ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.)
"ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΒΙΟ-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΣΚΕΥΕΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Βασιλική Τζελέπη

Χημικός Μηχανικός

Πολ/κης Σχολής του Παν/μιου Πατρών

Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη

Αθήνα, Μάρτιος 2021

Επιβλέπων: Καθηγητής Ι. Ψαρράς

Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή 11
2 Περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ 12
3 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής 14
3.1 Λογισμικό SimaPro 17
4 Μεθοδολογία RED II 19
5 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής 22
6 Μετασκευή βιομηχανιών 25
6.1 Η ιδέα της μετασκευής 26
7 Πολυκριτιριακή ανάλυση – Μέθοδος ELECTRE 29
7.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή 30
7.2 Μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων 30
7.3 Μοντελοποίηση προτιμήσεων 33
7.4 Η σχετική σημασία των κριτηρίων 34
7.5 Στάδια επίλυσης με την μέθοδο ELECTRE I 34
8 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I 36
8.1 Καθορισμός προβλήματος - Υπεύθυνος λήψης απόφασης 36
8.2 Σενάρια μετασκευής 36
8.2.1 Εναλλακτικές δραστηριότητες – Απαιτήσεις RED II 37
8.3 Καθορισμός συνεπούς οικογένειας κριτηρίων 40
8.4 Κλίμακα βαθμολόγησης κριτηρίων 41
8.5 Βαθμολογία κριτηρίων εναλλακτικών δραστηριοτήτων 46
8.5.1 Σενάριο 1 - ΣΗΘ 46
8.5.2 Σενάριο 2 - Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα 53
8.5.3 Σενάριο 3 - Διυλιστήριο πετρελαίου 60
8.5.4 Σενάριο 4 – 1G βιοκαύσιμα 67
9 Ανάπτυξη εργαλείου σε Python 74
9.1 Λειτουργία εργαλείου 74
9.2 Σύνοψη των βημάτων λειτουργίας 78
10 Ανάλυση παραμέτρων μετασκευής 79
11 Συμπεράσματα - Προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης 81
12 Βιβλιογραφία 83

Εικόνες

Εικόνα 1. Γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη. 74
Εικόνα 2. Δομή δεδομένων εισαγωγής αρχείου CSV. 75
Εικόνα 3. Δομή εισαγωγής δεδομένων στην βάση δεδομένων SQLite. 75
Εικόνα 4. Παράθυρο ειδοποίησης χρήστη. 76
Εικόνα 5. Μελέτη περίπτωσης μονάδας ΣΗΘ. 76
Εικόνα 6. Πίνακας Συμφωνίας/ Ασυμφωνίας μελέτης περίπτωσης μονάδας ΣΗΘ. 76
Εικόνα 7. Διάγραμμα πυρήνα. 77

Πίνακες

Πίνακας 1. Σύνοψη των πολιτικών/νομοθεσιών που σχετίζονται με την προώθηση της βιομάζας. 13
Πίνακας 2. Συγκριτικοί όροι υπολογισμού μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. 21
Πίνακας 3. Σύνοψη του πλαισίου μετασκευής ανά κλάδο. 26
Πίνακας 4. Σύνοψη του πλαισίου μετασκευής ανά κλάδο (συνέχεια). 27
Πίνακας 5. Ελάχιστα όρια μείωσης αερίων του θερμοκηπίου για βιοκαύσιμα, βάσει της RED II. 28
Πίνακας 6. Σενάρια μετασκευής για κάθε βιομηχανικό τομέα. 36
Πίνακας 7. Περιορισμοί για κάθε τελικό προϊόν βάσει της RED II. 37
Πίνακας 8. Εναλλακτικές δραστηριότητες για κάθε εξεταζόμενο σενάριο. 38
Πίνακας 9. Απόδοση βαθμολόγησης κριτηρίων. 41
Πίνακας 10. Βαθμολογίες στο περιβαλλοντικό κριτήριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. 42
Πίνακας 11. Συντελεστές κανονικοποίησης για τις τέσσερις κατηγορίες επίπτωσης. 43
Πίνακας 12. Βαθμολογίες στο κοινωνικό κριτήριο της αποδοχής τελικού προϊόντος. 44
Πίνακας 13. Βαθμολογίες στο κοινωνικό κριτήριο της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας. 44
Πίνακας 14. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της συνεχούς προμήθειας πρώτης ύλης. 44
Πίνακας 15. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της πιθανότητας βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής. 45
Πίνακας 16. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της πιθανής αλλαγής νομοθεσίας. 45
Πίνακας 17. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων. 46
Πίνακας 18. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ΣΗΘ ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή. 46
Πίνακας 19. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ΣΗΘ ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων. 47
Πίνακας 20. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων στο σενάριο μονάδας ΣΗΘ. 47
Πίνακας 21. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX. 48
Πίνακας 22. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας ΣΗΘ. 48
Πίνακας 23. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας ΣΗΘ. 48
Πίνακας 24. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων σεναρίου μονάδας ΣΗΘ. 49
Πίνακας 25. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα ΣΗΘ. 51
Πίνακας 26. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας ΣΗΘ. 51
Πίνακας 27. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας ΣΗΘ. 52
Πίνακας 28. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ. 52
Πίνακας 29. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων. 53
Πίνακας 30. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ως προς στην κλιματική αλλαγή. 53
Πίνακας 31. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων. 54
Πίνακας 32. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 54
Πίνακας 33. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX. 55
Πίνακας 34. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 55
Πίνακας 35. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 55

Πίνακας 36. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 56
Πίνακας 37. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής..... 58
Πίνακας 38. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής..... 58
Πίνακας 39. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 58
Πίνακας 40. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής. 59
Πίνακας 41. Δεδομένα σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων. 60
Πίνακας 42. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας διυλιστηρίου ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή..... 60
Πίνακας 43. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας διυλιστηρίου ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων. 61
Πίνακας 44. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου. 61
Πίνακας 45. Δεδομένα εναλλακτικών σεναρίων για το υπολογισμό του CAPEX και OPEX μονάδας διυλιστηρίου. 62
Πίνακας 46. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας διυλιστηρίου. 62
Πίνακας 47. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας διυλιστηρίου. 62
Πίνακας 48. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων του σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου. 63
Πίνακας 49. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα διυλιστηρίου. 65
Πίνακας 50. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου. 65
Πίνακας 51. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου. 65
Πίνακας 54. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου..... 66
Πίνακας 53. Δεδομένα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων. 67
Πίνακας 54. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας βιοκαυσίμων ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή..... 67
Πίνακας 55. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας βιοκαυσίμων ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων. 68
Πίνακας 56. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων. 68
Πίνακας 57. Δεδομένα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX. 69
Πίνακας 58. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας βιοκαυσίμων. 69
Πίνακας 59. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας βιοκαυσίμων..... 69
Πίνακας 60. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων μονάδας βιοκαυσίμων. 70
Πίνακας 61. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα βιοκαυσίμων. 72
Πίνακας 62. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων. 72
Πίνακας 63. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων..... 72
Πίνακας 64. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων. 73
Πίνακας 65. Ανάλυση παραμέτρων εξεταζόμενων σεναρίων μετασκευής. 80

Σχήματα

Σχήμα 1. Στάδια της ΑΚΖ..... 14
Σχήμα 2. Επαναληπτική διαδικασία ερμηνείας αποτελεσμάτων. 16
Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση της συνολικής περιβαλλοντικής διαδικασίας. 18
Σχήμα 4. Μεθοδολογικό πλαίσιο πολυκριτηριακής ανάλυσης..... 31
Σχήμα 5. Διάγραμμα ροής εργαλείου ELECTRE I..... 78

Συντομογραφίες

Ελληνικές	
ΑΚΖ	Ανάλυση Κύκλου Ζωής
ΑΚΚΖ	Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΑΣΑ	Αστικά Στερεά Απόβλητα
ΕΕ	Ευρωπαϊκή Ένωση
ΚΚΖ	Κόστος Κύκλου Ζωής
ΣΗΘ	Συνδυασμένη Παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Αγγλικές	
1G	First Generation
2G	Second Generation
CAPEX	Capital Expenditure
CHP	Combined Heat and Power
EU	European Union
FAME	Fatty acid methyl esters
GHG	Greenhouse gas
HVO	Hydrogenated Vegetable oil
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life-Cycle Assessment/ Analysis
LCC	Life Cycle Costing
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LPG	Liquefied Petroleum Gas
MCDA	Multiple Criteria Decision Analysis
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
RED	Renewable Energy Directive
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UCO	Used Cooking Oil
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών (ΔΠΜΣ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου "Περιβάλλον και Ανάπτυξη". Η εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ σε συνεργασία με το Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας & Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ).

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας μου, Καθηγητή της σχολής Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ κ. Ιωάννη Ψαρρά για την ανάθεση της εργασίας αυτής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ κ. Χάρη Δούκα και τον Διευθυντή Ερευνών του ΙΔΕΠ κ. Παναγιώτη Γραμμέλη για την ευγένεια και την προθυμία τους να συμμετάσχουν στην Εξεταστική Επιτροπή. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Κουρκούμπα, επιστημονικό συνεργάτη του ΙΔΕΠ, για την συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη.

Περίληψη

Η επιτακτική ανάγκη να διασφαλισθεί η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, με σκοπό να επιτευχθούν οι στόχοι της Συμφωνίας του Παρισίου, οδηγεί στην ανάγκη ανάληψης άμεσης δράσης. Ο κλάδος της ενέργειας είναι υπεύθυνος για την μεγαλύτερη παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου στην ΕΕ. Προς την κατεύθυνση αυτή, η μετασκευή βιομηχανιών, δηλαδή η λήψη τεχνικών μέτρων που εφαρμόζονται σε υπάρχουσες εγκαταστάσεις παραγωγής που υποστηρίζουν τη χρήση βιοενέργειας ως εναλλακτική λύση για την ορυκτή ενέργεια, αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη πρακτική.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν πέντε κλάδοι της βιομηχανίας οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως υψηλής κατανάλωσης ενέργειας. Συγκεκριμένα στις βιομηχανίες συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, διυλιστήρια πετρελαίου και βιομηχανίες βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς.

Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών επιλογών κάθε σεναρίου έγινε χρήση της μεθόδου πολυκριτηριακής ανάλυσης ELECTRE I. Στόχος της πολυκριτήριας ανάλυσης είναι να παρέχει στον αποφασίζοντα τις απαραίτητες πληροφορίες για τη στήριξη της απόφασης στην «επίλυση» ενός προβλήματος. Κατά συνέπεια, η πολυκριτήρια ανάλυση συμβάλλει στον εντοπισμό των κύριων χαρακτηριστικών του εξεταζόμενου προβλήματος (σεναρίου) καθώς και των ιδιοτήτων των εναλλακτικών επιλογών. Η ELECTRE I χρησιμοποιεί την έννοια της «outranking» σχέσης για να καταλήξει στο υποσύνολο των πιθανών βέλτιστων εναλλακτικών.

Στην αρχή παρουσιάζονται οι βασικές περιβαλλοντικές νομοθεσίες, οι οποίες θέτουν αυστηρούς στόχους μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου, τεχνικούς περιορισμούς και παρουσιάζουν την βασική μεθοδολογία υπολογισμού των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα για διεργασίες βιοενέργειας. Στην συνέχεια, παραθέτονται οι μεθοδολογίες της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής οι οποίες εφαρμόζονται για την περιβαλλοντική και οικονομική αξιολόγηση κάθε σεναρίου. Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της μεθόδου Electre I, η οποία και εφαρμόζεται για την αξιολόγηση και σύγκριση διαφορετικών σεναριών μετασκευής για κάθε βιομηχανικό τομέα.

Στόχος της διπλωματικής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων μετασκευής για τους πέντε προαναφερθείς βιομηχανικούς τομείς, βάσει περιβαλλοντικών, οικονομικών, κοινωνικών κριτηρίων και κριτηρίων κινδύνων/ αβεβαιότητας. Επίσης, αναπτύχθηκε εργαλείο εφαρμογής της μεθοδολογίας αυτής σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

Τέλος, αναλύονται τα βασικά αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν από την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, καθώς επίσης παραθέτονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Abstract

The urgency to ensure a greenhouse gas emissions reduction in order to achieve the objectives of the Paris Agreement, leads to the need for immediate action. The energy sector is responsible for the largest share of total greenhouse gas emissions in the EU. In this regard, the implemention of retrofit measures in industries, that is the technical measures applied to existing production facilities that support bioenergy utilization as an alternative to fossil energy, is a very promising practice.

In the context of this dissertation, five industries that are characterized as highly-intensive energy consumption were investigated and evaluated. Specifically in the industries of CHP, in fossil fired power plant, fossil refineries and first generation biofuels industries.

The ELECTRE I multi-criteria decision analysis method was used to evaluate the alternatives of each scenario. The aim of the multicriteria analysis is to provide the decision-maker with the necessary information in order to support a decision in the "solution" of the problem. Consequently, the multi-criteria analysis helps to identify the main characteristics of the investigated problem (scenario) as well as the properties of the alternatives. The ELECTRE I use the concept of «outranking» relationship to end up in a subset of possible best alternatives.

At the beginning, the basic environmental political issues are presented, which set strict targets for the reduction of greenhouse gas emissions, technical limitations and present the basic methodology implemented for the calculation of the total carbon dioxide emissions released from the bioenergy processes. Then, the methodologies of Life Cycle Analysis and Life Cycle Cost Analysis are listed, which are applied for the environmental and economic evaluation of each scenario. Finally, the basic principles of the ELECTRE I method are presented, which is applied for the evaluation and comparison of different retrofit scenarios for each industrial sector.

The aim of the dissertation is to develop a methodology for the evaluation of different retrofit scenarios for the five aforementioned industrial sectors, based on environmental, economic, social and risk/ uncertainty criteria. A tool was also developed to apply this methodology in programming language Python.

In the end, the main results and conclusions of the dissertation are analyzed, as well as suggestions for future research are recommended.

1 Εισαγωγή

Η βιοενέργεια προέρχεται από ένα ευρύ φάσμα πρώτων υλών, όπως γεωργική βιομάζα (κατάλοιπα καλλιεργειών, ζωικά απόβλητα, ενεργειακές καλλιέργειες, κ.λπ.), δασοκομία (υπολείμματα υλοτομίας, υποπροϊόντα επεξεργασίας ξύλου, μαύρο υγρό (black liquor) από τη βιομηχανία χαρτοπολτού και χαρτιού, καυσόξυλα, κ.λπ.), και άλλους τύπους βιολογικών αποβλήτων (απόβλητα τροφίμων, οργανικό κλάσμα αστικών στερεών αποβλήτων – ΑΣΑ, κ.λπ.). Εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ΕΕ όσον αφορά την ακαθάριστη τελική κατανάλωση[1], παρά την ταχεία ανάπτυξη της αιολικής και ηλιακής ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία.

Η βιομάζα μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) βάσει της εκάστοτε Οδηγίας (Renewable Energy Directive – RED II[2]) για το 2030 και τη στρατηγική για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας άνθρακα έως το 2050 της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας (Green Deal) [24]. Για να επιτευχθεί μια οικονομία ουδέτερη στον άνθρακα, κρίνετε αναγκαίο να εφαρμοστεί μια στρατηγική για την κατάργηση των ορυκτών καυσίμων. Ενόψει της μεταβατικής περιόδου σταδιακής κατάργησης της χρήσης ορυκτών καυσίμων, ο σχεδιασμός και η παραγωγή νέων προϊόντων και υλικών προτείνεται να βασίζεται στην έννοια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ ή Life-Cycle Assessment, LCA).

Στην Οδηγία 2014/24/ΕΕ[3] (Άρθρο 2, μέρος 20) ως «κύκλος ζωής» νοείται: «*όλα τα διαδοχικά και/ ή διασυνδεδεμένα στάδια, συμπεριλαμβανομένων της έρευνας και της ανάπτυξης που θα πραγματοποιηθούν, της παραγωγής, της εμπορίας και των όρων της, της μεταφοράς, της χρήσης και της συντήρησης, καθ' όλη τη διάρκεια ύπαρξης ενός προϊόντος ή ενός έργου ή της παροχής μιας υπηρεσίας, από την αγορά των πρώτων υλών ή την παραγωγή των πόρων μέχρι την απόρριψη, την εκκαθάριση και το τέλος της υπηρεσίας ή χρήσης*».

Η μεθοδολογία ΑΚΖ αναπτύχθηκε αρχικά για να δημιουργήσει ένα εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων με σκοπό την διάκριση μεταξύ προϊόντων, συστημάτων προϊόντων ή υπηρεσιών[4] για περιβαλλοντικούς λόγους. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να γνωστοποιήσουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, δηλαδή τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των προϊόντων και υπηρεσιών τους.

[1] Η ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, όπως ορίζεται στο Άρθρο 2 της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ (EC 2009) και EC 2018, σημαίνει: η εμπορεύσιμη ενέργεια που παραδίδονται για ενεργειακούς σκοπούς στη βιομηχανία, τις μεταφορές, τα νοικοκυριά, τις υπηρεσίες συμπεριλαμβανομένων των δημοσίων υπηρεσιών, τη γεωργία, τη δασοκομία και την αλιεία· την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από τον κλάδο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας· την παραγωγή θερμότητας και μεταφοράς καυσίμων· και της απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας κατά την διανομή και μετάδοση.

[2] Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources

[3] Directive 2014/24/EU of the European Parliament and of the Council of 26 February 2014 on public procurement

[4] Ο όρος «προϊόν» χρησιμοποιείται ως συνώνυμο για προϊόντα, συστήματα προϊόντων και υπηρεσίες.

2 Περιβαλλοντική νομοθεσία της ΕΕ

Η αειφόρος ανάπτυξη έχει συμπεριληφθεί ως σημαντικός παράγοντας στις περισσότερες ατζέντες των κυβερνήσεων από τη σύνοδο κορυφής του Ρίο του 1992. Αν και δεν έχει δοθεί ακριβής ορισμός της αειφόρου ανάπτυξης, είναι προφανές ότι η ΑΚΖ ή μια προσέγγιση κύκλου ζωής προτείνεται να χρησιμοποιηθεί για να διασφαλιστεί ότι οι δράσεις προς ένα πιο βιώσιμο μέλλον θα έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα [26]. Προς τον σκοπό της ενεργειακής μετάβασης από τα ορυκτά καύσιμα προς καθαρότερες πηγές ενέργειας και την εκπλήρωση των δεσμεύσεων της Συμφωνίας των Παρισίων για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenouse Gas - GHG), η ΕΕ συμφώνησε στην αλλαγή του πλαισίου ενεργειακής πολιτικής της.

Η συμφωνία του Παρισιού, που εγκρίθηκε από όλα τα συμβαλλόμενα μέρη των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος (United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC)[5] τον Δεκέμβριο του 2015, συνδέει τις πολιτικές του σήμερα και της κλιματικής ουδετερότητας πριν από το τέλος αυτού του αιώνα. Η συμφωνία καθορίζει ένα παγκόσμιο σχέδιο δράσης για να θέσει τον κόσμο σε μία κατεύθυνση προς την αποφυγή επικίνδυνων κλιματικών αλλαγών, περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη σε επίπεδα κάτω από τους 2°C, και συνεχίζοντας τις προσπάθειες για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής στους 1.5°C.

Το πλαίσιο πολιτικής για το κλίμα και την ενέργεια του 2030 περιλαμβάνει πολιτικούς στόχους για ολόκληρη την ΕΕ. Υιοθετήθηκε από το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο τον Οκτώβριο του 2014, συμβάλλοντας στην πρόοδο προς μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα και στη δημιουργία ενός ενεργειακού συστήματος που εξασφαλίζει προσιτή ενέργεια για όλους τους καταναλωτές, αυξάνει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της ΕΕ, μειώνει την εξάρτησή μας από τις εισαγωγές ενέργειας, δημιουργεί νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη και θέσεις εργασίας και αποφέρει οφέλη για το περιβάλλον και την υγεία, π.χ. μέσω της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης [23].

Βάσει της Συμφωνίας του Παρισιού, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι ένα σύνολο πρωτοβουλιών πολιτικής που επιβεβαιώνουν τη φιλοδοξία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής να καταστήσει την Ευρώπη την πρώτη ουδέτερη για το κλίμα ήπειρο έως το 2050. Για την επίτευξη αυτής της πολιτική φιλοδοξία, η Ευρωπαϊκή επιτροπή αύξησε τον στόχο του 2030 για το κλίμα, σχετικά με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, από 40% σε τουλάχιστον 50%, και 55%, με υπεύθυνο τρόπο από τα κράτη-μέλη της ΕΕ. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί εξετάζοντας όλους τους βασικούς οικονομικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων τους τομείς της ενέργειας, των μεταφορών, της βιομηχανίας και της γεωργίας.

