



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

**Μελέτη και αξιολόγηση των εμποδίων και των
επιπτώσεων μιας πράσινης μετάβασης του
Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος**

Διπλωματική Εργασία

Βαρυτιμίδης Α. Αριστοτέλης

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας,
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019



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

Μελέτη και αξιολόγηση των εμποδίων και των επιπτώσεων μιας πράσινης μετάβασης του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος

Διπλωματική Εργασία

Βαρυτιμίδης Α. Αριστοτέλης

Επιβλέπων : Χάρης Δούκας,
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Χάρης Δούκας
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Βαρυτιμίδης Αριστοτέλης

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

Copyright ©Βαρυτιμίδης Αριστοτέλης, 2019. 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, η αποθήκευση και διανομή για κάποιο 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 το συγγραφέα.

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

Ευχαριστίες

Η διπλωματική εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2019 στον Τομέα Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και συγκεκριμένα στο Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης, υπό την επίβλεψη του κ. Χάρη Δούκα, αναπληρωτή καθηγητή Ε.Μ.Π, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Αρσενόπουλο Απόστολο για την πολύ καλή συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθώς και για το χρόνο που διάθεσε για να με συμβουλευσει.

Τέλος, δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω τους γονείς μου, οι οποίοι με στηρίζουν σε κάθε βήμα της ζωής μου.

Βαρυτιμίδης Αριστοτέλης

Περίληψη

Η προώθηση ενεργειακών δράσεων με σκοπό την δημιουργία κοινωνιών με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υποστηρίζεται κυρίως από διαδικασίες χάραξης πολιτικής που λαμβάνουν υπόψη τους διάφορους τύπους κινδύνου και αβεβαιότητας. Οι διαδικασίες αυτές συνδέονται άμεσα με την αλλαγή του κλίματος, τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την αποδοχή της εκάστοτε πολιτικής. Στο πλαίσιο αυτό, η συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων έχει αποκτήσει ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή στις μελέτες περιβαλλοντικής και κλιματικής πολιτικής, όπως και η εφαρμογή διαφορετικών προσεγγίσεων υποστήριξης αποφάσεων. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί να αξιοποιηθεί στον τομέα της πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCDA), η οποία επικεντρώνεται στα προβλήματα λήψης αποφάσεων που χαρακτηρίζονται από πολυδιάστατους και αντικρουόμενους τομείς. Σε αυτή την κατεύθυνση, με στόχο τη μελέτη και την αξιολόγηση των εμποδίων αλλά και των επιπτώσεων μιας πράσινης μετάβασης και προκειμένου να υποστηριχθεί η χάραξη πολιτικής για μια μετάβαση χαμηλού άνθρακα στον Ολλανδικό τομέα ενέργειας, η παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιεί μια προσέγγιση βασισμένη στην πολυκριτηριακή ανάλυση, υποστηριζόμενη από δύο υπολογιστικά εργαλεία.

Τα δύο υπολογιστικά εργαλεία, το AFRYCA και το FLINTSTONES, προσφέρουν την ευκαιρία ανάλυσης μοντέλων ομοφωνίας με πολυκριτηριακές αποφάσεις που βασίζονται σε γλωσσικές προτιμήσεις. Τα διαθέσιμα δεδομένα για τη μοντελοποίηση του προβλήματος αποτελούνται από τις αξιολογήσεις 45 εμπλεκόμενων φορέων σχετικά με 6 αποτελεσματικές εναλλακτικές δράσεις/κινδύνους/δράσεις χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Κάθε εναλλακτική δράση αξιολογήθηκε βάσει 5 κριτηρίων (π.χ. πιθανότητα έκθεσης της, επίπεδο επιπτώσεων δράσης/πολιτικής, έλλειψη ικανότητας μετριασμού, επίπεδο ανησυχίας, χρονική στιγμή εμφάνισης κινδύνου). Οι πληροφορίες αυτές αξιοποιήθηκαν αρχικά από το FLINTSTONES, πρώτον με σκοπό την αξιολόγηση της κάθε εναλλακτικής και δεύτερον για την τελική ταξινόμησή τους, από την καλύτερη προς τη χειρότερη. Έπειτα η εισαγωγή αυτών των πληροφοριών στο AFRYCA επέτρεψε, μέσω μιας ανάλυσης ομοφωνίας, την άντληση πληροφοριών σχετικά με το επίπεδο ομοφωνίας που επιτεύχθηκε στην ομάδα εμπλεκόμενων φορέων με τη χρήση διάφορων μεθόδων.

Abstract

Promoting transition pathways towards low carbon societies can be mainly supported through robust climate policy making processes that take into account the various types of risk and uncertainty. These are intertwined with climate change and respective policy design, implementation and acceptance. In this direction, stakeholder engagement and participation has been gaining growing attention in environmental and climate policy studies, as has the implementation of different expert-driven decision support approaches. In the aim of studying and evaluating the barriers and effects of a green change and in order of supporting policymaking towards a low-carbon transition of the Dutch power sector, this study employs a stakeholder-driven approach based on fuzzy cognitive maps.

The study is contributed by two softwares called AFRYCA and FLINTSTONES, which offers the opportunity of using consensus reaching models in fuzzy preference relations-based multicriteria decisions. In this research, the data available for the modeling consist of 45 stakeholders' preferences over 6 efficient low-carbon alternatives/risks. Each alternative was rated based on 5 criteria (e.g. likelihood to manifest, level of policy impact, lack of mitigation capacity, level of concern, timing of risk's occurrence). This kind of information is used by FLINTSTONES, firstly in order to rate every alternative and secondly rank them, between the "No-ideal" and "Ideal" solution. Importing these initial calculations in AFRYCA would allow us, through a sensitivity analysis, to draw information about the consensus level reached, in respect to various methods.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	3
1.1	Φραγμοί και επιπτώσεις μιας πράσινης μετάβασης.....	4
1.2	Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂).....	5
2	Περιγραφή προβλήματος	7
2.1	Υφιστάμενη κατάσταση	7
2.2	Το Ολλανδικό ενεργειακό σύστημα.....	8
2.3	Βιομάζα και Βιοενέργεια στην Ολλανδία	14
3	Μοντέλα πολυκριτηριακής ανάλυσης	19
3.1	Πολυκριτηριακές Μέθοδοι.....	19
3.2	Γλωσσικές Μέθοδοι	22
3.2.1	Γλωσσικές μεταβλητές: Υπολογιστικές τεχνικές και μοντέλα αναπαράστασης.....	24
3.2.2	Η γλωσσική μέθοδος TOPSIS	26
3.3	Ομοφωνία.....	28
3.3.1	Προβλήματα συλλογικών αποφάσεων.....	28
3.3.2	Υπολογισμός με λέξεις (CWW) για διαδικασίες συλλογιστικής.....	30
3.3.3	Γλωσσική Συλλογική λήψη Αποφάσεων.....	31
3.3.4	Διαδικασίες Ομοφωνίας.....	32
3.3.5	Διαχείριση της Συμπεριφοράς εμπλεκόμενων φορέων σε Διαδικασίες Ομοφωνίας	34
3.3.6	Ενσωμάτωση μεθόδων διαχείρισης συμπεριφοράς σε μοντέλο Ομοφωνίας.....	36
4	FLINTSTONES –AFRYCA	39
4.1	FLINTSTONES	39
4.1.1	Βασικές Αρχές	40
4.1.2	Εισαγωγή Δεδομένων FLINTSTONES.....	41
4.2	AFRYCA.....	46
4.2.1	Αρχιτεκτονική AFRYCA.....	47
4.2.2	Μεθοδολογία χρήσης του AFRYCA για την προσομοίωση ανάλυσης προβλημάτων λήψης αποφάσεων.....	50
5	Αξιολόγηση δράσεων Πράσινης Μετάβασης στην Ολλανδία	55
5.1	Εμπλεκόμενοι φορείς	56
5.1.1	Εναλλακτικές δράσεις.....	57
5.1.2	Επιπτώσεις	62
6	Συζήτηση	67
7	Συμπεράσματα	71
8	Αναφορές	73

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Τμήματα της Ολλανδίας που ενδέχεται να πλημμυρίσουν λόγω της αλλαγής του κλίματος.....	4
Εικόνα 3.1: Επικοινωνία Ανθρώπου-Μηχανής	30
Εικόνα 3.2: Γλωσσικοί όροι για την αξιολόγηση του χαρακτηριστικού «Απόσταση»	30
Εικόνα 3.3: Οι δυο φάσεις Συλλογής και Εκμετάλλευσης	32
Εικόνα 3.4: Γενικό σχήμα Διαδικασιών Προσέγγισης Ομοφωνίας.....	34
Εικόνα 3.5: Σχέδιο Διαδικασιών Ομοφωνίας με διαχείριση συμπεριφοράς	37
Εικόνα 4.1: Αρχική Καρτέλα FLINTSTONES	41
Εικόνα 4.2: Καρτέλα Framework Structuring	42
Εικόνα 4.3: Καρτέλα Gathering.....	43
Εικόνα 4.4: Καρτέλα Rating	45
Εικόνα 4.5: Τελική αναπαράσταση αποτελεσμάτων	46
Εικόνα 4.6: Κεντρική οθόνη του AFRYCA	49
Εικόνα 4.7: Καρτέλα επιλογής Μοντέλων Ομοφωνίας.....	51
Εικόνα 4.8: Τελική ανάλυση αποτελεσμάτων στο AFRYCA	52
Εικόνα 4.9: Περιβάλλον προγραμματισμού ASE.....	53
Εικόνα 5.1: Τελικά αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης εμποδίων μετάβασης του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος.....	60
Εικόνα 5.2: Αναπαράσταση αποτελεσμάτων στο λογισμικό AFRYCA	62
Εικόνα 5.3: Τελικά αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης επιπτώσεων μετάβασης του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος	64
Εικόνα 5.4: Αναπαράσταση αποτελεσμάτων στο λογισμικό AFRYCA	66
Εικόνα 6.1: Κύριοι τομείς Βιοοικονομίας	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Επισκόπηση της Αγοράς της Ολλανδικής Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	10
Πίνακας 2.2: Ολλανδικές Επενδύσεις σε Βιοοικονομικές Επιχειρήσεις (εκατομμύρια ευρώ).....	16
Πίνακας 3.1: Μήτρα πολυκριτηριακών Προβλημάτων Απόφασης.....	22
Πίνακας 3.2: Κατάλογος άρθρων που αναφέρονται σε πολυκριτηριακές μεθόδους .	23
Πίνακας 5.1: Εμπλεκόμενοι φορείς	56
Πίνακας 5.2: Εναλλακτικές δράσεις και κριτήρια	58
Πίνακας 5.3: Επιπτώσεις και κριτήρια	63

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανηγμένες % της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης	11
Σχήμα 2.2: Κατανομή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Ολλανδίας (MWh/a)	12
Σχήμα 2.3: Επισκόπηση της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς της Ολλανδίας	17
Σχήμα 5.1: Επιμέρους αποκλίσεις των εμπλεκόμενων φορέων από την ομοφωνία...	61
Σχήμα 5.2: Επιμέρους αποκλίσεις των εμπλεκόμενων φορέων από την ομοφωνία...	65
Σχήμα 6.1: Κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη Βιοοικονομικών πολιτικών στην Ολλανδία.....	69

1 Εισαγωγή

Παρά την πρόσφατη εγχώρια πρόοδο στην ενέργεια και το κλίμα, συμπεριλαμβανομένης μεταξύ άλλων, μιας σταθερής αύξησης των επενδύσεων σε ηλιακά φωτοβολταϊκά και κτίρια σχεδόν μηδενικής ενέργειας, η Ολλανδία δεν αναμένεται να επιτύχει το στόχο της για διείσδυση ανανεώσιμης ενέργειας το 2020 και την αντίστοιχη Ευρωπαϊκή δέσμευσή της. Το ενεργειακό σύστημα της Ολλανδίας βασίζεται κυρίως σε ορυκτά καύσιμα όπως το φυσικό αέριο και ο άνθρακας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το 2012, τα ορυκτά καύσιμα αντιπροσώπευαν το 90% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας, ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η βιομάζα, η αιολική ενέργεια και η ηλιακή ενέργεια, μόλις το 4% της ηλεκτρικής ενέργειας. Η συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή, βάσει της οποίας έχει δεσμευτεί και η Ολλανδία, έχει θέσει ως στόχο τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη σε επίπεδα χαμηλότερα των 2 °C. Προκειμένου να επιτευχθούν αυτοί οι φιλόδοξοι στόχοι, πρέπει να τεθεί σε εφαρμογή η κατάλληλη κοινωνική κινητοποίηση και η παροχή οικονομικών πόρων, να δημιουργηθεί ένα νέο τεχνολογικό πλαίσιο και να ενισχυθεί η ανάπτυξη ικανοτήτων απόφασης, υποστηρίζοντας έτσι τις δράσεις των αναπτυσσόμενων και των πλέον ευάλωτων χωρών, σύμφωνα με τους εκάστοτε εθνικούς στόχους. Στο πλαίσιο αυτό η Ολλανδία επιδιώκει μια βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση με δραστική μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων έως το 2050.

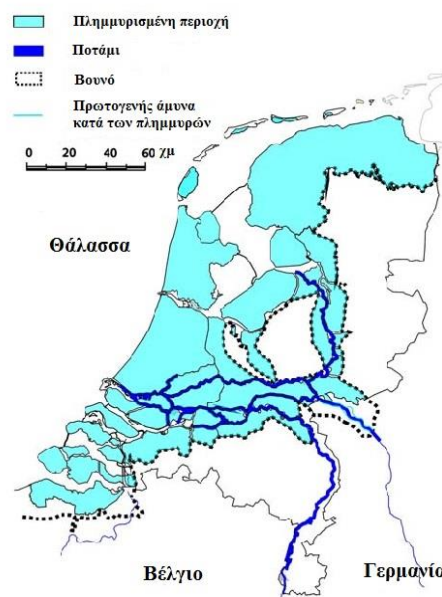
Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να υποστηρίξει την προσπάθεια της Ολλανδίας στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλού άνθρακα, μελετώντας εκτενώς και αξιολογώντας με τη βοήθεια κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων τα εμπόδια και τις επιπτώσεις μιας πράσινης μετάβασης του ενεργειακού της συστήματος. Η διπλωματική χωρίζεται σε 8 κεφάλαια όπου:

- Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κίνδυνοι μιας πράσινης μετάβασης καθώς επίσης αναλύεται η μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ως βασικό στοιχείο κλιματικής πολιτικής.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υφιστάμενο πλαίσιο του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αποτυπώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των μοντέλων πολυκριτηριακών συστημάτων βάσει των οποίων αναλύθηκε η ενεργειακή μετάβαση της Ολλανδίας .
- Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα υπολογιστικά εργαλεία πολυκριτήριας ανάλυσης και ανάλυσης ομοφωνίας που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της διπλωματικής εργασίας (FLINTSTONES και AFRYCA).
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- Το έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνει ανάλυση και συζήτηση επί των αποτελεσμάτων.
- Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της ανάλυσης.
- Το όγδοο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις βιβλιογραφικές πηγές που αξιοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

1.1 Φραγμοί και επιπτώσεις μιας πράσινης μετάβασης

Είναι γνωστό ότι η μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια από το ευρύ κοινό, τις επιχειρήσεις και τις δημόσιες αρχές. Όσον αφορά τα εμπόδια, τα πράγματα είναι πολύπλοκα. Η έγκαιρη ανάπτυξη και ευρεία διαθεσιμότητα βιώσιμων εναλλακτικών δράσεων με σημαντικές επενδύσεις σε τομείς όπως η παραγωγή φυτικών τροφίμων και βιολογικών προϊόντων αναμένεται να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην απλοποίηση και άρση αυτών των εμποδίων. Άλλοι καταλυτικοί παράγοντες του παραπάνω πλαισίου είναι, η αντιμετώπιση των πλημμυρών και των πλεοναζόντων υδάτων λόγω της κλιματικής αλλαγής (Εικόνα 1.1), η βελτίωση των εγκαταστάσεων παραγωγής και των υποδομών και τέλος, η συνεχής αξιολόγηση των χωρικών επιπτώσεων οποιασδήποτε δράσης, ειδικά σε μια τόσο πυκνοκατοικημένη χώρα όπως η Ολλανδία. Καταρχάς η ενεργειακή μετάβαση αποτελεί μείζονα κοινωνική πρόκληση αφού εμπλέκει άμεσα την καθημερινή ζωή και το περιβάλλον διαβίωσης των ανθρώπων. Μια μετάβαση αυτού του επιπέδου μπορεί να υλοποιηθεί μόνο εάν η παροχή ενέργειας παραμείνει προσιτή, αξιόπιστη και ασφαλής.

Η ενεργειακή μετάβαση συνιστά ένα σύνολο διεργασιών που ξεκίνησε σε παγκόσμιο επίπεδο, το οποίο θα συνεχιστεί και αναμένεται να εντατικοποιηθεί, ανεξάρτητα από τις γεωπολιτικές αβεβαιότητες. Στο πλαίσιο αυτό η Ολλανδία πρέπει να ανταποκριθεί ενεργά και όχι να υιοθετήσει μια στάση αναμονής. Η μετάβαση στην πράσινη ενέργεια προσφέρει μεγάλες ευκαιρίες σε όλες τις κοινωνικο-οικονομικές εκφάνσεις των τομέων δραστηριότητας μιας χώρας. Αυτό απαιτεί νέες και εποικοδομητικές συμπράξεις μεταξύ επιχειρήσεων, ινστιτούτων γνώσης, οργανώσεων της κοινωνίας και των δημόσιων αρχών. Με τον τρόπο αυτό, η μετάβαση στην αειφορία ξεφεύγει από τα στενά πλαίσια της αλλαγής των πηγών ενέργειας, και καθίσταται μια καινοτόμος διαδικασία που θα αυξήσει τη δύναμη της Ολλανδικής οικονομίας και κοινωνίας [1].

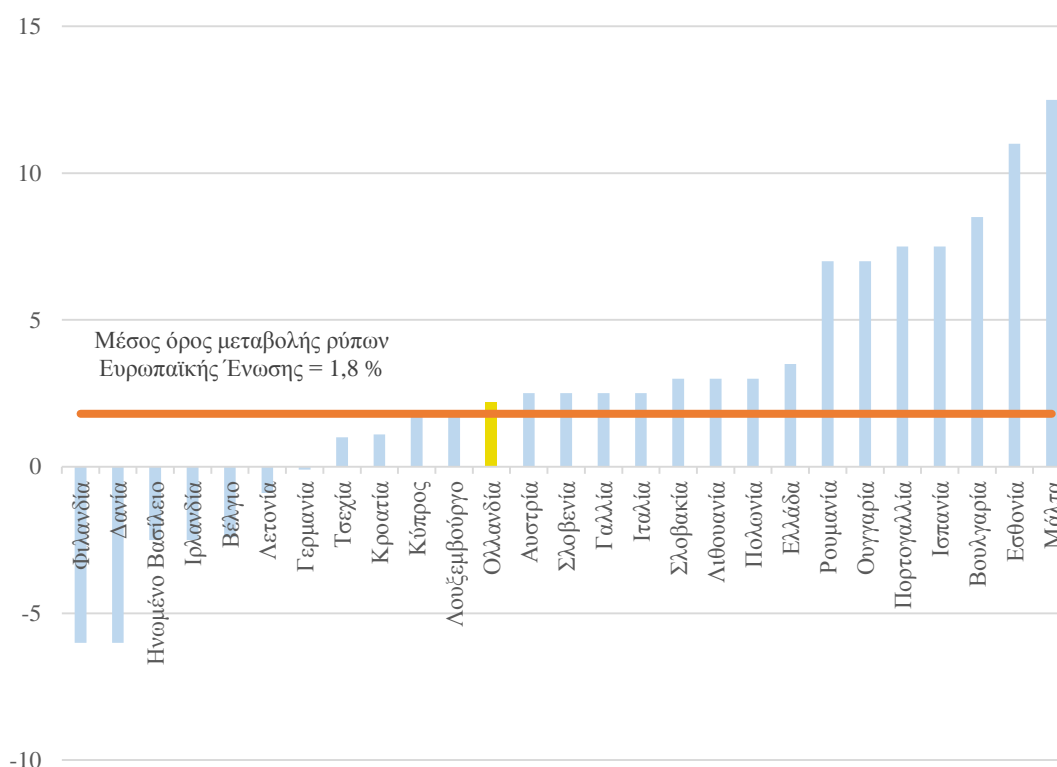


Εικόνα 1.1: Τμήματα της Ολλανδίας που ενδέχεται να πλημμυρίσουν λόγω της αλλαγής του κλίματος

1.2 Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Κατά τη διάρκεια της ενεργειακής μετάβασης έως το 2050, η Ολλανδική κυβέρνηση στοχεύει σε έναν μόνο στόχο: μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου με στόχο τη μείωση του CO₂. Η μείωση αυτή αποτελεί τον οικονομικότερο τρόπο αποδοτικής συνεισφοράς της χώρας στην επίτευξη του στόχου της συμφωνίας του Παρισιού για την αλλαγή του κλίματος που επιτάσσει τη διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας αρκετά κάτω από τους 2 °C. Ένας επίσης κρίσιμος παράγοντας διαφαίνεται να είναι η ύπαρξη σημαντικών επενδύσεων με κατεύθυνση την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό μίγμα της Ολλανδίας. Οι μεγάλες κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές αβεβαιότητες καθιστούν αδύνατο τον προσδιορισμό της εξοικονομούμενης ενέργειας με την αύξηση των ανανεώσιμων πηγών. Ο καλύτερος δυνατός και οικονομικότερος συνδυασμός εξοικονόμησης ενέργειας και ανανεώσιμων πηγών, αναμένεται να προκύψει, δεδομένου ότι όλες οι ενεργειακές δράσεις στοχεύουν στη μείωση του CO₂ (Σχήμα 1.1). Η μείωση των εκπομπών CO₂ αποτελεί βασικό στοιχείο της κλιματικής πολιτικής για την Ευρώπη και σε αυτό επικεντρώνονται οι προσπάθειες της Ολλανδίας [1].

Μεταβολές ρύπων CO₂ στην ΕΕ (2017-2018)



Σχήμα 1.1: Ρύποι CO₂ ανηγμένοι %

2 Περιγραφή προβλήματος

2.1 Υφιστάμενη κατάσταση

Η Ολλανδία διαθέτει 4 βαθμίδες δημόσιας διοίκησης, το κράτος (κυβέρνηση), τις επαρχίες, τους δήμους και τα περιφερειακά διοικητικά. Το παραπάνω μίγμα διοίκησης είναι υπεύθυνο για τον χωροταξικό σχεδιασμό και τη μελλοντική ανάπτυξη και δομή των Ολλανδικών πόλεων, των υποδομών και των εθνικών τοπίων. Στις αρχές του 2011 και μετά από αλλαγή κυβέρνησης, οι αρμοδιότητες καθενός από τα 3 αρχικά επίπεδα διακυβέρνησης και ο τρόπος με τον οποίο μπορούν να συνεργαστούν, επανεκτιμήθηκαν και καθορίστηκαν με μια Διοικητική Συμφωνία. Η κεντρική κυβέρνηση, οι επαρχίες και οι δήμοι ασχολούνται σχεδόν αποκλειστικά με στρατηγικές, πολιτικές και σχέδια για την ανάπτυξη και την ανάπλαση πόλεων με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, για τις επόμενες δεκαετίες. Και οι 3 βαθμίδες της κυβέρνησης είναι επιφορτισμένες να καταστήσουν τις πόλεις της Ολλανδίας έτοιμες να αντιμετωπίσουν το μέλλον: λιγότερο εξαρτημένες από τα ορυκτά καύσιμα, με μειωμένες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ικανές να ανταπεξέλθουν στην αναμενόμενη αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Η πολιτική και οι στόχοι στον τομέα της μείωσης των εκπομπών CO₂ και της μετάβασης σε μια βιώσιμη ενέργεια είναι πιο πιθανό να επιτύχουν τον στόχο τους όταν ενσωματωθούν στον χωρικό σχεδιασμό. Ειδικότερα οι μεγαλύτερες πόλεις της Ολλανδίας, (Αμστερνταμ, Ρότερνταμ, Χάγη, Ουτρέχτη) κάνουν σημαντικά βήματα στον τομέα αυτό [2].

Η Ολλανδία αντιμετωπίζει μια μεγάλη πρόκληση: μείωση των κρατικών δαπανών με ταυτόχρονη ενίσχυση της οικονομίας της. Η Διοικητική Συμφωνία μεταξύ του κράτους, των επαρχιών, των δήμων και των περιφερειακών συμβουλίων συμβάλλει στη δημιουργία ενός κυβερνητικού μηχανισμού που είναι κομψός και αποτελεσματικός με σαφή κατανομή καθηκόντων μεταξύ των 4 επιπέδων διοικητικής εξουσίας. Η βασική αρχή του Ολλανδικού κυβερνητικού μηχανισμού της τελευταίας δεκαετίας που είναι «Αποκεντρώνουμε οτιδήποτε μπορούμε, Συγκεντρώνουμε αυτά που πρέπει» τίθεται σε εφαρμογή. Κατά συνέπεια, η εκτέλεση των καθηκόντων μεταβιβάζεται στους δήμους ή τις επαρχίες. Η κεντρική κυβέρνηση είναι υπεύθυνη μόνο για εθνικές ανησυχίες όπως η εθνική άμυνα και η εξωτερική πολιτική, αλλά συμμετέχει, παράλληλα με άλλα επίπεδα διοίκησης, στη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση, στη χωροταξική οικονομία, τη δημόσια υγεία, τις αντιπλημμυρικές άμυνες, τα μοναδικά χαρακτηριστικά του τοπίου και την πολιτιστική κληρονομιά του έθνους καθώς και την διατήρηση των εθνικών και διεθνών δικτύων μεταφοράς. Η κεντρική κυβέρνηση παρουσίασε αυτό το όραμα στο σχέδιο Εθνικής Στρατηγικής Πολιτικής για την Υποδομή και τον Χωροταξικό Σχεδιασμό. Τα βασικά καθήκοντα επικεντρώνονται στη χωρική ανάπτυξη και το φυσικό περιβάλλον. Στο πλαίσιο αυτό, οι επαρχίες ενεργούν ως περιφερειακοί συντονιστές για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων αναπτυξιακών ενεργειακών στρατηγικών, την αλληλεπίδραση συμφερόντων, καθώς και για την προώθηση και διασφάλιση της συνεργατικότητας μεταξύ των πόλεων και των αστικών περιοχών κάθε επαρχίας.

Οι δήμοι είναι υπεύθυνοι για τη δημιουργία ενός ασφαλούς και ευχάριστου περιβάλλοντος διαβίωσης και εργασίας και τα καθήκοντά τους ανήκουν στον κοινωνικό, οικονομικό και χωροταξικό τομέα. Ειδικότερα, κυρίαρχη βάση δίνεται στην εύρεση σωστής ισορροπίας μεταξύ ενέργειας, περιβάλλοντος, φύσης, ύδατος, οικονομίας και στέγασης. Η πολιτική αυτή αναπτύσσεται περαιτέρω σε στρατηγικές ενεργειακής πολιτικής και σχέδια χωροταξίας. Το έργο των περιφερειακών συμβουλίων επικεντρώνεται στη διαχείριση της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων στα περιφερειακά συστήματα ύδρευσης. Στο πλαίσιο αυτής της αποστολής, τα περιφερειακά συμβούλια είναι υπεύθυνα για την άμυνα κατά των πλημμυρών και για την εξασφάλιση επαρκούς καθαρού νερού. Η Διοικητική συμφωνία επίσης επιβάλλει στις δημόσιες αρχές να συνεργαστούν για τη διασφάλιση ίδιας χωρικής πολιτικής και κατανομής καθηκόντων σε όλα τα διοικητικά επίπεδα και στους τομείς της στέγασης, του ύδατος, των μεταφορών, της οικονομικής δραστηριότητας, του κλίματος, της ενέργειας, του περιβάλλοντος και της πολιτιστικής κληρονομιάς. Αυτή η χωρική πολιτική στοχεύει στο να διασφαλίσει ότι η Ολλανδία:

- Μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω οικονομικά, έτσι ώστε οι επενδύσεις στη χώρα να εξακολουθήσουν να είναι ελκυστικές για τις εθνικές και διεθνείς επιχειρήσεις.
- Συνεχίζει να είναι προσβάσιμη από το έδαφος, το νερό και τον αέρα.
- Τακτοποιεί τον ενεργειακό της εφοδιασμό και εξασφαλίζει ότι η ενέργεια είναι διαθέσιμη για το μέλλον.
- Προστατεύεται από τις πλημμύρες και την αύξηση της στάθμης του νερού και εξακολουθεί να είναι ασφαλής ακόμη και υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής [2].

2.2 Το Ολλανδικό ενεργειακό σύστημα

Οι επενδύσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας δύνανται να συνεισφέρουν αποφασιστικά στην μετάβαση της Ολλανδίας προς μια αειφόρο οικονομία και να την καταστήσουν λιγότερο εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), με ευέλικτες τιμές. Λόγω της αύξησης των επενδύσεων σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, μια ενεργειακή μετάβαση αναμένεται να μειώσει τους λογαριασμούς ενέργειας και να δημιουργήσει θέσεις εργασίας για μηχανικούς, διαχειριστές και κατασκευαστές. Επιπλέον, υπάρχουν πολλοί άλλοι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην Ολλανδική ενεργειακή μετάβαση, όπως η έλλειψη συνέπειας στη χάραξη σαφώς καθορισμένης και οριοθετημένης ενεργειακής πολιτικής, οι δεσμεύσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η άμεση συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων [3]. Παρά τις σημαντικές προσπάθειες αρκετών κυβερνήσεων συνασπισμού, η μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό σύστημα έχει παραμείνει στάσιμη [3].

Ο Ολλανδικός ενεργειακός τομέας διαχωρίζεται σε έναν διαχειριστή συστήματος μεταφοράς, 8 φορείς εκμετάλλευσης υπηρεσιών διανομής, περισσότερους από 25 παραγωγούς και 35 λιανοπωλητές ηλεκτρικής ενέργειας [4]. Ο Ολλανδικός νόμος

απαιτεί διαχωρισμό ιδιοκτησίας τόσο για τη μετάδοση όσο και για τη διανομή ενώ υπάρχουν περισσότερες από 8 εκατομμύρια συνδέσεις στην Ολλανδία, με συνολική τρέχουσα ζήτηση περίπου 118,6 TWh [4]. Η Ολλανδική ενεργειακή βιομηχανία επωφελείται από τη μοναδική της θέση. Το βόρειο τμήμα της χώρας είναι πλούσιο σε φυσικό αέριο με αποτέλεσμα οι περισσότεροι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής να λειτουργούν με φυσικό αέριο.[4]. Μόνο το 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές γεγονός που οφείλεται εν μέρει στην απουσία μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικής παραγωγής και στην περιορισμένη χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας στην ξηρά λόγω της αυξημένης πυκνότητας του πληθυσμού [4]. Οι περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προέρχονται από βιομάζα καθώς το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας κυριαρχείται από ορυκτά καύσιμα - κυρίως φυσικού αερίου και άνθρακα - που αντιστοιχεί σε περίπου 31,25 GW [4]. Η ανανεώσιμη ενέργεια προέρχεται κυρίως από τα βιοκαύσιμα ενώ η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και η πυρηνική ενέργεια διαδραματίζουν μικρό ρόλο στην παραγωγή ανανεώσιμων πόρων [4]. Η αιολική ενέργεια γνώρισε την ταχύτερη ανάπτυξη κατά την περίοδο 2006-2015, αυξάνοντας την παραγωγή της από 0,8 TWh το 2006 σε 7,6 TWh το 2015 [4].

Η κυβέρνηση αποφάσισε να μην συνεχίσει την εξόρυξη φυσικού αερίου από τον τομέα του Groningen, ένα από τα μεγαλύτερα αποθέματα φυσικού αερίου στον κόσμο και για τα επόμενα 4 έως 5 χρόνια, το ποσοστό εξόρυξης θα μειωθεί στο μισό και μέχρι το 2030 θα σταματήσει τελείως [4]. Δεδομένου ότι το φυσικό αέριο σήμερα εξυπηρετεί το 90% των Ολλανδικών νοικοκυριών, η κυβέρνηση σχεδιάζει να κατασκευάσει εργοστάσιο αζώτου για τη μετατροπή του εισαγόμενου αερίου σε καύσιμο, με αποτέλεσμα τη μείωση της ζήτησης για το αέριο Groningen κατά 7 δις. κυβικά μέτρα ενώ παράλληλα εφαρμόζει την οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα βιοκαύσιμα, αυξάνοντας σταδιακά το ποσοστό ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, όπως τα βιοκαύσιμα, το βιοαέριο και την ηλεκτρική ενέργεια για τις οδικές μεταφορές [4]. Στόχος είναι να οικοδομηθεί η εμπιστοσύνη ότι τα βιοκαύσιμα αποτελούν βιώσιμη πηγή ενέργειας και να προχωρήσουμε σταδιακά προς την κατεύθυνση του στόχου της ΕΕ για το 10% των βιοκαυσίμων μέχρι το 2020 στον τομέα των μεταφορών [4].

