τις αριθμητικές, αλλά πολύ πιο κοντά στον τρόπο που οι άνθρωποι εκφράζουν και χρησιμοποιούν τις γνώσεις τους. Για παράδειγμα, αν πούμε "το κτίριο είναι ψηλό" είναι λιγότερο συγκεκριμένο από "το κτίριο έχει ύψος 300 μέτρα". Στην περίπτωση αυτή, «ψηλός» μπορεί να θεωρηθεί μια γλωσσική τιμή της μεταβλητής "ύψος" η οποία είναι λιγότερο ακριβή και ενημερωτική από την αριθμητική τιμή "300". Παρά τον λιγότερο ενημερωτικό χαρακτήρα του, η τιμή "ψηλός" επιτρέπει στους ανθρώπους να εκφραστούν φυσικά και να ασχοληθούν με τις πληροφορίες που μπορεί να είναι αβέβαιες ή ελλιπείς (ο ομιλητής δεν μπορεί να γνωρίζει το ακριβές ύψος του κτιρίου). Δεδομένου ότι αυτό το είδος των καταστάσεων όπου οι πληροφορίες δεν είναι ακριβείς είναι πολύ κοινό στην πραγματική ζωή, οι γλωσσικές μεταβλητές μπορεί να είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη μοντελοποίηση της ανθρώπινης γνώσης.

Στη βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν πολλές εφαρμογές αναλύσεων αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών για τη λύση πραγματικών περιπτώσεων, όπως ομαδική λήψη αποφάσεων [II.1, II.2], πολυκριτηριακή λήψη αποφάσεων [II.3, II.4], σύνολο ενεργειών πώλησης [II.5], ανάπτυξη λογισμικού [II.6], εκπαίδευση [II.7], υποκειμενική αποτίμηση της αξίας ενός αυτοκινήτου [II.8], επιλογή υλικών [II.9] και διοίκηση προσωπικού [II.10].

Συνήθως, σ' όλες τις πραγματικές διαδικασίες λήψης απόφασης υπάρχουν διάφοροι ειδικοί ή αποφασίζοντες οι οποίοι καλούνται να εκφράσουν τις τιμές απόδοσης μιας ομάδας από εναλλακτικές σε ένα πολυκριτηριακό περιβάλλον με σκοπό να επιλεγεί η καλύτερη [II.11, II.12]. Γενικά, το σχέδιο λύσεων ενός ΠΥΑ προβλήματος αποτελείται κυρίως από δύο φάσεις [II.13, II.14]:

Μια φάση άθροισης των τιμών απόδοσης όσον αφορά σ' όλα τα κριτήρια ώστε να προκύψει μια συνολική τιμή απόδοσης για τις εναλλακτικές και έπειτα,

Μια φάση επεξεργασίας της συνολικής τιμής απόδοσης ώστε να προκύψει η επιλογή μεταξύ των εναλλακτικών.

Στην ανάλυση αποφάσεων με χρήση γλωσσικών μεταβλητών, το σχέδιο λύσης πρέπει να οριστεί από τα ακόλουθα τρία βήματα:

*Επιλογή ενός συνόλου γλωσσικών όρων και η εννοιολογία τους:* Αφορά τον καθορισμό των όρων της γλωσσικής έκφρασης για τις γλωσσικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών που αντιστοιχούν στα διαφορετικά κριτήρια. Για να γίνει αυτό, πρέπει να επιλεγθεί ο αριθμός των βαθμίδων του συνόλου των γλωσσικών όρων, οι επικέτες και η σημασιολογία τους.

*Επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας:* Αφορά τον καθορισμό του κατάλληλου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας, ώστε να συνδυαστούν και να αθροιστούν οι παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης.

*Επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών:* Αφορά την επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών βάσει των παρεχόμενων γλωσσικών τιμών απόδοσης. Διεξάγεται σε δυο φάσεις:

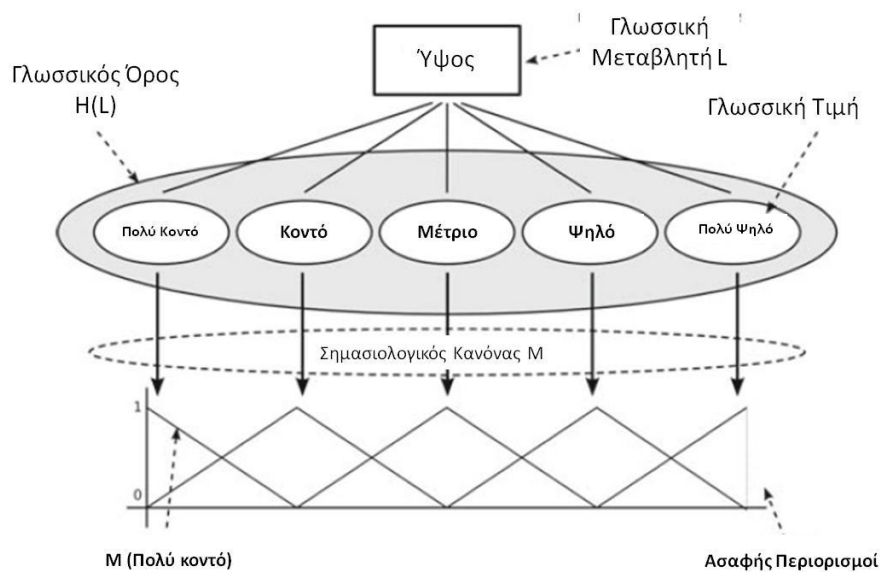
ii) *Αθροιστική φάση της γλωσσικής πληροφορίας:* Αφορά την αποκόμιση της συνολικής γλωσσικής τιμής απόδοσης για τις εναλλακτικές, αθροίζοντας τις παρεχόμενες γλωσσικές τιμές απόδοσης βάσει όλων των κριτηρίων μέσω του επιλεγμένου αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.

iii) *Φάση επεξεργασίας:* Αφορά τον καθορισμό της κατάταξης των εναλλακτικών ανάλογα με τη συνολική γλωσσική τιμή απόδοσης, ώστε να επιλεγθούν οι καλύτερες.

Επιλογή  
Συνόλου  
Γλωσσικών  
Όρων

Η επιλογή του συνόλου των γλωσσικών όρων είναι ο πρώτος στόχος που πρέπει να επιτευχθεί σε μια γλωσσική προσέγγιση και περιλαμβάνει τον καθορισμό της γλωσσικής μεταβλητής [II.15] ή της γλωσσικής έκφρασης με σκοπό την παροχή των γλωσσικών τιμών απόδοσης.

Ορισμός 1 (Zadeh [II.16]): Η γλωσσική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από πέντε μέρη (L, H, U, G, M) όπου το L είναι η μεταβλητή, το H δηλώνει το σύνολο των όρων της L π.χ. το σύνολο των ονομάτων των γλωσσικών τιμών της L, με κάθε της τιμή να είναι μια ασαφής μεταβλητή που δηλώνεται γενικά ως X και έχει ένα εύρος τιμών μέσα σε ένα σύμπαν της ομιλίας U. Το G είναι ένας συντακτικός κανόνας για τη δημιουργία των ονομάτων των τιμών της L και το M είναι ένας σημασιολογικός κανόνας που σχετίζει το νόημά τους με κάθε L.



Σχήμα 2.1.2 Σημασιολογικός κανόνας

Ο κύριος στόχος του καθορισμού των γλωσσικών περιγραφών μιας γλωσσικής μεταβλητής είναι η παροχή στο χρήστη λίγων λέξεων, μέσω των οποίων μπορεί με φυσικό τρόπο να εκφράσει τις πληροφορίες του. Για να επιτευχθεί αυτός ο σκοπός, ένα σημαντικό στοιχείο είναι οι βαθμίδες αβεβαιότητας, δηλαδή τα επίπεδα της διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών αριθμήσεων της αβεβαιότητας.

Ο αριθμός των στοιχείων του συνόλου των όρων πρέπει να είναι αρκετά μικρός ώστε να μην έχει ακρίβεια που δεν χρειάζεται και πρέπει να είναι αρκετά «πλούσιος», ώστε να επιτρέπει τη διαφοροποίηση των αποτιμήσεων σε έναν περιορισμένο αριθμό βαθμίδων.



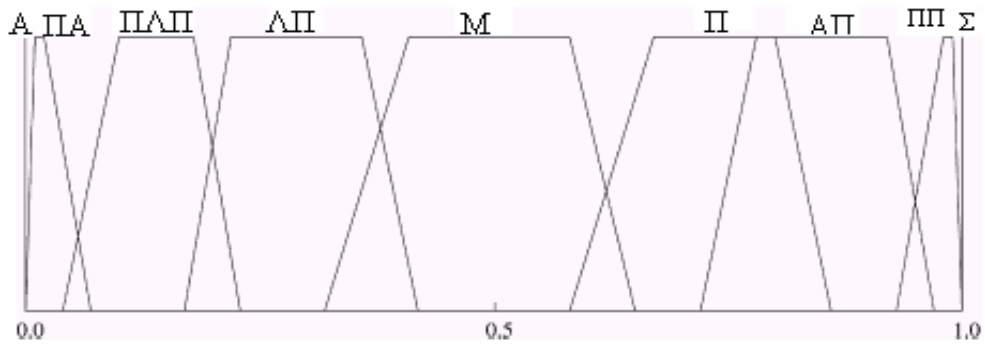
Τυπικές τιμές του αριθμού των στοιχείων που χρησιμοποιούνται είναι περιπτές, όπως 7 ή 9 με ανώτατο όριο το 11 ή το 13, όπου ο μεσαίος όρος υποδηλώνει μια αποτίμηση του «περίπου 0,5», με τους υπόλοιπους όρους να είναι τοποθετημένοι συμμετρικά γύρω από αυτόν [II.17]. Αυτές οι τυπικές τιμές του αριθμού των στοιχείων φαίνεται να ταιριάζει με την παρατήρηση του Miller [II.18], σχετικά με το γεγονός ότι οι άνθρωποι μπορούν να θυμούνται περίπου επτά αντικείμενα.

Όσον αφορά στον καθορισμό της σημασίας του συνόλου των γλωσσικών όρων, στη βιβλιογραφία, μπορούν κυρίως να βρεθούν τρεις τρόποι [II.19]:

- Σημασία βασισμένη σε συναρτήσεις συσχέτισης και σε ένα σημασιολογικό κανόνα.
- Σημασία βασισμένη σε μια ταξινομημένη δομή ενός συνόλου γλωσσικών όρων.
- Συνδυαστική σημασία.

Συγκεκριμένα, η πρώτη προσέγγιση θεωρεί ότι το νόημα κάθε γλωσσικού όρου δίνεται μέσω ενός ασαφούς υποσυνόλου ορισμένου στο διάστημα “0 – 1”, το οποίο συνήθως περιγράφεται από συναρτήσεις συσχέτισης [II.20]. Ένας υπολογιστικά αποτελεσματικός τρόπος για το χαρακτηρισμό ενός ασαφούς αριθμού είναι η χρησιμοποίηση αναπαράστασης βασισμένης σε παραμέτρους της αντίστοιχης συνάρτησης συσχέτισης [II.21]. Επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι προσεγγιστικές, αρκετοί αναλυτές θεωρούν ότι οι γραμμικές τραπεζοειδείς συναρτήσεις συσχέτισης είναι αρκετά καλές για να «αιχμαλωτίσουν» την αοριστία αυτών των γλωσσικών αποτιμήσεων [II.22 – II.24]. Αυτή η αναπαράσταση επιτυγχάνεται με τέσσερις παραμέτρους ( $a_i$ ,  $b_i$ ,  $d_i$ ,  $c_i$ ). Οι δύο πρώτες παράμετροι δείχνουν το διάστημα μέσα στο οποίο η τιμή συσχέτισης είναι 1, η τρίτη και η τέταρτη παράμετρος δείχνουν το αριστερό και το δεξί εύρος. Παράδειγμα σημασιολογίας για σύνολο εννέα όρων είναι το ακόλουθο, όπως απεικονίζεται στο ακόλουθο Σχήμα 2.1.3 [II.17]:

- Σ = Σίγουρο = (1, 1, 0, 0)
- ΠΠ = Πολύ Πιθανό = (0.98, 0.99, 0.05, 0.01)
- ΑΠ = Αρκετά πιθανό = (0.78, 0.92, 0.06, 0.05)
- Π = Πιθανό = (0.63, 0.80, 0.05, 0.06)
- Μ = Μπορεί = (0.41, 0.58, 0.09, 0.07)
- ΛΠ = Λίγο Πιθανό = (0.22, 0.36, 0.05, 0.06)
- ΠΛΠ = Πολύ λίγο πιθανό = (0.1, 0.18, 0.06, 0.05)
- ΠΑ = Πολύ Απίθανο = (0.01, 0.02, 0.01, 0.05)
- Α = Αδύνατο = (0, 0, 0, 0)

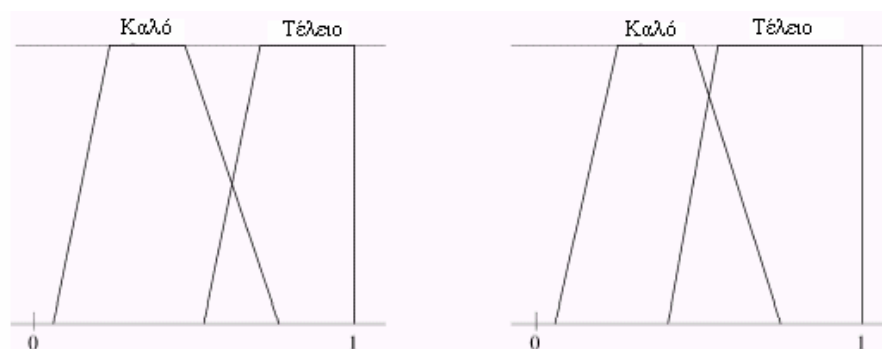


**Σχήμα 2.1.3** Σύνολο Εννέα (9) Όρων με τη Σημασιολογία τους  
*Πηγή:* Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [II.26]

Μια ειδική περίπτωση αυτής της αναπαράστασης είναι η γλωσσική εκτίμηση, όπου οι συναρτήσεις συσχέτισης είναι τριγωνικές, δηλαδή  $b = d$ , οπότε η αναπαράσταση της συνάρτησης συσχέτισης γίνεται με μια τριπλή απεικόνιση.

Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση παρουσιάζει δύο προβλήματα:

- Στις αναπαραστάσεις των αρχικών ασαφών συνόλων, το πρόβλημα είναι πώς θα καθοριστούν οι παράμετροι ανάλογα με τις προτιμήσεις του αποφασίζοντα [II.17]. Μοιάζει αρκετά δύσκολο όλοι οι αποφασίζοντες να συμφωνήσουν στις ίδιες συναρτήσεις συσχέτισης που αντιστοιχούν στους αρχικούς γλωσσικούς όρους και επιπρόσθετα δεν υπάρχει κάποια τυποποιημένη κατανομή που να πρέπει να χρησιμοποιείται υποχρεωτικά. Για παράδειγμα, στο ακόλουθο Σχήμα 2.1.4 παρουσιάζονται δύο κοντινές παραλλαγές της ίδιας εκτίμησης [II.12].
- Επιπρόσθετα, δεν είναι πάντα δυνατό για το χρήστη να καθορίσει ένα ασαφές σύνολο για κάθε αρχικό γλωσσικό όρο, διότι απαιτείται αρκετή ακρίβεια που ο χρήστης δε μπορεί πάντα να παρέχει [II.2].



**Σχήμα 2.1.4** Παραλλαγές Αναπαράστασης  
*Πηγή:* Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [II.29]

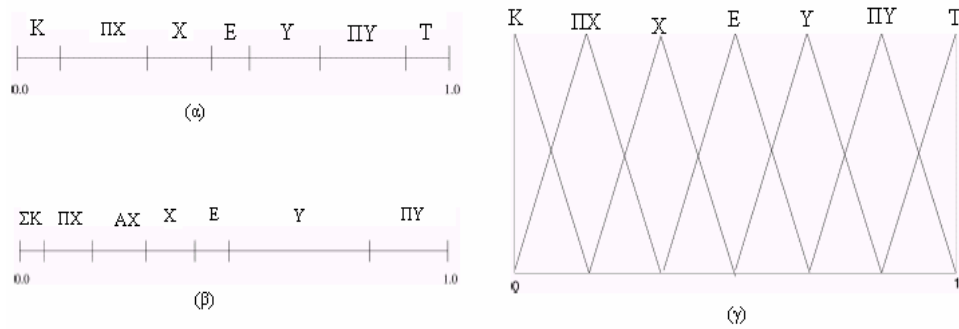
Μια εναλλακτική δυνατότητα, που δεν χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα, εισάγει τη σημασιολογία μέσα από τη δομή του συνόλου των γλωσσικών όρων.

Ειδικότερα, αυτό συμβαίνει όταν οι αποφασίζοντες παρέχουν τις αξιολογήσεις τους με τη χρησιμοποίηση ενός διατεταγμένου συνόλου γλωσσικών όρων. Κάτω από αυτήν τη σημασιολογική προσέγγιση, ανάλογα με τη διανομή των γλωσσικών όρων σε μια κλίμακα “0 – 1”, υπάρχουν δύο πιθανότητες για τον καθορισμό της σημασιολογίας του συνόλου των γλωσσικών όρων [II.1, II.3, II.4]:

- *Συμμετρικά διανεμημένοι όροι:* Υποθέτει διατεταγμένα γλωσσικά σύνολα όρων, τα οποία διανέμονται σε μια κλίμακα με περιττό αριθμό στοιχείων. Ο μεσαίος όρος αντιπροσωπεύει μια αξιολόγηση «περίπου 0,5» και το υπόλοιπο των όρων τοποθετούνται συμμετρικά γύρω από αυτόν. Κατόπιν, η σημασιολογία του συνόλου γλωσσικών όρων διαμορφώνεται από τη διατεταγμένη δομή του συνόλου των όρων θεωρώντας ότι κάθε γλωσσικός όρος για το ζευγάρι  $(s_i, s_{T-i})$  είναι εξίσου πληροφοριακός [II.27]. Αυτή η πρόταση μπορεί να καθοριστεί ρητά με την ανάθεση ενός υποτομέα της περιοχής αναφοράς  $[0, 1]$  σε κάθε γλωσσικό όρο (Σχήμα 2.1.5α).
- *Μη-συμμετρικά διανεμημένοι όροι:* Υποθέτει ότι μια υποπεριοχή της περιοχής αναφοράς μπορεί να περιέχει περισσότερες πληροφορίες από το υπόλοιπο της περιοχής [II.27]. Σε αυτήν την περίπτωση, η πυκνότητα των γλωσσικών όρων σε εκείνη την υποπεριοχή θα ήταν μεγαλύτερη από την πυκνότητα στο υπόλοιπο της περιοχής αναφοράς, δηλαδή το διατεταγμένο σύνολο γλωσσικών όρων δεν θα διανεμόταν συμμετρικά. Τέτοια περίπτωση μπορεί να υπάρξει όταν για παράδειγμα υποτεθεί ότι απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου θερμοκρασίας με μια πολύ ακριβή συμπεριφορά όταν η θερμοκρασία είναι «χαμηλή». Επομένως, το γλωσσικό σύνολο θα είχε μια διανομή πέρα από την περιοχή αναφοράς (Σχήμα 2.1.5β).

Για αυτές τις περιπτώσεις, σε μια μέθοδο προτάθηκε ότι επηρεάζεται η σημασία (οι υποπεριοχές) με τη χρησιμοποίηση μιας λειτουργίας “negation” που καθορίζεται από τα μέρη του συνόλου των γλωσσικών όρων [II.27]. Αυτή η μέθοδος είναι σε θέση να αποδώσει μια σημασία για το σύνολο των γλωσσικών όρων εάν ο χρήστης παρέχει τις τιμές της αντίθετης λειτουργίας για κάθε γλωσσικό όρο. Για παράδειγμα, για το σύνολο των γλωσσικών όρων στο σχήμα 2.1.5β, η ακόλουθη λειτουργία άρνησης μπορεί να καθοριστεί [II.27]:

- $Neg(\Sigma K) = Neg(\Pi X) = \{\Pi Y\}$
- $Neg(A X) = Neg(X) = \{Y\}$
- $Neg(E) = \{E\}$
- $Neg(Y) = \{A X, X\}$
- $Neg(\Pi Y) = \{\Sigma K, \Pi X\}$



**Σχήμα 2.1.5** (α) Συμμετρικά Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων  
(β) Μη Συμμετρικά Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων  
(γ) Ενιαία Κατανεμημένο Σύνολο 7 Όρων

*Πηγή:* Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [II.26]

Στο παραπάνω πλαίσιο, μια δυνατότητα για τη μείωση της πολυπλοκότητας του καθορισμού των γλωσσικών όρων είναι η άμεση παροχή του συνόλου των όρων θεωρώντας όλους τους όρους ως πρωταρχικούς και κατανεμημένους σε μια κλίμακα στην οποία καθορίζεται η συνολική διάταξη [II.27, II.28]. Για παράδειγμα ένα σύνολο  $S$  από επτά όρους είναι το ακόλουθο:

$S = \{s_0 = \text{καθόλου}, s_1 = \text{πολύ λίγο}, s_2 = \text{λίγο}, s_3 = \text{ενδιάμεσο}, s_4 = \text{υψηλό}, s_5 = \text{πολύ υψηλό}, s_6 = \text{τέλειο}\}$ , όπου  $s_a < s_b$  αν  $a < b$ .

Σε τέτοιες περιπτώσεις απαιτείται το σύνολο των γλωσσικών όρων να ικανοποιεί τα παρακάτω επιπρόσθετα χαρακτηριστικά:

- Να υπάρχει ένας αρνητικός τελεστής π.χ.  $\text{neg}(s_i) = s_j$ .
- $j = T - i$  ( $T + 1$  είναι ο αριθμός των στοιχείων).
- Τελεστής μεγιστοποίησης:  $\max(s_i, s_j) = s_i$  αν  $s_i \geq s_j$ .
- Τελεστής ελαχιστοποίησης:  $\min(s_i, s_j) = s_i$  αν  $s_i \leq s_j$ .

Ορίζεται με αυτό τον τρόπο μία διακριτή και διατεταγμένη κλίμακα. Πρέπει να σημειωθεί ότι σε μια διακριτή και διατεταγμένη κλίμακα δεν ορίζονται οι συνηθισμένες αλγεβρικές πράξεις της πρόσθεσης, αφαίρεσης, πολλαπλασιασμού και διαίρεσης μεταξύ των όρων της. Ορίζονται μόνο πράξεις που αφορούν τη διάταξη όπως π.χ. η  $\max$  και η  $\min$ . Κάθε συνηθισμένη πράξη δεν έχει νόημα δηλαδή δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τον αριθμητικό μέσο όρο κάποιων ορισμάτων από την  $L$ . Αυτό γιατί οι δείκτες των όρων της κλίμακας δηλαδή το  $0, 1, 2, \dots, n+1$  δεν πρέπει να θεωρούνται αριθμοί αλλά «ετικέτες» που συμβολίζουν μια γλωσσική έννοια. Υπό την αντίληψη αυτή,

$$L = \{x_0 = \text{τίποτα}, x_1 = \text{μικρό}, x_2 = \text{μεσαίο}, x_3 = \text{μεγάλο}\}$$

κάποιος άλλος θα μπορούσε να συμβολίσει την ίδια κλίμακα ως

$$L = \{x_{-6} = \text{τίποτα}, x_0 = \text{μικρό}, x_8 = \text{μεσαίο}, x_{12} = \text{μεγάλο}\}$$

γιατί μόνο η διάταξη έχει σημασία και όχι οι αριθμοί. Σε αυτή τη περίπτωση είναι φανερό ότι οι δείκτες δεν είναι αριθμοί αλλά «ετικέτες» και δεν πρέπει να ορίζονται πράξεις που δεν έχουν σχέση με τη διάταξη μεταξύ των όρων της κλίμακας. Ένα δεύτερο παράδειγμα ίσως

είναι πιο διαφωτιστικό. Έχουμε μια κλίμακα  $L = \{x_0 = 0, x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 3, x_4 = 4\}$  και την ίδια κλίμακα κάποιος άλλος τη συμβολίζει  $L = \{x_0 = 0, x_1 = 1, x_2 = 2, x_3 = 3, x_{10} = 4\}$  δηλαδή όπου το  $x_4$  της πρώτης κλίμακας βάζει το ισοδύναμο του  $x_{10}$ . Έχει αυτό το δικαίωμα αφού μόνο η διάταξη μετράει. Τότε για την πρώτη κλίμακα θα είχαμε  $\frac{x_0 + x_4}{2} = \frac{0+4}{2} = 2 < \frac{x_2 + x_3}{2} = \frac{2+3}{2} = 2,5$  αν μεταχειριζόμασταν τους όρους της κλίμακας σαν αριθμούς. Για τη δεύτερη κλίμακα  $\frac{x_0 + x_{10}}{2} = \frac{0+10}{2} = 5 > \frac{x_2 + x_3}{2} = \frac{2+3}{2} = 2,5$  το οποίο αντίκειται στο αποτέλεσμα της πρώτης κλίμακας. Άρα είναι εμφανές ότι οι συνηθισμένες πράξεις δεν ορίζονται σε αυτές τις κλίμακες. Η θεώρηση μόνο της διάταξης στις πράξεις αποτελεί τη βάση όλων των εργασιών που έχουν γίνει σε διακριτές κλίμακες από τους Yager Herrera et. al. και Delgado et al [II.29-II.32].

Στις διακριτές και διατεταγμένες κλίμακες η διαφορά μεταξύ δυο όρων της κλίμακας δεν εμπεριέχει κανένα φυσικό νόημα. Άρα, και η απόσταση μεταξύ δυο όρων δεν έχει καμία φυσική έννοια και δεν ορίζεται. Η πληροφορία που δίνει η διάταξη των όρων δεν εμπεριέχει καμία πληροφορία σχετικά με την απόσταση των όρων της κλίμακας. Δεν μπορεί, δηλαδή, να ειπωθεί ότι στην κλίμακα

$$L = \{x_0 = \text{τίποτα}, x_1 = \text{μικρό}, x_2 = \text{μεσαίο}, x_3 = \text{μεγάλο}\}$$

το «μικρό» απέχει από το «μεσαίο» όσο το «μεσαίο» από το «μεγάλο». Δεν μπορεί να καθορισθεί πόσο διαφορετικό είναι το «μικρό» από το «μεσαίο», δηλαδή δεν μπορεί να καθορισθεί πόσο πρέπει να αυξηθεί το «μικρό» για να γίνει «μεσαίο». Αν χρησιμοποιηθεί η κλίμακα  $L$  για να αξιολογηθεί η άνεση ενός αυτοκίνητου δεν μπορεί να προσδιορισθεί πόσο μεγαλύτερη είναι η άνεση ενός αυτοκίνητου με «μέση» άνεση σε σχέση με ένα άλλο με «μικρή» άνεση. Διαφορετικοί αποφασίζοντες μπορεί να δίνουν διαφορετική ερμηνεία για τους όρους της κλίμακας.

Επιλογή του  
αθροιστικού  
τελεστή

Το επόμενο βήμα της ανάλυσης αποφάσεων με γλωσσικούς όρους είναι η επιλογή του αθροιστικού τελεστή της γλωσσικής πληροφορίας.

Εδώ, εμφανίζεται ένας σημαντικός περιορισμός των σχετιζόμενων προσεγγίσεων εξαιτίας του γεγονότος ότι οι υπολογιστικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην εξειδικευμένη βιβλιογραφία παρουσιάζουν ένα σύνθητες μειονέκτημα, την «απώλεια δεδομένων», η οποία ουσιαστικά περιλαμβάνει την έλλειψη ακρίβειας στα τελικά αποτελέσματα. Αυτές οι υπολογιστικές τεχνικές είναι οι ακόλουθες [II.33, II.34]:

- *Προσέγγιση Προέκτασης*: Γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς που υποστηρίζουν τη σημασιολογία των γλωσσικών όρων.
- *Συμβολική Προσέγγιση*: Γίνονται υπολογισμοί με τις ετικέτες των γλωσσικών όρων.
- *Προσέγγιση Διπλής Αναπαράστασης*: Αφορά προσέγγιση που σαν στόχο έχει να ξεπερνά αυτόν τον περιορισμό της έλλειψης ακρίβειας, μέσα από την αντιπροσώπευση της γλωσσολογικής πληροφορίας με ένα ζεύγος τιμών, συντεθειμένο από ένα γλωσσικό όρο και έναν αριθμό. Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της αντιπροσώπευσης είναι ότι είναι συνεχής στο πεδίο της και ως εκ

τούτου μπορεί να εκφράσει οποιαδήποτε μετρήσιμη πληροφορία μέσα στο σύμπαν της ομιλίας. Μέσω αυτού του αντιπροσωπευτικού προτύπου, παρουσιάζονται υπολογιστικές τεχνικές που δεν έχουν απώλεια δεδομένων.

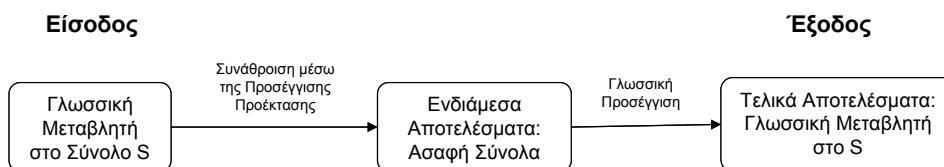
## 2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

### 2.2.1 Προσέγγιση Προέκτασης

Η προσέγγιση προέκτασης έχει εισαχθεί για να μετατρέψει αριθμητικές τιμές σε ασαφή σύνολα. Όμως, είναι γνωστό ότι χρησιμοποιώντας εκτεταμένες αλγεβρικές πράξεις για να χειριστεί κανείς τα ασαφή σύνολα, η ασάφεια των αποτελεσμάτων αυξάνεται βήμα με το βήμα και το σχήμα της συνάρτησης συσχέτισης δεν μένει σταθερό όταν οι γλωσσικές μεταβλητές είναι αλληλεπιδρούσες. Έτσι, τα τελικά αποτελέσματα αυτών των μεθόδων είναι ασαφή σύνολα τα οποία δεν αντιστοιχούν σε καμία ετικέτα στο αρχικό σύνολο γλωσσικών όρων. Ουσιαστικά δηλαδή η αρχή της προέκτασης με ασαφή σύνολα έχει σαν αποτέλεσμα ασαφή σύνολα, τα οποία είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητά από τον αποφασίζοντα.

Αν, τελικά, επιθυμείται να υπάρχει μια ετικέτα, απαιτείται μια γλωσσική προσέγγιση. Η γλωσσική προσέγγιση έγκειται στο να βρεθεί μια ετικέτα της οποίας το νόημα είναι το ίδιο με το πιο κοντινό νόημα του ασαφούς συνόλου χωρίς ετικέτα, το οποίο δημιουργείται από το μοντέλο γλωσσικού υπολογισμού. Δεν υπάρχει γενική μέθοδος για τον συσχετισμό μιας ετικέτας με ένα ασαφές σύνολο.

Μια γλωσσική συνάθροιση βασισμένη στην αρχή της προέκτασης ενεργεί σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.1.1.



**Σχήμα 2.2.1.1** Διαδικασία Προσέγγισης Προέκτασης

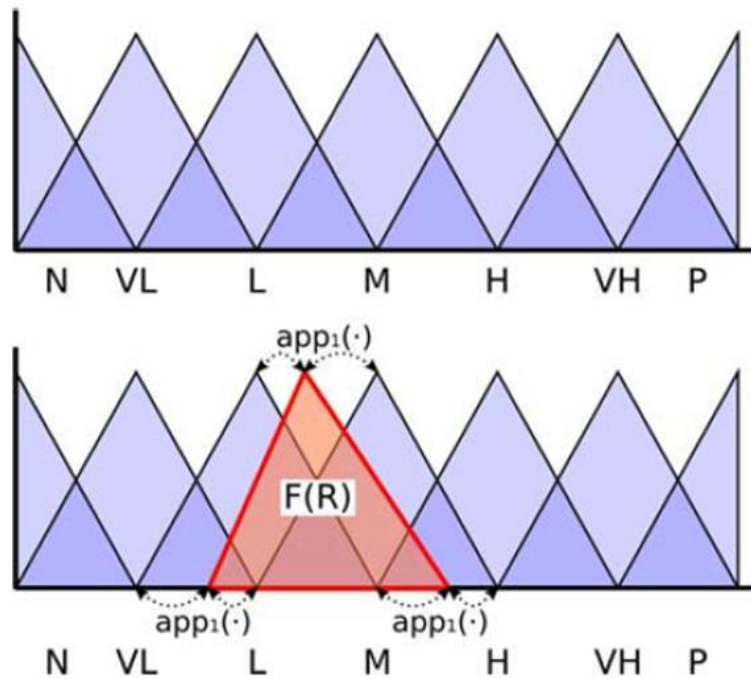
Πηγή: Herrera F, Martinez L. (1999) [II.35]

Ουσιαστικά, ένας γλωσσικός τελεστής βασισμένος στην αρχή της προέκτασης ορίζεται ως εξής [II.36, II.37]:

$$S^n \xrightarrow{\bar{F}} F(R) \xrightarrow{apR(\cdot)} S, \text{ όπου:}$$

- $S$  είναι το αρχικό σύνολο γλωσσικών όρων.
- $S^n$  συμβολίζει το  $n$  Καρτεσιανό γινόμενο του  $S$ .
- $\bar{F}$  είναι ένας τελεστής συνάθροισης που βασίζεται στην αρχή της προέκτασης.

- $F(R)$  είναι το σύνολο των ασαφών συνόλων επάνω από το σύνολο των πραγματικών αριθμών  $R$ .
- $app_1(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γλωσσολογικής προσέγγισης που επιστρέφει μία ετικέτα στο σύνολο γλωσσικών όρων  $S$ , του οποίου η σημασία είναι η κοντινότερη στον παραγόμενο ασαφή αριθμό χωρίς ετικέτα (Σχήμα 2.2.1.2)



Σχήμα 2.2.1.2  
Πηγή: Herrera F et al (2009) [11.36]

## 2.2.2 Συμβολική Προσέγγιση

Μία δεύτερη προσέγγιση που χρησιμοποιείται για να λειτουργήσει με γλωσσικές πληροφορίες είναι η συμβολική, η οποία δρα μέσω άμεσου υπολογισμού στις ετικέτες, λαμβάνοντας υπόψη το νόημα και τα χαρακτηριστικά τέτοιων γλωσσικών μεταβλητών. Υποθέτει ότι το σύνολο γλωσσικών όρων είναι μια διατεταγμένη δομή ενιαία κατανομημένη σε μια κλίμακα  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  όπου  $s_i < s_j$  εάν  $i < j$ .

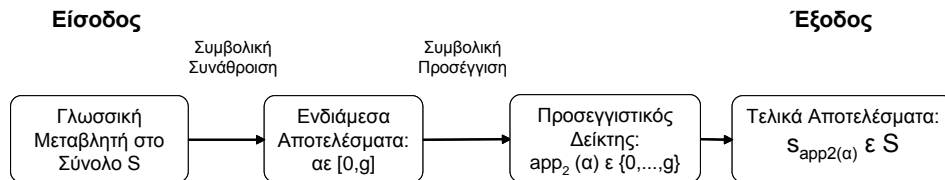
Τα ενδιαμέσα αποτελέσματα είναι αριθμητικές τιμές,  $\alpha \in [0, g]$ , τα οποία πρέπει να προσεγγιστούν σε κάθε βήμα της διαδικασίας μέσω της προσεγγιστικής συνάρτησης  $app_2 : [0, g] \rightarrow \{0, \dots, g\}$ , που παράγει μία αριθμητική τιμή, τέτοια που να υποδηλώνει το δείκτη του σχετικού γλωσσικού όρου  $s_{app_2(\alpha)} \in S$ . Τυπικά, μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$S^n \xrightarrow{C} [0, g] \xrightarrow{app_2(\cdot)} \{0, \dots, g\} \rightarrow S, \text{ όπου:}$$

- $C$  είναι ο τελεστής συμβολικής γλωσσικής προσέγγισης,

- $app_2(\cdot)$  είναι η συνάρτηση γλωσσικής προσέγγισης που χρησιμοποιείται για να προκύψει ένας δείκτης  $\{0, \dots, g\}$  σχετιζόμενος με έναν όρο στο  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  από μία τιμή στο  $[0, g]$ .

Μια γλωσσική συνάθροιση βασισμένη στη συμβολική προσέγγιση ενεργεί σύμφωνα με το σχέδιο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3.2.1.



**Σχήμα 2.3.2.1** Διαδικασία Συμβολικής Προσέγγισης

Πηγή: Herrera F, Martinez L. (1999) [II.35]

Αυτές οι μέθοδοι φαίνονται αρκετά φυσικές όταν χρησιμοποιείται η γλωσσική προσέγγιση, επειδή οι γλωσσικές αποτιμήσεις είναι απλά προσεγγίσεις οι οποίες δίνονται όταν είναι αδύνατο ή μη απαραίτητο να εξαχθούν πιο ακριβείς τιμές. Έτσι, σε αυτή την περίπτωση, δεν είναι απαραίτητη η χρήση των συναρτήσεων συσχέτισης. Επιπλέον, από άποψη υπολογισμού είναι σχετικά απλές και γρήγορες. Στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν διάφορα είδη τελεστών συνάθροισης γλωσσικής πληροφορίας, όπως τελεστές μη σταθμισμένης και σταθμισμένης γλωσσικής πληροφορίας [II.38].

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει ο τελεστής LOWA – Linguistic Ordered Weighted Average, [II.38], που συναθροίζει γλωσσικές πληροφορίες με βάση μία δέσμη κριτηρίων ίδιας βαρύτητας και ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω ότι  $A = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$  είναι ένα σύνολο από ετικέτες που πρέπει να αθροιστούν. Τότε ο τελεστής LOWA,  $\Phi$ , ορίζεται ως εξής:

$$\Phi(\alpha_1, \dots, \alpha_m) = W \cdot B^T = \beta^m \{w_k, b_k, k=1, \dots, m\} = w_1 \cdot b_1 + (1 - w_1) \cdot \beta^{m-1} \{b_h, b_h, h=2, \dots, m\}$$

Όπου  $W = [w_1, \dots, w_m]$  είναι το διάνυσμα βαρών τέτοιο ώστε:

- $w_i \in [0, 1]$
- $\sum_i w_i = 1$
- $\beta_h = \frac{w_h}{\sum_{k=2}^m w_k}$ ,  $h = 2, \dots, m$

και  $B = \{b_1, \dots, b_m\}$  είναι ένα διάνυσμα σχετισμένο με το  $A$  κατά τέτοιο τρόπο ώστε

$$B = \sigma(A) = \{\alpha_{\sigma(1)}, \dots, \alpha_{\sigma(n)}\}, \text{ όπου:}$$

- $\alpha_{\sigma(i)} \leq \alpha_{\sigma(j)}$  για κάθε  $i \leq j$  και το  $\sigma$  είναι μια αντιμετάθεση για το σύνολο των ετικετών  $A$ .
- $\beta^m$  είναι ο κυρτός τελεστής συνδυασμού των  $m$  ετικετών.



Αν  $m = 2$ , τότε ορίζεται ως εξής:

$$\beta^2 \{ w_i, b_i, i = 1, 2 \} = w_1 \cdot s_j + (1 - w_1) \cdot s_i = s_k, \quad s_j, s_i \in S(j \geq i), \text{ έτσι ώστε} \\ k = \min\{T, i + \text{round}(w_1 \cdot (j - i))\}, \text{ όπου:}$$

- round είναι η συνηθισμένη λειτουργία στρογγυλοποίησης.
- $b_1 = s_j, b_2 = s_i$ .