Στο πλαίσιο της δέσμης μέτρων για το κλίμα και την ενέργεια της «Ευρώπη 2020» [25], η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε το 2009 μια σημαντική Οδηγία για τη βιοενέργεια και τα βιοκαύσιμα «Η Οδηγία για τις ΑΠΕ (RED) (2009/28/ΕΚ)[6]» που έθεσε στόχους για την κατανάλωση τους και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά την χρήση τους. Αυτή η Οδηγία εισήγαγε επίσης ένα σύνολο κριτηρίων αειφορίας, αποκλείοντας την παραγωγή βιομάζας από γη με υψηλή αξία βιοποικιλότητας ή αποθέματα άνθρακα.

[5] Λιστα των μελών της UNFCCC στον ιστότοπο: https://unfccc.int/process/parties-non-party-stakeholders/parties-convention-and-observer-states
[6] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources.

Τον Νοέμβριο του 2016, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε ένα μεγάλο πακέτο μέτρων σχετικά με την πρωτοβουλία για «Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους». Στο πλαίσιο αυτού, η Επιτροπή ενέκρινε νομοθετική πρόταση για αναδιατύπωση της Οδηγίας για τις ΑΠΕ (RED II[7]). Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της ΕΕ πρότειναν τροποποιήσεις και μια τελική συμβιβαστική συμφωνία μεταξύ των θεσμικών οργάνων της ΕΕ, η οποία συμφωνήθηκε στις 14 Ιουνίου 2018. Βάσει της RED II, ο συνολικός στόχος της ΕΕ για κατανάλωση ΑΠΕ έως το 2030 αυξήθηκε από 27% - στόχος που καθορίστηκε στην προηγούμενη έκδοση της Οδηγίας RED - σε 32%.

Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι σημαντικότεροι στρατηγικοί στόχοι της ΕΕ οι οποίοι συμβάλουν στην αύξηση της κατανάλωσης βιομάζας στον ενεργειακό τομέα.

Πίνακας 1. Σύνοψη των πολιτικών / νομοθεσιών που σχετίζονται με την προώθηση της βιομάζας στον ενεργειακό τομέα.

Πολιτική / Νομοθεσία	Στρατηγικός στόχος
Συμφωνία των Παρισίων	Αποφυγή της αλλαγής του κλίματος, περιορίζοντας την υπερθέρμανση του πλανήτη σε λιγότερο από 2°C έως το 2030
Πράσινη Συμφωνία	Μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε τουλάχιστον 50% και 55% με υπεύθυνο τρόπο έως το 2050
Οδηγία (ΕΕ) 2018/2001 (RED II)	32% κατανάλωση ΑΠΕ έως το 2030

Η μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου θα αποφέρουν σημαντικά οφέλη από την σκοπιά του καταναλωτή, του περιβάλλοντος και της οικονομίας [22]. Η περιβαλλοντική στρατηγική δείχνει πώς η Ευρώπη μπορεί να δείξει το δρόμο στην ουδετερότητα του κλίματος, επενδύοντας σε ρεαλιστικές τεχνολογικές λύσεις, ενδυναμώνοντας τους πολίτες και ευθυγραμμίζοντας τη δράση της με βασικούς τομείς όπως η βιομηχανική πολιτική, τα οικονομικά, ή η έρευνα. Παράλληλα, μπορεί να διασφαλίσει την μετάβαση πέρα των ορυκτών καυσίμων με κοινωνικά δίκαιο τρόπο [21]. Η ΑΚΖ ως εργαλείο μπορεί να διασφαλίσει την μετάβαση αυτή σε ορισμένες περιπτώσεις, ενώ ως προσέγγιση ή ως στρατηγικό εργαλείο μπορεί να δώσει οδηγίες αλλά όχι ολόκληρη την λύση για πλήρη απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Ως εκ τούτου πρέπει να εφαρμοστεί μαζί με άλλα εργαλεία όπως εκτίμηση κινδύνου, εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και ανάλυση κόστους – οφέλους.

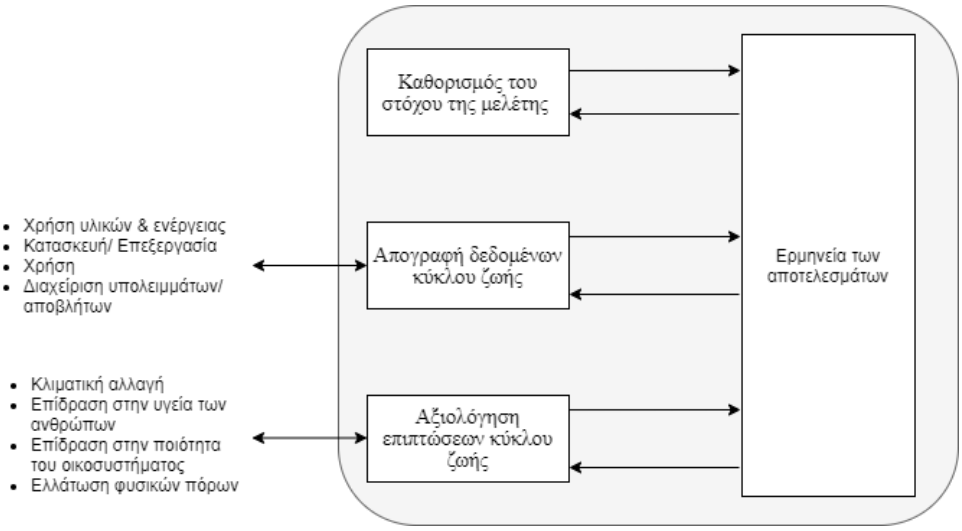
[7] Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources.

3 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ ή Life Cycle Analysis - LCA) μελετά τις περιβαλλοντικές πτυχές και τις πιθανές επιπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας (cradle-to-grave). Ο τυπικός κύκλος ζωής αποτελείται από μια σειρά σταδίων που ξεκινούν από την εξόρυξη πρώτων υλών, μέσω του σχεδιασμού και της διαμόρφωσης, της επεξεργασίας, της κατασκευής, της συσκευασίας, της διανομής, της χρήσης, της επαναχρησιμοποίησης, της ανακύκλωσης και, τελικά, της διάθεσης αποβλήτων. Προβάλλει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός υπό μελέτη συστήματος στους τομείς των οικολογικών συστημάτων, της ανθρώπινης υγείας και της εξάντλησης των πόρων, αλλά δεν λαμβάνει υπ' όψη τις οικονομικές ή κοινωνικές επιπτώσεις [26]. Αυτό που ξεκίνησε ως μια προσέγγιση για τη σύγκριση της περιβαλλοντικής ευαισθησίας (greenness) των προϊόντων, έχει εξελιχθεί σε μια τυποποιημένη μέθοδο για την παροχή μιας υγιούς επιστημονικής βάσης για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα στη βιομηχανία και την διακυβέρνηση.

Η ΑΚΖ ονομάζεται επίσης «ανάλυση cradle-to-grave» ή «Ecobalance». Το εργαλείο της ΑΚΖ μπορεί να διασφαλίσει ότι οι επιλογές μιας εταιρείας είναι περιβαλλοντικά ορθές, είτε στο σχεδιασμό, την κατασκευή ή τη χρήση ενός προϊόντος ή υπηρεσίας, αλλά δεν μπορεί - ή τουλάχιστον δεν πρέπει - να χρησιμοποιηθεί για να ισχυριστεί ότι ένα συγκεκριμένο προϊόν ή υπηρεσία είναι φιλικό προς το περιβάλλον. Αυτή τη στιγμή αποτελεί επιλογή για τις εταιρείες και όχι υποχρέωση.

Η ΑΚΖ είναι μια τυποποιημένη μεθοδολογία, η οποία προσφέρει αξιοπιστία και διαφάνεια. Τα πρότυπα παρέχονται από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (International Organization for Standardization - ISO) στα ISO 14040 και 14044, όπου και περιγράφουν τα τέσσερα κύρια στάδια της ΑΚΖ (Σχήμα 1):



Σχήμα 1. Στάδια της ΑΚΖ (μεταφρασμένο και προσαρμοσμένο από τις πρωτότυπες πηγές [15] και [43]).

1. Σαφής καθορισμός του στόχου της μελέτης - επιλογή λειτουργικής μονάδας

Σε αυτό το στάδιο περιγράφονται οι πιο σημαντικές (συχνά υποκειμενικές) επιλογές, όπως ο λόγος για την εκτέλεση της ΑΚΖ, ο ακριβής ορισμός του συστήματος και του κύκλου ζωής του προϊόντος/ υπηρεσίας, και τα όρια του συστήματος. Περιλαμβάνει επίσης την επιλογή της «λειτουργικής μονάδας», ένα μοναδικό χαρακτηριστικό της ΑΚΖ που το ξεχωρίζει από τις άλλες προσεγγίσεις περιβαλλοντικής εκτίμησης. Μια λειτουργική μονάδα είναι μια ποσοτικοποιημένη περιγραφή της απόδοσης του συστήματος, που ορίζεται από το προϊόν ή την υπηρεσία που παρέχεται από το σύστημα που μελετάται, και διαμορφώνεται επιπλέον από τον στόχο της μελέτης [16].

2. Συγκεντρωτική απογραφή σχετικών ενεργειακών και υλικών εισροών και περιβαλλοντικών εκπομπών (Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής/ Life Cycle Inventory analysis - LCI)

Η ανάλυση απογραφής εξετάζει όλες τις περιβαλλοντικές εισροές και εκροές που σχετίζονται με ένα σύστημα, όπως η χρήση πρώτων υλών και ενέργειας, η εκπομπή ρύπων και οι ροές αποβλήτων.

3. Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με καταγεγραμμένες εισόδους και εκπομπές (Αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής/ Life Cycle Impact Assessment - LCIA)

Η αξιολόγηση επιπτώσεων κύκλου ζωής μπορεί να εκφραστεί ως η «ποσοτική ή/ και ποιοτική διαδικασία για τον χαρακτηρισμό και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των περιβαλλοντικών παρεμβάσεων που προσδιορίζονται στον πίνακα απογραφής» [38]. Αποτελείται από τους ακόλουθους παράγοντες:

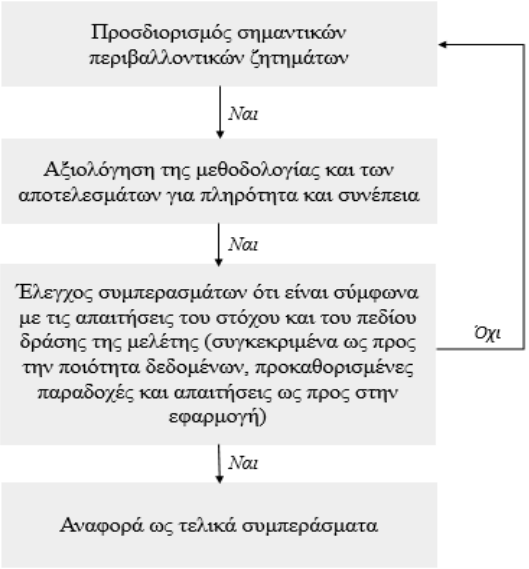
- *Ταξινόμηση*: στοχεύει στην εκχώρηση δεδομένων εισόδου και εξόδου σε κατηγορίες που μπορούν να τοποθετηθούν σε κλίμακα, διαιρώντας τις σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες χώρου: παγκόσμιες επιπτώσεις, περιφερειακές επιπτώσεις και τοπικές επιπτώσεις.
- *Χαρακτηρισμός*: είναι κυρίως ένα ποσοτικό βήμα που βασίζεται στην επιστημονική ανάλυση των σχετικών περιβαλλοντικών διαδικασιών, αποδίδοντας τη σχετική συμβολή κάθε εισόδου και εξόδου στις επιλεγμένες κατηγορίες επιπτώσεων. Αυτό γίνεται με την έννοια ενός δείκτη που αντιπροσωπεύει μια συνολική αλλαγή ή συνεισφορά σε αυτήν την κατηγορία. Κάθε κατηγορία πρέπει να έχει ένα συγκεκριμένο μοντέλο για τη σχέση μεταξύ των δεδομένων εισόδου και εξόδου και του δείκτη.
- *Στάθμιση*: στοχεύει στην κατάταξη, την σπουδαιότητα ή, ενδεχομένως, το άθροισμα των αποτελεσμάτων διαφορετικών κατηγοριών της αξιολόγησης, με σκοπό να επιτευχθεί η σχετική σημασία αυτών των διαφορετικών αποτελεσμάτων.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων που διερευνώνται είναι: i. *Αβιοτικοί πόροι*, ii. *Βιοτικοί πόροι*, iii. *Χρήση γης*, iv. *Υπερθέρμανση του πλανήτη*, v. *Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος*, vi. *Οικολογικές επιπτώσεις λόγω τοξικότητας από την χρήση χημικών*, vii. *Επιπτώσεις στον άνθρωπο λόγω τοξικότητας από την χρήση χημικών*, viii. *Σχηματισμός φωτοχημικών οξειδωτικών*, ix. *Οξύνιση*, x. *Ευτροφισμός*, xi. *Εργασιακό περιβάλλον*.

4. <u>Ερμηνεία των αποτελεσμάτων με σκοπό να βοηθήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να λάβουν μια πιο τεκμηριωμένη απόφαση</u>

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ΑΚΖ είναι μια συστηματική διαδικασία για τον εντοπισμό, την πιστοποίηση, τον έλεγχο και την αξιολόγηση πληροφοριών από τα συμπεράσματα της ανάλυσης ή/ και της εκτίμησης επιπτώσεων ενός συστήματος. Επίσης, περιλαμβάνει την παρουσίασή των συμπερασμάτων αυτών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της εφαρμογής όπως περιγράφεται στον στόχο της μελέτης. Η ερμηνεία του κύκλου ζωής είναι επίσης μια διαδικασία επικοινωνίας που έχει σχεδιαστεί για να δίνει αξιοπιστία στα αποτελέσματα των πιο τεχνικών μερών της ΑΚΖ, δηλαδή της ερμηνείας της ανάλυσης και της εκτίμησης επιπτώσεων, σε μια μορφή που είναι τόσο κατανοητή όσο και χρήσιμη για τον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων (decision-maker - DM). Το πρότυπο ISO 14044 περιγράφει έναν αριθμό ελέγχων με σκοπό να ελέγξει εάν τα συμπεράσματα υποστηρίζονται επαρκώς από τα δεδομένα και από τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται.

Η ερμηνεία πραγματοποιείται σε αλληλεπίδραση με τις τρεις άλλες φάσεις της ΑΚΖ. Εάν τα αποτελέσματα της ερμηνείας της ανάλυσης ή της εκτίμησης επιπτώσεων διαπιστωθεί ότι δεν πληρούν τις απαιτήσεις που ορίζονται στη φάση καθορισμού του στόχου, η ερμηνεία της ανάλυσης πρέπει να βελτιωθεί π.χ. με αναθεώρηση των ορίων του συστήματος, περαιτέρω συλλογή δεδομένων κ.λπ., και μετά να ακολουθήσει βελτίωση στην εκτίμηση επιπτώσεων. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία πρέπει να γίνεται έως ότου εκπληρωθούν οι απαιτήσεις του στόχου και μπορεί να περιγραφεί από τα ακόλουθα βήματα:



Σχήμα 2. Επαναληπτική διαδικασία ερμηνείας αποτελεσμάτων [44].

Αυτή η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί έως ότου ολοκληρωθεί το βήμα 3.

Ο σκοπός της ερμηνείας είναι να μειωθεί ο αριθμός των ποσοτικοποιημένων δεδομένων ή/ και των συμπερασμάτων της ερμηνείας της ανάλυσης ή/ και της εκτίμησης επιπτώσεων στα βασικά αποτελέσματα για τη διευκόλυνση μιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων που βασίζεται, μεταξύ άλλων δεδομένων, στη μελέτη ΑΚΖ.

Το κύριο πλεονέκτημα της ΑΚΖ είναι η υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων με επιστημονικά και επαρκή δεδομένα [26]. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει:

- Στον προσδιορισμό ευκαιριών για βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός συστήματος σε διάφορα σημεία του κύκλου ζωής τους.
- Στην ενημέρωση των υπευθύνων λήψης αποφάσεων στην βιομηχανία και σε κυβερνητικούς ή μη κυβερνητικούς οργανισμούς (π.χ. για σκοπούς στρατηγικού σχεδιασμού, καθορισμού προτεραιοτήτων, σχεδιασμού συστήματος ή διαδικασίας, ή επανασχεδιασμού).
- Στην επιλογή σχετικών δεικτών περιβαλλοντικής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένων τεχνικών μέτρησης.
- Στο μάρκετινγκ (π.χ. εφαρμογή ενός συστήματος οικολογικής σήμανσης, υποβολή περιβαλλοντικής ευθύνης ή σύνταξη δήλωσης περιβαλλοντικών υπηρεσιών) [16].

Για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης όλων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων που ερευνώνται στην παρούσα διπλωματική, έγινε χρήση του λογισμικού SimaPro.

3.1 Λογισμικό SimaPro

Το SimaPro είναι ένα εργαλείο αξιολόγησης του κύκλου ζωής, που αναπτύχθηκε από την εταιρία PRé Consultants[8], στην Ολλανδία. Το SimaPro περιλαμβάνει: (α) ένα έξυπνο περιβάλλον εργασίας για μοντελοποίηση του συστήματος από τον χρήστη, (β) μια βάση δεδομένων απογραφής του κύκλου ζωής που αποτελείται από συλλογές υλικών, ροές ενέργειας και εκπομπές καθ' όλο τον κύκλο ζωής του συστήματος, (γ) διάφορες μεθοδολογίες αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και (δ) ένα υπολογιστικό εργαλείο που συνδυάζει δεδομένα από τις βάσεις δεδομένων του λογισμικού σύμφωνα με την προσομοίωση του συστήματος στη διεπαφή χρήστη.

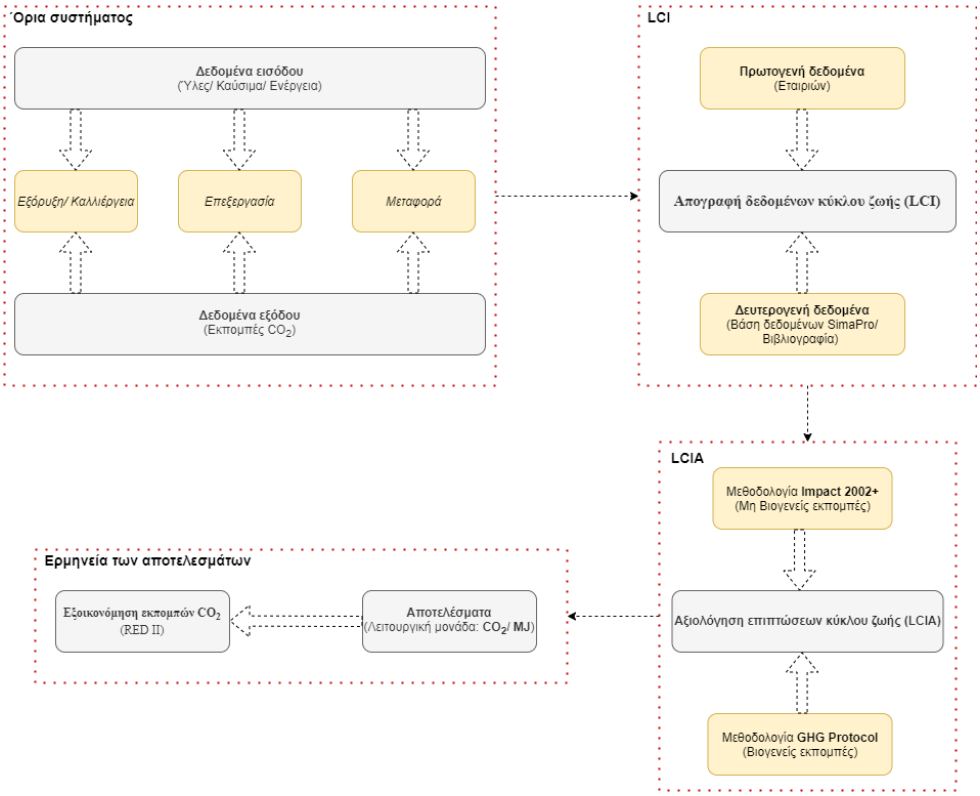
Παγκοσμίως υπάρχει μεγάλη ποικιλία εργαλείων εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων με βάση την ΑΚΖ. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro PhD, έκδοση 8.2.3[9] για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των μελετών περίπτωσης που αναλύθηκαν. Αυτό το πακέτο λογισμικού παρουσιάζει αρκετά ανταγωνιστικά χαρακτηριστικά: (i) διαθέτει πολύ εκτεταμένη και λεπτομερή βάση δεδομένων κύκλου ζωής, (ii) χρησιμοποιεί πολλαπλές μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων, (iii) είναι φιλική προς το χρήστη και αρκετά ευέλικτη στο σχεδιασμό πολλών προϊόντων και συστημάτων και (iv) είναι ικανό να παρουσιάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης με διαφανή και αποτελεσματικό τρόπο [39, 77].

Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα είτε από παρόμοιες μελέτες από την βιβλιογραφία, είτε από τη βάση δεδομένων Ecoinvent Database του SimaPro. Το Ecoinvent αποτελεί βάση δεδομένων ΑΚΖ η οποία έχει δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας ευρωπαϊκά βιομηχανικά δεδομένα [31].

[8] PRé Sustainability, 2019. http://www.pre-sustainability.com/simapro-lcasoftware.
[9] Το λογισμικό SimaPro PhD (version 8.2) που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στο ΕΚΕΤΑ.

Για την εκτίμηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία IMPACT 2002+. Η IMPACT 2002+ είναι μια τυπική μεθοδολογία AKZ που αξιολογεί τις πιθανές περιβαλλοντικές επιπτώσεις βάσει κατάλληλα επιλεγμένων (κανονικοποιημένων - normalized) μετρήσεων και δεικτών που σχετίζονται με συγκεκριμένα ποιοτικά χαρακτηριστικά περιβάλλοντος. Αυτή η μέθοδος συνδέει όλους τους τύπους αποτελεσμάτων απογραφής του κύκλου ζωής σε 14 κατηγορίες μεσαίου σημείου (mid-point) με τέσσερις κατηγορίες επίπτωσης, οι οποίες είναι (i) η ανθρώπινη υγεία, (ii) η ποιότητα οικοσυστήματος, (iii) η κλιματική αλλαγή και (iv) οι φυσικοί πόροι. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κατηγορίες «μεσαίου σημείου» αναφέρονται σε δείκτες που εκφράζουν επιπτώσεις κάπου μεταξύ της φάσης αιτίας (Απογραφή δεδομένων κύκλου ζωής - LCI) και του καταληκτικού αποτελέσματος (επιβλαβείς συνέπειες). Σύμφωνα με άλλες μεθόδους περιβαλλοντικής εκτίμησης (δηλ. Eco-indicator 99, ReCiPe, CML-2001), η IMPACT 2002+ λαμβάνει υπόψη μόνο τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ορυκτά καύσιμα. Για την εκτίμηση των βιογενών εκπομπών άνθρακα, εφαρμόστηκε η μέθοδος Greenhouse Gas Protocol[10] σε συνδυασμό με την IMPACT 2002+.

Η σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας αξιολόγησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων απεικονίζεται στο Σχήμα 3. Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που πρέπει να μειωθούν από τη χρήση του τελικού ενεργειακού προϊόντος σύμφωνα με τις απαιτήσεις της RED II.



Σχήμα 3. Σχηματική απεικόνιση της συνολικής περιβαλλοντικής διαδικασίας.

[10] SimaPro Database Manual - Methods, https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf

4 Μεθοδολογία RED II

Σύμφωνα με την RED II στην ΑΚΖ για καύσιμα βιομάζας, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα στάδια της παραγωγικής τους διαδικασίας:

- ✓ καλλιέργεια πρώτων υλών,
- ✓ αλλαγές αποθεμάτων άνθρακα που προκαλούνται από την αλλαγή της χρήσης γης,
- ✓ εκπομπές κατά την επεξεργασία,
- ✓ εκπομπές από τη μεταφορά και διανομή προϊόντων και πρώτων υλών,
- ✓ εκπομπές από τη χρήση του καυσίμου,
- ✓ μείωση εκπομπών από την δέσμευση άνθρακα και την γεωλογική αποθήκευση,
- ✓ μείωση εκπομπών από δέσμευση και αντικατάσταση άνθρακα,
- ✓ χρήση των παραπροϊόντων.

Μια απλοποιημένη προσέγγιση της ΑΚΖ[11] περιγράφεται στην RED II (Παράρτημα VI, μέρος Β). Η ανάλυση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της μείωσης αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή και χρήση βιοκαυσίμων σύμφωνα με τη RED II είναι υποχρεωτική για κάθε ποσότητα καυσίμων που εισάγονται στην ευρωπαϊκή αγορά. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την παραγωγή και τη χρήση καυσίμων βιομάζας πριν από τη μετατροπή σε τελική ενέργεια υπολογίζονται ως (ΕΕ 2018):

$$\boldsymbol{E = eec + el + ep + etd + eu - esca - eccs - eccr\ [g\ CO2eq/MJ]}$$ [12]

όπου:

E = συνολικές εκπομπές από την παραγωγή καυσίμου πριν τη μετατροπή ενέργειας,

e_{ec} = εκπομπές από την την καλλιέργεια πρώτων υλών,

e_l = ετήσιες εκπομπές από αλλαγές σε αποθέματα άνθρακα στο έδαφος που προκαλούνται από την αλλαγή χρήσης γης,

e_p = εκπομπές από επεξεργασία,

e_{td} = εκπομπές από τη μεταφορά και τη διανομή,

e_u = εκπομπές κατά την χρήση του καυσίμου,

e_{sca} = μείωση εκπομπών από τη συσσώρευση άνθρακα στο έδαφος μέσω βελτιωμένης γεωργικής διαχείρισης,

[11] Μια «πλήρης προσέγγιση ΑΚΖ» σύμφωνα με το ISO 14 040 των καυσίμων βιομάζας ενδέχεται να οδηγήσει στις περισσότερες περιπτώσεις σε υψηλότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια σε χαμηλότερη μείωση αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με την απλοποιημένη προσέγγιση της RED II.

[12] Οι συνολικές εκπομπές (Ε) μπορεί να έχουν αρνητική τιμή εάν η μείωση εκπομπών (π.χ. e_{ccr}) είναι υψηλότερη από τις εκπομπές (π.χ. e_p, e_{td}).

e_{ccs} = μείωση εκπομπών από τη δέσμευση άνθρακα και τη γεωλογική αποθήκευση, και

e_{ccr} = μείωση εκπομπών από δέσμευση και αντικατάσταση άνθρακα.

Σύμφωνα με την οδηγία, δεν λαμβάνονται υπόψη οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την κατασκευή μηχανημάτων και εξοπλισμού.

Η λειτουργική μονάδα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου εκφράζεται:

(α) σε γραμμάρια ισοδύναμου CO_2 ανά MJ καυσίμου βιομάζας (gCO_{2eq}/MJ), όταν το τελικό προϊόν είναι το καύσιμο βιομάζας και
(β) σε γραμμάρια ισοδύναμου CO_2 ανά MJ τελικού ενεργειακού προϊόντος (θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια) (gCO_{2eq}/MJ), όταν χρησιμοποιούνται καύσιμα βιομάζας για θέρμανση ή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση καυσίμων βιομάζας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης, συμπεριλαμβανομένης της μετατροπής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια και/ ή θερμότητα ή ψύξη που παράγονται υπολογίζονται ως εξής:

(i) Για ενεργειακές εγκαταστάσεις που παράγουν μόνο θερμότητα:

$$\boldsymbol{EC_h = \frac{E}{\eta_h}}$$

(ii) Για ενεργειακές εγκαταστάσεις που παρέχουν μόνο ηλεκτρική ενέργεια:

$$\boldsymbol{EC_{el} = \frac{E}{\eta_{el}}}$$

όπου:

$EC_{h,el}$ = συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το τελικό ενεργειακό προϊόν,

E = συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πριν από την τελική μετατροπή του καυσίμου σε ενέργεια,

η_{el} = ηλεκτρική απόδοση, η οποία ορίζεται ως η ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται διαιρούμενη με την ετήσια είσοδο καυσίμου, βάση το ενεργειακό του περιεχόμενο,

η_h = θερμική απόδοση, η οποία ορίζεται ως η ετήσια ωφέλιμη παραγωγή θερμότητας διαιρούμενη με την ετήσια είσοδο καυσίμου, βάση το ενεργειακό του περιεχόμενο.

Τέλος, η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (saving) κατά την παραγωγή θερμότητας/ ψύξης και ηλεκτρικής ενέργειας από τη χρήση καυσίμων βιομάζας υπολογίζεται ως εξής:

$$\boldsymbol{SAVING = \frac{EC_{F(h\&c,el)} - EC_{B(h\&c,el)}}{EC_{F(h\&c,el)}}}$$

όπου:

$EC_{B(h\&c,el)}$ = συνολικές εκπομπές από τη θερμότητα ή την ηλεκτρική ενέργεια,

$EC_{F(h\&c,el)}$ = συνολικές εκπομπές από το συγκριτικό όρο ορυκτών καυσίμων για ωφέλιμη θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια.

Ο συγκριτικός αυτός όρος ορίζεται από την RED II βάσει της τελικής χρήσης του καυσίμου. Στην περίπτωση των βιοκαυσίμων ή καυσίμων βιομάζας που καταναλώνονται στον τομέα των μεταφορών, οι εκπομπές από το συγκριτικό ορυκτό καύσιμο $E_{F(t)}$ είναι 94 gCO_{2eq}/MJ. Αντίστοιχα, στην περίπτωση των βιορευστών ή καυσίμων βιομάζας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η τιμή $EC_{F(e)}$ είναι 183 gCO_{2eq} ανά MJ ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας, καθώς και για την παραγωγή θέρμανσης και/ή ψύξης, η αντίστοιχη τιμή του συγκριτικού ορυκτού καυσίμου $EC_{F(h\&c)}$ είναι 80 gCO_{2eq} ανά MJ θερμότητας και/ή ψύξης. Στην περίπτωση των καυσίμων βιομάζας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις εξόχως απόκεντρες περιοχές, η αντίστοιχη τιμή είναι 212 gCO_{2eq} ανά MJ ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, στην περίπτωση των καυσίμων βιομάζας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ωφέλιμης θερμότητας, στην οποία μπορεί να αποδειχθεί η άμεση φυσική υποκατάσταση του άνθρακα, η τιμή του συγκριτικού ορυκτού καυσίμου $EC_{F(h)}$ είναι 124 gCO_{2eq} ανά MJ θερμότητας. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Συγκριτικοί όροι υπολογισμού μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Τελική χρήση	**EC_F [gCO_{2eq}/MJ]**
Καύσιμα στον τομέα των μεταφορών	94
Ηλεκτρική ενέργεια	183
Θέρμανση και/ ή ψύξη	80
Ηλεκτρική ενέργεια για τις απόκεντρες περιοχές	212
Αντικατάσταση άνθρακα για παραγωγή θερμότητας	124

5 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κόστους Κύκλου Ζωής

Η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (ΑΚΚΖ ή Life Cycle Costing - LCC) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες από το Υπουργείο Άμυνας στα μέσα της δεκαετίας του 1960 [18]. Αναφέρεται ότι εφάρμοσαν ΑΚΚΖ στην προμήθεια στρατιωτικού εξοπλισμού, καθώς διαπίστωσαν ότι το κόστος απόκτησης αντιπροσώπευε μόνο ένα μικρό μέρος του συνολικού κόστους για τα οπλικά συστήματα, ενώ το κόστος λειτουργίας και υποστήριξης περιελάμβανε έως και το 75% του συνολικού κόστους [3].

Έκτοτε, πολλοί διαφορετικοί τομείς και κλάδοι έχουν δείξει ενδιαφέρον για τον υπολογισμό της βέλτιστης κατανομής του προϋπολογισμού τους, εκτιμώντας το κόστος που προκύπτει καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, υπηρεσίας, έργου, επένδυσης κ.λπ. [42].

Όλα τα διαφορετικά πεδία εφαρμογής και οι στόχοι πίσω από την ΑΚΚΖ, έχουν αποδώσει με διαφορετικό τρόπο τον ορισμό του ΚΚΖ. Συγκεκριμένα:

- Για τους Fabrycky & Blanchard (1998) [28], το ΚΚΖ περιλαμβάνει: «*Όλα τα κόστη που σχετίζονται με το προϊόν, το σύστημα ή τη δομή όπως εφαρμόζονται καθ' όλη τη διάρκεια του καθορισμένου κύκλου ζωής*».
- Ένας άλλος ορισμός αναφέρει: «*Η ΑΚΚΖ είναι μια ισχυρή τεχνική που υποστηρίζει τις αναλυτικές διαδικασίες με τις οποίες οι διαχειριστές μπορούν να λάβουν τις πιο οικονομικά αποδοτικές αποφάσεις σχετικά με τις επιλογές που τους παρουσιάζονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής και σε διαφορετικά επίπεδα της εκτίμησης του κόστους κύκλου ζωής*» [56] .
- Σύμφωνα με τους Geissdörfer et al. (2009) [32], από τη σκοπιά του χρήστη, το ΚΚΖ μπορεί να οριστεί ως «*Το άμεσο και έμμεσο κόστος που καθορίζεται από την απόφαση αγοράς, τα οποία εμφανίζονται σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής μιας επένδυσης, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης και της αγοράς, της λειτουργίας και της συντήρησης καθώς και της τελικής χρήσης*».

Οι κύριες κατηγορίες κόστους που μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια ΑΚΚΖ είναι αυτές που σχετίζονται με τα εξής πέντε στάδια: (i) έρευνα, ανάπτυξη και σχεδιασμός, (ii) πρωτογενής παραγωγή, (iii) κατασκευή, (iv) χρήση και (v) διάθεση [42].

Η αρχική ιδέα του ΚΚΖ περιοριζόταν στο οικονομικό κόστος (δηλ. το κόστος των πρώτων υλών, της προμήθειας, της κατασκευής, των καταναλωτών και της τελικής διαχείρισης πριν την τελική διάθεση), ή στο κόστος που βαρύνει άμεσα τους παράγοντες που εμπλέκονται στις χρηματοοικονομικές συναλλαγές και δεν περιλαμβάνει άλλες αναλύσεις βιωσιμότητας (περιβαλλοντικές και κοινωνικές). Επιπλέον, συχνά αντιμετωπίζονται μεμονωμένα τμήματα του κύκλου ζωής (π.χ. εξαιρουμένου του τέλους κύκλους ζωής).

Ως εκ τούτου, οι έννοιες ΚΚΖ δεν πρέπει να συγχέονται με την ΑΚΖ, δεδομένου ότι η περιβαλλοντική ΑΚΖ δεν εξετάζει τα οικονομικά στοιχεία του κύκλου ζωής του προϊόντος, τα οποία πράγματι αποτελούν το κύριο επίκεντρο της ΑΚΚΖ. Υπό αυτήν την έννοια, η ΑΚΚΖ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεταφέρει το περιβάλλον από ένα εξωτερικό ή έμμεσο κόστος σε παράγοντα της αλυσίδας αξίας ως άμεσο ζήτημα ευθύνης, και, ανάλογα με την περίπτωση, ως ένα περιουσιακό στοιχείο [41].

Οι Rebitzer & Hunkeler (2003) [62] εισήχθησαν την εσωτερίκευση των εξωτερικοτήτων (externalities) στην έννοια του ΚΚΖ:

«*Η ΑΚΚΖ είναι μια εκτίμηση όλων των δαπανών που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος που καλύπτονται άμεσα από έναν ή περισσότερους από τους παράγοντες του κύκλου ζωής του προϊόντος (προμηθευτής, παραγωγός, χρήστης/ καταναλωτής, παράγοντας τέλους ζωής) με προσθήκη των εξωτερικοτήτων που αναμένεται να ενσωματωθούν στις μελλοντικές σχετικές αποφάσεις*».

Η περιβαλλοντική μεθοδολογία ΚΚΖ λαμβάνει υπόψη το εξωτερικό περιβαλλοντικό κόστος. Το κόστος αυτό μπορεί να προέρχεται από αποτελέσματα της ΑΚΖ σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες μετρούν για παράδειγμα το εξωτερικό κόστος της συμβολής στην υπερθέρμανση του πλανήτη που σχετίζεται με εκπομπές διαφορετικών αερίων του θερμοκηπίου. Το περιβαλλοντικό κόστος μπορεί να υπολογιστεί επίσης όσον αφορά την οξίνιση (σε γραμμάρια SO_2, NO_x και NH_3), τον ευτροφισμό (σε γραμμάρια NO_x και NH_3), τη χρήση γης ($m_2 \times$ έτος) ή άλλες μετρήσιμες επιπτώσεις.

Για να εισαχθεί σε μια διαδικασία ΚΚΖ, το περιβαλλοντικό κόστος πρέπει να εκφράζεται σε νομισματικούς όρους. Με άλλα λόγια, το περιβαλλοντικό κόστος θα πρέπει να ποσοτικοποιηθεί και να αποδοθεί σε νομισματικούς όρους, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ως πρόσθετο κόστος εισόδου σε μια ΑΚΚΖ. Η ποσοτικοποίηση αυτή αποτελεί ένα περίπλοκο βήμα της μεθοδολογικής προσέγγισης, ειδικά όταν οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις επηρεάζουν μη εμπορεύσιμα αγαθά όπως την ανθρώπινη ζωή, βιοποικιλότητα κ.ά. Οι φυσικές επιπτώσεις αυτές μεταφράζονται σε νομισματικούς όρους μέσω διαφορετικών τεχνικών αξιολόγησης. Αυτές διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες προσεγγίσεις [58]. Οι άμεσες προσεγγίσεις αναφέρονται ως η μέθοδος ενδεχόμενης αποτίμησης που συνίσταται στο να ζητάμε από τα άτομα την προθυμία τους να πληρώσουν, ώστε να αποφεύγονται υποθετικά σενάρια που περιλαμβάνουν μείωση των κινδύνων ή των επιπτώσεων στην υγεία και το περιβάλλον. Οι έμμεσες προσεγγίσεις επιδιώκουν να αποκαλύψουν τιμές για τα μη εμπορεύσιμα αγαθά προσδιορίζοντας συνδέσεις με άλλα εμπορεύσιμα αγαθά ή με συγκεκριμένες συμπεριφορές που έχουν σαφώς καθορισμένη αξία και ενεργούν ως υποκατάστατα ή συμπληρωματικά των εξεταζόμενων προϊόντων [45, 81].

Δεν υπάρχει συγκεκριμένος τύπος για τον υπολογισμό του ΚΚΖ, καθώς το συγκεκριμένο κόστος ενδέχεται να διαφέρει ανάλογα τις παραμέτρους που θα ληφθούν υπόψη και τις διεργασίες στις εκάστοτε μονάδες. Ωστόσο, ένας βασικός τύπος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι [34]:

ΚΚΖ *= [Κόστος αγοράς] + [Κόστος συντήρησης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής] +*

[Κόστος λειτουργίας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής] + [Κόστος χρηματοδότησης] + [Κόστος απόσβεσης] +

[Κόστος τέλους κύκλου ζωής] – [Υπολειμματική αξία]

Συγκεκριμένα:

- *Κόστος αγοράς*, είναι το ποσό της αρχικής επένδυσης.
- *Κόστος συντήρησης*, καλύπτει όλα τα κόστη που επιβαρύνουν την επιχείρησή για να διασφαλίσει ότι το περιουσιακό στοιχείο συνεχίζει να λειτουργεί σωστά. Ανάλογα με το περιουσιακό στοιχείο, μπορεί να περιλαμβάνει ετήσιους ελέγχους, τέλη συντήρησης, εξειδικευμένες επαγγελματικές υπηρεσίες κ.λπ.

- *Λειτουργικά έξοδα,* αναφέρεται στις χρεώσεις που προκύπτουν από τη λειτουργία του ίδιου του περιουσιακού στοιχείου. Αυτό ενδέχεται να περιλαμβάνει στοιχεία όπως ενέργεια/ καύσιμα/ νερό, υπηρεσίες, φόρους κ.λπ.
- *Κόστος χρηματοδότησης,* αναφέρεται στην περίπτωση που το περιουσιακό στοιχείο αγοράστηκε χρησιμοποιώντας χρηματοδότηση. Τότε θα πρέπει επίσης να λαμβάνεται υπόψη τυχόν τέλη τόκων που πληρώνονται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του περιουσιακού στοιχείου.
- *Κόστος απόσβεσης,* είναι η αξία του περιουσιακού στοιχείου που υποτιμήθηκε κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του. Εναλλακτικά είναι το κόστος των αναλωμένων υπηρεσιών κάθε παγίου εκτός της γης.
- *Κόστος τέλους κύκλου ζωής* ή *κόστος διάθεσης ή κατεδάφισης,* το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει τις χρεώσεις που σχετίζονται με την απόρριψη σε ΧΥΤΑ ή τη διάλυση.
- *Υπολειμματική αξία,* περιγράφει την μελλοντική αξία ενός περιουσιακού στοιχείου αφού έχει υποτιμηθεί πλήρως [63].

Αξίζει να σημειωθεί ότι ανάλογα με το περιουσιακό στοιχείο, ορισμένα από τα παραπάνω κόστη ενδέχεται να μην ισχύουν και, ως εκ τούτου, δεν χρειάζεται να συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς [34].