Περίπου το 7% της μέσης ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας παρέχεται από την αιολική ενέργεια. Μέχρι το τέλος του 2015, περίπου 2.525 ανεμογεννήτριες παρήγαγαν 3.000 MW ηλεκτρικής ενέργειας, καλύπτοντας μόλις 5% των συνολικών ενεργειακών απαιτήσεων της χώρας. Μέχρι το 2020, η Ολλανδία αναμένεται να διαθέτει αιολικό δυναμικό παραγωγής ενέργειας 6.000 MW. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της αιολικής ισχύος άνω των 3.000 MW, που ισοδυναμεί με 1.000-1.500 νέες ανεμογεννήτριες [4].

Η ηλιακή ενέργεια έχει κερδίσει δημοτικότητα τα τελευταία δύο χρόνια. Η κυβέρνηση σκοπεύει να προχωρήσει σε παράκτια εκμετάλλευση ηλιακής ενέργειας η οποία αναμένεται να λειτουργήσει περίπου το 2021 και θα παράσχει ενέργεια στην Ολλανδία [4]. Μια πιλοτική δοκιμή διεξήχθη το καλοκαίρι του 2018 εννέα μίλια από τις ακτές της Χάγης με την κατασκευή ενός ηλιακού πάρκου που επιπλέει στην επιφάνεια της θάλασσας. Οι φωτοβολταϊκοί πίνακες συνδέονται με τις ήδη υπάρχουσες ανεμογεννήτριες στη Βόρεια Θάλασσα, γεγονός που διευκολύνει τη μεταφορά της

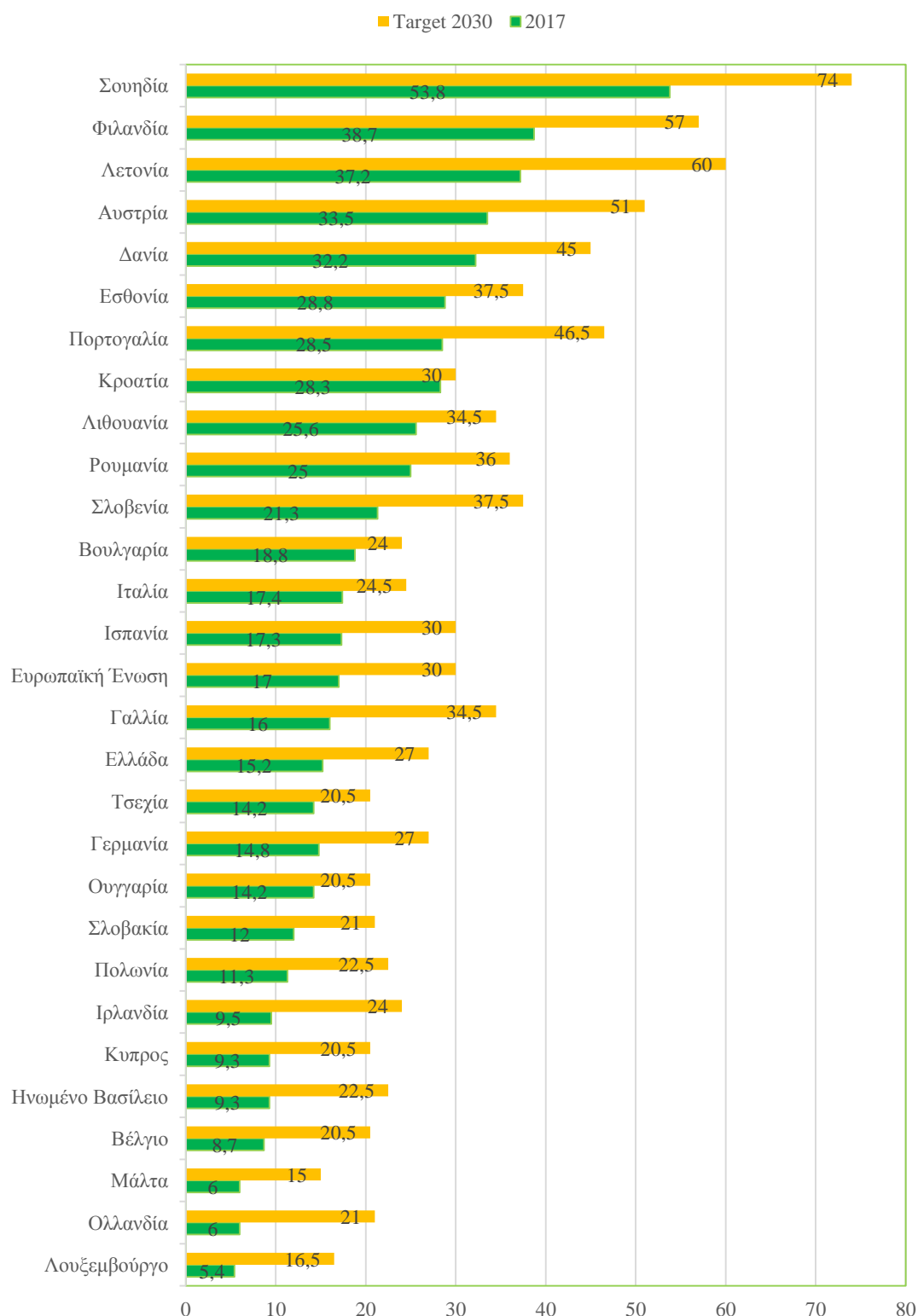
ενέργειας. Το 2017, η Ολλανδία πρόσθεσε ηλιακά συστήματα ισχύος ύψους 853 MW [4]. Ο Πίνακας 2.1 που ακολουθεί συνοψίζει το παραπάνω μίγμα ηλεκτρικής ενέργειας της Ολλανδίας για το έτος 2017.

Πίνακας 2.1: Επισκόπηση της Αγοράς της Ολλανδικής Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Έτος	2017
Ακαθάριστη παραγωγή (TWh)	114.9
Υγραέριο	46%
Γαιάνθρακας	35%
Αέρας	7%
Βιομάζα/βιοαέριο	6%
Πυρηνική	3%
Άλλες παραγωγές	3%

Με μερίδιο 6% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2017 (Σχήμα 2.1) στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, οι Ολλανδοί παρουσιάζουν ελάχιστα αποτελέσματα στη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στο μίγμα ενέργειας, σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι από τη δεκαετία του 2000, καμία από τις διαδοχικές κυβερνήσεις συνασπισμού δεν κατόρθωσε να ολοκληρώσει τη θητεία της. Ως αποτέλεσμα, η ενεργειακή πολιτική παρουσίαζε συχνές μεταβολές, γεγονός που επηρέασε αρνητικά την αποτελεσματικότητα των δράσεων [4]. Ο συντονισμός των διαφόρων πρωτοβουλιών και ως εκ τούτου η κοινή στρατηγική, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι μιας ασφαλούς ενεργειακής μετάβασης. Ειδικά στον ενεργειακό τομέα, η σταθερότητα και η προβλεψιμότητα είναι θεμελιώδεις έννοιες για την εξασφάλιση των απαιτούμενων επενδύσεων για τις επόμενες δεκαετίες. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η συνοχή στη χάραξη πολιτικής.

Συνεισφορά ΑΠΕ

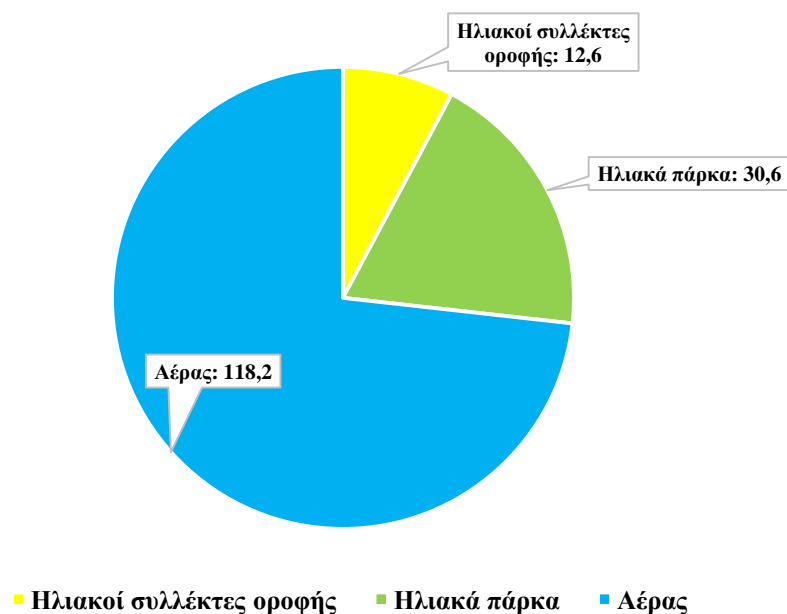


Σχήμα 2.1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανηγμένες % της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης

Η Ολλανδία διαθέτει υψηλή κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο ίση με 3,3 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (Τ.Ι.Π) συγκριτικά με τον μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης που ισούται με 2,45 Τ.Ι.Π. Οι τομείς που καταναλώνουν ενέργεια, όπως πετροχημικά,

φυτοκομία και μεταφορές, αποτελούν βασικό πυλώνα της Ολλανδικής οικονομίας [5]. Σημαντικά ποσά ενέργειας εισάγονται κυρίως από την Γερμανία, τη Γαλλία και το Βέλγιο, ενώ καταναλώνεται μόνο το ένα τρίτο περίπου αυτών των εισαγωγών. Σε σύγκριση με πολλές ευρωπαϊκές χώρες, η Ολλανδία διαθέτει σχετικά μεγάλα αποθέματα ορυκτών καυσίμων. Στα σημερινά επίπεδα παραγωγής υπολογίζεται ότι υπάρχουν αποθέματα περίπου 5 έως 10 χρόνια στα πεδία φυσικού αερίου για να καλύψουν τη ζήτηση με το σημερινό ποσοστό κατανάλωσης [5]. Για τον λόγο αυτό, η Ολλανδία ήρθε πρόσφατα αντιμέτωπη με την ανάγκη ανάληψης ενεργειακών πρωτοβουλιών που στοχεύουν στην ενσωμάτωση της παραγωγής και της κατανάλωσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο συνολικό ενεργειακό μίγμα. Η χώρα αριθμούσε 392 ενεργειακούς συνεταιρισμούς το 2017, σημειώνοντας αύξηση περίπου 20% σε σύγκριση με το 2016 και στα τέλη του 2017, 63.000 άνθρωποι συμμετείχαν στον τομέα των συνεταιρισμών είτε ως επενδυτές-μέλη είτε ως πελάτες [5]. Το αποτέλεσμα αύξησης της παραγωγικής ικανότητας αφορά τους τομείς της ηλιακής και αιολικής ενέργειας ως εξής: 43,2 MW ηλιακής ενέργειας (αύξηση κατά 53% μεταξύ 2016 και 2017) και 118 MW αιολικής ενέργειας που παράγονται από ανεμογεννήτριες στην ξηρά (αύξηση κατά 2,7 MW κατά την ίδια περίοδο) (Σχήμα 2.2) [5]. Αυτά τα στοιχεία αναμένεται να διπλασιαστούν τα επόμενα δύο χρόνια. Αναλύοντας τα αριθμητικά δεδομένα προκύπτει πως η συμβολή των συνεταιρισμών στον εθνικό στόχο, αν και αυξάνεται, εξακολουθεί να φαίνεται αμελητέα. Η συνολική ηλιακή ενέργεια που παράγεται μέσω των συνεταιρισμών περιλαμβάνει περίπου το 1,8% της (ήδη χαμηλής) συνολικής παραγόμενης ηλιακής ενέργειας της χώρας, ενώ παράλληλα, όσον αφορά την αιολική ενέργεια, η συμβολή του συνεταιριστικού κινήματος ανέρχεται περίπου στο 2,8% του εθνικού συνόλου [5].

Μερίδιο ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα
Ολλανδίας



Σχήμα 2.2: Κατανομή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας της Ολλανδίας (MWh/a)

Η παραπάνω ενεργειακή πολιτική χαρακτηρίζεται από έντονη πολυπλοκότητα σχετικά με τις τιμές ενέργειας για τις μεγάλου εντάσεως βιομηχανίες, τις τεχνολογικές προκλήσεις που προκαλούν την καινοτομία και τα νέα επιχειρηματικά μοντέλα, με δεδομένη τη συνεχή πρόκληση να παραμείνει ανταγωνιστική η Ολλανδία σε διεθνές επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, η ενεργειακή μετάβαση αποτελεί τον βασικό άξονα καινοτομίας αλλά και μια πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για τη βιομηχανία και τις επιχειρήσεις. Οι Ολλανδοί εξέδωσαν την πρώτη επιδότηση για παράκτια εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα τέλη του 2012 με την ελπίδα να αξιοποιήσουν τον ήδη αναπτυσσόμενο τομέα των αιολικών πάρκων [5]. Οι εταιρείες που χρηματοδότησαν το έργο συμμετείχαν στη διατήρηση του χαμηλού κόστους κατά τη μετάβαση σε ανανεώσιμη ενέργεια. Επίσης, ένα αιολικό πάρκο πρόκειται να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει στις περιοχές I και II του Hollandse Kust (zuid) στη Βόρεια Θάλασσα ενώ επί του παρόντος, υπάρχουν 6 Παράκτιες αιολικές εγκαταστάσεις στις ακτές της Ολλανδίας: Egmond aan Zee (108 MW), Eneco Lucterduinen (129 MW), Windpark Friesland (320 MW - που θα κατασκευαστούν μέχρι το 2021), Gemini (600 MW) Η Vorrink (17 MW), η Lely (2 MW) και Princess Amalia (120 MW) [5].

Η πυρηνική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην Ολλανδία [4]. Σήμερα λειτουργεί ένας σταθμός πυρηνικής ενέργειας στον δήμο Borsele. Η ετήσια παραγωγή του ανέρχεται περίπου στα 4 δισεκατομμύρια kWh, αρκετή για να τροφοδοτεί πάνω από ένα εκατομμύριο κατοικίες [5]. Αντιπυρηνική άποψη φαίνεται να έχουν υιοθετήσει οι Ολλανδοί πολίτες δεδομένου ότι υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τους κινδύνους ασφάλειας και τους χρηματοοικονομικούς κινδύνους που συνδέονται με την τεχνολογία και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στην εξεύρεση ασφαλούς και οριστικής λύσης για τα πυρηνικά απόβλητα [5]. Ως αποτέλεσμα, η κατασκευή περαιτέρω πυρηνικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής έχει παραμείνει στάσιμη. Παρά τα έντονα αντιπυρηνικά αισθήματα μεταξύ των Ολλανδών, φαίνεται ότι η ανησυχία για να παραμείνει ανταγωνιστική η βιομηχανική βάση της Ολλανδίας πρωταγωνιστεί στην ενεργειακή πολιτική της. Η χώρα θέλει να παραμείνει σημαντικός παγκόσμιος βιομηχανικός παράγοντας, κάτι που είναι βαθιά ενσωματωμένο σε όλους τους βιομηχανικούς τομείς της, καθώς και στην έρευνα και την πολιτική, τόσο σε ομοσπονδιακό όσο και σε κρατικό επίπεδο .

Δεδομένου του προαναφερθέντος πλαισίου, υπήρξε ευρεία υποστήριξη από την Ολλανδική κοινωνία και την πολιτική για μια διαφορετική προσέγγιση στη βιώσιμη ενεργειακή μετάβαση [4]. Μια προσέγγιση στην οποία όλοι οι ενδιαφερόμενοι φορείς, (τοπικές) κυβερνήσεις, ενώσεις εργοδοτών και συνδικαλιστικές οργανώσεις, περιβαλλοντικές οργανώσεις, οφείλουν να αναλάβουν ευθύνη. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο εξετάζει περιβαλλοντικούς και κλιματικούς στόχους, αλλά λαμβάνει επίσης υπόψη της τόσο τις οικονομικές προκλήσεις όσο και τις ευκαιρίες που παρουσιάζει μια ενεργειακή μετάβαση [5]. Εξάλλου, η μετάβαση στη βιώσιμη ενέργεια αποτελεί μέρος μιας παγκόσμιας ανάπτυξης, με αναπτυσσόμενες διεθνείς αγορές και οικονομίες που ανταγωνίζονται και καινοτομούν.

Για να επιτευχθεί αυτό, σε εθνικό επίπεδο είναι απαραίτητη η διατήρηση του φυσικού κεφαλαίου της Ολλανδίας, ο περιορισμός της εξάρτησής της από ορυκτούς και σπάνιους πόρους και η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Δραστικό ρόλο σε αυτήν την κατεύθυνση αναμένεται να διαδραματίσει η Βιοενέργεια. Για το λόγο αυτό η Ολλανδία αναπτύσσει μια βιοβασισμένη και κυκλική οικονομία, γνωστή ως Βιοοικονομία. Πρόκειται για μια οικονομία που λειτουργεί όλο και περισσότερο με βιομάζα ως κύριο πόρο αντί για ορυκτά καύσιμα. Η βιοβασισμένη οικονομία είναι μια από τους ακρογωνιαίους λίθους της κυκλικής οικονομίας, στην οποία τα προϊόντα και τα υλικά ανακυκλώνονται και οι πρώτες ύλες διατηρούν την αξία τους.

2.3 Βιομάζα και Βιοενέργεια στην Ολλανδία

Οι καλά αναπτυγμένοι τομείς της γεωργίας, των μεταφορών και της χημικής βιομηχανίας παρέχουν μια στέρεη βάση για την εφαρμογή μιας οικονομίας με βιολογικά χαρακτηριστικά. Η πιο σημαντική εξέλιξη της αγοράς αναμένεται να λάβει μέρος στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω βιοκαυσίμων, χημικών βιοαποδόμησης και βιοπολυμερών. Η καινοτομία και η αλυσιδωτή ανάπτυξη προωθούνται με την καθιέρωση των λεγόμενων «πράσινων συμφωνιών», προσανατολισμένων προς την ανάπτυξη της Βιοοικονομίας, της βιοενέργειας και των βιοαποικοδομητικών υλικών. Το επίκεντρο είναι η βελτίωση της καινοτόμας επιχειρηματικότητας και η ανάπτυξή της καθώς και η άρση των όποιων τεχνολογικών εμποδίων. Πολλές δραστηριότητες εξαρτώνται από τις εισαγωγές βιομάζας, καθώς η εγχώρια παραγωγή είναι κάπως περιορισμένη, με εξαίρεση τις καλλιέργειες γρασιδιού και ζαχαρότευτλων. Την τελευταία δεκαετία η χρήση βιοποικιλομένων πόρων για την παραγωγή ενέργειας στην Ολλανδία αυξήθηκε κατά 77% [28]. Τα απόβλητα βιομάζας (συμπεριλαμβανομένου του υπολειμματικού ξύλου, κοπριάς κοτόπουλων και ύλης χαρτιού) αποτελούν το ήμισυ της εισροής βιοενέργειας καθώς τα στερεά βιοκαύσιμα τα αστικά απόβλητα και το βιοαέριο το άλλο μισό.

Η Ολλανδία διαθέτει περιορισμένο τομέα δασοκομίας και ξυλείας και μεγάλη διακίνηση χαρτοπολτού. Τα περισσότερα προϊόντα ξύλου εισάγονται κυρίως από τη Γερμανία το Βέλγιο, τη Σουηδία και τη Γαλλία. Η εισαγωγή ξύλου της Ολλανδίας, το 2013 κυμαινόταν από 0,425 έως 1,28 εκατομμύρια τόνους [28]. Η συνολική χρήση ξύλου για τη βιοενέργεια το ίδιο έτος εκτιμήθηκε από 0,56 έως 3 εκατομμύρια τόνους [28]. Η παραγωγή βιοκαυσίμων έληξε μόλις πρόσφατα, με σημαντική παραγωγή βιοαιθανόλης βασισμένη σε άμυλο και βιοντίζελ από φυτικά έλαια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρήγαγαν το 10% της ηλεκτρικής ενέργειας το 2013, με μικρό μέρος της βιομάζας να αξιοποιείται στην παραγωγή ενέργειας και θερμότητας [28]. Το βιοαέριο και η βιομάζα από άλλες μορφές διαδραματίζουν μικρό ρόλο (συνολικά λιγότερο από 2%). Η παραγωγή βιοαποικοδομημένων χημικών και βιοπολυμερών εξακολουθεί να είναι μέτρια. Βασίζονται κυρίως σε διαδικασίες που περιλαμβάνουν έλαια, σάκχαρα και άμυλο. Ένας διεθνής Ολλανδικός κατασκευαστής αμύλου, η AVEBE, παράγει ετησίως 254 τόνους τροποποιημένου αμύλου πατάτας ενώ 145

τόνους φυτικών ελαίων χρησιμοποιούνται σε τεχνικές εφαρμογές [28]. Η παραγωγή περιλαμβάνει περαιτέρω γαλακτικό οξύ με βάση τα σάκχαρα και το άμυλο.

Ο κύκλος εργασιών της Βιοοικονομίας στην Ολλανδία εκτιμήθηκε σε 20 δισ. ευρώ για το 2014. Η προστιθέμενη αξία υπολογίστηκε νωρίτερα σε 2,6 έως 3,0 δισ. ευρώ. [28]. Το ποσό αυτό περιλαμβάνει τους τομείς των υλικών, των χημικών και της ενέργειας όπου η βιοαπόδοση αυτών των τομέων δημιουργεί ποσοστό από 0,5 έως 0,6% της Ολλανδικής οικονομίας. Η Βιοοικονομία κυριαρχείται από τον τομέα των υλικών προϊόντων (2 έως 2,4 δισ. ευρώ προστιθέμενη αξία), ακολουθούμενη από τον τομέα των χημικών προϊόντων (442 εκατομμύρια ευρώ), την παραγωγή βιοκαυσίμων (100 εκατομμύρια ευρώ) και τον ενεργειακό τομέα (70 εκατομμύρια ευρώ) [28].

Επιπλέον, η Ολλανδία παρέχει πολλές μορφές υποστήριξης στην έρευνα και την ανάπτυξη (E & A) της οικονομίας με βάση τα βιολογικά προϊόντα. Έχουν υλοποιηθεί διάφορα προγράμματα έρευνας για την παραγωγή βιομάζας και τη μετατροπή σε καύσιμα, ενέργεια, χημικά και βιοϋλικά. Οι μηχανισμοί χρηματοδότησης και επενδύσεων διέθεσαν έως και 120 εκατ. Ευρώ το 2013 [29]. Η βιοενέργεια (βιοαέριο / αναερόβια χώνευση, καύση και υγραεριοποίηση) επωφελείται κυρίως από αυτή την οικονομική υποστήριξη, ενώ τα βιοπλαστικά και άλλα βιοϋλικά είναι αναδυόμενα πεδία εφαρμογής. Οι συνολικές περιφερειακές επενδύσεις ανέρχονται σε περίπου 1,5 δισ. ευρώ, εκ των οποίων τα δύο τρίτα κατανέμονται στη βιοενέργεια [29]. Οι πρωτοβουλίες των περιφερειακών συμβουλίων επικεντρώνονται κυρίως στο τελικό στάδιο αυτού του κύκλου καινοτομίας, που σχετίζεται με τη διαμόρφωση της αγοράς, αλλά παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση από περιφέρεια σε περιφέρεια [29].

Η χρηματοδότηση της δημόσιας έρευνας και ανάπτυξης στον τομέα της Βιοοικονομίας επικεντρώνεται κυρίως στη γεωργία (κατά μέσον όρο 136 εκατομμύρια ευρώ ετησίως), στη βιομηχανική χρήση βιομάζας (63 εκατομμύρια ευρώ) και στην εξέλιξη της τεχνολογία (16 εκατομμύρια ευρώ) προς την κατεύθυνση της ανάπτυξης και της εφαρμογής της βιοτεχνολογίας και άλλων τεχνολογιών που επιτρέπουν την ανάπτυξη [29]. Περισσότερο από το 20% της συνολικής χρηματοδότησης για τη «βιομηχανική χρήση βιομάζας» και την «εξέλιξη βιοτεχνολογίας» διατέθηκε από την Ολλανδική κυβέρνηση [29]. Στις βιομηχανικές χώρες, η πλειοψηφία της ερευνας και ανάπτυξης (87%) της βιοτεχνολογίας στον ιδιωτικό τομέα είναι προσανατολισμένη προς τις εφαρμογές για την υγεία, με μόλις 2% στην κατεύθυνση των βιομηχανικών εφαρμογών [29].

Μια επισκόπηση της Ολλανδικής χρηματοδότησης για εταιρείες Βιοοικονομίας (Πίνακας 2.2) παρουσιάζει μια αύξηση στις ιδιωτικές επενδύσεις. Οι περισσότερες χρηματοδοτήσεις εφαρμόζονται μέσω περικοπών φόρων εργασίας για αποκλειστικό προσωπικό Έρευνας και Ανάπτυξης, που αντιστοιχούν στην συγκεκριμένη περίπτωση σε ιδιωτικές επενδύσεις 5 φορές μεγαλύτερες από τις κρατικές. Ο γενικός κανόνας είναι, η ιδιωτική χρηματοδότηση να ανέρχεται σε τριπλάσια επίπεδα της κρατικής στήριξης [29].

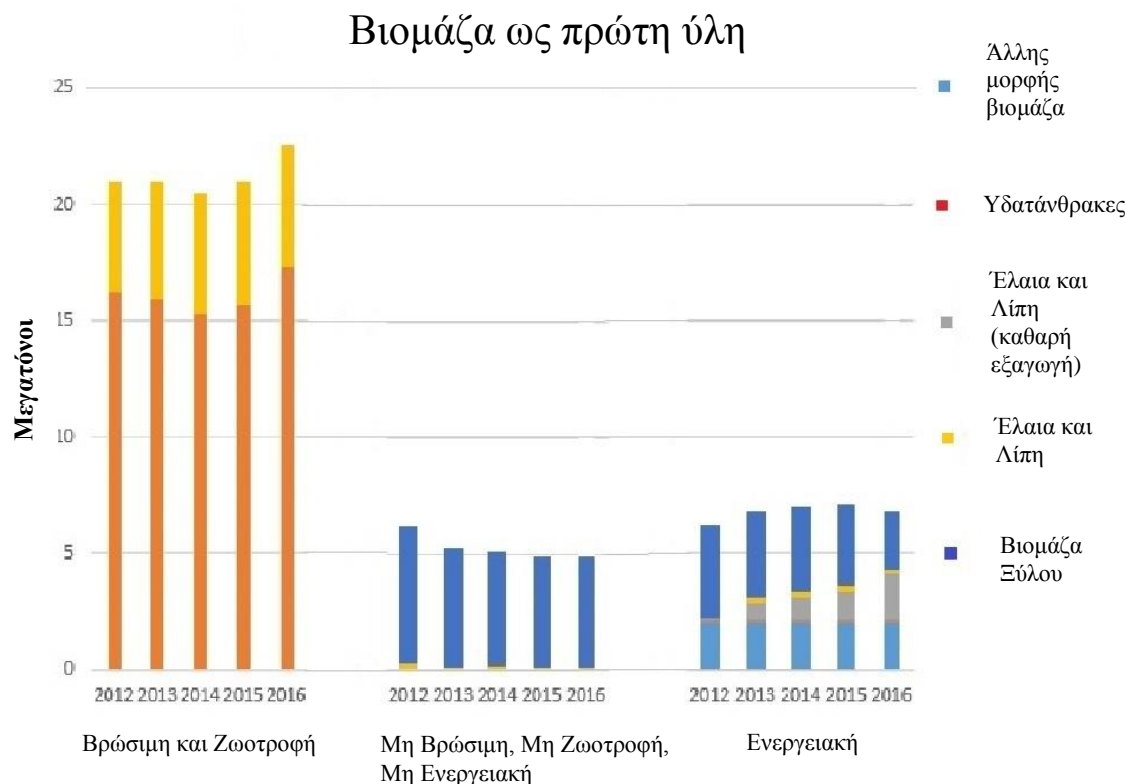
Πίνακας 2.2: Ολλανδικές Επενδύσεις σε Βιοοικονομικές Επιχειρήσεις (εκατομμύρια ευρώ).

Κανονισμός	Ιδιωτική και Κρατική συνεισφορά		Κρατική συνεισφορά	
	2013	2014	2013	2014
WBSO	115	104	18,4	18,0
RDA	60	95	6,2	12,8
TKI BBE	52,4	19,2	26,2	8,5
TKI Gas –Groen	22,6	13,2	11,3	6,6
MIT BBE, A&F	0,2	7,6	0,11	3,8
TKI premium	-	0,3	-	0,3
NOW	-	-	-	3,3
TO2 institutes	-	-	14,1	14,1
Total	250	239,3	76,3	67,4

Το σύνολο της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς της Ολλανδίας προέρχεται από 4 κύριες κατηγορίες:

- Τη βιομάζα ξύλου
- Τα έλαια και τα λίπη
- Τους υδατάνθρακες
- Άλλης μορφής βιομάζα

Ο ρυθμός χρήση ξυλώδους βιομάζας για τομείς εκτός τροφίμων, και μη ενεργειακών είναι ο μεγαλύτερος, αλλά μειώνεται από το 2012 ενώ παραμένει στάσιμος κατά την περίοδο 2015-2016. Η χρήση ελαίων και λιπών για αυτούς τους τομείς είναι μικρή, κυρίως στον τομέα των χημικών. Στον ενεργειακό τομέα, η ποσότητα της ξυλώδους βιομάζας που καταναλώνεται επίσης μειώθηκε (λόγω της μικρότερης ποσότητας συσσωρευμένων ξύλων), αλλά η εξαγωγή βιοκαυσίμων έχει αυξηθεί σημαντικά. Η εξέλιξη της παραγωγής βιοαιθανόλης στη χώρα είναι αβέβαιη λόγω των αρκετά περιορισμένων πληροφοριών που χαρακτηρίζουν τον συγκεκριμένο τομέα. Η άλλης μορφής βιομάζα περιλαμβάνεται κυρίως στον ενεργειακό τομέα ενώ αποτελείται κυρίως από οργανικά υλικά (π.χ. γεωργικά κατάλοιπα, απόβλητα τροφίμων, υφάσματα) που καίγονται σε αποτεφρωτήρες αποβλήτων. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το μερίδιο της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς από τις 4 κατηγορίες από το 2012 έως το 2016. Η χρήση ενέργειας από βιομάζα αυξήθηκε από 61% το 2012 σε 67% το 2015, αλλά παρέμεινε σταθερή το 2016 [28].



Σχήμα 2.3: Επισκόπηση της βιομάζας που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς της Ολλανδίας

Συνολικά, μερικές βασικές τάσεις που παρατηρούνται αναλύονται παρακάτω:

Ξυλώδης Βιομάζα: Ενώ η χρήση ξυλώδους βιομάζας για μη ενεργειακή χρήση παρέμεινε σταθερή από το 2013 έως το 2014, η χρήση ενέργειας από ξυλώδη βιομάζα έχει μειωθεί σημαντικά, ιδιαίτερα η μείωση της ποσότητας των ξύλινων απορριμμάτων που παράγονται σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας από άνθρακα [28].

Έλαια και λίπη: Οι Κάτω Χώρες εξακολούθησαν να αναπτύσσονται ως καθαρός εξαγωγέας βιοντίζελ, ενώ οι καθαρές εξαγωγές ανήλθαν σε 1,47 MT το 2014 σε σύγκριση με 0,99 MT το 2013. Η αύξηση της παραγωγής συντελείται κυρίως από την αυξανόμενη χρήση λιπαρών οξέων ως πρώτης ύλης. Όσον αφορά το μερίδιο του βιοντίζελ που χρησιμοποιήθηκε στις Κάτω Χώρες το 2014, διαπιστώθηκε ότι μεγάλο μέρος του υπολογιζόμενου βιοντίζελ κατασκευάστηκε από εξαιρετικά αργό πετρέλαιο, ζωικά λίπη και λιπαρά οξέα από την Ασία και τη Βόρεια Αμερική. Τέλος, η χρήση ελαίων και λιπών σε αγορές εκτός ενέργειας έχει παραμείνει στάσιμη [28].

Υδατάνθρακες: Μια σημαντική αλλαγή το 2014 είναι ότι η παραγωγή ζαχαρότευτλων έχει αυξηθεί κατά 22% σε σύγκριση με το μέσο όρο του 2012-2013. Όσον αφορά το εμπόριο αιθανόλης, ενώ η εισαγωγή αιθανόλης από τη Νότια και Κεντρική Αμερική έχει μειωθεί σημαντικά, υπάρχουν και καθαρές εξαγωγές σε μεγάλες ροές προς τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα και την Ινδία το 2016, κάτι που δεν παρατηρήθηκε κατά την περίοδο 2012-2015 [28].

Χημική βιομηχανία: Ορισμένες χημικές εταιρείες χρησιμοποιούν παραδοσιακά φυτικά έλαια, ρητίνη και ζωικά λίπη στην παραγωγή τους και υπάρχουν αρκετές

εταιρείες που χρησιμοποιούν βιοαποδομημένα υλικά ως πρώτη ύλη ενέργειας. Τα υλικά αυτά εισάγονται κυρίως λόγω των περιορισμένων πόρων βιομάζας στην Ολλανδία. Υπάρχει επί του παρόντος ανάπτυξη στον τομέα των χημικών βιολογικών προϊόντων, αλλά είναι αργή και αβέβαιη, καθώς εξαρτάται από τις αγορές των τελικών χρηστών [28].