Αν  $w_i = 1$  και  $w_i = 0$  με  $j \neq i$  για κάθε  $i$  τότε ο κυρτός συνδυασμός ορίζεται ως:

$$\beta^m \{ w_i, b_i, i = 1, \dots, m \} = b_j$$

Ο υπολογισμός τώρα του διανύσματος βαρών του τελεστή LOWA,  $W$ , είναι ένα βασικό πρόβλημα που πρέπει να λυθεί. Μια πιθανή λύση είναι ότι τα βάρη αντιπροσωπεύουν την έννοια της ασαφούς πλειοψηφίας στη συνάθροιση του τελεστή LOWA χρησιμοποιώντας ένα ασαφή γλωσσικό ποσοτικοποιητή. Ο Yager πρότεινε ένα διαφανή τρόπο να υπολογιστούν τα βάρη με τη βοήθεια ενός ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή, ο οποίος, στην περίπτωση του μη-φθίνοντα αναλογικού ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή  $Q$ , δίνεται από αυτήν την έκφραση [II.38]:

$$w_i = Q(i/n) - Q((i-1)/n), \quad i = 1, \dots, n, \text{ και}$$

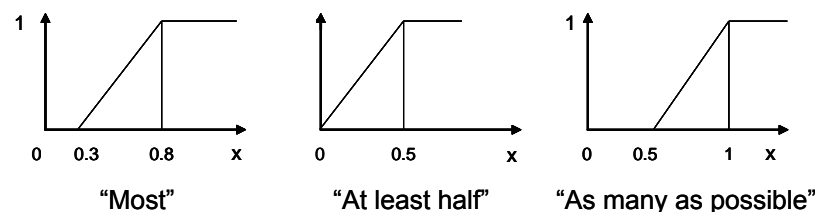
$$Q_{(r)} = \begin{cases} 0, & \alpha \vee r < a, \\ (r-a)/(b-a), & \alpha \vee a \leq r \leq b, \text{ με τα } a, b, r \in [0, 1]. \\ 1, & \alpha \vee r > b. \end{cases}$$

Μερικά παραδείγματα των μη-φθίνοντων αναλογικών ασαφών γλωσσικών ποσοτικοποιητών είναι τα ακόλουθα:

- “Most” (0.3, 0.8): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις ενδιάμεσες αποδόσεις,
- “At least half” (0, 0.5): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις υψηλές αποδόσεις,
- “As many as possible” (0.5, 1): Δίνει περισσότερη βαρύτητα στις χαμηλές αποδόσεις,

όπου ο πρώτος αριθμός μέσα σε κάθε παρένθεση συμβολίζει το κάτω όριο ( $a$ ) και ο δεύτερος αριθμός το πάνω όριο ( $b$ ).

Όταν ένας ασαφής γλωσσικός ποσοτικοποιητής,  $Q$ , χρησιμοποιείται για να υπολογίσει τα βάρη του τελεστή LOWA,  $\Phi$ , τότε συμβολίζεται με  $\Phi_Q$ .



**Σχήμα 2.3.2.2** Ασαφείς Γλωσσικοί Ποσοτικοποιητές

Πηγή: Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998) [II.26]

Υπάρχουν όμως και τελεστές γλωσσικής συνάθροισης για κριτήρια διαφορετικής σημαντικότητας, LWA – Linguistic Weighted Average.

Ακολουθώντας τις μελέτες του Cholewa [II.39] και το μοντέλο συνάθροισης του Montero [II.40], για τη συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας πρέπει να ορίζονται δύο τελεστές, οι ακόλουθοι:

- Ο τελεστής συνάθροισης των βαρών της πληροφορίας και
- Ο τελεστής συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας (πληροφορία συνδυασμένη με βάρη).

Η πρώτη πτυχή συνίσταται στην απόκτηση ενός συλλογικού βαθμού σπουδαιότητας από μεμονωμένους βαθμούς σπουδαιότητας, ο οποίος χαρακτηρίζει το τελικό αποτέλεσμα του τελεστή συνάθροισης.

Από την άλλη μεριά, η συνάθροιση σταθμισμένης πληροφορίας εμπλέκει το μετασχηματισμό της σταθμισμένης πληροφορίας με βάση τα βάρη. Η μορφή του μετασχηματισμού εξαρτάται από τον τύπο της συνάθροισης της σταθμισμένης πληροφορίας που επιτελείται. Οι γενικές ιδιότητες που πρέπει να ικανοποιεί μία οποιαδήποτε συνάρτηση μετασχηματισμού σπουδαιότητας  $g$  για οποιοδήποτε τύπο τελεστή συνάθροισης είναι οι ακόλουθες [II.38]:

1. αν  $a > b$  τότε  $g(w,a) \geq g(w,b)$ ,
2. η  $g(w,a)$  είναι μονότονη στο  $w$ ,
3.  $g(0,a) = ID$  και
4.  $g(1,a) = a$ ,

με τα:

- $a, b \in [0, 1]$  να εκφράζουν την ικανοποίηση προς το κριτήριο,
- $w \in [0, 1]$ , το βάρος που σχετίζεται με το κριτήριο, και
- “ID”, ένα στοιχείο ταυτότητας, που είναι τέτοιο ώστε εάν το προσθέσουμε στις συναθροίσεις δεν αλλάζει την τιμή συνάθροισης.

Σε αυτό το πλαίσιο, παραδείγματα συναρτήσεων σύζευξης των βαρών με τις αποδόσεις είναι οι ακόλουθες [II.38]:

- *Kleene – Dienes’s*:  $LI_1^{\rightarrow} = \text{Max}(Neg_{(w,a)})$
  - *Godels*:  $LI_2^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ a, \end{cases}$  διαφορετικά
  - *Fodor’s*:  $LI_3^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ \text{Max}(Neg_{(w,a)}), \end{cases}$  διαφορετικά
  - *Lukasiewicz’s*:  $LI_3^{\rightarrow}(w, a) = \begin{cases} s_T, w \leq a \\ Neg(w-a), \end{cases}$  διαφορετικά
- όπου  $w-a = s_i \in S$ , με  $w = s_i$ ,  $a = s_t$  και  $l = t+h$

### 2.3.3 Μοντέλο Διπλής Αναπαράστασης

Η γλωσσική ανάλυση σήμερα εστιάζεται στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που να είναι ικανά να διαχειριστούν γλωσσική πληροφορία μέσα σε πολυκριτηριακά προβλήματα, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την αποφυγή οποιασδήποτε απώλειας πληροφορίας. Αυτός είναι και ο στόχος του νέου μοντέλου διπλής αναπαράστασης της γλωσσικής πληροφορίας των Herrera et al. [11.36, 11.37].

Πιο συγκεκριμένα:

- Έστω  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  ένα σύνολο γλωσσικών στοιχείων. Εάν μια συμβολική μέθοδος, η οποία αθροίζει γλωσσικές πληροφορίες λάβει μια τιμή  $\beta \in [0, g]$ , αλλά ισχύει  $\beta \notin \{0, \dots, g\}$ , τότε χρησιμοποιείται μια προσεγγιστική συνάρτηση  $\text{app}_2(\cdot)$  για να εκφράσει το αποτέλεσμα της άθροισης στο σύνολο  $S$ .
- Έστω  $\beta$  το αποτέλεσμα της άθροισης ενός συνόλου γλωσσικών όρων που έχουν εκφραστεί σε μια γλωσσική κλίμακα  $S$ , όπου  $\beta \in [0, g]$ , και  $g+1$  το πλήθος των στοιχείων του  $S$ .
- Αν  $i = \text{round}(\beta)$  και  $\alpha = \beta - i$  δύο τιμές έτσι ώστε  $i \in [0, g]$  και  $\alpha \in [-0.5, 0.5)$ , τότε η  $\alpha$  καλείται συμβολική μετάφραση.

Η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου,  $s_i$ , είναι δηλαδή μια αριθμητική τιμή στο διάστημα  $[-0.5, 0.5)$ , η οποία υποδηλώνει τη “διαφοροποίηση της πληροφορίας” ανάμεσα στη μετρούμενη τιμή  $\beta \in [0, g]$  που λαμβάνεται κατόπιν μιας συμβολικής συνάθροισης, και της πλησιέστερης τιμής στο  $\{0, \dots, g\}$  που δηλώνει το περιεχόμενο του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στο  $S$  ( $i = \text{round}(\beta)$ ).

Από την άποψη αυτήν, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γλωσσικής απεικόνισης, το οποίο απεικονίζει τη γλωσσική πληροφορία μέσω δύο στοιχείων, των  $(s_i, \alpha_i)$ , με  $s_i \in S$  και  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ , τέτοια ώστε:

- Το  $s_i$  αντιπροσωπεύει τη γλωσσική προέλευση της πληροφορίας.
- Το  $\alpha_i$  αποτελεί μια αριθμητική τιμή, η οποία εκφράζει την απόδοση της μετάφρασης από το αρχικό αποτέλεσμα  $\beta$  στο πλησιέστερο όρο  $i$  στο σύνολο των γλωσσικών στοιχείων ( $s_i$ ), δηλαδή τη συμβολική μετάφραση.

Το παραπάνω μοντέλο ορίζει ένα σύνολο συναρτήσεων μετάφρασης ανάμεσα σε γλωσσικούς όρους και στη διπλή αναπαράσταση, και ανάμεσα σε αριθμητικές τιμές και στη διπλή αναπαράσταση. Αν  $S = \{s_0, \dots, s_g\}$  είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και  $\beta \in [0, g]$  μια τιμή που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μιας συμβολικής συνάθροισης, τότε η διπλή αναπαράσταση που εκφράζει την ισοδύναμη με το  $\beta$  πληροφορία λαμβάνεται από την ακόλουθη συνάρτηση [11.43]:

- $\Delta(\beta) = (s_i, \alpha)$ , με  $\begin{cases} s_i \\ \alpha = \beta - i \end{cases}$ ,  $i = \text{round}(\beta)$ ,  $\alpha_i \in [-0.5, 0.5)$ , όπου  $\text{round}(\cdot)$  η συνήθης συνάρτηση στρογγυλοποίησης, το περιεχόμενο του  $s_i$  είναι το πλησιέστερο στο “ $\beta$ ” και το “ $\alpha$ ” είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.
- Υπάρχει πάντοτε μια συνάρτηση  $\Delta^{-1}$  τέτοια ώστε από την 2-tuple να επιστρέφει την αντίστοιχη αριθμητική της αξία  $\beta \in [0, g] \subset \mathfrak{R}$ . Υπό αυτό το πρίσμα, ορίζεται η

ακόλουθη συνάρτηση:

- $\Delta^{-1} : S \times [-.5, .5] \rightarrow [0, g]$
- $\Delta^{-1}(s_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$ .

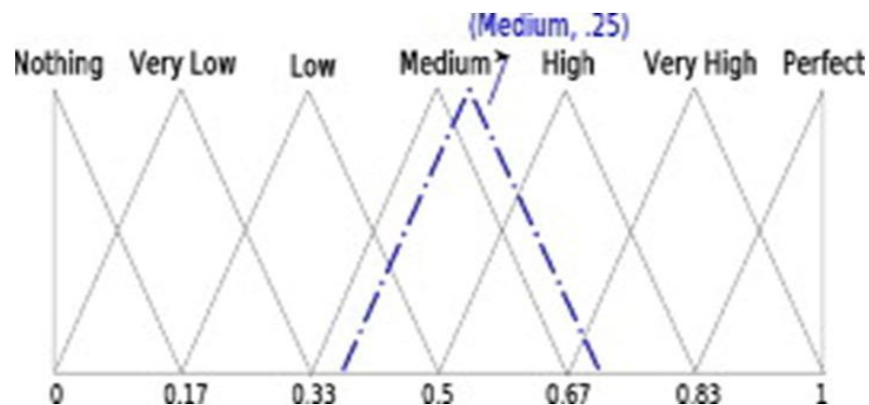
Επιπλέον, η αντιστροφή της διπλής αναπαράστασης μπορεί να οριστεί σαν  $n(s_i, a) = \Delta[g - \Delta^{-1}(s_i, a)]$ , όπου  $g + 1$  είναι το πλήθος της διατεταγμένης γλωσσικής κλίμακας  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ .

Επιπρόσθετα, η σύγκριση δύο γλωσσικών πληροφοριών που απεικονίζονται με τη διπλή αναπαράσταση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη των γλωσσικών μεταβλητών. Έστω  $(s_k, a_1)$  και  $(s_l, a_2)$  δύο αναπαραστάσεις γλωσσικής πληροφορίας. Η σύγκριση τότε γίνεται ως ακολούθως:

- Αν  $k < l$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$ .
- Αν  $k = l$  τότε, τρεις διαφορετικές περιπτώσεις ισχύουν:
  1. Αν  $a_1 = a_2$  τότε  $(s_k, a_1) = (s_l, a_2)$  που σημαίνει ότι αναπαριστούν την ίδια πληροφορία.
  2. Αν  $a_1 < a_2$  τότε  $(s_k, a_1) < (s_l, a_2)$ .
  3. Αν  $a_1 > a_2$  τότε  $(s_k, a_1) > (s_l, a_2)$ .

Ένα παράδειγμα της διπλής αναπαράστασης είναι αν υποθέσουμε τη γλωσσική κλίμακα  $S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$  και το γλωσσικό αθροιστικό τελεστή, με αποτέλεσμα την τιμή  $\beta = 2.8$ . Τότε, η διπλή απεικόνιση της πληροφορίας  $\beta = 2.8$  είναι η  $\Delta(2.8) = (s_3, -0.2)$ .

Ας θεωρήσουμε ότι  $\beta = 3.25$  είναι η τιμή που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα της διαδικασίας της συμβολικής προσέγγισης στο σετ ετικετών,  $S = \{s_0: \text{Nothing}, s_1: \text{Very Low}, s_2: \text{Low}, s_3: \text{Medium}, s_4: \text{High}, s_5: \text{Very High}, s_6: \text{Perfect}\}$ , η 2\_tuple εκφράζει τις αντίστοιχες πληροφορίες, το  $\beta$  είναι  $(\text{Medium}, 0.25)$  (Σχήμα 2.3.3.1)



**Σχήμα 2.3.3.1** Γλωσσική αναπαράσταση 2\_tuple

Πηγή: L. Martinez, F. Herrera (2012) [11.43]

Με βάση την αρχή ότι η συνάθροιση γλωσσικών πληροφοριών πρέπει να έχει σαν αποτέλεσμα την επίτευξη μίας τιμής που αθροίζει τις προηγούμενες, έτσι και στη διπλή απεικόνιση η συνάθροιση μίας ομάδας διπλών αναπαραστάσεων πρέπει να είναι πάλι μια διπλή αναπαράσταση. Κάθε αριθμητικός αθροιστικός τελεστής μπορεί να επεκταθεί ώστε να συνδυάζει διπλές αναπαραστάσεις και να καταλήγει σε ένα αποτέλεσμα διπλής αναπαράστασης, με τη βοήθεια και των συναρτήσεων  $\Delta$  και  $\Delta^{-1}$ , όπως προσδιορίστηκαν παραπάνω. Σε αυτό το πλαίσιο, οι τελεστές του αριθμητικού μέσου και του σταθμισμένου μέσου όρου, με βάση τη διπλή αναπαράσταση μπορούν να οριστούν ως εξής:

- Έστω  $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$  ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων. Ο αριθμητικός μέσος διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(x_i, a_i) \right] = \Delta \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right].$$

και επιτρέπει να γίνονται υπολογισμοί χωρίς να χάνεται πληροφορία.

- Έστω  $x = \{(x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)\}$  ένα σύνολο από διπλές αναπαραστάσεις και  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  με  $w_i \geq 0$  να είναι τα σχετιζόμενα βάρη τους. Ο διπλής αναπαράστασης σταθμισμένος μέσος όρος είναι:

$$M((x_1, a_1), (x_2, a_2), \dots, (x_n, a_n)) = \Delta \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta^{-1}(x_i, a_i)) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right] = \Delta \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right].$$

### 2.3.4 Ο Τελεστής LOWA

Η πρωτότυπη μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τους Doukas et al [11.44] στηρίζεται στον τελεστή LOWA, με την αναπαράσταση των γλωσσικών μεταβλητών να γίνεται με βάση την διπλή αναπαράσταση, για να αποφευχθεί η χρήση του τελεστή στρογγυλοποίησης που οδηγεί σε απώλεια πληροφορίας. Σκοπός της χρήσης της μεθόδου είναι η αναγνώριση εκείνων των προτάσεων που εξυπηρετούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα χαρακτηριστικά των εμπλεκόμενων.

Ο «2-tuple LOWA» μπορεί να οριστεί ως ακολούθως:

Έστω  $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$  ένα σύνολο γλωσσικών αναπαραστάσεων, τέτοιο ώστε  $(r_i, a_i) \in S \times [-0.5, 0.5)$ . Το διάνυσμα άθροισης για τη διπλή αναπαράσταση γίνεται ως εξής:

$$EC^m\{w_i, (r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}), j=1, \dots, m\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}) + (1-w_1) \Delta^{-1}(EC^{m-1}\{\eta_h, (r_{\sigma(h)}, a_{\sigma(h)}), h=2, \dots, m\}))$$

Με το  $\eta_h = w_h / \sum_{k=2}^m w_k$ ,  $h=2, \dots, m$ , και  $W = [w_1, \dots, w_m]$  να είναι το διάνυσμα βαρών σε σχέση με το A, τέτοιο ώστε:

- $w_i \in [0, 1]$
- $\sum_i w_i = 1$
- $B = \{(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}), (r_{\sigma(m)}, a_{\sigma(m)})\}$ , είναι ένα διατεταγμένο σύνολο του  $A$ , τέτοιο ώστε,  $(r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}) \leq (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), \forall i \leq j$ .

Με βάση τα παραπάνω, οι υπολογισμοί γίνονται ως ακολούθως:

$$EC^m\{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), j=1, \dots, m\} = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \Delta^{-1}((r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}))\right) = \Delta\left(\sum_{i=1}^m w_i \beta_{\sigma(i)}\right),$$

όπου  $\beta_{\sigma(i)} = \Delta^{-1}(r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)})$

Αν  $m=2$ , τότε ορίζεται ως εξής:

$$EC^2\{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i=1, 2\} = \Delta(w_1 \cdot \Delta^{-1}(r_{\sigma(1)}, a_{\sigma(1)}) + (1-w_1) \Delta^{-1}(r_{\sigma(2)}, a_{\sigma(2)})) = (r_f, a_f),$$

τέτοιο ώστε  $(r_f, a_f) = \Delta(\beta_{\sigma(1)} + w_1(\beta_{\sigma(1)} - \beta_{\sigma(2)}))$

Αν  $w_j=1$  και  $w_i=0$  with  $i \neq j \forall i$ , τότε το διάνυσμα άθροισης ορίζεται ως εξής:

$$EC^m\{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i=1, \dots, m\} = (r_{\sigma(j)}, a_{\sigma(j)}).$$

Με αυτό τον τρόπο, οι προσεγγιστικοί υπολογισμοί ελαχιστοποιούνται. Σε αυτό το πλαίσιο, ο τελεστής LOWA διπλής αναπαράστασης ορίζεται ως ακολούθως:

Έστω  $A = \{(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)\}$  ένα σύνολο διπλών αναπαραστάσεων που πρέπει να συναθροιστούν, τότε ο αντίστοιχος τελεστής του LOWA,  $\Phi^e$ , ορίζεται ως ακολούθως:

$$\Phi^e[(r_1, a_1), \dots, (r_m, a_m)] = W \cdot B^T = EC^m\{w_i, (r_{\sigma(i)}, a_{\sigma(i)}), i=1, \dots, m\}$$

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [II.1] Bordogna G, Fedrizzi M, Passi G. (1997), "A linguistic modelling of consensus in group decision making based on OWA operators", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 27: 126-132.
- [II.2] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1995), "A. sequential selection process in group decision making with linguistic assessment", *Information Science*, 85: 223-239.
- [II.3] Buckley, JJ. (1984), "The multiple judge, multiple criteria ranking problem: a fuzzy set approach", *Fuzzy Sets and Systems*, 13: 23 -37.
- [II.4] Chang P, Chen Y. (1994), "A fuzzy multicriteria decision making method for technology transfer strategy selection in biotechnology", *Fuzzy Sets and Systems* 63: 131-139.
- [II.5] Yager RR. (1993), "Non-numeric multi-criteria multi-person decision making", *Group Decision Negotiation*, 2: 81-93.
- [II.6] Yager RR, Goldstein LS, Mendels E. (1994), "FUZMAR: an approach to aggregating market research data based on fuzzy reasoning", *Fuzzy Sets and Systems*, 68: 1-11.
- [II.7] Lee HM. (1996), "Group decision making using fuzzy sets theory for evaluating the rate of aggregative risk in software development", *Fuzzy Sets and Systems*, 80: 261-271.
- [II.8] Law CK. (1996), "Using fuzzy numbers in educational grading system", *Fuzzy Sets and Systems*, 83: 311-323.
- [II.9] Levrat L, Voisin A, Bombardier S, Bremont J. (1997), "Subjective evaluation of car seat comfort with fuzzy set techniques", *Internat. J. Intell. Systems*, 12: 891-913.
- [II.10] Chen SM. (1997), "A new method for tool steel materials selection under fuzzy environment", *Fuzzy Sets and Systems*, 92: 265 - 274.
- [II.11] Herrera F, Lopez E, Mendaña C, Rodriguez MA. (2001), "A linguistic decision model for personnel management solved with a linguistic biojective genetic algorithm", *Fuzzy Sets and Systems*, 118(1): 47 - 64.
- [II.12] Chiclana F, Herrera F, Herrera-Viedma E. (1998), "Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based on fuzzy preference relations", *Fuzzy Sets and Systems* 97: 33-48.
- [II.13] Herrera F, Herrera-Viedma E, Martinez L. (2000), "A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making", *Fuzzy Sets and Systems*, 114: 43-58.
- [II.14] Kacprzyk J, Fedrizzi M. (1990), "Multiperson Decision Making Models Using Fuzzy Sets and Possibility Theory", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- [II.15] Roubens M. (1997), "Fuzzy sets and decision analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, 90: 199-206.
- [II.16] Zadeh LA. (1975) "The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning - Part I", *Information Science* 8: 199-249.
- [II.17] Zadeh LA. (1975) "The concept of a linguistic variable and its applications to approximate reasoning - Part II", *Information Science* 8: 301-357.

- [II.18] Bonissone PP, Decker KS. (1986), "Selecting uncertainty calculi and granularity: an experiment in trading of precision and complexity, in: L.H. Kanal, J.F. Lemmer (Eds.), *Uncertainty in Artificial Intelligence*, North-Holland, Amsterdam, pp. 217- 247.
- [II.19] Miller GA. (1956), "The magical number seven or minus two: some limits on our capacity of processing information", *Psychological Review*, 63: 81-97.
- [II.20] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1996), "A model of consensus in group decision making under linguistic assessments", *Fuzzy Sets and Systems*, 79: 73-87.
- [II.21] Bordogna G, Passi G. (1993), "A fuzzy linguistic approach generalizing boolean information retrieval: a model and its evaluation", *J. Amer. Soc. Inform. Sci.* 44: 70 - 82.
- [II.22] Bonissone PP. (1982), "A fuzzy sets based linguistic approach: theory and applications", in: M.M. Gupta, E. Sanchez (Eds.), *Approximate Reasoning in Decision Analysis*, North-Holland, Amsterdam, pp. 329-339.
- [II.23] Delgado M, Verdegay JL, Vila MA. (1992), "Linguistic decision making models", *International Journal of Intelligent Systems*, 7: 479 - 492.
- [II.24] Tong M, Bonissone PP. (1980), "A linguistic approach to decision making with fuzzy sets", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 10: 716-723.
- [II.25] Tong M, Bonissone PP. (1984), "Linguistic solutions to fuzzy decision problems", *Stud. Management Sci.* 20: 323-334.
- [II.26] Herrera F, Herrera-Viedma E, Verdegay JL. (1998), "Choice processes for non-homogeneous group decision making in linguistic setting", *Fuzzy Sets and Systems*, 94(3): 287-308.
- [II.27] Delgado M, Herrera F, Herrera-Viedma E, Martinez L. (1998), "Combining linguistic and numerical information in group decision making", *Information Science*, 7: 177-194.
- [II.28] Yager RR. (1995), "An approach to ordinal decision making", *International Journal of Approximate Reasoning*, 12: 237-261.
- [II.33] Delgado M, Verdegay JL, Vila MA. (1993), "On aggregation operations of linguistic labels", *International Journal of Intelligent Systems*, 8: 351–370.
- [II.34] Herrera F, Martinez L. (2000), "A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words", *IEEE Trans Fuzzy Syst*, 8(6):746–752.
- [II.35] Herrera F, Martinez L. (1999), "A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words", Department of Computer Science and Artificial Intelligence, Technical Report #DESCAI-990102.
- [II.36] Degani R, Bortolan G. (1988), "The problem of linguistic approximation in clinical decision making", *Int J Approx Reason*, 2: 143–162.
- [II.37] Bonissone PP, Decker KS. "Selecting uncertainty calculi and granularity: An experiment in trading – off precision and complexity", In *Uncertainty in Artificial Intelligence*, Kanal LH, Lemmer JF., Eds. Amsterdam, The Netherlands: North – Holland, 1986, pp.217-247.
- [II.38] Herrera F, Herrera-Viedma E. (2000), "Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information", *Fuzzy Sets and Systems* 115: 67-82.
- .
- [II.39] Cholewa W. (1985), "Aggregation of fuzzy opinions: An axiomatic approach", *Fuzzy*



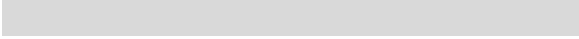

Sets and Systems, 17: 249-259.

- [II.40] Montero J. (1988), "Aggregation of fuzzy opinions in a non-homogeneous group",  
Fuzzy Sets and Systems, 25: 15-20.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:**

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ  
ΣΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΑ  
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ**



### 3.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΑΣΑΦΟΥΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Μοντελοποίηση  
Ασάφειας

Η ασαφής λογική προτάθηκε ως συστηματικό εργαλείο για την αποτίμηση εναλλακτικών σε συνθήκες αβεβαιότητας [III.1]. Η ασαφής λογική είναι ικανή να εκφράζει αβέβαιες πληροφορίες και να αντιμετωπίζει αόριστες καταστάσεις, όπου τα παραδοσιακά μαθηματικά είναι αναποτελεσματικά.

Στην επιλογή μιας μαθηματικής θεωρίας για τη μοντελοποίηση της ασαφούς αβεβαιότητας (AA), πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο τύπος αβεβαιότητας σε σχέση με την AA. Συγκεκριμένα, η «πιθανολογική» αβεβαιότητα σχετίζεται με γεγονότα που έχουν ένα καλά-ορισμένο, ξεκάθαρο νόημα. Η θεωρία των πιθανοτήτων βασίζεται στην λογική των δυο τιμών, π.χ. σωστό η λάθος, ναι η όχι. Η θεωρία των πιθανοτήτων αποτιμά εάν ένα γεγονός θα συμβεί. Επειδή η AA δεν μπορεί να οριστεί επακριβώς, είναι αδύνατον να αποτιμηθεί ξεκάθαρα εάν η ανάπτυξη σε κάποιον τομέα είναι αειφόρος ή όχι. Γι' αυτό, η λογική των δυο τιμών δεν αποφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

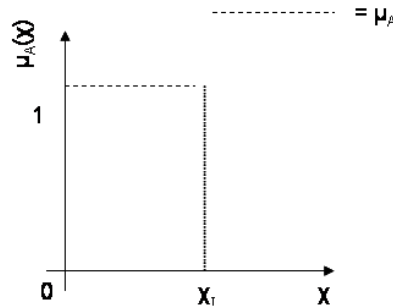
Από την άλλη μεριά, η AA σχετίζεται με γεγονότα που δεν έχουν ξεκάθαρο νόημα. Η θεωρία της ασάφειας βασίζεται στη λογική πολλαπλών τιμών, η οποία επιτρέπει μια ενδιάμεση αποτίμηση μεταξύ αυστηρής αειφόρας και μη, π.χ. η ασάφεια περιγράφει το βαθμό στον οποίο ένα γεγονός συνέβη, και όχι εάν συνέβη. Γι' αυτό και προτείνεται αυτή η θεωρία, η οποία προσφέρει ένα τυπικό μαθηματικό πλαίσιο εργασίας για την αποτίμηση της AA [III.2].

Η διαπίστωση αυτού του σημαντικού ρόλου της AA έγινε από μερικούς ερευνητές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960. Η διαπίστωση αυτή έφερε την ανάδυση νέων θεωριών μοντελοποίησης της αβεβαιότητας διαφορετικών από τη θεωρία πιθανοτήτων. Αυτές οι θεωρίες δείχνουν ότι η θεωρία πιθανοτήτων είναι ικανή να περιγράψει μόνο μια μορφή αβεβαιότητας.

Ένα σημαντικό σημείο στην εξέλιξη των νέων θεωριών αβεβαιότητας ήταν η συνεισφορά του Zadeh με την εργασία του [III.3]. Σε αυτή την εργασία ο Zadeh εισήγαγε μια θεωρία της οποίας τα αντικείμενα, τα ασαφή σύνολα, είναι σύνολα των οποίων τα όρια δεν είναι επακριβώς καθορισμένα. Η συμμετοχή σε ένα ασαφές σύνολο δεν είναι μια απάντηση ναι ή όχι όπως στα συνηθισμένα κλασσικά σύνολα αλλά είναι θέμα βαθμού. Με αυτή την θεωρία ο Zadeh αντέκρουσε την αντίληψη ότι κάθε είδους αβεβαιότητα μπορεί να μοντελοποιηθεί με τη θεωρία των πιθανοτήτων. Επιπλέον, κατέδειξε ότι ένα είδος αβεβαιότητας, η ανακρίβεια η οποία δεν κρύβει καμία τυχαιότητα, μπορεί να περιγραφθεί άριστα με τα ασαφή σύνολα.

Πιο συγκεκριμένα, έστω ένα σύνολο  $U$  που αποτελείται από στοιχεία  $x$  ( $x \in U$ ). Εάν  $A$  είναι ένα υποσύνολο του  $U$  ( $A \subset U$ ), τότε κάθε στοιχείο  $x$  είτε ανήκει στο  $A$  ( $x \in A$ ) είτε όχι ( $x \notin A$ ). «Υποσύνολο» και «γεγονός» είναι εναλλακτικά, δηλαδή  $x \in A$ , σημαίνει ότι για το στοιχείο  $x$  το γεγονός  $A$  έχει συμβεί. Η χαρακτηριστική συνάρτηση συσχέτισης  $\mu_A$  ορίζει μια ξεκάθαρη διάκριση μεταξύ των μελών και των μη-μελών του  $A$ . Έτσι η  $\mu_A$  δίνει σε κάθε  $x$  μια από δυο τιμές, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1.1:

- $\mu_A(x)=1$  εάν και μόνο εάν  $x \in A$ ,
- $\mu_A(x)=0$  εάν και μόνο εάν  $x \notin A$ .

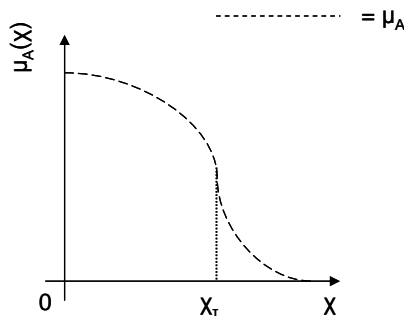


**Σχήμα 3.1.1** Λογική Δύο Τιμών

Λογική  
Πολλαπλών  
Τιμών

Άρα, απαιτείται ένα αυστηρό όριο  $x_T$  για τον προσδιορισμό μιας ξεκάθαρης διάκρισης μεταξύ των αποδεκτών τιμών ( $x < x_T$ ) και των μη-αποδεκτών τιμών ( $x > x_T$ ). Συχνά, ένα αυστηρό όριο είναι πρακτικά μη-ρεαλιστικό.

Αντιθέτως, η θεωρία της ασάφειας βασίζεται στη λογική πολλαπλών τιμών. Αντίστοιχα με τα προηγούμενα,  $\tilde{A}$  είναι ένα ασαφές υποσύνολο του  $U$  ( $\tilde{A} \subset U$ ), και μια συνάρτηση συσχέτισης  $\mu_{\tilde{A}}$  ορίζει τη μερική συμμετοχή σε ένα σύνολο. Άρα η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην άλλη είναι βαθμιαία και όχι απότομη. Έτσι λοιπόν, η συνάρτηση συσχέτισης δίνει σε κάθε  $x$  μια τιμή από 0 έως 1, υποδηλώνοντας τον βαθμό συσχέτισης, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο Σχήμα 3.1.2.



**Σχήμα 3.1.2** Λογική Πολλαπλών Τιμών

Γλωσσικές  
Μεταβλητές

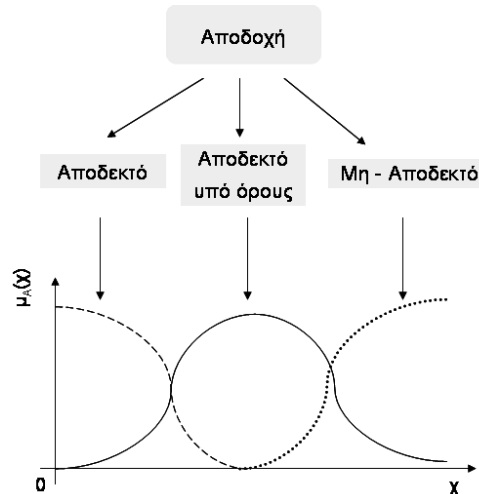
Άρα, σε αυτή την περίπτωση απαιτείται ένα εύκαμπτο όριο για τον προσδιορισμό μιας ενδιάμεσης αποτίμησης  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  μεταξύ των αποδεκτών και των μη-αποδεκτών τιμών, που διευκολύνει και πρακτικά στην αποτίμηση των μετρήσεων της  $\tilde{A}$ .

Οι συναρτήσεις συσχέτισης είναι θεμελιώδεις στα ασαφή μοντέλα, για τη χρησιμοποίηση των γλωσσικών μεταβλητών. Μια γλωσσική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από [III.6]:

- 1) Τη μεταβλητή βάση  $x$  του  $\tilde{A}$ .

- 2) Το όνομα του  $\tilde{A}$ .
- 3) Τη γλωσσική τιμή  $\tilde{A}_i$  του  $\tilde{A}$  ( $i = 1, \dots, n$ ).
- 4) Τη συνάρτηση συσχέτισης  $\mu_{\tilde{A}}$  του  $\tilde{A}_i$ .

Η σημασιολογία μιας γλωσσικής μεταβλητής φαίνονται στο Σχήμα 3.1.3.



Σχήμα 3.1.3 Σημασιολογία Γλωσσικής Μεταβλητής

Τρεις γλωσσικές τιμές  $\tilde{A}_i$  ( $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2$  και  $\tilde{A}_3$ ) ορίζουν την συνεισφορά του  $x$  στην  $AA$  σε γλωσσικούς όρους:

- $\tilde{A}_1 =$  «Αποδεκτό»,
- $\tilde{A}_2 =$  «Αποδεκτό υπό όρους»,
- $\tilde{A}_3 =$  «Μη-αποδεκτό».

Ουσιαστικά δηλαδή τα ασαφή σύνολα μπορούν να αναπαραστήσουν γλωσσικούς όρους σε μια φυσική γλώσσα όπως «ψηλός άνδρας», «ακριβό αυτοκίνητο», «μικρά κέρδη», «αριθμοί πολύ μεγαλύτεροι του 10», «περίπου 3». Κάθε ένας από αυτούς τους γλωσσικούς όρους εκφράζει ένα σύνολο του οποίου τα όρια είναι ανακριβή και είναι τα ασαφή σύνολα που μπορούν να περιγράψουν τέτοιους όρους. Επίσης, τα ασαφή σύνολα έχουν τη δυνατότητα να μοντελοποιούν την ανακρίβεια στη μέτρηση μεγεθών αναπαριστώντας όρους όπως ο «περίπου 3». Είναι πολύ σημαντική η ικανότητα των ασαφών συνόλων να μοντελοποιούν γλωσσικούς όρους της φυσικής γλώσσας γιατί έτσι μπορούν να προσομοιώσουν τον ανθρώπινο τρόπο έκφρασης και συλλογισμού. Η έκφραση με γλωσσικούς όρους και η επεξεργασία αυτών είναι μια καθημερινή πρακτική για τον ανθρώπινο νου και είναι πολύ εύκολο για τους ανθρώπους να κατανοούν το νόημα των γλωσσικών αυτών όρων. Επιπρόσθετα, τα ασαφή σύνολα προσφέρουν την ευελιξία να μοντελοποιούν τους γλωσσικούς όρους κατά την περίπτωση υπό την οποία οι όροι εκφράζονται. Για παράδειγμα δεν έχει την ίδια σημασία ο όρος «ψηλοί παίκτες» αν αναφέρεται σε μια ομάδα μπάσκετ και αν αναφέρεται σε μια ομάδα ποδοσφαίρου. Τα δυο ασαφή σύνολα τότε θα είναι διαφορετικά.

Η χρήση λοιπόν γλωσσικών μεταβλητών στα ασαφή μοντέλα βοηθάει κάποιον να

συνδέει τις προσδοκίες για την ΑΑ, εκφρασμένες με γλωσσικές προτάσεις. Οι συναρτήσεις συσχέτισης είναι στον πυρήνα των μοντέλων ασάφειας. Η συνάρτηση συσχέτισης θεωρείται ότι είναι το πιο δυνατό αλλά και το πιο αδύνατο σημείο της θεωρίας ασάφειας [III.4, III.5]. Είναι το πιο δυνατό γιατί ορίζει ένα εύκαμπτο όριο, το οποίο επιτρέπει μια ομαλή και πρακτική αποτίμηση της συνεισφοράς μιας δράσης στην ΑΑ, σε αντίθεση με την χαρακτηριστική συνάρτηση, η οποία ορίζει ένα αυστηρό όριο. Και είναι το πιο αδύνατο, γιατί θεωρείται πολύ υποκειμενική σε σχέση με την κατασκευή της. Στις βιομηχανικές εφαρμογές της θεωρίας ασάφειας, η κατασκευή συναρτήσεων συσχέτισης πραγματοποιείται κυρίως με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή για την κατασκευή συναρτήσεων συσχέτισης για την αποτίμηση δράσεων σε σχέση με την αειφόρα, δεν είναι δυνατή και δεν γίνεται αποδεκτή.

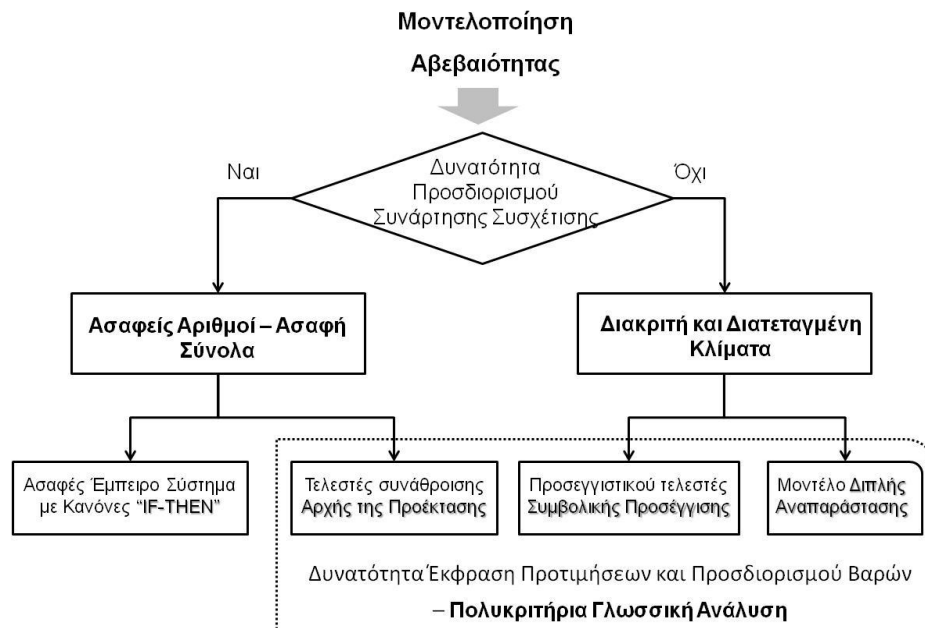
Η διαδικασία λήψης απόφασης σχετικά με τη ΑΑ είναι πρώτα και κύρια ένα πολιτικό και, επομένως, ένα υποκειμενικό ζήτημα. Παρόλο που η στάση απέναντι στην ΑΑ είναι υποκειμενική, η θεωρία της ασάφειας επιτρέπει σε ένα μαθηματικό πλαίσιο εργασίας να συνδέει τις ανθρώπινες προσδοκίες για την ΑΑ με γλωσσικές προτάσεις.

### 3.2 Μοντελοποίηση αβεβαιότητας

Δυνατότητα  
Προσδιορισμού  
Συνάρτησης  
Συσχέτισης

Με βάση την ανάλυση των προηγούμενων υποκεφαλαίων, σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρόπου μοντελοποίησης της αβεβαιότητας που αντιμετωπίζεται στην υποστήριξη αποφάσεων σε ενεργειακά – περιβαλλοντικά συστήματα.

Το ακόλουθο σχήμα απεικονίζει τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας με τους δύο γενικούς τρόπους: α) τα ασαφή σύνολα ή τους ασαφείς αριθμούς και β) τις διακριτές και διατεταγμένες κλίμακες. Η επιλογή κάποιου τρόπου μοντελοποίησης εξαρτάται από τη δυνατότητα προσδιορισμού της συνάρτησης συσχέτισης. Οι μέθοδοι που μέχρι τώρα παρουσιάστηκαν σε αυτό το Κεφάλαιο οδηγούν στη χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου. Όμως υπάρχει και η δυνατότητα ανάπτυξης ενός ασαφούς έμπειρου συστήματος (Σχήμα 3.2.1).