6 Μετασκευή βιομηχανιών

Το 2017 οι βιομηχανίες αντιπροσώπευαν το 16% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας στην ΕΕ, εξαιρουμένης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, και του 25% εάν ληφθεί υπόψη η ηλεκτρική ενέργεια. Μόνο το 13% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας αυτής προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές, σχεδόν εξ ολοκλήρου βιοενέργεια (99%) [9].

Η βιομηχανία χαρτιού, χαρτοπολτού και εκτύπωσης, καθώς και η βιομηχανία ξύλου και προϊόντων ξύλου χρησιμοποίησαν συνολικά το 81% της βιομάζας που χρησιμοποιήθηκε για ενέργεια εντός των βιομηχανιών το 2017. Συγκεκριμένα, η βιομηχανία χαρτιού, χαρτοπολτού και εκτύπωσης χρησιμοποίησε το 59% και η βιομηχανία ξύλου και προϊόντων ξύλου το 22%. Τα μη μεταλλικά ορυκτά, συμπεριλαμβανομένων των βιομηχανιών γυαλιού, κεραμικών, τσιμέντου και άλλων δομικών υλικών ήταν ο τρίτος μεγαλύτερος χρήστης βιομάζας στον βιομηχανικό τομέα, με ποσοστό κατανάλωσης βιομάζας 8%. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο τομέας των μη-μεταλλικών ορυκτών είναι ο μόνος βιομηχανικός τομέας από τους τέσσερις πρώτους βιομηχανικούς καταναλωτές βιομάζας που δεν ασχολείται με τη βιομάζα ή τα οργανικά κατάλοιπα στην κύρια δραστηριότητά του. Τέλος, η βιομηχανία τροφίμων και καπνού έκανε χρήση 5% της συνολικής βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς στην βιομηχανία [9].

Η βιομάζα στη βιομηχανία βασίζεται κυρίως σε στερεή βιομάζα (94.4%), ακολουθούμενη από ανακυκλώσιμα αστικά απόβλητα (3%) και βιοαέριο (2.2%). Τα υγρά βιοκαύσιμα αντιπροσώπευαν λιγότερο από 0.4% τη τελικής κατανάλωσης βιοενέργειας στην βιομηχανία. Το 2017, η βιομάζα συνέβαλε σημαντικό μερίδιο (>39%) στη συνολική κατανάλωση ενέργειας, αλλά μόνο στον κλάδο χαρτιού, χαρτοπολτού και εκτύπωσης, καθώς και στις βιομηχανίες ξύλου και προϊόντων ξύλου. Στη βιομηχανία μη μεταλλικών ορυκτών, η βιομάζα αντιπροσώπευε το 5% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας. Αναφέρεται ότι για τις βιομηχανικές δραστηριότητες που συχνά απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες για την παραγωγή θερμότητας, η βιοενέργεια είναι από τις λίγες λύσεις για την μετάβαση σε μη ορυκτά καύσιμα. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται κρίσιμες αλλαγές στους βιομηχανικούς τομείς, όπου δεν γίνεται ή γίνεται ελάχιστη χρήση βιομάζας, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι το βιοκαύσιμο και η διαδικασία είναι συμβατά, αξιόπιστα και προσιτά [9, 10, 27].

Την ίδια χρονιά, οι άμεσες[13] εκπομπές CO_2 από τον βιομηχανικό τομέα εκτιμήθηκαν σε 8.6 Gt, με την βιομηχανία σιδήρου, χάλυβα και αλουμινίου να εκπροσωπεί το 27% των συνολικών εκπομπών, η τσιμεντοβιομηχανία το 26%, η βιομηχανία χημικών και πετροχημικών το 14% και, τέλος, η βιομηχανία χαρτιού και χαρτοπολτού το 3%. Το υπόλοιπο 30% προέρχεται από άλλες βιομηχανίες [54].

[13] Οι άμεσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι οι εκπομπές οι οποίες προέρχονται ή ελέγχονται από την μελετηθείσα μονάδα.

6.1 Η ιδέα της μετασκευής

Ένας τρόπος με τον οποίο μπορεί να αυξηθεί η παραγωγή βιοενέργειας είναι η μετασκευή (retrofitting) σε υπάρχουσες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Εκτός από την ανέγερση εκ νέου εργοστασίων βιοενέργειας, η μετασκευή - δηλαδή η αντικατάσταση μέρους ενός εργοστασίου ή εγκατάστασης με υπερσύγχρονο εξοπλισμό - μπορεί να είναι μια βιώσιμη εναλλακτική λύση για την μετάβαση σε μη ορυκτά καύσιμα ή για την αναβάθμιση της παλιάς τεχνολογίας. Η μετασκευή οδηγεί συχνά σε χαμηλότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες (capital expenditure - CAPEX), μικρότερους χρόνους παράδοσης, ταχύτερη εφαρμογή, λιγότερες απώλειες χρόνου παραγωγής και χαμηλότερους κινδύνους σε σύγκριση με την πλήρη κατεδάφιση παλαιών εγκαταστάσεων και την ανέγερση εκ νέου μονάδων βιοενέργειας. Όλα αυτά θα μπορούσαν να σημαίνουν αυξημένα οφέλη στην αγορά.

Η ιδέα της μετασκευής βιοενέργειας εστιάζει στις σημαντικότερες ενεργοβόρες βιομηχανίες. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η μετασκευή βιοενέργειας διερευνήθηκε σε πέντε βιομηχανικούς τομείς. Συγκεκριμένα στις βιομηχανίες συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ/ Combined Heat and Power – CHP), σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, διυλιστήρια πετρελαίου και βιομηχανίες βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς (1G)[14] . Οι μετασκευές βιοενέργειας έχουν ως σκοπό τη παραγωγή βιοαιθανόλης, βιοντίζελ, βιο-κηροζίνης, άλλα προηγμένα βιοκαύσιμα και ανανεώσιμα καύσιμα και παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τη βιομάζα. Η βιομάζα που χρησιμοποιείται μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, όπως δασοκομία, γεωργία, κτηνοτροφία βιομηχανία παραγωγής τροφίμων και επεξεργασίας ξύλου. Έτσι ο τομέας της βιοενέργειας μπορεί να διαφέρει ως προς τις πρώτες ύλες βιομάζας, την κλίμακα και την γεωγραφική εξάπλωση. Οι τεχνολογίες βιοενέργειας αναπτύσσονται γρήγορα, επιτρέποντας την παραγωγή μορφών ενέργειας υψηλότερης αξίας, με υψηλότερη απόδοση, και από τύπους βιομάζας με ολοένα και χαμηλότερη αξία. Αυτά τα δύο βασικά χαρακτηριστικά - μεγάλη ποικιλία πρώτων υλών και ταχεία τεχνολογική ανάπτυξη - είναι ορατά σε όλους τους τομείς που εξετάζονται.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει κάθε τομέας κατά την τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας του, τα σενάρια μετασκευής και τα ζητήματα βιωσιμότητας που αντιμετωπίζει.

Πίνακας 3. Σύνοψη του πλαισίου μετασκευής ανά κλάδο [84].

Βιομηχανικός τομέας	**Τρέχουσα κατάσταση**	**Δυνατότητα μετασκευής**	**Ζητήματα βιωσιμότητας**
ΣΗΘ	Η θέρμανση και η ψύξη αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το 50% της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ενέργειας παράγεται από ορυκτά καύσιμα (66%), με την βενζίνη να είναι το κυρίαρχο καύσιμο (42%). Το 11% προέρχεται από τη χρήση βιομάζας.	Ανανεώσιμη θερμότητα και ηλεκτρική ενέργεια παράγεται ταυτόχρονα, επωφελούμενοι από υψηλότερες αποδόσεις που μπορούν να επιτευχθούν σε σύγκριση με την παραγωγή θερμότητας μόνο ή ηλεκτρικής ενέργειας. Άλλες ευκαιρίες είναι η αντικατάσταση των ορυκτών ελαίων με υγρά βιοκαύσιμα.	Προκλήσεις αποτελούν η προμήθεια βιομάζας, η βιωσιμότητα της μονάδας και ιδιαίτερα η βελτίωση στη μείωση αερίων του θερμοκηπίου.

[14] Αναφέρεται στα καύσιμα που προέρχονται από πηγές όπως άμυλο, ζάχαρη, ζωικά λίπη και φυτικά έλαια [11].

Πίνακας 4. Σύνοψη του πλαισίου μετασκευής ανά κλάδο (συνέχεια) [84].

Βιομηχανικός τομέας	Τρέχουσα κατάσταση	Δυνατότητα μετασκευής	Ζητήματα βιωσιμότητας
Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα	Περίπου το 25% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη προέρχεται ακόμη από άνθρακα. Η καύση άνθρακα είναι αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική, αλλά υπάρχει πίεση για μείωση των εκπομπών, με αρκετές χώρες να θέλουν να καταργήσουν σταδιακά την χρήση του.	Ο τομέας αυτός έχει ήδη πολλή εμπειρία με την ταυτόχρονη καύση βιομάζας και ορυκτών καυσίμων, λόγω των σχετικά χαμηλών απαιτήσεων σε CAPEX, των σταδιακών λύσεων και των πολλών επιλογών για την διαδικασία συν-τροφοδοσίας.	Προκλήσεις αποτελούν η προμήθεια βιομάζας, η βιωσιμότητα της μονάδας και ιδιαίτερα η βελτίωση στη μείωση αερίων του θερμοκηπίου.
Διυλιστήρια πετρελαίου	Πολύ μεγάλες βιομηχανικές μονάδες όπου το αργό πετρέλαιο υποβάλλεται σε επεξεργασία και εξευγενίζεται σε πιο χρήσιμα προϊόντα όπως πετρέλαιο, νάφθα, βενζίνη, ντίζελ, πετρέλαιο θέρμανσης, κηροζίνη και υγροποιημένο πετρέλαιο (liquefied petroleum gas - LPG).	Παραγωγή βιοντίζελ HVO από πρώτες ύλες βιομάζας όπως φοινικέλαιο, χρησιμοποιημένο μαγειρικό λάδι (Used Cooking Oil - UCO) κ.λπ. σε υπάρχοντα διυλιστήρια.	Συνεισφορά στο μερίδιο-στόχο της RED II 14% των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τελική κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών έως το 2030. Μέσα σε αυτό το συνολικό μερίδιο, τα βιοκαύσιμα που παράγονται από υπολείμματα ελαίου θα είναι τουλάχιστον ίσο με 0.2% το 2022, 1% το 2025 και έως τουλάχιστον 3.5% έως το 2030.
1G βιοκαύσιμα	Παραγωγή (i) βιοντίζελ (μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων/ Fatty Acid Methyl Esters - FAME), (ii) υδρογονωμένων φυτικών ελαίων (Hydrogenated Vegetable Oil/ HVO) από ελαιούχες καλλιέργειες όπως ελαιοκράμβη, (iii) βιοαιθανόλη από διάφορες καλλιέργειες τροφίμων όπως ζαχαρότευτλα, σιτηρά και σιτάρι.	Μετατροπή για αποκλειστική παραγωγή ή συμπαραγωγή καυσίμων (2G)[15], με π.χ. πρόσθετα κυτταρινικής αιθανόλης, βιοντίζελ πολλαπλών πρώτων υλών ή απόβλητα.	Υπόκειται στο ανώτατο όριο του 7% για βιοκαύσιμα από καλλιέργειες τροφίμων και ζωοτροφών που καταναλώνονται στις μεταφορές.

[15] Αναφέρεται στα καύσιμα που δεν χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη για την παραγωγή τους καλλιέργειες τροφίμων. Η μόνη φορά που οι καλλιέργειες τροφίμων μπορούν να λειτουργήσουν ως βιοκαύσιμα 2G είναι εάν έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ως τρόφιμα [12].

Πρόσθετα κριτήρια βιωσιμότητας και μείωσης εκπομπών αερίων πρέπει να πληρούνται σε κάθε περίπτωση μετασκευής, προκειμένου να συμβαδίζουν με την RED II. Σχετικά με την παραγωγή βιομάζας, που χρησιμοποιείται, θα πρέπει να πληρούνται κριτήρια αειφορίας, συμπεριλαμβανομένων κριτηρίων προστασίας γης με υψηλή αξία βιοποικιλότητας, με υψηλό απόθεμα άνθρακα και υγροτόπων, αποφεύγοντας έμμεση αλλαγή χρήσης γης[16].

Για τα καύσιμα μεταφοράς, η ελάχιστη μείωση αερίων του θερμοκηπίου εξαρτάται από τα χρόνια ηλικίας της μονάδας παραγωγής βιοκαυσίμων[17] και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Ελάχιστα όρια μείωσης αερίων του θερμοκηπίου για βιοκαύσιμα, βάσει της RED II [84].

Ημερομηνία έναρξης λειτουργίας της εγκατάστασης	Όρια [%]
Πριν τον Οκτώβριο του 2015	50%
Μετά τον Οκτώβριο του 2015	60%
Μετά τον Ιανουάριο του 2021	65%
Μετά τον Ιανουάριο του 2026	65%

Στην RED II αναφέρεται ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από καύσιμα βιομάζας σε (i) όλες τις εγκαταστάσεις με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ κάτω από 50 MW, και (ii) σε εγκαταστάσεις με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ άνω των 50 MW στις οποίες εφαρμόζεται τεχνολογία συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης ή χρησιμοποιούνται μόνο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, για τις οποίες ικανοποιούνται συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις, θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη στο μερίδιο ΑΠΕ. Εγκαταστάσεις με ισχύ άνω των 100 MW θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη μόνο εάν η καθαρή ηλεκτρική απόδοση είναι τουλάχιστον 36%. Σχετικά με τις εγκαταστάσεις που παράγουν αποκλειστικά ηλεκτρική ενέργεια, η οδηγία αναφέρει ότι θα ληφθούν υπόψη μόνο εάν δεν χρησιμοποιούνται ορυκτά καύσιμα ως το κύριο καύσιμο και μόνο εάν δεν υπάρχει οικονομικά αποδοτικό δυναμικό για την εφαρμογή τεχνολογίας συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης σύμφωνα με το άρθρο 14 της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ. Η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη χρήση καυσίμων βιομάζας αναμένεται να είναι τουλάχιστον 70% για εγκαταστάσεις που ξεκινούν τη λειτουργία τους από τον Ιανουάριο 2021 έως τον Δεκέμβριο του 2025, και 80% για τις εγκαταστάσεις που αρχίζουν να λειτουργούν από τον Ιανουάριο του 2026.

Η διαδικασία της μετασκευής αρχίζει από τον καθορισμό της ιδέας της μετασκευής για την εκάστοτε μονάδα, την μελέτη σκοπιμότητας και τον σαφή προγραμματισμό υλοποίησης της ιδέας, την εφαρμογή και τέλος την παρακολούθηση της εφαρμογής προς αξιολόγηση της αρχικής ιδέας. Ανάλογα με το μέγεθος του μέτρου μετασκευής, η εφαρμογή του μπορεί να είναι πολύ χρονοβόρα, μακράς διαρκείας και υψηλού κεφαλαίου, ειδικά για μεγάλα έργα μετασκευής [84].

[16] Η έμμεση αλλαγή χρήσης γης συμβαίνει όταν η καλλιέργεια της σοδειάς για βιοκαύσιμα, βιορευστά και καύσιμα βιομάζας αντικαθιστά την παραδοσιακή παραγωγή καλλιεργειών για σκοπούς διατροφής και ζωοτροφών.

[17] Μια εγκατάσταση θεωρείται ότι λειτουργεί μόλις ξεκινήσει η φυσική παραγωγή βιοκαυσίμων ή βιορευστών, ενέργειας θέρμανσης και ψύξης και ηλεκτρικής ενέργειας.

7 Πολυκριτιριακή ανάλυση – Μέθοδος ELECTRE

Κάθε απόφαση που λαμβάνουμε απαιτεί την εξισορρόπηση πολλαπλών παραγόντων (δηλαδή "κριτηρίων" ως μέσο κριτικής) - μερικές φορές ρητά, μερικές φορές χωρίς συνειδητή σκέψη. Στο πλαίσιο λήψης αποφάσεων συνεπάγεται μία σειρά από κριτήρια βάσει των οποίων μια συγκεκριμένη επιλογή ή πορεία δράσης θα μπορούσε να κριθεί ότι είναι πιο επιθυμητή από μια άλλη. Η εξέταση διαφορετικών επιλογών δράσης γίνεται ένα πρόβλημα λήψης αποφάσεων υπό καθεστώς πολλαπλών κριτηρίων (*Multiple Criteria Decision Making - MCDM)* όταν υπάρχουν ορισμένα τέτοια κριτήρια που έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους σε σημαντικό βαθμό.

Η φύση των προβλημάτων πολλαπλών κριτηρίων είναι ότι υπάρχουν πολλές πληροφορίες περίπλοκου και αντικρουόμενου χαρακτήρα, που συχνά αντικατοπτρίζουν διαφορετικές απόψεις και συχνά αλλάζουν με το χρόνο. Ένας από τους κύριους στόχους των προσεγγίσεων πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων (*Multiple Criteria Decision Analysis - MCDA)* είναι να βοηθήσει τους υπευθύνους λήψης αποφάσεων να οργανώσουν και να συνθέσουν τέτοιες πληροφορίες με τρόπο που τους οδηγεί να αισθάνονται άνετα και σίγουροι για τη λήψη μιας απόφασης, ελαχιστοποιώντας το ενδεχόμενο αλλαγής της απόφασης αυτής και με την ικανοποίηση ότι όλα τα κριτήρια ή όλοι οι παράγοντες έχουν ληφθεί σωστά υπόψη. Το βασικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι η πραγματοποίηση της αναγκαίας σύνθεσης υπό το πρίσμα της πολιτικής λήψης των αποφάσεων και του συστήματος προτιμήσεων και αξιών, το οποίο συνειδητά ή ασυνείδητα χρησιμοποιεί ο αποφασίζων [87].

Κατά τον Σίσκο (2008), η διαδικασία της απόφασης (*decision process*) συνιστά το αποτέλεσμα της σύγκλισης μιας μεθοδευμένης ακολουθίας ενεργειών. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής, διαδραματίζονται διάφορα γεγονότα, όπως η συλλογή πληροφοριών αναφορικά στο πρόβλημα της απόφασης, η ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, η σύγκρουση συμφερόντων ή ακόμη και ο κατακερματισμός του όλου προβλήματος σε επιμέρους προβλήματα και η μερική επίλυση του κάθε ενός από αυτά σε διαφορετικές στιγμές μέσα στον χρόνο [87, 91]. Κατά την ενασχόληση με προβλήματα πραγματικών αποφάσεων, οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων και οι αναλυτές αντιμετωπίζουν συχνά πολλές πηγές ατελούς γνώσης σχετικά με τα διαθέσιμα δεδομένα. Αυτό οδηγεί στην εκχώρηση αυθαίρετων τιμών σε ορισμένες «μεταβλητές». Επιπλέον, η μοντελοποίηση συχνά απαιτεί την επιλογή μεταξύ ορισμένων τεχνικών επιλογών, εισάγοντας έτσι μια πρόσθετη πηγή αυθαιρεσίας στο πρόβλημα. Αυτό το πρόβλημα αυθαιρεσίας μπορεί να αντιμετωπιστεί με τις μεθόδους ELECTRE που χρησιμοποιούνται ευρέως σε πραγματικές καταστάσεις.

7.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Το ακρωνύμιο ELECTRE σημαίνει [8, 68]: *ELimination Et Choix Traduisant la REalit´e* (ELimination and Choice Expressing the REality). Οι μέθοδοι αυτοί ξεκίνησαν το 1965 στην ευρωπαϊκή εταιρεία συμβούλων SEMA, η οποία συνεχίζει τις δραστηριότητες της μέχρι και σήμερα. Εκείνη την εποχή, μια ερευνητική ομάδα από τη SEMA δούλεψε με συγκεκριμένα, πολλαπλά κριτήρια, πραγματικό πρόβλημα σχετικά με αποφάσεις που σχετίζονται με την ανάπτυξη νέων δραστηριοτήτων σε εταιρείες. Για την «επίλυση» αυτού του προβλήματος δημιουργήθηκε μια γενική μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων, ονόματι MARSAN (M´ethode d'Analyse, de Recherche, et de S´election d'Activit´es Nouvelles). Οι αναλυτές χρησιμοποίησαν μια τεχνική βάσει σταθμισμένου αθροίσματος που περιλαμβάνεται στη μέθοδο MARSAN για την επιλογή των νέων δραστηριοτήτων [53]. Κατά τη χρήση της μεθόδου, οι μηχανικοί της SEMA παρατήρησαν σοβαρά μειονεκτήματα στην εφαρμογή μιας τέτοιας τεχνικής. Έτσι, ζητήθηκε η γνώμη του Roy, ο οποίος προσπάθησε να βρει μια νέα μέθοδο για να ξεπεράσει τους περιορισμούς της MARSAN. Έτσι, το 1965 σχεδιάστηκε η μέθοδος ELECTRE για την επιλογή των καλύτερων ενεργειών από ένα συγκεκριμένο σύνολο δράσεων και βρέθηκε να είναι επιτυχής σε ένα ευρύ φάσμα τομέων [13].