Επεξεργασία / συναλλαγή αποβλήτων: Το 2016, το 60% των συνολικών αποβλήτων που παραδόθηκαν στους αποτεφρωτήρες αποβλήτων ήταν βιογενή. Η ξηρή οργανική μάζα ανέρχεται σε περίπου 2.700 τόνους. Τα βιογενή απόβλητα καίγονται για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Τα απόβλητα που παραδίδονται στους αποτεφρωτήρες περιλαμβάνουν μικτά αστικά απόβλητα και εισαγόμενα απόβλητα. Το 2015, τα εισαγόμενα μικτά αστικά απόβλητα αντιπροσωπεύαν το 94% των συνολικών εισαγομένων αποβλήτων, αλλά εισάγονταν επίσης και απορρίμματα ξύλου που χρησιμοποιούνται για παραγωγή βιοενέργειας, αποθήκευση για επεξεργασία αλλού και για σκοπούς ανακύκλωσης [28].

3 Μοντέλα πολυκριτηριακής ανάλυσης

Οι αποφάσεις σχετικά με τα ενεργειακά συστήματα έγιναν πιο σύνθετες τις τελευταίες δεκαετίες. Τα ενεργειακά συστήματα της δεκαετίας του 50 και του 60 συνήθως βελτιστοποιούνταν σύμφωνα με τεχνικά και οικονομικά κριτήρια. Με την πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και τις διασκέψεις για την αλλαγή του κλίματος καθώς και το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ στη δεκαετία του '80, έννοιες όπως η ασφάλεια του εφοδιασμού και οι οικολογικές συνέπειες έγιναν όλο και πιο σημαντικές. Με κατεύθυνση την βιώσιμη ανάπτυξη, η πρόκληση για μια υγιή αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων αυξήθηκε σημαντικά. Η βιώσιμη ανάπτυξη υποστηρίζει ότι τουλάχιστον οι οικονομικές, οικολογικές και κοινωνικές επιπτώσεις μιας δραστηριότητας θεωρούνται ισότιμες.

Για την ανάπτυξη στο πλαίσιο της σταθερής παροχής ενέργειας, τα ενεργειακά συστήματα πρέπει να εξεταστούν υπό το πρίσμα διαφορετικών κλάδων ώστε να ενσωματωθούν όλες οι συνέπειες που συνεπάγεται η εφαρμογή τους. Η προσέγγιση αυτή εγκαθιστά μια επιπλέον πολυπλοκότητα στην αξιολόγηση των ενεργειακών συστημάτων. Επιπλέον, η συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων γίνεται όλο και πιο σημαντική καθώς τα ενεργειακά ζητήματα φαίνεται να διχοτομούν τη γνώμη του κοινού. Οι πλούσιες σε αιολική ενέργεια χώρες όπως η Ολλανδία, αντιμετωπίζουν έντονα αντί-αιολικές απόψεις οι οποίες επικεντρώνονται στους κυβερνητικούς φορείς, με την πρόφαση πως οι τελευταίοι παραβιάζουν τα δικαιώματα του πληθυσμού προκαλώντας περιβαλλοντική και πολιτισμική καταστροφή. Συνεπώς, η συμμετοχή των εμπλεκόμενων φορέων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων των ενεργειακών συστημάτων είναι απαραίτητη για την επιτυχία και τη σταθερότητα των ενεργειακών συστημάτων. Με δεδομένο ότι τα ενεργειακά ζητήματα είναι συνήθως πολύπλοκα, δυναμικά, αβέβαια και επιβάλλουν συμμετοχή εμπλεκόμενων φορέων, υπάρχει ανάγκη για νέα εργαλεία λήψης αποφάσεων, όπως η πολυκριτηριακή ανάλυση (MCDA) [6].

3.1 Πολυκριτηριακές Μέθοδοι

Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων είναι ένας κλάδος μιας γενικής κλάσης μοντέλων Επιχειρησιακής Έρευνας που είναι κατάλληλος για την αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων που χαρακτηρίζονται από υψηλή αβεβαιότητα, αντικρουόμενους στόχους, διαφορετικές μορφές δεδομένων και πληροφοριών, πολλά συμφέροντα και προοπτικές εξελισσόμενων βιοφυσικών και κοινωνικοοικονομικών συστημάτων. Αυτή η μεγάλη κατηγορία μεθόδων χωρίζεται σε περαιτέρω κατηγορίες. Αυτές οι μέθοδοι μοιράζονται τα κοινά χαρακτηριστικά των συγκρούσεων μεταξύ των κριτηρίων, των μη αντισταθμίσιμων μονάδων και των δυσκολιών στον σχεδιασμό και την επιλογή των εναλλακτικών δράσεων. Η κύρια διάκριση μεταξύ των μεθόδων βασίζεται στον αριθμό των υπό αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών. Οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών χαρακτηριστικών έχουν σχεδιαστεί για την επιλογή διακριτών εναλλακτικών δράσεων ενώ οι μέθοδοι

λήψης αποφάσεων πολλαπλών αντικειμένων είναι πιο κατάλληλες για αντικειμενοστραφή προβλήματα προγραμματισμού. Στη διαδικασία λήψης αποφάσεων πολλαπλών αντικειμένων, οι εναλλακτικές δράσεις δεν είναι προκαθορισμένες αλλά, αντιθέτως, μια σειρά αντικειμενικών λειτουργιών βελτιστοποιούνται υπό την επιφύλαξη ενός συνόλου περιορισμών. Στη συνέχεια προτείνεται η πιο ικανοποιητική και αποτελεσματική λύση. Σε αυτή την τελική λύση δεν είναι δυνατόν να βελτιωθεί η απόδοση οποιουδήποτε στόχου χωρίς να υποβαθμιστεί η απόδοση τουλάχιστον ενός άλλου στόχου. Αντίθετα, στη διαδικασία λήψης αποφάσεων πολλαπλών χαρακτηριστικών πρέπει να αξιολογηθεί ένας μικρός αριθμός εναλλακτικών δράσεων σε σχέση με ένα σύνολο χαρακτηριστικών που είναι συχνά δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν.

Υπάρχουν 4 κύριοι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων:

- (i) Επιτρέπεται η διερεύνηση και η ενσωμάτωση των συμφερόντων και των στόχων πολλών φορέων, δεδομένου ότι η συνεισφορά τόσο των ποσοτικών όσο και των ποιοτικών πληροφοριών από κάθε παράγοντα λαμβάνεται υπόψη υπό μορφή κριτηρίων και συντελεστών βάρους.
- (ii) Παρέχοντας πληροφορίες εξόδου κατανοητές στον χρήστη. Η φιλικότητα προς τον χρήστη της μεθόδου έγκειται σε δύο πτυχές: εκτιμώνται τα προτεινόμενα κριτήρια και αντιστοιχίζονται τιμές που είναι συνεπείς και συγκρίσιμες με τα δεδομένα εισόδου ως μέτρο καταλληλότητας καθώς και η «απλή» μορφή της παραγωγής της μεθόδου που καθιστά τα αποτελέσματα της μεθόδου ουσιαστικά και άμεσα εφαρμόσιμα για τους ενδιαφερόμενους φορείς.
- (iii) Είναι μια ευρέως γνωστή και εφαρμόσιμη μέθοδος εκτίμησης εναλλακτικών, η οποία περιλαμβάνει επίσης διαφορετικές εκδοχές της αναπτυγμένης μεθόδου για συγκεκριμένα προβλήματα και συγκεκριμένα πλαίσια.
- (iv) Είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την αντικειμενικότητα και την ενσωμάτωση διαφορετικών αντιλήψεων και συμφερόντων διαφορετικών παραγόντων χωρίς να είναι ενεργοβόρα και δαπανηρή.

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης μπορούν να παρέχουν λύσεις στη διαχείριση προβλημάτων αυξημένης πολυπλοκότητας. Επίσης προσφέρουν καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του προβλήματος αποφάσεων, προάγουν το ρόλο των συμμετεχόντων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων, διευκολύνουν συμβιβασμούς και συλλογικές αποφάσεις και παρέχουν μια καλή ρεαλιστική πλατφόρμα για την κατανόηση των μοντέλων ανάλυσης σεναρίων. Οι μέθοδοι συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των αποφάσεων γεγονός που τις καθιστά πιο σαφείς, ορθολογικές και αποτελεσματικές. Η διαπραγμάτευση, η ποσοτικοποίηση και η επικοινωνία των προτεραιοτήτων διευκολύνεται επίσης με τη χρήση αυτών των μεθόδων. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι μέθοδοι και τα αποτελέσματα δεν είναι απαραίτητα συγκρίσιμα. Κάθε μέθοδος έχει τους περιορισμούς της, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε υποθέσεις

μοντέλων, οι οποίες θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη χρήση της μεθόδου. Ανακολουθίες μπορεί να προκύψουν ανακολουθίες επειδή:

- (i) Τα επιλεγμένα προβλήματα δεν αντικατοπτρίζουν τις ίδιες δομές προτιμήσεων
- (ii) Οι τρόποι επεξεργασίας των πληροφοριών προτίμησης ποικίλλουν μεταξύ των διαφόρων μεθόδων και
- (iii) Οι μέθοδοι ερμηνεύουν διαφορετικά το κριτήριο των βαρών [7].

Η λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύνθετη και δυναμική διαδικασία που περιλαμβάνει ένα επίπεδο διευθυντικών στελεχών και ένα επίπεδο πρακτικό. Το διοικητικό επίπεδο καθορίζει τους στόχους και επιλέγει την τελική εναλλακτική δράση ενώ το πρακτικό επίπεδο καθορίζει τις εναλλακτικές δράσεις, επισημαίνει τις συνέπειες της επιλογής οποιουδήποτε δράσης με την έννοια διαφόρων κριτηρίων και εκτελεί επίσης την πολυκριτηριακή κατάταξη των εναλλακτικών δράσεων. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων περιλαμβάνει συνήθως 5 κύρια στάδια: α) καθορισμός του προβλήματος, β) δημιουργία εναλλακτικών δράσεων και καθορισμός κριτηρίων, επιλογή κριτηρίων, γ) στάθμιση κριτηρίων, δ) αξιολόγηση, ε) επιλογή της κατάλληλης πολυκριτηριακής μεθόδου και τελική κατάταξη των εναλλακτικών δράσεων. Τα κύρια βήματα της λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων αναλύονται παρακάτω.

Βήμα 1. Καθορισμός του προβλήματος, δημιουργία εναλλακτικών δράσεων και καθορισμός κριτηρίων

Ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων θα πρέπει να ξεκινήσει με σαφή προσδιορισμό του προβλήματος, διατύπωση των εναλλακτικών επιλογών, προσδιορισμό των παραγόντων, των στόχων και των σημείων αντιθέσεως, των περιορισμών καθώς και τον βαθμό αβεβαιότητας.

Βήμα 2. Αντιστοίχιση βαρών στα κριτήρια

Τα βάρη, που αντιπροσωπεύουν τη σχετική σημασία των κριτηρίων στο υπό εξέταση πολυκριτηριακό πρόβλημα, μπορούν να προσδιοριστούν με τεχνικές όπως η διαδικασία της αναλυτικής ιεραρχίας και η προσέγγιση Simos.

Βήμα 3. Κατασκευή του πίνακα αξιολόγησης

Η φάση κατά την οποία κατασκευάζεται το μοντέλο αποτελεί μια διαδικασία από την οποία εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη συμπεριφορά του προβλήματος από την σύνθετη εικόνα που καταρτίζεται έτσι ώστε το πρόβλημα να μπορεί να εκτιμηθεί επαρκώς. Τελικά, το πολυκριτηριακό πρόβλημα μπορεί να εκφραστεί σε μορφή μήτρας όπου x_{ij} είναι η αξιολόγηση που δίνεται στην εναλλακτική i σε σχέση με το κριτήριο j , w_j είναι το βάρος των κριτηρίων j , n είναι ο αριθμός των κριτηρίων και m είναι ο αριθμός των εναλλακτικών δράσεων.

Πίνακας 3.1: Μήτρα πολυκριτηριακών Προβλημάτων Απόφασης

Εναλλακτικές δράσεις	Κριτήρια αξιολόγησης			
	C_1	C_2	·	C_n
A_1	X_{11}	X_{12}	·	X_{1n}
A_2	X_{21}	X_{22}	·	X_{2n}
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
·	·	·	·	·
A_m	X_{m1}	X_{m2}	·	X_{mn}

Βήμα 4. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

Μια μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων πρέπει να επιλεγεί και να εφαρμοστεί στο υπό εξέταση πρόβλημα προκειμένου να ταξινομηθούν οι εναλλακτικές δράσεις. Τα δεδομένα και ο βαθμός αβεβαιότητας είναι βασικοί παράγοντες για τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων κατά την επιλογή μεταξύ διαφόρων μεθόδων πολλαπλών κριτηρίων.

Βήμα 5. Κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών

Τέλος, πραγματοποιείται η κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών και προτείνεται ως βέλτιστη λύση η καλύτερη εναλλακτική επιλογή [7].

3.2 Γλωσσικές Μέθοδοι

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μια γλωσσική μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στα προβλήματα λήψης αποφάσεων. Δεδομένου αυτού, η χρήση τέτοιων μεθόδων είναι ευρέως διαδεδομένη στην ανάλυση και μελέτη πολυκριτηριακών προβλημάτων. Στο σχήμα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζονται μερικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί με χρήση γλωσσικών μεθόδων. Οι μέθοδοι ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalite) αποτελούν μια από τις πλέον δημοφιλείς προσεγγίσεις στο χώρο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων. Η προσέγγιση των μεθόδων ELECTRE ξεκινά από τη διαισθητική προϋπόθεση ότι ο αποφασίζων είναι δυνατόν να επιτύχει μόνο προσεγγιστικές συγκρίσεις μεταξύ των αποδόσεων των εναλλακτικών δράσεων. Η έννοια της υπεροχής στερείται αξιωματικής βάσης, αλλά βασίζεται στην εκτίμηση διαφόρων παραμέτρων και στην εφαρμογή ενός αλγόριθμου απόφασης (Hokkanen & Salminen, 1997a; 1997b; Miettinen & Salminen, 1999; Mousseau & Slowinski, 1998) [31].

Σύμφωνα με τους Martinez και Herrera, στον πραγματικό κόσμο, υπάρχουν πολλές καταστάσεις όπου τα προβλήματα αντιμετωπίζουν αοριστίες και ασαφείς πληροφορίες που συνήθως συνεπάγονται αβεβαιότητα στο πλαίσιο καθορισμού τους. Λόγω αυτού ορισμένες ασαφείς μέθοδοι πολλαπλών κριτηρίων, οι οποίες έχουν ως βασική αρχή τον

ορισμό της ιδανικής και τις μη ιδανικής λύσης, χρησιμοποιούν αποστάσεις για ασαφείς αριθμούς, με αποτέλεσμα να αποδίδονται ακριβείς τιμές απόστασης. Άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούν ασαφείς αποστάσεις ή χρησιμοποιούν ασαφή αριθμητική και οδηγούν σε ασαφή συνολικά αποτελέσματα. Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει απώλεια πληροφοριών ενώ η δεύτερη περίπτωση, εκτός από την υπολογιστική πολυπλοκότητα, συνεπάγεται τη χρήση μιας μεθόδου ασαφούς κατάταξης για να ταξινομηθούν τα ασαφή τελικά αποτελέσματα των εναλλακτικών επιλογών. Η χρήση μιας μεθόδου ασαφούς ταξινόμησης παράγει ασυνέπεια μεταξύ διαφορετικών μεθόδων κατάταξης. Επιπλέον, οι μέθοδοι αυτές βασίζονται κυρίως στη συμβατική οικονομική ανάλυση χωρίς την ικανότητα να περιλαμβάνουν επαρκείς μη οικονομικούς παράγοντες, οι οποίοι ωστόσο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην υποστήριξη της ενεργειακής πολιτικής. Λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες δυσκολίες, προτάθηκε από τους Herrera και Martinez, ένα νέο μοντέλο ασαφούς γλωσσικής αναπαράστασης, το μοντέλο γλωσσικής αντιπροσώπευσης 2-tuple, για την αντιμετώπισή τους.

Μια προτεινόμενη μεθοδολογία, που ονομάζεται «Γλωσσική TOPSIS», έχει ήδη αναπτυχθεί και παρουσιάζεται από τους Doukas et al. " Το γλωσσικό TOPSIS " αποτελεί μια επέκταση της αρχικής μεθόδου, χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές που βασίζονται στο μοντέλο 2-tuple παρουσίασης. Υποστηρίζεται έντονα ότι η χρήση γλωσσικών μεταβλητών, με τη μορφή 2-tuple, μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων για την ενεργειακή και περιβαλλοντική εταιρική πολιτική.

Πίνακας 3.2: Κατάλογος άρθρων που αναφέρονται σε πολυκριτηριακές μεθόδους

Άρθρα Γλωσσικών Μεθόδων

- [i] H. Doukas, Modelling of linguistic variables in multicriteria energy policy support, *European Journal of Operational Research* 227 (2013) 227–238
 - [ii] S.D. Pohekar, M. Ramachandran, Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning – a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8 (2004) 365–381.
 - [iii] C.L. Hwang, K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making-Method and Applications: A State-of-the-Art Survey*, Springer-Verlag, New York, NY, 1981
 - [iv] L. Martinez, F. Herrera, An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: extensions, applications and challenges, *Information Sciences* 207 (2012) 1–18.
 - [v] L. Dymova, P. Sevastjanov, A. Tikhonenko, An approach to generalization of fuzzy TOPSIS method, *Information Sciences* 238 (2013) 149–162
 - [vi] Z. Xu, X. Cai, Group consensus algorithms based on preference relations, *Information Sciences* 181 (2011) 150–162
-

-
- [vii] P.Ya. Ekel, F.H. Schuffner Neto, Algorithms of discrete optimization and their application to problems with fuzzy coefficients, *Information Sciences* 176 (2006) 2846–2868
- [viii] Y.A. Phillis, L.A. Andriantiatsaholiniaina, Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic, *Ecological Economics* 37 (2001), 435–456
- [ix] F. Herrera, L. Martinez, A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* 8 (2000) 746–752
- [x] H. Doukas, C. Karakosta, J. Psarras, Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options, *Expert Systems with Applications* 37 (7) (2010) 5491–5497
-

3.2.1 Γλωσσικές μεταβλητές: Υπολογιστικές τεχνικές και μοντέλα αναπαράστασης

Η κλασική θεωρία αποφάσεων παρέχει πιθανοτικά μοντέλα για να διαχειριστεί την αβεβαιότητα στα προβλήματα αποφάσεων. Ωστόσο, σε πραγματικές καταστάσεις απόφασης, υπάρχουν αβεβαιότητες που έχουν μη πιθανοτικό χαρακτήρα, καθώς σχετίζονται με την αβεβαιότητα και την ασάφεια των εννοιών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η ανθρώπινη αντίληψη στην αξιολόγηση των επιδόσεων και των βαρών ενσωματώνεται στο μοντέλο πολλαπλών κριτηρίων, καθώς ο ανθρώπινος παράγοντας χρησιμοποιεί λέξεις αντί αριθμητικών μετρήσεων στην προσπάθεια του να καθορίσει την αβεβαιότητα ή τα ασαφή δεδομένα. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι γλωσσικοί περιγραφείς χρησιμοποιούνται απλά από ειδικούς για την αξιολόγηση των εξεταζόμενων επιλογών. Για τον λόγο αυτό εισάγεται η έννοια της γλωσσικής μεταβλητής ως μεταβλητή, των οποίων η τιμή/αξιολόγηση δεν είναι αριθμός, αλλά λέξεις ή προτάσεις σε φυσική ή τεχνητή γλώσσα. Μια «γλωσσική» αξιολόγηση είναι λιγότερο ακριβής από έναν αριθμό αλλά είναι πιο κοντά στις ανθρώπινες γνωστικές διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την επιτυχή επίλυση προβλημάτων που αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα. Η γλωσσική προσέγγιση από αυτή την άποψη είναι μια προσεγγιστική τεχνική που αντιπροσωπεύει τις ποιοτικές πτυχές ως γλωσσικές αξίες μέσω γλωσσικών μεταβλητών. Στη γλωσσική προσέγγιση, η πρώτη προτεραιότητα είναι να καθοριστούν οι γλωσσικοί όροι που θα χρησιμοποιηθούν, οι οποίοι ορίζονται με τη χρήση μιας κανονικής κλίμακας. Έστω $S = \{s_i\}$, $i \in H = \{0, \dots, T\}$, είναι ένας οριστικός και εντελώς ταξινομημένος όρος που ορίζεται στο $[0, 1]$ με τη συνήθη έννοια. Η θεμελιώδης ιδιότητα των όρων της κλίμακας είναι $S_a \leq S_b$ αν και μόνο αν $a \leq b$, με $a, b \in \{1, 2, \dots, g\}$. Όσον αφορά την επιλογή του χειριστή συγκεντρωτικών στοιχείων των γλωσσικών πληροφοριών, θα συζητηθούν οι προσεγγίσεις 2-tuple αναπαράστασης, οι οποίες εφαρμόζουν έναν άμεσο υπολογισμό στις γλωσσικές αξιολογήσεις (ετικέτες), λαμβάνοντας υπόψη μόνο το νόημα και τις ιδιότητες αυτών των γλωσσικών εκτιμήσεων. Ο γλωσσικός σταθμισμένος μέσος όρος

LOWA, βασισμένος στη συμβολική προσέγγιση, συγκεντρώνει τις γλωσσικές πληροφορίες που παρέχονται για διαφορετικά κριτήρια, των οποίων οι γλωσσικές αξιολογήσεις είναι ίσες. Ένας σημαντικός περιορισμός της προσέγγισης των συμβολικών γλωσσών είναι η απώλεια πληροφοριών που συνεπάγεται έλλειψη ακρίβειας στα τελικά αποτελέσματα, τα οποία έχουν παρατηρήσει οι Herrera και Herrera-Viedma. Για να αντιμετωπιστεί αυτός ο περιορισμός, προτάθηκε από τους ίδιους συγγραφείς ένα νέο μοντέλο ασαφούς γλωσσικής αναπαράστασης, δηλαδή το μοντέλο 2-tuple representation (Herrera και Herrera-Viedma, [8]). Συγκεκριμένα:

- Έστω ότι το $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι ένα γλωσσικό σύνολο όρων, η συμβολική μέθοδος που συγκεντρώνει τις γλωσσικές πληροφορίες αποκτά μια τιμή $\beta \in [0, g]$ και $\beta \notin \{0, \dots, g\}$ η εξίσωση προσέγγισης ($\text{app2}(\cdot)$) χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον δείκτη του αποτελέσματος στο S .
- Έστω β το αποτέλεσμα μιας συλλογής των δεικτών ενός συνόλου τιμών που αξιολογούνται σε ένα σύνολο γλωσσικών όρων S , δηλ. το αποτέλεσμα μιας συμβολικής διαδικασίας συλλογής και το $g + 1$ η πολλαπλότητα του S .
- Έστω $i = \text{round}(\beta)$, όπου $\text{round}(\cdot)$ είναι η συνηθισμένη πράξη στρογγυλοποίησης και $a = \beta - i$ είναι δύο τιμές έτσι ώστε $i \in \{0, g\}$ και $a \in [-0.5, 0.5]$ τότε «a» ονομάζεται η συμβολική μετάφραση.

Επομένως, η συμβολική μετάφραση ενός γλωσσικού όρου, s_i , είναι μια αριθμητική τιμή που εκτιμάται στο $[-0.5, 0.5]$ που υποστηρίζει τη διαφορά πληροφοριών μεταξύ της καταμέτρησης των πληροφοριών $b \in [0, g]$ που λαμβάνονται μετά από μια συλλογή και η πλησιέστερη τιμή στο $\{0, \dots, g\}$ δείχνει τον δείκτη του πλησιέστερου γλωσσικού όρου στην S ($i = \text{round}(\beta)$). Από αυτή την έννοια αναπτύχθηκε ένα μοντέλο γλωσσικής αναπαράστασης, το οποίο αντιπροσωπεύει τις γλωσσικές πληροφορίες σε μορφή δυάδας ως εξής: **(s_i, a_i)** με **$a \in [-0.5, 0.5]$** :

Όπου:

- s_i αντιπροσωπεύει το κέντρο της γλωσσικής ταμπέλας των πληροφοριών
- a_i είναι μια αριθμητική τιμή που εκφράζει την τιμή της μετάφρασης από το αρχικό αποτέλεσμα β στην πιο κοντινή ταμπέλα ευρετηρίου i , στο γλωσσικό σύνολο (s_i)

Αυτό το μοντέλο προσδιορίζει ένα σύνολο λειτουργιών μετασχηματισμού μεταξύ γλωσσικών όρων και 2-tuple και μεταξύ αριθμητικών τιμών και 2-tuple. Έστω ότι το $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ είναι ένα γλωσσικό σύνολο όρων και $\beta \in [0, g]$, μια τιμή που αντιπροσωπεύει το αποτέλεσμα μιας συμβολικής συλλογής, τότε η 2-tuple που εκφράζει ισοδύναμες πληροφορίες με το β βρίσκεται με την ακόλουθη λειτουργία:

- $\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5]$.
- $\Delta(\beta) = (s_i, a)$ με $s_i, i = \text{round}(\beta)$ and $a = \beta - i, a \in [-0.5, 0.5]$, όπου $\text{round}(\cdot)$ είναι η συνηθισμένη πράξη στρογγυλοποίησης, s_i η πλησιέστερη ετικέτα δείκτη στο «β» και «a» είναι η τιμή της συμβολικής μετάφρασης.

Έστω $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ ένα σετ από γλωσσικούς όρους και (s_i, a_i) μια 2-tuple αναπαράσταση. Υπάρχει πάντα μια Δ^{-1} εξίσωση τέτοια που από 2-tuple αναπαράσταση επιστρέφει την ισοδύναμη αριθμητική τιμή $\beta \in [0, g] \in R$. Σε αυτό το πλαίσιο, θεωρούμε την ακόλουθη εξίσωση:

- $\Delta^{-1}: S \times [-0.5, 0.5] \rightarrow [0, g]$.
- $\Delta^{-1}(s_i, a) = i + a = \beta$

Η παρούσα 2-tuple προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα της απλότητας και σαφήνειας επιτρέποντας τα ακόλουθα:

- Προβολή των προτιμήσεων των αναλυτών με απλό τρόπο, με γλωσσικούς όρους στη φυσική τους γλώσσα.
- Άμεσος υπολογισμός στις γλωσσικές αξίες, που αντιμετωπίζει επίσης το εγγενές πρόβλημα των γλωσσικών προσεγγίσεων, σχετικά με την απώλεια πληροφοριών.

Το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε αρκετές μελέτες που σχετίζονται με τον υπολογισμό με λέξεις και τη λήψη αποφάσεων. Οι Martinez και Herrera [9] παρουσίασαν μια επισκόπηση των εφαρμογών, των επεκτάσεων και των προκλήσεων αυτού του μοντέλου.

3.2.2 Η γλωσσική μέθοδος TOPSIS

Αυτή η ενότητα είναι αφιερωμένη στην παρουσίαση της γλωσσικής επέκτασης της μεθόδου πολλαπλών κριτηρίων TOPSIS, έτσι ώστε να είναι σε θέση να επεξεργάζεται τις πληροφορίες που αντιπροσωπεύονται από το μοντέλο 2-tuple ασαφούς γλωσσικής αναπαράστασης. Αυτή η μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων, που ονομάζεται " Γλωσσική TOPSIS " όπως παρουσιάστηκε από τους Doukas et al. [10], αποτελείται από ένα σύνολο από n εναλλακτικές και ένα σύνολο C των κριτηρίων k . Η περιγραφή του γλωσσικού TOPSIS σε μια κανονική γλωσσική κλίμακα αρχίζει με την εξέταση ενός συνόλου $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ n εναλλακτικών και ενός συνόλου $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ των κριτηρίων k . Οι αξιολογήσεις των εναλλακτικών δράσεων σε σχέση με τα κριτήρια, καθώς και τα βάρη σπουδαιότητας των κριτηρίων είναι οι γλωσσικές μεταβλητές και το γλωσσικό τους όριο μπορούν να εκφραστούν μέσω μιας γραμμικής κλίμακας $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$. Στο πλαίσιο αυτό, μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Η βαθμολογία της εναλλακτικής A_i στο κριτήριο C_j μπορεί να αναπαρασταθεί ως $z_{ij} \in S$. Έτσι, για κάθε i, j $z_{ij} = S_{\beta_{ij}}$; $\beta_{ij} \in [0, 1, \dots, g]$ και z_{ij} μπορεί να εκφραστεί στην ισοδύναμη 2-tuple μορφή $(S_{\beta_{ij}}, 0)$. Επομένως, $\Delta^{-1}(S_{\beta_{ij}}, 0) = \beta_{ij} \in [0, 1, \dots, g] \subset (0, g)$.
- Το βάρος του κριτηρίου C_j μπορεί να αναπαρασταθεί με $w_j \in S$. Τότε, για κάθε $j = 1, 2, \dots, k$ $w_j = S_{\lambda_j} \in S$, $\lambda_j \in [0, 1, \dots, g]$ και w_j μπορεί να εκφραστεί στην ισοδύναμη 2-tuple μορφή $(S_{\lambda_j}, 0)$. Επομένως, $\Delta^{-1}(S_{\lambda_j}, 0) = \lambda_j \in [0, 1, \dots, g] \subset (0, g)$.

Χρησιμοποιώντας τις αναπαραστάσεις 2-tuple των αξιολογήσεων, ο πίνακας αποφάσεων του Γλωσσικού TOPSIS γίνεται ο ακόλουθος:

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

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

$$\mathbf{W} = [w_1, w_2, \dots, w_k] \rightarrow \mathbf{W}' = [(s_{\lambda 1}, 0), (s_{\lambda 2}, 0), \dots, (s_{\lambda k}, 0)] \xrightarrow{\Delta^{-1}} \mathbf{W}'' = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k].$$

Η ενσωμάτωση των βαρών στο \mathbf{D}'' έχει ως αποτέλεσμα το σταθμισμένο πίνακα αποφάσεων \mathbf{X} :

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

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

Η ιδανική εναλλακτική δράση a^+ μπορεί να αναγνωρισθεί ως εξής:

$$\mathbf{a}^+ = (\max_i x_{i1}, \max_i x_{i2}, \dots, \max_i x_{ij}, \dots, \max_i x_{ik}) = (\chi_1^+, \chi_2^+, \dots, \chi_j^+, \dots, \chi_k^+).$$

Η αρνητική ιδανική εναλλακτική δράση a^- μπορεί να οριστεί ως:

$$\mathbf{a}^- = (\min_i x_{i1}, \min_i x_{i2}, \dots, \min_i x_{ij}, \dots, \min_i x_{ik}) = (\chi_1^-, \chi_2^-, \dots, \chi_j^-, \dots, \chi_k^-).$$

Η απόκλιση της εναλλακτικής $A_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik})$ από την ιδανική εναλλακτική δράση a^+ είναι:

$$S_i^+ = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^+)^2} \in [0, g],$$

$$\text{Όπου } \Delta(S_i^+) = (s_r, a_1), r \in [0, 1, \dots, g] \text{ και } a_1 \in [-0.5, 0.5].$$

Η απόκλιση της εναλλακτικής A_i από την αρνητική ιδανική εναλλακτική δράση a^- είναι:

$$S_i^- = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (x_{ij} - x_j^-)^2} \in [0, g],$$

$$\text{με } \Delta(S_i^-) = (s_t, a_2), t \in [0, 1, \dots, g] \text{ και } a_2 \in [-0.5, 0.5]$$

Η σχετική συνάφεια προσέγγισης της εναλλακτικής A_i μπορεί να εκφραστεί ως 2-tuple και ορίζεται ως:

$$CC(A_i) = \Delta(p\Delta^{-1}(s_t, a_2) + (1-p)\Delta^{-1}(\text{Neg}(s_t, a_1))) = \Delta(pS_i^- + (1-p)(g - S_i^+)) = (s_q, a_q).$$

3.3 Ομοφωνία

Τα συλλογικά προβλήματα λήψης αποφάσεων χαρακτηρίζονται από τη συμμετοχή πολλών εμπλεκόμενων φορέων με διαφορετικές απόψεις, οι οποίοι επιχειρούν να βρουν μια κοινή λύση σε ένα πρόβλημα που αποτελείται από ένα σύνολο εναλλακτικών δράσεων. Τέτοια προβλήματα συχνά καθορίζονται σε περιβάλλον αβεβαιότητας που προκαλείται από την ασαφή και αβέβαιη πληροφόρηση, επομένως οι εμπλεκόμενοι φορείς πρέπει να χρησιμοποιούν κατάλληλους τομείς πληροφόρησης για να αντιμετωπίσουν αυτή την αβεβαιότητα όταν εκφράζουν τις προτιμήσεις τους, π.χ. γλωσσικές πληροφορίες. Συνήθως, σε προβλήματα λήψης αποφάσεων σε συλλογικό επίπεδο, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί μια διαδικασία ομοφωνίας, στην οποία οι εμπλεκόμενοι φορείς συζητούν και προσαρμόζουν τις απόψεις τους, προκειμένου να επιτευχθεί υψηλό επίπεδο συμφωνίας πριν ληφθεί η απόφαση. Παρ' όλα αυτά, σε μεγάλης κλίμακας προβλήματα συλλογικής λήψης αποφάσεων, όπου συμμετέχει μια μεγάλη ομάδα ατόμων, είναι συχνότερη η ύπαρξη υποομάδων με μη συνεργατική συμπεριφορά ως προς την επίτευξη συμφωνίας. Οι ομάδες αυτές εντοπίζονται και έπειτα με μεθόδους που αναλύονται σε παρακάτω ενότητα γίνονται προσπάθειες έτσι ώστε η συμπεριφορά τους να μην επηρεάζει αρνητικά την επίτευξη ομοφωνίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται προσεγγίσεις βασισμένες στον υπολογισμό με λέξεις (Computing With Words) και τη θεωρία ασαφών συνόλων, για να μελετηθεί η συμπεριφορά των εμπλεκόμενων φορέων σε διαδικασίες ομοφωνίας με στόχο τον εντοπισμό και την τιμωρία των βαρών σημασίας των φορέων των οποίων η συμπεριφορά δεν συμβάλλει στην επίτευξη συλλογικής συμφωνίας.