**Σχήμα 3.2.1** Απεικόνιση Προσεγγίσεων Μοντελοποίησης Αβεβαιότητα

Πολυκριτήρια  
Γλωσσική  
Ανάλυση

Ένα έμπειρο σύστημα, όπως καταδεικνύει και ο χαρακτηρισμός «έμπειρο», είναι ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο εξομοιώνει την ανθρώπινη γνώση σε ένα πεδίο και την διαδικασία συλλογισμού των εμπειρογνομόνων σε αυτό το πεδίο γνώσης. Στόχος των έμπειρων συστημάτων είναι να συλλέξουν τη εμπειρία, να αυτοματοποιήσουν τη συλλογιστική διαδικασία των ειδικών σε ένα πεδίο και να συστηματοποιήσουν τις δυνατότητες των εμπειρογνομόνων να κατανοούν έννοιες, να επιλύουν προβλήματα και λαμβάνουν αποφάσεις στα πλαίσια του πεδίου γνώσης τους.

Τα έμπειρα συστήματα αναπτύχθηκαν ώστε να μοντελοποιούν πολύπλοκα συστήματα για τα οποία είτε δεν υπάρχει μαθηματική δομή του μοντέλου τους είτε παρουσιάζουν τόσο μεγάλη μη γραμμικότητα ώστε η αυξημένη τους πολυπλοκότητα δεν επιτρέπει την εύκολη μαθηματική τους μοντελοποίηση. Σε μερικές περιπτώσεις συστημάτων, η γνώση για το σύστημα και τους τυχόν περιορισμούς του είναι ελλιπείς και τα δεδομένα του συστήματος ανακριβή, ασαφή ή και μη ποσοτικοποιημένα, γεγονός που συνεπάγεται ότι η επακριβής μαθηματική μοντελοποίηση του συστήματος είναι αδύνατη ή κοστίζει παρά πολύ. Σε αυτή την περίπτωση η ανάπτυξη ενός έμπειρου συστήματος το οποίο αναπαριστά την ελλιπή γνώση με ασαφείς κανόνες και τα ασαφή, ανακριβή ή μη ποσοτικοποιημένα δεδομένα με ασαφή σύνολα ή αριθμούς είναι δυνατόν να αποτελέσει έναν τρόπο μοντελοποίησης του πολύπλοκου συστήματος.

Ασαφή έμπειρα συστήματα τα οποία μπορούν να αντικαταστήσουν πολυκριτηριακές μεθοδολογίες κατασκευάζονται όταν οι παρακάτω συνθήκες σχετικά με το πρόβλημα επικρατούν.

Πρόκειται ουσιαστικά για μια ξεχωριστή μέθοδο μοντελοποίησης της αβεβαιότητας, πέρα από τις διακριτές και διατεταγμένες κλίμακες και τα ασαφή σύνολα. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται όχι μόνο όταν υπάρχει αβεβαιότητα για τις τιμές των παραμέτρων αλλά μπορεί να μοντελοποιήσει και την αβεβαιότητα συνολικά στη γνώση των διαδικασιών λήψης απόφασης, δηλαδή περιπτώσεις που υπάρχει αδυναμία έκφρασης προτιμήσεων και προσδιορισμού βαρών.

### 3.3 Μέθοδος TOPSIS

#### 3.3.1 Βασικές Αρχές

Οι πολυκριτηριακές μέθοδοι υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό υποστηρικτικό πλαίσιο για την αξιολόγηση των εργαλείων προώθησης των ΑΠΕ στη διαμόρφωση πολιτικής, προσφέροντας την ευελιξία και την ικανότητα να αποτιμήσουν τις επιπτώσεις των εξεταζόμενων εναλλακτικών στην οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική διάσταση [III.6]. Μία μέθοδος με πολλές εφαρμογές σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού και υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής είναι η TOPSIS.

Η TOPSIS είναι μια τεχνική για την αποτίμηση των εναλλακτικών και τον προσδιορισμό της βέλτιστης εναλλακτικής. Αναπτύχθηκε από τους Hwang και Yoon το 1981 [III.7] και μελετά συγχρόνως την απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική λύση και την αρνητικά ιδανική λύση, επιλέγει δε την καλύτερη εναλλακτική ως αυτή που βρίσκεται πιο κοντά στην ιδανική λύση και συγχρόνως πιο μακριά από την αρνητικά ιδανική λύση. Η διαδικασία αυτή, που προσδιορίζει την καλύτερη λύση σε σχέση με την απόστασή της από την ιδανική και την αρνητικά ιδανική λύση, είναι ιδιαίτερα εύληπτη και κατανοητή για τους αποφασίζοντες στα πολυδιάστατα προβλήματα που σχετίζονται με την ενεργειακή πολιτική.

Στο παραπάνω πλαίσιο, οι πρωτότυπες μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν βασίζονται στην TOPSIS, την οποία και επεκτείνουν για να χρησιμοποιεί γλωσσικές μεταβλητές. Σύντομη περιγραφή της ακολουθεί στις παρακάτω παραγράφους:

1. Δημιουργία ενός πίνακα εναλλακτικών αποδόσεων. Η δομή του είναι η ακόλουθη:

$$D = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mj} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

όπου η κάθε σειρά του πίνακα δηλώνει τις πιθανές εναλλακτικές  $i = 1, \dots, m$ , ενώ η κάθε στήλη αντιπροσωπεύει τις ιδιότητες που σχετίζονται με τις εναλλακτικές  $j = 1, \dots, n$  και  $x_{ij}$  είναι η απόδοση της κάθε εναλλακτικής  $i$  σε κάθε κριτήριο  $j$ .

2. Κανονικοποίηση του πίνακα αποδόσεων. Ο κανονικοποιημένος πίνακας αποδόσεων προκύπτει με χρήση του ακόλουθου τύπου:

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}}$$



όπου  $r_{ij}$  αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη απόδοση του  $A_i$  σε σχέση με το  $X_j$ . Η μορφή του  $r_{ij}$  σε πίνακα προκύπτει ως:

$$R = [r_{ij}]$$

όπου  $i = 1, 2, \dots, m$  και  $j = 1, 2, \dots, n$ .

3. Πολλαπλασιασμός του πίνακα απόδοσης με τα σχετικά βάρη  $w_j$ . Κάθε στήλη του πίνακα  $R$  πολλαπλασιάζεται με τα βάρη που σχετίζονται με την κάθε ιδιότητα  $X_j$ . Ο πίνακας απόδοσης των βαρών  $U$  προκύπτει ως εξής:

$$U = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_j r_{1j} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_j r_{2j} & \dots & w_n r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{i1} & w_2 r_{i2} & \dots & w_j r_{ij} & \dots & w_n r_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_j r_{mj} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1j} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2j} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{i1} & u_{i2} & \dots & u_{ij} & \dots & u_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mj} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix}$$

όπου  $w_j$  αντιπροσωπεύει το βάρος του  $X_j$  και  $u_{ij}$  αντιπροσωπεύει την κανονικοποιημένη απόδοση του  $A_i$  σε σχέση με το  $X_j$  για  $i = 1, 2, \dots, m$  και  $j = 1, 2, \dots, n$ .

4. Προσδιορισμός της ιδανικής και της αρνητικά ιδανικής επίλυσης. Οι ιδανικές τιμές  $V^+$  και οι αρνητικά ιδανικές τιμές  $V^-$  προκύπτουν ως εξής:

- $V^+ = \{(\max u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (\min u_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+)$
- $V^- = \{(\min u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (\max u_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-)$

όπου

- $J = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \eta \text{ μεγαλύτερη από την επιθυμητή}\}$
- $J' = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \eta \text{ μικρότερη από την επιθυμητή}\}$

5. Υπολογισμός των τιμών των αποστάσεων. Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική επίλυση ( $S_i^+$ ) δίνεται από:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2}$$

Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την αρνητικά ιδανική επίλυση ( $S_i^-$ ) είναι:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2}$$

Υπολογισμός της σχετικής εγγύτητας στην ιδανική επίλυση και ταξινόμηση της σειράς προτίμησης. Η σχετική εγγύτητα  $C_i$  στην ιδανική επίλυση μπορεί να εκφραστεί ως

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

όπου  $C_i$  κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Όσο το  $C_i$  τείνει προς το 1, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός προτεραιότητας της  $i^{\text{th}}$  εναλλακτικής.

Όμως, τόσο η αειφόρα, όσο και η ασφάλεια εφοδιασμού και η ανταγωνιστικότητα

είναι αφηρημένες, σύνθετες και πολλές φορές ακαθόριστες έννοιες που δύσκολα μπορούν να οριστούν ή να μετρηθούν [III.8]. Συνεπαγόμενα, οι πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση των ενεργειακών επιλογών στο πλαίσιο των επιδιώξεων της ενεργειακής πολιτικής, μπορεί να είναι είτε ποιοτικές από τη φύση τους είτε μη διαθέσιμες λόγω του υψηλού κόστους συλλογής ή υπολογισμού τους.

Υπό αυτό το πρίσμα, ρεαλιστικές προσεγγίσεις, όπως παρουσιάστηκαν και στο Κεφάλαιο III, είναι η χρήση γλωσσικών μεταβλητών στις διαδικασίες διαφόρων πολυκριτηριακών μεθόδων, όπως η TOPSIS, για να μοντελοποιηθούν οι ποιοτικές παράμετροι. Με αυτόν τον τρόπο, η ανθρώπινη αντίληψη στην αξιολόγηση των αποδόσεων και των βαρών εισάγεται στο πολυκριτηριακό μοντέλο, επειδή οι άνθρωποι πολύ συχνά χρησιμοποιούν λέξεις στη φυσική τους γλώσσα αντί για αριθμητικές έννοιες όταν προσπαθούν να μετρήσουν ασαφή ή ανακριβή φαινόμενα [III.9].

Υπάρχουν διάφορες υπολογιστικές τεχνικές για την επεξεργασία γλωσσικών πληροφοριών (Computing with Words, CW). Ένα πρότυπο για τον CW είναι το προσεγγιστικό υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιεί ασαφή μαθηματικά βασισμένα στην αρχή της προέκτασης. Το προσεγγιστικό υπολογιστικό μοντέλο επεξεργάζεται τις ιδιότητες μεταξύ συνόλων των ασαφών μεταβλητών και οδηγεί σε έναν αθροισμένο ασαφή αριθμό. Αυτοί οι ασαφείς αριθμοί δεν ανήκουν απαραίτητως στο αρχικό σύνολο γλωσσικών μεταβλητών και η ιεράρχησή τους μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μιας ασαφούς μεθόδου ιεράρχησης που επιτρέπει την μεταξύ τους σύγκριση. Όμως, η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι αρκετά σύνθετη και να παραγάγει αναξιόπιστα αποτελέσματα. Μια άλλη τεχνική με βάση την αρχή της επέκτασης είναι να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία προσέγγισης, η οποία λαμβάνει το γλωσσικό όρο που είναι πιο κοντά στον αθροισμένο ασαφή αριθμό από την αρχική ομάδα όρων με την εφαρμογή μιας προσεγγιστικής συνάρτησης. Σε αυτήν τη δεύτερη τεχνική η απώλεια πληροφοριών λόγω της διαδικασίας της προσέγγισης δεν μπορεί να παραβλεφτεί.

Στο παραπάνω πλαίσιο, η γλωσσική ανάλυση σήμερα εστιάζεται στην ανάπτυξη συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που να είναι ικανά να διαχειριστούν γλωσσική πληροφορία μέσα σε πολυκριτηριακά προβλήματα με τρόπο απλό και διαφανή, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα την αποφυγή οποιασδήποτε απώλειας πληροφορίας. Οι πρωτότυπες πολυκριτηριακές μεθοδολογίες που θα παρουσιαστούν στις επόμενες ενότητες βασίζονται σε επεκτάσεις της TOPSIS, με τις ομάδες των γλωσσικών όρων για τις αποδόσεις και για τα βάρη να ορίζονται με την χρήση μιας διατεταγμένης κλίμακας. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται άμεσοι υπολογισμοί με τους γλωσσικούς όρους, ανεξάρτητα από την σημασιολογική τους έννοια, μειώνοντας έτσι την ασάφεια σε επίπεδο που μπορεί να διαχειριστεί.

### 3.3.2 2-TUPLE TOPSIS

Η πρωτότυπη μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τους Doukas and Psarras αποτελεί μια τροποποίηση της μεθόδου TOPSIS για την αξιολόγηση των τύπων προγραμμάτων προώθησης των ΑΠΕ σε σχέση με τη βραχυπρόθεσμη συνεισφορά στις επιδιώξεις της ενεργειακής πολιτικής [III.10] και χρησιμοποιεί γλωσσικές μεταβλητές βασισμένες στο μοντέλο της διπλής αναπαράστασης (2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation).

Για την περιγραφή της επέκτασης της μεθόδου TOPSIS μέσω της διπλής αναπαράστασης ορίζεται μια ομάδα  $n$  εναλλακτικών  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  και μια ομάδα  $k$  κριτηρίων  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ . Οι αποτιμήσεις των εναλλακτικών στα κριτήρια, καθώς και τα βάρη των κριτηρίων μπορούν να εκφραστούν μέσω μιας γλωσσικής κλίμακας  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ . Κάθε γλωσσικός όρος της κλίμακας συσχετίζεται με λέξεις στην φυσική γλώσσα που υπαγορεύει την σημασιολογία του γλωσσικού όρου. Οι εναλλακτικές αποτελούν τους τύπους προγραμμάτων που εξετάζονται και τα κριτήρια τις ενεργειακές επιδιώξεις στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα.

Παίρνοντας ως βάση στην ασαφή γλωσσική αναπαράσταση 2-tuple, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Η απόδοση κάθε εναλλακτικής απόφασης “i” σε κάθε κριτήριο “j” μπορεί να παραστεί ως  $z_{ij} \rightarrow (r_{ij}, \alpha_{ij}) \forall j$ . Επομένως το  $\Delta^{-1}(r_{ij}, \alpha_{ij}) = \beta_{ij} \in [0, g]$  εκφράζει την ισοδύναμη αριθμητική πληροφορία.
- Κάθε βάρος του κριτηρίου “j” μπορεί να παραστεί ως  $w_j \rightarrow (\rho_j, \delta_j) \forall j = 1, 2, \dots, k$ . Επομένως το  $\Delta^{-1}(\rho_j, \delta_j) = \lambda_j \in [0, g]$  εκφράζει την ισοδύναμη αριθμητική πληροφορία,  
όπου  $r_{ij}, \rho_j \in \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  και  $\alpha_{ij}, \delta_j \in \{-0,5, 0,5\}$ .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, ο πίνακας αποδόσεων για τις εναλλακτικές  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  στα κριτήρια  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$  της μεθόδου TOPSIS μπορεί να απεικονιστεί ως:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1k} \\ z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \dots & z_{nk} \end{bmatrix} \Rightarrow \mathbf{D}' = \begin{bmatrix} (s_{\beta_{11}}, 0) & (s_{\beta_{12}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{1k}}, 0) \\ (s_{\beta_{21}}, 0) & (s_{\beta_{22}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{2k}}, 0) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (s_{\beta_{n1}}, 0) & (s_{\beta_{n2}}, 0) & \dots & (s_{\beta_{nk}}, 0) \end{bmatrix} \xRightarrow{\Delta^{-1}}$$

$$\mathbf{D}'' = \begin{bmatrix} \beta_{11} & \beta_{12} & \dots & \beta_{1k} \\ \beta_{21} & \beta_{22} & \dots & \beta_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \beta_{n1} & \beta_{n2} & \dots & \beta_{nk} \end{bmatrix}, z_{ij} \in S, \forall i = 1, 2, \dots, n, \forall j = 1, 2, \dots, k$$

$$\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_k] \Rightarrow \mathbf{W}' = [(s_{\lambda_1}, 0), (s_{\lambda_2}, 0), \dots, (s_{\lambda_k}, 0)] \xrightarrow{\Delta^{-1}} \mathbf{W}'' = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k].$$

Η ενσωμάτωση των συντελεστών βαρύτητας στην  $\mathbf{D}''$  καταλήγει στον πίνακα αποφάσεων  $\mathbf{X}$ :

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\text{όπου } x_{ij} = \frac{\lambda_j \cdot \beta_{ij}}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \in [0, g], \forall i = 1, 2, \dots, n, \forall j = 1, 2, \dots, k, \text{ έτσι ώστε } \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} = 1.$$

Η ιδανική εναλλακτική  $\alpha^+$  μπορεί να οριστεί ως ακολούθως:

$$\alpha^+ = (\max_i x_{i1}, \max_i x_{i2}, \dots, \max_i x_{ij}, \dots, \max_i x_{ik}) = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_j^+, \dots, x_k^+)$$

Η αρνητική εναλλακτική  $\alpha^-$  μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$\alpha^- = (\min_i x_{i1}, \min_i x_{i2}, \dots, \min_i x_{ij}, \dots, \min_i x_{ik}) = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_j^-, \dots, x_k^-),$$

όπου  $\alpha_j^+, \alpha_j^- \in [0, g]$

Η απόκλιση της εναλλακτικής  $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik})$  από την ιδανική εναλλακτική

$\alpha^+$  είναι  $S_i^+ = \frac{1}{\sqrt{k \cdot g^2}} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^+)^2} \in [0, 1]$ , ενώ η απόκλιση της εναλλακτικής  $A_i$

από την αρνητικά ιδανική  $\alpha^-$  είναι  $S_i^- = \frac{1}{\sqrt{k \cdot g^2}} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \in [0, 1]$ .

Γι' αυτό ο δείκτης που καθορίζει την σχετική εγγύτητα της εναλλακτικής  $A_i$  στην

ιδανική επίλυση είναι  $C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \in [0, 1], \quad i = 1 \dots u.$

### 3.3.3 Gödels TOPSIS

Η πρωτότυπη μεθοδολογία που παρουσιάζεται από τους Δούκα, Παππά και Ψαρρά [III.21] αποτελεί μια τροποποίηση της μεθόδου TOPSIS για την αξιολόγηση των διαθέσιμων τεχνολογικών δυνατοτήτων ΑΠΕ σε σχέση με τη βραχυπρόθεσμη συνεισφορά στις επιδιώξεις της ενεργειακής πολιτικής, ενσωματώνοντας βαθμολογίες

προερχόμενες από μια γλωσσική διατεταγμένη κλίμακα.

Πιο συγκεκριμένα, στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν μια σειρά από μετασχηματισμοί για την αναπαράσταση των γλωσσικών πληροφοριών, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε προβλήματος. Ο μετασχηματισμός του Gödels προσφέρει ένα καλό πλαίσιο για την επέκταση της ευρέως γνωστής πολυκριτηριακής μεθόδου TOPSIS, ούτως ώστε να ενσωματώσει βαθμολογίες προερχόμενες από μια γλωσσική διατεταγμένη κλίμακα  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ , με στόχο την αποτίμηση της ανανεώσιμης ενέργειας σε σχέση με τη συνεισφορά της στις επιδιώξεις ενεργειακής πολιτικής.

Για την περιγραφή της επέκτασης της μεθόδου TOPSIS με χρήση γλωσσικών μεταβλητών ορίζεται μια ομάδα  $n$  εναλλακτικών  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  και μια ομάδα  $m$  κριτηρίων  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ . Οι αποτιμήσεις των εναλλακτικών στα κριτήρια, καθώς και τα βάρη των κριτηρίων μπορούν να εκφραστούν μέσω μιας γλωσσικής κλίμακας  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ . Κάθε γλωσσικός όρος της κλίμακας συσχετίζεται με λέξεις στην φυσική γλώσσα που υπαγορεύει την σημασιολογία του γλωσσικού όρου.

Η απόδοση κάθε εναλλακτικής απόφασης “ $i$ ” σε κάθε κριτήριο “ $j$ ” μπορεί να παραστεί ως  $x_{ij}$  και η βαρύτητα κάθε κριτηρίου  $C_j$  μπορεί να απεικονιστεί ως  $w_j \in S$ .

Στη χρήση της γλωσσικής κλίμακας, ο πίνακας αποφάσεων της επέκτασης της TOPSIS [III.11] είναι ο ακόλουθος:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, x_{ij} \in S, \forall i=1,2,\dots,m, \forall j=1,2,\dots,n.$$

Ο μετασχηματισμός Gödels χρησιμοποιείται σε αυτήν τη φάση της μεθόδου για τη δημιουργία του σταθμισμένου πίνακα απόδοσης. Η συνάρτηση του μετασχηματισμού είναι η εξής [III.12]:

- $LI(x_{ij}, a) = x_{ij}$ , αν  $w > a$  ή
- $LI(x_{ij}, a) = \max$ , αν  $w \leq a$ .

Ουσιαστικά, σκοπός του μετασχηματισμού Gödels είναι να δοθεί προτεραιότητα σε εναλλακτικές, των οποίων οι αποδόσεις βρίσκονται πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο. Συγκεκριμένα, στη μοντελοποίηση του προβλήματος οι βασικές επιδιώξεις της ενεργειακής πολιτικής (επιλεγόμενα κριτήρια) θα είναι αυτές που θα έχουν τα υψηλότερα κατώφλια και θα καθορίσουν σε μεγάλο βαθμό τα τελικά αποτελέσματα (λίστα ιεράρχησης). Αυτό επιτυγχάνεται ωθώντας τις αποδόσεις κάθε ιδιότητας κάθε εναλλακτικής, που ξεπερνούν το «κατώφλι» (στη συγκεκριμένη περίπτωση το  $a$ ), στη μέγιστη τιμή που μπορούν να λάβουν.

Ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός ταιριάζει απόλυτα με τα χαρακτηριστικά του προβλήματος διότι οι εξεταζόμενες εναλλακτικές (επιλογές ΑΠΕ) με σημαντική συνεισφορά στις βασικές ενεργειακές επιδιώξεις θα επιτυγχάνουν τη μέγιστη απόδοση και συνεπαγόμενα θα ξεχωρίζουν ευκολότερα από τις άλλες που έχουν μικρότερη απόδοση.

Ο πίνακας απόδοσης των βαρών  $U$  προκύπτει τότε ως εξής:

$$U = \begin{bmatrix} LI(x_{11},a) & LI(x_{12},a) & \dots & LI(x_{1j},a) & \dots & LI(x_{1n},a) \\ LI(x_{21},a) & LI(x_{22},a) & \dots & LI(x_{2j},a) & \dots & LI(x_{2n},a) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ LI(x_{i1},a) & LI(x_{i2},a) & \dots & LI(x_{ij},a) & \dots & LI(x_{in},a) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ LI(x_{m1},a) & LI(x_{m2},a) & \dots & LI(x_{mj},a) & \dots & LI(x_{mn},a) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1j} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2j} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{i1} & u_{i2} & \dots & u_{ij} & \dots & u_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{m1} & u_{m2} & \dots & u_{mj} & \dots & u_{mn} \end{bmatrix}$$

όπου  $u_{ij}$  αντιπροσωπεύει την σταθμισμένη απόδοση του  $A_i$  σε σχέση με το  $X_j$  για  $i = 1, 2, \dots, m$  και  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Ακολούθως γίνεται προσδιορισμός της ιδανικής και της αρνητικά ιδανικής επίλυσης. Οι ιδανικές τιμές  $V^+$  και οι αρνητικά ιδανικές τιμές  $V^-$  προκύπτουν ως εξής:

- $V^+ = \{(max u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (min u_{ij} | j \in J'), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^+, u_2^+, \dots, u_n^+)$
- $V^- = \{(min u_{ij} | j \in J) \text{ ή } (max u_{ij} | j \in J_-), i = 1, 2, \dots, m\} = (u_1^-, u_2^-, \dots, u_n^-)$

όπου:

- $J_- = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \text{ μια μεγαλύτερη απόκλιση είναι επιθυμητή}\}$
- $J' = \{j = 1, 2, \dots, n | u_{ij}, \text{ μια μικρότερη απόκλιση είναι επιθυμητή}\}$ .

Εν συνεχεία γίνεται υπολογισμός των τιμών των αποστάσεων. Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την ιδανική επίλυση ( $S_i^+$ ) δίνεται από:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^+)^2}$$

Η απόσταση κάθε εναλλακτικής από την αρνητικά ιδανική επίλυση ( $S_i^-$ ) είναι:

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (u_{ij} - u_j^-)^2}$$

Ακολουθεί ο υπολογισμός της σχετικής εγγύτητας στην ιδανική και στην αρνητικά ιδανική επίλυση και η διαμόρφωση της σειράς προτίμησης. Η σχετική εγγύτητα  $C_i$  στην ιδανική επίλυση μπορεί να εκφραστεί ως:

$$C_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-}$$

όπου  $C_i$  κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 1. Όσο το  $C_i$  τείνει προς το 1, τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός προτεραιότητας της  $i^{\text{στης}}$  εναλλακτικής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [III.1] EC. (2007), “Commission proposes an integrated energy and climate change package to cut emissions for the 21st Century”, IP/07/29, Brussels, 10 January.
- [III.2] Collier U. (2002), “European Union energy policy in a changing climate, in: Lenschow A (Eds.)”, Environmental Policy Integration, Greening Sectoral Policies in Europe, Earthscan, London, p. 175–192.
- [III.3] EC. (2007), “Renewable Energy Road Map - Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future”, COM(2006) 848 final, Brussels, 10 January.
- [III.4] EC. (2007), “Green Paper follow-up action - Report on progress in renewable electricity”, COM(2006) 849 final, Brussels, 10 January.
- [III.5] Salo A, Gustafsson T, Ramanathan R. (2003), “Multicriteria Methods for Technology Foresight”, Journal of Forecasting, 22 (2-3), 235–256.
- [III.6] Pohekar SD, Ramachandran M. (2004), “Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning — A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 8, 365–381.
- [III.7] Doukas H, Patlitzianas, KD, Psarras J. (2006), “Supporting the Sustainable Electricity Technologies in Greece Using MCDM”, Resources Policy 31(2) 129-136.
- [III.8] Komor P, Bazilian M. (2005), “Renewable energy policy goals, programs, and technologies”, Energy Policy 33, 1873–1881.
- [III.9] Knutsson D, Werner S, Ahlgren EO. (2006), “Short-term impact of green certificates and CO2 emissions trading in the Swedish district heating sector”, Applied Energy 83, 1368–1383.
- [III.10] Johansson B. (2006), “Climate policy instruments and industry—effects and potential responses in the Swedish context”, Energy Policy 34, 2344–2360.
- [III.11] Wang Y. (2006), “Renewable electricity in Sweden: an analysis of policy and regulations”, Energy Policy 34, 1209–1220.
- [III.12] Enzensberger N, Wietschel M, Rentz O. (2002), “Policy instruments fostering wind energy projects - a multi-perspective evaluation approach”, Energy Policy 30: 793–801.
- [III.13] Doukas H, Patlitzianas KD, Kagiannas AG, Psarras J. (2008), “Energy Policy Making: An Old Concept or a Modern Challenge?”, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy Journal, in press.
- [III.14] Bouyssou D. (1990), “Building criteria: A prerequisite for MCDA, in Bana and Costa C. (ed)”, Readings in Multiple Criteria Decision Aid, Speinger – Verlag, Berlin.
- [III.15] Patlitzianas KD, Ntontas K, Doukas H, Psarras J. (2007), “Assessing the Renewable Energy Producers’ Environment in the EU Accession Member States”, Energy Conservation and Management 48(3): 890-897.
- [III.16] Doukas H, Patlitzianas KD, Papadopoulou A, Psarras J. (2008), “Foresight of Innovative Energy Technologies through a Multi Criteria Approach”, International Journal of Energy Technology and Policy (IJETP), in press.

- [III.17] Flamos A, Doukas H, Karakosta C, Psarras J. (2007), "MCDM Approach For Assessing CDM Energy Technologies Towards Sustainable Development", 9<sup>th</sup> International Conference on Energy for a Clean Environment – CleanAir 2007, Póvoa de Varzim, Portugal, 2-5 July 2007.
- [III.18] Hwang CL, Yoon K. (1981), "Multiple Attribute Decision Making-Method and Applications, A State-of-the-Art Survey", Springer-Verlag, New York, p. 12–50.
- [III.19] Phillis YA, Andriantiatsaholiniaina LA. (2001), "Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic", *Ecological Economics* 37, 435–456.
- [III.20] Anagnostopoulos K, Doukas H, Psarras J. (2008), "A linguistic multicriteria analysis system combining fuzzy sets theory, ideal and anti-ideal points for location site selection", *Expert Systems With Applications*, 38(2), in press.
- [III.21] Doukas H, Psarras J. (2008), "A Linguistic Decision Support Model towards the Promotion of Renewable Energy", *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy Journal*, in press.
- [III.22] Δούκα Χ, Παππά Χ, Ψαρρά Ι. (2006) "Μεθοδολογία Υποστήριξης Αποφάσεων για την Προώθηση της Ανανεώσιμης Ενέργειας με Χρήση Γλωσσικών Μεταβλητών", Πολυκριτήρια Συστήματα Αποφάσεων, Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- [III.23] Herrera F, Martinez L, Sanchez PJ, (2005), "Managing non-homogeneous information in group decision making", *European Journal of Operational Research* 166, 115–132.
- [III.24] Herrera F, Herrera-Viedma E, (2000), "Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information", *Fuzzy Sets and Systems* 115, 67-82.
- [III.25] Doukas H, Botsikas A, Psarras J. (2006), "Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables", *European Journal of Operational Research*, 182(2), 844-855.
- [III.26] Turban E. (1995), "Decision support and expert system", New York: Prentice Hall.
- [III.27] Fiorucci P, Minciardi R. (2003), "Solid waste management in urban areas: Development and application of a decision support system", *Resources Conservation and Recycling*, 37(4): 301–28.
- [III.28] Brand C, Mattarelli M, Moon D, Calvo RW. (2002), "STEEDS: A strategic transport-energy-environment decision support". *European Journal of Operational Research*, 139(2): 416–35.
- [III.29] Gandibleux X. (1999), "Interactive multicriteria procedure exploiting a knowledge-based module to select electricity production alternatives: The CASTART system". *European Journal of Operational Research*, 113(2):355–73.
- [III.30] Roulet CA. (2002), "ORME: A multi-criteria rating methodology for buildings". *Building and Environment*, 37:579–86.
- [III.31] Georgopoulou E, Sarafidis F, Mirasgedis S, Zaimi S, Lalas DP. (2003), "A multiple criteria decision-aid approach in defining national priorities for greenhouse gases emissions reduction in the energy sector". *European Journal of Operational Research*, 146(1): 199–215.
- [III.32] Doukas H, Patlitzianas K, Iatropoulos K, Psarras J. (2007), "Intelligent Building Energy Management System Using Rule Sets", *Building and Environment* 42(10): 3562-3569.
- [III.33] Doukas H, Nychtis C, Psarras J. (2008), "Assessing Energy-Saving Measures in Buildings Through an Intelligent Decision Support Model", *Buildings and Environment*.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:**

# **ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

## 4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Κεφάλαιο αυτό και η ανάλυση που ακολουθεί βασίστηκε στο δημοσιευμένο άρθρο του Δούκα, με τίτλο “*Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support*”, *European Journal of Operational Research*, 2013 (in press). [1].

Στις προηγούμενες δεκαετίες ήταν διαδεδομένη η άποψη ότι η ενεργειακή πολιτική δεν πρωτοπορεί και ότι η ενέργεια έχει δευτερεύουσα προτεραιότητα για τις χώρες, το οποίο δεν οδηγεί την ανάπτυξη αλλά καθοδηγεί από αυτή. Επιπρόσθετα, οι κυβερνήσεις πρέπει να θέτουν κατάλληλες περιβαλλοντικές και οικονομικές πολιτικές και η ελεύθερη αγορά επιβάλλει τις απαραίτητες αλλαγές στην ενέργεια. Η ενεργειακή πολιτική αποτελούσε ένα πεδίο, το οποίο, ακόμη και αν αυτό υποστηρίζεται από επιστημονικές πρακτικές, οι σχετικές αποφάσεις αποτελούσαν για πολλά χρόνια ένα είδος «μαύρου κουτιού» σε όλη τη διαδικασία της ανάλυσης της ενέργειας. Όπως αναφέρεται «...μεγαλύτερη σημασία δεν είναι το τι γράφει το υπουργείο στα διατάγματά του, αλλά ότι λέει ο υπουργός στις τηλεφωνικές κλήσεις του».

Στις μέρες μας η ενεργειακή πολιτική είναι το κυρίως θέμα σχετικών συζητήσεων μεταξύ των πολιτικών και των εμπειρογνομόνων και θεωρείται ως θέμα υψηλής προτεραιότητας, που αναφέρεται στην κορυφή της ατζέντας τους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα, λαμβάνοντας υπόψη την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση ενέργειας, τα αντίστοιχα θέματα ασφάλειας εφοδιασμού και τις επικρατούσες διακυμάνσεις των τιμών των καυσίμων.

Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή και η αυξανόμενη πολυπλοκότητα του τομέα της ενέργειας, μαζί με την απαραίτητη προϋπόθεση για τη βιωσιμότητα έχουν διευρύνει το πεδίο εφαρμογής της ενέργειας, φέρνοντας νέες προκλήσεις. Κατά την τελευταία δεκαετία, ο αντίκτυπος της "βιωσιμότητας" για την ανάπτυξη της εθνικής και διεθνούς πολιτικής έχει αυξηθεί. Αυξανόμενες περιβαλλοντικές ανησυχίες, προσπάθειες για την άμβλυνση του αποτελέσματος της κλιματικής αλλαγής και οι περιορισμοί στην εκμετάλλευση των συμβατικών ενεργειακών πόρων έχουν δώσει νέα ώθηση σε εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως η ενεργειακή απόδοση, των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του υδρογόνου. Τέτοιες επιλογές θα διαδραματίσουν μεγαλύτερο ρόλο στο μελλοντικό ενεργειακό μίγμα για την επίτευξη χαμηλής έντασης σε άνθρακα των ενεργειακών συστημάτων.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύοντας να είναι πρωτοπόρος στις παγκόσμιες προσπάθειες για την ενεργειακή βιωσιμότητα, έχει υιοθετήσει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος και την αύξηση της ενεργειακής της ασφάλειας, ενισχύοντας παράλληλα την ανταγωνιστικότητα και τη βιωσιμότητα. Οι αρχηγοί κρατών και κυβερνήσεων έθεσαν μια σειρά από απαιτητικούς στόχους για το κλίμα και την ενέργεια που πρέπει να επιτευχθούν μέχρι το 2020, που είναι γνωστοί ως "20-20-20" και δεσμεύει την Ευρώπη για τη δημιουργία ιδιαίτερης υψηλής ενεργειακής απόδοσης, χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και οικονομικά βιώσιμη. Οι διαδικασίες σχεδιασμού ενέργειας εκπονήθηκαν βάση αυτής της άποψης για να διαμορφώσουν σχέδια δράσης για την επαρκή κάλυψη των φιλόδοξων στόχων, με αποτέλεσμα την πιθανή εξέλιξη του ενεργειακού τομέα και την δημιουργία σεναρίων - χάρτες πορείας σχετικά με τις αναμενόμενες επιπτώσεις.

Οι ερευνητές και οι επαγγελματίες έχουν ανταποκριθεί στις εν λόγω προκλήσεις με συνεχώς αυξανόμενο το πρόβλημα ρεαλιστικών τεχνικών, των μοντέλων και κατάλληλων μεθόδων για την αντιμετώπιση της διαφορετικότητας των επιχειρησιακών και σχεδιαστικών προβλημάτων που προκύπτουν. Πράγματι, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση στην ανάπτυξη εφαρμογών και νέων μεθόδων μοντελοποίησης της ενέργειας, με έμφαση στη χρήση της σύγχρονης Επιστήμης Επιχειρησιακής Έρευνας / Διοίκηση (OR / MS) τεχνικών για την εκτίμηση της ενέργειας, των περιβαλλοντικών επιδόσεων και της βιωσιμότητας των ενεργειακών έργων σε διάφορα επίπεδα. Αναλυτικά και εξελιγμένα μοντέλα της ενέργειας υποστηρίζουν τις διαδικασίες σχεδιασμού της ενέργειας και παρέχουν πληθώρα αναλυτικών στοιχείων για τη λήψη αποφάσεων. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αμέσως το ερώτημα για το πώς αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά, αφού αναλυτικά στοιχεία και πληροφορίες δεν αποτελούν ενεργειακή πολιτική. Η σύγχρονη ενεργειακή πολιτική παρέχει τους στόχους και τις προτεραιότητες στις οποίες ο ενεργειακός σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται, όπως επίσης και τις βασικές παραμέτρους της ανάλυσης. Η επαρκής αντιμετώπιση του τριγώνου της ενεργειακής πολιτικής το οποίο αποτελείται από την ασφάλεια του εφοδιασμού, την ανταγωνιστικότητα του τομέα της ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, αναδεικνύει την ανάγκη για υποστηρικτικά πλαίσια για τη σύγχρονη ενεργειακή πολιτική.

Εκτός από αυτό, μια σειρά από αβεβαιότητες πρέπει να περιλαμβάνονται στα πλαίσια στήριξης ενεργειακής πολιτικής, όπως:

- Αβεβαιότητα των τιμών των καυσίμων, των ορυκτών, η αβεβαιότητα των περιβαλλοντικών κανονισμών, η αβεβαιότητα της ζήτησης, η αβεβαιότητα της προσφοράς, αρχικό κόστος κεφαλαίου, τεχνολογική αβεβαιότητα, αβεβαιότητα στην δομή της αγοράς.
- Αβεβαιότητα βιωσιμότητας της ενέργειας, δεδομένου ότι είναι εγγενώς ασαφής και σύνθετη έννοια.

Πράγματι, η αξιολόγηση των επιλογών ενέργειας είναι αναπόφευκτα μια πολύ σύνθετη διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψη τις συνήθως ελλιπείς και αβέβαιες πληροφορίες. Εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων είναι απαραίτητα σε αυτή τη νέα εποχή, κατά την άσκηση των κατάλληλων προσεγγίσεων που είναι απαραίτητες για την αναδιάρθρωση του ενεργειακού τομέα από μη βιώσιμες σε βιώσιμες μορφές ανάπτυξης. Η πολυκριτήρια υποστήριξη αποφάσεων (ΠΥΑ) μπορεί να παρέχει την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογήσει τις επιπτώσεις των όσων εξετάστηκαν ως εναλλακτικές λύσεις για το οικονομικό, περιβαλλοντικό και κοινωνικό πλαίσιο.

Τα μοντέλα της απαιτούνται για να αναλύσουν όλες τις πολλαπλές όψεις των εξεταζόμενων επιλογών, σε σχέση με ένα πολύ ευρύτερο φάσμα κριτηρίων αξιολόγησης κάτω από συνθήκες υψηλού επιπέδου αβεβαιότητας. Η κλασική θεωρία της απόφασης παρέχει πιθανολογικά μοντέλα για τη διαχείριση της αβεβαιότητας σε προβλήματα απόφασης. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, σε πραγματικές καταστάσεις του τομέα της ενέργειας, οι αβεβαιότητες αυτές έχουν έναν μη-πιθανολογικό χαρακτήρα, δεδομένου ότι σχετίζονται με την ασάφεια των εννοιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι γλωσσικές περιγραφές απλά χρησιμοποιούνται από τους εμπειρογνώμονες της ενεργειακής πολιτικής για την αξιολόγηση των εξεταζόμενων επιλογών ενεργειακής πολιτικής. Ο Zadeh (1975) εισήγαγε την έννοια της γλωσσικής μεταβλητής ως «μια μεταβλητή των οποίων οι τιμές δεν είναι αριθμοί αλλά λέξεις ή φράσεις σε μια φυσική ή τεχνητή γλώσσα». Ο σκοπός του κεφαλαίου είναι να διερευνήσει διαφορετικές γλωσσικές εκπροσωπήσεις και υπολογιστικά μοντέλα στη

ΠΥΑ που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να στηρίξουν την ενεργειακή πολιτική και να καθιερωθεί μια σαφής σύνδεση μεταξύ τους. Αυτό το κεφάλαιο υποστηρίζει ότι οι μεθοδολογίες της ΠΥΑ με απευθείας υπολογισμό σχετικά με τις γλωσσικές μεταβλητές μπορούν να υποστηρίξουν πλαίσια της ενεργειακής πολιτικής, για τη μείωση των διαφορών μεταξύ των φορέων χάραξης ενεργειακής πολιτικής σκέψης, του συλλογισμού, την εκπροσώπηση και την πληροφορική.

## **4.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΤΗΣΕΩΝ ΠΥΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ: Η ΑΝΑΓΚΗ ΓΙΑ ΑΜΕΣΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ**

Οι περισσότερες πολυκριτηριακές μέθοδοι προσπαθούν να μοντελοποιήσουν την ανθρώπινη σκέψη και να τοποθετήσουν τα αποτελέσματα αυτής της προσομοίωσης στις διαδικασίες τους. Πράγματι, οι πολυκριτηριακές μέθοδοι μπορούν να είναι ένα σημαντικό υποστηρικτικό εργαλείο στη χάραξη πολιτικής, παρέχοντας την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις των τεχνολογιών για την οικονομία, το περιβάλλον και το κοινωνικό πλαίσιο. Οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις της αιεφόρας είναι συχνά το κίνητρο για τη χρήση των ΠΥΑ μοντέλων και μεθόδων στην ενεργειακή πολιτική και τον προγραμματισμό, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι πολλά από τα βασικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τις τεχνολογίες της ενέργειας δεν είναι στην αγορά και αποτιμώνται αποκλείοντας συχνά άλλη ανάλυση απόφασης μεθόδων στήριξης.