Το αρχικό πλαίσιο της μεθόδου ELECTRE, στην πορεία του χρόνου εξελίχθηκε στην μέθοδο ELECTRE I, ενώ η εξέλιξη συνεχίστηκε με την ανάπτυξη παραπάνω παραλλαγών όπως οι ELECTRE II, ELECTRE III, ELECTRE IV, ELECTRE IS και η ELECTRE TRI με εφαρμογές σε διαφορετικούς τομείς των αποφάσεων [88]. Ενδεικτικά, στα τέλη της δεκαετίας του εξήντα, προέκυψε μια διαφορετική κατάσταση λήψης αποφάσεων στον πραγματικό κόσμο στον τομέα σχεδιασμού μέσων ενημέρωσης, σχετικά με τον ορισμό ενός διαφημιστικού σχεδίου. Για έναν τέτοιο σκοπό το ερώτημα ήταν πώς να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο σύστημα κατάταξης για περιοδικά. Αυτό οδήγησε στη γέννηση της μεθόδου ELECTRE II, μιας μεθόδου αντιμετώπισης του προβλήματος κατάταξης ενεργειών από την καλύτερη επιλογή έως τη χειρότερη [2, 64, 70]. Λίγα χρόνια αργότερα επινοήθηκε μια νέα μέθοδος κατάταξης ενεργειών, η μέθοδος ELECTRE III [66, 68]. Οι κύριες νέες ιδέες που εισήχθησαν με αυτήν τη μέθοδο ήταν η χρήση ψευδο-κριτηρίων και ασαφών σχέσεων δυαδικής υπέρβασης.

7.2 Μεθοδολογία πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων είναι μια διαδικασία που επιδιώκει να ενσωματώσει την αντικειμενική μέτρηση με την κρίση της αξίας, να κάνει σαφή και να διαχειριστεί την υποκειμενικότητα με σκοπό τη λήψη μίας απόφασης. Η υποκειμενικότητα είναι εγγενής σε όλες τις αποφάσεις, ιδίως στην επιλογή κριτηρίων στα οποία βασίζεται η απόφαση, και το σχετικό «βάρος» που δίνεται σε εκείνα τα κριτήρια τα οποία αντιπροσωπεύουν τη σχετική σημασία κάθε κριτηρίου. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων δεν αποκλείει αυτήν την υποκειμενικότητα. Απλώς επιδιώκει να καταστήσει σαφή την ανάγκη για υποκειμενικές κρίσεις και τη διαδικασία με την οποία λαμβάνονται υπόψη διαφανή. Ο στόχος της πολυκριτιριακής ανάλυσης είναι να διευκολύνει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να μάθουν και να κατανοήσουν το πρόβλημα που αντιμετωπίζουν, λαμβάνοντας υπόψη τις δικές τους προτεραιότητες, αξίες και στόχους, αλλά και των άλλων μερών και οργάνωσης στην οποία ανήκουν. Μέσω της διερεύνησης αυτών στα πλαίσια του προβλήματος, επιδιώκεται από τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να καθοδηγήσουν την οργάνωση στην οποία ανήκουν, στον εντοπισμό μιας προτεινόμενης πορείας δράσης [70]. Τα κύρια μειονεκτήματα τέτοιων μεθόδων προκύπτουν από τις πολλές μη διαισθητικές εισόδους που απαιτούνται, όπως: επίπεδα κατωφλίου συμφωνίας και ασυμφωνίας, αδιαφορία, βάρη και όρια βέτο.

Το Σχήμα 4 δείχνει το γενικό μεθοδολογικό πλαίσιο αντιμετώπισης πολυδιάστατων προβλημάτων λήψης αποφάσεων κατά τον Roy (1985). Το πλαίσιο αυτό παρουσιάζει ουσιαστικά τα κύρια στάδια της διαδικασίας της πολυκριτηριακής ανάλυσης από τον εντοπισμό ενός προβλήματος ή ενός ζητήματος, μέσω της δόμησης του προβλήματος, της δημιουργίας μοντέλων και της χρήσης αυτών για τον καθορισμό ενός σχεδίου δράσης [87].

Σχήμα 4. Μεθοδολογικό πλαίσιο πολυκριτηριακής ανάλυσης [87].

Όπως φαίνεται, η διαδικασία ανάλυσης των προβλημάτων λήψης αποφάσεων στα πλαίσια της πολυκριτήριας προσέγγισης περιλαμβάνει τέσσερα στάδια, μεταξύ των οποίων είναι δυνατόν να αναπτύσσονται αναδράσεις. Τα στάδια αυτά αναλύονται παρακάτω:

Στάδιο Ι: *Αντικείμενο της απόφασης*, στο οποίο καθορίζεται το σύνολο Α των εναλλακτικών δραστηριοτήτων ή δράσεων του προβλήματος.

Στάδιο ΙΙ: *Συνεπής οικογένεια κριτηρίων*, όπου εντοπίζονται όλοι οι παράγοντες οι οποίοι επιδρούν στο αποτέλεσμα της ανάλυσης των εναλλακτικών δραστηριοτήτων του συνόλου Α. Κάθε παράγοντας που επιδρά στη λήψη μιας απόφασης θεωρείται ότι έχει τη μορφή ενός κριτηρίου.

Ως κριτήριο ορίζεται μια μονότονη συνάρτηση **g** δηλωτική των προτιμήσεων του αποφασίζοντος, τέτοια ώστε για οποιεσδήποτε δύο εναλλακτικές δραστηριότητες **x** και **y** να ισχύουν:

$$\mathbf{g(x) > g(y) \leftrightarrow x > y}$$

$$\mathbf{g(x) = g(y) \leftrightarrow x \approx y}$$

όπου > και ≈ είναι οι σχέσεις προτίμησης και αδιαφορίας, οριζόμενες έτσι ώστε:

x > **y** ↔ η εναλλακτική **x** προτιμάται από την εναλλακτική **y**

x ≈ **y** ↔ υπάρχει αδιαφορία μεταξύ των εναλλακτικών **x** και **y**

Ο ρόλος του αναλυτή συνίσταται στη διασάφηση των επιπτώσεων των διαφόρων δράσεων του συνόλου Α και στη συνέχεια, στην επινόηση και προτυποποίηση των κριτηρίων στη βάση των οποίων θα ληφθεί η απόφαση. Αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής είναι η κατασκευή ενός συστήματος κριτηρίων το οποίο ονομάζεται συνεπής οικογένεια κριτηρίων (consistent family of criteria).

Ένα σύνολο κριτηρίων $g = (g_1, g_2, \ldots, g_n)$ θεωρείται ότι διαμορφώνει μια συνεπή οικογένεια κριτηρίων, εάν και μόνο εάν ικανοποιεί τις ακόλουθες ιδιότητες:

i. **Μονοτονία (monotonicity)**: εάν και μόνο εάν για δυο οποιεσδήποτε εναλλακτικές x και y τέτοιες ώστε $g_i(x) > g_i(y)$ για κάποιο κριτήριο i και $g_j(x) = g_j(y)$ για κάθε άλλο κριτήριο $j \neq i$, συμπεραίνεται ότι $x > y$.
ii. **Επάρκεια (exhaustivity)**: εάν και μόνο εάν για δυο οποιεσδήποτε εναλλακτικές x και y τέτοιες ώστε $g_i(x) > g_i(y)$ για κάθε κριτήριο i, συμπεραίνεται ότι $x \approx y$.
iii. **Μη πλεονασμός (non-redundancy)**: εάν και μόνο εάν η διαγραφή ενός οποιουδήποτε κριτηρίου, οδηγεί σε παραβίαση των ιδιοτήτων της μονοτονίας ή της επάρκειας.

Επιπλέον, κατά τον προσδιορισμό των κριτηρίων, πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα:

- ✓ *Σχετικότητα τιμής*, δηλαδή τα κριτήρια πρέπει να συνδέουν την έννοια με τους στόχους, προκειμένου να επιτρέψουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να καθορίσουν προτιμήσεις που σχετίζονται άμεσα με την ιδέα.
- ✓ *Δυνατότητα μέτρησης*, δηλαδή η εφικτή μέτρηση της απόδοσης εναλλακτικών σεναρίων σε σχέση με συγκεκριμένα κριτήρια, με συνεπή τρόπο.
- ✓ *Μη-πλεονασμός*, δηλαδή δεν υπάρχουν περισσότερα από ένα κριτήριο μέτρησης του ίδιου παράγοντα. Σε γενικές γραμμές, είναι καλύτερο ο συνδυασμός παρόμοιων κριτηρίων σε μια και μοναδική έννοια.
- ✓ *Ανεξάρτητη κρίση*, δηλαδή τα κριτήρια κρίνονται ανεξαρτήτως από το εάν οι προτιμήσεις σε σχέση με ένα μόνο κριτήριο, ή αντισταθμίσεις μεταξύ δύο κριτηρίων, δεν εξαρτώνται από το επίπεδο ενός άλλου [6].

Στάδιο ΙΙΙ: *Μοντέλο ολικής προτίμησης*, δηλαδή η σύνθεση όλων των κριτηρίων έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης ανάλογα με την προβληματική που έχει καθοριστεί.

Το μοντέλο αυτό θα πρέπει να επιτυγχάνει τα ακόλουθα:

- ➢ *Εξισορρόπηση πληρότητας και συνοχής*, δηλαδή ότι όλες οι σημαντικές πτυχές του προβλήματος έχουν ληφθεί υπόψη συνοπτικά, διατηρώντας το επίπεδο λεπτομέρειας στο ελάχιστο απαιτούμενο.
- ➢ *Λειτουργικότητα*, δηλαδή το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εύλογη προσπάθεια ή οι απαιτούμενες πληροφορίες δεν θέτουν υπερβολικές απαιτήσεις στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.
- ➢ *Απλότητα έναντι πολυπλοκότητας*. Ορισμένες αναπαραστάσεις προβλημάτων είναι λίγο ή πολύ απλές από άλλες, ως συνέπεια του βαθμού λεπτομέρειας και της φύσης του συγκεκριμένου προβλήματος. Δηλώνεται εμπειρικά ότι αυτός που δημιουργεί το μοντέλο πρέπει να στοχεύει για το απλούστερο δυνατό, το οποίο καταγράφει επαρκώς το πρόβλημα για τον υπεύθυνο λήψης της απόφασης [6].

Στάδιο IV: *Υποστήριξη της απόφασης*, όπου λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες θα βοηθήσουν τον αποφασίζοντα να κατανοήσει τα αποτελέσματα του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων που επελέγη κατά το προηγούμενο στάδιο, καθώς και τη διαδικασία με την οποία εξήχθησαν τα αποτελέσματα αυτά [87]. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που βρίσκονται στο επίκεντρο της διαδικασίας αυτής. Σε αυτούς περιλαμβάνονται οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων, οι πελάτες, οι χορηγοί, και οι οργανωτές ή αναλυτές [70].

Διάφορα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί τα οποία αντιπροσωπεύουν τις διαφορετικές προτιμήσεις στο πλαίσιο των πολυκριτηριακών προβλημάτων και μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες. Συγκεκριμένα:

I. *Μοντέλα μέτρησης τιμών* στα οποία έχουν κατασκευαστεί αριθμητικές βαθμολογίες, ώστε να αντιπροσωπεύουν τον βαθμό στον οποίο μια επιλογή απόφασης μπορεί να προτιμάται από άλλη.
II. *Μοντέλα στόχου, φιλοδοξίας ή επιπέδου αναφοράς* στα οποία καθορίζονται επιθυμητά ή ικανοποιητικά επίπεδα επίτευξης για καθένα από τα κριτήρια.
III. *Μοντέλα σχέσεων υπεροχής* στα οποία συγκρίνονται διαφορετικές δράσεις κατά ζεύγη ως προς κάθε κριτήριο, προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός στον οποίο μπορεί να ισχυριστεί κάποιος ότι προτιμά την μία δράση έναντι της άλλης. Συγκεντρώνοντας τέτοιες πληροφορίες προτίμησης για όλα τα σχετικά κριτήρια, το μοντέλο επιδιώκει να αποδείξει τη δύναμη των στοιχείων που ευνοούν την επιλογή μιας εναλλακτικής έναντι της άλλης [70].

Η οικογένεια των μεθόδων ELECTRE, η οποία χρησιμοποιείται στην διπλωματική αυτή και αναλύεται παρακάτω, ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των *μεθόδων σχέσεων υπεροχής* (***outranking methods***). Αυτό σημαίνει πως οι διαφορετικές εναλλακτικές συσχετίζονται με την κατασκευή διμερών σχέσεων υπεροχής (**S**) βάσει κάποιων προκαθορισμένων κριτηρίων. Μια εναλλακτική **x** λέμε πως *υπερέχει* μιας δεύτερης εναλλακτικής **y** αν υπάρχουν αρκετοί λόγοι που να υποστηρίζουν πως η x είναι τουλάχιστον όσο καλή είναι η y και ταυτόχρονα δεν υπάρχουν σημαντικοί λόγοι που να υποστηρίζουν το αντίθετο. Διαφορετικά συμβολίζεται ως:

x $\boldsymbol{S}$ **y** ⇔ "*Η εναλλακτική **x** είναι εξίσου ή πιο καλή από την **y***" [88]

Η μέθοδος αυτή είναι πολύ απλή στην χρήση της και θα πρέπει να εφαρμόζεται μόνο όταν όλα τα κριτήρια έχουν αποδοθεί σε αριθμητική κλίμακα με πανομοιότυπα εύρη. Στόχος της μεθόδου δεν είναι να βρεθεί πάντα μια *βέλτιστη εναλλακτική* αλλά ένα υποσύνολο εναλλακτικών που θα υπερέχουν των υπολοίπων [89].

7.3 Μοντελοποίηση προτιμήσεων

Οι προτιμήσεις στις μεθόδους ELECTRE, όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, διαμορφώνονται χρησιμοποιώντας σχέσεις δυαδικής κατάταξης (**S**), του οποίου η έννοια είναι «τουλάχιστον τόσο καλή όσο». Λαμβάνοντας υπόψη δύο εναλλακτικές **x** και **y**, ενδέχεται να προκύψουν τέσσερις καταστάσεις:

- **xSy** και όχι **ySx**, δηλ., **xPy** (***x*** *προτιμάται αυστηρά της* ***y***)
- **ySx** και όχι **xSy**, δηλ., **yPx** (***y*** *προτιμάται αυστηρά της* ***x***)
- **xSy** και **ySx**, δηλ., **xIb** (***x*** *είναι αδιάφορο της* ***y***)
- όχι **xSy** ούτε **ySx**, δηλ., **xRy** (***x*** *είναι ασύγκριτη της* ***y***)

Αυτό το πλαίσιο προτίμησης-αδιαφορίας ή ασύγκριτων ενεργειών, δεν αναφέρεται στο πώς να επιλεχθεί η καλύτερη συμβιβαστική ενέργεια ή ένα υποσύνολο ενεργειών τον οποίο θα λάβει την προσοχή του υπευθύνου λήψης αποφάσεων. Κατά τη διαδικασία κατασκευής της μεθόδου ELECTRE I μόνο μία σχέση υπεροχής είναι στην πραγματικότητα.

Η κατασκευή μιας σχέσης υπεροχής βασίζεται σε δύο βασικές αρχές:

- Εάν η εναλλακτική **x** είναι αποδεδειγμένα τόσο καλή ή καλύτερη από τη **y** σύμφωνα με ένα επαρκή αριθμό βάρους κριτηρίων, τότε αυτό θεωρείται ως απόδειξη υπεροχής της **y** (***αρχή της «συμφωνίας»***).

- Εάν η εναλλακτική **y** προτιμάται έντονα από ένα ή περισσότερα κριτήρια, τότε αυτό θεωρείται ως απόδειξη ενάντια σε μια υψηλότερη κατάταξη της **y** (**αρχή της «ασυμφωνίας»**).

Η αρχή της συμφωνίας συνήθως καθίσταται λειτουργική με κάποια μορφή σταθμισμένης διαδικασίας βαθμολόγησης κατά ζεύγη. Κατά την διαδικασία αυτή, σε κάθε κριτήριο εκχωρείται μια έννοια «βάρους». Στη συνέχεια, για οποιοδήποτε ζεύγος εναλλακτικών **x** και **y**, κάθε κριτήριο στην πράξη «ψηφίζει» υπέρ ή κατά του ισχυρισμού ότι «*η **x** είναι τουλάχιστον τόσο καλή όσο η **y***» [7].

7.4 Η σχετική σημασία των κριτηρίων

Ο σχετικός ρόλος των κριτηρίων στις μεθόδους ELECTRE καθορίζεται από δύο διαφορετικά σύνολα παραμέτρων:

i. Συντελεστές σπουδαιότητας: αναφέρονται στα εγγενή «*βάρη*». Για ένα δεδομένο κριτήριο, το βάρος, **w**, αντικατοπτρίζει τη δύναμη ψήφου όταν συμβάλλει στην πλειοψηφία που είναι υπέρ μιας κατάταξης.

ii. Κατώφλια βέτο: επιτρέπει την μοντελοποίηση περιπτώσεων όπου η πολύ κακή επίδοση μιας εναλλακτικής δραστηριότητας x σε ένα κριτήριο, έναντι της αντίστοιχης επίδοσης μιας άλλης εναλλακτικής y θέτει βέτο στην πρόταση «η x είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η y», ανεξαρτήτως των επιδόσεων των δύο εναλλακτικών στα υπόλοιπα κριτήρια. Η συνδυασμένη χρήση των πληροφοριών αυτών παρέχει τη δυνατότητα στον αναλυτή να εξετάσει την ύπαρξη επαρκούς συμφωνίας των κριτηρίων ώστε να θεωρηθεί ότι ισχύει η πρόταση «η x είναι τουλάχιστον εξίσου καλή όσο και η y» εξετάζοντας παράλληλα και την ισχύ των ενδείξεων που πιθανόν να υπάρχουν κατά της ισχύος της πρότασης αυτής (ασυμφωνία) [54]. Αυτά τα κατώτατα όρια μπορεί να είναι σταθερά σε μια κλίμακα ή μπορεί επίσης να ποικίλλουν.

Η αρχή της ασυμφωνίας επιτρέπει μια αρκετά ελλιπή απόδοση σε ένα συγκεκριμένο κριτήριο για τη «βέτο» αποδοχή μιας εναλλακτικής, ανεξάρτητα από το πόσο καλά αποδίδει σε άλλα κριτήρια. Ωστόσο, το επίπεδο απόδοσης που δημιουργεί ένα τέτοιο βέτο είναι ένα μέτρο της σημασίας του κριτηρίου, με την έννοια ότι όσο πιο αυστηρά είναι τα όρια βέτο, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση του κριτηρίου στα τελικά αποτελέσματα και το αντίστροφο [7].

7.5 Στάδια επίλυσης με την μέθοδο ELECTRE I

Η μέθοδος ELECTRE I αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών ελέγχων, οι οποίοι συνδυάζονται με στόχο να αναδείξουν τις εναλλακτικές που υπερισχύουν. Συγκεκριμένα, οι έλεγχοι αυτοί επιτυγχάνονται με:

1. εφαρμογή *ελέγχου συμφωνίας* για κάθε ζεύγος εναλλακτικών,
2. εφαρμογή *ελέγχου ασυμφωνίας* για κάθε ζεύγος εναλλακτικών, και
3. κατασκευή του πίνακα και του γραφήματος υπεροχής από το οποίο προκύπτει το υποσύνολο των πιθανών «βέλτιστων» εναλλακτικών.

Βάσει των παραπάνω, τα στάδια επίλυσης ενός προβλήματος πολυκριτηριακής ανάλυσης με την μέθοδο ELECTRE I είναι τα ακόλουθα:

<u>Σταδιο 1:</u> Σχεδίαση του πίνακα απόφασης **A**.

Ο πίνακας αποτελείται από τις βαθμολογίες των εναλλακτικών στα κριτήρια αξιολόγησης, βάρη και βέτο:

$$A = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{1n} \\ x_{m1} & x_{mn} \end{bmatrix}$$

όπου $A_1, A_2, \dots, A_m$ με $i = 1, 2, \dots, m$ είναι οι εναλλακτικές, $C_1, C_2, \dots, C_n$ με $j = 1, 2, \dots, n$ είναι τα κριτήρια και x_{ij} είναι η επίδοση της εναλλακτικής A_i στο κριτήριο C_j.

Επιπλέον δίνονται τα βάρη $w_1, w_2, \dots, w_n$ με $j = 1, 2, \dots, n$ για κάθε ένα από τα κριτήρια καθώς και οι αντίστοιχες τιμές βέτο $v_1, v_2, \dots, v_n$ με $j = 1, 2, \dots, n$.

<u>Σταδιο 2:</u> Κατασκευή του πίνακα συμφωνίας.