3.3.1 Προβλήματα συλλογικών αποφάσεων

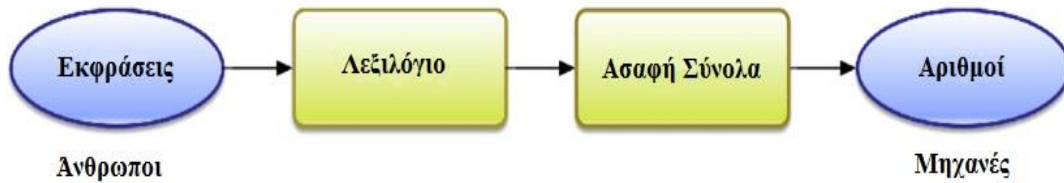
Τα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων (GDM) είναι καταστάσεις απόφασης στις οποίες μια ομάδα ατόμων ή εμπλεκόμενων φορέων επιδιώκουν μια κοινή λύση βασισμένη σε εναλλακτικές δράσεις. Για το σκοπό αυτό, οι εμπλεκόμενοι φορείς αξιολογούν τις διάφορες εναλλακτικές δράσεις που θα μπορούσαν να δώσουν λύση σε ένα τέτοιο πρόβλημα. Πολλά προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων της καθημερινότητας συχνά προσδιορίζονται σε ένα περιβάλλον αβεβαιότητας. Για το λόγο αυτό οι εμπλεκόμενοι φορείς πρέπει να παρέχουν τις πληροφορίες για τις προτιμήσεις τους χρησιμοποιώντας έναν τομέα πληροφοριών πλησιέστερο στην ανθρώπινη φυσική γλώσσα, η οποία είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση αυτής της αβεβαιότητας. Η θεωρία ασαφών συνόλων και η ασαφής γλωσσική προσέγγιση υπήρξαν μερικές από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις σε προβλήματα αποφάσεων υπό αβεβαιότητα [11].

Μέχρι τώρα, τα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων επιλύονταν εφαρμόζοντας απλώς μια εναλλακτική διαδικασία επιλογής [12]. Ωστόσο, μερικές φορές είναι πιθανό ότι, ως αποτέλεσμα μιας τέτοιας διαδικασίας να μην λαμβάνονται υπόψη όλες οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καταστάσεις κατά τις οποίες ορισμένοι εμπλεκόμενοι φορείς δεν αισθάνονται ικανοποιημένοι με την απόφαση που έχει ληφθεί, επειδή θεωρούν ότι οι μεμονωμένες ανησυχίες τους δεν θεωρήθηκαν επαρκώς. Προκειμένου να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα, οι Διαδικασίες προσέγγισης Ομοφωνίας (Consensus Reaching Process) εισήχθησαν ως μια πρόσθετη φάση στη διαδικασία επίλυσης προβλημάτων συλλογικών αποφάσεων. Σε μια Διαδικασία Ομοφωνίας, οι εμπλεκόμενοι φορείς προσπαθούν να επιτύχουν υψηλό επίπεδο ομαδικής συμφωνίας πριν λάβουν απόφαση, συζητώντας και τροποποιώντας τις ατομικές προτιμήσεις τους. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν προταθεί πολλά μοντέλα ομοφωνίας για την υποστήριξη και καθοδήγηση ομάδων σε Διαδικασία Ομοφωνίας που διεξάγονται σε διαφορετικά πλαίσια λήψης συλλογικών αποφάσεων [13], [14], [15], [16], [17], [18].

Τα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων εκτελούνται παραδοσιακά από μικρό αριθμό εμπλεκόμενων φορέων σε οργανωτικά και επιχειρηματικά περιβάλλοντα. Παρ'όλα αυτά, η εμφάνιση νέων τεχνολογιών και παραδειγμάτων για τη λήψη ομαδικών αποφάσεων, όπως οι ομαδικές ηλεκτρονικές αγορές ή τα κοινωνικά μέσα ενημέρωσης, έδωσαν την δυνατότητα σε μεγάλες ομάδες εμπλεκόμενων φορέων να λαμβάνουν μέρος. Έχοντας ως δεδομένο την τεχνολογική εξέλιξη, τα εν λόγω προβλήματα απόφασης αποκτούν μεγαλύτερη σημασία τα τελευταία χρόνια. Σε πολλές Διαδικασίες Ομοφωνίας, ιδίως σε αυτές με μεγάλο αριθμό εμπλεκόμενων φορέων, συχνά προκύπτουν υποομάδες διαφωνίας που υποστηρίζουν προσωπικά συμφέροντα και δεν συνεισφέρουν στην επίτευξη ομοφωνίας. Κατά συνέπεια, θα ήταν βολικό να εντοπιστούν και να αντιμετωπιστούν τέτοια άτομα ή υποομάδες, προκειμένου να αποφευχθεί η μη συνεργατική συμπεριφορά τους που αποκλίνει την ομάδα από το να λύσει το πρόβλημα, επηρεάζοντας έτσι την Διαδικασία Ομοφωνίας. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιείται μια προσέγγιση για την ανάλυση της συμπεριφοράς των εμπλεκόμενων φορέων που συμμετέχουν σε Διαδικασίες Ομοφωνίας, ανάλογα με το είδος της συμπεριφοράς που παρουσιάζουν, με στόχο τον εντοπισμό και τη διαχείριση των συμπεριφορών εμπλεκόμενων φορέων που δεν συνεργάζονται για την επίτευξη συλλογικής συμφωνίας. Μια τέτοια προσέγγιση βασίζεται στη θεωρία ασαφών συνόλων και χρησιμοποιεί επίσης διαδικασίες συλλογιστικής στο πλαίσιο υπολογισμού με λέξεις (CWW) για να αξιολογήσει τον τύπο συμπεριφοράς που υιοθετεί κάθε εμπλεκόμενος φορέας σε ολόκληρη την Διαδικασία Ομοφωνίας. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ένα πρόγραμμα στάθμισης για την απόδοση διαφορετικού βάρους στους εμπλεκόμενους φορείς, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους. Ως εκ τούτου, η προσέγγιση επιβραβεύει τους εμπλεκόμενους φορείς όταν συνεργάζονται για την επίτευξη συναίνεσης, αναθέτοντάς τους υψηλότερα βάρη, ενώ τους τιμωρεί στην αντίθετη περίπτωση μη συνεργασίας για επίτευξη συναίνεσης, αναθέτοντάς τους βάρη χαμηλής σημασίας.

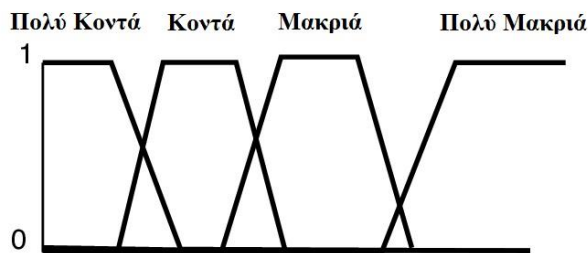
3.3.2 Υπολογισμός με λέξεις (CWW) για διαδικασίες συλλογιστικής

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν γλωσσικούς όρους για να επικοινωνούν, να λογοδοτούν και να κατανοούν το περιβάλλον γύρω τους. Οι μηχανές, από την άλλη πλευρά, απαιτούν πολύ πιο επίσημα σύμβολα. Μια από τις πιο ευρέως εξεταζόμενες προτάσεις για την καθιέρωση μιας ολοκληρωμένης σύνδεσης επικοινωνίας μεταξύ ανθρώπων και μηχανών είναι το λεγόμενο παράδειγμα του υπολογισμού με λέξεις (Εικόνα 3.1). Η μεθοδολογία του υπολογισμού με λέξεις παρέχει ένα πλαίσιο στο οποίο οι έννοιες που ανήκουν σε ένα λεξιλόγιο μπορούν να μοντελοποιηθούν μέσω ασαφών συνόλων, έτσι ώστε να μπορούν εύκολα να κατανοηθούν από ανθρώπους και μηχανές [11].



Εικόνα 3.1: Επικοινωνία Ανθρώπου-Μηχανής

Οι γλωσσικοί όροι αποτελούν βασική ιδέα του υπολογισμού με λέξεις. Ένας γλωσσικός όρος είναι μια λέξη ή φράση, που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αξία/τιμή ενός χαρακτηριστικού. Για παράδειγμα, εάν εξετάσουμε ένα χαρακτηριστικό που ονομάζεται απόσταση, ορισμένοι πιθανοί γλωσσικοί όροι για να εκφράσουν την αξία ενός τέτοιου χαρακτηριστικού θα μπορούσαν να είναι: «πολύ κοντά», «κοντά», «μακριά» και «πολύ μακριά» (Εικόνα 3.2). Έτσι, με τη βοήθεια γλωσσικών όρων, οι άνθρωποι μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τα διαφορετικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντός τους. Δεδομένης της εγγενούς ασάφειας και της αβεβαιότητας που παρουσιάζουν οι γλωσσικοί όροι, τα ασαφή σύνολα αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για να επισημοποιήσουν τις σχετικές έννοιες, επιτρέποντας έτσι στον υπολογιστή να κατανοεί και να διεξάγει υπολογιστικές διαδικασίες πάνω σε αυτές τις έννοιες. Έστω P ένας γλωσσικός όρος (π.χ. «κλείσιμο») που ανήκει σε λεξιλόγιο που συσχετίζεται με ένα χαρακτηριστικό A (π.χ. «απόσταση»). Το P μπορεί να εκφραστεί ως ασαφές υποσύνολο στον τομέα $Y \in R$ του A. Δεδομένου ότι μια τιμή $y \in Y$, ο βαθμός συμμετοχής του σε P, $\mu_P(y) \in [0, 1]$ δηλώνει το βαθμό συμβατότητας της τιμής y με τον γλωσσικό όρο P.



Εικόνα 3.2: Γλωσσικοί όροι για την αξιολόγηση του χαρακτηριστικού «Απόσταση»

Η επιλογή ενός λεξιλογίου γλωσσικών όρων για την περιγραφή ενός χαρακτηριστικού και ο ορισμός της σημασιολογίας που σχετίζεται με τέτοιους όρους (που δίδονται από τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα), πραγματοποιούνται από ανθρώπους που ειδικεύονται στην παροχή γλωσσικών όρων και τις λειτουργίες των σχετικών ασαφών συνόλων τους.

3.3.3 Γλωσσική Συλλογική λήψη Αποφάσεων

Η λήψη αποφάσεων σε επίπεδο ομάδας συνεπάγεται τη συμμετοχή διαφόρων εμπλεκόμενων φορέων οι οποίοι πρέπει να λάβουν συλλογική απόφαση για να βρουν μια κοινή λύση για ένα πρόβλημα. Μια διαδικασία λήψης αποφάσεων στην οποία συμμετέχουν πολλοί εμπλεκόμενοι φορείς, έχοντας καθένας τη δική του γνώση και εμπειρία, μπορεί συχνά να επιφέρει καλύτερες αποφάσεις από εκείνες που συνεπάγονται μόνο από έναν μόνο φορέα.

Επίσης, ένα πρόβλημα λήψης συλλογικών αποφάσεων χαρακτηρίζεται από:

- Την ύπαρξη ενός κοινού προβλήματος που εξετάζεται προς λύση.
- Ένα σύνολο X εναλλακτικών δράσεων στο πρόβλημα.
 $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ ($n \geq 2$)
- Ένα σύνολο E από άτομα ή εμπλεκόμενους φορείς, που εκφράζουν τις απόψεις τους ή τις προτιμήσεις τους σχετικά με το σύνολο των εναλλακτικών δράσεων.
 $E = \{E_1, \dots, E_m\}$ ($m \geq 2$)

Οι ειδικοί συνήθως χρησιμοποιούν μια δομή προτιμήσεων για να εκφράσουν τις απόψεις τους σχετικά με εναλλακτικές δράσεις. Ορισμένες από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες δομές προτίμησης σε προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων κάτω από αβεβαιότητα είναι εκείνες που βασίζονται σε γλωσσικές πληροφορίες, για παράδειγμα οι λεγόμενες σχέσεις γλωσσικών προτιμήσεων [9]. Μια σχέση γλωσσολογικής προτίμησης P_i που συνδέεται με την εμπειρία (e) του εκάστοτε ειδικού, μπορεί να αναπαρασταθεί για το X ως μια $n \times n$ μήτρα:

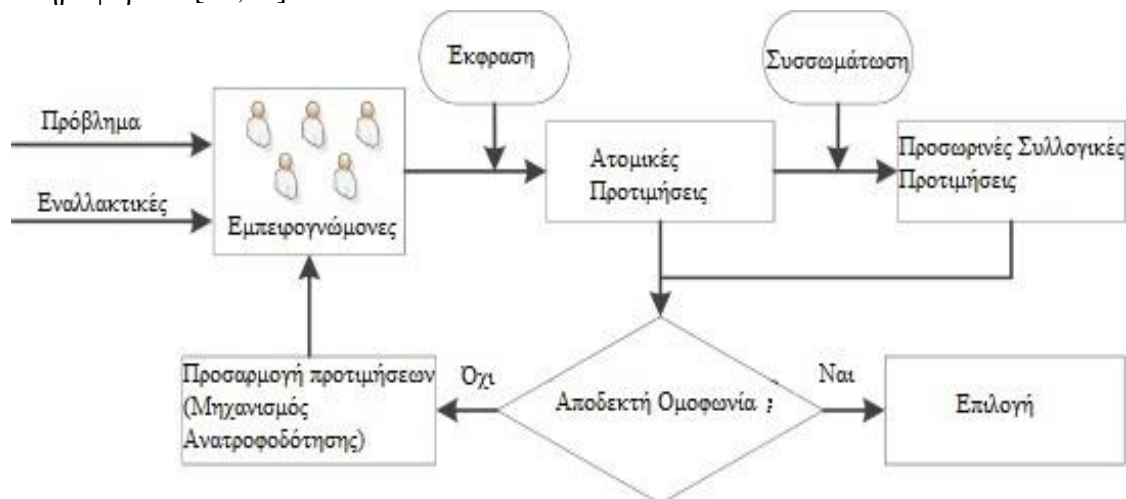
$$P_i = \begin{bmatrix} - & \dots & P_i^{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_i^{n1} & \dots & - \end{bmatrix}$$

Κατ' αυτόν τον τρόπο ορίζεται κάθε γλωσσική εκτίμηση $P_i^{ln} = \mu_{pi}(X_l, X_k) \in S$. Επίσης ορίζεται ο βαθμός προτίμησης της εναλλακτικής X_l έναντι X_k , $l, k \in \{1, \dots, n\}$, $l \neq k$, σύμφωνα με τον εμπλεκόμενο φορέα E_i . Μια αξιολόγηση P_i^{lk} εκφράζεται ως ένας γλωσσικός όρος S_u (π.χ. «ελαφρώς χειρότερος», «απόλυτα καλύτερος») που ανήκει σε ένα γλωσσικό σύνολο όρων $S = \{S_0, \dots, S_g\}$ με πολλαπλότητα g . Χωρίς απώλεια της γενικότητας, θεωρούμε ότι το S αποτελείται από γλωσσικούς όρους S_u , $u \in \{0, \dots, g\}$, οι οποίοι είναι συμμετρικά κατανομημένοι σε μια ταξινομημένη κλίμακα γύρω από έναν κεντρικό όρο, επομένως το S έχει περιττή πολλαπλότητα, $|S| = g + 1$. Η λύση για ένα πρόβλημα λήψης συλλογικών αποφάσεων μπορεί να προσδιοριστεί εφαρμόζοντας είτε άμεση προσέγγιση είτε έμμεση προσέγγιση. Σε μια άμεση προσέγγιση, η λύση επιτυγχάνεται άμεσα από τις ατομικές προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων, χωρίς

να διαμορφώνεται πρώτα μια κοινωνική άποψη, ενώ σε μια έμμεση προσέγγιση, μια κοινωνική άποψη ή συλλογική προτίμηση καθορίζεται εκ των προτέρων από μεμονωμένες απόψεις και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να βρεθεί η λύση του προβλήματος (Εικόνα 3.3). Ανεξάρτητα από την εξεταζόμενη προσέγγιση, η κλασική διαδικασία επιλογής για την επίλυση προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων αποτελείται από δύο φάσεις:

- (i) **Φάση συλλογής:** Οι προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων συνδυάζονται.
- (ii) **Φάση εκμετάλλευσης:** Συνίσταται στην επιλογή μιας εναλλακτικής δράσης ή ενός υποσυνόλου εναλλακτικών δράσεων ως λύση του προβλήματος.

Στην ειδική περίπτωση των γλωσσικών προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων, οι κλασικές διαδικασίες ανάλυσης δείχνουν την αναγκαιότητα χρήσης μοντέλων που όχι μόνο λειτουργούν με γλωσσικές πληροφορίες με ακρίβεια, αλλά επιτρέπουν επίσης την επίτευξη κατανοητών αποτελεσμάτων. Η μεθοδολογία του υπολογισμού με λέξεις όχι μόνο διευκολύνει τις διαδικασίες λογικής, αλλά και τις υπολογιστικές διαδικασίες και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με τις γλωσσικές πληροφορίες. Έχουν προταθεί αρκετά γλωσσικά υπολογιστικά μοντέλα στον τομέα του υπολογισμού με λέξεις, το καθένα από αυτά ορίζει διαφορετικές λειτουργίες γλωσσικών πληροφοριών (π.χ. συλλογή ή σύγκριση γλωσσικών όρων). Ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα μοντέλα στη λήψη αποφάσεων είναι το λεγόμενο γλωσσικό μοντέλο 2-tuple, το οποίο παρέχει ακριβή και κατανοητά αποτελέσματα αποφεύγοντας την απώλεια πληροφοριών [19,20].



Εικόνα 3.3: Οι δυο φάσεις Συλλογής και Εκμετάλλευσης

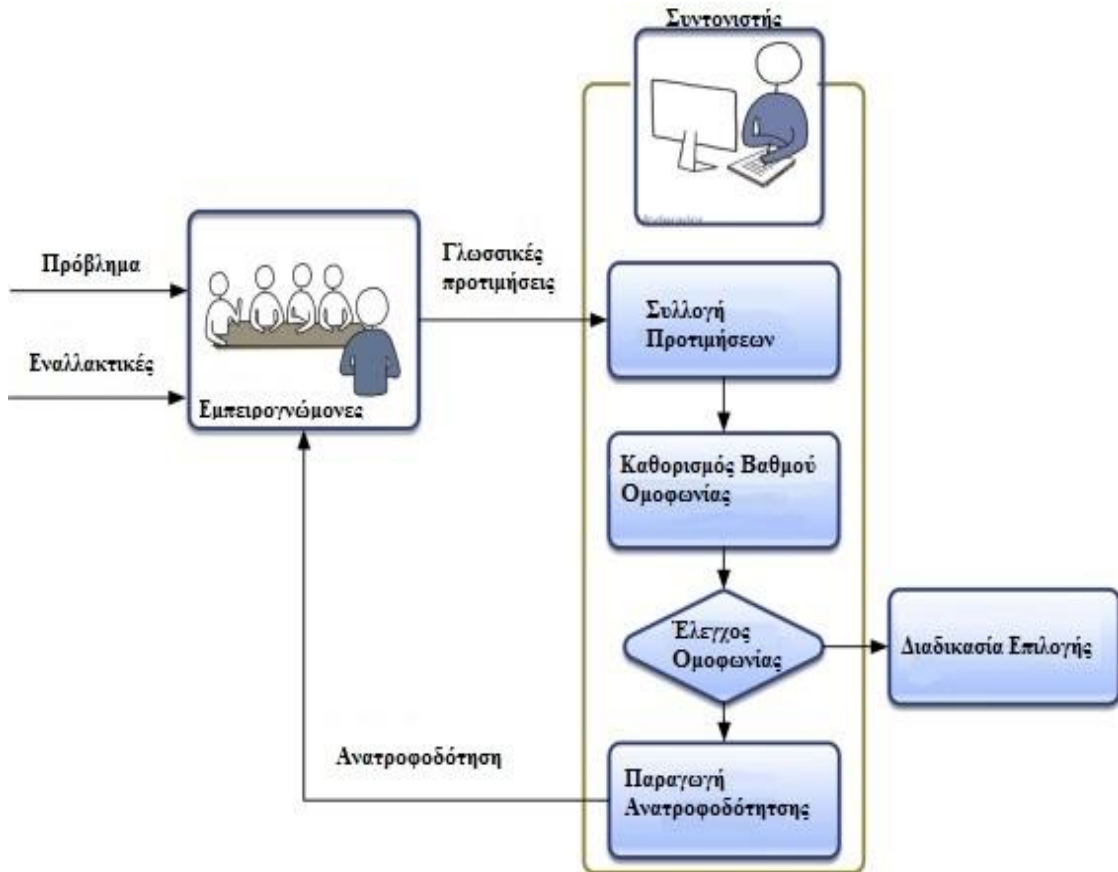
3.3.4 Διαδικασίες Ομοφωνίας

Όταν μια διαδικασία επιλογής εναλλακτικών εφαρμόζεται για την επίλυση ενός προβλήματος λήψης συλλογικών αποφάσεων, ένας ή περισσότεροι εμπλεκόμενοι φορείς μπορεί να θεωρούν ότι οι απόψεις τους δεν λήφθηκαν υπόψιν για την εύρεση της λύσης, επομένως ενδέχεται να μην αποδεχθούν μια τέτοια λύση. Ένα υψηλό επίπεδο ομοφωνίας μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων καθίσταται ζωτικής σημασίας σε

πολλές τέτοιες περιπτώσεις προβλημάτων, ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί μια διαδικασία προσέγγισης Ομοφωνίας, εισάγοντας έτσι μια πρόσθετη φάση στη διαδικασία επίλυσης για προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων (Εικόνα 3.4). Οι Διαδικασίες Ομοφωνίας αποσκοπούν στην επίτευξη υψηλού επιπέδου συμφωνίας μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων προτού προβούν σε ομαδική απόφαση. Ο όρος ομοφωνία μπορεί να οριστεί ως η συμφωνία που παράγεται με κοινή συναίνεση μεταξύ όλων των μελών μιας ομάδας ή μεταξύ διαφόρων ομάδων. Η διαδικασία επίτευξης ομοφωνίας είναι μια δυναμική και επαναληπτική διαδικασία, η οποία αποτελείται από συζητήσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων και συχνά επιτηρείται από ένα άνθρωπο: τον συντονιστή. Ο συντονιστής είναι βασικό στοιχείο των Διαδικασιών Ομοφωνίας, είναι υπεύθυνος για την εποπτεία και την καθοδήγηση εμπλεκόμενων φορέων σε όλη τη διαδικασία συζήτησης. Οι κύριες φάσεις ενός γενικού συστήματος Διαδικασίας Ομοφωνίας που ακολουθήθηκε σε διάφορα μοντέλα συναίνεσης για γλωσσική λήψη συλλογικών αποφάσεων περιγράφονται παρακάτω:

- (i) **Συλλογή Προτιμήσεων:** Κάθε εμπλεκόμενος φορέας παρέχει στον συντονιστή τις προτιμήσεις του έναντι των εναλλακτικών επιλογών του X , π.χ. μέσω μιας σχέσης γλωσσικών προτιμήσεων.
- (ii) **Προσδιορισμός βαθμού ομοφωνίας:** Ο συντονιστής υπολογίζει τον τρέχοντα συντελεστή ομοφωνίας στην ομάδα, που εκφράζεται συνήθως ως τιμή στο διάστημα $[0,1]$ (όπου η τιμή 1 υποδηλώνει πλήρη ομοφωνία μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων φορέων σε όλες τις εναλλακτικές δράσεις). Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται διάφορα μέτρα ομοφωνίας τα οποία βασίζονται συνήθως στη χρήση μετρήσεων για τον υπολογισμό του συντελεστή ομοφωνίας μεταξύ των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων. Αυτό πραγματοποιείται με την βοήθεια διαδικασιών υπολογισμού με λέξεις, όπου καθιστούν δυνατή την ανάλυση αυτών των γλωσσικών πληροφοριών.
- (iii) **Έλεγχος Ομοφωνίας:** Ο βαθμός ομοφωνίας C_r της προηγούμενης φάσης, συγκρίνεται με ένα κατώτατο όριο ομοφωνίας $\mu \in [0; 1]$ που έχει καθοριστεί εξ αρχής, το οποίο υποδεικνύει το ελάχιστο επίπεδο ομοφωνίας που απαιτείται από την ομάδα. Αν $C_r > \mu$, έχει επιτευχθεί ομοφωνία και η ομάδα προχωράει στη διαδικασία επιλογής, διαφορετικά, κρίνεται απαραίτητο να συνεχίσουν οι συζητήσεις μέχρι την επίτευξη ομοφωνίας. Τέλος μια άλλη παράμετρος, η $Maxround \in \mathbb{N}$ χρησιμοποιείται για τον περιορισμό του αριθμού των επαναλήψεων της συζήτησης που επιτρέπονται.
- (iv) **Σχόλια:** Ο συντονιστής υπολογίζει μια τελική συλλογική προτίμηση της ομάδας, P_c , συγκεντρώνοντας τις ατομικές προτιμήσεις όλων των ειδικών. Με βάση τον υπολογισμό P_c , ο συντονιστής αναγνωρίζει τις εκτιμήσεις P_i^{lk} των εμπλεκόμενων φορέων εκείνων που είναι πιο απομακρυσμένες από τη ομοφωνία και τους συμβουλεύει να τροποποιήσουν αυτές τις αξιολογήσεις με στόχο την αύξηση του βαθμού ομοφωνίας. Οι ειδικοί είναι υπεύθυνοι για την τροποποίηση των αξιολογήσεών τους, αναθέτοντας υψηλότερη ή χαμηλότερη αξία σε αυτές, έτσι ώστε η νέα τιμή να είναι πιο κοντά στην

τελική συλλογική προτίμηση P_c . Κάθε συμβουλή αποτελείται από μια τριπλή έκφραση $(E_i, (X_i, X_k), \text{Direction})$ η οποία δείχνει ότι ο εμπλεκόμενος φορέας E_i πρέπει να τροποποιήσει την αξιολόγησή του P_i^{lk} στην κατεύθυνση που δίνεται από τον συντονιστή, όπου η κατεύθυνση ορίζεται ως: $\text{Direction} \in \{\text{αύξηση, μείωση}\}$.



Εικόνα 3.4: Γενικό σχήμα Διαδικασιών Προσέγγισης Ομοφωνίας

3.3.5 Διαχείριση της Συμπεριφοράς εμπλεκόμενων φορέων σε Διαδικασίες Ομοφωνίας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται μια μεθοδολογία η οποία αποτελεί επέκταση της μεθοδολογίας που έλαβε μέρος στην παρούσα διπλωματική εργασία για την αντιμετώπιση εμπλεκόμενων φορέων με διαφορετικές συμπεριφορές σε διαδικασίες προσέγγισης Ομοφωνίας στην επίλυση προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων σε ένα γλωσσικό πλαίσιο. Πρώτον, καθορίζεται η δομή της προτεινόμενης προσέγγισης, περιγράφοντας τα απαραίτητα μέτρα για τη διαχείριση των συμπεριφορών των εμπλεκόμενων φορέων σε κάθε επανάληψη της Διαδικασίας Ομοφωνίας. Η προσέγγιση εντάσσεται έπειτα σε ένα μοντέλο ομοφωνίας για προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων με σχέσεις γλωσσικών προτιμήσεων, που ακολουθεί το πρόγραμμα Διαδικασίας Ομοφωνίας το οποίο αναλύθηκε παραπάνω. Προτείνεται μια προσέγγιση βάσει του βάρους, η οποία να τιμωρεί τους εμπλεκόμενους φορείς που προσπαθούν να χειριστούν στρατηγικά τη λύση σε ένα πρόβλημα λήψης

συλλογικών αποφάσεων, παρεκκλίνοντας τη συλλογική γνώμη προς όφελός τους με βάση τις προτιμήσεις τους [21]. Μια τέτοια προσέγγιση βασίζεται στην ανάθεση βαρών σημασίας στους εμπλεκόμενους φορείς, έτσι ώστε όταν επιβάλλονται κυρώσεις σε κάποια βάρη σημασίας, οι απόψεις εμπλεκόμενων φορέων που συνδέονται με τέτοια βάρη αποκτούν μικρότερη σημασία από τις απόψεις των υπόλοιπων φορέων. Τα βάρη σημασίας λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη της συλλογικής γνώμης που χρησιμοποιείται ως λύση για το πρόβλημα συλλογικών αποφάσεων. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται σε αυτή την έρευνα συνίσταται στην εκχώρηση ενός βάρους σημασίας $w_i^t \in [0, 1]$ σε κάθε εμπλεκόμενο φορέα $E_i \in E$, με $t \in N$ η τρέχων επανάληψη συζήτησης στη Διαδικασία Ομοφωνίας. Τα βάρη χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης P_c , εφαρμόζοντας ένα σταθμισμένο βάρος πάνω στις προτιμήσεις P_i , $i \in \{1, \dots, m\}$. Ως αποτέλεσμα, οι προτιμήσεις των περισσότερων συνεργαζόμενων εμπλεκόμενων φορέων (οι οποίοι θα είχαν συσχετιστεί με βάρη υψηλότερης σημασίας) λαμβάνονται υπόψη σε μεγαλύτερο βαθμό στον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης P_c [11]. Το σχήμα 3.2 της προσέγγισης που παρουσιάζεται για τη διαχείριση των συμπεριφορών των εμπλεκόμενων φορέων σε όλη την Διαδικασία ομοφωνίας, αποτελείται από τρία στάδια:

- (i) **Υπολογισμός μέτρων συμπεριφοράς:** Στόχος είναι να αναλυθεί η συμπεριφορά που υιοθετείται από κάθε εμπλεκόμενο φορέα σε μια δεδομένη στιγμή κατά τη διάρκεια της Διαδικασίας Ομοφωνίας και να αξιολογηθεί με τη βοήθεια μιας μέτρησης συμπεριφοράς που υποδεικνύει πόσο καλή είναι μια τέτοια συμπεριφορά. Μπορούν να ληφθούν υπόψη διαφορετικές μετρήσεις συμπεριφοράς για τον υπολογισμό του βαθμού συνεργασίας των εμπλεκόμενων φορέων στην διαδικασία αυτή, με βάση διαφορετικές πτυχές, όπως: (α) Σε τι βαθμό ο εμπλεκόμενος φορέας αποδέχεται και εφαρμόζει τις συμβουλές στις αξιολογήσεις του ή (β) τον αριθμό συμβουλών που εφαρμόζει ένας εμπλεκόμενος φορέας κατά την τροποποίηση των αξιολογήσεών του. Αν και προτείνεται ο ορισμός και η συνδυασμένη χρήση διαφορετικών μετρήσεων συμπεριφοράς για την αξιολόγηση των εμπλεκόμενων φορέων, για τους σκοπούς της διπλωματικής θα εξετάσουμε (χωρίς απώλεια της γενικότητας) μια μέτρηση συμπεριφοράς που λέγεται Συντελεστής Ομοιότητας (Cooperation Coefficient). Η αξία του συντελεστή Ομοιότητας αντιπροσωπεύει το βαθμό στον οποίο ένας εμπλεκόμενος φορέας τροποποιεί τις απόψεις του / της μεταφέροντας τις πιο κοντά στη ομοφωνία. Εάν ένας εμπλεκόμενος φορέας δεν λάβει συμβουλές σε μια επανάληψη, αυτό σημαίνει ότι όλες οι εκτιμήσεις του / της είναι κοντά την ομοφωνία.
- (ii) **Βάρη εμπλεκόμενων φορέων:** Οι έννοιες σχετικά με τα ασαφή σύνολα και τη διαδικασία συλλογιστικής υπολογισμών με Λέξεις, χρησιμοποιούνται για να εκχωρήσουν σε κάθε εμπλεκόμενο φορέας βάρος σημασίας, με βάση την συμπεριφορά τους (Συντελεστής Ομοιότητας). Ειδικότερα, ορίζεται ένας γλωσσικός όρος «συνεργασία», η τιμή του οποίου προκύπτει από ένα ασαφές υποσύνολο COOP, σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση :

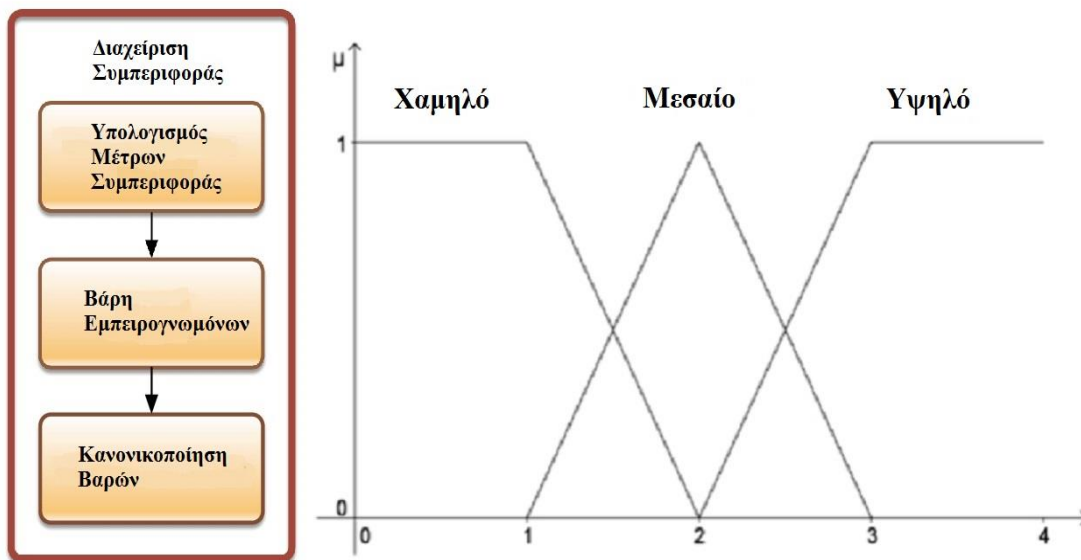
$$\mu_{\text{COOP}}(y) = \begin{cases} 0 & S_i y < \alpha \\ \frac{y-\alpha}{\beta-\alpha} & \text{si } \alpha \leq y < \beta, \text{ όπου } \alpha, \beta, y \in [0, 1], \alpha < \beta. \\ 1 & S_i y \geq \beta \end{cases}$$

Το βάρος σημασίας του εμπλεκόμενου φορέα E_i στην επανάληψη t , w_i^t , υπολογίζεται ως ο βαθμός του Συντελεστή Ομοιότητας του CC_i^t στο COOP, $w_i^t = \mu_{\text{COOP}}(CC_i^t)$. Επιπλέον, η μη συνεργασία σε προχωρημένο στάδιο (δηλαδή μετά από πολλές επαναλήψεις συζήτησης), επιφέρει μεγαλύτερη τιμωρία από ότι η μη συνεργασία στις πρώτες επαναλήψεις, υιοθετώντας έτσι μια πιο ευνοϊκή στάση απέναντι στη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων φορέων στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας.