Από αυτή την άποψη, η έννοια της ΠΥΑ έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για τον σχεδιασμό της ενεργειακής και περιβαλλοντικής πολιτικής, καθώς και για τον αιεφόρο ενεργειακό σχεδιασμό. Στις ενότητες που ακολουθούν, μια ταξινόμηση των συναφών εφαρμογών ΠΥΑ για την υποστήριξη της ενεργειακής πολιτικής παρουσιάζεται, με έμφαση στις επιλογές μοντελοποίησης των γλωσσικών μεταβλητών που πρέπει να ενσωματωθούν στις μεθόδους. Η ταξινόμηση, συνδέοντας μεθόδους ΠΥΑ και τους τομείς εφαρμογής της ενεργειακής πολιτικής, χρησιμοποιώντας αριθμητική κλίμακα (Πίνακας 1) και με τη χρήση ασαφών αριθμών (Πίνακας 2) για τη μοντελοποίηση γλωσσικών μεταβλητών, φαίνεται να μην είναι διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία.

Μια συνοπτική παρουσίαση αυτών των εναλλακτικών μοντέλων παρατίθεται, συμπεριλαμβανομένων και των σχετικών "υπέρ" και "κατά" και περιγράφει την ανάγκη για άμεση και διαφανή πλαίσια και τις μεθόδους, της μείωσης των διαφορών μεταξύ των φορέων χάραξης ενεργειακής πολιτικής σκέψης.

### **4.2.1 ΧΡΗΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ**

Στην ενότητα αυτή, μια λεπτομερής ανασκόπηση έχει εκπονηθεί, ώστε να απεικονιστούν οι ΠΥΑ εφαρμογές, με "παραδοσιακές" μεθόδους, σε συναφείς τομείς

πολιτικής ενέργειας, καθώς και οι αντίστοιχες συγγραφείς, όπως απεικονίζονται στον Πίνακα 1.

Εφαρμογές ΠΥΑ	Βιβλιογραφία – Συγγραφείς	Χώρος Εφαρμογών
MAUT	Golabi 1981, Misargedis and Diakoulaki 1997, Theodorou 2010	Επιλογή ενεργειακών έργων
	Flamos 2004, Jones 1990, Konidari & Mavrakis 2007, Voropai & Ivanova 2002	Αξιολόγηση των μέσων ενεργειακής πολιτικής
	Løken 2009, McCarthy 2007, McDaniels 1996	Αξιοπιστία των συστημάτων ενέργειας και εκτίμηση των επιπτώσεων
AHP	Cowan 2010, Nixon 2010, Yi 2011	Επιλογή των βιώσιμων ΑΠΕ έργων
	Gerdari & Kocaoglu 2007, Zongxin & Zhihong 1997	Στρατηγικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της τεχνολογίας
	Lee 2007, Ren 2009, Wong & Li 2008	Αξιολόγηση των δράσεων ενεργειακής απόδοσης
	Lee 2008, Pilavachi 2009	Αξιολόγηση των τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου
	Sadeghzadeh & Salehi in press, Yedla & Shreshtha 2003, Shanian & Savadogo 2006, Tzeng 2005	Ενεργειακός σχεδιασμός για την μεταφορά
TOPSIS	Doukas 2010, Gómez-López 2009, Jiang 2009	Βιωσιμότητα των εναλλακτικών ενέργειας
	Montanari 2004, Niu 2009	Διαχείριση της ενέργειας των μονάδων θερμικής παραγωγής
ELECTRE	Banias 2010, Haralambopoulos & Polatidis 2003	Επιλογή χωροθέτησης των έργων ΑΠΕ
	Beccali 1998, Beccali 2003, Cavallaro 2010, Georgopoulou 1998, Karagiannidis & Perkoulidis 2009, Madlener 2009, Papadopoulos & Karagiannidis 2008, Perkoulidis 2010, Roulet 2002, Siskos, J, Hubert Ph 1983, Wang 2009	Επιλογή των ανανεώσιμων τεχνολογιών ενέργειας
	Flamos 2004, Georgiou 2007, Karakosta 2008, Karakosta 2009	Αξιολόγηση των CDM έργων
	Avgelis and Papadopoulos 2009, Bojković 2010, Neves 2008, Patlitzianas 2007	Αξιολόγηση των δράσεων ενεργειακής απόδοσης
PROMETHEE	Beynon & Wells 2008, Kapepula 2007, Linkov 2006, Palma 2007	Εκτίμηση των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων
	Diakoulaki 2007, Tsoutsos 2009, Vaillancourt & Waaub 2004	Στρατηγικές μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
	Cavallaro 2009, Diakoulaki & Karangelis 2007, Diakoulaki & Koumoutsos 1991, Doukas 2006, Doukas 2008a, Ghafghazi 2010, Haralambopoulos & Polatidis 2003, Madlener 2007, Ren 2009	Εκτίμηση βιωσιμότητας των ενεργειακών επιλογών

**Πίνακας 4.2.1.** Υποστήριξη πολυκριτηριακής ενεργειακής πολιτική με παραδοσιακές μεθόδους

Με βάση τον πίνακα 4.2.1, μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της ενεργειακής πολιτικής και σχεδιασμού για τη βιωσιμότητα είναι οι Multi-Attribute Utility Theory (MAUT), η ELECTRE και PROMETHEE οι μέθοδοι υπεροχής, της αναλυτικής διαδικασίας Ιεραρχίας (AHP) και η μέθοδος TOPSIS.

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές ενεργειακής πολιτικής της ΠΥΑ που απεικονίζονται στον Πίνακα 4.2.1, απαιτούν την επεξεργασία της ασάφειας, αβεβαιότητας, ποιοτικών ή ασαφών στοιχείων. Ειδικότερα, η αξιολόγηση των εξεταζόμενων επιλογών στους τομείς εφαρμογής του Πίνακα 4.2.1, όπως ενεργειακές τεχνολογίες, τα σενάρια και τα μέσα πολιτικής, μέσα από μια σειρά κριτηρίων είναι ένα πολύπλοκο και χρονοβόρο έργο, δεδομένου ότι η ανάλυση έχει να αντιμετωπίσει μια σειρά από αβεβαιότητες. Επιπλέον, οι πληροφορίες που απαιτούνται για την αξιολόγηση των τεχνολογιών όσον αφορά τη βιωσιμότητά τους μπορεί να είναι απροσδιόριστες, λόγω της φύσης τους ή ακόμη μη διαθέσιμες λόγω του κόστους υπολογισμού τους που είναι πολύ υψηλό.

Λαμβάνοντας υπόψη την ασάφεια και την υποκειμενικότητα των σχετικών πληροφοριών, στις «παραδοσιακές» μεθόδους της ΠΥΑ, όπως PROMETHEE και ELECTRE, οι ποιοτικές πληροφορίες παραδοσιακά ενσωματώνονται σε συνεχείς κλίμακες. Ειδικές εφαρμογές των μεθόδων αυτών για τον ενεργειακό σχεδιασμό υπάρχουν στη διεθνή βιβλιογραφία και απεικονίζονται στον Πίνακα 4.2.1, όπως η κατάταξη των περιβαλλοντικών έργων, η προώθηση της διάδοσης των ΑΠΕ καθώς και ο καθορισμός των εθνικών προτεραιοτήτων για τη μείωση των εκπομπών αερίων που ευθύνονται για την επιβάρυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Μια τέτοια προσέγγιση έχει τα εξής μειονεκτήματα:

- Οι συνεχείς τιμές της κλίμακας που χρησιμοποιείται μπορεί να οδηγήσουν σε μια υπεραπλούστευση του συγκεκριμένου προβλήματος λήψης αποφάσεων
- Μια λανθασμένη επιλογή της συνεχούς κλίμακας σε τέτοιες εφαρμογές θα μπορούσε να οδηγήσει σε οικονομικές, κοινωνικές και πολιτιστικές επιπτώσεις.
- Στις μεθόδους αυτές, τα λεγόμενα ψευδοκριτήρια που πρέπει να εφαρμόζονται για να συλλάβουν τις προτιμήσεις εκφράσεως είναι σε πολλές περιπτώσεις δύσκολο να προσδιοριστούν

## **4.2.2 ΧΡΗΣΗ ΑΣΑΦΩΝ ΑΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ**

Η ασαφής αβεβαιότητα, σε αντίθεση, σχετίζεται με γεγονότα που δεν έχουν καλά-καθορισμένη, σαφή έννοια (Dubois και Prade 1980) και ως εκ τούτου η ασαφής θεωρία συνόλων (Zadeh 1965) προσφέρει ένα επίσημο μαθηματικό πλαίσιο για να υποστηρίξει τη σύγχρονη ενεργειακή πολιτική και να αξιολογήσει τη συμβολή εξετάζοντας επιλογές για τη βιωσιμότητα. Πράγματι, η ασαφής λογική θα μπορούσε να είναι ένα επαρκές πλαίσιο για την αξιολόγηση των εξεταζόμενων εναλλακτικών λύσεων ενεργειακής πολιτικής υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Επιπλέον, η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών στις διαδικασίες των διαφόρων μεθόδων ΠΥΑ, τα οποία αποτελούνται από ένα πεπερασμένο σύνολο των γλωσσικών όρων και η σημασία τους είναι ένα συγκεκριμένο υποσύνολο σε ένα σύμπαν λόγου, που μπορεί να χειριστεί τις προαναφερθείσες αβεβαιότητες.

Πράγματι, χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές στις διεργασίες των διαφόρων μεθόδων ΠΥΑ είναι επίσης πλησιέστερο προς :

- Την ανθρώπινη ικανότητα να εκτελούνται διάφορες εργασίες, χωρίς να χρειάζεται ρητή χρήση της μέτρησης ούτε υπολογισμούς.
- Τον τρόπο σκέψης και χρήσης της γνώσης των εμπειρογνομώνων ενεργειακής πολιτικής.

Η χρήση των γλωσσικών υπολογιστικών τεχνικών για την επεξεργασία των γλωσσικών μεταβλητών έχει χρησιμοποιηθεί σε ΠΥΑ προβλήματα για να περιορίσει τις διαφορές ανάμεσα στην ανθρώπινη λογική, την εκπροσώπηση και την πληροφορική. Οι τεχνικές αυτές (Zadeh 1996) ασχολούνται με λέξεις και προτάσεις από μια φυσική γλώσσα, όπως τα κύρια αντικείμενα του υπολογισμού. Ένα μοντέλο για την ενσωμάτωση των γλωσσικών μεταβλητών στα προβλήματα ΠΥΑ είναι η προσέγγιση υπολογιστικού μοντέλου το οποίο χρησιμοποιεί ασαφή αριθμητική με βάση την αρχή της επέκτασης (Herrera και Martínez, 2000).

Πολλές σχετικές μέθοδοι ΠΥΑ έχουν αναπτυχθεί και εφαρμογές ενεργειακής πολιτικής έχουν επωφεληθεί από αυτές τις μεθόδους. Συγκεκριμένα, υπάρχουν ΠΥΑ μέθοδοι που χρησιμοποιούν γλωσσικές μεταβλητές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον ενεργειακό σχεδιασμό (Beccali 1998), για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σιδήρου και η βιομηχανία χάλυβα (Geldermann 2000), για την κατάταξη των εναλλακτικών σχεδίων αξιοποίησης της ενέργειας (Γκούμας και Λυγερού, 2000), καθώς και άλλα πεδία εφαρμογής όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 4.2.2.

Εφαρμογές MCDA	Βιβλιογραφία – Συγγραφείς	Χώρος Εφαρμογών
Fuzzy MAUT	Erol et al., 2011	Μέτρηση της απόδοσης της βιωσιμότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας
	Michalik et al., 1997	Η ζήτηση ενέργειας στον οικιακό τομέα
	Yan et al., 2011	Μοντέλο σχεδιασμού ενέργειας για να συλλάβει τις προτιμήσεις ιθύνοντων
Fuzzy ANP	Liu and Lai, 2009	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
Fuzzy AHP	Heo et al., 2010; Kahraman et al., 2009; Kahraman & Kaya, 2010; Kaya & Kahraman, 2011a;	Αξιολόγηση των ανανεώσιμων ενεργειακών έργων και προγραμμάτων
	Kahraman & Kaya, 2010; Lee et al., 2009;	Επιλογή της πιο κατάλληλης ενεργειακής πολιτικής
	Kaya & Karajan, 2011a;	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
	Lee et al., 2011;	Αξιολόγηση των τεχνολογιών παραγωγής υδρογόνου
	Zheng et al., 2010;	Κτίρια ενέργειας αξιολόγησης της διατήρησης
	Barin et al., 2009;	Καταναεμημένη παραγωγή ενέργειας
Fuzzy TOPSIS	Awasthi et al., 2010;	Περιβαλλοντική εκτίμηση των προμηθευτών ενέργειας
	Gao et al., 2011;	Αξιολόγηση των ανανεώσιμων επιλογών
	Chu, 2002; Kaya & Kahraman, 2011b;	Η επιλογή της τοποθεσίας για την εγκατάσταση μονάδας παραγωγής ενέργειας

	Ruan et al., 2010;	Μακροπρόθεσμα σενάρια για τη βελγική ενεργειακή πολιτική
	Vahdani et al., 2011;	Η επιλογή του καταλληλότερου εναλλακτικού καυσίμου στον τομέα των μεταφορών
<b>Fuzzy PROMETHEE</b>	Goumas & Lygerou, 2000;	Αξιολόγηση των βιώσιμων τεχνολογιών φιλικών προς το περιβάλλον για την παραγωγή ενέργειας
	Martin et al., 2003; Geldermann et al., 2000; Zhang et al., 2009 ;	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων
	Tuzkaya et al., 2009;	Περιβαλλοντική αξιολόγηση της απόδοσης των προμηθευτών
<b>Fuzzy ELECTRE</b>	Beccali et al., 1998	Η διαχείριση της ενέργειας
	Kaya & Kahraman, 2011a; Khodabakhshi and Jafari, 2010	Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις μπορούν να αναγνωριστούν τα ακόλουθα μειονεκτήματα.

- Οι συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών αριθμών πρέπει να ορίζονται, το οποίο μπορεί να είναι ένα δύσκολο έργο
- Το υπολογιστικό προσεγγιστικό μοντέλο που επεξεργάζεται τις συναρτήσεις συμμετοχής των ασαφών όρων και τα αποτελέσματα σε συγκεντρωτική μορφή ενός ασαφή αριθμού. Αυτοί οι συγκεντρωτικά ασαφείς αριθμοί δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν στο αρχικό σύνολο των γλωσσικών όρων.
- Το αποτέλεσμα των συγκεντρωτικών ασαφών τιμών μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση μίας ασαφούς μεθόδου κατάταξης για να συγκριθούν. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία σύγκρισης μπορεί να είναι αρκετά περίπλοκη και να παραχθούν αναξιόπιστα αποτελέσματα, όπως αυτό μπορεί να συνεπάγεται σημαντικοί υπολογισμοί, παράγουν μη συνετά αποτελέσματα για παρόμοιους ασαφείς αριθμούς μέσω των αντίστοιχων ασαφών μεθόδων κατάταξης και τελικά τη δημιουργία μίας αντικειμενικής κατάταξης.

Για να μειωθούν αυτές οι ασάφειες και να ληφθούν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα, είναι αναγκαίο να μειωθεί η ποσότητα των πληροφοριών που απαιτούνται (Cornelissen 2001) και, επομένως, το ποσό των πληροφοριών που απαιτείται να δημιουργείται από τους εμπειρογνώμονες της ενεργειακής πολιτικής.

Εκτός από αυτό, τα σχετικά εργαλεία, κοντά στην ενεργειακή πολιτική και στην λογική των εμπειρογνώμων είναι διαδικασίες που σχετίζονται με τη λήψη αποφάσεων, οι οποίες βελτιώνουν την ανάλυση της λήψης αποφάσεων κάτω από αυτές τις αβεβαιότητες.

Όσον αφορά τα παραπάνω, στην επόμενη ενότητα, τα μοντέλα αναπαράστασης γλωσσικών μεταβλητών, μπορούν να είναι εύκολα κατανοητά από τους εμπειρογνώμονες της ενεργειακής πολιτικής και η κοινοποίηση στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων θα πρέπει να διερευνηθεί.

### 4.3 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥΣ ΤΩΝ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Μια τεχνική προσέγγισης άμεσου υπολογισμού που βασίζεται στις γλωσσικές μεταβλητές, ανεξάρτητα με την σημασιολογική τους αναπαράσταση, είναι μια τεχνική η οποία αντιπροσωπεύει τις ποιοτικές πτυχές, όπως γλωσσικές αξίες μέσω των



γλωσσικών μεταβλητών. Στην γλωσσική ανάλυση απόφασης ενός πολυκριτηριακού προβλήματος, το σχέδιο λύσης πρέπει να σχηματίζεται από τις ακόλουθες τρεις επιλογές:

1. Το σύνολο των γλωσσικών όρων με τη σημασιολογία τους: Αποτελείται από τον προσδιορισμό της γλωσσικής έκφρασης η οποία χρησιμοποιείται για να παρέχει τις γλωσσικές τιμές απόδοσης των εναλλακτικών σύμφωνα με τα διαφορετικά κριτήρια. Για να γίνει αυτό, η υποδιαίρεση του συνόλου των γλωσσικών όρων, πρέπει να επιλέξει ετικέτες καθώς και τη σημασιολογία τους.
2. Ο τελεστής συνάθροισης της γλωσσικής πληροφορίας: Αποτελείται από τη επιλογή του κατάλληλου τελεστή συνάθροισης της γλωσσικής πληροφορίας, προκειμένου να συγκεντρώσει και να συνδυάσει τις γλωσσικές τιμές απόδοσης που παρέχονται.
3. Οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις: Αποτελείται από την επιλογή των καλύτερων εναλλακτικών λύσεων σύμφωνα με τις γλωσσικές τιμές απόδοσης που παρέχονται.

Ως εκ τούτου, η πρώτη προτεραιότητα είναι να καθοριστεί το είδος της ετικέτας που πρέπει να χρησιμοποιείται. Στη συνέχεια, έστω  $S = \{s_i\}$ ,  $i \in H = \{0, \dots, T\}$ , είναι ένα πεπερασμένο και εντελώς διατεταγμένο σύνολο όρων στο διάστημα  $[0,1]$  Κάθε ετικέτα  $s_i$  αντιπροσωπεύει μια πιθανή τιμή για μια πραγματική γλωσσική μεταβλητή, δηλαδή, μια αόριστη ιδιοκτησία ή περιορισμό στο διάστημα  $[0,1]$ . Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο όρων με μονό αριθμό πληθικότητας, η μεσαία ετικέτα αντιπροσωπεύει μια αβεβαιότητα "περίπου 0,5" και οι υπόλοιποι όροι τοποθετούνται συμμετρικά γύρω από αυτή. Για παράδειγμα ένα σετ  $S$  με επτά ετικέτες θα μπορούσε να αναπαρασταθεί ως εξής:

$$S = \{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\} \quad \text{όπου} \quad s_0 = none, s_1 = verylow, s_2 = low, \\ s_3 = medium, s_4 = high, s_5 = veryhigh, s_6 = perfect$$

Επιπλέον, το σύνολο των όρων θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Το σύνολο παρουσιάζει μία διάταξη:  $s_i \succ s_j$ , εάν  $i \succ j$ .
- Υπάρχει ένας αρνητικός τελεστής τέτοιος ώστε:  
 $Neg(s_i) = s_j$  έτσι ώστε  $j = T - i$
- Τελεστής max:  $MAX(s_i, s_j) = s_i$  εάν  $s_i \succ s_j$
- Τελεστής min:  $MIN(s_i, s_j) = s_i$  εάν  $s_i \prec s_j$

Αυτή η γλωσσική προσέγγιση έχει μόλις πρόσφατα αρχίσει να εφαρμόζεται στα σε προβλήματα απόφασης ενεργειακής πολιτικής. Μία από τις πρώτες εφαρμογές στη διεθνή βιβλιογραφία μπορούν να βρεθούν στο Δούκας, Μπότσικας και Φαρράς (2007α), η οποία τόνισε ότι ο άμεσος υπολογισμός των γλωσσικών μεταβλητών παρέχει στους αρμόδιους λήψης αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογούν τις εξεταζόμενες επιλογές ενέργειας.

Πράγματι, σε πολλά πραγματικά προβλήματα ενεργειακής πολιτικής, η χρήση των γλωσσικών πληροφοριών είναι απλή. Για παράδειγμα, ο αντίκτυπος μιας εξεταζόμενης επιλογής για τους φυσικούς πόρους, η δημιουργία θέσεων εργασίας, οι επιπτώσεις στην τοπική οικονομία και στην προστιθέμενη αξία σε σύγκριση με τις εναλλακτικές τεχνολογίες / προϊόντα, μπορούν να εκφραστούν με έναν γλωσσικό όρο, αλλά δεν μπορούν να προσδιοριστούν με σαφήνεια με ποσοτικό τρόπο. Ακόμα και η δυνατότητα εξέτασης μιας ενεργειακής πηγής μπορεί να θεωρηθεί ως "Υψηλής" ή "Μέτρια" σε έναν εντελώς διατεταγμένο σύνολο όρο, αλλά δεν μπορεί να προσδιοριστεί με σαφήνεια, δεδομένου ότι σχετίζεται με έναν αριθμό συνθηκών, όπως την αγορά, η τιμή, τις επιδοτήσεις και τις απόψεις των πελατών, οι οποίες βασίζονται πάνω σε θέματα όπως η οπτική εισβολή, το θόρυβο και το "Not In My Back Yard" (NIMBY).

Στις επόμενες παραγράφους αναπτύσσονται, η "Συμβολική Προσέγγιση" καθώς και το "Μοντέλο Προσέγγισης Διπλής Αναπαράστασης 2-tuple", οι οποίες παρέχουν απευθείας υπολογισμό σε γλωσσικές μεταβλητές.

### 4.3.1 ΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

Η συμβολική προσέγγιση είναι υπολογιστικά απλή, γρήγορη και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα με γνώμονα το χρήστη σε διαδραστικά συστήματα. Η συμβολική μέθοδος χρησιμοποιεί έναν τελεστή συνάθροισης. Το αποτέλεσμα της συνάθροισης είναι μια αριθμητική τιμή  $a \in [0, 1]$  η οποία πρέπει να προσεγγίζεται μέσω μιας συνάρτησης προσέγγισης  $H: [0, g] \rightarrow \{0, 1, \dots, g\}$ . Η συνάρτηση προσέγγισης περιέχει μία αριθμητική τιμή η οποία ανήκει στο  $(0, 1, \dots, g)$  η οποία υποδεικνύει το δείκτη του αντίστοιχου γλωσσικού όρου  $s_{H(a)} \in S$ .

Γενικά, μπορεί να εκφραστεί ως  $S^n \xrightarrow{M} [0, g] \xrightarrow{H} \{0, 1, \dots, g\} \rightarrow S$ , όπου  $M$  είναι ο τελεστής συνάθροισης ο οποίος συγκεντρώνει όλους τους δείκτες των γλωσσικών όρων που χρησιμοποιούνται ως  $S$ . Η ανάγκη να εκφραστούν τα αποτελέσματα της διαδικασίας στο αρχικό σύνολο όρων  $S$  προκαλεί μία απώλεια πληροφοριών, η οποία προέρχεται από δύο κύριες πηγές:

- Τη συνάρτηση προσέγγισης
- Η χρήση της λειτουργίας της στρογγυλοποίησης στον τελεστή συνάθροισης.

### 4.3.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ ΔΙΠΛΗΣ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗΣ 2-TUPLE

Είναι προφανές ότι υπάρχει μία ανάγκη να αναπτυχθεί μία αναπαράσταση της γλωσσικής πληροφορίας και μια υπολογιστική τεχνική που μειώνει ή ακόμα και εξαλείφει εντελώς την απώλεια των πληροφοριών που προκαλείται από τις διαδικασίες προσέγγισης. Ο σκοπός αυτός επιτυγχάνεται με τον καθορισμό του μοντέλου γλωσσικού υπολογισμού 2-tuple. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιεί δύο

έννοιες: τη συμβολική μετάφραση και τη 2-tuple ασαφή γλωσσική αναπαράσταση. Αυτές οι έννοιες βασίζονται στις εργασίες του Herrera και Martínez (2000), οι οποίοι βασίζουν το γλωσσικό μοντέλο τους στη συμβολική υπολογιστική προσέγγιση και ορίζουν μια νέα μέθοδο αναπαράστασης της γλωσσικής πληροφορίας.

Έστω  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  ένας σύνολο γλωσσικών όρων. Ας υποθέσουμε ότι η συμβολική μέθοδος συνάθροισης της γλωσσικής πληροφορίας περιέχει την τιμή  $\beta \in [0, g]$  και  $\beta \notin \{0, 1, \dots, g\}$ . Έστω  $i = \text{round}(\beta)$  και  $a = \beta - i$  να είναι δύο τιμές έτσι ώστε  $i \in \{0, 1, \dots, g\}$  και  $a \in [-0.5, 0.5)$ , τότε το  $a$  ονομάζεται συμβολική μετάφραση.

Το νόημα της συμβολικής μετάφρασης  $a \in [-0.5, 0.5)$  βρίσκεται στη διαφορά των πληροφοριών μεταξύ των πληροφοριών που περιέχονται στο  $\beta \in [0, g]$  και στις πληροφορίες που περιέχονται στην πλησιέστερη τιμή  $i \in \{0, 1, \dots, g\}$  που δείχνει ο δείκτης του κοντινότερου γλωσσικού όρου  $s_i \in S$ , ( $i = \text{round}(\beta)$ ). Από τη συμβολική έννοια της μετάφρασης, αναπτύσσεται ένα γλωσσικό μοντέλο αναπαράστασης, το οποίο αντιπροσωπεύει τις γλωσσικές πληροφορίες μέσω του 2-tuples,  $(s_i, a_i)$ ,  $s_i \in S$  και  $a_i \in [-0.5, 0.5)$ :

- $s_i \in S$  αντιπροσωπεύει την κεντρική γλωσσική ετικέτα των πληροφοριών,
- $a_i$  είναι η συμβολική μετάφραση

Αυτό το μοντέλο ορίζει ένα σύνολο από συναρτήσεις μετασχηματισμού μεταξύ των γλωσσικών όρων και της 2-tuples καθώς και μεταξύ των αριθμητικών τιμών και της 2-tuples.

Αυτές οι δύο προσεγγίσεις έχουν τα πλεονεκτήματα της απλότητας και της σαφήνειας, επιτρέποντας την εκμείευση των προτιμήσεων των εμπειρογνομόνων ενεργειακής πολιτικής με άμεσο τρόπο, με τους γλωσσικούς όρους στη φυσική τους γλώσσα και να επιτρέπουν τον άμεσο υπολογισμό σχετικά με τις γλωσσικές τιμές, όπως περιγράφεται στην ακόλουθη ενότητα.

## 4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

Η επιλογή και η εφαρμογή της ενεργειακής πολιτικής είναι αναπόφευκτα μια πολύ σύνθετη διαδικασία, ως εκ τούτου, η υποστήριξη της ενεργειακής πολιτικής για την λήψη αποφάσεων απαιτεί απλά υπολογιστικά μοντέλα, ικανά να υποστηρίξουν:

- Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των στόχων της ενεργειακής πολιτικής και των εξεταζόμενων επιλογών ενέργειας.
- Διατύπωση των προτεραιοτήτων.

- Προσδιορισμός των βασικών παραμέτρων της ανάλυσης.

Αυτό είναι προφανές στον σχηματισμό των ανανεώσιμων ενεργειακών πολιτικών (ΑΠΕ). Ο στόχος της πολιτικής (ΑΠΕ) φαίνεται απλός: να αυξηθεί η συνεισφορά ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα. Ωστόσο, μια πιο προσεκτική ματιά αποκαλύπτει ότι υπάρχουν στην πραγματικότητα πολλοί οι στόχοι της πολιτικής (ΑΠΕ) που προορίζονται για να ολοκληρωθούν. Η πολιτική (ΑΠΕ) μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τρόπος για τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, για την προώθηση της βιομηχανικής ανάπτυξης, την μείωση των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων και την κάλυψη άλλων πολιτικών στόχων. Κάθε ένας από αυτούς τους στόχους οδηγεί σε ένα διαφορετικό σύνολο προγραμμάτων και τεχνολογιών της πολιτικής (ΑΠΕ), που επιδιώκουν επίσης να ικανοποιήσουν τα ενδιαφερόμενα μέρη. Έτσι, χωρίς ένα απλό υπολογιστικό πλαίσιο, η ρύθμιση της ενεργειακής πολιτικής μπορεί να διασπαστεί σε μια χαοτική διαδικασία, ενώ παραβλέπεται από τους μεγαλύτερους στόχους που οδήγησαν το αρχικό ενδιαφέρον σε συγκεκριμένες ενεργειακές επιλογές. Η συμβολική προσέγγιση και το μοντέλο 2-tuple επιτρέπουν τον άμεσο υπολογισμό πάνω στις γλωσσικές αξίες, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την έννοια και τις ιδιότητες αυτών των γλωσσικών εκτιμήσεων.

Ειδικότερα, η συμβολική προσέγγιση είναι υπολογιστικά απλή, γρήγορη και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα με γνώμονα το χρήστη σε διαδραστικά συστήματα. Δύο τελεστές συνάθροισης, οι οποίοι βασίζονται στη συμβολική προσέγγιση, είναι ο τελεστής της γλωσσικής διάταξης σταθμισμένου μέσου όρου (Lowa) και ο τελεστής γλωσσικού σταθμισμένου μέσου όρου (LWA). Ο Lowa, όπως προτείνεται από την Herrera, Herrera-Viedma, και Verdegay (1995) και Delgado, Verdegay, και Vila (1994), βασίζεται στο κυρτό συνδυασμό των γλωσσικών όρων, που πρέπει να συναθροίζονται με αριθμητικούς συντελεστές βάρους.

Για το διάνυσμα στάθμισης του τελεστή Lowa,  $W$ , τα βάρη αντιπροσωπεύουν την έννοια της ασαφούς πλειοψηφίας στη συνάθροιση του τελεστή Lowa χρησιμοποιώντας ασαφή γλωσσικό ποσοτικοποιητή. Ο Yager πρότεινε έναν ενδιαφέροντα τρόπο για τον υπολογισμό των βαρών μέσω ενός ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή,  $Q$ , ο οποίος, στην περίπτωση ενός μη μειούμενου αναλογικού ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή δίνεται από την έκφραση (Yager, 1988):

$$w_i = Q\left(\frac{i}{n}\right) - Q\left(\frac{(i-1)}{n}\right) \text{ όπου } i = 1, \dots, n \text{ ( } n \text{ ο αριθμός των εναλλακτικών) και}$$

$Q$  η συνάρτηση συσχέτισης που ορίζεται:

$$Q_{(y)} = \begin{cases} 0, & \text{if } y < a, \\ (y - a)/(b - a), & \text{if } a \leq y \leq b, \\ 1, & \text{if } y > b. \end{cases}$$

με  $a, b, y, \in [0,1]$ , και  $Q(y)$  προσδιορίζει τον βαθμό στον οποίο η αναλογία του  $y$  είναι συμβατή με την έννοια του ποσοτικοποιητή που αντιπροσωπεύει. Στο πλαίσιο αυτό, οι ποσοτικοποιητή μπορούν να ποικίλουν, με βάση τις παραμέτρους  $(a, b)$ .

Οι εν λόγω τελεστές συνάθροισης της γλωσσικής πληροφορίας παρέχονται για τα διάφορα κριτήρια, τα οποία δεν είναι εξίσου σημαντικά (και Herrera Herrera-Viedma 2000). Για να σχεδιάσουμε ένα τελεστή συνάθροισης των γλωσσικών σταθμισμένων πληροφοριών πρέπει να οριστούν δύο δέσμες, η συνάθροιση των βαθμών σημασίας των πληροφοριών, καθώς και η συνάθροιση των σταθμισμένων πληροφοριών, που συνδυάζει πληροφορίες με τους βαθμούς σημασίας.

Όσον αφορά τα παραπάνω, τεχνικές συνάθροισης για σταθμισμένες πληροφορίες με βάση μόνο την αριθμητική κλίμακα είναι ο Διατεταγμένος Σταθμισμένος Μέγιστος (OWMAX) και ο Διατεταγμένος Σταθμισμένος Ελάχιστος (OWMIN), (Yager 1988).

Μια γλωσσική υπολογιστική προσέγγιση που βασίζεται στις ακόλουθες δύο λειτουργίες έχει επίσης οριστεί από Herrera και Martínez (2000), όπου κάποιιο κλασικοί τελεστές συνάθροισης όπως ο Αριθμητικός Μέσος Όρος, ο Σταθμισμένος Μέσος Όρος, Διατεταγμένος Σταθμισμένος Τελεστής Συνάθροισης (OWA), τελεστής Lowa, έχουν παρατεθεί για το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple:

Έστω  $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$  να είναι ένα σύνολο γλωσσικών όρων και  $\beta \in [0, g]$  η τιμή που αναπαριστά το αποτέλεσμα της συμβολικής συνάθροισης, τότε η 2-tuple εκφράζει τις ισοδύναμες πληροφορίες στο  $\beta$  που λαμβάνονται από την επόμενη συνάρτηση:

$$\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5), \text{ and}$$

$$\Delta(\beta) = (s_i, a) \text{ με } \begin{cases} s_i \in S \text{ and } i = \text{round}(\beta) \\ a = \beta - i, a \in [-0.5, 0.5) \end{cases}$$

Όπου  $\text{round}(\cdot)$  είναι η συνηθισμένη διαδικασία στρογγυλοποίησης,  $s_i$  έχει την πλησιέστερη ετικέτα στο  $\beta$  και το  $a$  είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης

Ο ορισμός της συνάρτησης  $\Delta$  είναι πάντα  $\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5) \rightarrow [0, g]$  έτσι ώστε το μοντέλο 2-tuple επιστρέφεται με την ισοδύναμη αριθμητική τιμή του  $\beta \in [0, g]$  Επομένως η προηγούμενη συνάρτηση θα θεωρείται ως:

$$\Delta^{-1}(s_i, a) = i + a = \beta$$

Επιπλέον, επεκτάσεις οι οποίες σχετίζονται με τη μέθοδο TOPSIS (Hwang και Yoon, 1981), με τη χρήση των 2-tuple γλωσσικών μεταβλητών, εκπονήθηκαν με βάση αυτόν τον μετασχηματισμό, χρησιμοποιώντας ιδανικές και μη-ιδανικές λύσεις για να βρουν την καλύτερη εναλλακτική, δεδομένου ότι η επιλεγείσα εναλλακτική θα πρέπει να έχει ταυτόχρονα τη μικρότερη απόσταση από την ιδανική λύση και τη μεγαλύτερη απόσταση από το μη-ιδανική λύση (Αναγνωστόπουλος et al, 2008, Δούκας et al, 2010, Δούκα και Ψαρράς, 2009, Δούκας et al, 2008a). Άλλοι τελεστές συνάθροισης για τη γλωσσική 2-tuple ορίζονται αργότερα ως Lattice με βάση Γλωσσολογικές-Αξίες Σταθμισμένος Συναθροιστής (LVWA), με βάση Li et al. (2008) και η γλωσσική Συνυπολογισμός Πρόσθετη Πλειοψηφία (LAMA) χειριστή, με βάση Pelaez και Doña (2003). Όσον αφορά τα ανωτέρω, κατάλληλη MCDA για άμεσο υπολογισμό των γλωσσικών μεταβλητών σε προβλήματα ενεργειακής πολιτικής παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

ΠΥΑ	Βιβλιογραφία – Συγγραφείς	Χώρος Εφαρμογών
<i>Linguistic TOPSIS</i>	Anagnostopoulos et al., 2008	Επιλογή τοποθεσίας
	Doukas and Psarras, 2009	Προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
	Doukas et al. 2008a; Doukas	Βιώσιμη αξιολόγηση των

	et al., 2010	επιλογών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
<i>Linguistic LOWA</i>	Doukas et al. 2007a	Βιώσιμες Προτεραιότητες Ενεργειακών Τεχνολογιών
	Karakosta & Askounis, 2010	Ενεργειακές ανάγκες και προτεραιότητες των χωρών
	Karakosta et al., 2008	CDM Συμβολή στις ενεργειακές ανάγκες και τις προτεραιότητες των χωρών
	Merigó and Lafuente, 2008	Η επιλογή της κατάλληλης ενεργειακής στρατηγικής
	Thórhallsdóttir, 2007	Ανάλυση της ενέργειας και του περιβάλλοντος αξίες και τις επιπτώσεις
	Badea et al., 2011	Ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν λίγες επεκτάσεις και εφαρμογές σε προβλήματα ενεργειακής πολιτικής του γλωσσικού τελεστή Lowa και της μεθόδου TOPSIS. Ο τελεστής Lowa προτιμάται σε τέτοια προβλήματα, κυρίως των παρακάτω λόγων:

- Διατεταγμένη σταθμισμένη μέση τιμή χρησιμοποιείται συνήθως, και είναι εύκολα κατανοητή από αυτούς που θα πάρουν τις αποφάσεις. Επιπλέον, στον τελεστή Lowa, δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των διαστάσεων της αιφόρου ανάπτυξης και των αντίστοιχων κριτηρίων, δεδομένου των αδρανών γλωσσικών πληροφοριών που παρέχονται για τα κριτήρια τα οποία είναι εξίσου σημαντικά. Από αυτή την άποψη, ο Lowa μπορεί να αξιολογήσει τη συμβολή της ενέργειας εξετάζοντας επιλογές για όλες τις διαστάσεις της αιφόρας με έναν ισορροπημένο τρόπο
- Μέσω του ασαφούς γλωσσικού ποσοτικοποιητή,  $Q$ , δεν υπάρχει καμία ανάγκη για ορισμό κριτηρίων με βάρη, το οποίο είναι πράγματι αρκετά περίπλοκο σε προβλήματα της ενεργειακής πολιτικής, λαμβάνοντας υπόψη τις ενίοτε αντικρουόμενες απόψεις των ενδιαφερόμενων μερών και τις διάφορες ατέλειες της πολιτικής διαδικασίας, η οποία θα μπορούσε να καταστήσει την πολιτική ρύθμιση μάλλον ατελή.

Σχετικές εφαρμογές και επεκτάσεις της γλωσσικής μεθόδου TOPSIS στους τομείς της ενεργειακής πολιτικής είναι διαθέσιμες στη διεθνή βιβλιογραφία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος TOPSIS είναι εύκολα κατανοητή από τον άνθρωπο, επειδή οι υποκείμενες έννοιες της, η απόσταση, η ιδανική λύση και η μη-ιδανική λύση, χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην καθημερινή ζωή. Η δομή της διαδικασίας λήψης αποφάσεων από αυτές τις μεθόδους είναι ευέλικτη και εύκολα προσαρμόσιμη στις προτιμήσεις των ιθυνόντων της ενεργειακής πολιτικής. Για παράδειγμα, υπάρχει μια μικρή συμφωνία σχετικά με το ποιές πολιτικές είναι πιο αποτελεσματικές στην προώθηση των τεχνολογιών ΑΠΕ, ή ακόμη και σε ό, τι αυτό σημαίνει για την πολιτική ΑΠΕ να είναι αποτελεσματική. Ωστόσο, μια πολιτική ΑΠΕ μπορεί να συγκριθεί με μια

ιδανική και με μια μη ιδανική πολιτική, από την άποψη της πολιτικής που έχει τις υψηλότερες βαθμολογίες (θετικά ιδεατό) και τις χαμηλότερες βαθμολογίες (αρνητικά ιδεατό) για όλα τα κριτήρια που εξετάστηκαν.

Τα προαναφερθείσα μοντέλα θα διερευνηθούν επίσης στο ακόλουθο τμήμα, όσον αφορά τη διαφάνεια τους στα τελικά αποτελέσματα.

## 4.5 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Μια ποιοτική αξιολόγηση των διαφόρων επιλογών για τη μοντελοποίηση των γλωσσικών μεταβλητών σε πολυκριτήρια για την στήριξη ενεργειακής πολιτικής έχει αναπτυχθεί σε αυτήν την ενότητα, έτσι ώστε να διερευνηθεί η διαφάνεια αυτών των επιλογών. Συγκεκριμένα, εξετάζονται τα μοντέλα για την ενσωμάτωση των γλωσσικών μεταβλητών στην μέθοδο λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων ΠΥΑ για την ενεργειακή πολιτική, καθώς παρουσιάζονται στις προηγούμενες ενότητες, είναι οι εξής:

- **Συνεχής Κλίμακα:** Η γλωσσική πληροφορία μετατρέπεται σε αριθμητική χρησιμοποιώντας αριθμητικά συνεχή κλίμακα, και στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν παραδοσιακές μέθοδοι ΠΥΑ.
- **Ασαφείς αριθμοί:** Οι γλωσσικές μεταβλητές εκπροσωπούνται ως ένα πεπερασμένο σύνολο γλωσσικών όρων και το περιεχομένου τους είναι ένα ασαφές υποσύνολο, ενώ το προσεγγιστικό υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται βασίζεται στην αρχή της επέκτασης.
- **Συμβολική Προσέγγιση:** Ένα πεπερασμένο και πλήρως διατεταγμένο σύνολο όρων ορίζεται για τους γλωσσικούς όρους που πρέπει να χρησιμοποιηθούν και έχει καταρτιστεί ο άμεσος υπολογισμός των δεικτών των γλωσσικών μεταβλητών, με την ανεξαρτησία της σημασιολογικής τους αναπαράστασης, χρησιμοποιώντας ένα σχετικό τελεστή συνάθροισης.
- **Μοντέλο Αναπαράστασης 2-tuple:** Οι γλωσσικές μεταβλητές αντιπροσωπεύονται από τις 2-tuples  $(s_i, a_i)$ , ενώ η συνάρτηση  $\Delta$  και η αντίστροφη της χρησιμοποιούνται για τις υπολογιστικές προσεγγίσεις.