Η κατασκευή του πίνακα συμφωνίας γίνεται εφαρμόζοντας τον έλεγχο συμφωνίας για κάθε ζευγάρι εναλλακτικών επιλογών του πίνακα **A**, βάσει του τύπου:

$$C(A_i, A_j) = \sum\nolimits_{\forall k \in \{k | x_{ik} - x_{jk} \geq 0\}} w_k$$

όπου το w_k αναπαριστά το βάρος κάθε κριτηρίου, για το οποίο ισχύει πως η εναλλακτική A_i είναι προτιμότερη από την εναλλακτική A_j.

<u>Σταδιο 3:</u> Έλεγχος ασυμφωνίας των εναλλακτικών.

Η εφαρμογή του ελέγχου ασυμφωνίας γίνεται για κάθε ζευγάρι εναλλακτικών επιλογών για κάθε ένα από τα διαθέσιμα κριτήρια του πίνακα **A** για τα οποία έχει καθορισθεί βέτο, βάσει του τύπου:

$$D_k(A_i, A_j) = \begin{cases} 0, & \varepsilon\alpha\nu\ x_{jk} - x_{ik} < v_k \\ 1, & \varepsilon\alpha\nu\ x_{jk} - x_{ik} \geq v_k \end{cases}$$

όπου k = 1, 2, …, n.

<u>Στάδιο 4:</u> Κατασκευή του πίνακα υπεροχής.

Για την κατασκευή του πίνακα υπεροχής **Ω**, το πρώτο βήμα είναι ο προσδιορισμός των σχέσεων υπεροχής για κάθε ζεύγος εναλλακτικών χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των ελέγχων συμφωνίας και ασυμφωνίας, με χρήση του παρακάτω τύπου:

$$A_i S A_j \leftrightarrow C(A_i, A_j) \geq s \wedge D_k(A_i, A_j) = 0, \forall k \in \{1,2, \dots, n\}$$

όπου $\boldsymbol{s}$ είναι το κατώφλι συμφωνίας που έχει οριστεί.

Στην συνέχεια κατασκευάζεται ο πίνακας υπεροχής **Ω** με βάση την συνθήκη [88, 89]:

$$\Omega_{ij} = 1 \ \leftrightarrow \ A_i S A_j$$

8 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο καθορίζεται η συνεπής οικογένεια κριτηρίων και εξετάζονται τα τέσσερα σενάρια μετασκευής βάσει της μεθόδου ELECTRE I.

8.1 Καθορισμός προβλήματος - Υπεύθυνος λήψης απόφασης

Στο πλαίσιο μιας ευρύτερης διεθνούς προσπάθειας, η ΕΕ έχει θέσει ως στόχο την προοδευτική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την αντιμετώπιση των αναπότρεπτων επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Προς αυτή την κατεύθυνση, προωθεί την ανάπτυξη τεχνολογιών χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών και μεριμνά για την ασφαλή χρήση τους καθώς και για την κατάλληλη διαχείριση των σχετικών κινδύνων.

Η ιδέα της μετασκευής, όπως έχει προαναφερθεί, αποτελεί λύση για την αύξηση της παραγωγής βιοενέργειας από δευτερογενείς πρώτες ύλες και κατ' επέκταση τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από την εκάστοτε μονάδα. Η λύση αυτή μπορεί να καταστήσει την μονάδα βιώσιμη μελλοντικά λόγω της τάσης προς αύξηση του φόρου επί των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και επί της ενέργειας από ορυκτό άνθρακα. Επίσης, η συμμόρφωση μιας βιομηχανίας με την περιβαλλοντική πολιτική προβάλλει ένα αίσθημα κοινωνικής ευθύνης προς τους πολίτες, βελτιώνοντας έτσι την εικόνα της εταιρίας προς την κοινωνία και κατ' επέκταση καθιστώντας την πιο ανταγωνιστική στην διεθνή αγορά.

Ο υπεύθυνος λήψης της απόφασης σε κάθε περίπτωση μετασκευής είναι ο επενδυτής, ο οποίος καθορίζει την σημαντικότητα (βάρος) κάθε κριτηρίου.

8.2 Σενάρια μετασκευής

Όλες οι μονάδες που θα εξεταστούν στην παρούσα διπλωματική είναι θεωρητικές μονάδες εγκατεστημένες σε χώρες της ΕΕ και ξεκινούν την λειτουργία τους μετά από την 1η Ιανουαρίου 2021. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται κατά την ανάλυση είναι από τη βιβλιογραφία και από βάσεις δεδομένων του λογισμικού SimaPro. Η υφιστάμενη κατάσταση και το σενάριο μετασκευής που θα εξετασθούν σε κάθε βιομηχανικό τομέα, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 6 και αναλύονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

Πίνακας 6. Σενάρια μετασκευής για κάθε βιομηχανικό τομέα.

Αρ. Σεναρίου	Βιομηχανικός τομέας	Υφιστάμενη κατάσταση	Μετασκευή
Σ1	ΣΗΘ	Παραγωγή θερμότητας από ορυκτά έλαια	Παραγωγή θερμότητας από βιο-έλαια ή βιοντίζελ
Σ2	Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτό άνθρακα	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πελλέτς
Σ3	Διυλιστήριο πετρελαίου	Παραγωγή ντίζελ από ορυκτό άνθρακα	Παραγωγή HVO από τηγανέλαια
Σ4	1G βιοκαύσιμα	Παραγωγή 1G βιοαιθανόλης από βρώσιμο καλαμπόκι	Παραγωγή 2G βιοαιθανόλης από υπολείμματα καλαμποκιού και απόβλητα

8.2.1 Εναλλακτικές δραστηριότητες – Απαιτήσεις RED II

Οι περιορισμοί που εφαρμόζονται στην συγκεκριμένη ανάλυση βρίσκονται σε συμφωνία με τις απαιτήσεις της RED II. Συγκεκριμένα βάσει της οδηγίας, για εγκαταστάσεις που τίθενται σε λειτουργία από την 1η Ιανουαρίου 2021 και έπειτα, η μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να είναι:

i. τουλάχιστον 70% από τη χρήση ανανεώσιμων υγρών και αέριων καυσίμων κίνησης μη βιολογικής προέλευσης πλην των καυσίμων ανακυκλωμένου άνθρακα,
ii. τουλάχιστον 65% για βιοκαύσιμα, βιοαέριο που καταναλώνονται στον τομέα των μεταφορών και βιορευστά στην βιομηχανία,
iii. τουλάχιστον 70% για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανσης και ψύξης από καύσιμα βιομάζας.

Η ηλεκτρική ενέργεια από καύσιμα βιομάζας λαμβάνεται υπόψη για τους σκοπούς της RED II μόνον εάν παράγεται σε εγκαταστάσεις:

α. με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ κάτω των 50 MW,
β. με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ από 50 έως 100 MW, όπου εφαρμόζεται τεχνολογία συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης σε εγκαταστάσεις αποκλειστικής ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίες πληρούν τα επίπεδα καθαρής ηλεκτρικής απόδοσης που συνδέεται με τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές[18],
γ. με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ άνω των 100 MW, είτε με την εφαρμογή τεχνολογίας συμπαραγωγής υψηλής απόδοσης, ή αποκλειστικής ηλεκτροπαραγωγής που επιτυγχάνουν καθαρή ηλεκτρική απόδοση 36%, και
δ. όπου εφαρμόζεται δέσμευση και αποθήκευση CO_2 από βιομάζα.

Οι παραπάνω περιορισμοί συνοψίζονται στον Πίνακα 7 βάσει του τελικού προϊόντος χρήσης.

Πίνακας 7. Περιορισμοί για κάθε τελικό προϊόν βάσει της RED II.

Τελικό προϊόν	Πρώτη ύλη	Περιορισμοί RED II
Καύσιμα κίνησης	μη βιολογικής προέλευσης	Τουλάχιστον 70% μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
Βιοκαύσιμα και Βιοαέριο κίνησης	βιολογικής προέλευσης	Τουλάχιστον 65% μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
Ηλεκτρική ενέργεια, Θέρμανση και Ψύξη	καύσιμα βιομάζας	Τουλάχιστον 70% μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου
Ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται σε εγκατάσταση με συνολική ονομαστική θερμική ισχύ άνω των 100MW	καύσιμα βιομάζας	Επίτευξη καθαρής ηλεκτρικής απόδοση 36%

Στον Πίνακα 8 συνοψίζονται οι εναλλακτικές δραστηριότητες (Δ) για κάθε σενάριο (Σ) ξεχωριστά. Επίσης παρουσιάζεται οι περιορισμοί που προαναφέρθηκαν για κάθε σενάριο.

[18] Ορίζονται στην εκτελεστική απόφαση (ΕΕ) 2017/1442 της Επιτροπής της 31ης Ιουλίου 2017, για τον καθορισμό των συμπερασμάτων για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές (ΒΔΤ) βάσει της οδηγίας 2010/75 ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά μεγάλες μονάδες καύσης (ΕΕ L 212 της 17.8.2017, σ. 1).

Πίνακας 8. Εναλλακτικές δραστηριότητες για κάθε εξεταζόμενο σενάριο.

Αρ. Σεναρίου	Περιορισμός RED II	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Μετασκευή	
			Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
Σ1	Τουλάχιστον 70% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	Χρήση ορυκτού ελαίου	Χρήση βιο-ελαίου από τηγανέλαια	Χρήση βιο-ντίζελ από ελαιοκράμβη
Σ2	Τουλάχιστον 70% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και καθαρή ηλεκτρική απόδοση 36%	Χρήση 100% ορυκτού καυσίμου	Χρήση 5%[19] ξύλινων πέλλετς από δασοκομία	Χρήση 100% ξύλινων πέλλετς από δασοκομία
Σ3	Τουλάχιστον 70% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	Χρήση 100% ορυκτού καυσίμου	Χρήση 5%[20] τηγανελαίων	Χρήση 100% τηγανελαίων
Σ4	Τουλάχιστον 65% μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	Χρήση 100% καλαμποκιού	Χρήση καλαμποκιού και βιομηχανικών αποβλήτων	Χρήση καλαμποκιού, υπολειμμάτων καλαμποκιού και βιομηχανικών αποβλήτων

8.2.1.1 Σενάριο 1 - ΣΗΘ

Η μονάδα ΣΗΘ αποτελείται από λέβητα ο οποίος παράγει θερμότητα για μεγάλη αστική πόλη της Γερμανίας. Η συνολικά παραγόμενη θερμότητα τον χρόνο είναι 1,990 MWh και η δυναμικότητα του λέβητα είναι 20 MW. Η βιομηχανία προμηθεύεται ορυκτό έλαιο από την Ρωσία το οποίο μεταφέρεται με βυτιοφόρο σε απόσταση 7,000 km.

Σχετικά με το βιοέλαιο, για την παραγωγή του χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη τηγανέλαια όλων των ειδών, τα οποία συλλέγει η εταιρία προμήθειας προτού γίνει η μεταφορά τους στον τελικό καταναλωτή. Το 2019, οι μεγαλύτεροι προμηθευτές τηγανελαίων στην Ευρώπη ήταν η Κίνα, η Μαλαισία, η Ινδονησία και οι ΗΠΑ [59]. Αντίστοιχα, χώρες της ΕΕ με την μεγαλύτερη συλλογή τηγανελαίων είναι κατά σειρά η Γερμανία, η Αγγλία, η Ισπανία, η Ολλανδία και η Ιταλία [40]. Επιλέγεται εταιρία συλλογής, επεξεργασίας και προμήθειας από την Γερμανία, από την οποία το βιοέλαιο θα μεταφέρεται με βυτιοφόρο φορτηγό διανύοντας απόσταση περίπου 100 km.

Όσον αφορά το βιοντίζελ, το 2018, οι σημαντικότεροι προμηθευτές για την ΕΕ ήταν η Αργεντινή, η Ινδονησία, η Μαλαισία και η Κίνα. Άλλοι προμηθευτές, αλλά με πολύ μικρότερα ποσά ήταν η Νορβηγία, το Ταϊβάν, η Βοσνία-Ερζεγοβίνη και η Ινδία [30]. Η μελετηθείσα μονάδα επιλέγεται να εμπορευθεί βιοντίζελ από μια εταιρία στην Βοσνία-Ερζεγοβίνη, η οποία χρησιμοποιεί σαν πρώτη ύλη καλλιέργεια ελαιοκράμβης. Η καλλιέργεια αυτή γίνεται σε κοντινή απόσταση, περίπου 10 km, και η πρώτη ύλη μεταφέρεται με φορτηγό. Τέλος, το βιοντίζελ μεταφέρεται οδικώς στην Γερμανία μέσω βυτιοφόρου σε συνολική απόσταση 1,400 km.

[19] Το ποσοστό αυτό αναφέρεται σε ποσοστό επί της θερμικής εισόδου της μονάδας.
[20] Το ποσοστό αυτό αναφέρεται σε ποσοστό κατ' όγκο επί του συνολικού καυσίμου εισαγωγής.

8.2.1.2 Σενάριο 2 - Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτό άνθρακα

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε λέβητα συνολικής ισχύος 320 MW_e, εγκατεστημένη σε μεγάλη αστική πόλη της Ελλάδας. Η μονάδα αυτή είναι μια συμβατική μονάδα τεχνολογίας κονιοποίησης καυσίμου και παράγει συνολικά 1,800 GWh_e.

Η βιομηχανία προμηθεύεται ορυκτό άνθρακα από κοντινή περιοχή, το οποίο μεταφέρει με φορτηγό σε απόσταση 30 km. Σχετικά με το σενάριο μετασκευής, θα χρησιμοποιηθούν ξύλινα πελλέτς από υπολείμματα δασοκομίας. Οι πέντε κορυφαίοι παραγωγοί πέλλετς παγκοσμίως είναι οι ΗΠΑ, ακολουθούμενοι από τη Γερμανία, τον Καναδά, τη Σουηδία και τη Λεττονία [78]. Λόγω της συγκριτικά μικρότερης τιμής παραγωγής στις ΗΠΑ σε σχέση με την Ευρώπη [82], η μονάδα θα προμηθευτεί πέλλετς από την νότια Αμερική, τα οποία θα μεταφερθούν με φορτηγό πλοίο ξηρού φορτίου σε απόσταση 9,000 km και μετά με φορτηγό σε απόσταση 50 km. Η νότια Αμερική επιλέχθηκε γιατί εκεί βρίσκονται οι περισσότερες μονάδες παραγωγής πέλλετς των ΗΠΑ που εξάγουν προς την Ευρώπη [74].

8.2.1.3 Σενάριο 3 - Διυλιστήριο πετρελαίου

Η ενδεικτική μονάδα βρίσκεται στην Ελλάδα με ονομαστική δυναμικότητα 400,000 τόνους ντίζελ ανά ημέρα. Κατά την 1η περίπτωση μετασκευής όπου γίνεται χρήση 5% κ.ό. τηγανελαίων και 95% κ.ό. ορυκτού ελαίου, παράγονται 20,000 τόνοι HVO και 380,000 τόνοι πετρελαίου κίνησης ετησίως. Στην 2η περίπτωση μετασκευής όπου γίνεται αποκλειστική χρήση τηγανελαίων παράγονται 400,000 τόνοι HVO ετησίως.

Το ορυκτό έλαιο προμηθεύεται από κοντινή περιοχή, σε απόσταση 30 km, ενώ τα τηγανέλαια από την Γερμανία σε απόσταση 2,000 km. Η Γερμανία επιλέχθηκε γιατί έχει την μεγαλύτερη συλλογή τηγανελαίων σε επίπεδο ΕΕ [35] . Όλες οι μεταφορές πραγματοποιούνται με βυτιοφόρο φορτηγό. Τα τηγανέλαια, πριν την εισαγωγή τους στον κύριο αντιδραστήρα της μονάδας, προ-επεξεργάζονται σε μονάδα η οποία θα εγκατασταθεί στον χώρο του εργοστασίου. Κατά την προ-επεξεργασία των τηγανελαίων γίνεται χρήση καταλυτών και ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο.

8.2.1.4 Σενάριο 4 - 1G βιοκαύσιμα

Η συγκεκριμένη μονάδα βρίσκεται εγκατεστημένη στην Ιταλία με δυναμικότητα παραγωγής 250,000 m^3 αιθανόλης τον χρόνο. Ταυτόχρονα με την παραγωγή αιθανόλης παράγεται και 200 GWh_e ηλεκτρικής ενέργειας ενώ το στερεό υπόλειμμα επεξεργάζεται για την παραγωγή ζωοτροφής. Όλες οι πρώτες υλες που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή προμηθεύονται από τις γύρω περιοχές σε ακτίνα 30 km. Κατά την αποσύνθεση της πρώτης ύλης χρησιμοποιείται ένζημο και μαγιά ενώ για τις ενεργειακές απαιτήσεις της μονάδας χρησιμοποιείται φυσικό αέριο και ηλεκτρική ενέργεια δικτύου.

8.3 Καθορισμός συνεπούς οικογένειας κριτηρίων

Τα κριτήρια τα οποία μελετήθηκαν για την παρούσα ανάλυση κατηγοριοποιούνται ως εξής:

ΚΙ. Περιβαλλοντικά κριτήρια

Για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κύκλου ζωής της μετασκευής, θα εξεταστούν οι παρακάτω περιβαλλοντικοί δείκτες:

ΚΙ(α) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου/ Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται με βάση το ποσοστό μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (saving). Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για κάθε σενάριο υπολογίζονται με τη χρήση του λογισμικού SimaPro σε τόνους CO_{2eq}.

ΚΙ(β) Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων.

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται με βάση το συντελεστή κανονικοποίησης της συγκεκριμένης περιβαλλοντικής επίπτωσης. Η επίδραση για κάθε σενάριο υπολογίζονται με τη χρήση του λογισμικού SimaPro σε DALY[21].

ΚΙ(γ) Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος.

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται με βάση το συντελεστή κανονικοποίησης της συγκεκριμένης περιβαλλοντικής επίπτωσης. Η επίδραση για κάθε σενάριο υπολογίζονται με τη χρήση του λογισμικού SimaPro σε PDF[22]$\cdot m^2 \cdot yr$.

ΚΙ(δ) Ελάττωση φυσικών πόρων.

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται με βάση το συντελεστή κανονικοποίησης της συγκεκριμένης περιβαλλοντικής επίπτωσης. Η επίδραση για κάθε σενάριο υπολογίζονται με την χρήση του λογισμικού SimaPro σε MJ.

ΚΙΙ. **Οικονομικά κριτήρια**

Για τον ορισμό των οικονομικών κριτηρίων λήφθηκε υπόψη η μεθοδολογία του ΚΚΖ όπως αυτή ορίζεται στο κεφάλαιο 5. Οι οικονομικοί δείκτες που θα εξετασθούν είναι οι ακόλουθοι:

ΚΙΙ(α) Κεφαλαιουχικές δαπάνες (CAPEX).

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται με βάση το ύψος της δαπάνης που πρέπει να επενδυθεί για να πραγματοποιηθεί τεχνολογικά η μετασκευή της μονάδας και το ανώτατο όριο (πλαφόν) που ορίζεται βάσει του ενδεικτικού κόστους επένδυσης της μονάδας.

ΚΙΙ(β) Λειτουργικά έξοδα (OPEX).

- Η απόδοση του εναλλακτικού σεναρίου αξιολογείται ορίζοντας ως μέση απόδοση τα λειτουργικά έξοδα της υφιστάμενης κατάστασης και έπειτα κατά πόσο αυξάνονται ή μειώνονται τα έξοδα αυτά στις εναλλακτικές επιλογές μετασκευής.

[21] DALY: Disability Adjusted Life Years
[22] PDF: Potentially Disappeared Fraction of species

KIII. Κοινωνικά κριτήρια

KIII(α) Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές.

- Αξιολογείται το πόσο καινοτόμο και γνώριμο για το κοινό είναι το τελικό προϊόν, θεωρώντας ότι όσο πιο καινοτόμο είναι ένα προϊόν τόσο πιο δύσκολα γίνεται αποδεκτό από την κοινωνία. Επίσης γίνεται η θεώρηση ότι ένα προϊόν του οποίου οι πρώτες ύλες έχουν βιογενή προέλευση έχει την αποδοχή των καταναλωτών.

KIII(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

- Αξιολογείται η δυνατότητα να δημιουργηθούν νέες θέσεις εργασίας σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό θα επηρεαστεί κυρίως από τον αριθμό των σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας και τις απαιτήσεις μετασκευής στην μονάδα.

KIV. Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες

KIV(α) Διασφάλιση συνεχούς προμήθειας πρώτης ύλης.

- Αξιολογείται η διαθεσιμότητα και η απόσταση από την οποία προμηθεύεται η μονάδα τις πρώτες ύλες.

KIV(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής.

- Αξιολογεί της απαιτήσεις μετασκευής στην εκάστοτε τεχνολογία, από τον βοηθητικό εξοπλισμο μέχρι την κεντρική μονάδα του εργοστασίου.

KIV(γ) Αλλαγή νομοθεσίας.