- (iii) **Κανονικοποίηση Βαρών:** Δεδομένου ότι διαφορετικές τιμές για τα βάρη των εμπλεκόμενων φορέων w_i^t θα ληφθούν σε κάθε επανάληψη συναίνεσης, εφαρμόζεται κανονικοποίηση τέτοιων βαρών, ως εξής:

$$\hat{w}_i^t = \frac{w_i^t}{\sum_{i=1}^m w_i^t} \text{ όπου } w_i^t \in [0, 1], \sum \hat{w}_i^t = 1$$

Αφού τα βάρη κανονικοποιηθούν, θα ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό της συλλογικής προτίμησης στην τρέχουσα επανάληψη συζήτησης.



Σχήμα 3.1: Διαχείριση της συμπεριφοράς των εμπλεκόμενων φορέων

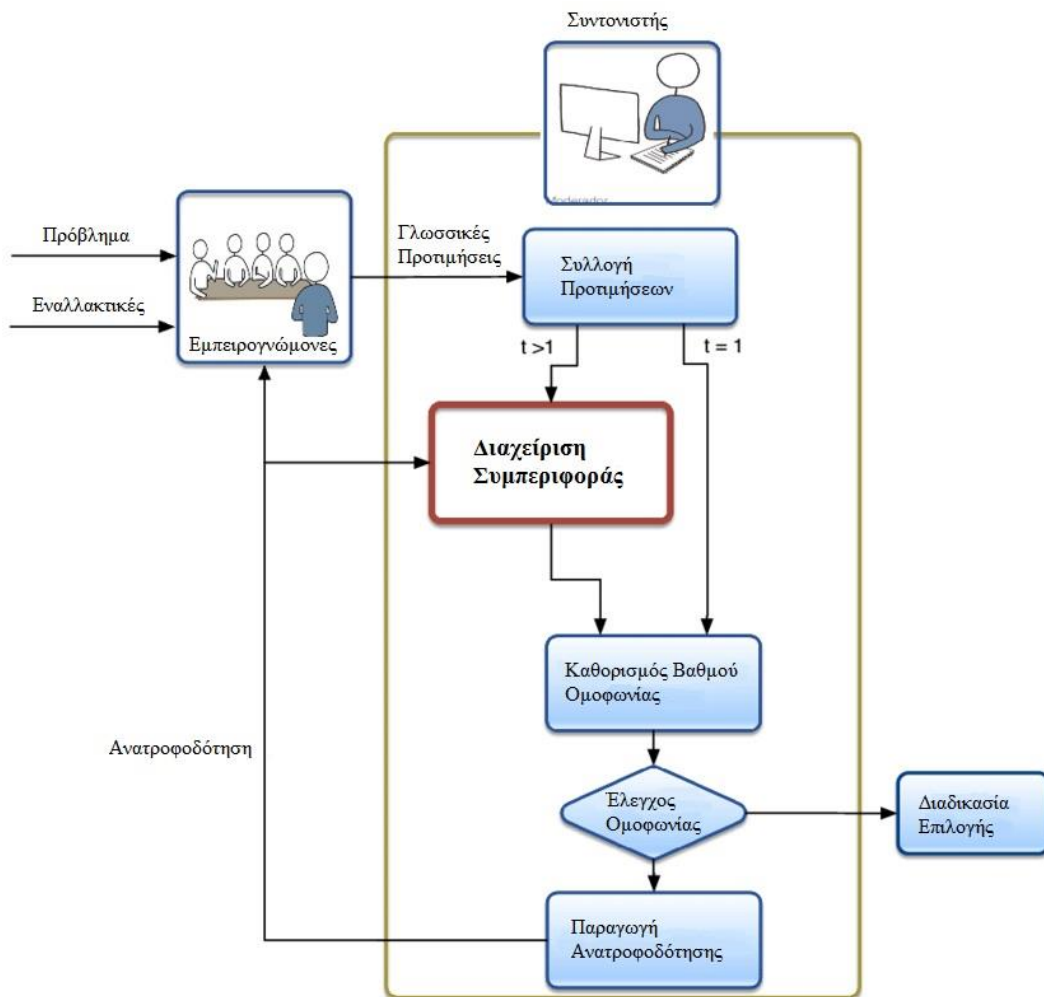
3.3.6 Ενσωμάτωση μεθόδων διαχείρισης συμπεριφοράς σε μοντέλο Ομοφωνίας

Αφού παρουσιάστηκε η πρόταση για τη διαχείριση των συμπεριφορών στις Διαδικασίες Ομοφωνίας, παρουσιάζουμε την ενσωμάτωσή της σε ένα μοντέλο ομοφωνίας για γλωσσικά προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων που επεκτείνει

το γενικό σχήμα των Διαδικασιών Ομοφωνίας (Εικόνα 3.5). Η προσέγγιση εφαρμόζεται αρχικά στην αρχή της δεύτερης επανάληψης ομοφωνίας ($t > 2$), διότι η συμπεριφορά κάθε εμπλεκόμενου φορέα αξιολογείται με ανάλυση των ακόλουθων πληροφοριών:

- Οι συμβουλές που έλαβε κάθε εμπλεκόμενος φορέας στο τέλος της προηγούμενης επανάληψης, $t - 1$.
- Οι ενημερωμένες προτιμήσεις κάθε εμπλεκόμενου φορέα, αφού έχουν λάβει τις αντίστοιχες συμβουλές τους.

Παρατηρήστε ότι αυτές οι πληροφορίες δεν υπάρχουν ακόμα στην αρχή της Διαδικασίας Ομοφωνίας, επομένως η προσέγγιση εφαρμόζεται μετά την ολοκλήρωση του πρώτου γύρου συζήτησης. Επιπλέον, όταν αρχίζει η Διαδικασία Ομοφωνίας ($t = 1$), όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς έχουν ισάξια βάρη σημασίας. Καθώς η διαδικασία συνεχίζεται, το βάρος κάθε εμπλεκόμενου φορέα μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τη συμπεριφορά του σε κάθε επανάληψη. Για παράδειγμα, το βάρος ενός εμπλεκόμενου φορέα που δεν συνεργάζεται κατά τους πρώτους δύο γύρους συναίνεσης μειώνεται ανάλογα. Εάν ο εμπλεκόμενος φορέας αποφασίσει να συνεργαστεί από τον τρίτο γύρο και μετά, συνεισφέροντας στην ομοφωνία, τότε το αντίστοιχο βάρος πρέπει να αυξηθεί ξανά.



Εικόνα 3.5: Σχέδιο Διαδικασιών Ομοφωνίας με διαχείριση συμπεριφοράς

4 FLINTSTONES –AFRYCA

Η λήψη αποφάσεων είναι η μελέτη προσδιορισμού και επιλογής εναλλακτικών προτάσεων για να βρεθεί η βέλτιστη λύση με βάση διάφορους παράγοντες και λαμβάνοντας υπόψη τις προσδοκίες των υπευθύνων λήψης αποφάσεων. Κάθε απόφαση λαμβάνεται μέσα από ένα περιβάλλον, το οποίο ορίζεται ως συλλογή πληροφοριών, εναλλακτικών δράσεων, αξιών και προτιμήσεων που είναι διαθέσιμες τη στιγμή που πρέπει να ληφθεί η απόφαση. Η ανάλυση αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων, με έντονη εστίαση στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, έχουν μεγάλη σημασία όσον αφορά τις πολιτικές μια χώρας για τη μετάβαση της σε Πράσινη Ενέργεια. Οι Διαδικασίες Ομοφωνίας διαδραματίζουν ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στην επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων σε συλλογικό επίπεδο. Όπως γίνεται αντιληπτό, είναι απαραίτητη μια λύση αποδεκτή από όλους τους εμπλεκόμενους φορείς που συμμετέχουν περιβαλλοντικό πρόβλημα. Έχει προταθεί ένας μεγάλος αριθμός Διαδικασιών προσέγγισης Ομοφωνίας για την υποστήριξη ομάδων σε τέτοιες διαδικασίες, καθεμία με τα δικά της χαρακτηριστικά, όπως οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τις προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας για να αναλυθούν εναλλακτικές δράσεις προκειμένου να επιτευχθεί μια ομαλή μετάβαση της Ολλανδίας σε πράσινη ενέργεια χρησιμοποιήσαμε τα εξής λογισμικά:

- i. FLINTSTONES: Λογισμικό που επιλύει γλωσσικά προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων εκτελώντας ανάλυση γλωσσικών δεδομένων και παρέχοντας κατανοητά και οπτικοποιημένα αποτελέσματα.
- ii. AFRYCA: Λογισμικό που προσομοιώνει Διαδικασίες Ομοφωνίας και προσφέρει αναλύσεις προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων μέσω διαφορετικών μοντέλων ομοφωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, το λογισμικό FLINTSTONES παρέχει μέσα από ένα σύνολο προτεινόμενων εναλλακτικών, μία κατάταξη αυτών με την έννοια της περισσότερο αποδοτικής. Στη συνέχεια το AFRYCA, επιτρέπει ανάλυση ως προς την ομοφωνία των παραπάνω εναλλακτικών, μέσω διαφορετικών διαθέσιμων μεθόδων. Ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των δυο αυτών προγραμμάτων.

4.1 FLINTSTONES

Το πρόγραμμα FLINTSTONES (Fuzzy LINguisTic DeciSion TOols eNhacemEnt Suite) παρέχει ένα περιβάλλον για την ανάλυση των Διαδικασιών Ομοφωνίας μέσω της προσομοίωσης διαφορετικών μοντέλων όπως το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple και η χρήση υπολογιστών με λέξεις στη λήψη αποφάσεων. Το FLINTSTONES εξετάζει μία από τις πιο κοινές και ευρέως διαδεδομένες μεθοδολογίες για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στα προβλήματα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό κόσμο, το μοντέλο υπολογισμών με λέξεις και την ασαφή γλωσσική προσέγγιση. Το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple είναι η πιο δημοφιλής μεθοδολογία για τον υπολογισμό με λέξεις, επειδή

βελτιώνει την ακρίβεια των γλωσσικών υπολογισμών και διατηρεί την ερμηνευσιμότητα των αποτελεσμάτων. Το λογισμικό FLINTSTONES είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιεί το γλωσσικό μοντέλο 2-tuple, κύριο γνώρισμα του οποίου είναι η ταχεία ανάπτυξή του και η δυνατότητα εφαρμογής του, για την επίλυση προβλημάτων γλωσσικής λήψης αποφάσεων και των επεκτάσεών του για την αντιμετώπιση πολύπλοκων πλαισίων. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το FLINTSTONES συνιστάται ιδιαίτερα για χρήστες που εργάζονται στον τομέα της έρευνας των ασαφών συνόλων και συστημάτων καθώς είναι ένα εξαιρετικό εργαλείο στον τομέα των υπολογισμών και των στατιστικών.

4.1.1 Βασικές Αρχές

Ορισμένες από τις βασικές έννοιες που χρειάζεται να εξοικειωθεί ο χρήστης του λογισμικού συνοψίζονται παρακάτω:

Εμπλεκόμενοι φορείς: Δύο ή περισσότεροι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων ή ειδικοί προσπαθούν να επιτύχουν μια κοινή λύση σε ένα πρόβλημα που αποτελείται από πολλές εναλλακτικές δράσεις ή πιθανές λύσεις. Οι εμπλεκόμενοι φορείς έχουν προσωπική λογική στις κρίσεις τους, αλλά ταυτόχρονα υπάρχει γενική προσδοκία να επιτευχθεί ομαδική συμφωνία.

Εναλλακτικές δράσεις: εναλλακτικές δράσεις θεωρούμε τις υιοθετημένες πολιτικές που εκμεταλλεύονται ένα βιώσιμο πρότυπο που προτείνεται ως λύση για το πρόβλημα προς συζήτηση. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, οι εξεταζόμενες στρατηγικές είναι περιβαλλοντικά συλλογικές αποδοτικές ενεργειακές δράσεις.

Κριτήρια: Κριτήρια θεωρούμε τις επιλογές κάθε εναλλακτικής δράσης. Τα επιλεγμένα κριτήρια πρέπει να είναι λειτουργικά, περιεκτικά, και καλά ορισμένα. Η κατάλληλη επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης πρέπει να λαμβάνει υπόψη της βασικούς πυλώνες του προβλήματος. Με βάση τα παραπάνω, βασική επιδίωξη είναι η διαμόρφωση ενός μικρού αλλά σαφώς κατανοητού συνόλου κριτηρίων αξιολόγησης, τα οποία μπορούν να αποτελέσουν μια υγιή βάση για τη σύγκριση των εξεταζόμενων εναλλακτικών δράσεων.

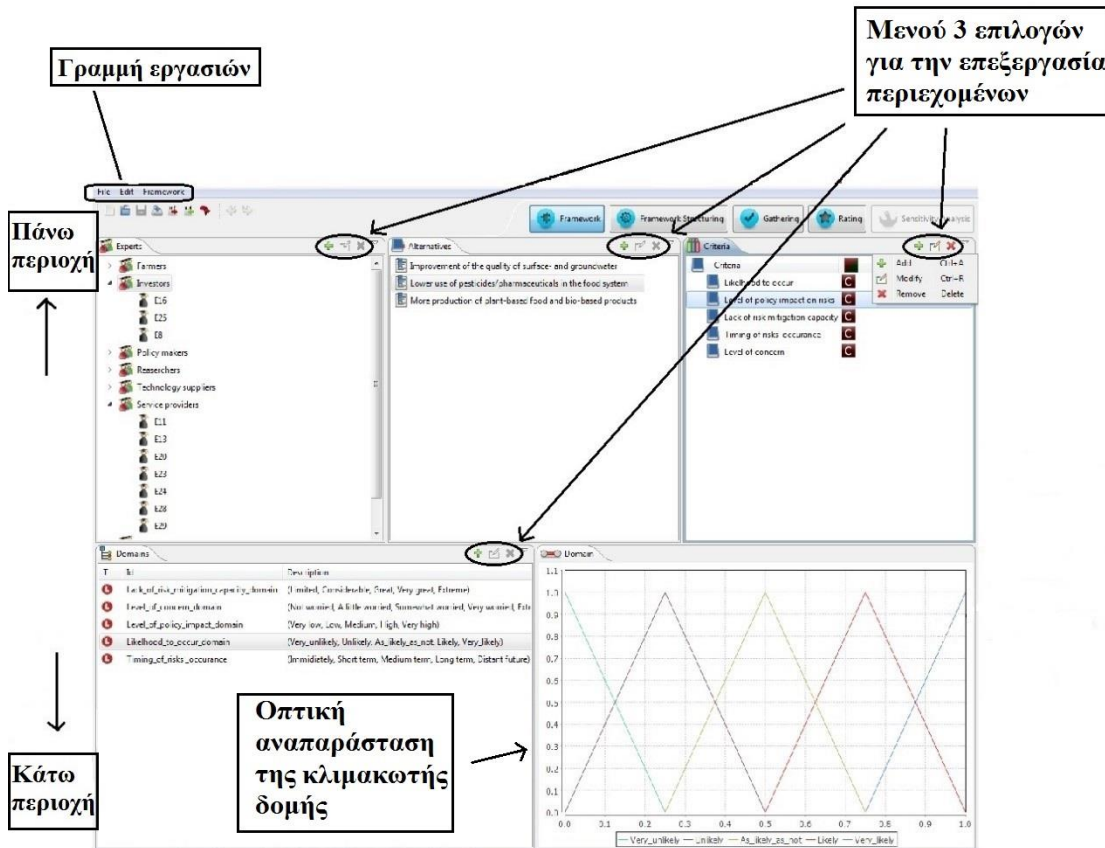
Τομέας: Οι πληροφορίες που προέρχονται από τις αποφάσεις των εμπλεκόμενων φορέων είναι συχνά ανεπαρκείς, ανακριβείς και αβέβαιες. Το FLINTSTONES επιτρέπει μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση χρησιμοποιώντας γλωσσικές μεταβλητές για την έκφραση των αξιολογήσεων των εναλλακτικών επιλογών στα κριτήρια και τα βάρη. Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή «Τομέας» (Domain) του λογισμικού, ο χρήστης είναι σε θέση να δημιουργήσει κλιμακωτές δομές από γλωσσικούς όρους οι οποίες στη συνέχεια αντιστοιχίζονται με τις επιλογές των κριτηρίων και των βαρών.

Περιβάλλον χρήστη: Η κύρια οθόνη του λογισμικού FLINTSTONES αποτελείται από δύο βασικές περιοχές, νοητά διαιρεμένες οριζόντια. Η επάνω περιοχή αποτελείται από τρία παράθυρα καθένα από τα οποία περιέχει βασικές έννοιες που αναφέρονται παραπάνω:

- *Εμπλεκόμενοι Φορείς*, που βρίσκονται στην επάνω αριστερή γωνία της οθόνης
- *Εναλλακτικές δράσεις*, τοποθετημένες ακριβώς στη μέση της άνω περιοχής
- *Κριτήρια*, που είναι τοποθετημένα στο πάνω αριστερό μέρος της οθόνης

Η κάτω περιοχή φιλοξενεί τον Τομέα (Domain) και μια εικονική αναπαράσταση των γλωσσικών όρων και της σημασιολογίας τους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του FLINTSTONES είναι η ευελιξία, η απλότητα και η ευκολία χρήσης, χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στον χρήστη να προχωρήσει γρήγορα από την πρόταση πολιτικής στην ανάλυσή της χωρίς να χρειάζονται σύνθετα μοντέλα.



Εικόνα 4.1: Αρχική Καρτέλα FLINTSTONES

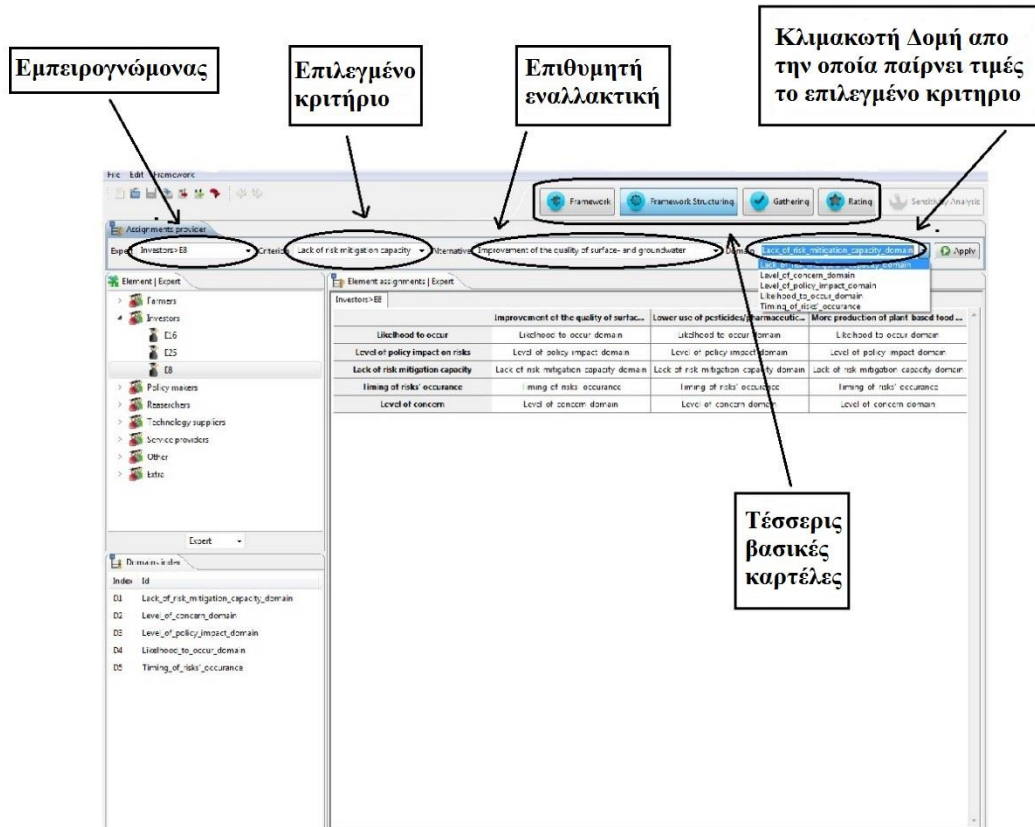
4.1.2 Εισαγωγή Δεδομένων FLINTSTONES

Framework

Με ευέλικτες δομές δεδομένων, το FLINTSTONES παρέχει ένα αποτέλεσμα τεχνολογικά προηγμένο και απόλυτα χρηστικό, που διευκολύνει τον χρήστη. Η πρώτη καρτέλα του FLINTSTONES είναι το "Framework". Σε αυτό το παράθυρο ο χρήστης συμπληρώνει όλα τα βασικά δεδομένα του προβλήματος, όπως τον αριθμό των εμπλεκόμενων φορέων και τα στοιχεία του επαγγέλματός τους, τις εναλλακτικές δράσεις / κινδύνους καθώς και τα κριτήρια αξιολόγησης. Σε αυτήν την καρτέλα επίσης ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει τις επιθυμητές κλιμακωτές γλωσσικές δομές με τις οποίες αξιολογούνται τα κριτήρια των εναλλακτικών.

Framework Structuring

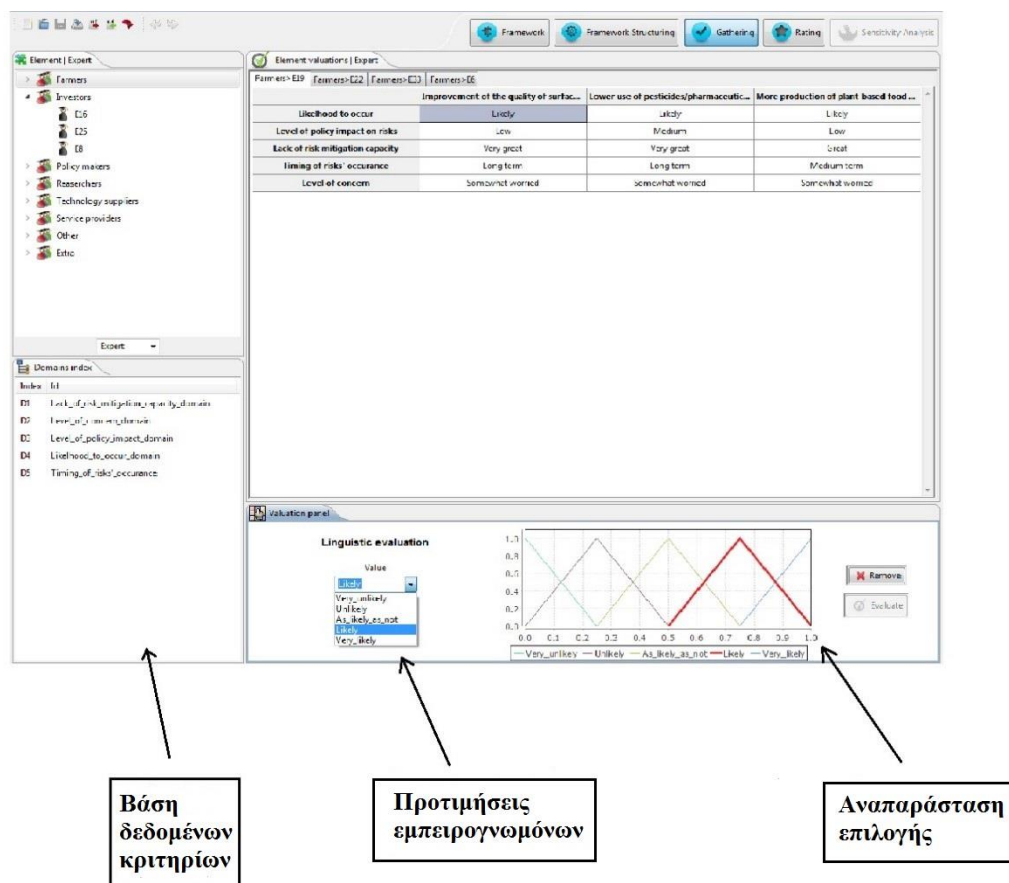
Το FLINTSTONES βοηθά τον χρήστη να αποκτήσει μια οπτική αντιστοιχία των διαφόρων στοιχείων του προβλήματος. Σε αυτήν την καρτέλα ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αντιστοιχίσει τα κριτήρια με τις γλωσσικές δομές, τις οποίες οι εμπλεκόμενοι φορείς πρόκειται να χρησιμοποιήσουν στις προτιμήσεις αξιολόγησης τους.



Εικόνα 4.2: Καρτέλα Framework Structuring

Gathering

Το FLINTSTONES προσφέρει στον χρήστη τη δυνατότητα να αναπτύξει εξελιγμένες προσομοιώσεις και δομές δεδομένων. Σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης εισάγει τις προτιμήσεις/αξιολογήσεις των εμπλεκόμενων φορέων για κάθε εναλλακτική. Το FLINTSTONES παρέχει στο χρήστη έναν πίνακα επιλογών, οι τιμές του οποίου είναι γλωσσικοί όροι. Ο χρήστης εισάγει την αξιολόγηση της επιθυμητής εναλλακτικής δράσης συγκεκριμένου κριτηρίου με μια από τις επιλογές του πίνακα. Η αξιολόγηση απεικονίζεται σε ένα διάγραμμα ακριβώς δίπλα από τον πίνακα επιλογών με την έννοια απόστασης σε μορφή τριγώνου.



Εικόνα 4.3: Καρτέλα Gathering

Rating

Το FLINTSTONES είναι ένα λογισμικό μοντελοποίησης που χρησιμοποιεί μια προσέγγιση η οποία βασίζεται στην ικανότητα του χρήστη να εισάγει δεδομένα και να τα αναλύει μέσω μαθηματικών εκφράσεων χρησιμοποιώντας μεθόδους προτιμήσεων. Οι εκφράσεις είναι μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των τιμών των μεταβλητών. Σε αυτή την καρτέλα ο χρήστης είναι ευέλικτος να επιλέξει μεταξύ μιας ποικιλίας μεθόδων, με κάθε μέθοδο να εξειδικεύεται στην ανάλυση ενός συγκεκριμένου τύπου προβλημάτων που εξαρτώνται από το πλαίσιο και τη δομή τους. Η λήψη αποφάσεων σε περιπτώσεις με αβεβαιότητα μπορεί να παρουσιάσει πολύπλοκες δομές που χρειάζονται περισσότερους από έναν γλωσσικό τομέα για να μοντελοποιήσουν όλες τις προτιμήσεις που εμπλέκονται στο συγκεκριμένο πρόβλημα απόφασης. Σε αυτά τα πλαίσια, οι επεκτάσεις του γλωσσικού μοντέλου 2-tuple παρέχουν μεθοδολογίες για την εκτέλεση διαδικασιών υπολογισμού με λέξεις, επιτυγχάνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε προβλήματα γλωσσικής απόφασης. Λόγω των πολύπλοκων αυτών δομών, το λογισμικό FLINTSTONES διαθέτει διάφορες μεθόδους ανάλυσης. Εκτός από την μέθοδο *2-tuple Linguistic Framework* που έχει αναλυθεί σε παραπάνω κεφάλαιο ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των υπόλοιπων:

- 2-tuple Linguistic Framework
- Hesitant Fuzzy Linguistic Information

- Multi-granular Framework
- Heterogeneous Framework
- Unbalanced Linguistic Framework

Hesitant Fuzzy Linguistic Information

Τα Διστακτικά Ασαφή Γλωσσικά Σύνολα (HFS) είναι πολύ χρήσιμα για την επίλυση προβλημάτων λήψης αποφάσεων όπου οι εμπλεκόμενοι φορείς διστάζουν να παρέχουν τις προτιμήσεις τους σχετικά με το αντικείμενο ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα αποτελούν μια επέκταση των ασαφών συνόλων και χαρακτηρίζονται από μία συνάρτηση μελών που αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο πιθανών αξιών. Το σύνολο αυτό είναι δομημένο με τρόπο, ώστε να αντικατοπτρίζεται η διστακτικότητα και η ασυνέπεια των εμπλεκόμενων φορέων.

Multi-granular Framework

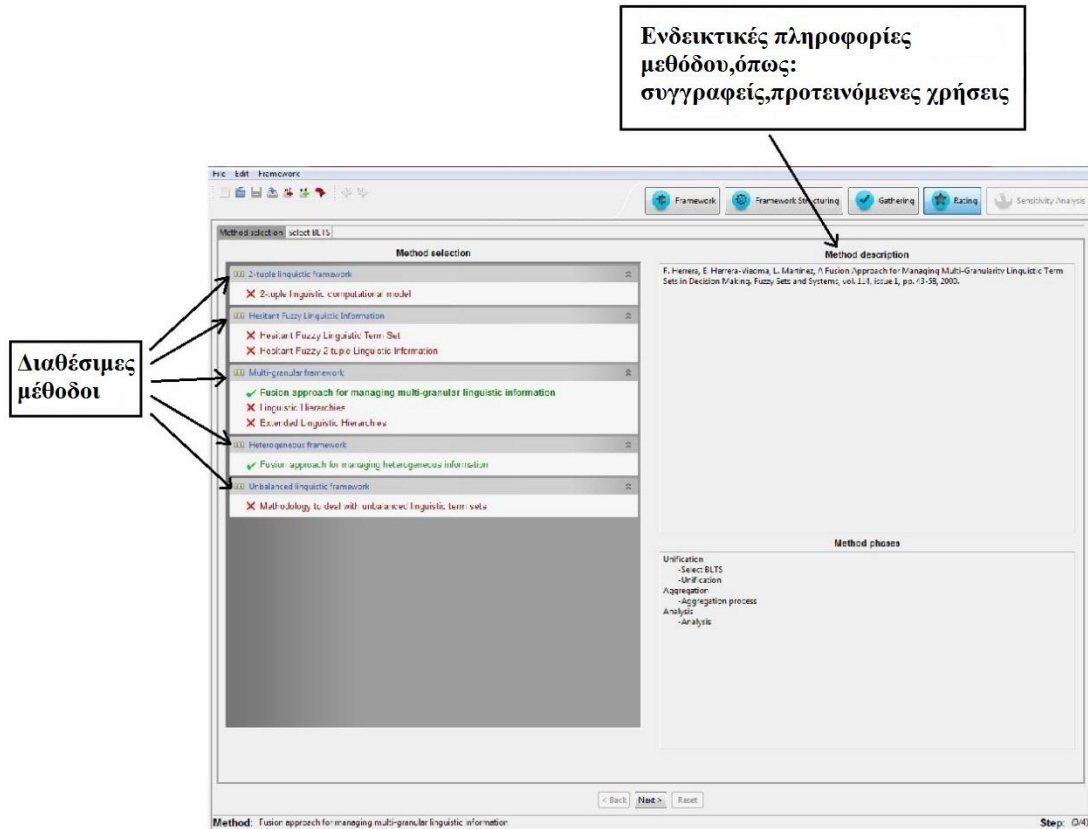
Προβλήματα απόφασης με πολλούς εμπλεκόμενους φορείς ή πολλά κριτήρια στα οποία εμφανίζονται γλωσσικές πληροφορίες που αξιολογούνται σε πολλαπλά σύνολα γλωσσολογικών όρων με διαφορετικές λεπτομέρειες. Για το λόγο αυτό, οι εκτιμήσεις του προβλήματος παρουσιάζονται σε γλωσσικές κλίμακες. Οι μεθοδολογίες υπολογισμών με λέξεις που βασίζονται στο γλωσσικό μοντέλο 2-tuple έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων.