Οι τρεις απόψεις που χρησιμοποιούνται για αυτήν την ποιοτική αξιολόγηση της διαφάνειας για τις επιλογές που εξετάστηκαν είναι οι εξής:

- **Συμβατότητα,** εξετάζοντας την εγγύτητα των αποτελεσμάτων των μοντέλων με την αρχική γλωσσική έκφραση.
- **Συνέπεια,** ερευνά αν τα υπολογιστικά μοντέλα αποκτήσουν την ίδια έξοδο από την ίδια είσοδο.
- **Ακρίβεια,** εξετάζει τις προσεγγίσεις που περιλαμβάνονται στα υπολογιστικά μοντέλα και τη σχετική αβεβαιότητα των τελικών αποτελεσμάτων.

Σημειώνεται ότι η ανάλυση αυτή μπορεί να θεωρηθεί για μία οποιαδήποτε συγκεκριμένη εφαρμογή, και όχι μόνον για την εκτίμηση της διαφάνειας των ΠΥΑ μοντέλων για την ενεργειακή πολιτική.

Η βαθμολογία σε κάθε άποψη εκφράζεται μέσα από το σύνολο γλωσσικών όρων  $S = \{Low, Medium, High\}$ , και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

	Συνεχής Κλίμακα	Ασαφείς αριθμοί	Συμβολική προσέγγιση	2-tuple αναπαράσταση
Συμβατότητα	HIGH	LOW	HIGH	HIGH
Συνοχή	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH
Ακρίβεια	LOW	HIGH	LOW	HIGH

Πίνακας 4

Αυτά τα αποτελέσματα εξηγούνται ως εξής:

- **Συνεχής Κλίμακα:** Η ακρίβεια της μοντελοποίησης αυτής της επιλογής είναι LOW. Λαμβάνοντας υπόψη την ασάφεια και την υποκειμενικότητα των σχετικών πληροφοριών, η τακτική κλίμακα μπορεί να οδηγήσει σε μια υπεραπλούστευση των συγκεκριμένων προβλημάτων απόφασης της ενεργειακής πολιτικής. Επιπλέον, μια λανθασμένη επιλογή της τακτικής κλίμακας σε τέτοιες εφαρμογές θα μπορούσε να οδηγήσει σε οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Επιπλέον, σε αυτές τις μεθόδους, τα ψευδο-κριτήρια που πρέπει να εφαρμοστούν σε πολλές περιπτώσεις είναι δύσκολο να οριστούν.
- **Ασαφής αριθμοί:** Η συμβατότητα είναι LOW, δεδομένου ότι τα αποτελέσματα εκφράζονται με τη βοήθεια των αριθμητικών τιμών. Επιπλέον, αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει σημαντικούς υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας προσεγγιστικά υπολογιστικά μοντέλα που βασίζονται στην αρχή της επέκτασης. Επιπρόσθετα, το μοντέλο αυτό έχει περιπλέξει υπολογισμούς για την επεξεργασία των συναρτήσεων συμμετοχής των ασαφών όρων για να οδηγήσει σε έναν συγκεντρωτικό ασαφή αριθμό. Αυτοί οι συγκεντρωτικοί ασαφείς αριθμοί δεν είναι απαραίτητο να ανήκουν στο αρχικό σύνολο των γλωσσικών όρων, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ασυνέπειες. Ωστόσο, αυτό το μοντέλο έχει HIGH ακρίβεια, δεδομένου ότι δεν υπάρχει απώλεια πληροφοριών στις υπολογιστικές διεργασίες.
- **Συμβολική Προσέγγιση:** Η συμβολική προσέγγιση είναι υπολογιστικά απλή, γρήγορη και μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα με γνώμονα το χρήστη. Το κύριο πρόβλημα της μεθόδου αυτής είναι ο εγγενής περιορισμός της έλλειψης ακρίβειας στα τελικά αποτελέσματα, λόγω της χρήσης της συνάρτησης στρογγυλοποίησης, έχοντας έτσι LOW ακρίβεια στα τελικά αποτελέσματα.
- **Μοντέλο Προσέγγισης 2-tuple:** Αυτό το μοντέλο έχει HIGH σκορ σε όλα τα κριτήρια που εξετάστηκαν και οφείλεται στο γεγονός ότι τα αποτελέσματα εκφράζονται στον ίδιο γλωσσικό τομέα, και δεν υπάρχει καμία απώλεια πληροφοριών, αφού από την ίδια είσοδο λαμβάνεται η ίδια έξοδος.

Σε αυτό το πλαίσιο, η Συμβολική Προσέγγιση και το Μοντέλο Προσέγγισης 2-tuple αποδίδουν καλύτερα στα κριτήρια. Το Μοντέλο Προσέγγισης 2-tuple έχει την καλύτερη συνολική βαθμολογία και μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο κατάλληλη επιλογή για τη μοντελοποίηση των γλωσσικών μεταβλητών σε MCDA .

Επιπλέον, μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για τα προβλήματα αποφάσεων υποστήριξης ενεργειακής πολιτικής, αφορά την ποσότητα των πληροφοριών που απαιτούνται ,οι οποίες δημιουργούνται από εμπειρογνώμονες της ενεργειακής πολιτικής (είναι σημαντικό να έχουν μειωμένη ποσότητα



πληροφοριών σε τέτοιου είδους προβλήματα).

Στον ακόλουθο Πίνακα 5, η ποσότητα των πληροφοριών που απαιτούνται για να προκληθεί σε ΠΥΑ μοντέλα με γλωσσικές μεταβλητές παρουσιάζεται για:

- Παραδοσιακές μεθόδους, όπου μια αριθμητική κλίμακα χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση γλωσσικών μεταβλητών (όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 2,1).
- Ασαφείς μέθοδοι, όπου οι ασαφείς αριθμοί χρησιμοποιούνται για την μοντελοποίηση γλωσσικών μεταβλητών (όπως παρουσιάζεται στην Ενότητα 2.2).
- Υπολογιστικές μέθοδοι απευθείας υπολογισμού των γλωσσικών μεταβλητών, δηλαδή η γλωσσική LOWA και η γλωσσική επέκταση TOPSIS, οι οποίες θεωρήθηκαν ως κατάλληλες για τα προβλήματα της ενεργειακής πολιτικής, με εφαρμογή ήδη σε διαθέσιμους σχετικούς τομείς στην διεθνή βιβλιογραφία (όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο τμήμα 4 ).

	Παραδοσιακές μέθοδοι	Ασαφείς μέθοδοι	Γλωσσική TOPSIS	Γλωσσικό LOWA
Αποδόσεις στα κριτήρια	✓	✓	✓	✓
Ψευδό-κριτήρια	Για τις μεθόδους PROMETHEE ELECTRE	Για τις ασαφείς μεθόδους των PROMETHEE και ELECTRE	-	-
Προσδιορισμός των βαρών	✓	✓	✓	-
Συναρτήσεις συμμετοχής	-	✓	-	-

Όλες οι μέθοδοι απαιτούν την είσοδο να σχετίζεται με τις επιδόσεις των εξεταζόμενων κριτηρίων καθώς και με τα βάρη των κριτηρίων. Για το τελευταίο υπάρχει μία εξαίρεση για το γλωσσικό OWA, όπως περιγράφεται στην ενότητα 4. Οι μέθοδοι PROMETHEE και ELECTRE απαιτούν τα ψευδό-κριτήρια να καθορίζονται (συμπεριλαμβανομένων των ασαφών επεκτάσεών τους). Για τις ασαφείς μεθόδους, η συνάρτηση συμμετοχής για το σύνολο του γλωσσικού όρου θα πρέπει επίσης να επιλέγεται. Από αυτή την άποψη, ο τελεστής Lowa έχει την καλύτερη συνολική βαθμολογία, δεδομένου ότι απαιτεί μόνο τις επιδόσεις των εξεταζόμενων επιλογών στα κριτηρίων του προβλήματος. Ο τελεστής Lowa μπορεί να παρέχει ένα επαρκές πλαίσιο για να δείξει πώς σχετίζονται οι στόχοι, τα προγράμματα, και οι τεχνολογίες, που επιτρέπουν την άμεση ενσωμάτωση των προτιμήσεων αυτών που θα πάρουν τις αποφάσεις, μειώνοντας παράλληλα την απαιτούμενη συμβολή από ειδικούς σε θέματα ενέργειας σε ένα διαχειρίσιμο επίπεδο.

Όσον αφορά τα παραπάνω, το μοντέλο προσέγγισης 2-tuple (Πίνακες 4) και το υπολογιστικό μοντέλο Lowa (Πίνακας 5), είναι ο συνδυασμός με την καλύτερη απόδοση, όσον αφορά τη διαφάνεια και την ποσότητα των πληροφοριών που απαιτείται.

Ένα άλλο μεθοδολογικό ζήτημα για τη στήριξη της ενεργειακής πολιτικής, το οποίο δεν περιλαμβανόταν στην προηγούμενη ανάλυση, είναι ο ανταποδοτικός χαρακτήρας

των μοντέλων ΠΥΑ, συμπεριλαμβανομένων και των γλωσσικών μοντέλων ΠΥΑ. Συγκεκριμένα, υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες η ατελής ή ασύμμετρη πληροφορία, οι αντικρουόμενες απόψεις των ενδιαφερομένων μερών, καθώς και όλες οι διάφορες ατέλειες της πολιτικής διαδικασίας δεν μπορούν να αγνοηθούν. Σε τέτοιου είδους προβλήματα, τα αποτελέσματα θεωρούνται πολύ ακριβή ώστε να δημιουργήσουν την απαραίτητη εμπιστοσύνη. Αυτό μπορεί επίσης να συμβεί όταν τα περιβαλλοντικά κριτήρια αντισταθμίζονται με αυτά των οικονομικών ή των τεχνικών. Δεν υπάρχει ειδική θεραπεία για τα γλωσσικά μοντέλα ΠΥΑ σε τέτοιες περιπτώσεις. Η γενική ιδέα κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι ότι οι αποφασίζοντες να αισθάνονται πιο άνετα με μια μερική κατάταξη που δείχνει ασυμβατότητες και αναγκάζοντας τους να επανεξετάσουν τα στοιχεία του προβλήματος για να πάρει πιο ακριβείς προνομιακές πληροφορίες (Διακουλάκη 2005)

## 4.6 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Ορισμένες τρέχουσες ερευνητικές τάσεις και προοπτικές έρευνας για την περαιτέρω ενίσχυση της μοντελοποίησης των γλωσσικών μεταβλητών σε ΠΥΑ για την στήριξη ενεργειακής πολιτικής παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους (Δούκας 2008b, Martínez 2010, Herrera 2009, Martínez, 2009).

Γλωσσικά και αριθμητικά δεδομένα: Σε ορισμένα προβλήματα απόφασης ενεργειακής πολιτικής, οι πληροφορίες σχετικά με τις εναλλακτικές λύσεις μπορούν να παρουσιάζονται τόσο σε γλωσσική όσο και σε αριθμητική μορφή. Για παράδειγμα, η αξιολόγηση τεχνολογιών ενέργειας περιλαμβάνει πολυδιάστατα δεδομένα. Τεχνολογικά δεδομένα, όπως εγκατεστημένη ισχύς και παραγόμενη ενέργεια είναι ποσοτικά, ενώ κοινωνικά και περιβαλλοντολογικά στοιχεία, όπως η οπτική όχληση, είναι ποιοτικού χαρακτήρα. Είναι ενδιαφέρον να αναπτυχθούν περαιτέρω τα μοντέλα αναπαράστασης και οι τελεστές συνάθροισης που ασχολούνται ταυτόχρονα και με τα ποσοτικά και με τα ποιοτικά δεδομένα, καθώς και με τους μετασχηματισμούς τους από αριθμητικά σε γλωσσικά και αντίστροφα (Delgado 1998, Herrera 2005, Meesad και Yen 2003, Zarghami 2008).

Διαφορετικά σύνολα γλωσσικών όρων: Στα πραγματικά προβλήματα ενεργειακής πολιτικής διαφορετικές λογικές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, ειδικά όταν τα δεδομένα συλλέγονται μέσω συμμετοχικών προσεγγίσεων. Από αυτή την άποψη, ένα μοναδικό σύνολο γλωσσικών όρων το οποίο θα χρησιμοποιείται από όλους τους φορείς λήψης αποφάσεων, δεν μπορεί να οριστεί αποτελεσματικά, λόγω πολιτιστικών λόγων ή διαφορετικών απόψεων και γνώσεων σχετικά με το πρόβλημα. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, όταν η είσοδος προκαλείται από διάφορες ομάδες-στόχους, όπως η λήψη αποφάσεων σε ανώτερο επίπεδο πολιτικής, καθώς και οι ειδικοί της ενεργειακής τεχνολογίας που σχετίζονται με τους ενδιαφερόμενους φορείς και τους κοινωνικούς εταίρους. Η χρήση των μεθόδων δόμησης προβλήματος μπορεί να είναι επίσης χρήσιμη για να βοηθήσει στον σαφή καθορισμό του πλαισίου απόφασης της ενεργειακής πολιτικής του προβλήματος και των βασικών παραγόντων που εμπλέκονται, καθώς και να παρουσιάσει τους σχετικούς στόχους κάθε εμπλεκόμενου. Τέτοιες εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί για να δομηθεί η Ανάλυση Πολυκριτηριακών Αποφάσεων (ΠΥΑ), μέσω της μεθοδολογίας μαλακών συστημάτων (SSM), για την αξιολόγηση των πρωτοβουλιών ενεργειακής απόδοσης

(Neves et al 2009), καθώς και για τα προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού σε αστικό περιβάλλον (Coelho 2010). Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι πληροφορίες που συλλέγονται εκφράζονται με διάφορους τρόπους και θα πρέπει να επεξεργαστούν καταλλήλως προκειμένου να συμπεριλαμβάνονται στα μοντέλα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, αυτό μπορεί να σημαίνει διαφορετικό πληθυσμό, και διαφορετική σημασία για κάθε ετικέτα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όπου οι πληροφορίες μπορούν να παρέχονται χρησιμοποιώντας σύνολα γλωσσικών όρων με διαφορετικό πληθυσμό, τότε υπάρχει ανάγκη για πολυπληθυσμιακές προσεγγίσεις (Chang 2007, Chen και Ben-Arieh 2006, Chuu 2007, Herrera 2000, Herrera και Martínez 2001). Αυτό το ζήτημα πρέπει να αντιμετωπιστεί πρέπει να οικοδομηθούν πιο αποδοτικά πολυπληθυσμιακά μοντέλα λήψης αποφάσεων (Huynh και Nakamori 2005, Jiang 2008, Martínez 2005).

Ασύμμετρα σύνολα γλωσσικών όρων: Σε κάποια προβλήματα της ενεργειακής πολιτικής, οι γλωσσικές ετικέτες δεν κατανέμονται συμμετρικά γύρω από έναν κεντρικό όρο. Για παράδειγμα, ένα συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσε να περιλαμβάνει αρκετούς θετικούς όρους και καθόλου αρνητικούς όρους, ή λιγότερο αρνητικούς από θετικούς όρους, ή το αντίθετο. Για παράδειγμα, όταν θα πρέπει να υποστηριχθεί η αξιολόγηση της ενεργειακής τεχνολογίας, τότε για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν υπάρχουν εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να υπάρχει μόνο θετική συνεισφορά για την άμβλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, αυτή η περίπτωση δεν σχετίζεται με τις τεχνολογίες των ορυκτών καυσίμων. Από αυτή την άποψη, οι προκλήσεις του μέλλοντος είναι η περαιτέρω ανάπτυξη των μοντέλων που θα επιτρέπουν τη χρήση οποιωνδήποτε ασύμμετρου συνόλου γλωσσικών όρων, καθώς και την ενσωμάτωση ταυτόχρονα ασύμμετρων και πολυπληθυσμιακών γλωσσικών προσεγγίσεων. (Herrera 2008, Jiang 2008).

Καταστάσεις ελλιπούς πληροφορίας: Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων σε ορισμένα προβλήματα της ενεργειακής πολιτικής μπορεί να μην έχουν σαφή άποψη για μια εναλλακτική λύση, μπορεί να μην είναι σε θέση να συγκρίνουν εναλλακτικές λύσεις ή θα μπορούσε να αποφύγουν να δώσουν τις τιμές προτίμησης, έτσι ώστε να μην εισάγουν ασυνέπεια. Επιπλέον, η ενέργεια που σχετίζεται με τα δεδομένα που συλλέγονται είναι πιθανό να είναι ανομοιογενή και αποσπασματικά, ακόμη και τα τεχνολογικά δεδομένα (Δούκας 2007, Δούκας 2008). Η ενασχόληση με περιπτώσεις ελλιπών πληροφοριών ισχύει ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη τη βιωσιμότητα της ενέργειας και τις επιπτώσεις στην πολιτική και είναι δύσκολο να οριστούν ή να μετρηθούν. Απαιτούνται περαιτέρω προσπάθειες για να προσαρμόσουν τα είδη υπάρχοντα γλωσσικά μοντέλα αποφάσεων για την αντιμετώπιση καταστάσεων με ελλιπή πληροφορία (Alonso 2009, Li και Sun 2007, Xu 2006).

Μια σημαντική προοπτική είναι, επίσης, να χρησιμοποιηθούν οι γλωσσικές αναπαραστάσεις για τη δημιουργία της λογικής με βάση τους κανόνες απόφασης, όπως IF-THEN κανόνες, και τη χρήση τους για τη στήριξη αποφάσεων στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής (Αναγνωστόπουλος 2008, Δούκας 2008d), προτείνονται δράσεις για τη βελτίωση των σχετικών πολιτικών που βασίζονται στη ενέργεια, με βάση τις αποκλίσεις από τους υιοθετημένους στόχους της.

## 4.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

Στις πραγματικές εφαρμογές ενεργειακής πολιτικής της MCDA απαιτείται η επεξεργασία της ασάφειας, αβεβαιότητας, ή των ασαφών στοιχείων. Αυτό είναι ένα σημαντικό εμπόδιο που παρεμποδίζει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων πλαισίων ενεργειακής πολιτικής MCDA, δεδομένου ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα κριτήρια που αναπτύσσονται απαιτούν δεδομένα, τα οποία πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμα ή είναι δύσκολο να συλλέγονται ή ακόμα δεν είναι αξιόπιστα.

Η εργασία αυτή διερευνά τη σχέση μεταξύ ΠΥΑ μεθοδολογικών ζητημάτων με τη χρήση γλωσσικών μεταβλητών και την πραγματική ενεργειακή πολιτική και θεσπίζει μια σαφή σύνδεση μεταξύ τους. Όπως έχει ήδη παρουσιαστεί, η χρήση γλωσσικών μεταβλητών σε ΠΥΑ είναι αρκετά ικανοί για το επαρκή χειρισμό των συνήθως ελλιπών, αβέβαιων πληροφοριών για να προσδιοριστούν ποσοτικά στοιχεία. Επιπλέον, το παρόν έγγραφο υποστηρίζει, με βάση την προηγούμενη ανάλυση, ότι η έννοια της ΠΥΑ με απευθείας υπολογισμό σχετικά με τις γλωσσικές μεταβλητές παρέχει στους αρμόδιους λήψης αποφάσεων την ευελιξία και την ικανότητα να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των επιλογών που εξετάζονται σε όλες τις διαστάσεις.

- Με ένα απλό τρόπο σε πολλές πραγματικές καταστάσεις λήψης αποφάσεων στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής, η χρήση των γλωσσικών πληροφοριών είναι απλή. Για παράδειγμα μια συμβολική επιλογή που εξετάζεται στην τοπική ανάπτυξη μπορεί να θεωρηθεί ως "High" ή "Morale" σε ένα εντελώς διατεταγμένο σύνολο όρων. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενες ενότητες, η συμβολική προσέγγιση και το μοντέλο προσέγγισης 2-tuple επιτρέπουν τον άμεσο υπολογισμό σχετικά με τις γλωσσικές τιμές, λαμβάνοντας υπόψη μόνο την έννοια και τις ιδιότητες αυτών των γλωσσικών τιμών.
- Ένα διαφανή τρόπο: Η διαφάνεια των εξεταζόμενων επιλογών εξετάστηκε όσον αφορά τη συμβατότητα, τη συνέπεια και την ακρίβεια και το μοντέλο προσέγγισης 2-tuple είχε την καλύτερη συνολική βαθμολογία. Επιπλέον, όσον αφορά την ποσότητα των πληροφοριών που απαιτούνται, ο τελεστής Lowa είχε την καλύτερη συνολική βαθμολογία, δεδομένου ότι απαιτεί μόνο τις επιδόσεις των εξεταζόμενων επιλογών.

Από αυτή την άποψη, η ΠΥΑ χρησιμοποιώντας το μοντέλο προσέγγισης 2-tuple μπορεί να συνδέσει τα κριτήρια με τις πολιτικές, τους στόχους και τις αλληλεπιδράσεις τους και ως εκ τούτου να υποστηρίξει σχετικά μεθοδολογικά πλαίσια.

Επιπλέον, το μοντέλο προσέγγισης 2-tuple μαζί με τον γλωσσικό LOWA δεν δημιουργούν απώλειες πληροφοριών επειδή:

- Δεν υπάρχει καμία ανάγκη για προσέγγιση του αποτελέσματος με ασαφείς αριθμούς έτσι ώστε να ταιριάζει με έναν όρο που ανήκει στον αρχικό γλωσσικό τομέα.
- Η προτεινόμενη μέθοδος δεν χρησιμοποιεί τη συνάρτηση στρογγυλοποίησης όπως οι τελεστές της συμβολικής μεθόδου.

Οι τρέχουσες ερευνητικές τάσεις για περαιτέρω έρευνα για να ενισχυθεί η μοντελοποίηση των γλωσσικών μεταβλητών για την υποστήριξη ΠΥΑ ενεργειακής πολιτικής, όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα μπορούν να ταξινομηθούν στις προσπάθειες για την περαιτέρω ανάπτυξη μοντέλων και των

φορέων εκπροσώπησης συνάθροισης για την αντιμετώπιση τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών δεδομένων και των μετασχηματισμών τους, για την αντιμετώπιση καταστάσεων με ελλιπείς πληροφορίες επιτρέπουν τη χρήση του συνόλων ασύμμετρων όρων. Μια σημαντική προοπτική είναι, επίσης η χρήση των γλωσσικών αναπαραστάσεων για τη δημιουργία της λογικής με βάση τους κανόνες αποφάσεων, και τη χρήση τους για τη στήριξη του τομέα της ενέργειας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [IV.1] Bloom, J. A. (1982). Long-range generation planning using decomposition and probabilistic simulation. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101(4), 797-802.
- [IV.2] David, A. K., & Zhao, R. (1989). Integrating expert systems with dynamic programming in generation expansion planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, 4(3), 1095-1101.
- [IV.3] Ammons, J. C., & McGinnis M. D. (1985). A generation expansion planning model for electric utilities. *Engineering Economics Journal*, 30, 205-225.
- [IV.4] Cornelissen, A. M. G., Van den Berg, J., Koops, W. J., Grossman, M., & Udo, H. M. J. (2001). Assessment of the contribution of sustainability indicators to sustainable development: a novel approach using fuzzy set theory. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86, 173-185.
- [IV.5] Commission of the European Communities (2007). An energy policy for Europe, final COM (2007). Brussels, Belgium: Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament.
- [IV.6] Commission of the European Communities (2008). 20 20 by 2020, Europe's climate change opportunity, COM (2008) 30 final. Brussels, Belgium: Communication from the Commission to the Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- [IV.7] Diakoulaki, D., Antunes, C. H., & Martins, A. G. (2005). MCDA and energy planning. In: "State of the Art of Multiple Criteria Decision Analysis", J. Figueira, S. Greco, M. Ergthott (Eds.). *Int. Series in Operations Research and Management Science*, vol. 78, 859-897, Springer.
- [IV.8] Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.

- [IV.9] Wang, J. J., Jing, Y. Y., Zhang, C. F., & Zhao J. H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 2263–2278.
- [IV.10] Wong, J. K. W., & Li, H. (2008). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. *Building and Environment*, 43(1), 108-125.
- [IV.11] Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Kagiannas, A. G., & Psarras, J. (2008b). Energy Policy Making: An Old Concept or a Modern Challenge? *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy Journal*, 3(4), 362-371
- [IV.12] Voropai, N. I., & Ivanova, E. Y. (2002). Multi-criteria decision analysis techniques in electric power system expansion planning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 24(1), 71-78.
- [IV.13] Pilavachi, P. A., Stilianos, D. S., Vasilios A. P., & Afgan, N. H. (2009). Multi-Criteria Evaluation of Hydrogen and Natural Gas Fuelled Power Plant Technologies. *Applied Thermal Engineering*; 29, 2228-2234.
- [IV.14] Greening, L. A., & Bernow, S. (2004). Design of coordinated energy and environmental policies: use of multi-criteria decision-making. *Energy Policy* 32, 721-735.
- [IV.15] Martínez, L., Ruan, D., Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Wang, P. P. (2009). Linguistic decision making: Tools and applications. *Information Sciences*, 179(14), 2297-2298.
- [IV.16] Venetsanos, K., Angelopoulou, P., & Tsoutsos, T. (2002). Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment. *Energy Policy*, 30, 293-307.
- [IV.17] Haralambopoulos, D. A., & Polatidis, H. (2003). Renewable energy projects: structuring a multi-criteria group decision-making framework. *Renewable Energy*, 28(6), 961-973.

- [IV.18] Ren, H., Gao, W., Zhou W., & Nakagami, W. (2009). Multi-criteria evaluation for the optimal adoption of distributed residential energy systems in Japan. *Energy Policy*, 37(12), 5484-5493.
- [IV.19] Dubois D., & Prade H. (1985). A review of fuzzy set aggregation connectives. *Information Sciences*, 36 (1-2), 85-121.
- [IV.20] Zarghami, M., Szidarovszky, F., & Ardakanian, R. (2008). A fuzzy-stochastic OWA model for robust multi-criteria decision making. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 7(1), 1–15.
- [IV.21] Kapepula, K. M., Colson, G., Sabri, K., & Thonart, T. (2007). A multiple criteria analysis for household solid waste management in the urban community of Dakar. *Waste Management*, 27, 11, 1690-1705
- [IV.22] Zhang, K., Kluck, C., & Achari, G. (2009). A comparative approach for ranking contaminated sites based on the risk assessment paradigm using fuzzy PROMETHEE. *Environmental management*, 44, 952-967.
- [IV.23] Herrera, F., & Martínez, L. (2001). A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic context in multi-expert decision making. *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 31(2), 227–234.
- [IV.24] Beccali, M., Cellura, M., & Ardenete, D. (1998). Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. *Energy Conversion and Management*, 39(16-18), 1869-1881.
- [IV.25] Georgiou, P., Tourkolias, C., & Diakoulaki, D. (2007). A roadmap for selecting host countries of wind energy projects in the framework of the clean development mechanism. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12(3),
- [IV.26] Figueira, J., Greco, S. & Ehrgott, M. (Editors) (2005). [Multiple criteria decision analysis, State of the art surveys](#). Springer, New York, 2005
- [IV.27] Herrera, F., & Martínez, L. (2000). A 2-Tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6), 746-752.



- [IV.28] Doukas, H., Botsikas, A., & Psarras, J. (2007a). Multi-criteria decision aid for the formulation of sustainable technological energy priorities using linguistic variables. *European Journal of Operational Research*, *182*(2), 844-855
- [IV.29] Delgado, M., Verdegay, J. L., & Vila, M. A. (1994). A Model for Linguistic Partial Information in Decision Making Problems. *International Journal of Intelligent Systems*, *9*, 365-378.
- [IV.30] Yi, S., Sin, H., & Heo, E. (2011). Selecting sustainable renewable energy source for energy assistance to North Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(1), 554-563
- [IV.31] Jiang, Y.-P., Fan, Z.-P., & Ma, J. (2008). A method for group decision making with multi-granularity linguistic assessment information. *Information Sciences*, *178*(4), 1098-1109.
- [IV.32] Anagnostopoulos, K., Doukas, H., & Psarras, J. (2008). A linguistic multicriteria analysis system combining fuzzy sets theory, ideal and anti-ideal points for location site selection. *Expert Systems with Applications*, *35*, 2041-2048
- [IV.33] Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2010). Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options. *Expert Systems with Applications*, *37*(7), 5491-5497.
- [IV.34] Doukas, H., & Psarras, J. (2009). A Linguistic Decision Support Model towards the Promotion of Renewable Energy. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, *4*, 166-178.
- [IV.35] Doukas, H., Karakosta, C., & Psarras, J. (2008a). A Linguistic TOPSIS Model to Evaluate the Sustainability of Renewable Energy Options. *International Journal of Global Energy Issues, Special Issue "Energy Efficiency, Environmental Performance and Sustainability"*, *32*(1-2), 102-118.
- [IV.36] Linkov, I., Satterstrom, F. K., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T., & Ferguson, E. (2006). From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: Recent developments and applications. *Environment International*, *32*(8), 1072-1093
- [IV.37] Perkoulidis, G., Papageorgiou, A., Karagiannidis, A., & Kalogirou, S. (2010). Integrated assessment of a new waste-to-energy facility in central Greece in the context of regional perspectives. *Waste Management*, *30*, 1395-1406.

- [IV.38] Herrera, F., & Herrera-Viedma, E. (2000). Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115, 67-82.
- [IV.39] Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martínez, L. (2008). A fuzzy linguistic methodology to deal with unbalanced linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 16(2), 354–370.
- [IV.40] McCarthy, R., Ogden, J. M., & Sperling, D. (2007). Assessing reliability in energy supply systems. *Energy Policy*, 35, 2151-2162.
- [IV.41] Delgado, M., Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martínez, L. (1998). Combining numerical and linguistic information in group decision making. *Information Sciences*, 107(1–4), 177–194
- [IV.42] Huynh, V. N., & Nakamori, Y. (2005). A satisfactory-oriented approach to multi-expert decision-making under linguistic assessments. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-35(2)*, 184–196.
- [IV.43] Merigó, J. M., & Lafuente, A. M. G. (2008). The Linguistic Generalized OWA Operator and its Application in Strategic Decision Making. *ICEIS*, 2, 219-224.
- [IV.44] Zheng, G., Jing, Y., Huang, H., Shi, G., & Zhang, X. (2010). Developing a fuzzy analytic hierarchical process model for building energy conservation assessment. *Renewable Energy*, 35(1), 78-87.
- [IV.45] Neves, L. P., Martins, A. G., Antunes, C. H., & Dias, L. C. (2008). A multi-criteria decision approach to sorting actions for promoting energy efficiency. *Energy Policy*, 36, 2351-2363
- [IV.46] Coelho, D., Antunes, C. H., & Martins, A. G. (2010). Using SSM for structuring decision support in urban energy planning. *Technological and Economic Development of Economy*, 16 (4), 641-653.

- [IV.47] Chang, S.-L., Wang, R.-C., & Wang, S.-Y. (2007). Applying a direct multi-granularity linguistic and strategy-oriented aggregation approach on the assessment of supply performance. *European Journal of Operational Research*, 177(2), 1013–1025.
- [IV.48] Chen, Z., & Ben-Arieh, D. (2006). On the fusion of multi-granularity linguistic label sets in group decision making. *Computers and Industrial Engineering*, 51(3), 526–541.
- [IV.49] Chuu, S.-J. (2007). Evaluating the flexibility in a manufacturing system using fuzzy multi-attribute group decision-making with multi-granularity linguistic information. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32(3–4), 409–421.
- [IV.50] Herrera, F., Alonso, S., Chiclana, F., & Herrera-Viedma, E. (2009). Computing with words in decision making: foundations, trends and prospects. *Fuzzy Optimization Decision Making*, 8, 337–364
- [IV.51] Hwang C. L., & Yoon K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications*. Berlin Heidelberg: Springer
- [IV.52] Jones, M., Hope, C., & Hughes, R. (1990). A Multi-attribute Value Model for the Study of UK Energy Policy. *Journal of the Operational Research Society*, 41(10), 919-929.
- [IV.53] Martínez, L., Ruan, D., & Herrera, F. (2010). Computing with Words in Decision support Systems: An overview on Models and Applications. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 3(4), 382-395.
- [IV.54] Herrera, F., Martínez, L., & Sánchez, P. (2005). Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*, 166, 115–132.
- [IV.55] Doukas, H., Mannsbart, W., Patlitzianas, K. D., Psarras, J., Ragwitz, M., & Schlomanna, B. (2007b). A Methodology for Validating the Renewable Energy Data in EU. *Renewable Energy*, 32(12), 1981-1998.
- [IV.56] Doukas, H., Papadopoulou, A., Psarras, J., Ragwitz, M., & Schlomann, B. (2008c) Sustainable Reference Methodology for Energy End-Use Efficiency Data in the EU, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12(8), 2159-2176.

- [IV.57] Alonso, S., Cabrerizo, F., Chiclana, F., Herrera, F., & Herrera-Viedma, E. (2009). Group decision making with incomplete fuzzy linguistic preference relations. *International Journal of Intelligent Systems, 24(2), 201–222.*
- [IV.58] Li, X., Ruan, D., Liu, J., & Xu, Y. (2008). A linguistic-valued weighted aggregation operator to multiple attribute group decision making with quantitative and qualitative information. *International Journal of Computational Intelligence Systems, 1(3):274–284*
- [IV.59] Yedla, S., & Shrestha, R. M. (2003). Multi-criteria Approach for the Selection of Alternative Options for Delhi Transport System. *Transport Research, Part A: Policy and Practice, USA, 37(8), 717 - 729.*
- [IV.60] Doukas, H., Nychtis, C., & Psarras, J. (2008d). Assessing energy-saving measures in buildings through an intelligent decision support model. *Building and Environment, 44, 290-298.*
- [IV.61] Gomez-Lopez, M. D., Bayo, J., Garcia-Cascales, M. S., & Angosto, J. M. (2009). Decision support in disinfection technologies for treated wastewater reuse. *Journal of Cleaner Production 17, 1504-1511.*
- [IV.62] Montanari, R. (2004). Environmental efficiency analysis for ENEL thermal-power plants. *Journal of Cleaner Production(12), 403-414.*
- [IV.63] Thórhallsdóttir, T. E. (2007). Environment and energy in Iceland: A comparative analysis of values and impacts. *Environmental Impact Assessment Review, 27(6), 522-544.*
- [IV.64] Flamos, A., Anagnostopoulos, K., Doukas, H., Goletsis, Y., & Psarras, J. (2004). Application of the IDEA-AM (Integrated Development and Environmental Additionality - Assessment Methodology) to compare 12 real projects from the Mediterranean region. *Operational Research International Journal (ORIJ), 4(2), 119-145*
- [IV.65] Kahraman, C. & Kaya, I. (2010). A fuzzy multicriteria methodology for selection among energy alternatives. *Expert Systems with Applications, 37, 6270-6281.*
- [IV.66] Lee, S. K., Mogi, G., & Kim, J. W. (2009). Decision support for prioritizing energy technologies against high oil prices: A fuzzy analytic hierarchy process approach. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 22(6), 915-920.*

- [IV.67] Wang, J., Jing, Y., & Zhao, J. (2009). Multi Criteria Evaluation Model of Renewable Energy Power Plants Based on ELECTRE Method. *ASME 2009 3rd International Conference on Energy Sustainability collocated with the Heat Transfer and InterPACK09 Conferences (ES2009), ES2009-90104, 467-473.*
- [IV.68] Madlener, R., Antunes, C. H., & Dias, L. C. (2009). Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research, 197(3), 1084-1094.*
- [IV.69] McDaniels, T. L. (1996). A multiattribute index for evaluating environmental impacts of electric utilities. *Journal of Environmental Management, 46, 57-66.*
- [IV.70] Meesad, P., & Yen, G. (2003). Combined numerical and linguistic knowledge representation and its application to medical diagnosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, 33(2), 206-222.*
- [IV.71] Cowan, K., Daim, T., & Anderson, T. (2010). Exploring the impact of technology development and adoption for sustainable hydroelectric power and storage technologies in the Pacific Northwest United States. *Energy, 35(12), 4771-4779.*
- [IV.72] Palma, J., Graves, A. R., Burgess, P. J., Werf, W., & Herzog, F. (2007). Integrating environmental and economic performance to assess modern silvoarable agroforestry in Europe. *Ecological Economics, 63, 759-767.*
- [IV.73] Zadeh, L. (1996). Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 94(2), 103-111.*
- [IV.74] Ghafghazi, S., Sowlati, T., Sokhansanj, S., & Melin, S. (2010). A multicriteria approach to evaluate district heating system options. *Applied Energy, 87(4), 1134-1140.*
- [IV.75] Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multi-criteria decision making. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 18, 183-190.*
- [IV.76] Li, D.-F., & Sun, T. (2007). Fuzzy linmap method for multiattribute group decision making with linguistic variables and incomplete information. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 15(2), 153-173.*

- [IV.77] Roulet, C. A. (2002). ORME: A multi-criteria rating methodology for buildings. *Building and Environment*, 37, 579 - 586.
- [IV.78] Xu, Z. (2006). Incomplete linguistic preference relations and their fusion. *Information Fusion*, 7(3), 331–337.
- [IV.79] Lee, S. K., Mogi, G., Lee, S. K., & Kim, J. W. (2011). Prioritizing the weights of hydrogen energy technologies in the sector of the hydrogen economy by using a fuzzy AHP approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(2), 1897-1902.
- [IV.80] Pohekar, S. D., & Ramachandran, M. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8, 365-381.
- [IV.81] Salo, A., Gustafsson, T., & Ramanathan, R. (2003). Multicriteria Methods for Technology Foresight. *Journal Of Forecast*, 22, 235-255.
- [IV.82] Wong, J. K. W., & Li, H. (2008). Application of the analytic hierarchy process (AHP) in multi-criteria analysis of the selection of intelligent building systems. *Building and Environment*, 43(1), 108-125
- [IV.83] Siskos, J., & Hubert, Ph. (1983). Multi-criteria analysis of the impacts of energy alternatives: A survey and a new comparative approach. *European Journal of Operational Research*, 13(3), 278-299.
- [IV.84] Vahdani, B., Zandieh, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2001). Two novel FMCDM methods for alternative-fuel buses selection. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1396-1412.
- [IV.85] Goumas, M., & Lygerou, V. (2000). An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 606-613

- [IV.86] Nixon, J. D., Dey, P. K., & Davies, P. A. (2010). Which is the best solar thermal collection technology for electricity generation in north-west India? Evaluation of options using the analytical hierarchy process. *Energy*, 35(12), 5230-5240.
- [IV.87] Baniyas, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N., & Tarsenis, S. (2010). Assessing multiple criteria for the optimal location of a construction and demolition waste management facility. *Building and Environment*, 45(10), 2317-2326
- [IV.88] Heo, E., Kim, J., & Boo, K. (2010). Analysis of the assessment factors for renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2214-2220.
- [IV.89] Beccali, M., Cellura M., & Mistretta, M. (2003). Decision-making in energy planning. Application of the Electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy*, 28(13), 2063-2087
- [IV.90] Cavallaro, F. (2010). A comparative assessment of thin-film photovoltaic production processes using the ELECTRE III method. *Energy Policy*, 38(1), 463-474
- [IV.91] Gerdri, N., & Kocaoglu, D. F. (2007). Applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to build a strategic framework for technology roadmapping. *Mathematical and Computer Modelling*, 46(7-8), 1071-1080.
- [IV.92] Karakosta, C., Doukas, H., & Psarras, J. (2008). A decision support approach for the sustainable transfer of energy technologies under the Kyoto protocol. *American Journal of Applied Sciences*, 5(12), 1720-1729.
- [IV.93] Madlener, R., Kowalski, K., & Stagl, S. (2007). New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios: The case of renewable energy use in Austria. *Energy Policy*, 35(12), 6060-6074.
- [IV.94] Patlitzianas, K. D., & Psarras, J. (2007). Formulating a modern energy companies' environment in the EU accession member states through a decision support methodology. *Energy Policy*, 35(4), 2231-2238.
- [IV.95] Phillis, Y. A., & Andriantiatsaholiniaina, L. A. (2001). Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic. *Ecological Economics*, 37, 435-456.