- Αξιολογεί την αλλαγή της νομοθεσίας ως προς την προώθηση χρήσης συγκεκριμένων πηγών ενέργειας (ανανεώσιμων ή μη πηγών ενέργειας) και πρώτων υλών (ορυκτά, βρώσιμη ή μη βρώσιμη βιομάζα κτλ.) για παραγωγή ενέργειας.

8.4 Κλίμακα βαθμολόγησης κριτηρίων

Σε κάθε κριτήριο ανάλογα με την εναλλακτική δραστηριότητα, η οποία εξετάζεται, αποδίδεται μία βαθμολογία ως προς τις επιπτώσεις (θετικές και αρνητικές) της επιλογής της. Η βαθμολόγηση αυτή κυμαίνεται μεταξύ του 1 και του 7, που αποτελούν τα όρια. Με 7 χαρακτηρίζεται η καλύτερη κατάσταση και με 1 η δραστηριότητα που βρίσκεται στη δυσμενέστερη θέση. Έτσι, όταν σε ένα κριτήριο η επίδοση μιας λύσης είναι καλύτερη ως προς μία άλλη, δείχνει την προτίμηση στην οποία θα στραφεί ο αποφασίζων. Ενδεικτικά η βαθμολογία μιας δραστηριότητας σε κάθε κριτήριο θα μπορούσε να αποδοθεί βάσει του Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Απόδοση βαθμολόγησης κριτηρίων.

Απόδοση	Βαθμολογία
Ισχυρά θετικές επιπτωσεις	**7**
Πολύ καλές επιπτώσεις	**6**
Μέτρια καλές επιπτώσεις	**5**
Μέτριες επιπτώσεις	**4**
Μέτρια κακές επιπτώσεις	**3**
Πολύ κακές επιπτώσεις	**2**
Ισχυρά αρνητικές επιπτώσεις	**1**

Βάσει του Πίνακα 9 οι βαθμολογίες για κάθε κριτήριο αποδίδονται ως ακολούθως:

I. Περιβαλλοντικά κριτήρια

(α) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου/ Επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.

Για την αξιολόγηση κάθε σεναρίου ως προς τα περιβαλλοντικά κριτήρια έγινε χρήση του λογισμικού SimaPro στο οποίο εισήχθησαν δεδομένα σχετικά με (i) την πρώτη ύλη, (ii) την διαδικασία επεξεργασία αυτής, (iii) την μεταφορά της πρώτης ύλης στην βιομηχανία, (iv) την αποθήκευση/ προεπεξεργασία της, (v) την απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται για την σωστή λειτουργία της μονάδας και (vi) την παραγωγική διαδικασία της μονάδας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση όλων των περιβαλλοντικών κριτηρίων αφορούν θεωρητικές μονάδες των οποίων τα στοιχεία έχουν συλλεχθεί από διάφορες μελέτες ή από την βάση δεδομένων του λογισμικού SimaPro.

Οι βαθμολογίες για το συγκεκριμένο περιβαλλοντικό κριτήριο της επίδρασης στην κλιματική αλλαγή βρίσκονται σε συμφωνία με τους περιορισμούς της RED II οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Αναφέρεται ότι η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να είναι τουλάχιστον 70% σε όλα τα σενάρια εκτός από το 4^{ο} σενάριο όπου η μείωση αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 65%. Βάσει των παραπάνω, οι βαθμολογίες καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 10. Βαθμολογίες στο περιβαλλοντικό κριτήριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

SAVING (Σ1-3)	SAVING (Σ4)	Βαθμολογία
≥ 95 %	≥ 90 %	**7**
(90 – 95 %	(85 – 90 %	**6**
(85 – 90] %	(80 – 85] %	**5**
(80 – 85] %	(75 – 80] %	**4**
(75 – 80] %	(70 – 75] %	**3**
(70 – 75] %	(65 – 70] %	**2**
< 70 %	< 65%	**1**

(β) <u>Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων & (γ) στην ποιότητα του οικοσυστήματος – (δ) Ελάττωση φυσικών πόρων</u>

Καθ' ένα από τα τρία αυτά περιβαλλοντικά κριτήρια αποδίδονται ως:

- *Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων*, εκφραζόμενη ως ο αριθμός του χρόνου ζωής που χάθηκε και ο αριθμός των ετών ζωής με αναπηρία.
- *Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος*, εκφραζόμενη ως απώλεια ειδών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, κατά τη διάρκεια ορισμένου χρόνου.
- *Ελάττωση φυσικών πόρων*, εκφραζόμενη ως το πλεόνασμα ενέργειας που απαιτείται για μελλοντικές εξορύξεις ορυκτών πετρωμάτων και καυσίμων [61].

Για τον απόδοση βαθμολογίας σε καθ' ένα από αυτά τα κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν οι συντελεστές κανονικοποίησης της μεθοδολογίας IMPACT 2002+ του SimaPro, οι οποίοι παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 11. Συντελεστές κανονικοποίησης για τις τέσσερις κατηγορίες επίπτωσης για τη Δυτική Ευρώπη [50].

Κατηγορία	Συντελεστές καν/σης	Μονάδες	Συνολική επίπτωση	Μονάδες
Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων	0.0077	DALY/person/yr	$2.93 \cdot 10^6$	DALY/yr
Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος	4,650	$PDF \cdot m^2 \cdot yr/person/yr$	$1,767 \cdot 10^9$	$PDF \cdot m^2 \cdot yr$
Ελάττωση φυσικών πόρων	152,000	MJ/person/yr	$57,760 \cdot 10^9$	MJ/yr

Τα διαστήματα καθορίστηκαν για κάθε σενάριο ξεχωριστά με σκοπό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις στις βαθμολογίες, λόγω της διαφορετικής λειτουργίας και δυναμικότητας κάθε μονάδας. Τα διαστήματα αυτά θα παρουσιάζονται ξεχωριστα σε κάθε σενάριο στο υποκεφάλαιο 8.5 κατά την απόδοση της βαθμολογίας.

II. Οικονομικά κριτήρια

Για την αξιολόγηση του ΚΚΖ της μετασκευής, θα εξεταστούν οι παρακάτω οικονομικοί παράγοντες:

(α) CAPEX & (β) OPEX

Οι βαθμολογίες για το οικονομικό κριτήριο CAPEX σε κάθε σενάριο ορίζονται βάσει ενός οικονομικού περιορισμού ως προς την επένδυση κεφαλαίου, το οποίο καθορίζεται από το ενδεικτικό επενδυτικό κόστος της υφιστάμενης μονάδας. Οι τιμές αυτές βρίσκονται βιβλιογραφικά και τα διαστήματα καθορίζονται για κάθε σενάριο ξεχωριστά στο υποκεφάλαιο 8.5 κατά την απόδοση της βαθμολογίας.

Ομοίως, για το οικονομικό κριτήριο OPEX, τα διαστήματα καθορίζονται για κάθε σενάριο ξεχωριστά ορίζοντας ως μέση απόδοση (βαθμολογία 4) τα λειτουργικά έξοδα της υφιστάμενης κατάστασης.

III. Κοινωνικά κριτήρια

(α) Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές.

Η αξιολόγηση του συγκεκριμένου κοινωνικού κριτηρίου έγινε βάσει του κύκλου ζωής του προϊόντος κατά το οποίο κάθε προϊόν διέρχεται από διαφορετικές φάσεις από την στιγμή που εισέρχεται στην αγορά. Οι φάσεις αυτές είναι:

i. *εισαγωγή*, στην οποία το νέο προϊόν δοκιμάζεται μέχρι να επιβεβαιωθούν τα χαρακτηριστικά του,
ii. *ανάπτυξη*, στην οποία έχουν οριστικοποιηθεί τα χαρακτηριστικά του προϊόντος,
iii. *ωρίμανση*, στην οποία το προϊόν έχει καθιερωθεί στην αγορά,
iv. *παρακμή*, στην οποία το προϊόν αντιμετωπίζει νέες τεχνολογίες ή βελτιωμένα προϊόντα [90].

Βάσει των θεωρήσεων αυτών, οι βαθμολογίες καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 12. Βαθμολογίες στο κοινωνικό κριτήριο της αποδοχής τελικού προϊόντος.

Αποδοχή	Βαθμολογία
Μη καινοτόμο προϊόν – Φάση ωρίμανσης – Βιογενούς προέλευσης	**7**
Μη καινοτόμο προϊόν – Φάση ωρίμανσης – Μη βιογενούς προέλευσης	**6**
Μη καινοτόμο προϊόν – Φάση παρακμής	**5**
Καινοτόμο προϊόν - Φάση ανάπτυξης – Βιογενούς προέλευσης	**4**
Καινοτόμο προϊόν – Φάση ανάπτυξης – Μη βιογενούς προέλευσης	**3**
Καινοτόμο προϊόν – Φάση εισαγωγής – Βιογενούς προέλευσης	**2**
Καινοτόμο προϊόν – Φάση εισαγωγής – Μη βιογενούς προέλευσης	**1**

(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Οι βαθμολογίες για το συγκεκριμένο κοινωνικό κριτήριο καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 13. Βαθμολογίες στο κοινωνικό κριτήριο της δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας.

Αριθμός θέσεων εργασίας	Βαθμολογία
Θα δημιουργηθούν:	
> 10	**7**
5 - 10	**6**
1 - 5	**5**
0	**4**
Θα χαθούν:	
1 - 5	**3**
5 - 10	**2**
> 10	**1**

IV. Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες

(α) Διασφάλιση συνεχούς προμήθειας πρώτης ύλης.

Οι βαθμολογίες καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 14. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της συνεχούς προμήθειας πρώτης ύλης.

Απόσταση	Βαθμολογία
< 100 km	**7**
(100 – 500] km	**6**
(500 - 1,000] km	**5**
(1,000 – 2,000] km	**4**
(2,000 – 4,000] km	**3**
(4,000 - 8,000] km	**2**
> 8,000 km	**1**

(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής.

Οι βαθμολογίες για το συγκεκριμένο κριτήριο κινδύνου καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 15. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της πιθανότητας βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής.

Μετασκευή υφιστάμενης τεχνολογίας	Βαθμολογία
Καμία προσαρμογή στον τεχνικό εξοπλισμό της μονάδας	**7**
Αλλαγές/ Προσθήκη στις βοηθητικές ύλες της παραγωγικής διαδικασίας	**6**
Αλλαγές στα βοηθητικό εξοπλισμό της παραγωγικής διαδικασίας	**5**
Προσθήκη νέου βοηθητικού εξοπλισμού αποθήκευσης και τροφοδοσίας	**4**
Προσθήκη νέας μονάδας προεπεξεργασίας της πρώτης ύλης	**3**
Αλλαγές στον κεντρικό τμήμα του τεχνικού εξοπλισμού της μονάδας	**2**
Τεχνικά αδύνατη η προσαρμογή του τεχνικού εξοπλισμού της μονάδας στις απαιτήσεις μετασκευής	**1**

(γ) Αλλαγή νομοθεσίας.

Για την βαθμολόγηση του συγκεκριμένου κριτηρίου λήφθηκαν υπόψη οι στόχοι και περιορισμοί της RED II και ο μακροπρόθεσμος στόχος της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας για κλιματική ουδετερότητα με μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050 [79]. Επίσης, λήφθηκαν υπόψη οι στόχοι Ευρωπαϊκών χωρών ως προς την κατάργηση χρήσης ορυκτών καυσίμων σε βάθος χρόνου. Βάσει αυτών, οι βαθμολογίες για το συγκεκριμένο κοινωνικό κριτήριο καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 16. Βαθμολογίες στο κριτήριο κινδύνου της πιθανής αλλαγής νομοθεσίας.

Αλλαγή νομοθεσίας	Βαθμολογία	Πηγές
Κανένας περιορισμός χρήσης	**7**	-
Προώθηση χρήσης ως μερίδιο της ακαθάριστης τελικής κατανάλωσης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών σε τουλάχιστον ίση με 0.2% το 2022, τουλάχιστον 1% το 2025 και τουλάχιστον 3.5% έως το 2030 **(**προηγμένα βιοκαύσιμα)	**6**	RED II – Άρθρο 25 (παράρτημα IX μέρος A)
Περιορισμός χρήσης σε μέγιστο ποσοστό 1.7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας[23]	**5**	RED II – Άρθρο 27 (παράρτημα IX μέρος B)
Περιορισμός χρήσης σε μέγιστο ποσοστό 7% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας	**4**	RED II – Άρθρο 26
Κατάργηση χρήσης σε >15 χρόνια	**3**	[20, 79]
Κατάργηση χρήσης σε <15 χρόνια και >10 χρόνια	**2**	[20, 79]
Άμεση κατάργηση χρήσης σε <10 χρόνια	**1**	[20, 79]

Για την αξιολόγηση των σεναρίων στα οποία γίνεται χρήση διαφορετικών πρώτων υλών (δηλ. Σ2, Σ3, Σ4), θα λαμβάνεται υπόψην η ενδιάμεση βαθμολογία αλλά και τα ποσοτά χρήσης αυτών.

[23] Τα κράτη μέλη μπορούν να τροποποιούν το εν λόγω όριο λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα των πρώτων υλών που απαριθμούνται στο παράρτημα IX μέρος B.

8.5 Βαθμολογία κριτηρίων εναλλακτικών δραστηριοτήτων

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε ανάλυση, τα αποτελέσματα αυτών και οι βαθμολογίες που αποδόθηκαν σε κάθε εναλλακτική δραστηριότητα.

8.5.1 Σενάριο 1 - ΣΗΘ

I. Περιβαλλοντικά κριτήρια

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό SimaPro για την περιβαλλοντική αξιολόγηση του σεναρίου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 17. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Πρώτη ύλη	Ορυκτό έλαιο	Βιοέλαιο από τηγανέλαια	Βιοντίζελ από ελαιοκράμβη
Ενεργειακό περιεχόμενο πρώτης ύλης (MWh/m^3)	9.95	9.02	9.20
Πυκνότητα (kg/m^3)	840	883	882
Παραγόμενη θερμότητα (MWh)	1,990	1,990	1,990
Όγκος πρώτης ύλης (m^3)	200	221	217
Ποσότητα πρώτης ύλης (tn)	168	195.14	191.40
Ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας (MWh$_e$)	5	8[24]	5
Απόσταση μεταφοράς της πρώτης ύλης (km)	30	2,000	1,010[25]
Μέσο μεταφοράς	Βυτιοφόρο φορτηγό	Βυτιοφόρο φορτηγό	Βυτιοφόρο φορτηγό

(α) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Από τα αποτελέσματα του SimaPro υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική δραστηριότητα ότι:

Πίνακας 18. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ΣΗΘ ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Συνολικές εκπομπές (tn CO_{2eq})	684	33.53	360
Εκπομπές CO_2 ανά ενεργειακό περιεχόμενο τελικού προϊόντος (g CO_{2eq}/MJ)	95.48	4.68	50.25
Μείωση εκπομπών (%)	-	94.15	37.19

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και του Πίνακα 10, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 1, 6, 1, αντίστοιχα.

[24] Συγκεκριμένα, οι 5 MWh$_e$ καταναλώνονται κατά την λειτουργία του λέβητα και 3 MWh$_e$ απαιτούνται για την προθέρμανση του βιοελαίου πριν εισαχθεί στο λέβητα.

[25] Τα 10 km αφορούν την μεταφορά της σοδειάς ελαιοκράμβης στην εταιρία παραγωγής βιοντίζελ και τα υπόλλοιπα 1,000 km στην μεταφορά του βιοντίζελ στην προς εξέταση μονάδα ΣΗΘ.

(β) Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων & (γ) στην ποιότητα του οικοσυστήματος – (δ) Ελάττωση φυσικών πόρων

Για την αξιολόγηση των τριών αυτών περιβαλλοντικών κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα του SimaPro τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 19. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ΣΗΘ ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (DALY)	0.158	0.0163	0.0821
Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος (PDF·m^2·yr)	951,000	22,000	710,000
Ελάττωση φυσικών πόρων (MJ primary)	18,500,000	420,000	1,820,000

Βάσει των αποτελεσμάτων και με σκοπό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι βαθμολογίες για τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά κριτήρια καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 20. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων στο σενάριο μονάδας ΣΗΘ.

Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος	Ελάττωση των φυσικών πόρων	Βαθμολογία
≤ 0.0077	≤ 4,650	≤ 152,000	**7**
(0.0077 – 0.0154]	(4,650 – 32,550]	(152,000 – 304,000]	**6**
(0.0154 – 0.0308]	(32,550 – 102,300]	(304,000- 608,000]	**5**
(0.0308 – 0.0539]	(102,300 – 213,900]	(608,000 – 1,064,000]	**4**
(0.0539 – 0.0847]	(213,900 – 492,900]	(1,064,000 – 1,672,000]	**3**
(0.0847 - 0.1232]	(492,900 – 716,100]	(1,672,000 – 2,432,000]	**2**
> 0.1232	> 716,100	> 2,432,000	**1**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω δύο πινάκων, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο κριτήριο της επίπτωσης στην υγεία των ανθρώπων είναι 1, 5, 3, αντίστοιχα, στο κριτήριο της επίπτωσης στην ποιότητα του οικοσυστήματος είναι 1, 6, 2, αντίστοιχα και στο κριτήριο της ελάττωσης φυσικών πόρων είναι 1, 5, 2, αντίστοιχα.

II. Οικονομικά κριτήρια

Για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από άλλες αντίστοιχες μονάδες. Όσον αφορά το CAPEX, περιέχονται τα κόστη της μετασκευής του εξοπλισμού από άλλες μελέτες, τα οποία προσαρμόστηκαν αναλογικά στην συγκεκριμένη περίπτωση μετασκευής. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 21. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Ώρες λειτουργίας μονάδων (ώρες/χρόνο)	500	500	500
Κόστος πρώτων υλών (€/tn)	982.6	504.3	956.5
Κόστος μετασκευής εξοπλισμού (€)	0	150,000	40,000
Άλλες πρόσθετες χρεώσεις κατά την διαδικασία της μετασκευής (€)	0	1,000	1,000
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€/kWh)[26]	0.321	0.321	0.321
Κόστος συντήρησης (€)	0	7,000	0

Ορίζεται οικονομικός περιορισμός ως προς την επένδυση κεφαλαίου που καθορίζεται από το κόστος επένδυσης για λέβητα ορυκτών καυσίμων. Βιβλιογραφικά[27], η τιμή αυτή είναι περίπου 50€/kW και άρα το ανώτερο όριο οικονομικού κεφαλαίου ορίζεται στο 1,000,000€.

(α) CAPEX

Έχοντας καθορίσει ως περιορισμό ότι το CAPEX κάθε εναλλακτικού σεναρίου δεν πρέπει να υπερβαίνει το 1,000,000€, οι βαθμολογίες του οικονομικού κριτηρίου αυτού καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 22. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας ΣΗΘ.

CAPEX	Βαθμολογία
≤ 50,000 €	**7**
(50,000 – 150,000] €	**6**
(150,000 – 250,000] €	**5**
(250,000 – 400,000] €	**4**
(400,000 – 550,000] €	**3**
(550,000 - 750,000] €	**2**
(750,000 – 1,000,000] €	**1**

(β) OPEX

Οι βαθμολογίες για το οικονομικό κριτήριο OPEX καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 23. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας ΣΗΘ.

OPEX	Βαθμολογία
≤ 120,000 €	**7**
(120,000 – 140,000] €	**6**
(140,000 – 160,000] €	**5**
(160,000 -180,000] €	**4**
(180,000 -200,000] €	**3**
(200,000 - 220,000] €	**2**
> 220,000 €	**1**

[26] Global Petrol Prices. Greece electricity prices. 2020. Available online: https://www.globalpetrolprices.com/Germany/electricity_prices/ (accessed on 30 November 2020).
[27] NERA & AEA COST SOURCE. Available online: http://2050-calculator-tool-wiki.decc.gov.uk/cost_sources/61 (accessed on 31 January 2021).

Οι υπολογισμοί για τους οικονομικούς δείκτες CAPEX και OPEX παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στους υπολογισμούς του CAPEX περιλαμβάνονται μόνο τα ενδεικτικά κόστη για τον εξοπλισμό της μετασκευής.

Πίνακας 24. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων σεναρίου μονάδας ΣΗΘ.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
CAPEX (€)	0	170,000	58,300
Κόστος συντήρησης[28] (€)	0	3,400	0
Συνολικό κόστος πρώτων υλών (€)	165,076.80	98,409.10	183,409.10
Συνολικό κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)	1,605	2,568	1,605
OPEX (€)	166,681.80	104,377.10	185,014.10

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και τους Πίνακες 22 και 23, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο οικονομικό κριτήριο CAPEX είναι 7, 5, 7, αντίστοιχα και στο κριτήριο OPEX είναι 4, 7, 3, αντίστοιχα.