Heterogeneous Framework

Προβλήματα απόφασης όπου κάθε εμπλεκόμενος φορέας μπορεί να εκφράσει τις εκτιμήσεις του σε διαφορετικούς τομείς έκφρασης, ανάλογα με το επίπεδο γνώσεων, εμπειρίας ή τη φύση των κριτηρίων που χαρακτηρίζαν το σύνολο των εναλλακτικών επιλογών. Επομένως, οι αξιολογήσεις εκφράζονται με μη ομοιογενείς πληροφορίες, όπως αριθμητική, χρονική ή γλωσσική. Για την αντιμετώπιση αυτών των πλαισίων συνιστάται μια μεθοδολογία CWW βασισμένη στο γλωσσικό μοντέλο 2-tuple.

Unbalanced Linguistic Framework

Προβλήματα απόφασης στα οποία είναι αναγκαίο να εκτιμηθούν οι προτιμήσεις με μεγαλύτερη ευκρίνεια στην γλωσσική κλίμακα. Πιο συγκεκριμένα, οι γλωσσικοί όροι της κλίμακας δεν είναι ομοιόμορφοι ούτε συμμετρικά κατανεμημένοι. Συνεπώς, οι εμπλεκόμενοι φορείς εκφράζουν τις εκτιμήσεις τους σε μια μη ισορροπημένη γλωσσική κλίμακα. Προτείνεται μια μεθοδολογία με βάση τις γλωσσικές ιεραρχίες για την αντιμετώπιση των μη ισορροπημένων αυτών πλαισίων.



Εικόνα 4.4: Καρτέλα Rating

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής αξιοποιήθηκε εκτενώς η μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης με 2-tuple αναπαράσταση. Το FLINTSTONES διαιρεί αυτή τη μέθοδο σε 4 υποκαρτέλες:

- Unification
- Select Weights
- Calculate Solutions
- Calculate Distances

Unification

Περιλαμβάνει μια οπτικοποίηση όλων των αξιολογήσεων των εναλλακτικών δράσεων σε όλα τα κριτήρια μαζί με τις αρχικές προτιμήσεις κάθε εμπλεκόμενου φορέα αλλά και τις προτιμήσεις σε 2-tuple αναπαράσταση. Αυτές οι πληροφορίες παρουσιάζονται με τρόπο έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί εύκολα να ομαδοποιήσει τους επιθυμητούς εμπλεκόμενους φορείς ή να προσδιορίσει τις ομοιότητες μεταξύ των αξιολογήσεων των εναλλακτικών και να αντλήσει πολλά χρήσιμα συμπεράσματα.

Select Weights

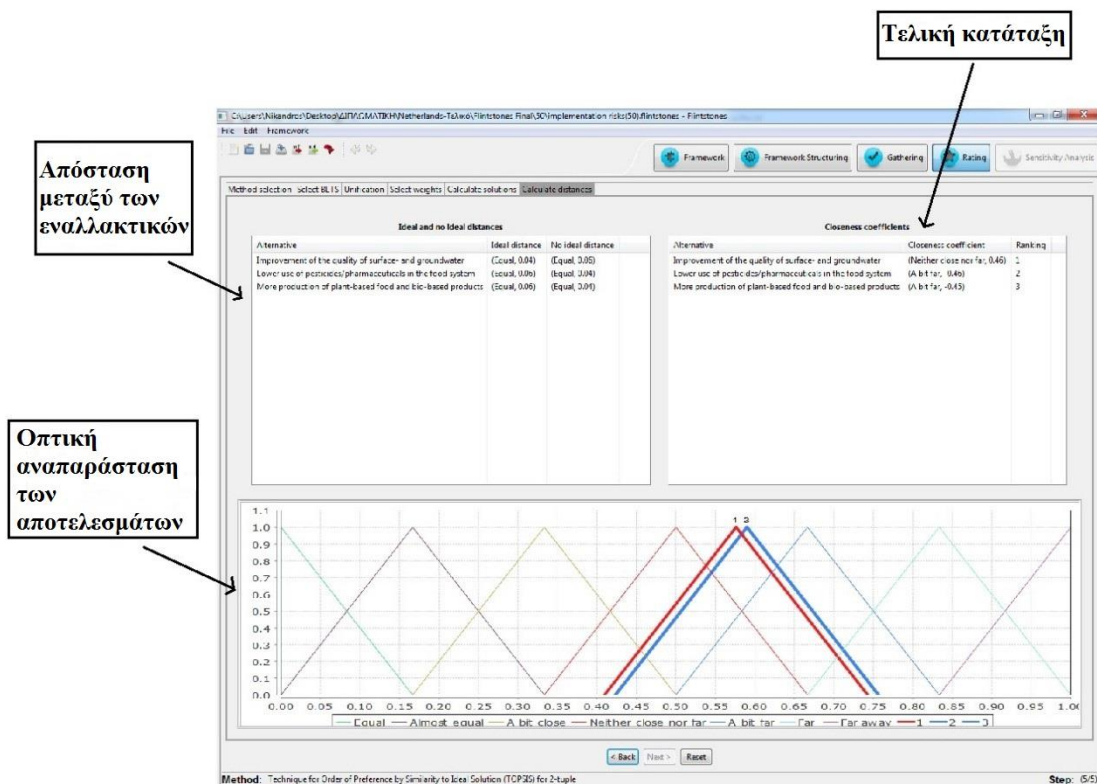
Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση κάθε κριτηρίου από κάθε έναν εμπλεκόμενο φορέα. Οι αξιολογήσεις κάθε κριτηρίου απεικονίζονται επίσης στην κάτω περιοχή της οθόνης.

Calculate Solutions

Πραγματοποιείται η εικονική αναπαράσταση των δεδομένων με τη μορφή μήτρας. Τα δεδομένα αυτά έχουν ταξινομηθεί ανάλογα με την γεωμετρική τους απόσταση από την Ιδανική Λύσης (Ideal Solution) και τη Μη ιδανική Λύση (No Ideal Solution).

Calculate Distances

Περιέχει τα τελικά αποτελέσματα και υποδεικνύει την τελική κατάταξη των εναλλακτικών επιλογών. Η κατάταξη αυτή απαντά στην ερώτηση: "Ποια εναλλακτική δράση είναι πιο ωφέλιμη / αποδοτική από πλευράς κόστους/όφελους για τα δεδομένα κριτήρια". Τα αποτελέσματα απεικονίζονται επίσης σε μια περιοχή που βρίσκεται στο κάτω μέρος της οθόνης.



Εικόνα 4.5: Τελική αναπαράσταση αποτελεσμάτων

4.2 AFRYCA

Τα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων (GDM), στα οποία πολλαπλά άτομα / εμπλεκόμενοι φορείς πρέπει να επιτύχουν μια κοινή λύση σε ένα πρόβλημα απόφασης που αποτελείται από διάφορες εναλλακτικές δράσεις. Τα προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων παρατηρούνται ευρέως σε διάφορους τομείς όπως η πολιτική και το management. Οι εμπλεκόμενοι φορείς έρχονται αντιμέτωποι με πολλές νέες προκλήσεις όσον αφορά την επίλυση μεγάλων προβλημάτων λήψης αποφάσεων (LGDM), όπως για παράδειγμα οι πόροι που θα καταναλώνουν και ο χρόνος που θα

επενδυθεί για να ληφθεί η απόφαση [22]. Κάτι τέτοιο απαιτεί μεγαλύτερη πολυπλοκότητα σε ότι αφορά την ανάλυση των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων σε μεγάλα προβλήματα. Επιπρόσθετη πολυπλοκότητα εισάγουν οι αντιθέσεις και οι συμφωνίες μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων, ο προσδιορισμός των εμπλεκόμενων φορέων που συμφωνούν / διαφωνούν μεταξύ τους και ο εντοπισμός συσχετισμών / υποομάδων που συμμερίζονται τις ίδιες απόψεις. Συνεπώς είναι αναγκαίο ένα κατάλληλο εργαλείο που να επιτρέπει την προσομοίωση της απόδοσης των ξεχωριστών μοντέλων ομοφωνίας και της συμπεριφοράς των εμπλεκόμενων φορέων που συμμετέχουν στην Διαδικασία Ομοφωνίας, για να μπορέσουν να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα. Για το λόγο αυτό, στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιείται το λογισμικό AFRYCA (A Framework for the analysis of Consensus Approaches) [23] για την προσομοίωση των προβλημάτων των Διαδικασιών Ομοφωνίας και τη διαδικασία επίλυσης μεγάλων προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων με υψηλό βαθμό ομοφωνίας.

4.2.1 Αρχιτεκτονική AFRYCA

Το AFRYCA εστιάζεται κυρίως στην πρακτική μελέτη των μοντέλων ομοφωνίας, για να αναδείξει τα πλεονεκτήματα και τις αδυναμίες κάθε μοντέλου, να αναλύσει την απόδοση του μοντέλου σε διαφορετικές ρυθμίσεις κ.α. Το πρόγραμμα αποσκοπεί επίσης: (i) στην επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την επίλυση ενός συγκεκριμένου τύπου προβλήματος λήψης συλλογικής απόφασης και (ii) επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μοντέλων ομοφωνίας, κάτι που είναι χρήσιμο για να εντοπιστεί η συμβολή νέων προτάσεων σε σχέση με άλλα υπάρχοντα παραδείγματα. Το AFRYCA έχει αναπτυχθεί σε γλώσσα Java, μέσω ενός συνόλου πλατφόρμων Rich Client Platform (RCP), οι οποίες επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών desktop client με πλούσια λειτουργικότητα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτών είναι η καταλληλότητά τους για την κατασκευή εφαρμογών λογισμικού υψηλής ποιότητας, τα οποία είναι εύκολο να διατηρηθούν και να επεκταθούν, λόγω του υψηλού βαθμού συνοχής του κάθε στοιχείου τους. Επιπλέον, η γλώσσα προγραμματισμού R, που περιλαμβάνει η εφαρμογή AFRYCA, χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ενοτήτων που προσομοιώνουν και αναλύουν προβλήματα λήψης συλλογικών αποφάσεων βάσει μοντέλων ομοφωνίας. Τέτοιες ενότητες περιγράφονται παρακάτω:

- (i) **Μοντέλα Ομοφωνίας:** Πρόκειται για βιβλιοθήκες που εμπεριέχουν αρκετά υπάρχοντα μοντέλα ομοφωνίας. Κάθε βιβλιοθήκη που αντιστοιχεί σε ένα υπάρχον μοντέλο ομοφωνίας είναι γραμμένη σε Java και περιλαμβάνει τις διάφορες φάσεις (π.χ. υπολογισμό βαθμών ομοφωνίας, δημιουργία συμβουλών κ.λπ.), και παραμέτρους (π.χ. κατώτατα όρια ομοφωνίας, γλωσσικοί ποσοτικοί προσδιορισμοί κ.λπ.) που απαιτούνται για την εφαρμογή αυτού του μοντέλου στην πράξη. Η ευέλικτη αρχιτεκτονική του AFRYCA διευκολύνει την εισαγωγή νέων βιβλιοθηκών που εφαρμόζουν εύκολα πρόσθετα μοντέλα ομοφωνίας. Πιο συγκεκριμένα, ενσωματώνει τις απαραίτητες βιβλιοθήκες για τη χρήση

δεκαοχτώ μοντέλων ομοφωνίας βασισμένων στη χρήση σχέσεων ασαφούς προτίμησης.

- 10 μοντέλα ομοφωνίας με μηχανισμό ανάδρασης
- 8 μοντέλα ομοφωνίας χωρίς μηχανισμό ανάδρασης

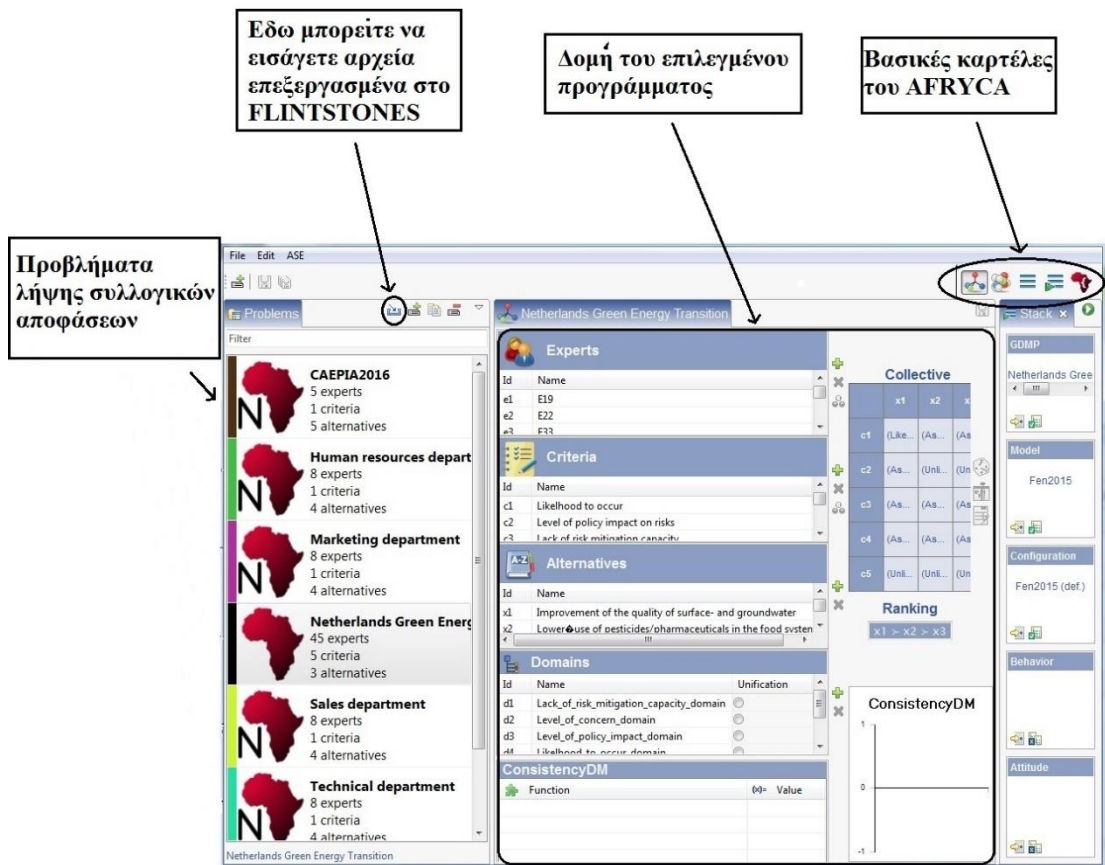
(ii) **Προσομοίωση Συμπεριφοράς:** Αυτή η ενότητα έχει σχεδιαστεί για να επιλέγει και να προσομοιώνει διαφορετικά πρότυπα συμπεριφοράς που υιοθετούν οι ειδικοί όταν δέχονται / αγνοούν τα σχόλια και τροποποιούν τις αξιολογήσεις τους σε ολόκληρη την Διαδικασία Προσέγγισης Ομοφωνίας. Αυτά τα πρότυπα συμπεριφοράς αξιοποιούνται από τα μοντέλα ομοφωνίας που διαθέτουν μηχανισμό ανάδρασης. Δύο είναι οι βασικές πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να προσδιοριστεί ένα πρότυπο συμπεριφοράς στο AFRYCA. Αυτές οι δύο πτυχές διαμορφώνουν τιμές ανάλογα με:

- Τον αριθμό των συμβουλών στις εκτιμήσεις που ένας εμπλεκόμενος φορέας e_i μπορεί να αποδεχθεί ή να αγνοήσει. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να διαμορφωθεί με τη βοήθεια μιας γεννήτριας διακριτών τυχαίων τιμών (π.χ. 1 για αποδοχή ή 0 για απόρριψη) που ανήκουν σε κατανομή πιθανοτήτων (π.χ. διωνυμική), των οποίων οι τιμές των παραμέτρων (π.χ. πιθανότητα επιτυχίας στην διωνυμική κατανομή) μπορούν να τροποποιηθούν από τον συντονιστή.
- Ο αλλαγή που εφαρμόζει στην αξιολόγηση του, την τροποποίηση της οποίας έχει αποδεχθεί. Αυτό το χαρακτηριστικό μοντελοποιείται είτε με διακεκριμένη είτε με συνεχή κατανομή πιθανότητας (π.χ. Κανονική ή Αρνητική διωνυμική). Χρησιμοποιούνται διάφορες ενσωματωμένες λειτουργίες της R για την παραγωγή τυχαίων τιμών υπό διαφορετικές κατανομές πιθανότητας. Οι λειτουργίες της R χρησιμοποιούνται από τον κώδικα Java μέσω μιας εξωτερικής βιβλιοθήκης Java-R. Όπως συνέβη με τις βιβλιοθήκες μοντέλων ομοφωνίας, αυτά τα στοιχεία μπορούν επίσης να επεκταθούν και στο μέλλον. Επιπλέον, τέτοια πρότυπα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διαφορετικά μοντέλα ομοφωνίας, δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη του AFRYCA να προσδιορίσει ποια συμπεριφορά μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ένα συγκεκριμένο μοντέλο ομοφωνίας σε μια δεδομένη στιγμή.

(iii) **Γεννήτρια Προτιμήσεων:** Πρόκειται για μια εφαρμογή Java των μεθόδων που προτείνονται για την κατασκευή σχέσεων ασαφούς προτίμησης από ένα σύνολο εκτιμήσεων. Αν και οι εκτιμήσεις αυτές αρχικοποιούνται τυχαία, οι υπόλοιπες εκτιμήσεις λαμβάνουν τιμές σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο, διασφαλίζοντας έτσι τη συνοχή των προτιμήσεων. Αυτή η ενότητα επιτρέπει τη δημιουργία συνόλων δεδομένων των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων. Κάθε σύνολο δεδομένων περιέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό m σχέσεων προτίμησης, καθώς και τη διαμόρφωση ενός προβλήματος λήψης

συλλογικών αποφάσεων, εναλλακτικών δράσεων κλπ. Τέτοιες πληροφορίες καθορίζονται εξ αρχής από τον χρήστη, μέσω της πλατφόρμας AFRYCA. Τα σύνολα δεδομένων μπορούν να αποθηκευτούν στον δίσκο για μελλοντική χρήση.

- (iv) **Οπτικοποίηση Προτιμήσεων:** Παρέχεται μια γραφική αναπαράσταση δυο διαστάσεων των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων και της ομαδικής προτίμησης P_c, μετά την διαδικασία προσέγγισης ομοφωνίας κατά την επίλυση του προβλήματος. Μια τέτοια οπτικοποίηση παρουσιάζεται στον χρήστη του AFRYCA, μαζί με τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- (v) **Γραφικό περιβάλλον χρήστη:** Είναι ο τρόπος που οι χρήστες αλληλοεπιδρούν με τις υπόλοιπες μονάδες του AFRYCA. Το περιβάλλον αυτό έχει υλοποιηθεί με τη βιβλιοθήκη SWT (Standard Widget Toolkit) και περιλαμβάνει τα απαραίτητα εργαλεία για: (i) να επιλεγεί το πρόβλημα λήψης αποφάσεων και το μοντέλο ομοφωνίας που θα χρησιμοποιηθεί, (ii) να διαμορφωθεί το μοντέλο ομοφωνίας και να επιλεγεί το πρότυπο συμπεριφοράς που προσομοιώνει τη συμπεριφορά των εμπλεκόμενων φορέων, (iii) να παρουσιαστεί μια σύνοψη των αποτελεσμάτων μετά την εφαρμογή του μοντέλου ομοφωνίας. Το πρόγραμμα παρέχει επίσης τη δυνατότητα διαμόρφωσης ενός λογαριθμικού αρχείου με πιο λεπτομερή αποτελέσματα της διαδικασίας προσέγγισης ομοφωνίας που διεξάχθηκε.



Εικόνα 4.6: Κεντρική οθόνη του AFRYCA

Η αρχιτεκτονική του AFRYCA προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Δεδομένου ότι έχει αναπτυχθεί ως πλατφόρμα με βάση την Java, το πλαίσιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα που παρέχεται με μια εικονική μηχανή Java, ανεξάρτητα από το λειτουργικό σύστημα. Η δομή AFRYCA, καθιστά δυνατή την αναβάθμιση ή επέκταση ορισμένων από τα δομικά της στοιχεία (π.χ. βιβλιοθήκες μοντέλων ομοφωνίας και πρότυπα συμπεριφοράς, όπως αναφέρθηκε παραπάνω)

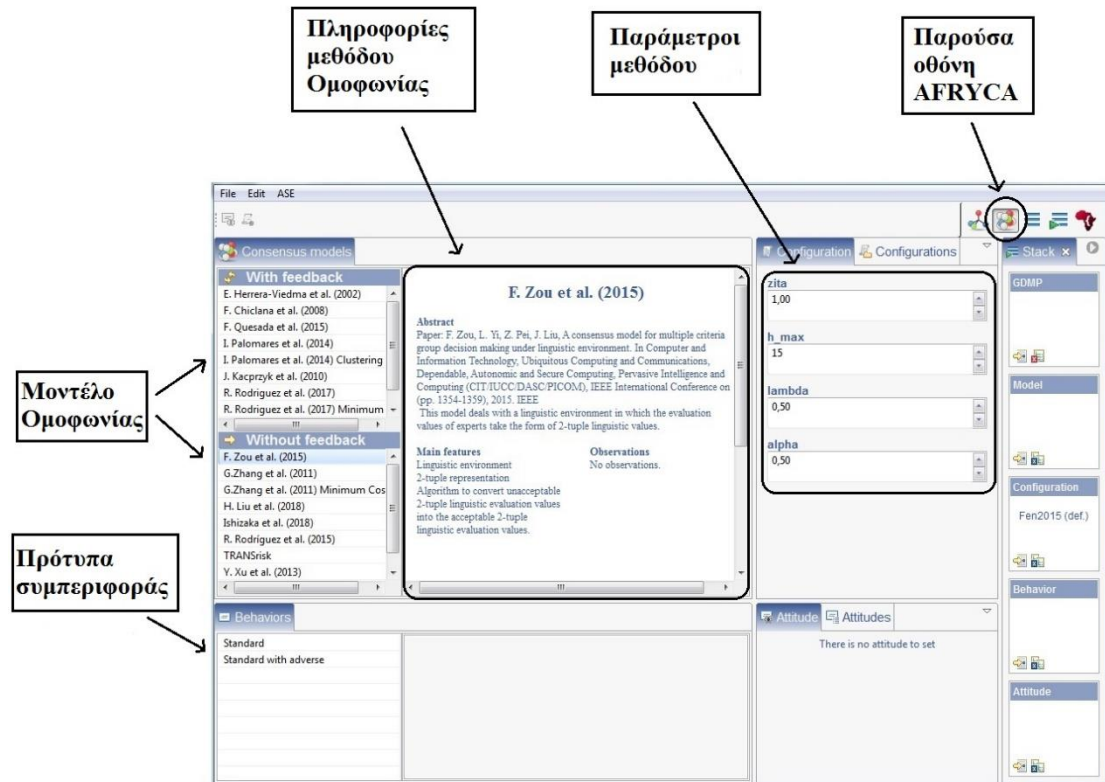
4.2.2 Μεθοδολογία χρήσης του AFRYCA για την προσομοίωση ανάλυσης προβλημάτων λήψης αποφάσεων.

Σε αυτή την ενότητα αναλύεται εκτενώς η προσομοίωση ανάλυσης ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων με χρήση μοντέλων ομοφωνίας μέσω του λογισμικού AFRYCA. Η ανάλυση διαχωρίζεται στα εξής βήματα:

Καθορισμός δομής: Επιλέγεται το πρόβλημα λήψης συλλογικών αποφάσεων, το οποίο επιλύεται εφαρμόζοντας το επιλεγμένο μοντέλο Ομοφωνίας. Για να γίνει αυτό, ο χρήστης μπορεί είτε να επιλέξει ένα φάκελο δεδομένων με ένα ήδη υπάρχον πρόβλημα είτε μπορεί να χρησιμοποιήσει τη λειτουργική μονάδα Γεννήτρια Προτίμησης για να δημιουργήσει ένα σύνολο δεδομένων για ένα νέο πρόβλημα λήψης αποφάσεων με έστω m εμπλεκόμενους φορείς.

Επιλογή μοντέλου Ομοφωνίας: Στη συνέχεια επιλέγεται ένα μοντέλο ομοφωνίας μεταξύ εκείνων που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο του AFRYCA. Το γραφικό περιβάλλον του AFRYCA παρέχει μια περιγραφή για τα κύρια χαρακτηριστικά του κάθε μοντέλου.

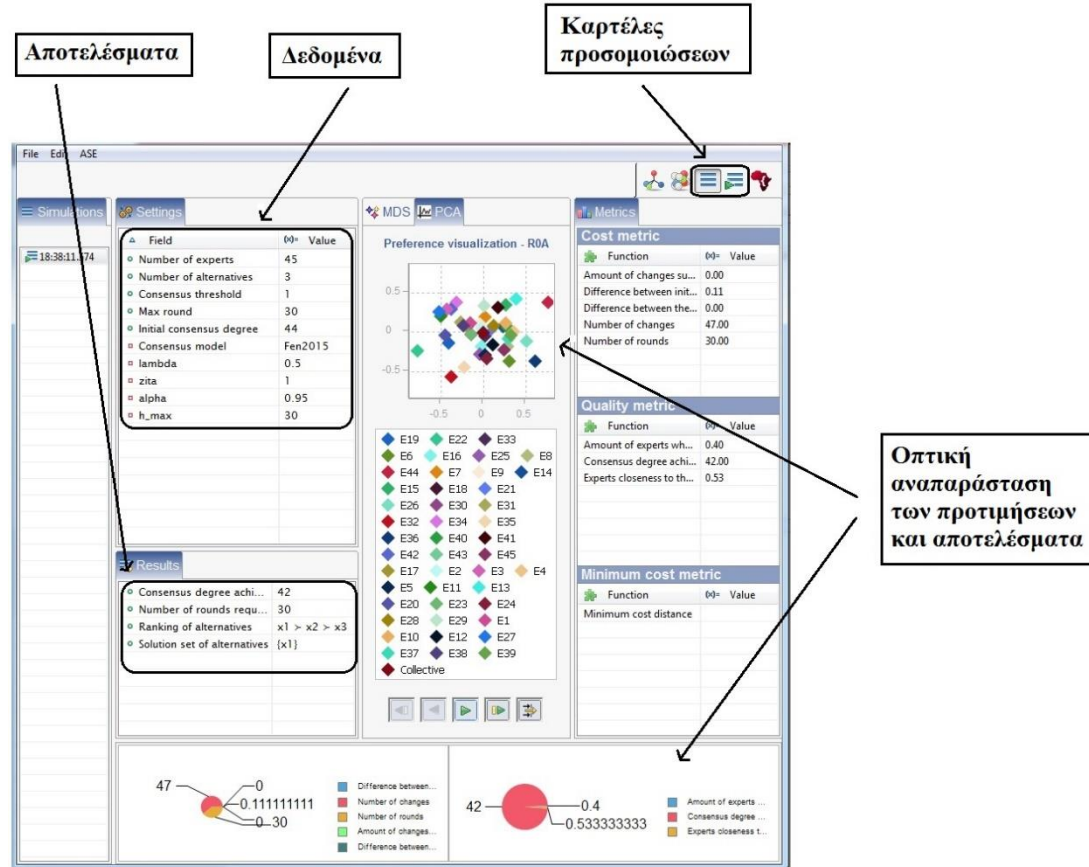
Παράμετροι του μοντέλου Ομοφωνίας και της συμπεριφοράς των εμπλεκόμενων φορέων: Πριν προχωρήσουμε στη διεξαγωγή της Διαδικασίας προσέγγισης Ομοφωνίας, είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε τις τιμές των παραμέτρων στο επιλεγμένο μοντέλο (π.χ. κατώτατα όρια συμφωνίας, χειριστές συλλογής κ.λπ.). Για τα μοντέλα ομοφωνίας με μηχανισμό ανάδρασης, είναι επίσης απαραίτητο να προσδιοριστεί το πρότυπο συμπεριφοράς που υιοθετείται από τους εμπλεκόμενους φορείς όταν λαμβάνουν συστάσεις και εφαρμόζουν αλλαγές στις προτιμήσεις τους.



Εικόνα 4.7: Καρτέλα επιλογής Μοντέλων Ομοφωνίας

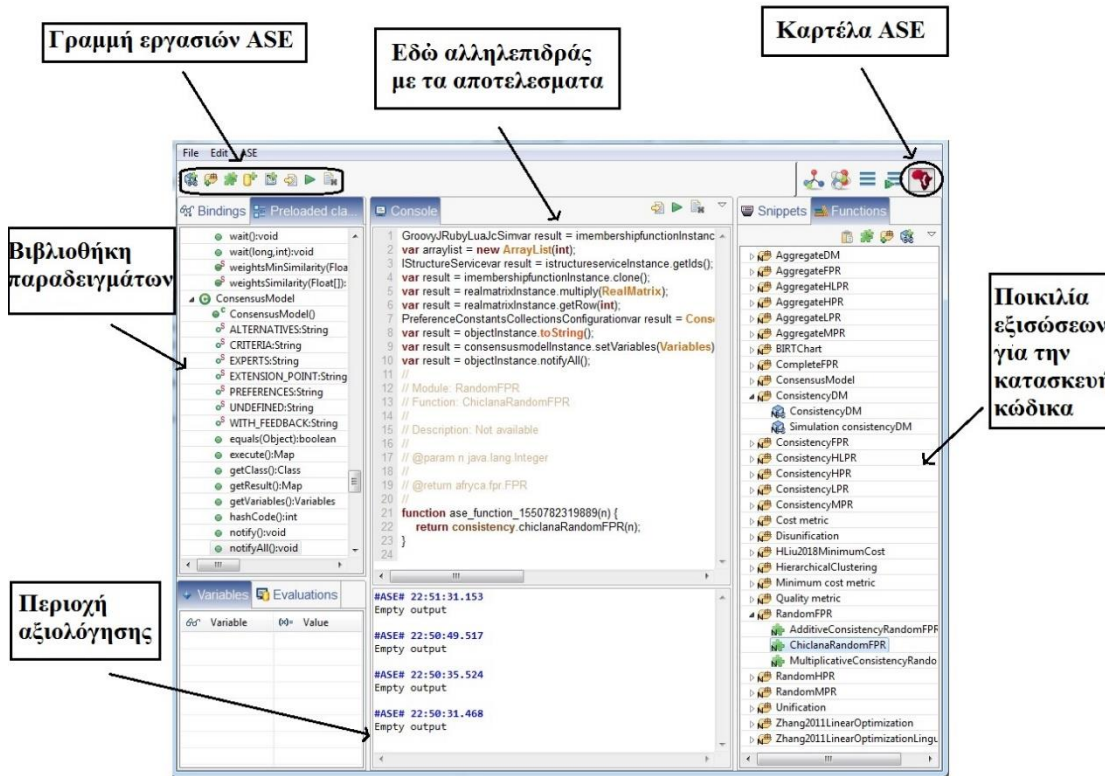
Προσομοίωση της μεθόδου προσέγγισης Ομοφωνίας: Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή δεδομένων που καθορίζει τη συμπεριφορά του μοντέλου ομοφωνίας, πραγματοποιείται η μέθοδος και εμφανίζονται τα αποτελέσματα σε επόμενες καρτέλες του προγράμματος.

Ανάλυση των αποτελεσμάτων: Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο ομοφωνίας, εφαρμόζεται μια διαδικασία ασαφών εναλλακτικών και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης του προβλήματος. Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται στο περιβάλλον του AFRYCA περιλαμβάνουν: (i) τον αρχικό βαθμό ομοφωνίας στην ομάδα και τον τελικό βαθμό ομοφωνίας που επιτεύχθηκε, (ii) τον αριθμό των απαραίτητων επαναλήψεων συζήτησης, (iii) την κατάταξη των εναλλακτικών δράσεων και εναλλακτικής που προκύπτει ως βέλτιστη λύση, και (iv) την απεικόνιση των προτιμήσεων των εμπλεκόμενων φορέων και της ομαδικής προτίμησης στο τέλος της Διαδικασίας ομοφωνίας. Το λογισμικό AFRYCA προσφέρει επίσης τη δυνατότητα αποθήκευσης ενός ημερολογίου με πιο λεπτομερή αποτελέσματα της απόδοσης της διαδικασίας προσεγγίσεων Ομοφωνίας.