- [IV.96] Sadeghzadeh, K., & Salehi, M. B. Mathematical analysis of fuel cell strategic technologies development solutions in the automotive industry by the TOPSIS multi-criteria decision making method. *International Journal of Hydrogen Energy, Article in Press.*
- [IV.97] Theodorou, S., Florides, G., & Tassou, S. (2010). The use of multiple criteria decision making methodologies for the promotion of RES through funding schemes in Cyprus. *Energy Policy, 38, (12), 7783-7792.*
- [IV.98] White, L., & Lee, G. J. (2009). Operational research and sustainable development: Tackling the social dimension. *European Journal of Operational Research, 193, 3, 683-692.*
- [IV.99] Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., & Diakoulaki, D. (1998). Design and implementation of a group DSS for sustaining renewable energies exploitation. *European Journal of Operational Research, 109, 483-500.*
- [IV.100] Karakosta, C., Doukas, H., & Psarras, J. (2009). Sustainable energy technologies in Israel under the CDM: needs and prospects. *Renewable Energy, 34(5), 1399-1406.*
- [IV.101] Karakosta, Ch., & Askounis, D. (2010). Challenges for energy efficiency under programmatic CDM: case study of a CFL project in Chile. *International Journal of Energy and Environment, 1(1), 149-160*
- [IV.102] Avgelis, A., & Papadopoulos, A. M. (2009). Application of multicriteria analysis in designing HVAC systems. *Energy and Buildings, 41(7), 774-780*
- [IV.103] Bojković, N., Anić, I., & Pejčić-Tarle, S. (2010). One solution for cross-country transport-sustainability evaluation using a modified ELECTRE method. *Ecological Economics, 69(5), 1176-1186*
- [IV.104] Niu, D., Li, J., Li, J., & Liu, D. (2009). Middle-long power load forecasting based on particle swarm optimization. *Computers & Mathematics with Applications, 57(11-12), 1883-1889*
- [IV.105] Peláez, J. I., & Doña, J. M. (2003). LAMA: A linguistic aggregation of majority additive operator. *International Journal of Intelligent Systems, 18(7), 809-820.*



- [IV.106] Beynon, M. J., & Wells, P. (2008). The lean improvement of the chemical emissions of motor vehicles based on preference ranking: A PROMETHEE uncertainty analysis. *Omega*, 36, 384-394
- [IV.107] Karagiannidis, A., & Perkoulidis, G. (2009). A multi-criteria ranking of different technologies for the anaerobic digestion for energy recovery of the organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource Technology*, 100, 2355-2360.
- [IV.108] Liu, K. F. R., & Lai, J. (2009). Decision-support for environmental impact assessment: A hybrid approach using fuzzy logic and fuzzy analytic network process. *Expert Systems with Applications*, 36(3), Part 1, 5119-5136.
- [IV.109] Papadopoulos, A., & Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method ELECTRE III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36(5), 766-776.
- [IV.110] Diakoulaki, D., Georgiou, P., Tourkolias, C., Georgopoulou, E., Lalas, D., Mirasgedis, S., & Sarafidis Y. (2007). A multicriteria approach to identify investment opportunities for the exploitation of the clean development mechanism. *Original Research Article Energy Policy*, 35(2), 1088-1099.
- [IV.111] Tuzkaya, G., Ozgen, A., Ozgen, D., & Tuzkaya, U. R. (2009). Environmental performance evaluation of suppliers: A hybrid fuzzy multi-criteria decision approach. *International Journal of Environmental Science and Technology* 6(3), 477-490.
- [IV.112] Van den Bergh, J. C. J. M., Ferrer-i-Carbonell, A., & Munda, G. (2000). Alternative models of individual behaviour and implications for environmental policy. *Ecological Economics* 32(1), 43-61.
- [IV.113] Cavallaro, F. (2009). Multi-criteria decision aid to assess concentrated solar thermal technologies. *Renewable Energy*, 34, 1678-1685.
- [IV.114] Diakoulaki, D., & Karangelis, F. (2007). Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(4), 716-727.

- [IV.115] Diakoulaki, D., & Koumoutsos, N. K. (1991). Cardinal ranking of alternative actions: extension of the PROMETHEE method. *European Journal of Operational Research*, 53(3), 337-347.
- [IV.116] Doukas, H., Patlitzianas, K. D., Psarras, J. (2006). Supporting the Sustainable Electricity Technologies in Greece Using MCDM, *Resources Policy*, 31(2), pp. 129-136, 2006.
- [IV.117] Golabi K., Kirkwood, C. W., & Sicherman, A. (1981). Selecting a portfolio of solar energy projects using multiattribute preference theory. *Management Science*, 27, 174-189.
- [IV.118] Martin, J. M., Fajardo, W., Blanco, A., & Requena, I. (2003). Constructing Linguistic Versions for the Multicriteria Decision Support Systems Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation I and II. *International Journal of Intelligent Systems*, 18, 711-731.
- [IV.119] Erol, I., Sencer, S., & Sari, R. (2011). A new fuzzy multi-criteria framework for measuring sustainability performance of a supply chain. *Ecological Economics*, Article in Press
- [IV.120] Loken, E., Botterud, A., & Holen, A.T. (2009). Use of the equivalent attribute technique in multi-criteria planning of local energy systems. *European Journal of Operational Research*, 197(3), 1075-1083.
- [IV.121] Herrera, F., Herrera-Viedma, E., & Martínez, L. (2002). Representation models for aggregating linguistic information: issues and analysis. In Calvo, T., Mayor, G., Mesiar, R. (Eds.), *Aggregation operators: new trends and applications* (pp. 245 – 259). Physica-Verlag GmbH Heidelberg, Germany, Germany, 2002
- [IV.122] Kaminaris, S. D., Tsoutsos, T. D., Agoris, D., & Machias, A. V. (2006). Assessing renewables-to-electricity systems: A fuzzy expert system model, *Energy Policy*, 34(12), 1357-1366.
- [IV.123] Kahraman, C., Kaya, I., & Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.

- [IV.124] Kaya, T., & Kahraman, C. (2011b). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology. *Expert Systems with Applications*, 38(6), 6577-6585.
- [IV.125] Lee, S. K., Mogi, G., Kim, J. W., & Gim, B. J. (2008). A fuzzy analytic hierarchy process approach for assessing national competitiveness in the hydrogen technology sector. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(23), 6840-6848.
- [IV.126] Lee, S. K., Yoon, Y. J., & Kim, J. W. (2007). A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach. *Energy Policy*, 35(5), 2862-2868.
- [IV.127] White, L., & Lee, G. J. (2009). Operational research and sustainable development: Tackling the social dimension. *European Journal of Operational Research*, 193, 3, 683-692.
- [IV.128] Barin, A., Canha, L. N., Abaide, A. d. R., Magnag, K. F., & Wottrich, B. (2009). Multicriteria Analysis of the Operation of Renewable Energy Sources taking as basis the AHP Method and Fuzzy Logic concerning Distributed Generation Systems. *The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE)*, 1, 1.
- [IV.129] Awasthi, A., Chauhan, S. S., & Goyal, S. K. (2010). A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 370-378.
- [IV.130] Gao, D., Jin, Z., & Lu, Q. (2011). Energy management strategy based on fuzzy logic for a fuel cell hybrid bus. *Power Sources*, 185(1), 311-317.
- [IV.131] Chu, T. C. (2002). Facility location selection using fuzzy TOPSIS under group decision. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 10(6), 687-701.
- [IV.132] Khodabakhshi, B., & Jafari, H.R. (2010). Impact Assessment of Water Resources Development Projects Using the Electre\_TRI Model (A Case Study of Ardebil Reservoir, Drainage, and Irrigation Network). *Water and wastewater*, 21, 3(75), 64-74.

- [IV.133] Vaillancourt, K., & Waaub, J. (2004). Equity in international greenhouse gases abatement scenarios: a multicriteria approach. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 489-505.
- [IV.134] Martínez, L., Liu, J., Yang, J.-B., & Herrera, F. (2005). A multigranular hierarchical linguistic model for design evaluation based on safety and cost analysis. *International Journal of Intelligent Systems*, 20(12), 1161-1194.
- [IV.135] Zongxin, W., & Zhihong, W. (1997). Mitigation Assessment Results and Priorities for China's Energy Sector, *Applied Energy*, 1, 56(3-4), 237-251.
- [IV.136] Tzeng, G., Lin, C., & Opricovic, S. (2005). Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy Policy*, 33(11), 1373-1383.
- [IV.137] Konidari, P., & Mavrakis, D.A (2007). Multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy*, 35, 6235-6257.
- [IV.138] Kaya, T., & Kahraman, C. (2011a). An integrated fuzzy AHP-ELECTRE methodology for environmental impact assessment . *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8553-8562.
- [IV.139] Mirasgedis, S., & Diakoulaki, D. (1997). Multicriteria analysis vs. externalities assessment for the comparative evaluation of electricity generation systems. *European Journal of Operational Research*, 102(2), 364-379.
- [IV.140] Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*, 37(5), 1587-1600.
- [IV.141] Badea, A. C., C. M. Rocco S., Tarantola, S., & Bolado, R. (2011). Composite indicators for security of energy supply using ordered weighted averaging. *Reliability Engineering & System Safety*, Article in Press.



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ V: ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

## 5.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΠΟΛΙΤΙΚΗ

### 5.1.1. Επιδιώξεις

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι η ενεργειακή αγορά της Ελλάδας βρίσκεται σε στάδιο μετεξέλιξης, στο πλαίσιο της πορείας για απελευθέρωση και για την άμβλυνση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής. Συνοπτικά, με βάση την κωδικοποίηση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο IV, οι βασικές ενεργειακές επιδιώξεις είναι οι ακόλουθες [1-4]:

*E.1. Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου:* Η Ελλάδα έχει ήδη ξεπεράσει το ποσοστό που δεσμεύεται από το Πρωτόκολλο του Κιότο το οποίο λειτουργεί βάση των εκπομπών της χώρας το 1990. Βασική πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα, αποτελεί ο τομέας της ενέργειας, ο οποίος συμβάλλει κατά 78,8% στις συνολικές εκπομπές, με την ενεργειακή βιομηχανία να κατέχει το 56% και τις μεταφορές το 24,7%. Η ΔΕΗ συμμετέχει κατά 71% στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών CO<sub>2</sub> και εκπέμπει το 54% του συνόλου αερίων του θερμοκηπίου της χώρας. Το πρώτο Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) εφαρμόστηκε για την περίοδο 2005-2007, το οποίο εγκρίθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και προβλέπει μείωση των εκπομπών ρύπων θερμοκηπίου κατά 2,1%, ενώ για την περίοδο 2008-2012 προτείνεται μια αυστηρότερη κατανομή, μέσω του δεύτερου σχεδίου κατανομής κατά το οποίο προβλέπεται από την Ελλάδα δέσμευση για τον περιορισμό της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου κατά 25% σε σχέση με τις εκπομπές του έτους βάσης. Η τρίτη φάση αφορά την χρονική περίοδο 2012-2020. Για αυτή την περίοδο η ενεργειακή πολιτική αποσκοπεί στην αύξηση της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο 20%, στην εξοικονόμηση της ενέργειας κατά 20% και μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων κατά 20%. Από την άλλη, η προώθηση των ΑΠΕ αποτελεί βασική ενεργειακή επιδίωξη στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ από τις ήδη υπογεγραμμένες συμβάσεις έργων ΑΠΕ αναμένεται ετήσια μείωση εκπομπών κατά 700.000 tn CO<sub>2</sub>. Τέλος, είναι δυνατόν η Ελλάδα να πετύχει τους στόχους της αξιοποιώντας παράλληλα και κάποιους από τους λεγόμενους «ευέλικτους μηχανισμούς» του Πρωτοκόλλου του Κιότο, όπως η Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών, ο Μηχανισμός Καθαρής Ανάπτυξης και τα Προγράμματα από Κοινού.

*E.2. Μείωση των Επιδράσεων στο Φυσικό Περιβάλλον:* Η βιώσιμη ανάπτυξη αποτελεί ευθύνη της Πολιτείας και θα πρέπει να εξασφαλισθεί με νομοθετήματα, τροποποιήσεις του θεσμικού πλαισίου και υποστηρικτικές δράσεις. Προς την κατεύθυνση αυτή ποικίλες είναι οι επιδιώξεις της Ελληνικής Πολιτείας, καλύπτοντας ένα ευρύ πεδίο δράσεων, όπως δράσεις για την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, τη διατήρηση και αποκατάσταση του φυσικού κεφαλαίου, την πρόληψη για την αποφυγή περιβαλλοντικών ανισοροπιών, τη βελτίωση της λειτουργίας των επιτροπών παρακολούθησης και τη δημιουργία σώματος ελεγκτών περιβάλλοντος, τη διατήρηση της φέρουσας ικανότητας των οικοσυστημάτων, τη διατήρηση των σπουδαιότερων πολιτιστικών στοιχείων, τη διατήρηση της ποιότητας ζωής στις πόλεις, τη διατήρηση και προστασία του τοπίου με παρεμβάσεις που δεν αλλοιώνουν τον τοπικό χαρακτήρα, τη διαχείριση αποβλήτων και την προώθηση νέων τεχνολογιών για την ΕΞΕΝ και

την καθιέρωση της οικολογικής συνείδησης των πολιτών. Επίσης, επιδιώκεται η ολοκλήρωση και θεσμοθέτηση του Εθνικού Χωροταξικού Σχεδίου, όπως επίσης και των συναφών με τη θεματική του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ειδικών Χωροταξικών Σχεδίων για τον τουρισμό, τις ΑΠΕ και τη μεταποίηση, που εκτιμάται ότι θα συμβάλλει καθοριστικά στην επίλυση κρίσιμων προβλημάτων χωροθέτησης των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων.

*E.3. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Απασχόληση:* Η Ελλάδα βρίσκεται στην 25<sup>η</sup> θέση στη συνολική κατάταξη με βάση τους στοχοδείκτες της ατζέντας της Λισσαβόνας. Τα κυριότερα προβλήματα της ελληνικής οικονομίας που εξηγούν τη θέση αυτή είναι η χαμηλή παραγωγικότητα, η αδυναμία αντιμετώπισης του διεθνούς ανταγωνισμού, η περιορισμένη ικανότητα ενσωμάτωσης νέων τεχνολογιών, η αναποτελεσματικότητα συντονισμού των εμπλεκόμενων και η αδυναμία προσέλκυσης ξένων επενδύσεων. Η βελτίωση της προσβασιμότητας δικτύων και υπηρεσιών γενικού οικονομικού συμφέροντος, στο τομέα της ενέργειας, αποτελούν απαραίτητα εργαλεία για αύξηση της ανταγωνιστικότητας της ελληνικής οικονομίας, δεδομένου ότι δημιουργούνται ευνοϊκότερες συνθήκες για την ανάπτυξη επιχειρηματικής δραστηριότητας, σε συνθήκες ανταγωνισμού. Επιδίωξη αποτελεί η δημιουργία δυναμικών, ευέλικτων και καινοτόμων μικρό-μεσαίων επιχειρήσεων στον τομέα της ενέργειας γενικά και των ΑΠΕ ειδικότερα, αν και ο ρυθμός δημιουργίας τέτοιων επιχειρήσεων είναι ακόμα χαμηλός, παρά τις πρωτοβουλίες που έχουν ληφθεί με παροχή κινήτρων μέσω αναπτυξιακών νόμων και επιχειρησιακών προγραμμάτων. Επιπλέον, το ποσοστό του εργατικού δυναμικού στην Ελλάδα στο σύνολο του πληθυσμού ηλικίας 15 ετών και άνω είναι 53,2% τον Οκτώβριο του 2011. Το ποσοστό ανεργίας των γυναικών (21.3%), εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερο από εκείνο των ανδρών (15.%). Το ποσοστό των «νέων ανέργων», δηλαδή όσων εισέρχονται για πρώτη φορά στην αγορά εργασίας αναζητώντας απασχόληση, ανέρχεται στο 28,2% του συνόλου των ανέργων. Η ενίσχυση της αγοράς ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να συμβάλει στην άμβλυνση αυτών των ποσοστών.

*E.4. Τοπική και Περιφερειακή Οικονομική Ανάπτυξη:* Οι ελληνικές περιφέρειες, λόγω μικρού μεγέθους και συγκεκριμένων αδυναμιών που παρουσιάζουν, συνιστούν οικονομικές οντότητες ευάλωτες στον ανταγωνισμό στο εσωτερικό της ΕΕ, ενώ η παραγωγικότητα τους κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα, ως προς το μέσο κοινοτικό όρο. Η ανάπτυξη περιφερειακών πόλων με ισχυρή ανταγωνιστικότητα θα ενισχύσει τη συνολική εθνική ανταγωνιστικότητα. Άμεση επιδίωξη για την Ελλάδα αποτελεί η αξιοποίηση των δυνατοτήτων της ελληνικής περιφέρειας, με την προώθηση δράσεων εστιασμένων στις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά της κάθε περιφέρειας. Οι ΑΠΕ, με τον αποκεντρωμένο χαρακτήρα τους, μπορούν να έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην προώθηση ολοκληρωμένης στρατηγικής για την καινοτομία σε περιφερειακό επίπεδο και στη δημιουργία νέων επιχειρηματικών δραστηριοτήτων, με βάση την παραχθείσα γνώση.

*E.5. Χαμηλές Τιμές Αγοράς Ενέργειας:* Άμεση προτεραιότητα αποτελεί η ολοκλήρωση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας με στόχο την εξασφάλιση του υγιούς ανταγωνισμού, που συνεπάγεται χαμηλές τιμές για τον Έλληνα πολίτη και ανταγωνιστικότητα για τα ελληνικά βιομηχανικά προϊόντα. Επιπλέον, έμφαση πρέπει να δοθεί στη στήριξη της έρευνας και ανάπτυξης για την προώθηση νέων τεχνολογιών, όπως είναι οι ΑΠΕ, με τις οποίες η παραγόμενη ενέργεια θα είναι πολύ πιο οικονομική. Επίσης, πρέπει να προωθηθούν προγράμματα με τα οποία το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων παραγωγής θα μειωθεί, λαμβάνοντας υπόψη τα μακροπρόθεσμα οικονομικά και κοινωνικά κέρδη από τις χαμηλότερες τιμές ενέργειας. Τέτοια προγράμματα που αφορούν

στην επιδότηση ποσοστού του κόστους εγκατάστασης, φορολογικές απαλλαγές, φορολογικές εξαιρέσεις, και παροχή δανείων με ευνοϊκές ρυθμίσεις είναι ήδη σε εφαρμογή για τις ΑΠΕ.

**Ε.6. Ενεργειακή Επάρκεια (Αυτοτέλεια):** Η κυριότερη εγχώρια πηγή καυσίμου είναι ο λιγνίτης και σήμερα η Ελλάδα αναγκάζεται να εισάγει μεγάλες ποσότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου για να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες, ενώ πολλές φορές ειδικότερα σε περιόδους αιχμής αγοράζει ηλεκτρικό ρεύμα από τις γειτονικές χώρες (Αλβανία, Βουλγαρία και Ρουμανία). Η ενίσχυση της ασφάλειας και της επάρκειας του ενεργειακού εφοδιασμού παρέχει την απαραίτητη ασφάλεια ανάπτυξης της ελληνικής οικονομίας, προσφέρει ενδυνάμωση του γεωστρατηγικού ρόλου της χώρας στον ενεργειακό χάρτη και μεγιστοποιεί τα ανακλαστικά και τις δυνατότητες αντίδρασης της Ελλάδας έναντι κινδύνων και απειλών. Δράσεις για την επίτευξη των στόχων αυτών και της μείωσης της εξάρτησης της χώρας από το πετρέλαιο, είναι η προώθηση των ενεργειακών δικτύων του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού και η περαιτέρω διεξόδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς και ΕΞΕΝ και η βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας.

## 5.2 ΧΑΡΑΚΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

### 5.2.1 Τύποι Προγραμμάτων

Στο παραπάνω πλαίσιο, και με βάση την κωδικοποίηση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο IV, τα προγράμματα που εφαρμόζονται στην Ελλάδα είναι τα ακόλουθα [5, 6]:

- ΗΠ.1. Εξαναγκασμένη Παραγωγή:** Το πρόγραμμα αυτό βασίζεται στην λογική ότι ένα συγκεκριμένο ποσοστό παραγωγής ενέργειας πρέπει υποχρεωτικά να κατευθύνεται από ΑΠΕ. Το πρόγραμμα αυτό εντοπίζεται σε συγκεκριμένες δράσεις του ΥΠΑΝ που ακριβώς αφορούν στις επενδύσεις ΑΠΕ. Σήμερα έχουμε με άδεια παραγωγής σε ισχύ 4337MW φωτοβολταϊκά και 100MW είναι στο στάδιο αξιολόγησης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι από το 2012 έως το 2050 υπάρχει η απαίτηση για συνολική διεξόδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 60%-70%.
- ΗΠ.2. Περικοπή στην Κατανάλωση Καυσίμων:** Το πρόγραμμα αυτό, που περιλαμβάνει την παύση της χρήσης ενός συγκεκριμένου καυσίμου, είναι ρυθμιστικό πρόγραμμα που πλέον δε συνάδει με το σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα. Η χρήση του εντοπίζεται στο παρελθόν και δεν αναμένεται να χρησιμοποιηθεί με σε εκτεταμένη βάση στο μέλλον.
- ΗΠ.3. Εξαναγκασμένο Κλείσιμο Σταθμών:** Το πρόγραμμα αυτό ουσιαστικά προτείνει το κλείσιμο σταθμών παραγωγής ενέργειας που ρυπαίνουν το περιβάλλον, με βάση κάποιο συγκεκριμένο όριο ρύπανσης. Μπορεί σποραδικά να έχει χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα στο παρελθόν αλλά στις σύγχρονες συνθήκες της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας τα νομοθετικά προγράμματα που χρησιμοποιούνται πρέπει να βασίζονται στους νόμους της αγοράς.
- ΗΠ.4. Εμπορία Πιστοποιητικών:** Στην Ελλάδα σήμερα υπάρχει το χρηματιστήριο ρύπων και μέσω του συστήματος αυτού γίνεται εμπόριο εκπομπών διοξειδίου



του άνθρακος, που παράγονται από βιομηχανίες και βιοτεχνίες. Αυτό αποτελεί ένα πρώτο μέτρο και η επιτυχημένη εφαρμογή του αναμένεται να οδηγήσει στο κοντινό μέλλον και στην εφαρμογή του συστήματος πιστοποίησης συγκεκριμένου ποσοστού παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας από τους διαπιστευμένους παραγωγούς με χρήση των ROCs (Renewable Obligation Certificates – Πιστοποιητικά ανανεώσιμης υποχρέωσης).

- ΗΠ.5. Φορολογικές Ελαφρύνσεις για Αγοραστές Πράσινης Ενέργειας:* Το πρόγραμμα, που βασίζεται στις φοροελαφρύνσεις για τους αγοραστές ενέργειας παραγόμενης από ΑΠΕ δεν έχει ακόμα ξεκινήσει να εφαρμόζεται στην Ελλάδα, με δεδομένο ότι η αγορά πράσινης ενέργειας είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια.
- ΗΠ.6. Άμεσες Επιδοτήσεις:* Υπάρχει η δυνατότητα επιδότησης του λειτουργικού κόστους μιας νέας επιχείρησης για τα 5 πρώτα χρόνια λειτουργίας αυτής έως και 2.000.000 Ευρώ. Οι δαπάνες της επένδυσης θα πρέπει να ξεκινούν μετά την έγκριση της επιχορήγησης κι όχι μετά την υποβολή του φακέλου της πρότασης για επιχορήγηση. Η καταβολή της δημόσιας επιχορήγησης σε ένα επενδυτικό έργο γίνεται σε δύο ισόποσες δόσεις (με την ολοκλήρωση του έργου και μετά την επίσημη πιστοποίηση και έναρξη εμπορικής λειτουργίας του). Τα ποσοστά της επιχορήγησης θα ακολουθήσουν το νέο χάρτη περιφερειακών ενισχύσεων, όπως αυτός συμφωνήθηκε από την ελληνική πολιτεία με αρμόδια όργανα της ΕΕ. Τα ποσοστά ενισχύσεων ανά Περιφέρεια, καθορίστηκαν ως 40% για Δυτική Ελλάδα, Ανατολική Μακεδονία-Θράκη, Ήπειρο, 30% για Θεσσαλία, Κρήτη, Ιόνια Νησιά, Στερεά Ελλάδα και νησιά Αιγαίου και 20% για τους νομούς Αττικής και Θεσσαλονίκης, πλην των Βιομηχανικών Επιχειρηματικών Περιοχών (Β.Ε.ΠΕ).
- ΗΠ.7. Επιταχυνόμενη Απόσβεση:* Με βάση το νέο αναπτυξιακό νόμο παρέχεται επιδότηση τμήματος των καταβαλλόμενων μισθωμάτων χρηματοδοτικής μίσθωσης (leasing), που συνάπτεται για την αγορά καινούργιου μηχανολογικού εξοπλισμού, καθώς και επιδότηση του κόστους της δημιουργούμενης απασχόλησης. Μπορεί, επίσης, να επιχορηγηθεί το σύνολο του κόστους εγκατάστασης ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του κόστους σύνδεσης με τη Δ.Ε.Η. Τα μέτρα αυτά ουσιαστικά πετυχαίνουν τη μείωση του κόστους επένδυσης για τα έργα ΑΠΕ και επιταχύνουν την απόσβεση τους.
- ΗΠ.8. Φορολογικές Μειώσεις:* Μια σειρά από φορολογικές μειώσεις προβλέπονται για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας επενδύσεων σε ΑΠΕ. Τα Φ/Β συστήματα απαλλάσσονται από την καταβολή του ειδικού τέλους επί της πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 2,5% τα πρώτα 5 χρόνια και κατά 3,0% στη συνέχεια. Επίσης, φοροαπαλλαγή ποσοστού 80% της δαπάνης προβλέπεται για την αγορά και εγκατάσταση οικιακών Φ/Β συστημάτων. Επιπλέον, οι αποφορολογημένες ποσότητες βιοντήζελ για το 2005 ανέρχονται σε 51.000 m<sup>3</sup>, ενώ για τα έτη 2006 και 2007 έχουν οριστεί στα 91.000 και 114.000 m<sup>3</sup>, αντίστοιχα.
- ΗΠ.9. Παροχή Δανείων με Ευνοϊκές Ρυθμίσεις:* Το πρώτο πακέτο «πράσινων» χρηματοδοτικών προϊόντων στην Ελλάδα παρουσίασε η Τράπεζα Πειραιώς και αναμένεται στο άμεσο μέλλον να ακολουθήσουν και άλλες τράπεζες. Τα προϊόντα αυτά απευθύνονται τόσο σε επιχειρήσεις όσο και σε ιδιώτες και εντάσσονται στο πλαίσιο ενός προγράμματος δράσεων της Τράπεζας για την προστασία του περιβάλλοντος και ειδικότερα την αξιοποίηση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στο πλαίσιο αυτό η τράπεζα χρηματοδοτεί ενεργειακές επενδύσεις σε ΑΠΕ είτε αυτά εντάσσονται σε αναπτυξιακά προγράμματα είτε καλύπτονται εξ ολοκλήρου από ίδια κεφάλαια και τραπεζικό δανεισμό. Πρόκειται για δάνεια που

διακρίνονται για την ευελιξία στον τρόπο αποπληρωμής τους (έως και 15 χρόνια) αλλά και στις εξασφαλίσεις που απαιτούνται, τη δυνατότητα περιόδου χάριτος (ώστε να έχει ολοκληρωθεί η υπογραφή της σύμβασης του ιδιώτη με τη ΔΕΣΜΗΕ) και βέβαια για τη σημαντικά χαμηλότερη τιμολόγησή τους από τα υπόλοιπα χορηγικά προϊόντα της Τράπεζας.

- ΗΠ.10. Σταθερές Τιμές Τιμολογίων:* Εισάγονται αυξημένες σταθερές τιμές αγοράς της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ για τεχνολογίες με αυξημένο κόστος εγκατάστασης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, η τιμή της ηλιακής κιλοβατώρας (kWh) ανέρχεται σε 0,40-0,50 και είναι εγγυημένη για μια εικοσαετία. Η τιμή αυτή αναπροσαρμόζεται κάθε έτος με βάση το μέσο ποσοστό αναπροσαρμογής των τιμολογίων της ΔΕΗ, που εγκρίνεται κάθε φορά από τον υπουργό Ανάπτυξης. Αν δεν υπάρξει μεταβολή των τιμολογίων της ΔΕΗ, οι ανωτέρω τιμές αναπροσαρμόζονται ετησίως κατά ποσοστό ίσο προς το 80% του δείκτη τιμών καταναλωτή, όπως ανακοινώνεται από την Τράπεζα της Ελλάδος.
- ΗΠ.11. Φορολογικές Εξαιρέσεις:* Το πρόγραμμα, που αφορά στην παραγωγή ηλεκτρισμού (από ΑΠΕ), με αφορολόγητες τις kWh από ένα όριο και πάνω δεν εφαρμόζεται ακόμα στην Ελλάδα, καθώς η αγορά «πράσινης» ενέργειας είναι ακόμα σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης.
- ΗΠ.12. Ανταγωνιστικές Προσφορές Μακροχρόνιων Ενεργειακών Συμβολαίων:* Στο πλαίσιο του Ε.Π.Α.Ν του ΚΠΣ III ο Υπουργός Ανάπτυξης προκηρύσσει διεθνείς ανοιχτούς διαγωνισμούς όπου οι ενδιαφερόμενοι καλούνται εντός καταληκτικής ημερομηνίας να καταθέσουν τις προσφορές τους.
- ΗΠ.13. Πράσινη Τιμολόγηση:* Το μη-νομοθετικό αυτό πρόγραμμα υλοποιείται με πρωτοβουλία ιδιωτών, για να προμηθεύονται ενέργεια από ΑΠΕ, είτε εξ' ολοκλήρου, είτε εν μέρει. Στην ελληνική ενεργειακή αγορά ακόμα δεν εφαρμόζεται, καθώς η περιβαλλοντική συνείδηση δεν έχει φτάσει σε σημείο ωριμότητας ώστε να καταλήγει σε ιδιωτικές συμφωνίες μεταξύ καταναλωτών και παραγωγού.
- ΗΠ.14. Πιστοποίηση:* Το νέο νομοσχέδιο εισάγει μηχανισμό για την έκδοση εγγυήσεων προέλευσης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, που θα λειτουργούν ως πιστοποιητικά καθαρής ενέργειας, αντίστοιχα με τα πιστοποιητικά αγοράς ρύπων. Η προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από εγκαταστάσεις σταθμών που λειτουργούν νόμιμα και χρησιμοποιούν ΑΠΕ, αποδεικνύεται από τους παραγωγούς της αποκλειστικά και μόνο με τις εγγυήσεις προέλευσης που εκδίδονται από τους καθορισμένους φορείς. Οι εγγυήσεις αυτές προσδιορίζουν την πηγή από την οποία παράγεται η ηλεκτρική ενέργεια και αναφέρουν την ημερομηνία και τον τόπο παραγωγής της και, στις περιπτώσεις των υδροηλεκτρικών σταθμών, την ισχύ των σταθμών αυτών.
- ΗΠ.15. Ατομική Υποχρέωση:* Η έννοια της ατομικής υποχρέωσης στην Ελλάδα περιλαμβάνει μέτρα που λαμβάνονται με πρωτοβουλία μόνο πωλητών ή καταναλωτών ενέργειας μελών περιβαλλοντικών και οικολογικών οργανώσεων όπως η Greenpeace στην Ελλάδα, η Αιτωλική Εταιρεία Προστασίας Τοπίου και Περιβάλλοντος, το Πρόγραμμα Εθελοντικής Εργασίας για το Περιβάλλον, ο Όμιλος Φίλων του Δάσους, το Δίκτυο Εθελοντισμός και Φυσικό Περιβάλλον, η Νέα Οικολογία, το Οικολογικό Δίκτυο Ελλάδας και το Κέντρο των Περιφερειών της Ευρωπαϊκής Μεσογείου για το Περιβάλλον.
- ΗΠ.16. Καταγραφή Δυναμικού ΑΠΕ:* Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), το οποίο εποπτεύεται από τη ΓΓ Έρευνας και Τεχνολογίας, έχει ως βασικό αντικείμενο και αρμοδιότητα την αποτίμηση του δυναμικού των ΑΠΕ

στην Ελλάδα και την ανάπτυξη μίας πλήρους μεθοδολογίας εκτίμησης, μέτρησης και αξιολόγησης του. Επίσης είναι υπεύθυνο για την Εθνική Έκθεση για την Προώθηση των ΑΠΕ τον Οκτώβριο κάθε έτους, ενώ η ΡΑΕ εκδίδει την Έκθεση για επίτευξη εθνικών ενδεικτικών στόχων τον Οκτώβριο κάθε 2<sup>ου</sup> έτους.

- ΗΠ.17. Συμβουλές σε Επενδυτές:* Υλοποιήθηκαν ειδικές δράσεις ενημέρωσης στο ΕΠΑΝ –ΚΠΣ II (αρχικά κυρίως για ενημέρωση των επενδυτών) και στη συνέχεια του ΕΠΑΝ - ΚΠΣ III. Επιπλέον, μεγάλος όγκος δραστηριοτήτων ενημέρωσης και διάχυσης αποτελεσμάτων υλοποιήθηκε και υλοποιείται στο πλαίσιο ευρωπαϊκών προγραμμάτων, όπως είναι το THERMIE, ALTENER, Intelligent Energy for Europe και στα Προγράμματα Πλαίσιο για την Έρευνα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Πολύ σημαντικά εργαλεία σε ευρωπαϊκό επίπεδο για τη διάδοση των πολιτικών και των τεχνολογιών ΑΠΕ και την ανταλλαγή εμπειριών στα θέματα αυτά τα τελευταία χρόνια είναι τα δίκτυα φορέων εξειδικευμένων σε γεωγραφικές ή/ και τεχνολογικές περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος, όπως είναι το EnR, το EREC, το EUREC και οι επαγγελματικές οργανώσεις, κυρίως των κατασκευαστών και των επενδυτών. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί η λεγόμενη «Campaign for Take Off» της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που είναι η πρώτη πανευρωπαϊκή καμπάνια για την προώθηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και πραγματοποιήθηκε την περίοδο 1999-2003. Δράσεις διάδοσης στην Ελλάδα έχουν υλοποιήσει πολλοί φορείς. Οι βασικότεροι είναι το ΚΑΠΕ, το ΥΠΑΝ, η ΡΑΕ, τα Περιφερειακά Ενεργειακά Κέντρα (Μακεδονίας, Θράκης, Κρήτης, Κυκλάδων), το ΤΕΕ, το ΕΜΠ, οι οικολογικές οργανώσεις και τα Επιμελητήρια.
- ΗΠ.18. Δημοσιότητα/ Διαφημιστικές Εκστρατείες:* Το ΥΠΑΝ, το ΚΑΠΕ και η ΔΕΗ προωθούν προγράμματα διαφημιστικής εκστρατείας για τη χρήση και τη σημασία των ΑΠΕ. Για αυτό το σκοπό διαθέτουν τμήματα με αποκλειστικό σκοπό την προώθηση προγραμμάτων πληροφόρησης και ευαισθητοποίησης του κοινού ως προς την χρησιμοποίηση των ΑΠΕ με μεγάλες διαφημιστικές εκστρατείες και με επίκεντρο συγκεκριμένα θέματα. Το πεδίο προώθησης και διάδοσης προσδιορίζεται γεωγραφικά με βάση τις περιοχές που εμφανίζουν υψηλό δυναμικό ΑΠΕ, αναμένεται να επιδειχθεί μεγάλο επιχειρηματικό ενδιαφέρον και έχουν παρατηρηθεί ιδιαιτερότητες ή υπέρμετρες αντιδράσεις που απετέλεσαν εμπόδια σε τοπικό/ περιφερειακό επίπεδο.
- ΗΠ.19. Βελτιωμένες Διαχειριστικές Διαδικασίες:* Απλοποιείται σημαντικά η διαδικασία αδειοδότησης για μικρούς σταθμούς ΑΠΕ, προκειμένου να επιτευχθεί ευρεία διάδοση και διασπαρμένη παραγωγή. Βελτιώνεται η αδειοδοτική διαδικασία και τίθενται προθεσμίες για τη γνωμοδότηση των εμπλεκόμενων φορέων με στόχο τη συντόμηση του χρόνου ωρίμασης των έργων. Θεσμοθετείται επιτροπή στο υπουργείο Ανάπτυξης για το συντονισμό των εμπλεκόμενων υπηρεσιών και την επιτάχυνση της υλοποίησης των έργων ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, συνιστάται Επιτροπή Προώθησης Επενδυτικών Σχεδίων Μεγάλης Κλίμακας στους τομείς ΑΠΕ και ΣΗΘΥΑ σύμφωνα με το άρθρο 19 (3468/2006).

## 5.2.2 Τεχνολογικές Δυνατότητες

Συγκεκριμένα, και με βάση την κωδικοποίηση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο IV, η υπάρχουσα κατάσταση είναι η ακόλουθη:

- HT.1. Βιοαέριο:* Τα έργα ενεργειακής αξιοποίησης βιοαερίου, που βρίσκονται σε λειτουργία στην Ελλάδα έχουν συνολική εγκατεστημένη ισχύ περίπου 44.53 MW. Τα πιο σημαντικά είναι στο ΧΥΤΑ Α. Λιοσίων (εγκατεστημένη ισχύς 13,8 MWe) και στους βιολογικούς καθαρισμούς της Ψυτάλλειας (εγκατεστημένη ισχύς 7,1 MWe) και της Θεσσαλονίκης (εγκατεστημένη ισχύς 2,5 MWe). Από το 2010 έχει παραμείνει σχεδόν στάσιμη η εγκατεστημένη ισχύς τους και το ΥΠΕΚΑ στοχεύει στην ενίσχυσή τους για αυτό και προώθησε σχετική νομοθετική ρύθμιση για την κατά προτεραιότητα εξέταση των αιτημάτων αυτών .
- HT.2. (Στερεή) Βιομάζα:* Σε εμπορική κλίμακα βρίσκεται η τεχνολογία της αεριοποίησης στερεής βιομάζας, που παράγει καύσιμο αέριο αν και δεν λειτουργούν αρκετές μονάδες, ώστε να υπάρχουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Η αεριοποίηση έχει μεγαλύτερες αποδόσεις σε ηλεκτρική ενέργεια από την καύση και ελπιδοφόρα οικονομικά αποτελέσματα σε μεγάλη κλίμακα, γι' αυτό και αποτελεί πεδίο έντονου ερευνητικού και επιδεικτικού ενδιαφέροντος. Σε στάδιο επίδειξης βρίσκεται, επίσης, κι η τεχνολογία της πυρόλυσης, η οποία παράγει βιοέλαιο από στερεή βιομάζα. Το βιοέλαιο μπορεί να καεί για παραγωγή ενέργειας σε λέβητες, μηχανές εσωτερικής καύσης ή στροβιλομηχανές (τουρμπίνες).
- HT.3. Βιο – Απόβλητα:* Στην Ελλάδα σήμερα υπάρχουν περίπου 33.000 αγελαδοτροφικές μονάδες με 723.000 ζωικό πληθυσμό, 36.000 χοιροτροφικές μονάδες με 970.000 ζωικό πληθυσμό, 100 σφαγεία, 2.700 ελαιοτριβεία, 25 πυρηνελαιουργεία και ένας σημαντικός αριθμός βιομηχανιών τροφίμων. Συνολικά 17 εκατομμύρια τόνοι οργανικών αποβλήτων θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ενεργειακά και να δώσουν βιοαέριο ικανό να τροφοδοτήσει μονάδες εγκαταστημένης ισχύος 350MW. Παρά το υψηλό αυτό δυναμικό, δεν υπάρχει καμία μονάδα διαχείρισης αγροτοβιομηχανικών αποβλήτων για παραγωγή βιοαερίου.
- HT.4. Γεωθερμικός Ηλεκτρισμός:* Η Ελλάδα εκμεταλλεύεται μέχρι σήμερα περίπου το 1% του συνολικού γεωθερμικού δυναμικού της. Στο άμεσο μέλλον, ωστόσο, μέχρι το 2010, είναι δυνατόν το αξιοποιημένο γεωθερμικό δυναμικό, μέσω άμεσων επενδύσεων, να αυξηθεί σημαντικά και να υπάρχουν για ηλεκτροπαραγωγή εγκατεστημένα, τουλάχιστον 10 MW(e) από τα μηδενικά υφιστάμενα, με 100 MW (th) για το σύνολο των θερμικών εφαρμογών, από 70 MW (th) σήμερα, με τις εφαρμογές αντλιών θερμότητας να τετραπλασιάζονται σε 20 MW (th) από τα περίπου 5 MW (th) σήμερα Παρουσιάζει σταθερή εικόνα για το πρώτο εξάμηνο του 2012 με 8 MW με άδεια παραγωγής και 340 MW αιτήσεις για άδεια παραγωγής. Αναμένεται να ενισχυθεί με τον νέο γύρο παραχωρήσεων δικαιωμάτων έρευνας του ΥΠΕΚΑ.
- HT.5. Μικρά Υδροηλεκτρικά:* Τα μικρά υδροηλεκτρικά τον Ιούνιο του 2006 κάλυπταν το 13, 6% της συνολικής δυναμικότητας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. Συγκεκριμένα, η εγκατεστημένη ισχύς ήταν 70 MW με την πλειοψηφία των έργων να βρίσκονται στις περιφέρειες της Στερεάς Ελλάδος (20,1 MW), της Δυτικής Ελλάδος (17,5 MW), της Κεντρικής Μακεδονίας (14,0MW) και της Ηπείρου (11,0 MW). Επιπλέον, σε σύμβαση αγοραπωλησίας βρίσκονται 22,5 MW, με άδεια εγκατάστασης 66,5 MW, με προσφορά σύνδεσης 161 MW και με άδεια παραγωγής 931 MW. Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος, για τη συγκεκριμένη τεχνολογία, είναι 300 MW για το 2014 και 350 MW για το 2020.
- HT.6. Μεγάλα Υδροηλεκτρικά:* Η παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ κατά το έτος 2006 κάλυπτε ποσοστό της τάξης του 12,2% του συνόλου των αναγκών της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, με τα μεγάλα υδροηλεκτρικά έργα να αποτελούν το 9,1% του ποσοστού αυτού. Δεν αναμένεται αύξηση της παραγωγής των

μεγάλων υδροηλεκτρικών, αφού έχει γίνει πλήρης σχεδόν αξιοποίηση των εκμεταλλεύσιμων σημείων.