Εικόνα 4.8: Τελική ανάλυση αποτελεσμάτων στο AFRYCA

Επιπλέον, το AFRYCA ενσωματώνει ένα προγραμματιστικό περιβάλλον που ονομάζεται ASE. Το ASE επιτρέπει την αλληλεπίδραση με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, τις υπηρεσίες του προγράμματος και τις επιλογές των εφαρμογών, διευκολύνοντας την κατασκευή νέων αποσπασμάτων κώδικα που λειτουργούν σε αυτά. Η μελέτη της εξέλιξης της διαδικασίας ομοφωνίας, η ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η αξία μιας παραμέτρου επηρεάζει το αποτέλεσμα, η δοκιμή της απόδοσης διαφορετικών μοντέλων για την επίλυση του ίδιου προβλήματος είναι μερικές από τις πολλές δυνατότητες που προσφέρει το ASE στον τελικό χρήστη. Το περιβάλλον στοχεύει στην απλούστευση της επαναχρησιμοποίησης του υπάρχοντος κώδικα και στην ενσωμάτωση πολλών γλωσσών προγραμματισμού. Αυτήν τη στιγμή είναι δυνατή η χρήση των: JavaScript, Groovy, Ruby, Python, Scala, Lua και R.



Εικόνα 4.9: Περιβάλλον προγραμματισμού ASE

Τέλος, το AFRYCA διαθέτει μια πλατφόρμα εργαλείων BIRT (Business Intelligence and Reporting Tools), που χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση των δεδομένων και των αναφορών ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν σε εφαρμογές Eclipse RCP. Η ισχυρή λειτουργικότητα που παρέχεται από το BIRT σε συνδυασμό με την ευελιξία που προσφέρει το ASE έχει ως αποτέλεσμα ένα μοναδικό συνδυασμό. Είναι δυνατή η εκτέλεση διάφορων προσομοιώσεων, η ανάλυση τους χρησιμοποιώντας ένα σύνολο λειτουργιών που ορίζονται από το χρήστη και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας την καταλληλότερη γραφική παράσταση. Δεδομένου ότι το ASE συνδέεται με τις αλλαγές που συμβαίνουν στα δεδομένα μοντέλων εφαρμογής, τα διαγράμματα AFRYCA είναι δυναμικά και ενσωματώνονται στο γραφικό περιβάλλον του χρήστη [24].

5 Αξιολόγηση δράσεων Πράσινης Μετάβασης στην Ολλανδία

Η μετάβαση σε βιώσιμη ενέργεια είναι κατά κύριο λόγο μια παγκόσμια διαδικασία με πολλές αβεβαιότητες και πολλές συνέπειες. Για πρώτη φορά, τα Ηνωμένα Έθνη υιοθέτησαν έναν παγκόσμιο στόχο το 2015 για αύξηση της βιωσιμότητας του τομέα της ενέργειας, ως μέρος της παγκόσμιας ατζέντας για την αειφόρο ανάπτυξη έως το 2030. Η παγκόσμια ενεργειακή μετάβαση θα συνεχιστεί, παρά τις γεωπολιτικές αβεβαιότητες. Η Ολλανδία δεν επιθυμεί να υιοθετήσει μια στάση αναμονής και επέλεξε να ανταποκριθεί στην εν λόγω πρόκληση. Τα επόμενα 15 χρόνια, περισσότερα από 23 τρισ. ευρώ αναμένεται να επενδυθούν παγκοσμίως στην ενεργειακή υποδομή. Αυτό συνεπάγεται τετραπλασιασμό των τρεχουσών επενδύσεων ανά έτος. Οι πολιτικές που πρόκειται να εφαρμόσουν οι διάφορες χώρες, και ιδίως οι αναδύμενες οικονομίες, αναμένεται να συμβάλουν στον προσδιορισμό της αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τις προσεχείς δεκαετίες. Να σημειωθεί εδώ ότι σε παγκόσμιο επίπεδο η χρήση ενέργειας ποικίλει: περίπου 1,1 δισ. άνθρωποι έχουν μηδαμινή πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια και 3,4 δισ. εξακολουθούν να χρησιμοποιούν καυσόξυλα και κάρβουνο ως καύσιμο μαγειρέματος. Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου δεν περιορίζονται στα εθνικά σύνορα και οι αγορές ενέργειας είναι σε μεγάλο βαθμό διασυνδεδεμένες. Στην Ολλανδία οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου ανέρχονται σε μόλις 0,5% των παγκόσμιων εκπομπών και 10,5% των εκπομπών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επομένως, μια αποτελεσματική προσέγγιση αναμένεται να πραγματοποιηθεί μόνο σε διεθνές επίπεδο. Το Ολλανδικό ενεργειακό σύστημα είναι στενά διασυνδεδεμένο με την ευρωπαϊκή αγορά ενέργειας, ιδίως με την αγορά της Βορειοδυτικής Ευρώπης. Εάν παύσει η λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με καύση άνθρακα και φυσικού αερίου για παράδειγμα, η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να εισαχθεί, διακινδυνεύοντας να προέρχεται από λιγότερο αποδοτικούς συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Σε αυτή την περίπτωση προκύπτει μείωση των εκπομπών CO₂ στην Ολλανδία, αλλά σχεδόν μηδαμινή σε ευρωπαϊκό και παγκόσμιο επίπεδο.

Οι στόχοι που έχει θέσει η Ολλανδία προϋποθέτουν σημαντικές προσπάθειες από τις επιχειρήσεις, τις δημόσιες αρχές και το ευρύ κοινό καθώς και μεγάλες επενδύσεις. Απαραίτητη προϋπόθεση για την απρόσκοπτη υλοποίησή τους είναι η ύπαρξη βεβαιότητας και ενός σαφούς οράματος για μια μακροπρόθεσμη προοπτική, που υποστηρίζεται από το ευρύ κοινό και τις επιχειρήσεις. Στο πλαίσιο αυτό αναλύονται 3 εναλλακτικές δράσεις με στόχο την διασφάλιση μιας βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης, οι οποίες επικεντρώνονται στη μείωση των μη ενεργειακών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στον γεωργικό τομέα, τη βιωσιμότητα των προϊόντων και την προσαρμογή στο κλίμα. Πιο συγκεκριμένα οι εναλλακτικές δράσεις εστιάζουν στα εξής:

- **Βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων**

- **Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων/φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής**
- **Αύξηση της παραγωγής φυτικών τροφίμων και βιολογικών προϊόντων**

Το πεδίο του ενεργειακού ζητήματος αφορά περισσότερα μέτωπα από την μείωση των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα και την προσαρμογή στο μεταβαλλόμενο κλίμα. Η ενεργειακή μετάβαση πρέπει πρώτα απ' όλα να είναι προσιτή, αξιόπιστη και ασφαλής. Μόνο τότε η Ολλανδία θα μπορέσει να εκπληρώσει τις φιλοδοξίες και τους στόχους της για το 2050. Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να εξεταστούν προσεκτικά οι κίνδυνοι που εμποδίζουν την προώθηση μιας βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης μακροπρόθεσμα.

5.1 Εμπλεκόμενοι φορείς

Δεδομένου του προαναφερθέντος πλαισίου διεξήχθη συνέντευξη σε μια ομάδα 45 εμπλεκόμενων φορέων, προκειμένου να εκτιμήσουν με βάση τις γνώσεις και την εμπειρία τους, τους κινδύνους σε συγκεκριμένα κριτήρια αξιολόγησης όπως : πιθανότητα εκδήλωσης, αντίκτυπος στο πλαίσιο πολιτικής, ικανότητα μετριασμού, χρονοδιάγραμμα της εμφάνισης των κινδύνων και τέλος του βαθμού ανησυχίας τους. Η εμπλεκόμενη ομάδα ενδιαφερόμενων μερών αποτελείται από έναν υπεύθυνο για την βιώσιμη γεωργική διαχείριση γης, έναν επιχειρηματία στο γεωργικό περιβάλλον Biotech, έναν υπεύθυνο για την ανάπτυξη πράσινης ενέργειας από όλα τα είδη υπολειμμάτων, έναν διευθυντή μιας ΜΚΟ που συνεργάζεται ειδικά με τους αγρότες για την ανάπτυξη βιώσιμων λύσεων, έναν σύμβουλο διαχείρισης ανάπτυξης στην Αφρική και την Κεντρική Αμερική. Τα υπόλοιπα μέλη των εμπλεκόμενων φορέων μπορούν να ομαδοποιηθούν όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.1: Εμπλεκόμενοι φορείς

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑ	ΠΛΗΘΟΣ
Αγρότες	4
Επενδυτές	3
Υπεύθυνοι Χάραξης Πολιτικής	3
Ερευνητές	16
Προμηθευτές Τεχνολογίας	5
Πάροχοι Υπηρεσιών	7
Γεωργικοί Σύμβουλοι	2

Η παραπάνω διαδικασία περιλάμβανε μία λεπτομερή συζήτηση των εμπλεκόμενων φορέων σχετικά με το θέμα, τη συγκέντρωση των εντοπισθέντων κινδύνων και μια δεύτερη ανάλυση με ημι-δομημένα ερωτηματολόγια για τους σκοπούς της διεξαγωγής της πολυκριτήριας ανάλυσης. Μεταξύ των διαφόρων τομέων που συζητήθηκαν στο πλαίσιο ενός μακροπρόθεσμου οράματος για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, αναγνωρίστηκε από όλους τους ενδιαφερόμενους ότι οι τεχνολογίες βιομάζας και η δέσμευση άνθρακα (CCS) στους τομείς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αναμένεται να διαδραματίσουν τον κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή ενέργειας, που οδηγείται από μια προοδευτική τάση μείωσης του κόστους, μέσω της συνεχούς ανάπτυξης της τεχνολογίας. Εκτός από την παραγωγική ικανότητα για την κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, οι βιομηχανικές εισροές και οι πρώτες ύλες αναμένεται να απαιτήσουν σημαντική εγκατεστημένη δύναμη ανανεώσιμης ενέργειας. Ο ρόλος διάφορων άλλων ενεργειακών στοιχείων (παραγωγή, αποθήκευση, ανταπόκριση στη ζήτηση) εξαρτάται από την εξέλιξη της τεχνολογίας και τις τάσεις κόστους, καθώς και από τις παράλληλες επενδύσεις στην υποδομή δικτύου και τη διασύνδεση.

Το πλαίσιο της συζήτησης προσανατολιζόταν στην μετάβαση της Ολλανδικής οικονομίας σε χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Αυτό μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από τις αντιληπτές προκλήσεις που υπάρχουν στις υποδομές και συνδέονται με τον Βιοοικονομικό τομέα. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί πως κατά τα προηγούμενα 10 χρόνια, 6 φορές η Ολλανδική κυβέρνηση σχηματιζόταν από υπουργικά συμβούλια και όχι ολόκληρες κυβερνήσεις, με την εν λόγω πολιτική αστάθεια να απομακρύνει αισθητά την Ολλανδία από την εκπλήρωση των Ευρωπαϊκών στόχων της, καθώς δεν υιοθετείται μια κοινή πολιτική για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την ανανεώσιμη ενέργεια [25, 26].

5.1.1 Εναλλακτικές δράσεις

Όσον αφορά τους υφιστάμενους φραγμούς, που θέτουν άμεσες ή έμμεσες απειλές στον επιτυχή σχεδιασμό, χρηματοδότηση και εφαρμογή ενός βιώσιμου και αποτελεσματικού πλαισίου πολιτικής για την αποτελεσματικότητα της Πράσινης μετάβασης, οι ενδιαφερόμενοι συμφώνησαν σε τρεις εναλλακτικές δράσεις, εστιασμένες κυρίως στον τομέα της Βιοενέργειας. Οι εναλλακτικές περιλαμβάνουν τη βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων, τη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων / φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής και τέλος την αύξηση της παραγωγής φυτικών τροφίμων και βιολογικών προϊόντων (Πίνακας 5.2). Αυτές αξιολογούνται σε σχέση με την πιθανότητα εκδήλωσής τους, το επίπεδο ανησυχίας των ενδιαφερομένων, το επίπεδο των αντιληπτών επιπτώσεών τους σε ένα πλαίσιο πολιτικής για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, το χρονοδιάγραμμα της εμφάνισής τους και τέλος την έλλειψη ικανότητας μετριασμού (Πίνακας 5-2). Οι συντελεστές βάρους για τα 5 κριτήρια αξιολόγησης καθορίστηκαν επίσης από τους υπεύθυνους.

Πίνακας 5.2: Εναλλακτικές δράσεις και κριτήρια

	Εναλλακτικές δράσεις	Κριτήρια αξιολόγησης	Βάρη	
A1.	Βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων	C1.	Πιθανότητα εκδήλωσης	1,42
A2.	Μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων / φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής	C2.	Επιπτώσεις της πολιτικής	1,66
A3.	Αύξηση της παραγωγής φυτικών τροφίμων και βιολογικών προϊόντων	C3.	Έλλειψη δυνατότητας μετριασμού	1,48
		C4.	Χρονοδιάγραμμα της εμφάνισης της πολιτικής	2,71
		C5.	Επίπεδο ανησυχίας	2,71

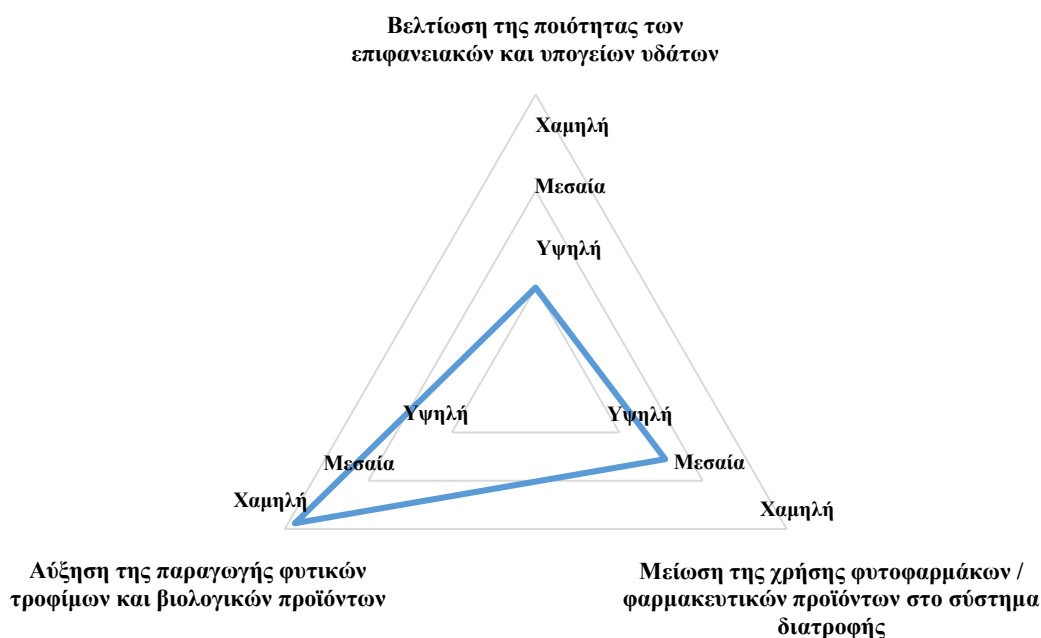
Όσον αφορά την οικονομία, οι ενδιαφερόμενοι θεωρούν ότι η χαμηλή παραγωγή φυτικών τροφίμων και προϊόντων βιολογικής προέλευσης αποτελεί το κύριο εμπόδιο για την επίτευξη μιας ενεργειακά αποδοτικής οικονομίας. Η κατανάλωση προϊόντων βιολογικής προέλευσης για μη ενεργειακούς σκοπούς είναι αβέβαιη στην Ολλανδία, ενώ η κατανάλωση βιομάζας και βιοκαυσίμων για ενεργειακούς σκοπούς παρακολουθείται στενά. Δεδομένου ότι προς το παρόν η βιοενέργεια διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο όσον αφορά την ποσότητα και επομένως τον εκτοπισμό των ορυκτών καυσίμων, η αύξηση των βιοαποικοδομήσιμων προϊόντων μπορεί να επιφέρει μια υγιέστερη μετάβαση στην πράσινη ενέργεια. Οι ενδιαφερόμενοι φορείς επεσήμαναν ότι η βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων αποτελεί μια ακόμη σημαντική πτυχή μιας ενεργειακά αποδοτικής μετάβασης. Αυτό συνδέεται άμεσα με το γεγονός ότι, αν και η παραγωγή βιομάζας εξακολουθεί να ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό μεταξύ διαφορετικών τμημάτων των ήδη κατασκευασμένων υγροτόπων, παρατηρήθηκε μια ταχεία αύξηση της βιομάζας που οφείλεται στη φύτευση. Η βελτίωση της ποιότητας των υδάτων και συνεπώς η αυξημένη φύτευση μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή πράσινης ενέργειας. Από πολιτικής άποψης, η αστάθεια της Ολλανδικής πολιτικής σκηνής φαίνεται να εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους, κυρίως βραχυπρόθεσμα, όμως συνδέεται και με μακροπρόθεσμες αβεβαιότητες, όπως οι ομόφωνες πολιτικές για την πράσινη ενέργεια. Η εν λόγω αστάθεια αντικατοπτρίζεται σε πρόσφατα υψηλά επίπεδα αποχής, αδυναμία σχηματισμού ολόκληρων κυβερνήσεων αντί υπουργικών συμβουλίων που έχει ως αποτέλεσμα μη ισχυρές κυβερνητικές δυνάμεις. Μακροπρόθεσμα, η βασική μέριμνα των ενδιαφερομένων φαίνεται να είναι η κακή προτεραιότητα στις κλιματικές αλλαγές και η δράση στον τεχνολογικό άξονα, όπως η μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων / φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα τροφίμων.

Εκμαιώντας τις απόψεις των εμπλεκόμενων φορέων, παρατηρούμε ότι ακόμη και μεταξύ των ατόμων που προέρχονται από τις ίδιες οργανώσεις / εταιρείες / ιδρύματα, δεν υπάρχει σύγκλιση απόψεων ως προς την καλύτερη δυνατή εναλλακτική δράση. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι μεταξύ των επιστημόνων / ερευνητών οι προτιμήσεις

διαφέρουν ως προς το πεδίο εφαρμογής της βέλτιστης λύσης, με μια ομάδα να δίνει έμφαση στην βελτίωση των επιφανειακών και υπόγειων υδάτων και του υπόλοιπους να συμφωνούν στην αύξησης παραγωγής φυτικών/βιολογικών τροφίμων,. Αντίθετα, οι επενδυτές μοιάζουν να συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό πως η μείωση των φυτοφαρμάκων/φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής αποτελεί την καλύτερη δράση προς υλοποίηση στην προσπάθεια βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης. Οι υπόλοιποι συμμετέχοντες φορείς ανήκουν σε διαφορετικές οργανώσεις / εταιρείες / ιδρύματα και δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν, οπότε δεν είμαστε σε θέση να εξάγουμε κάποιο χρήσιμο συμπέρασμα όσον αφορά την τελική τους επιλογή. Δεδομένου ότι ο στόχος της διαδικασίας είναι να επιτευχθεί μια εύλογη κατάταξη από το καλύτερο (λιγότερο κρίσιμο) έως το χειρότερο (περισσότερο κρίσιμο) ρίσκο, καθώς και ότι όλα τα κριτήρια αξιολόγησης έχουν αρνητικό αντίκτυπο στις εναλλακτικές, θεωρούμε ότι το πρόβλημα χαρακτηρίζεται από κριτήρια «κόστους».

Στην πολυκριτηριακή ανάλυση των 3 εναλλακτικών δράσεων ως προς την πιθανότητα εκδήλωσης, τις επιπτώσεις τους, την έλλειψη δυνατότητας μετριασμού των επιπτώσεων τους, το επίπεδο ανησυχίας των ενδιαφερόμενων μερών για την εκάστοτε δράση αλλά και το χρονοδιάγραμμα της εμφάνισης τους, τα ενδιαφερόμενα μέρη φαίνεται να ανησυχούν ως επί το πλείστο για τους κινδύνους και την κρισιμότητα που σχετίζονται με την βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων. Επιπλέον οι ενδιαφερόμενοι φορείς φαίνεται να συμφωνούν ότι οι κίνδυνοι της χρήσης φυτοφαρμάκων/φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής είναι μεσαίας σημασίας και σχετίζονται ελαφρώς με την αποτελεσματική σχεδίαση μιας βιώσιμης και δυναμικής ενεργειακής μετάβασης. Τέλος οι κίνδυνοι που εγκυμονούν από την αύξηση της παραγωγής φυτικών τροφίμων και βιολογικών προϊόντων θεωρήθηκαν οι λιγότεροι κρίσιμοι από τους εμπλεκόμενους φορείς. Η εικόνα 5.1 που ακολουθεί συνοψίζει τα παραπάνω αποτελέσματα.

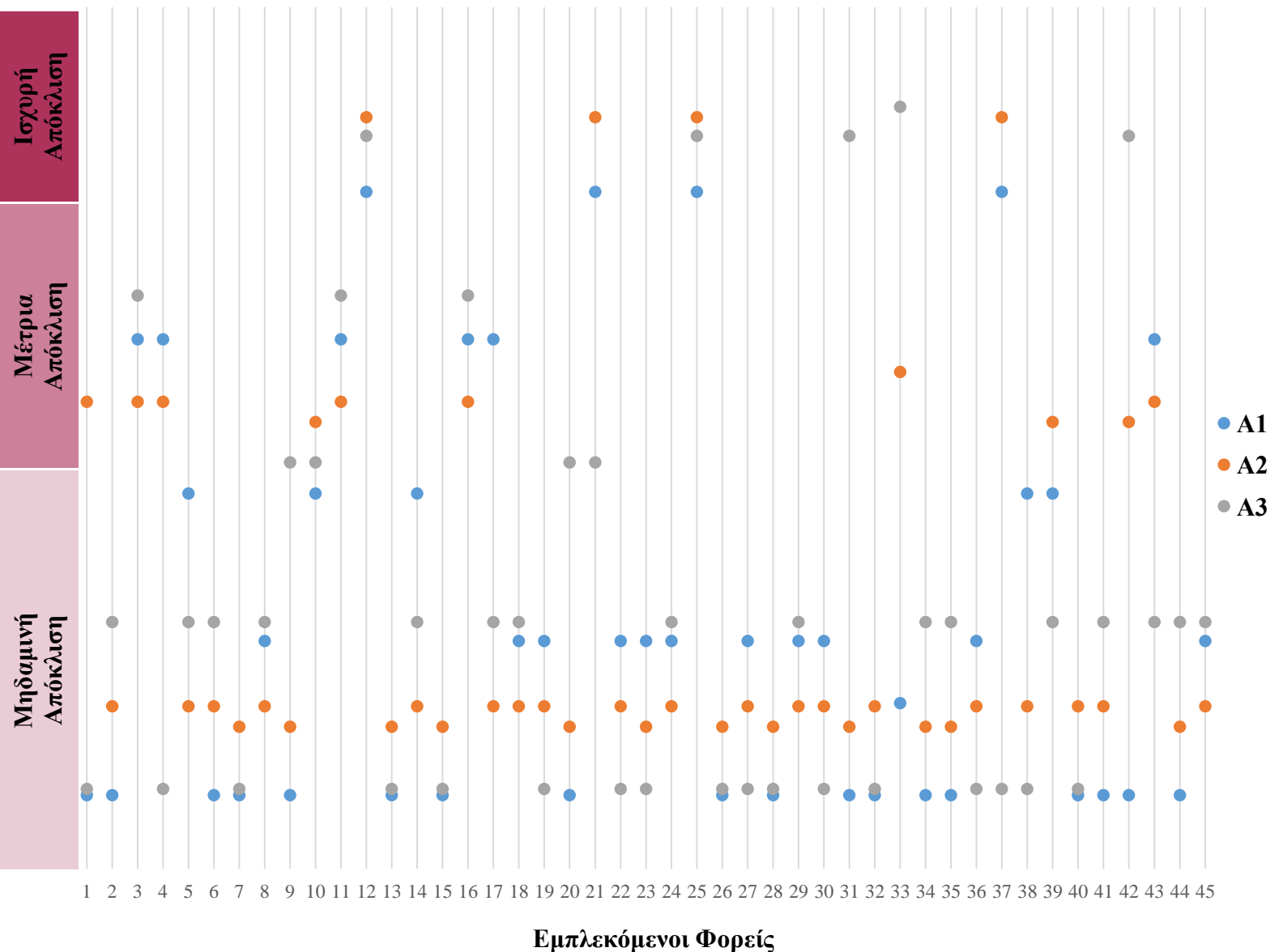
Κρισιμότητα των εναλλακτικών δράσεων: Τελική κατάταξη



Εικόνα 5.1: Τελικά αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης εμποδίων μετάβασης του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος

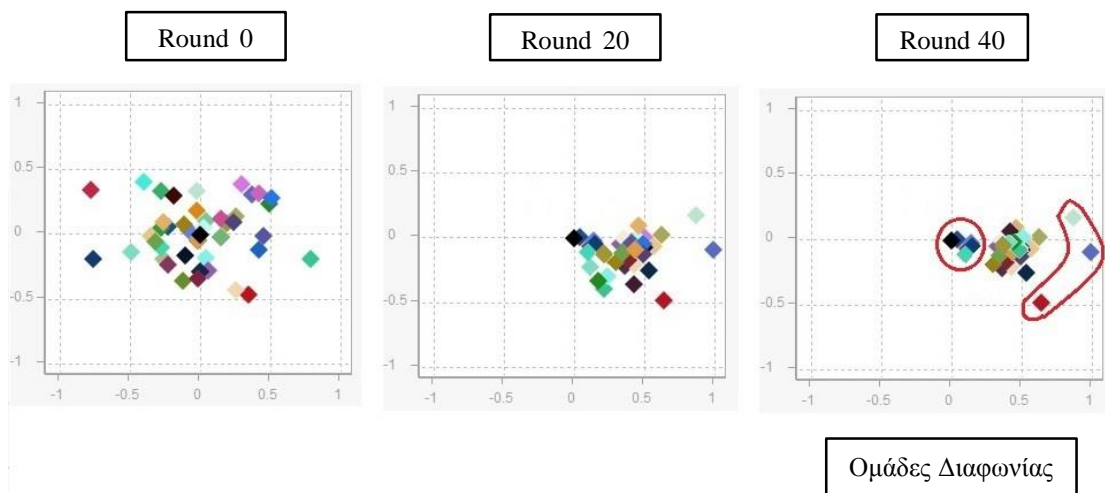
Προτού προχωρήσουμε στην ανάλυσή μας, είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε τις δυνητικά ακραίες τιμές που προήλθαν από τους 45 φορείς λήψης αποφάσεων για τις συγκεκριμένες εναλλακτικές δράσεις που παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα, με σκοπό να αναδείξουμε μηδαμινή και ισχυρή απόκλιση από τα όρια ομοφωνίας.

Αποκλίσεις από την ομοφωνία



Σχήμα 5.1: Επιμέρους αποκλίσεις των εμπλεκόμενων φορέων από την ομοφωνία

Συγκρίνοντας τις προτιμήσεις του κάθε ενός με εκείνες του συνόλου της ομάδας των συμμετεχόντων, παρατηρούμε ότι η ομάδα των αγροτών μοιάζει να αποκλίνει περισσότερο από την ομοφωνία ακολουθούμενη από τους ερευνητές σε όλες τις εναλλακτικές δράσεις. Οι αγρότες υποστηρίζουν την αύξηση της φυτικής παραγωγής, ενώ η ομάδα διαφωνούντων ερευνητών πιστεύει ότι πρέπει να καταβληθούν πολλές προσπάθειες για τη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων/φαρμακευτικών προϊόντων στο σύστημα διατροφής. Καμία ομάδα από τις δυο δεν φαίνεται να προβαίνει σε ενέργειες για την επίτευξη του προκαθορισμένου ορίου ομοφωνίας, έτσι τίθεται το ερώτημα σχετικά με το πόσο προκατειλημμένες είναι οι προτιμήσεις τους. Και οι δύο ομάδες πρέπει να ενημερωθούν ώστε να αναθεωρήσουν τις αρχικές τους εκτιμήσεις. Οι εικονικές αναπαραστάσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων όπως προέκυψαν με την βοήθεια του λογισμικού AFRYCA, ακολουθούν στη εικόνα 5.3.



Εικόνα 5.2: Αναπαράσταση αποτελεσμάτων στο λογισμικό AFRYCA

Οι κίνδυνοι εφαρμογής των δράσεων που εντοπίστηκαν έχουν επίσης συνεργατικές επιπτώσεις. Για παράδειγμα, η κακή ιεράρχηση των κλιματικών μεταβολών και των ενεργειών, οι πολιτικές αστάθειες, οι συχνές αλλαγές σε ένα ασαφές ρυθμιστικό περιβάλλον μπορούν να συνδυαστούν και να συνδεθούν με μια σκεπτικιστική, δύσπιστη κοινωνία και μάλιστα αντιτιθέμενη κοινωνία. Αξιοποιώντας τα χαρακτηριστικά της δημόσιας ευαισθητοποίησης της Ολλανδίας, εξάγεται το εξής συμπέρασμα για τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ανανεώσιμη ενέργεια: Η συνεχής αποτυχία επίτευξης των στόχων μείωσης των εκπομπών άνθρακα μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις σε όλες τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις και να καθυστερήσει σημαντικά το έδαφος για την εκδήλωση των υπόλοιπων εναλλακτικών προτάσεων. Έτσι όχι μόνο η πιθανότητα εμφάνισής τους μειώνεται, αλλά και το μέγεθος των επιπτώσεών τους μετριάζεται.

5.1.2 Επιπτώσεις

Όσον αφορά τις ενδεχόμενες αρνητικές συνέπειες μιας μεταβατικής οδού με χαμηλές εκπομπές άνθρακα και ενός πολιτικού πλαισίου προσανατολισμένου στην ενεργειακή

απόδοση, οι συζητήσεις επικεντρώνονται κυρίως στις ενδεχόμενες αρνητικές επιπτώσεις των κακώς σχεδιασμένων κινήτρων και των καθεστώτων στήριξης. Πιο συγκεκριμένα, οι ενδιαφερόμενοι συμφώνησαν σε τρεις σημαντικούς επακόλουθους κινδύνους: απώλεια εισοδήματος για τον ζωικό / αγροτικό τομέα, έλλειψη τροφίμων-Μείωση της Διατροφικής ασφάλειας και τέλος αύξηση της ανεργίας. Αυτοί οι κίνδυνοι αξιολογούνται και πάλι ενόψει της πιθανότητας εκδήλωσής τους, του βαθμού ανησυχίας των ενδιαφερομένων ως προς αυτά, της σοβαρότητας των επιπτώσεών τους σε ένα πλαίσιο πολιτικής για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, της χρονικής στιγμής της εμφάνισής τους και τέλος της έλλειψης ικανότητας μετριασμού τους. Οι συντελεστές στάθμισης για τα 5 κριτήρια αξιολόγησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3: Επιπτώσεις και κριτήρια

	Εναλλακτικές δράσεις	Κριτήρια αξιολόγησης	Βάρη	
A1.	Απώλεια εισοδήματος για τον ζωικό / αγροτικό τομέα	C1.	Πιθανότητα εκδήλωσης	1,42
A2.	Έλλειψη τροφίμων- Μείωση της Διατροφικής ασφάλειας	C2.	Επιπτώσεις της πολιτικής	1,66
A3.	Αύξηση της ανεργίας	C3.	Έλλειψη δυνατότητας μετριασμού	1,48
		C4.	Χρονοδιάγραμμα της εμφάνισης της πολιτικής	2,71
		C5.	Επίπεδο ανησυχίας	2,71

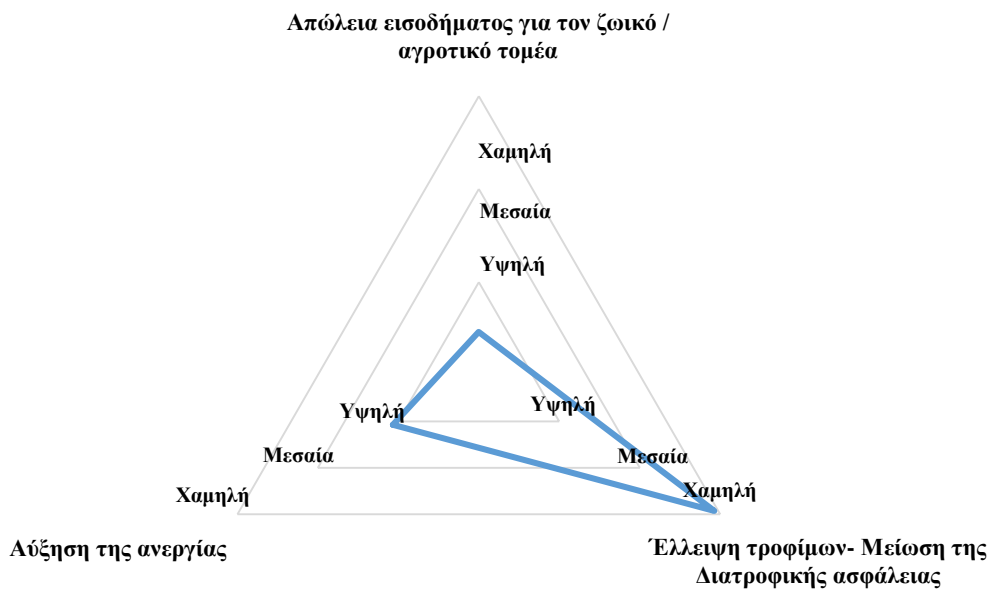
Μελετώντας προσεκτικά όλες τις προτιμήσεις των εμπλεκόμενων φορέων καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τα άτομα που προέρχονται από το ίδιο εργασιακό περιβάλλον δεν συγκλίνουν στις προτιμήσεις τους για την πιο αποδοτική επίπτωση. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι οι προτιμήσεις των επιστημόνων / ερευνητών διαφέρουν με μια ομάδα εξ αυτών να ανησυχεί για την αύξηση της ανεργίας, ενώ οι υπόλοιποι επικεντρώνονται στον κίνδυνο μείωσης της διατροφικής ασφάλειας, Αντίθετα, οι αγρότες μοιάζουν να συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό πως η αύξηση της ανεργίας αποτελεί τον σημαντικότερο κίνδυνο στην προσπάθεια μια βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης.