- HT.7. Φωτοβολταϊκά:* Η διεθνής αγορά των φωτοβολταϊκών γνωρίζει μια εκρηκτική άνοδο, ενώ παράλληλα στην ελληνική αγορά αυτή η άνοδος σημειώθηκε το 2012. Συγκεκριμένα, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς μέχρι το 2002 ήταν μόλις της τάξεως των 2,37 MW, ενώ στο πλαίσιο των προκηρύξεων του ΥΠΑΝ (2002-2005) εγκρίθηκαν συνολικά 18 έργα Φ/Β συνολικής ισχύος 2,72 MW. Για το 2006, η αγορά έκλεισε στα 4,5 MW συνολικά. Τελικά η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς ανέρχεται στα 627MW εκ των οποίων τα 530 εγκαταστάθηκαν τον Μάιο του 2012. Το μεγάλο πλήθος των αιτήσεων που έχουν υποβληθεί από τότε στο ΥΠΑΝ και τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) αποτυπώνουν εμφανώς μεγάλο επενδυτικό ενδιαφέρον, καθώς και αισιοδοξία για ραγδαία αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος Φ/Β τα επόμενα χρόνια.
- HT.8. Ηλιακός - Θερμικός Ηλεκτρισμός:* Τα ηλιοθερμικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής δεν είναι ακόμα άμεσα εμπορεύσιμα. Με άδεια παραγωγής είναι 32 MW, με στόχο τα 120 MW για το 2014 και 250 MW για το 2020.
- HT.9. Κύματα και Παλίρροια:* Η τεχνικά εκμεταλλεύσιμη ενέργεια από τα κύματα για τα κράτη της ΕΕ, υπολογίζεται συνολικά σε 150-230 TWh/ έτος, από τα οποία περίπου 9 TWh/ έτος αντιστοιχούν στις ελληνικές θάλασσες. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί περίπου στο 10 % της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας. Παρ' όλα αυτά, μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει καμία τέτοια εγκατάσταση στην Ελλάδα.
- HT.10. Παράκτια Αιολικά πάρκα:* Η συνολική δυναμικότητα των εγκαταστημένων και σε λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ τον Σεπτέμβριο 2011 ανέρχεται σε 2020 MW, με τα αιολικά πάρκα να κατέχουν τα 1450 MW. Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος, σύμφωνα με την υπουργική απόφαση του 2010, για τα αιολικά είναι 4.000 MW το 2014 και 7.500 MW για το 2020.
- HT.11. Υπεράκτια Αιολικά πάρκα:* Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι επενδύσεις μεγαλύτερης κλίμακας, μεγαλύτερου τεχνολογικού ενδιαφέροντος και υψηλότερου κόστους από τα παράκτια αιολικά πάρκα και δεν έχουν ακόμη τεθεί σε εφαρμογή στην Ελλάδα. Οι κυριότεροι λόγοι που παρεμποδίζουν την εμφάνιση τέτοιων έργων είναι τα σχετικά μεγάλα βάθη των παράκτιων περιοχών της Ελλάδος, καθώς και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις στην τοπικές κοινωνίες (επιπτώσεις στην τουριστική ανάπτυξη και σε τοπικά επαγγέλματα – π.χ. ψαράδες).

### 5.2.3 Εμπλεκόμενοι

Σε αυτό το πλαίσιο, κωδικοποιημένα η υπάρχουσα κατάσταση όσον αφορά στους εμπλεκόμενους που δραστηριοποιούνται στην ενεργειακή αγορά ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ακόλουθη:

- HE.1. Παραδοσιακοί Παραγωγοί:* Στη παρούσα φάση ο μόνος που μπορεί να θεωρηθεί παραδοσιακός παραγωγός στον Ελλαδικό χώρο είναι η ΔΕΗ λόγω μεγέθους αλλά και ουσιαστικά σαν μονοπωλιακός παραγωγός ενέργειας. Η ΔΕΗ θα παραμένει τουλάχιστο για τα επόμενα χρόνια ο μοναδικός παραδοσιακός παραγωγός.

*HE.2. Ανεξάρτητοι Παραγωγοί «Πράσινης» Ενέργειας:* Σε αυτή την κατηγορία έχουν εισέλθει τα τελευταία χρόνια αρκετοί «παίκτες» είτε μόνοι είτε σε συμπράξεις. Η κύρια δραστηριότητα τους είναι τα αιολικά πάρκα. Μετά όμως το νέο αναπτυξιακό νόμο 3299/04, όπου βρίσκονται σε ευνοϊκή θέση οι επενδύσεις για εγκαταστάσεις ΑΠΕ, μεγάλοι διεθνείς και ελληνικοί όμιλοι έχουν αναπτύξει έντονο ενδιαφέρον για την απόκτηση αδειών που θα τους εξασφαλίσουν την είσοδο στην πολλά υποσχόμενη εγχώρια ενεργειακή αγορά.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι έχουν υποβληθεί επιχειρηματικά σχέδια που αντιστοιχούν σε εγκατεστημένη ισχύ άνω των 25.000 MW, η οποία ισοδυναμεί με το διπλάσιο της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος που διαθέτει από κάθε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας (λιγνίτη, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και υδροηλεκτρικά) η ΔΕΗ. Από τις άδειες αυτές αναμένεται να εγκριθεί μακροπρόθεσμα το ένα δέκατο, δηλαδή 2.500 MW, που αντιστοιχούν στο 23% της συνολικής ισχύος της ΔΕΗ.

Από ελληνικής πλευράς, ενδιαφέρον έχουν δείξει μεταξύ άλλων οι Όμιλοι ΓΕΚ - ΤΕΡΝΑ, J&P - ΑΒΑΞ, Κοπελούζου Μυτιληναίου, Ελληνική Τεχνοδομική, ενώ από το εξωτερικό έχουν ήδη εγκαταστήσει τις ανεμογεννήτριες τους σε πολλές ελληνικές κορυφογραμμές, τόσο στην ενδοχώρα όσο και σε νησιά. τρεις ισπανικές επιχειρήσεις ενέργειας - η Iberdrola, η Acciona και η Gamesa , η EDF (ο μεγαλύτερος παραγωγός ενέργειας της Γαλλίας και της Ευρώπης), η γερμανική ABB, η Eurus από την Ιαπωνία, αλλά και η E2 (ο δανέζικος παραδοσιακός παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας).

*HE.3. Μη ειδικευμένοι εμπορικοί εμπλεκόμενοι:* Οι μη ειδικευμένοι εμπορικοί εμπλεκόμενοι αντιπροσωπεύουν, ίσως, τη λιγότερο ευέλικτη ομάδα επενδυτών σε ΑΠΕ, δεδομένου ότι η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας δεν αποτελεί μέρος των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων τους. Αυτή η κατηγορία επενδυτών δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα ιδιαίτερα στην Ελλάδα, δεδομένου του εμβρυακού επιπέδου στο οποίο βρίσκεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, αλλά είναι θέμα χρόνου να αρχίσει να εκδηλώνεται έντονα το ενδιαφέρον τέτοιων επενδυτών, με βάση και τα νέα κίνητρα του αναπτυξιακού νόμου.

*HE.4. Ιδιώτες, επενδυτές σε ίδια σχέδια:* Οι ιδιώτες επενδυτές μπορούν να αποτελέσουν μια σημαντική πηγή κεφαλαίου για ανάπτυξη έργων ΑΠΕ, παρότι η οικονομική τους δυνατότητα μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα μεγάλη. Άλλωστε, οι μικροί ιδιώτες επενδυτές τείνουν να είναι πιο διαθέσιμοι να ρισκάρουν. Και αυτή η κατηγορία δεν έχει αναπτυχθεί ακόμα ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Με την περαιτέρω ανάπτυξη όμως των ΑΠΕ σε συνδυασμό με τα κίνητρα που παρέχονται από το νέο αναπτυξιακό νόμο εκτιμάται ότι θα αρχίζουν να παρουσιάζονται επενδυτικές ευκαιρίες που θα αποτελεί κίνητρο για αυτή την κατηγορία. Αυτοί θα μπορούν να είναι βιομήχανοι-βιοτέχνες, γεωργικοί συνεταιρισμοί, Δήμοι που διαθέτουν χώρο για εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων για δική τους χρήση και για μεταπώληση του τυχόν πλεονάζοντος ρεύματος στη ΔΕΗ.

*HE.5. Ιδιώτες, επενδυτές ως μέτοχοι σε σχέδια:* Δεν θα διαφοροποιούνταν από τους ιδιώτες επενδυτές σε ίδια σχέδια, αν δεν εμφάνιζαν συγκεντρωτικά μία μεγαλύτερη οικονομική δύναμη αλλά και μια σχεδόν απόλυτη άρνηση για ρίσκο. Για αυτή την κατηγορία των επενδυτών ισχύουν, σε γενικές γραμμές, ότι και για τους προηγούμενους. Η εκτίμηση είναι ότι αν αρχίσουν να

δραστηριοποιούνται οι ιδιώτες, επενδυτές σε ίδια σχέδια θα παρασύρουν και τους ιδιώτες, επενδυτές ως μετόχους σε σχέδια.

Αρχικά, και για την εφαρμογή του πλαισίου αξιολόγησης των προτάσεων προώθησης ΑΠΕ διενεργείται ο προσδιορισμός των εξεταζόμενων εργαλείων προώθησης, με βάση τους τύπους προγραμμάτων και τις τεχνολογικές δυνατότητες που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο IV. Στους Πίνακες V.1 και V.2 παρουσιάζονται οι εξεταζόμενοι τύποι προγραμμάτων και οι τεχνολογικές δυνατότητες αντίστοιχα.

#### **Πίνακας V.1.** Εξεταζόμενοι Τύποι Προγραμμάτων

- Π.1** Σταθερές τιμές τιμολογίων
- Π.2** Φορολογικές μειώσεις
- Π.3.** Πιστοποίηση
- Π.4.** Βελτιωμένες διαχειριστικές διαδικασίες
- Π.5.** Καταγραφή δυναμικού ΑΠΕ
- Π.6.** Άμεσες επιδοτήσεις
- Π.7.** Παροχή δανείων με ευνοϊκές ρυθμίσεις
- Π.8.** Εμπορία πιστοποιητικών
- Π.9.** Επιταχυνόμενη απόσβεση
- Π.10.** Ανταγωνιστικές προσφορές μακροχρόνιων ενεργειακών συμβολαίων
- Π.11.** Δημοσιότητα/διαφημιστικές εκστρατείες

Συγκεκριμένα, οι 11 τύποι προγραμμάτων του Πίνακα V.1 είναι αυτοί που έχουν εφαρμογή και συνεισφορά στην προσπάθεια προώθησης των ΑΠΕ. Η μικρή συνεισφορά κάποιων μη νομοθετικών μέτρων είναι ο λόγος που δε συμπεριλήφθηκαν στην εφαρμογή ενώ το μέτρο της εξαναγκασμένης επένδυσης αποκλείστηκε καθώς η ροπή προς την απελευθέρωση των αγορών όπου το κράτος πρέπει να παίζει το ρόλο του ρυθμιστή των κανόνων δε συνάδει με τις αρχές του συγκεκριμένου προγράμματος.

Όσον αφορά στις τεχνολογικές δυνατότητες, συμπεριλήφθηκαν όλες, όπως παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα V.2.

#### **Πίνακας V.2.** Εξεταζόμενες Τεχνολογικές Δυνατότητες

- T.1** Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί
- T.2** Μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί
- T.3** Φωτοβολταικά
- T.4** Ηλιακός-θερμικός ηλεκτρισμός
- T.5** Κυματική ενέργεια
- T.6** Παράκτια αιολικά πάρκα

- T.7** Υπεράκτια αιολικά πάρκα
- T.8** Γεωθερμία
- T.9** Βιοαέριο
- T.10** Βιομάζα
- T.11** Βίο-απόβλητα

Αξιολόγηση  
Προγραμμάτων

Μετά τον προσδιορισμό των εξεταζόμενων εργαλείων προώθησης διενεργήθηκε η αξιολόγησή τους, με τη βοήθεια του πληροφοριακού συστήματος «L-DSS».

Τα κριτήρια με βάση τα οποία γίνεται η αξιολόγηση είναι οι 6 ενεργειακές επιδιώξεις που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο Κεφάλαιο IV:

- E.1. Μείωση Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου**, στην προσπάθεια άμβλυνσης των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.
- E.2. Μείωση των Επιδράσεων στο Φυσικό Περιβάλλον**, όπως ηχορύπανση, αισθητικές παρεμβάσεις, αλόγιστη χρήση φυσικών πόρων και εκτεταμένη χρήση γης.
- E.3. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Απασχόληση**, η οποία αντικατοπτρίζεται μέσω της αύξησης της προσφοράς εργασίας.
- E.4. Τοπική και Περιφερειακή Οικονομική Ανάπτυξη**, εσωκλείοντας το βαθμό της ανάπτυξης των επιχειρήσεων λόγω των επενδύσεων στην περιοχή.
- E.5. Χαμηλές Τιμές Αγοράς Ενέργειας**, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας, καθώς και τα οικονομικά μέτρα (επιδοτήσεις) υποστηρίξις της.
- E.6. Ενεργειακή Επάρκεια (Αυτοτέλεια)**, μέσω της αντικατάστασης εισαγόμενων καυσίμων από την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση τόσο των τύπων προγραμμάτων όσο και των τεχνολογικών δυνατοτήτων χρησιμοποιήθηκε το υποσύστημα «LT-DSS», στο οποίο και έγινε η εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων αξιολόγησης.

Για τις αποδόσεις, τα βάρη και τα κατώφλια στις επιμέρους αξιολογήσεις χρησιμοποιείται 6 βάρη κλίμακα  $\{s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ .

Για τις αποδόσεις των κριτηρίων από τους εμπειρογνώμονες χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες γλωσσικές μεταβλητές: Πολύ Φτωχό (ΠΦ), Φτωχό (Φ), Μέτρια Φτωχό (ΜΦ), Μέτριο (Μ), Μέτρια Υψηλό (ΜΥ), Υψηλό (Υ), Πολύ Υψηλό (ΠΥ).

Για τα βάρη των κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες γλωσσικές μεταβλητές: Πολύ Χαμηλό (ΠΧ), Χαμηλό (Χ), Μέτρια Χαμηλό (ΜΧ), Μέτριο (Μ), Μέτρια Υψηλό (ΜΥ), Υψηλό (Υ), Πολύ Υψηλό (ΠΥ).

Οι αποδόσεις και βάρη των τύπων προγραμμάτων παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα V.3.



**Πίνακας V.3.** Αποδόσεις και Βάρη Τύπων Προγραμμάτων

	Βάρη	Π1	Π2	Π3	Π4	Π5	Π6	Π7	Π8	Π9	Π10	Π11
<b>E1</b>	ΜΥ	ΜΦ	Υ	Μ	ΜΥ	Μ	Υ	Μ	ΠΥ	ΜΦ	ΜΥ	Μ
<b>E2</b>	Μ	Μ	ΜΥ	Μ	ΠΥ	Φ	Υ	ΜΦ	Μ	Φ	ΜΥ	Υ
<b>E3</b>	Υ	ΜΥ	Μ	Μ	ΜΥ	ΜΦ	Υ	ΜΥ	Μ	ΜΥ	ΜΥ	Μ
<b>E4</b>	Υ	Υ	Μ	Μ	ΜΥ	Μ	Υ	ΜΥ	Μ	ΜΥ	Υ	Μ
<b>E5</b>	Μ	ΠΦ	ΜΦ	Μ	Μ	ΜΦ	Μ	Μ	Υ	Μ	ΠΦ	Μ
<b>E6</b>	Υ	Υ	Υ	Μ	ΜΥ	Μ	Υ	Μ	Μ	ΜΦ	Μ	Μ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα V.4 [21].

**Πίνακας V.4.** Τύποι Προγραμμάτων Υψηλής Προτεραιότητας

Τύποι Προγραμμάτων	Αποδόσεις
<b>Π6.</b> Άμεσες Επιδοτήσεις	0.87
<b>Π4.</b> Βελτιωμένες Διαχειριστικές Διαδικασίες	0.76
<b>Π2.</b> Φορολογικές Μειώσεις	0.69
<b>Π8.</b> Εμπορία Πιστοποιητικών	0.66
<b>Π10.</b> Ανταγωνιστικές Προσφορές Μακροχρόνιων Ενεργειακών Συμβολαίων	0.65
<b>Π1.</b> Σταθερές τιμές τιμολογίων	0.63
<b>Π7.</b> Παροχή Δανείων με Ευνοϊκές Ρυθμίσεις	0.62
<b>Π11.</b> Δημοσιότητα/ διαφημιστικές Εκστρατείες	0.60
<b>Π3.</b> Πιστοποίηση	0.58
<b>Π9.</b> Επιταχυνόμενη Απόσβεση	0.53
<b>Π5.</b> Καταγραφή Δυναμικού ΑΠΕ	0.47

Η αξιολόγηση διενεργήθηκε και με «2-tuple TOPSIS» που αναπτύχθηκαν, δηλαδή με έξοδο σε μορφή [0,1] και σε μορφή διπλής αναπαράστασης. Οι απόκλιση στα αποτελέσματα είναι πολύ μικρή και έγκειται μόνο στις Π7 και Π11, όπου εναλλάσσονται μεταξύ τους στην ιεραρχία.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι άμεσες επιδοτήσεις ξεχωρίζουν στην πρώτη θέση με τις βελτιωμένες διαχειριστικές διαδικασίες να ακολουθούν. Υψηλές τιμές συγκέντρωσαν επίσης οι σταθερές τιμές τιμολογίων και οι φορολογικές μειώσεις. Οι άμεσες επιδοτήσεις αποτελούν ένα ισχυρό κίνητρο για να κινηθεί ένας ενδιαφερόμενος επενδυτής προς ένα συγκεκριμένο τομέα, μέσα από τη μείωση του αρχικού κόστους της επένδυσης. Με το πρόγραμμα αυτό δίνεται η δυνατότητα σε μεγαλύτερο εύρος επενδυτών να προχωρήσουν σε επενδύσεις σε όλη την επικράτεια της χώρας.

Οι προβληματικές διαχειριστικές διαδικασίες και η γραφειοκρατία αποτελούν μεγάλο πρόβλημα, ιδιαίτερα στον τομέα των ΑΠΕ. Πρέπει λοιπόν να δοθεί μεγάλο βάρος στην προώθηση του προγράμματος αυτού ώστε να αντιμετωπισθούν αυτά τα

προβλήματα και να συγκεντρωθούν περισσότεροι επενδυτές, μεγαλύτερης εμβέλειας, τόσο από το εσωτερικό όσο και από το εξωτερικό. Οι σταθερές τιμές και οι φορολογικές μειώσεις συμβάλλουν ώστε η απόσβεση να είναι πετυχημένη και η επένδυση οικονομικά βιώσιμη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η υψηλή βαθμολογία του προγράμματος της εμπορίας πιστοποιητικών και παρ' ότι δε φαίνεται ότι πρόκειται άμεσα να υλοποιηθεί αποτελεί μία πολύ καλή εναλλακτική επιλογή για το μέλλον. Τέλος, το πρόγραμμα των ανταγωνιστικών προσφορών μακροχρόνιων ενεργειακών συμβολαίων βρίσκεται στη μέση της κατάταξης αλλά με υψηλή βαθμολογία και δεν πρέπει να υποτιμάται ο ρόλος του στο μέλλον, καθώς τα μακροχρόνια ενεργειακά συμβόλαια εξασφαλίζουν στον επενδυτή σιγουριά και στην πολιτεία πιο συμφέρουσες συνθήκες.

### 5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ

Ανάλυση  
Ευαισθησίας  
Εργαλείων  
Πρώτωσης

Ένα κρίσιμο θέμα σε κάθε πολυκριτηριακή μέθοδο είναι να καθοριστεί σε πιο βαθμό η τελική κατάταξη των εναλλακτικών εξαρτάται και επηρεάζεται από τις εκτιμήσεις του βάρους και των κατωφλίων των κριτηρίων. Μια λύση για την αντιμετώπιση τέτοιων θεμάτων ανάλυσης ευαισθησίας είναι ο καθορισμός παραμέτρων ευστάθειας.

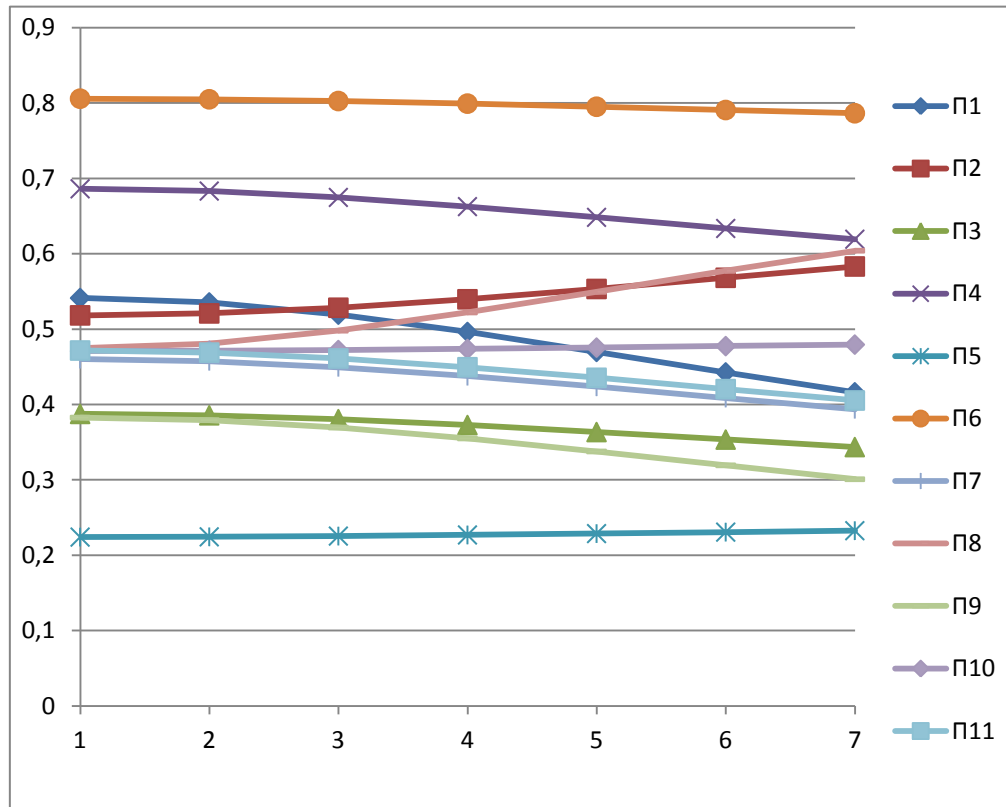
Οι παράμετροι ευστάθειας είναι οι τιμές που μπορεί να λάβει το βάρος ή το κατώφλι ενός κριτηρίου αντίστοιχα, χωρίς να μεταβληθεί το αποτέλεσμα που προκύπτει από την αρχική ομάδα τιμών, διατηρώντας σταθερές όλες τις υπόλοιπες τιμές στα κριτήρια. Στις προτεινόμενες μεθόδους, οι παράμετροι ευστάθειας δεν είναι συνεχείς, αλλά περιλαμβάνουν διακεκριμένα σύνολα σε μια διακεκριμένη κλίμακα.

Η ανάλυση ευαισθησίας πραγματοποιείται για κάθε βάρος ή κατώφλι κριτηρίου, για την αξιολόγηση των τύπων προγραμμάτων και των τεχνολογικών δυνατοτήτων αντίστοιχα. Το υπό εξέταση κριτήριο λαμβάνει διαδοχικά όλες τις τιμές σε όλο το εύρος της γλωσσικής κλίμακας, και, διατηρώντας σταθερές τις τιμές στα υπόλοιπα κριτήρια, υπολογίζεται ο σχετικός συντελεστής εγγύτητας όλων των εναλλακτικών. Αυτή η διαδικασία εκπονείται για όλα τα κριτήρια. Τέλος, οι σχετικοί συντελεστές εγγύτητας που προκύπτουν για κάθε εναλλακτική απεικονίζονται γραφικά ως συναρτήσεις του υπό εξέταση κριτηρίου.

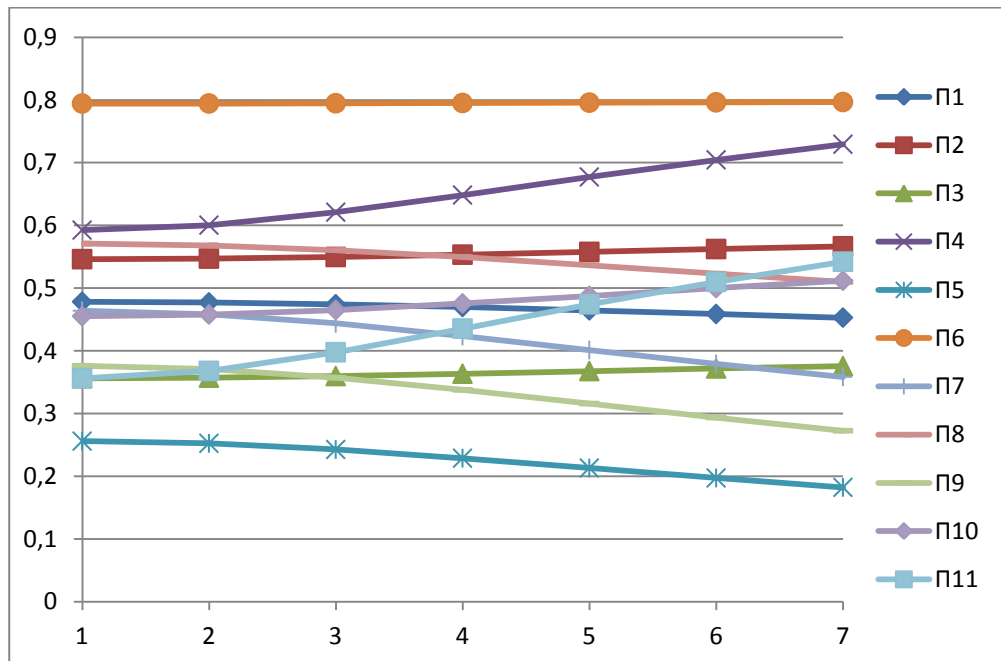
Ανάλυση  
Ευαισθησίας  
Προγραμμάτων

Σύμφωνα με την ως άνω αναφερόμενη μεθοδολογία, εκπονήθηκε η ανάλυση ευαισθησίας στα αποτελέσματα της εφαρμογής των πολυκριτηριακών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των τύπων προγραμμάτων ΑΠΕ, σύμφωνα με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο παράγραφο.

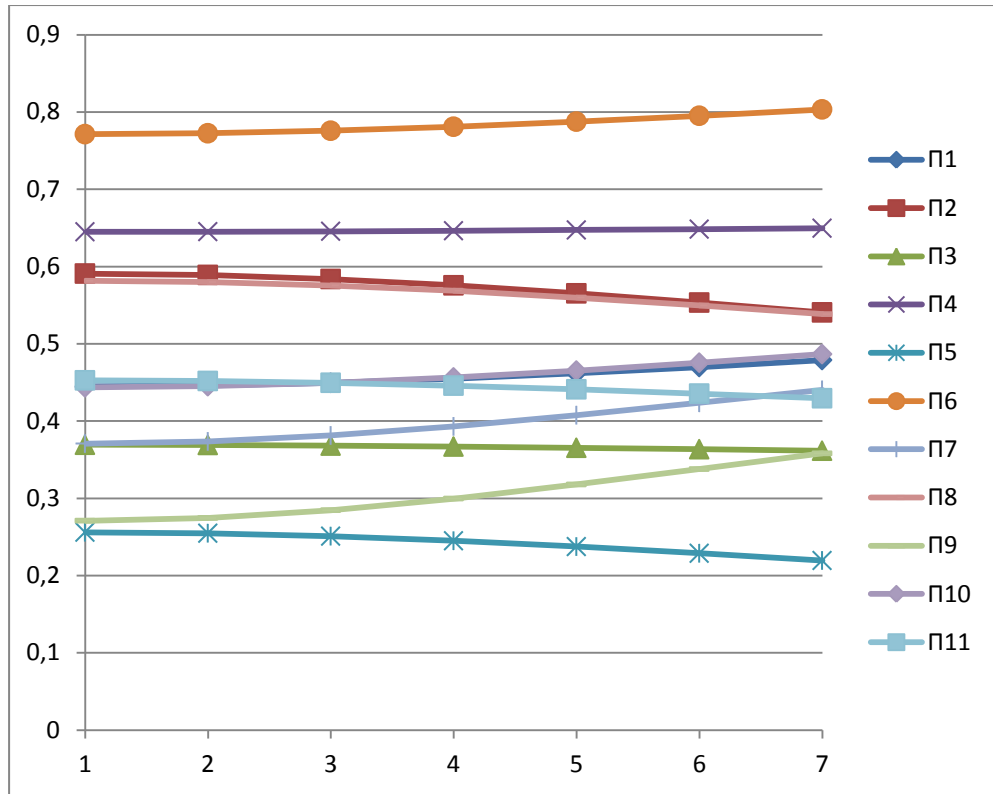
Στο Σχήμα V.3. που ακολουθεί παρατίθενται τα έξι (6) γραφήματα, που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας για το καθένα από τα έξι κριτήρια.



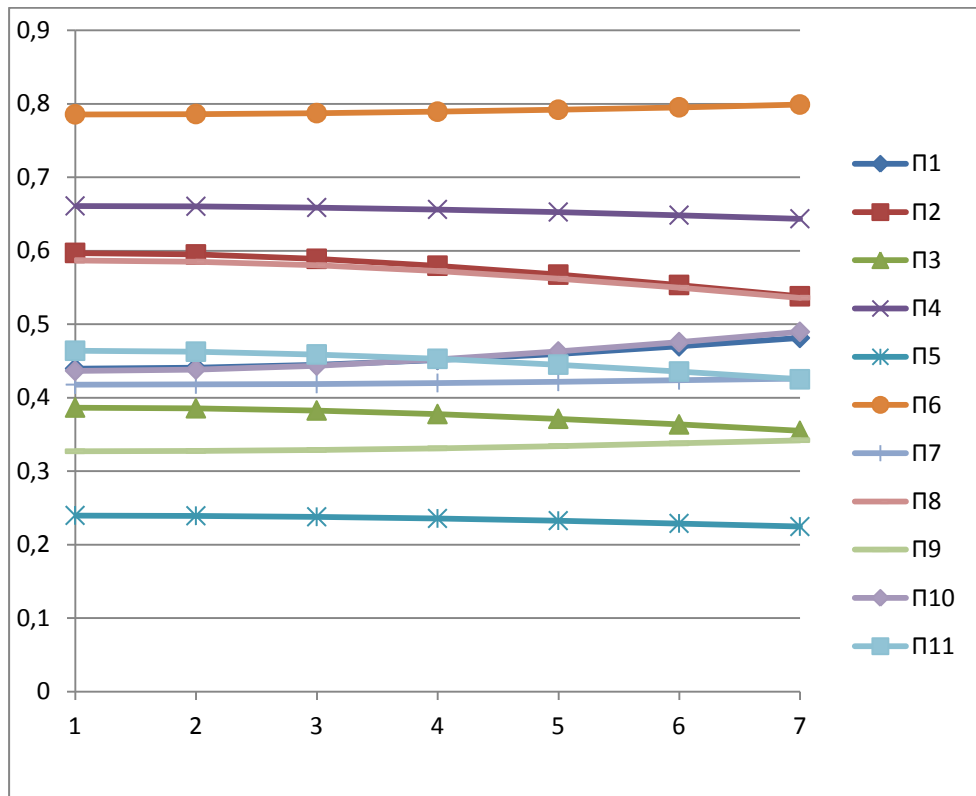
Τιμές στο βάρος κριτηρίου 1.



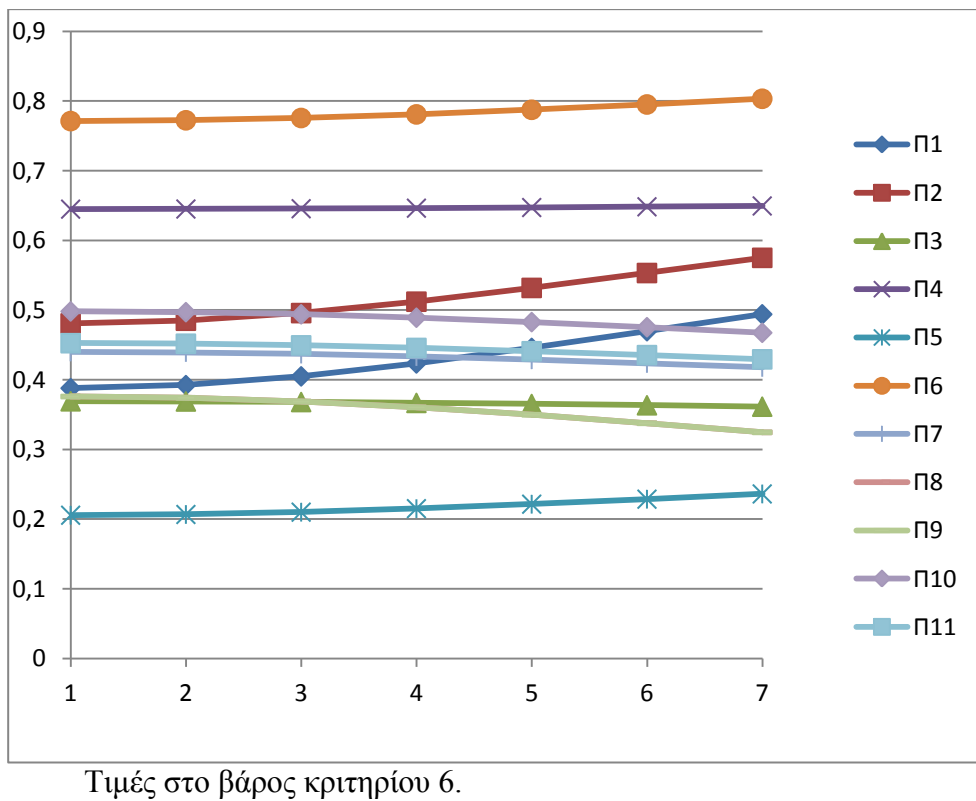
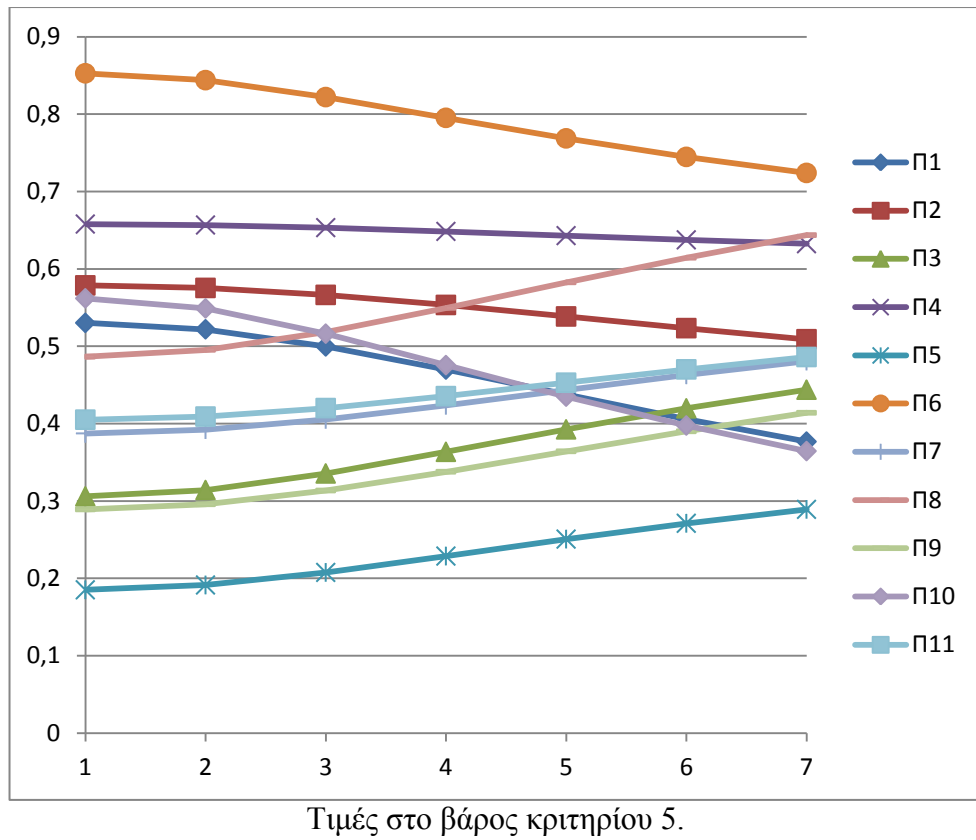
Τιμές στο βάρος κριτηρίου 2.



Τιμές στο βάρος κριτηρίου 3



Τιμές στο βάρος κριτηρίου 4.



Σχῆμα 5.3 Ανάλυση ευαισθησίας βαρών

Από τα ανωτέρω γραφήματα που απεικονίζουν τα αποτελέσματα της πραγματοποιηθείσας ανάλυσης ευαισθησίας, προκύπτουν, συνοπτικά, τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το πρόγραμμα Π6 παραμένει πρώτο στην κατάταξη των 11 προγραμμάτων για όλες τις εναλλαγές στις τιμές της βαρύτητας των κριτηρίων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας ανάλυσης ευαισθησίας.
- Αντίστοιχα, σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις, το πρόγραμμα Π4 παραμένει δεύτερο στην κατάταξη των 11 προγραμμάτων.
- Η εναλλαγή των τιμών της βαρύτητας του κριτηρίου E1 προκαλεί τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις στο σχετικό συντελεστή εγγύτητας των προγραμμάτων Π1 και Π8 και λιγότερες στα προγράμματα Π5, Π6 και Π10.
- Το πρόγραμμα Π10 προκύπτει ότι επηρεάζεται περισσότερο από την εναλλαγή της βαρύτητας του κριτηρίου E5, ενώ ο σχετικός συντελεστής εγγύτητάς του παραμένει σχετικά αμετάβλητος από τις εναλλαγές των λοιπών κριτηρίων.
- Αντίστοιχη είναι και η περίπτωση του προγράμματος Π4, το οποίο επηρεάζεται σχεδόν αποκλειστικά από την εναλλαγή του κριτηρίου E1, και ελάχιστα από τα λοιπά κριτήρια.

Στη συνέχεια, από την ανάλυση και τα παραπάνω γραφήματα προσδιορίστηκαν οι παράμετροι ευστάθειας για κάθε κριτήριο.

**Πίνακας V.8.** Παράμετροι Ευστάθειας Κατωφλίων

Βάρη κριτηρίων	Παράμετροι Ευστάθειας
Κατώφλι Κριτηρίου 1	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 2	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , }
Κατώφλι Κριτηρίου 3	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 4	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , S <sub>3</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 5	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , }
Κατώφλι Κριτηρίου 6	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> }

Από τον προσδιορισμό των παραμέτρων ευστάθειας των βαρών των κριτηρίων, προκύπτουν, συνοπτικά, τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Για οποιαδήποτε εναλλαγή, πέραν της αρχικής, των βαρών των κριτηρίων δεν διατηρείται η αρχική σειρά κατάταξης, όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, γεγονός που σημαίνει ότι τα συγκεκριμένα κριτήρια παρουσιάζουν πολύ μικρή ευστάθεια.
- Τη μεγαλύτερη ευστάθεια παρουσιάζει το κριτήριο E3, E4 δεδομένου ότι διατηρεί την αρχική σειρά κατάταξης για τρεις εναλλακτικές τιμές Πολύ Φτωχό (ΠΦ), Φτωχό (Φ), Μέτρια Φτωχό (ΜΦ), Μέτριο (Μ).
- Αντίστοιχα, το κριτήριο E5 διατηρεί την αρχική σειρά κατάταξη για δύο μόνο εναλλακτικές τιμές.

Τεχνολογιών σχετική βιβλιογραφία. Πιο συγκεκριμένα, η αποτίμηση των επιλογών ΑΠΕ στην μείωση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, στο κόστος επένδυσης και στην συνεισφορά στην ενεργειακή επάρκεια βασίστηκε σε σχετικές μελέτες του Υπουργείου Ανάπτυξης και του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων [22, 23]. Επιπροσθέτως, για τις αποδόσεις των εναλλακτικών στην τοπική και περιφερειακή οικονομική ανάπτυξη και στο φυσικό περιβάλλον χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά μια σειρά από σχετικές εργασίες [24 – 26]. Η συνεισφορά των επιλογών ΑΠΕ στην απασχόληση εκτιμήθηκε με βάσει μελέτες σχετικές με το ζήτημα [27, 28].

Για τις αποδόσεις χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες γλωσσικές μεταβλητές: Πολύ φτωχό (ΠΦ), Φτωχό (Φ), Μέτρια Φτωχό (ΜΦ), Μέτριο (Μ), Μέτρια Υψηλό (ΜΥ), Υψηλό (Υ), Πολύ Υψηλό (ΠΥ).

Για τα κατώφλια των κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες γλωσσικές μεταβλητές: Πολύ Χαμηλό (ΠΧ), Χαμηλό (Χ), Μέτρια Χαμηλό (ΜΧ), Μέτριο (Μ), Μέτρια Υψηλό (ΜΥ), Υψηλό (Υ), Πολύ Υψηλό (ΠΥ).

Οι αποδόσεις και τα κατώφλια των τεχνολογικών δυνατοτήτων παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα V.6.

**Πίνακας V.6.** Αποδόσεις και Κατώφλια Τεχνολογικών Δυνατοτήτων

	Κατώφλια	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
E1	ΜΥ	ΜΥ	ΠΥ	ΜΥ	Φ	Φ	ΠΥ	Μ	Φ	Υ	ΜΥ	ΜΦ
E2	Μ	Μ	ΠΦ	ΜΥ	Μ	ΜΦ	Μ	Μ	Μ	ΠΥ	Υ	ΜΦ
E3	Υ	Φ	Μ	Υ	Φ	Φ	Μ	ΜΦ	Φ	Μ	ΜΦ	ΜΦ
E4	Υ	ΜΥ	Υ	ΠΥ	ΜΦ	ΜΦ	ΠΥ	Μ	Μ	Μ	Υ	ΜΥ
E5	Μ	ΜΥ	ΜΥ	ΜΦ	Φ	ΜΦ	Υ	ΜΦ	ΜΦ	ΠΥ	ΠΥ	ΜΥ
E6	Υ	ΜΥ	Υ	ΜΥ	ΜΦ	ΜΦ	ΠΥ	Μ	Φ	ΜΥ	Μ	ΜΦ

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατίθενται στον ακόλουθο Πίνακα V.7 [29].

**Πίνακας V.7.** Τεχνολογικές Δυνατότητες Υψηλής Προτεραιότητας

Τεχνολογικές Δυνατότητες	Αποδόσεις
<b>HT6.</b> Παράκτια Αιολικά Πάρκα	0.73
<b>HT3.</b> Φωτοβολταϊκά	0.72
<b>HT9.</b> Βιοαέριο	0.67
<b>HT2.</b> Μεγάλοι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί	0.65
<b>HT10.</b> Βιομάζα	0.64
<b>HT1.</b> Μικροί Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί	<b>0.56</b>
<b>HT7.</b> Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα	0.47
<b>HT11.</b> Βιο-απόβλητα	0.46
<b>HT8.</b> Γεωθερμία	0.32
<b>HT4.</b> Ηλιακός- Θερμικός Ηλεκτρισμός	0.30
<b>HT5.</b> Κυματική Ενέργεια	0.28

Με βάση τα αποτελέσματα τα παράκτια αιολικά πάρκα εμφανίζονται να έχουν τα

καλύτερα αποτελέσματα και να αποτελούν τη λύση με την μεγαλύτερη απόδοση προς την επίτευξη των ενεργειακών επιδιώξεων μέσω των ΑΠΕ. Το αποτέλεσμα είναι απόλυτα δικαιολογημένο καθώς η Ελλάδα έχει πολλές περιοχές με οικονομικά βιώσιμο και αποδοτικό αιολικό δυναμικό όπως οι περιοχές της Εύβοιας, του Έβρου, της Λακωνίας, της Κρήτης, τα πολυάριθμα νησιά του Αιγαίου αλλά και πολλές απομονωμένες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας, οι οποίες με τέτοια συστήματα μπορούν να μετατραπούν σε ενεργειακά κέντρα. Επίσης, είναι μια τεχνολογία που βρίσκει εφαρμογή εδώ αρκετά χρόνια, οπότε και έχουν διαμορφωθεί οι κατάλληλες συνθήκες τόσο σε επίπεδο τεχνικο-κατασκευαστικό, νομοθετικό, οικονομικό όσο και κοινωνικό ώστε να προχωρήσει η ανάπτυξή τους με αλματώδη βήματα.

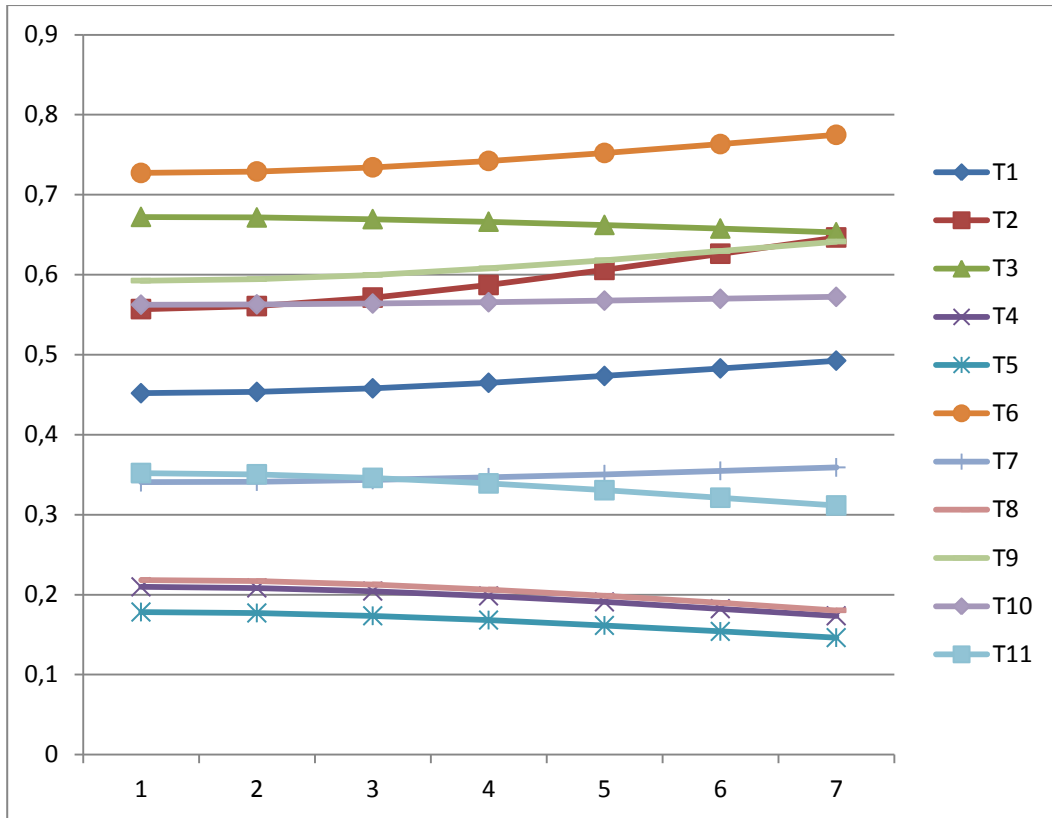
Τα φωτοβολταϊκά πάρκα ακολουθούν. Η Ελλάδα είναι μια χώρα με τεράστιο ηλιακό δυναμικό και οι πολλαπλές δυνατότητες τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων τόσο σε κτίρια όσο και σε εγκαταστάσεις και σταθμούς παραγωγής δημιουργούν σημαντικές δυνατότητες για τη μελλοντική ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Πλεονέκτημα αποτελεί επίσης ότι μπορεί να βρει εφαρμογή σε όλες τις περιοχές της χώρας κινητοποιώντας μηχανισμούς περιφερειακής ανάπτυξης. Επίσης, είναι μια τεχνολογία που προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας πολλαπλών θέσεων εργασίας και τη δυνατότητα και σε μικρές τεχνικές εταιρείες να μπουν στο χώρο αυτό. Τέλος, το βιοαέριο στην Ελλάδα πρέπει να αναπτυχθεί γιατί θα δώσει περιβαλλοντικές λύσεις στο θέμα των χωματερών, πρόβλημα μεγάλο στην Ελλάδα με μεγάλες αντιδράσεις από τις τοπικές κοινωνίες και πιέσεις από την ΕΕ για συμμόρφωση με τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Λίγοι σταθμοί υπάρχουν στην Ελλάδα και η μελλοντική κατασκευή τους σε όλη την Ελλάδα εκτός από θετικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις μπορεί να συνεισφέρει στην απασχόληση και στην οικονομική ανάπτυξη.

Ανάλυση  
Ευαισθησίας  
Τεχνολογιών

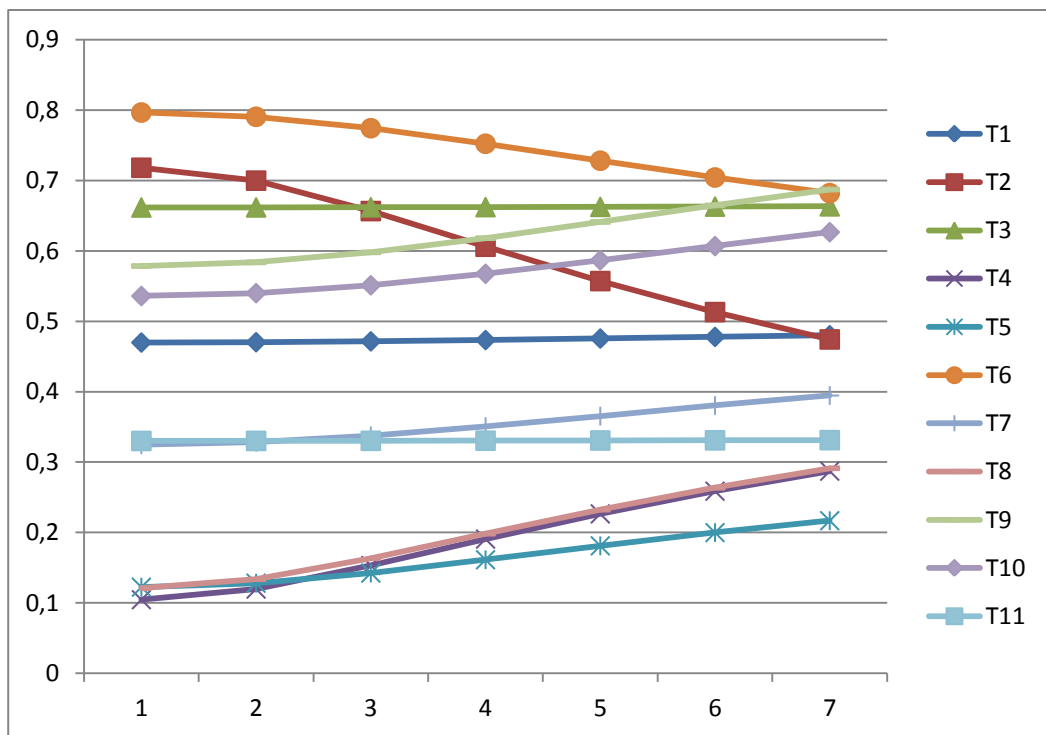
Αντίστοιχα με την αξιολόγηση των τύπων προγραμμάτων, εκπονήθηκε ανάλυση ευαισθησίας στα αποτελέσματα της εφαρμογής της πολυκριτηριακής μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των τεχνολογικών δυνατοτήτων ΑΠΕ, σύμφωνα με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο παράγραφο.

Στο Σχήμα V. 4 που ακολουθεί παρατίθενται τα έξι (6) γραφήματα, που προέκυψαν από την ανάλυση ευαισθησίας για το καθένα από τα έξι κριτήρια.

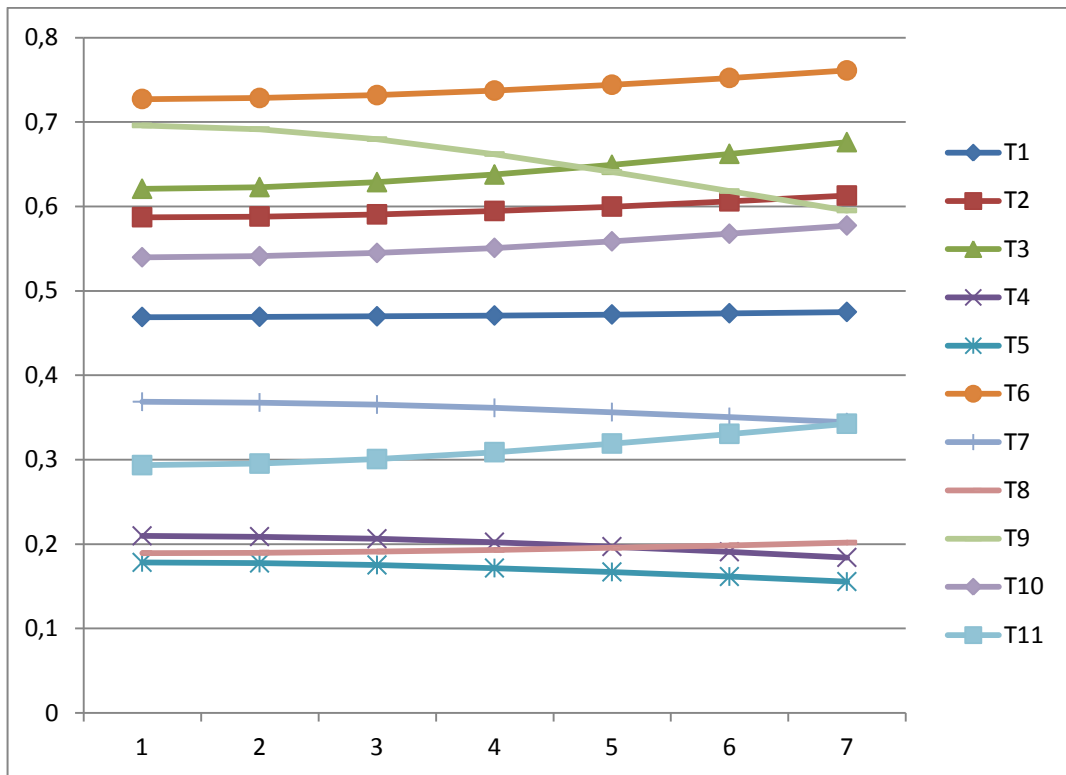
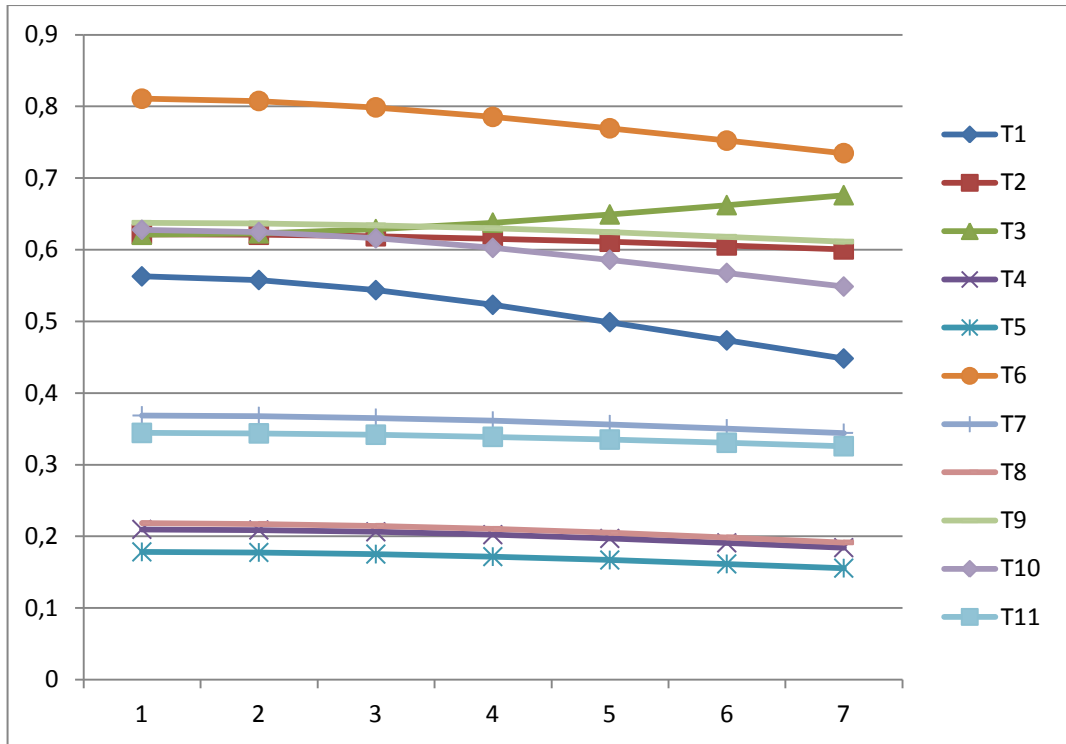


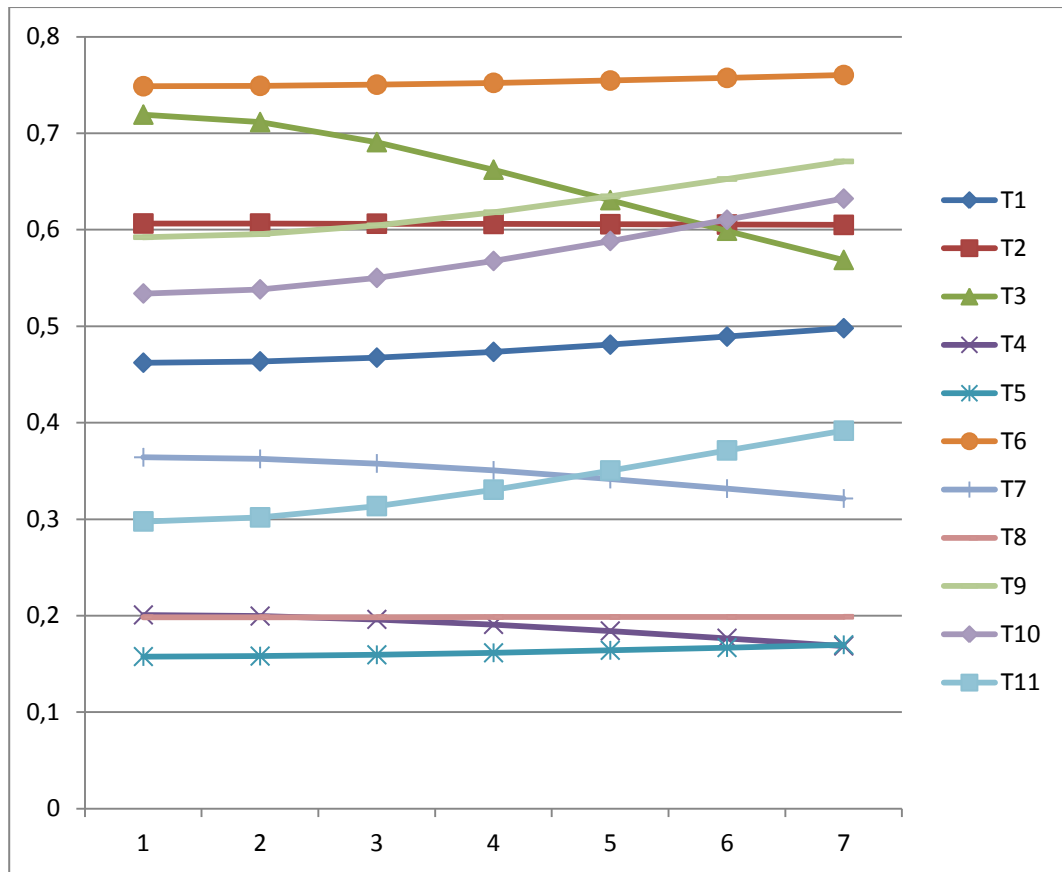


Τιμές στο βάρος του κριτηρίου 1.

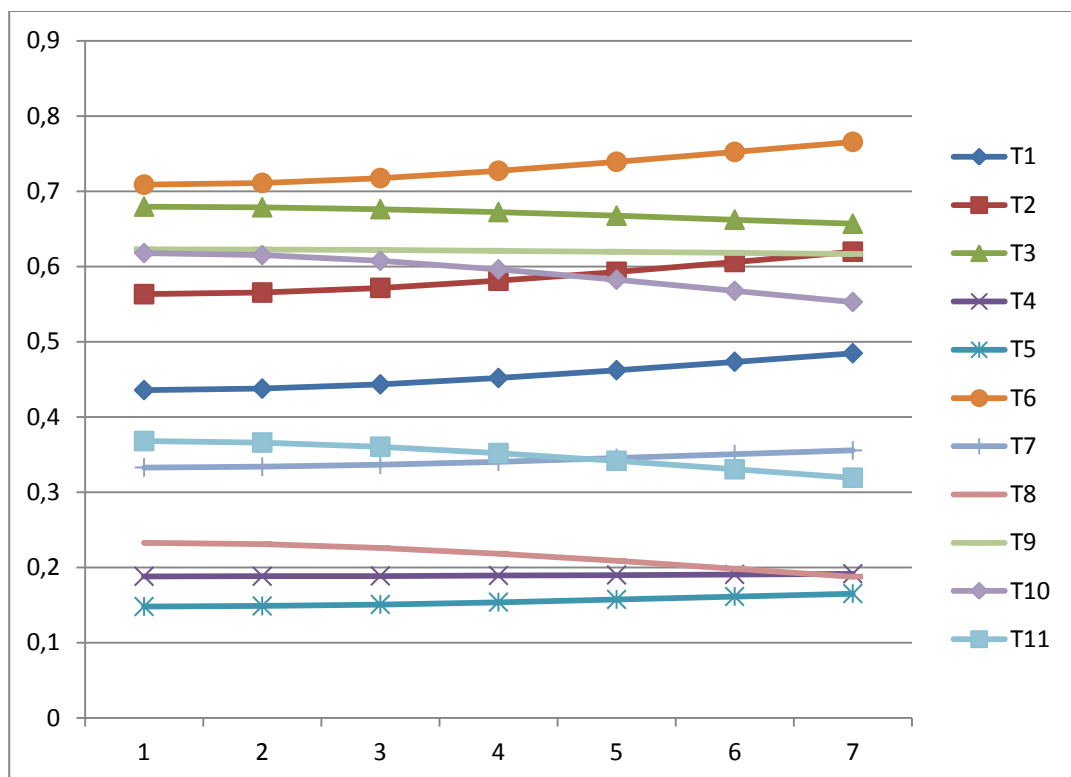


Τιμές στο βάρος κριτηρίου 2.





Τιμές στο βάρος κριτηρίου 5.



Τιμές στο βάρος κριτηρίου 6.

ΣΧΗΜΑ 5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΡΩΝ ΚΑΤΩΦΛΙΩΝ

Από τα ανωτέρω γραφήματα που απεικονίζουν τα αποτελέσματα της πραγματοποιηθείσας ανάλυσης ευαισθησίας, προκύπτουν, συνοπτικά, τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε γενικές γραμμές, οι μεταβολές στις τιμές των κατωφλίων, δεν επηρεάζουν δραματικά τη σχετική εγγύτητα των τεχνολογιών ΑΠΕ.

Η τεχνολογία Τ6 διατηρείται για όλες τις εναλλαγές των τιμών των κατωφλίων πρώτη στη σειρά κατάταξης.

Στη συνέχεια, από την ανάλυση και τα παραπάνω γραφήματα προσδιορίστηκαν οι παράμετροι ευστάθειας για κάθε κριτήριο.

**Πίνακας V.8.** Παράμετροι Ευστάθειας Κατωφλίων

<b>Βάρη κριτηρίων</b>	<b>Παράμετροι Ευστάθειας</b>
Κατώφλι Κριτηρίου 1	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> , }
Κατώφλι Κριτηρίου 2	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 3	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 4	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 5	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> }
Κατώφλι Κριτηρίου 6	{S <sub>0</sub> , S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> ,S <sub>3</sub> }

Από τον προσδιορισμό των παραμέτρων ευστάθειας των κατωφλίων των κριτηρίων, προκύπτουν, συνοπτικά, τα ακόλουθα συμπεράσματα:


- Τη μεγαλύτερη ευστάθεια παρουσιάζει το κριτήριο E4,E6 δεδομένου ότι μόνο για τις βαρύτητες «Υψηλό» και «Πολύ Υψηλό» «Μέτρια Υψηλό», μεταβάλλεται η σειρά κατάταξης.
- Αντίστοιχα, το κριτήριο E5 παρουσιάζει σχετικά μεγάλη ευστάθεια, διατηρώντας την αρχική σειρά κατάταξης για τρεις εκ των έξι, συνολικά, τιμών.
- Επιπλέον, τη μικρότερη ευστάθεια παρουσιάζει το κριτήριο E3, το οποίο, μόνο για την αρχική τιμή του κατωφλίου διατηρεί την προαναφερθείσα σειρά κατάταξης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [V.1] ΥΠΕΧΩΔΕ - Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων (2005), «Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών για την Περίοδο 2005 – 2007», Αθήνα, Απρίλιος.
- [V.2] National Observatory of Athens (2005), “Climate Change, Projections of GHG emissions – Policies and Measures for reducing GHG emissions”, Athens, February 2005.
- [V.3] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων (2002), «Κλιματική Αλλαγή, Εθνικό Πρόγραμμα Μείωσης Εκπομπών Αερίων Φαινομένου Θερμοκηπίου (2000-2010)», Αθήνα, Μάρτιος.
- [V.4] Fourth bench marking report, Commission of the European Communities (2005), Annual Report on the Implementation of the Gas and Electricity Internal Market Communication from the Commission, COM (2004) 863, Brussels, January.
- [V.5] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας, Διεύθυνση Πετρελαϊκής Πολιτικής (2006), «3η Εθνική Έκθεση σχετικά με την προώθηση της χρήσης των βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για μεταφορές στην Ελλάδα την περίοδο 2005 – 2010 σύμφωνα με το άρθρο 4 της Οδηγίας 2003/30/ΕΚ», Αθήνα, Δεκέμβριος.
- [V.6] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Ανάπτυξης, Γενική Διεύθυνση Ενέργειας, Διεύθυνση Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (2005), «3η Εθνική Έκθεση για το Επίπεδο Διείσδυσης της Ανανεώσιμης Ενέργειας το έτος 2010 σύμφωνα με το Άρθρο 3 Οδηγίας 2001/77/ΕΚ», Αθήνα, Οκτώβριος.
- [V.7] Υπουργείο Ανάπτυξης (2006), «Ενεργειακό Ισοζύγιο», Αθήνα.
- [V.8] Ευρωπαϊκή Κοινότητα (2001), «Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου για την Προαγωγή της Ηλεκτρικής Ενέργειας που Παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές στην Εσωτερική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας», Βρυξέλλες, 27 Σεπτεμβρίου.
- [V.9] Council of the European Union (2007), «Presidency Conclusions» Brussels, 7224/07, March.
- [V.10] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Ανάπτυξης (2006), «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις», Αθήνα, Οκτώβριος.
- [V.11] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (2007), «Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα, Απρίλιος.
- [V.12] Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών (2004), Αναπτυξιακός Νόμος, Νόμος 3299/2004, «Κίνητρα Ιδιωτικών Επενδύσεων για την Οικονομική Ανάπτυξη και την Περιφερειακή Σύγκλιση» (ΦΕΚ 261 / Τεύχος Α' / 23-12-2004), Αθήνα, 23 Δεκεμβρίου.
- [V.13] ΥΠΕΧΩΔΕ - Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων (2006), «Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» (με βάση Ν. 2742/1999

«Χωροταξικός σχεδιασμός και αειφόρος ανάπτυξη και άλλες διατάξεις»), Αθήνα.

- [V.14] Ελληνική Δημοκρατία (2005), Νόμος 3340/2005, «Για την προστασία της Κεφαλαιαγοράς από πράξεις προσώπων που κατέχουν προνομιακές πληροφορίες και πράξεις χειραγώγησης της αγοράς» (ΦΕΚ 112/Α'/10.5.2005), Αθήνα, 10 Μαΐου.



**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:**                    **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-**  
   **ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ**



## 6.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την εκπόνηση της βιβλιογραφίας, την αναζήτηση στοιχείων της γλωσσικής ανάλυσης και της επιχειρησιακής έρευνας καθώς και από την εφαρμογή του συστήματος αξιολόγησης εναλλακτικών προτάσεων βάση συγκεκριμένων κριτηρίων που αναπτύχθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτουν ενδιαφέροντα και σημαντικά συμπεράσματα. Αυτά παρουσιάζονται συνολικά ακολούθως.

### **Αξιολόγηση μεθόδων επεξεργασίας γλωσσικών όρων**

Ιδιαίτερα σημαντικές παράμετροι στις σύγχρονες μεθόδους υποστήριξης αποφάσεων στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα είναι η συμβατότητα, η συνέπεια και η ακρίβεια.

Παρατηρείται ότι όλες οι γλωσσικές προσεγγίσεις έχουν υψηλή συμβατότητα μεταξύ των δεδομένων εισόδων και των τελικών τους αποτελεσμάτων, καθώς είναι όροι της γλωσσικής κλίμακας

Σε όλες τις γλωσσικές προσεγγίσεις η συνέπεια των αποτελεσμάτων είναι υψηλή καθώς ορίζονται επακριβώς και με σαφήνεια οι υπολογιστικές διαδικασίες που εμπεριέχονται σε αυτές.

Η ακρίβεια εγγενές πρόβλημα των γλωσσικών προσεγγίσεων (με βάση την αρχή της προέκτασης είτε της συμβολικής προσέγγισης) επειδή στις διαδικασίες υπολογισμού υπάρχει απώλεια πληροφοριών.

### **Χαρακτηριστικά των ΑΠΕ στο σύγχρονο περιβάλλον λειτουργίας του ενεργειακού τομέα για την επίλυση προβλημάτων απόφασης προώθησης τους.**

Σημαντικές αβεβαιότητες σχετίζονται με το ενεργειακό σύστημα και τις αποφάσεις ενεργειακής πολιτικής, όπως αβεβαιότητες των τιμών των ορυκτών καυσίμων.

Η έννοια της ενεργειακής αιφύρας είναι μία εγγενώς ασαφής και σύνθετη έννοια καθώς και οι επιπτώσεις της, δεδομένου ότι μία επιδίωξη σε επίπεδο πολιτικής είναι δύσκολο να καθοριστεί ή να μετρηθεί.

Αρκετές πληροφορίες που πρέπει να επεξεργαστούν για την υποστήριξη αποφάσεων προώθησης των ΑΠΕ είναι από την φύση τους μη οικονομικές και δεν μπορούν να καθοριστούν επακριβώς σε μία ποσοτική μορφή.

### **Χρήση της γλωσσικής ανάλυσης για την ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων προώθησης των ΑΠΕ.**

Μέσω της γλωσσικής ανάλυσης εισάγεται ένα περισσότερο ευέλικτο πλαίσιο το οποίο επιτρέπει την αναπαράσταση των πληροφοριών με έναν πιο άμεσο και επαρκή τρόπο. Ακόμα εξαφανίζεται η επιβάρυνση της ποσοτικοποίησης ποιοτικών από την φύση τους εννοιών.

### **Δυνατότητες που προσφέρει η 2-tuple**

Αρχικά εκφράζονται τα βάρη των κριτηρίων και οι αποδόσεις των εναλλακτικών σε διακριτή κλίμακα. Ακόμα γίνονται πράξεις με ασαφείς αριθμούς αίροντας έτσι τους περιορισμούς της διακριτής κλίμακας και μέσω αυτής της αναπαράστασης είναι εφικτή η μετάβαση από τη διακριτή κλίμακα στη συνεχή και ξανά στη διακριτή.

### **Η ΠΥΑ χρησιμοποιώντας το μοντέλο αναπαράστασης 2-tuple**



Η 2-tuple μπορεί να συνδέσει τα κριτήρια με τις πολιτικές τους στόχους και τις αλληλεπιδράσεις τους και ως εκ τούτου να υποστηρίξει σχετικά μεθοδολογικά πλαίσια αφού δεν δημιουργούνται απώλειες πληροφοριών επειδή δεν υπάρχει καμία ανάγκη για προσέγγιση του αποτελέσματος με ασαφείς αριθμούς και η προτεινόμενη μεθοδολογία δεν χρησιμοποιεί τη συνάρτηση στρογγυλοποίησης.

### **Δυνατότητες που προκύπτουν από τη χρήση του πληροφοριακού συστήματος**

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην ελληνική ενεργειακή αγορά έδωσε τη δυνατότητα για την αξιολόγηση τόσο των χαρακτηριστικών της, από πλευράς πληρότητας και χρηστικότητάς όσο και της ρεαλιστικότητας των αποτελεσμάτων της.

- Αναγνώριση και σαφή καθορισμό όλων των παραμέτρων του προβλήματος και εμπειριστατωμένη ανάλυση των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων κατά τη διαδικασία του σχεδιασμού και της αξιολόγησης προτάσεων προώθησης ΑΠΕ από τους αποφασίζοντες.
- Εισαγωγή στο πολυκριτηριακό σύστημα της ανθρώπινης αντίληψης στην αξιολόγηση των αποδόσεων, επειδή οι αποφασίζοντες σε τέτοιου είδους προβλήματα πολύ συχνά χρησιμοποιούν λέξεις στη φυσική τους γλώσσα αντί για αριθμητικές έννοιες.
- Διενέργεια άμεσων υπολογισμών με τους γλωσσικούς όρους, ανεξάρτητα από τη σημασιολογική τους έννοια, που δύναται να μειώσει την ασάφεια σε επίπεδο που μπορεί να είναι διαχειρίσιμη.
- Διενέργεια ανάλυσης ευαισθησίας των αποτελεσμάτων με τρόπο εύκολο και κατανοητό, καθώς οι συνδυασμοί των πιθανών τιμών παραμέτρων του προβλήματος είναι πεπερασμένοι, με δεδομένο ότι η βάση των μεθόδων είναι μια διακριτή και διατεταγμένη κλίμακα.

### **Τα επιμέρους αποτελέσματα σε κάθε στάδιο της μεθοδολογίας σημειώνονται τα ακόλουθα:**

- Προγράμματα Υψηλής Προτεραιότητας: Πρόκειται για προγράμματα που έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες και συνάδουν με τα χαρακτηριστικά και τη δομή της ελληνικής ενεργειακής αγοράς, καθώς εξασφαλίζουν την:
  - Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της χώρας με το μικρότερο κόστος.
  - Παροχή υψηλής ποιότητας ενεργειακών υπηρεσιών.
  - Κοινωνική ισορροπία και περιφερειακή ανάπτυξη.
  - Ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων και των διεθνών και ευρωπαϊκών δεσμεύσεων (Πρωτοκόλλου του Κιότο, Ευρωπαϊκό Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών).
  - Αξιοποίηση των εγχώριων ΑΠΕ.
- Τεχνολογίες Υψηλής Προτεραιότητας: Πρόκειται για τεχνολογίες ώριμες και άμεσα εμπορεύσιμες, με αποδεδειγμένο θετικά οφέλη για τη χώρα, καθώς συνεισφέρουν στην:
  - Αξιοποίηση του τεράστιου αιολικού και ηλιακού δυναμικού της χώρας, συμβάλλοντας στην ενεργειακή της αυτοτέλεια.
  - Εναρμόνιση με τις διεθνείς και ευρωπαϊκές οδηγίες και δεσμεύσεις.

- Μείωση του τεράστιου κόστους καυσίμου και συντήρησης που έχει η ΔΕΗ για ηλεκτροδότηση απομακρυσμένων περιοχών της ενδοχώρας και νησιών και στην περιβαλλοντική τους αναβάθμιση, με την παύση λειτουργίας των τοπικών ρυπογόνων μονάδων.

Τέλος, σημειώνεται ότι, σημαντικό πλεονέκτημα της εφαρμογής και της προσπάθειας αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της αποτέλεσε η διαθεσιμότητα των δεδομένων και πληροφοριών στο πλαίσιο των ευρωπαϊκών έργων FP-6 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής «SRS NET & EEE» και «ENTTRANS» και των συνεδριάσεων και συνεδρίων της ομάδας των ενεργειακών εμπειρογνομόνων από όλες τις χώρες της ΕΕ, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με πραγματικά δεδομένα και καταστάσεις από άλλες χώρες της ΕΕ.

## 6.2 ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΥΜΕΤΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΓΛΩΣΣΙΚΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ.**

Όπως είδαμε, στα περισσότερα από τα προβλήματα θεωρείται μια ομοιόμορφα διατεταγμένη κατανομή των γλωσσικών συνόλων. Ωστόσο υπάρχουν προβλήματα των οποίων οι αξιολογήσεις εκπροσωπούνται μέσω ασύμμετρων γλωσσικών ομάδων που χρησιμοποιούν σύνολα όρων που δεν είναι ομοιόμορφα και συμμετρικά κατανεμημένα. Αυτά τα γλωσσικά σύνολα συνήθως παρουσιάζονται σε προβλήματα που ασχολούνται με κλίμακες για την αξιολόγηση των προτιμήσεων όπου οι ειδικοί θα πρέπει να αξιολογούν έναν αριθμό όρων σε μία πλευρά του πεδίου αναφοράς υψηλότερη σε σχέση με το άλλο επίπεδο.

### **ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΡΩΣΤΙΑΣ**

Μία σημαντική προοπτική είναι η προσπάθεια αποτίμησης της ευρωστίας μιας λύσης ή ενός μοντέλου απόφασης, με δείκτες ευστάθειας, για την εξαγωγή ευσταθών συμπερασμάτων. Η ανάλυση ευρωστίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους αναλυτές αποφάσεων ως εργαλείο πρόληψης εναντίον των φαινομένων προσέγγισης και περιοχών με άγνωστες ζώνες. Η ευρωστία εμφανίζεται ως ένα εργαλείο για την ανάλυση και την μέτρηση της διαφοράς μεταξύ της πραγματικής τιμής ενός μοντέλου απόφασης και εκείνης της τιμής που προκύπτει από ένα υπολογιστικό μηχανισμό.

### **ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΕΩΝ ΣΕ ΑΛΛΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ**

Το υπολογιστικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε μπορεί να εφαρμοστεί και σε προβλήματα υποστήριξης αποφάσεων των τηλεπικοινωνιών. Ο ανταγωνισμός στον τομέα των τηλεπικοινωνιών είναι μεγάλος και οι εκάστοτε εταιρείες επιθυμούν ταχύτητα και γνώση από τους μηχανικούς τους. Η χρήση των γλωσσικών μεταβλητών και του υπολογιστικού μοντέλου θα αποτελούσε ένα εργαλείο βαθμολόγησης των μηχανικών γύρω από αυτές τις ικανότητες. Η εταιρεία θα έδινε σαν είσοδο στο πρόγραμμα την βαρύτητα του κάθε σταθμού τηλεπικοινωνίας ανάλογα με τα μηχανήματα που θα χρησιμοποιηθούν στον σταθμό. Ο μηχανικός θα βαθμολογούταν ανάλογα με το πόσες εργατοώρες αφιέρωσε στο swar του σταθμού, πόσο συνεργάσιμος ήταν καθώς και σε όποιο άλλο πεδίο θα ήταν επιθυμητό να βαθμολογηθεί. Η εταιρεία θα δέχεται σαν αποτέλεσμα του μοντέλου ποιος ήταν ο καλύτερος μηχανικός σε σχέση με τα πεδία που

ζητήθηκε η εταιρεία να βαθμολογηθούν και ανάλογα με την βαρύτητα των σταθμών που ανέλαβε ο κάθε μηχανικός. Οι γλωσσικές μεταβλητές θα χρησιμοποιηθούν στην βαθμολόγηση της βαρύτητας των σταθμών καθώς ένας σταθμός τηλεπικοινωνίας μπορεί να εκφραστεί πιο εύκολα ως «βαρύς» , «ελαφρύς» , «μέτριος» παρά με την χρήση αριθμητικών τιμών.