Δεδομένου ότι ο στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να επιτευχθεί μια εύλογη κατάταξη από την καλύτερη (λιγότερο κρίσιμη) έως την χειρότερη (περισσότερο κρίσιμη) επίπτωση, καθώς και ότι όλα τα κριτήρια αξιολόγησης έχουν αρνητικό αντίκτυπο στις επιπτώσεις, θεωρούμε ότι το χαρακτηριστικό προβλήματα χαρακτηρίζεται από κριτήρια κόστους.

Από την άποψη των εμπλεκόμενων φορέων, όσον αφορά τους επαγόμενους κινδύνους που συνδέονται με τις επιπτώσεις μιας ενεργειακής μετάβασης, η κυρίαρχη ανησυχία τους επικεντρώνεται στην επικινδυνότητα των επιπτώσεων που θα επιφέρει η απώλεια εισοδήματος για τον ζωικό / αγροτικό τομέα. Αυτή η άποψη είναι δικαιολογημένη,

δεδομένου ότι με την αύξηση της παραγωγής φυτικών και βιολογικών προϊόντων σε ένα πλαίσιο με αμφισβητούμενο μηχανισμό υποστήριξης, προκύπτουν ορθολογικά ζητήματα κατά πόσο το εισόδημα του αγροτικού τομέα θα παραμείνει σταθερό. Επιπλέον οι ενδιαφερόμενοι φορείς φαίνεται να συμφωνούν ότι ο κίνδυνος αύξησης της ανεργίας είναι μεσαίας σημασίας και επηρεάζει ελαφρώς την πορεία της ενεργειακής μετάβασης. Τέλος οι εμπλεκόμενοι φορείς κατέληξαν συνολικά ότι ο κίνδυνος έλλειψης τροφίμων και η μείωση της διατροφικής ασφάλειας είναι σχετικά ασήμαντος. Η εικόνα 5.3 που ακολουθεί συνοψίζει τα παραπάνω αποτελέσματα.

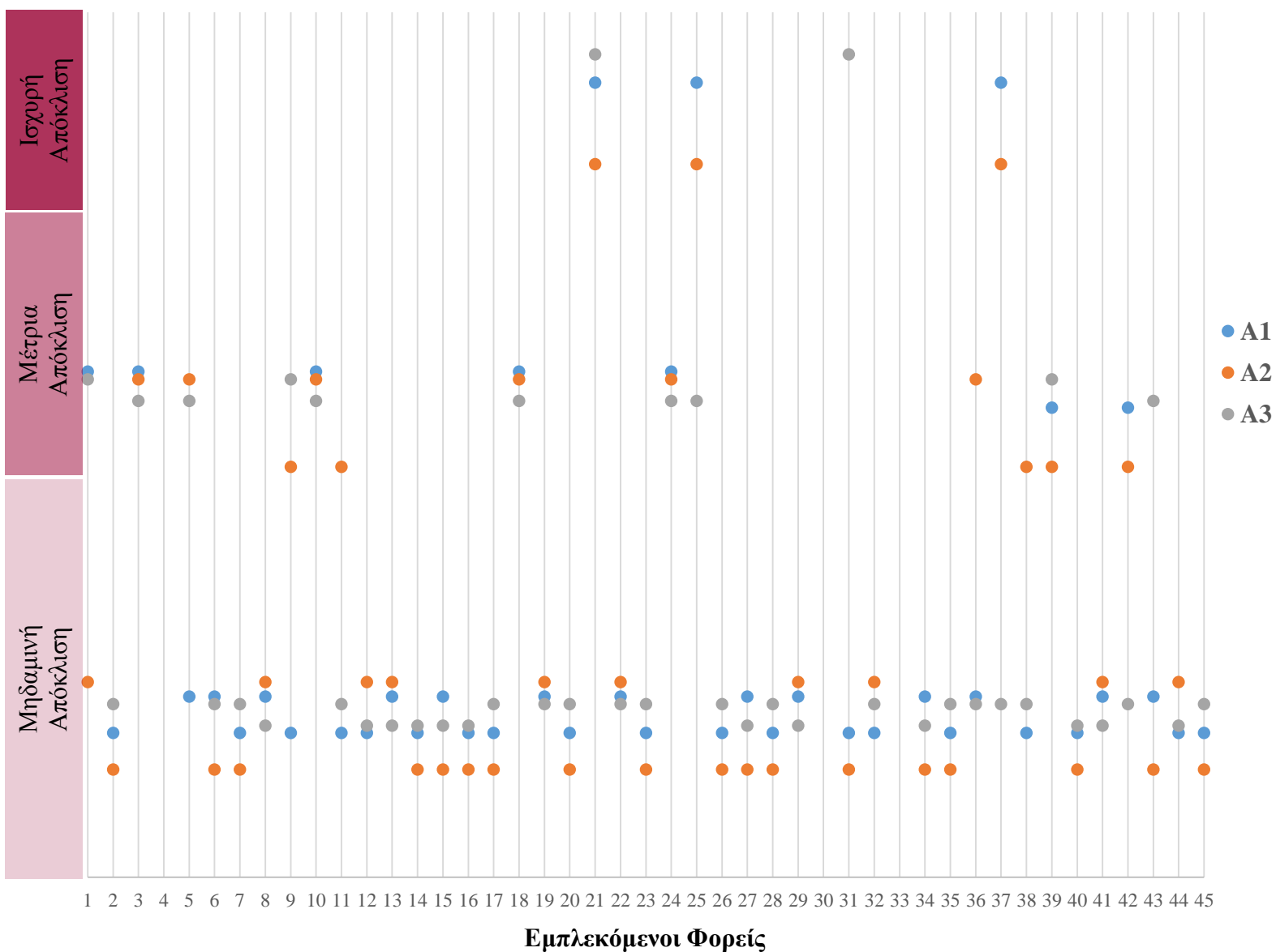
Κρισιμότητα επιπτώσεων: Τελική κατάταξη



Εικόνα 5.3: Τελικά αποτελέσματα πολυκριτήριας ανάλυσης επιπτώσεων μετάβασης του Ολλανδικού ενεργειακού συστήματος

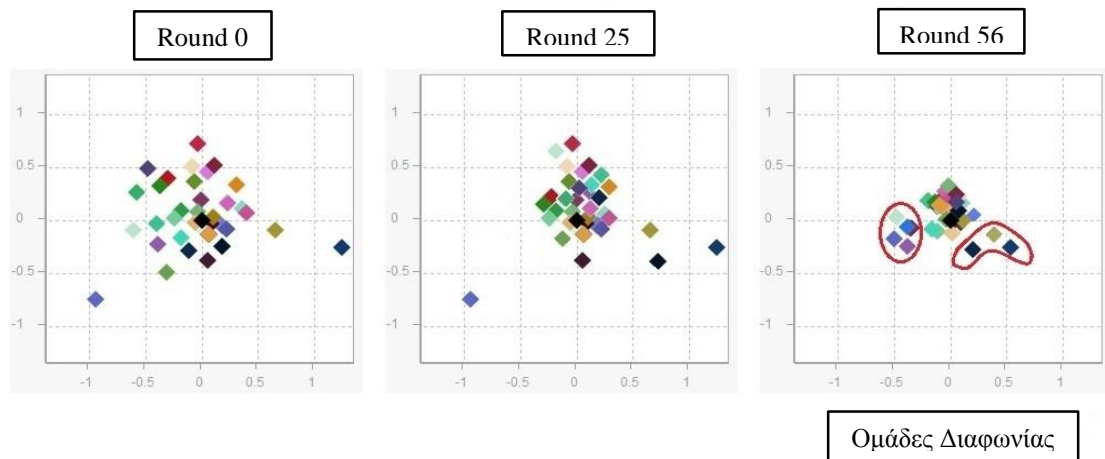
Είναι ενδιαφέρον να εξετάσουμε τις δυνητικά ακραίες τιμές που προήλθαν από τους 45 φορείς λήψης αποφάσεων για τις συγκεκριμένες επιπτώσεις που παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα, με σκοπό να αναδείξουμε μηδαμινή και ισχυρή απόκλιση από τα όρια ομοφωνίας.

Αποκλίσεις από την ομοφωνία



Σχήμα 5.2: Επιμέρους αποκλίσεις των εμπλεκόμενων φορέων από την ομοφωνία

Συγκρίνοντας τις προτιμήσεις του κάθε ενός εμπλεκόμενου φορέα με εκείνες του συνόλου της ομάδας των συμμετεχόντων παρατηρούμε ότι η ομάδα των ερευνητών μοιάζει να αποκλίνει περισσότερο από την ομοφωνία ακολουθούμενη από τους προμηθευτές τεχνολογίας. Η ομάδα των ερευνητών φαίνεται να συμφωνεί πως οι επιπτώσεις απώλειας εισοδήματος για τον κλάδο της κτηνοτροφίας και των αγροτών ελλοχεύουν σημαντικούς κινδύνους. Από την άλλη πλευρά, οι προμηθευτές τεχνολογίας θεωρούν ότι οι κίνδυνοι της έλλειψης τροφίμων και της μείωση της επισιτιστικής ασφάλειας καθώς της επικίνδυνης αύξησης της ανεργίας έχουν το μεγαλύτερο αντίκτυπο στην Ολλανδική κοινωνία. Και οι δύο ομάδες πρέπει να ενημερωθούν ώστε να αναθεωρήσουν τις αρχικές τους εκτιμήσεις. Οι εικονικές αναπαραστάσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων όπως προέκυψαν με την βοήθεια του λογισμικού AFRYCA, ακολουθούν στη εικόνα 5.5 .

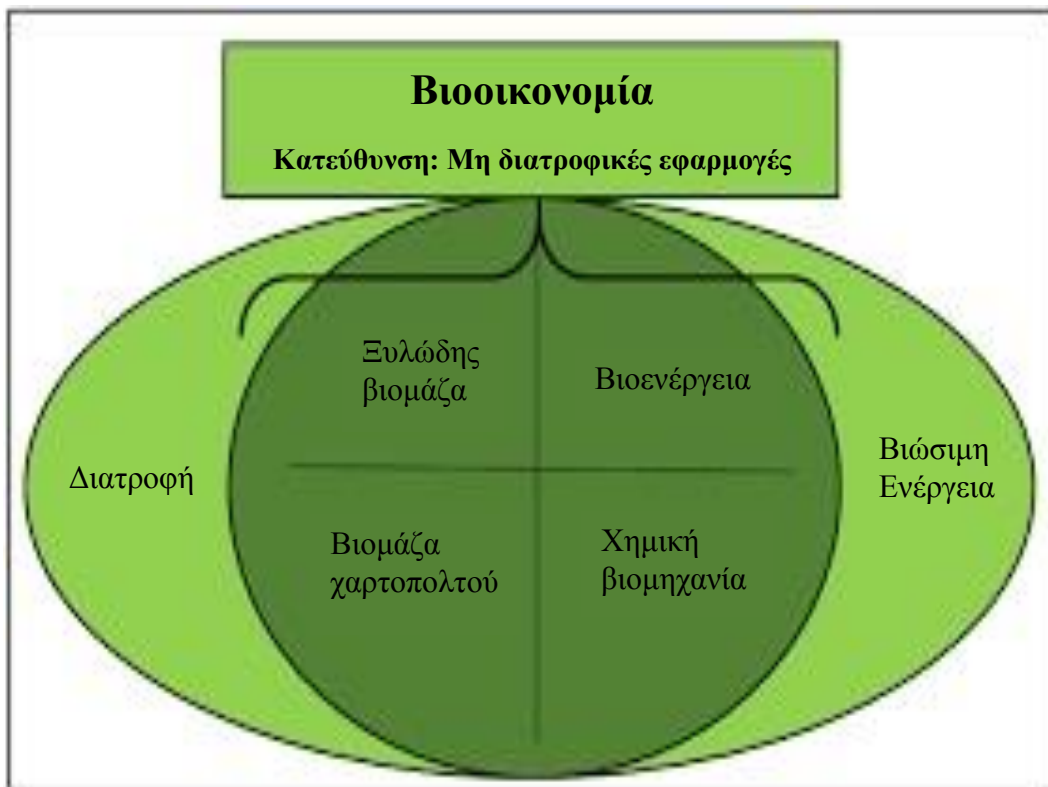


Εικόνα 5.4: Αναπαράσταση αποτελεσμάτων στο λογισμικό AFRYCA

Ένα κακό οικονομικό περιβάλλον θεωρείται ως ένας από τους μεγαλύτερους φραγμούς στην πραγματοποίηση μιας μετάβασης με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Οι ενδιαφερόμενοι ανησυχούν σε μεγάλο βαθμό ότι μια τέτοια μετάβαση είναι ικανή να υποβαθμίσει περαιτέρω την Ολλανδική κοινωνία. Για παράδειγμα, σε ορισμένους εμπλεκόμενους φορείς υπήρχε το αίσθημα ότι, σε μεγάλο βαθμό χρηματοδοτούμενα αλλά κακώς σχεδιασμένα έργα σχετικά με τη βελτίωση της ποιότητας των επιφανειακών και υπογείων υδάτων μπορεί να οδηγήσουν στα αντίθετα αποτελέσματα και να διευρύνουν τις ανισότητες. Τα προγράμματα χρηματοδότησης και η οικονομική στήριξη πρέπει να δίνουν αυστηρή προτεραιότητα και να σχεδιάζονται μακροπρόθεσμα, προκειμένου η μετάβαση να δώσει ώθηση στην οικονομία αντί να την οδηγήσει σε κρίση.

6 Συζήτηση

Η εστίαση στην ανάπτυξη βιοενεργειακών τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα όπως προέκυψε από την παραπάνω πολυκριτηριακή ανάλυση είναι ζωτικής σημασίας για μια πράσινη μετάβαση και αναμένεται να επικεντρωθεί στην παραγωγή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας και καυσίμων από βιολογικά προϊόντα. Η Βιοοικονομία αναμένεται να αποτελέσει βασικό στοιχείο μιας έξυπνης και πράσινης αναπτυξιακής πορείας επιτρέποντας την τόνωση της αγροτικής ανάπτυξης και την παροχή νέων αγορών για τον γεωργικό και δασικό τομέα, διευκολύνοντας παράλληλα το πράσινο περιβάλλον της χημικής, υλικοτεχνικής και υλικής παραγωγής.



Εικόνα 6.1: Κύριοι τομείς Βιοοικονομίας

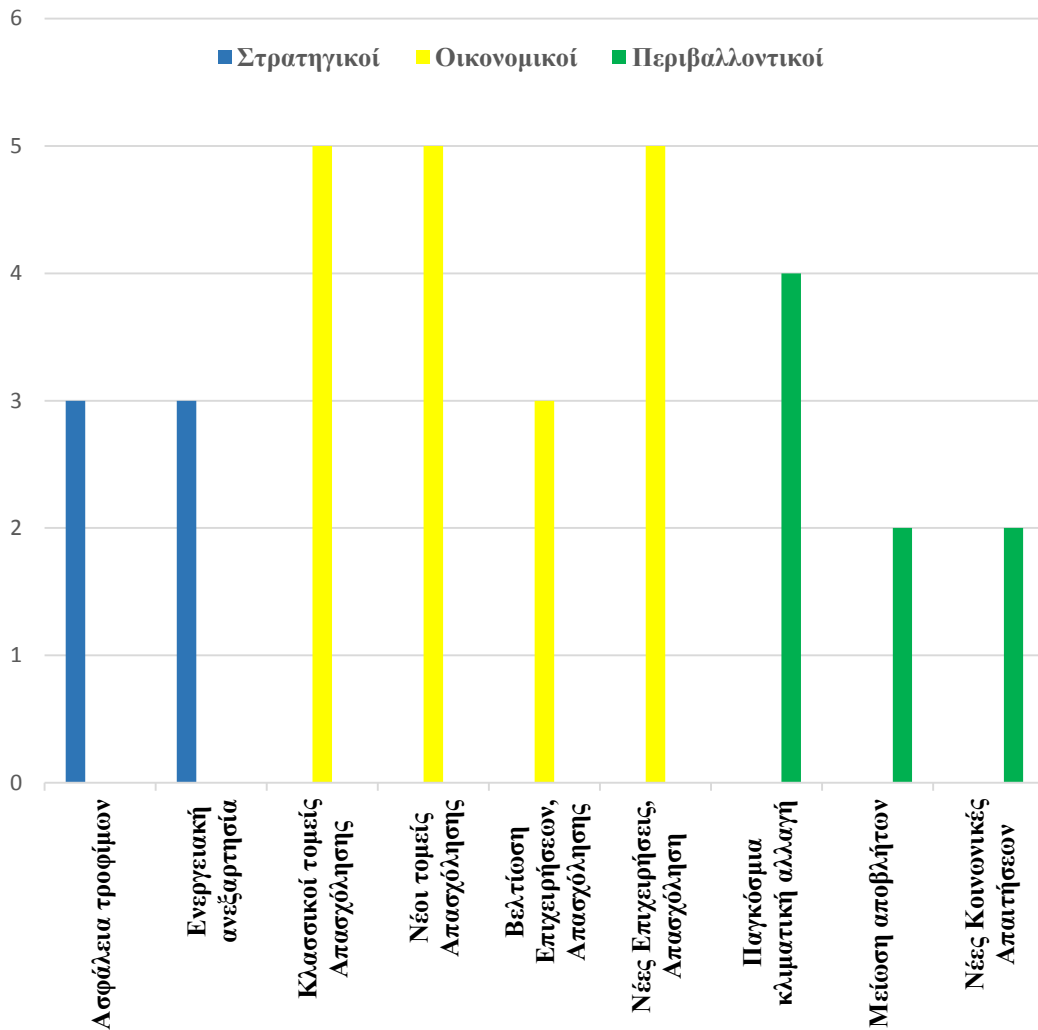
Πιο συγκεκριμένα, η βιομάζα είναι κατάλληλη για την αντικατάσταση αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων, ενώ παράλληλα έχει μοναδικές ιδιότητες που την καθιστούν κατάλληλη πρώτη ύλη για υλικά όπως τα πλαστικά, τα χημικά και τα καλλυντικά. Στο πλαίσιο αύξησης της παραγωγής βιομάζας σε μια χώρα με μεγάλο ποσοστό της κάτω από την στάθμη της θάλασσάς όπως η Ολλανδία μια άλλη πτυχή που πρέπει να εξεταστεί είναι η ποιότητα της επιφάνειας και των υπόγειων υδάτων. Με το ήμισυ της χώρας κάτω από τη στάθμη της θάλασσας η Ολλανδία αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα στη διαχείριση των υδάτων της ενώ ο κίνδυνος πλημύρας είναι πάντα επικείμενος. Δεδομένων των αλλαγών του κλίματος, οι προκλήσεις με τις οποίες έρχονται αντιμέτωποι τόσο οι διαχειριστές των υδάτων όσο και οι χρήστες της γης, αναμένεται να αυξηθούν. Εκτός από τους κινδύνους πλημμύρας, ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η ρύπανση των επιφανειακών υδάτων. Η Ευρωπαϊκή οδηγία του 2015

υποχρέωνε όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ να διασφαλίσουν ότι η ποιότητα των επιφανειακών και υπογείων υδάτων είναι σε υψηλό επίπεδο (καλή οικολογική κατάσταση) [27]. Για τα δεδομένα της Ολλανδίας το πλαίσιο αυτό επιδέχεται βελτίωσης καθώς κατά τις τελευταίες δεκαετίες οι κύριοι ποταμοί που αποτελούν το Ολλανδικό δέλτα σταδιακά μολύνθηκαν με συστατικά και βιομηχανικά απόβλητα ενώ παράλληλα οι κίνδυνοι πλημμυρών αυξήθηκαν με γρήγορη αποστράγγιση του νερού και με υπερβολική ποσότητα ουσιών που προήλθαν από φυτοφάρμακα και μολυσμένα λιπάσματα εδάφους στα υπόγεια και επιφανειακά ύδατα [27].

Ένας τρόπος για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα μόλυνσης με ταυτόχρονη αύξηση της βιομάζας, είναι η κατασκευή υγρότοπων που έχουν φυτευτεί καλάμια (*Phragmites australis*). Αυτή η καλλιέργεια καλάμιών μπορεί να διατηρήσει την παραγωγικότητα της κάτω από διάφορα υδατικά καθεστώτα, επιτρέποντας την προσωρινή αποθήκευση και συντήρηση του νερού. Τα συστατικά που απορροφώνται από την καλλιέργεια απομακρύνονται από το νερό όταν γίνεται η συγκομιδή του καλάμιού κάθε χρόνο. Ανάλογα με τον χρόνο παραμονής και τον όγκο ανά μονάδα επιφάνειας, το καλάμι είναι ικανό να μειώσει τη συνολική ποσότητα αζώτου στο νερό με μέση απόδοση από 32 έως 47% και τη συνολική ποσότητα φωσφόρου με 27-45% [27]. Οι υγρότοποι καλάμιού αναμένεται να παρέχουν ευκαιρίες βελτίωσης της ποιότητας του νερού και το καλάμι παράγει αρκετή βιομάζα για να χρησιμεύσει ως πηγή πράσινης ενέργειας. Επιπλέον, οι υγρότοποι λειτουργούν ως δεξαμενή πλημμυρών ενώ είναι πιθανώς επωφελείς για τη βιοποικιλότητα. Η βέλτιστη στιγμή της συγκομιδής του καλάμιού εξαρτάται από το στόχο του ιδιοκτήτη, καθώς μπορεί να επιφέρει συνέπειες στην αναγέννηση του φίλτρου του καλάμιού, την παραγωγή της βιομάζας, τη βιοποικιλότητα, την εκπομπή μεθανίου και την αποχέτευση νερού [27]. Κατά συνέπεια, με την κατασκευή υγρότοπων που φιλοξενούν σοδιές καλάμιών αναμένεται να επιτευχθεί η εκκαθάριση των επιφανειακών υδάτων, η περιοδική κατακράτηση νερού σε περίπτωση πλημμυρών, η παραγωγή βιομάζας για πράσινη ενέργεια και η προστασία της φύσης. Το ερώτημα που παραμένει είναι αν οι λειτουργίες αυτές μπορούν να συνδυαστούν αποτελεσματικά οικονομικώς.

Το παραπάνω ερώτημα οικονομικής βιωσιμότητας στηρίζουν έρευνες σχετικά με την ανάπτυξη και την εφαρμογή της βιοοικονομίας, όπου η Ολλανδική κυβέρνηση αναφέρει ότι οι οικονομικοί παράγοντες είναι οι σημαντικότεροι πυλώνες για την ανάπτυξη μιας πολιτικής [29]. Το σχήμα 6.1 απεικονίζει την αξιολόγηση των σημαντικότερων Ολλανδικών παραγόντων ανάπτυξης, με βάση την προτεραιότητα τους σε μια κλίμακα από 0 έως 5. Οι οικονομικοί παράγοντες έχουν ύψιστη προτεραιότητα με μέσο όρο 4,5 βαθμούς, ενώ οι στρατηγικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες χαμηλότερη προτεραιότητα με μέσο όρο 3 και 2,7 βαθμούς αντίστοιχα. [29, 30].

Παράγοντες ανάπτυξης



Σχήμα 6.1: Κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη Βιοοικονομικών πολιτικών στην Ολλανδία

Δεδομένου του προαναφερθέντος πλαισίου, η ανάπτυξη πολιτικών Βιοοικονομίας στην Ολλανδία παρατηρείται νωρίτερα σε σύγκριση με ανταγωνιστικές της χώρες και καθοδηγείται κυρίως από οικονομικούς παράγοντες στο βαθμό που εξασφαλίζεται βιωσιμότητα, καθώς η στρατηγική και η περιβαλλοντική νομοθεσία υπήρχαν ως επί το πλείστο [27]. Τα Ολλανδικά δημόσια ερευνητικά προγράμματα προσανατολίζονται σε μεγάλο βαθμό σε πράσινες ενεργειακές δραστηριότητες, όργανα και τομείς ενώ παράλληλα η χρηματοδότηση επικεντρώνεται έντονα στη γεωργική παραγωγή και στην ανάπτυξη και εφαρμογή ειδικών τεχνολογιών πράσινης μετάβασης [27]. Τέλος, στην κατεύθυνση μιας βιώσιμης ενεργειακής μετάβασης αναπτύσσεται μια σχεδόν ολοκληρωμένη εθνική πολιτική καθώς και προγράμματα Έρευνας και Ανάπτυξης που θα εφαρμόζονται σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

7 Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και αξιολόγηση των φραγμών και των επιπτώσεων μιας πράσινης μετάβασης στο Ολλανδικό ενεργειακό σύστημα. Για τον λόγο αυτό παρουσιάσαμε την τρέχουσα κατάσταση της Ολλανδίας από διοικητικής, κοινωνικής και οικονομικής άποψης, το ενεργειακό μίγμα της καθώς και τις κινητήριες δυνάμεις που στοχεύουν στη μετάβαση μιας πράσινης ενέργειας. Στη συνέχεια, έγινε μια παρουσίαση των εμπλεκόμενων φορέων και αναλύθηκαν οι αναπτυξιακές δραστηριότητες, οι περιφερειακές και ιδιωτικές πρωτοβουλίες καθώς και οι εξελίξεις της αγοράς. Για την καλύτερη ανάλυση των δεδομένων, αξιοποιήθηκαν δύο λογισμικά: το FLINTSTONES που εκτελεί μια γλωσσική ανάλυση αποφάσεων παρέχοντας γλωσσικά αποτελέσματα προς διευκόλυνση του ανθρώπου στην κατανόησή τους και το AFRYCA το οποίο πραγματοποιεί προσομοιώσεις που βασίζονται στην ανάλυση προβλημάτων λήψης συλλογικών αποφάσεων μέσω διαφορετικών μοντέλων ομοφωνίας. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούν μεθόδους λογιστικής για σύνθετα και εξελισσόμενα βιοφυσικά και κοινωνικοοικονομικά συστήματα καθώς και μοντέλα λήψης αποφάσεων πολλαπλών κριτηρίων που είναι κατάλληλα για την αντιμετώπιση πολύπλοκων προβλημάτων που χαρακτηρίζονται από υψηλή αβεβαιότητα, αντικρουόμενους στόχους, διαφορετικές μορφές δεδομένων και πληροφοριών. Με τη βοήθεια αυτών των λογισμικών καταφέραμε να μοντελοποιήσουμε το πρόβλημά μας προκειμένου να το αξιολογήσουμε και να αντλήσουμε χρήσιμα συμπεράσματα για τις βέλτιστες προτεινόμενες ενεργειακές δράσεις. Η σημαντικότερη από αυτές τις ενεργειακές δράσεις συνδέεται άμεσα με την αύξηση της βιομάζας και της βιοενέργειας στην Ολλανδία.

Πιο συγκεκριμένα, η Ολλανδική οικονομία αναμένεται να ισχυροποιηθεί ακολουθώντας μια Βιοοικονομική πολιτική με πρωταγωνιστή την βιοενέργεια και κατεύθυνση την βιώσιμη αξιοποίηση της βιομάζας («pyramid value») στην παραγωγή βιοαποικοδομημένων υλικών και υπολειμμάτων χρήσης για τα βιοκαύσιμα, την ηλεκτρική ενέργεια και τη θερμότητα («συμπαγωγή»). Η υλοποίηση του προαναφερόμενου πλαισίου απαιτεί μια ισχυρή εστίαση στα βιοτεχνολογικά προϊόντα ως βασική τεχνολογική εξέλιξη.

Καταλήγοντας, συμπεραίνουμε ότι, προκειμένου η Ολλανδία να επιτύχει τους στόχους της Ευρωπαϊκής Ένωσης για σημαντική αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, απαιτείται μια προσεκτική μετάβαση σε ένα πιο αποτελεσματικό ενεργειακό μίγμα. Εάν αυτό προέλθει μέσα από ένα ισχυρό πολιτικό πλαίσιο σε συνδυασμό με μεγάλη ευαισθητοποίηση του κοινού, θα μπορούσε να επιτευχθεί χωρίς κινδύνους θέτοντας τα θεμέλια μιας Ευρώπης ελεύθερης από ορυκτά καύσιμα το 2050.

8 Αναφορές

- [1] *Energy Agenda, Towards a low carbon energy supply.*
- [2] *The Netherlands in Transition The Planning of Low Carbon, Sustainable and Livable Cities in the Utrecht Region.*
- [3] *The Agreement on Energy for Sustainable Growth: a policy in practice.*
- [4] *Netherlands-Energy, <https://www.export.gov/article?id=Netherlands-Energy>, International Energy Agency, CBS, & CIA Factbook.*
- [5] *Transition without Conflict? Renewable Energy Initiatives in the Dutch Energy Transition.*
- [6] *Application of multi-criteria analysis for the evaluation of sustainable energy systems - A review of recent literature.*
- [7] *Multi-Criteria Analysis in the Renewable Energy Industry, San Cristobal J.R.*
- [8] *F. Herrera, E. Herrera-Viedma, Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information, Fuzzy Sets and Systems 115 (2000) 67–82.*
- [9] *L. Martinez, F. Herrera, An overview on the 2-tuple linguistic model for computing with words in decision making: extensions, applications and challenges, Information Sciences 207 (2012) 1–18.*
- [10] *H. Doukas, C. Karakosta, J. Psarras, Computing with words to assess the sustainability of renewable energy options, Expert Systems with Applications 37 (7) (2010) 5491–5497*
- [11] *An Approach based on Computing with Words to Manage Experts Behavior in Consensus Reaching Processes with Large Groups. Ivan Palomares, Francisco J. Quesada and Luis Martinez*
- [12] *F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and J. Verdegay, “A sequential selection process in group decision making with linguistic assessments,” Information Sciences, vol. 85, no. 4, pp. 223–239, 1995.*
- [13] *N. Bryson, “Group decision-making and the analytic hierarchy process. exploring the consensus-relevant information content,” Computers and Operations Research, vol. 23, no. 1, pp. 27–35, 1996.*

- [14] R. Parreiras, P. Ekel, J. Martini, and R. Palhares, “A flexible consensus scheme for multicriteria group decision making under linguistic assessments,” *Information Sciences*, vol. 180, no. 7, pp. 1075–1089, 2010.
- [15] Z. Wu and J. Xu, “Consensus reaching models of linguistic preference relations based on distance functions,” *Soft Computing*, vol. 16, no. 4, pp. 577–589, 2012.
- [16] E. Herrera-Viedma, L. Mart/inez, F. Mata, and F. Chiclana, “A consensus support system model for group decision making problems with multigranular linguistic preference relations,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 13, no. 5, pp. 644–658, 2005.
- [17] F. Mata, L. Mart/inez, and E. Herrera-Viedma, “An adaptive consensus support model for group decision-making problems in a multigranular fuzzy linguistic context,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 279–290, 2009.
- [18] I. Palomares, L. Mart/inez, and F. Herrera, “A consensus model to detect and manage non-cooperative behaviors in large-scale group decision making,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. Inpress, DOI: 10.1109/TFUZZ.2013.2262769, 2014.
- [19] F. Herrera and E. Herrera-Viedma, “Linguistic decision analysis: Steps for solving decision problems under linguistic information,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 115, no. 1, pp. 67–82, 2000
- [20] R. Rodriguez and L. Martinez, “An analysis of symbolic linguistic computing models in decision making,” *International Journal of General Systems*, vol. 42, no. 1, pp. 121–136, 2013.
- [21] R. Yager, “Penalizing strategic preference manipulation in multi-agent decision making,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 393–403, 2001
- [22] *Analyzing the performance of classical consensus models in large scale group decision making: A comparative study* A. Labella, Y. Liu, R.M. Rodriguez, L. Martinez.
- [23] *Consensus under a fuzzy context: Taxonomy, analysis framework AFRYCA and experimental case of study*. Ivan Palomares, Francisco J. Estrella, Luis Martinez, Francisco Herrera.
- [24] AFRYCA website: <https://sinbad2.ujaen.es/afryca/>
- [25] *Flexibility Roadmap* <https://www.tennet.eu/nl/bedrijf/publicaties/technische-publicaties>

[26] *Decarbonizing Transportation in The Netherlands – A Policy Case Study*. Jeremy Turk, *The University of Edinburgh* February 2017

[27] *Commission Staff Working Document of COM (2012) 60 final. Innovation for Sustainable Growth. A Bioeconomy for Europe*.

[28] Sustainable biomass and bioenergy in the Netherlands: Report 2015

[29] *THE BIOBASED ECONOMY AND THE BIOECONOMY IN THE NETHERLANDS* BIOMASS RESEARCH REPORT 1601 *Biomass Research*, Wageningen, February 2016.

[30] Education at a Glance 2014 OECD inDiCatOrs