III. Κοινωνικά κριτήρια

(α) Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές

Σχετικά με την βαθμολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης θεωρούμε ότι το ορυκτό έλαιο είναι γνωστό προς το ευρύ κοινό σαν καύσιμο θέρμανσης, μη καινοτόμο και μη φιλικό προς το περιβάλλον και την δεδομένη στιγμή βρίσκεται στο στάδιο της παρακμής. Στην περίπτωση χρήσης του βιοελαίου σαν καύσιμο θέρμανσης, αξιολογούμαι ότι αποτελεί καινοτόμο προϊόν, άγνωστο στο ευρύ κοινό λόγω ότι η παραγωγή καυσίμων από απόβλητα είναι μεταγενέστερη της παραγωγής καυσίμων από γεωργικά προϊόντα και βρίσκεται στο στάδιο της εισαγωγής. Σε αντίθεση, το βιοντίζελ αποτελεί καινοτόμο προϊόν, είναι γνωστό προς το ευρύ κοινό και βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης.

Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 12, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 5, 2, 4, αντίστοιχα.

[28] Βάσει βιβλιογραφίας υπολογίζεται ως το 2% του CAPEX και αναφέρεται στην συντήρηση της μονάδας προ-επεξεργασίας που απαιτείται στην περίπτωση χρήσης βιοελαίου.

(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης, λόγω ότι δεν θα γίνει καμία αλλαγή στην εφοδιαστική αλυσίδα της παραγωγικής διαδικασίας, θεωρούμε ότι δεν θα χαθεί αλλά ταυτόχρονα δεν θα δημιουργηθεί καμία νέα θέση εργασίας. Στην περίπτωση χρήσης τηγανελαίων για την παραγωγή βιοελαίου, θεωρούμε ότι θα δημιουργηθούν περισσότερες από 10 θέσεις εργασίας στα στάδια της συλλογής τηγανελαίων, στην μεταφορά τους με το βυτιοφόρο, στην προ-επεξεργασία των τηγανελαίων για παραγωγή βιοελαίου και στην παραγωγική διαδικασία καθώς απαιτείται η προσθήκη επιπλέον βοηθητικού εξοπλισμού. Για την περίπτωση χρήσης ελαιοκράμβης για παραγωγή βιοντίζελ, θεωρούμε ότι θα δημιουργηθούν λιγότερες από 10 θέσεις εργασίας καθώς δεν απαιτείται η προσθήκη βοηθητικού εξοπλισμού.

Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 13, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 4, 7, 6, αντίστοιχα.

IV. ***Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες***

(α) Συνεχή προμήθεια πρώτης ύλης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εταιρία προμηθεύεται ορυκτό έλαιο (Υφιστάμενη κατάσταση) από την Ρωσία σε απόσταση 7,000 km, βιοέλαιο (Περίπτωση 1η μετασκευής) από την Γερμανία σε απόσταση 100 km, και βιοντίζελ (Περίπτωση 2η μετασκευής) από τη Βοσνία - Ερζεγοβίνη σε απόσταση 1,400 km, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο, βάσει του Πίνακα 14, είναι 2, 6, 4 αντίστοιχα.

(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής

Για την πραγματοποίηση μιας σωστά λειτουργικής διαδικασίας καύσης του βιοελαίου και βιοντίζελ, απαιτούνται προσαρμογές στον βοηθητικό εξοπλισμό του λέβητα. Συγκεκριμένα λόγω της διαφορετικής φύσης των δύο αυτών ελαίων, το σύστημα τροφοδοσίας και εξαερισμού του λεβητοστασίου πρέπει να ανακατασκευαστεί. Επιπλέον, στην περίπτωση του βιοελαίου απαιτείται να προθερμανθεί στους 25°C πριν εισαχθεί στον λέβητα. Για τον λόγο αυτό, πρέπει να εγκατασταθεί πρόσθετος εξοπλισμός. Συγκεκριμένα ο εξοπλισμός αυτός πρέπει να εξασφαλίζει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη θέρμανση του καυσίμου στις δεξαμενές και στους σωλήνες, καθώς και εξοπλισμός για την ρύθμιση και παρακολούθηση της προ-επεξεργασίας αυτής.

Βάσει των δεδομένων αυτών και του Πίνακα 15, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7, 3, 5, αντίστοιχα.

(γ) Αλλαγή νομοθεσίας

Για την χρήση ορυκτών ελαιών, η Γερμανία έχει δηλώσει την σταδιακή κατάργηση τους μέχρι το 2038 [20]. Τα τηγανέλαια ως πρώτη ύλη απαριθμούνται στο παράρτημα IX μέρος B. Τέλος, η ελαιοκράμβη χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή βρώσιμων προϊόντων. Βάσει αυτών και του Πίνακα 16, οι βαθμολογίες για κάθε περίπτωση είναι 3, 5, 4, αντίστοιχα.

8.5.1.1 Προσδιορισμός βαρών

Σημαντικό στοιχείο για την εύρεση της βέλτιστης επιλογής είναι η αξιολόγηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου. Αυτή η διαδικασία γίνεται με την απόδοση ενός συντελεστή-βάρους για τη συσχέτιση μεταξύ των κριτηρίων με βάση τις προτεραιότητες που θέτει ο επενδυτής.

Έτσι, αποδίδονται τα βάρη ως ακολούθως:

Πίνακας 25. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα ΣΗΘ.

			ΔΙ		**ΔΙΙ**		**ΔΙΙΙ**		
Κριτήρια	**Υποκριτήρια**	**ΣΒ (%)**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Βάρος κριτηρίων (%)**
Περιβαλλοντικά	ΚΙ(α)	30	1	1	6	5.50	1	2	30
	ΚΙ(β)	30	1		5		3		
	ΚΙ(γ)	20	1		6		2		
	ΚΙ(δ)	20	1		5		2		
Οικονομικά	ΚΙΙ(α)	50	7	5.50	5	6	7	5	30
	ΚΙΙ(β)	50	4		7		3		
Κοινωνικά	ΚΙΙΙ(α)	45	5	4.45	2	4.75	4	5.10	25
	ΚΙΙΙ(β)	55	4		7		6		
Κίνδυνοι	ΚΙV(α)	25	2	4.15	6	4.55	4	4.35	15
	ΚΙV(β)	35	7		3		5		
	ΚΙV(γ)	40	3		5		4		
Συνολικό βάρος κριτηρίων									100

Β: Βαθμολόγηση υποκριτριών.
ΣΒ: Συνολική βαθμολόγηση κριτηρίων.

Η μεγαλύτερη βαρύτητα δόθηκε στα περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια δεδομένου ότι ο αρχικός σκοπός της μετασκευής είναι να καταστήσει την μονάδα φιλικότερη προς το περιβάλλον και κατά δεύτερον να μην αποβεί οικονομικά μη βιώσιμη μια τέτοια επένδυση. Σημαντική αλλά μικρότερη βαρύτητα δόθηκε στην κοινωνία θέλοντας να δοθεί έμφαση η σημαντικότητα της εταιρικής κοινωνικής ευθύνης. Τέλος, η μικρότερη βαρύτητα δόθηκε στους πιθανούς κινδύνους λόγω ότι είναι αναπόφευκτοι και μη προβλέψιμοι.

8.5.1.2 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συγκεντρωτική βαθμολογία για κάθε οικογένεια κριτηρίων.

Πίνακας 26. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας ΣΗΘ.

Κριτήριο	**ΚΙ**	**ΚΙΙ**	**ΚΙΙΙ**	**ΚΙV**
Βάρος	30	30	25	15
Εναλλακτική δραστηριότητα				
ΔΙ	1	5.50	4.45	4.15
ΔΙΙ	5.50	6	4.75	4.55
ΔΙΙΙ	2	5	5.10	4.35

Με βάση τον πίνακα βαθμολόγησης των δυνατών επιλογών, υπολογίστηκαν οι πίνακες συμφωνίας και ασυμφωνίας, C και D (με δ = 4.50) αντίστοιχα.

Πίνακας 27. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας ΣΗΘ.

C			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0	0.30
ΔΙΙ	1	-	0.75
ΔΙΙΙ	0.70	0.25	-

D			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	1	0.22
ΔΙΙ	0.11	-	0.08
ΔΙΙΙ	0.11	0.78	-

8.5.1.3 Κατασκευή πυρήνα

Για την κατάληξη στη βέλτιστη επιλογή, ορίζονται οι τιμές στα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας ώστε να δημιουργηθούν οι πυρήνες που θα οδηγήσουν τελικά στην βέλτιστη εναλλακτική δραστηριότητα. Διαδοχικά έχουμε τα παρακάτω:

- Για $\hat{c}$=1 και $\hat{d}$ = 0.11

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙΙ, ΔΙΙΙ}

- Για $\hat{c}$ =0.75 και $\hat{d}$ = 0.11

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙΙ}

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 28. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας ΣΗΘ.

Κατώφλι συμφωνίας	**Κατώφλι ασυμφωνίας**	**Πυρήνας επιλογών**
1	0.11	{ΔΙΙ, ΔΙΙΙ}
0.75	**0.11**	**{ΔΙΙ}**

Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το γεγονός οι βαθμολογίες της εναλλακτικής ΔΙΙ σε όλα τα εξεταζόμενα κριτήρια είναι υψηλότερη, καθιστώντας την εναλλακτική αυτή μη συγκρίσιμη. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το ότι το κόστος των πρώτων υλών στην περίπτωση χρήσης βιοελαίων είναι σημαντικά χαμηλότερο από το κόστος του βιοντίζελ. Επίσης, βάσει της RED II, οι εκπομπές για την παραγωγή των χρησιμοποιημένων τηγανελαίων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του βιοελαίου, είναι μηδενικές γιατί αποτελούν απόβλητα.

8.5.2 Σενάριο 2 - Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα

I. Περιβαλλοντικά κριτήρια

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό SimaPro παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 29. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**		**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**	
Πρώτη ύλη	Ορυκτός άνθρακας	95% Ορυκτός άνθρακας	5% πέλλετς	100% πέλλετς	
Ενεργειακό περιεχόμενο πρώτης ύλης (MWh/tn)	6.67	6.67	4.58	4.58	
Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (GWh_e)	1,800	1,800		1,800	
Απόδοση (%)	36	36		36	
Ποσότητα πρώτης ύλης (tn)	823,000	400,000	30,000	1,200,000	
Απόσταση μεταφοράς της πρώτης ύλης (km)	30	80	9,000	50	9,000
Μέσο μεταφοράς	Βυτιοφόρο φορτηγό	Βυτιοφόρο φορτηγό	Δεξαμενόπλοιο	Βυτιοφόρο φορτηγό	Δεξαμενόπλοιο

(α) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Από τα αποτελέσματα του SimaPro υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική δραστηριότητα ότι:

Πίνακας 30. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ως προς στην κλιματική αλλαγή.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
Συνολικές εκπομπές (tn CO_{2eq})	1.9×10^6	1.83×10^6	3.55×10^5
Εκπομπές CO_2 ανά ενεργειακό περιεχόμενο τελικού προϊόντος (g CO_{2eq}/MJ)	282	271	52.60
Μείωση εκπομπών (%)	-	-	71.26

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και του Πίνακα 10, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 1, 1, 2, αντίστοιχα.

(β) Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων & (γ) στην ποιότητα του οικοσυστήματος – (δ) Ελάττωση φυσικών πόρων

Για την αξιολόγηση των τριών αυτών περιβαλλοντικών κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα του SimaPro, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 31. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας ηλεκτροπαραγωγής ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (DALY)	277	236	1,820
Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος (PDF·m^2·yr)	1.18×10^8	6.2310^7	7.4110^9
Ελάττωση φυσικών πόρων (MJ primary)	2.110^{10}	1.0210^{10}	7.5410^9

Βάσει των αποτελεσμάτων και με σκοπό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι βαθμολογίες για τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά κριτήρια καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 32. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος	Ελάττωση των φυσικών πόρων	Βαθμολογία
≤ 0.0077	≤ 4,650	≤ 152,000	**7**
(0.0077 – 0.0815]	(4,650 – 81,000]	(152,000 – 1.6×10^6]	**6**
(0.0815 – 0.9912]	(81,000 – 1.4×10^6]	(1.6×10^6 – 1.7×10^7]	**5**
(0.9912 – 12.060]	(1.4×10^6 – 24.4×10^6]	(1.7×10^7– 1.8×10^8]	**4**
(12.060 – 146.73]	(24.4×10^6– 4.3×10^8]	(1.8×10^8– 1.9×10^9]	**3**
(146.73 – 1785.3]	(4.3×10^8 – 7.3×10^9]	(1.9×10^9– 1.9×10^{10}]	**2**
> 1785.3	> 7.3×10^9	> 1.9×10^{10}	**1**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω δύο πινάκων, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο κριτήριο της επίπτωσης στην υγεία των ανθρώπων είναι 2, 2, 1, αντίστοιχα, στο κριτήριο της επίπτωσης στην ποιότητα του οικοσυστήματος είναι 2, 3, 1, αντίστοιχα και στο κριτήριο της ελάττωσης φυσικών πόρων είναι 1, 1, 2, αντίστοιχα.

II. <u>Οικονομικά κριτήρια</u>

Για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από άλλες αντίστοιχες μονάδες. Όσον αφορά το CAPEX, περιέχονται τα κόστη της μετασκευής του εξοπλισμού από άλλες μελέτες τα οποία προσαρμόστηκαν αναλογικά στην συγκεκριμένη περίπτωση μετασκευής. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 33. Δεδομένα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Ώρες λειτουργίας μονάδων (ώρες/χρόνο)	7,000	7,000	7,000
Κόστος ορυκτού άνθρακα (€/GWh) [49]	7,767	7,767	-
Κόστος πέλλετς (€/tn) [83]	-	136	136
Κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€/kW) [49]	40	40	109
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€/MWh) [49]	4.8	4.8	5.4

Ορίζεται οικονομικός περιορισμός ως προς την επένδυση κεφαλαίου που καθορίζεται από το κόστος επένδυσης για σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Βιβλιογραφικά [17], η τιμή αυτή είναι περίπου 824€/ kWh και άρα το ανώτερο όριο οικονομικού κεφαλαίου ορίζεται στα 263,680,000€.

(α) CAPEX

Έχοντας καθορίσει ως περιορισμό ότι το CAPEX κάθε εναλλακτικού σεναρίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 263,680,000€, οι βαθμολογίες του οικονομικού κριτηρίου αυτού καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 34. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

CAPEX	Βαθμολογία
≤ 64,400€	**7**
(64,400 – 257,600] €	**6**
(257,600 – 1,030,400] €	**5**
(1,030,400 – 4,121,600] €	**4**
(4,121,600 – 16,486,400] €	**3**
(16,486,400 - 65,945,600] €	**2**
(65,945,600 – 263,680,000] €	**1**

(β) OPEX

Οι βαθμολογίες για το οικονομικό κριτήριο OPEX καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 35. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

OPEX	Βαθμολογία
≤ 20×10^6 €	**7**
(20×10^6 - 40×10^6] €	**6**
(40×10^6 - 60×10^6] €	**5**
(60×10^6 - 80×10^6] €	**4**
(80×10^6 - 140×10^6] €	**3**
(140×10^6 - 200×10^6] €	**2**
> 200×10^6 €	**1**

Οι υπολογισμοί για τους οικονομικούς δείκτες CAPEX και OPEX παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στους υπολογισμούς του CAPEX περιλαμβάνονται μόνο τα ενδεικτικά κόστη για τον εξοπλισμό της μετασκευής.

Πίνακας 36. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
CAPEX (€)	0	20,000[29]	203,200,000 [49]
Συνολικό κόστος πρώτων υλών (€)	42,828,015	24,895,560[30]	163,200,000
Κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€)	12,800,000	12,800,000	34,880,000
Μεταβλητό κόστος λειτουργίας & συντήρησης (€)	8,640,000	8,640,000	9,720,000
OPEX (€)	64,268,015	46,335,560	207,800,000

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και τους Πίνακες 22 και 23, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο οικονομικό κριτήριο CAPEX είναι 7, 7, 1, αντίστοιχα και στο κριτήριο OPEX είναι 4, 5, 1, αντίστοιχα.

V. Κοινωνικά κριτήρια

(α) Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές

Σχετικά με την βαθμολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης θεωρούμε ότι το ορυκτό καύσιμο είναι γνωστό προς το ευρύ κοινό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μη καινοτόμο, μη φιλικό προς το περιβάλλον και την δεδομένη στιγμή βρίσκεται στο στάδιο της παρακμής. Στην περίπτωση χρήσης των πέλλετς σαν καύσιμο και στις δύο περιπτώσεις μετασκευής, αξιολογούμε ότι αποτελεί καινοτόμο προϊόν, άγνωστο στο ευρύ κοινό, φιλικό προς το περιβάλλον. Ωστόσο, λόγω του διαφορετικού ποσοστού χρήσης πέλλετς μεταξύ των δύο περιπτώσεων μετασκευής, θεωρούμε ότι η συν-καύση πρώτων υλών βιογενούς και μη βιογενούς προέλευσης βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης ενώ η 100% χρήση πέλλετς στο στάδιο εισαγωγής. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 12, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 5, 4, 2, αντίστοιχα.

[29] https://www.alibaba.com/showroom/wood-pellet-silo.html
[30] Όπου το κόστος για τον ορυκτό άνθρακα είναι 20,815,560€ και για τα πέλλετς 4,080,000€.

(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης, λόγω ότι δεν θα γίνει καμία αλλαγή στην εφοδιαστική αλυσίδα της παραγωγικής διαδικασίας, θεωρούμε ότι δεν θα χαθεί αλλά ταυτόχρονα δεν θα δημιουργηθεί καμία νέα θέση εργασίας. Στην περίπτωση μετασκευής με χρήση πέλλετς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα επιτραπεί η διατήρηση θέσεων εργασίας στην περιοχή λόγω του ότι οι μονάδες ορυκτών καυσίμων δεν ανταποκρίνονται στις περιβαλλοντικές απαιτήσεις της ΕΕ και η μονάδα καθίστανται όλο και πιο λανθάνων λόγω των προστίμων και των φόρων που επιβάλλονται στις εκπομπές CO_2. Λόγω της εκτενής εφοδιαστικής αλυσίδας κατά την συλλογή δασικών υπολειμμάτων, μεταφοράς, παραγωγής πελλετς και εφαρμογής στον εκάστοτε λέβητα θεωρούμε ότι θα υπάρξει μια μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των περιπτώσεων μετασκευής λόγω της μεγάλης διαφοράς στην απαιτούμενη ποσότητα πέλλετς και κατ' επέκταση δασικών υπολειμμάτων. Επίσης, στην περίπτωση της 100% χρήση πέλλετς απαιτούνται αλλαγές στο σύστημα καυσαερίων, το οποίο δεν αλλάζει στην περίπτωση χρήσης 5% πέλλετς. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 13, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 4, 6, 7, αντίστοιχα.

VI. ***Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες***

(α) Συνεχή προμήθεια πρώτης ύλης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εταιρία προμηθεύεται ορυκτά καύσιμα (Υφιστάμενη κατάσταση) από την περιοχή σε απόσταση 20 km, και πέλλετς σε συνολική απόσταση 9,050 km η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας, βάσει του Πίνακα 14, στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7, 1, 1, αντίστοιχα.

(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής

Για την πραγματοποίηση μιας σωστά λειτουργικής διαδικασίας καύσης των πέλλετς, δεν απαιτούνται σημαντικές προσαρμογές στον λέβητα. Ωστόσο, πολλά υποσυστήματα εγκαταστάσεων θα πρέπει να τροποποιηθούν προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του νέου καυσίμου. Συγκεκριμένα και στις δύο περιπτώσεις μετασκευής ο μεταφορικός ιμάντας πρέπει να προσαρμοστεί κατάλληλα και ένα νέο σιλό βιομάζας πρέπει να κατασκευαστεί. Στην περίπτωση χρήσης 5% πέλλετς δεν απαιτείται επιπλέον καθαρισμός καυσαερίου, ο οποίος απαιτείται στην 2^{η} περίπτωση μετασκευής. Επιπλέον, το τρέχον σύστημα άλεσης του καυσίμου είναι συμβατό για χρήση βιομάζας. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 15, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7, 5, 4, αντίστοιχα.

(γ) Αλλαγή νομοθεσίας

Για την χρήση ορυκτού καυσίμου, η Ελλάδα έχει δηλώσει σταδιακή κατάργηση χρήσης τους μέχρι το 2028. Όσον αφορά τα δασικά υπολείμματα ως πρώτη ύλη, απαριθμούνται στο παράρτημα IX μέρος Α. Αξίζει να αναφερθεί ότι, επί του παρόντος, δεν υπάρχουν δεσμευτικά κριτήρια αειφορίας για τη στερεή βιομάζα σε ολόκληρη την ΕΕ. Δεδομένου ότι για την 1^{η} περίπτωση μετασκευής το 95% μερίδιο τροφοδοσίας είναι ορυκτό και μόλις το 5% από δασικά υπολείμματα, οι βαθμολογίες για κάθε περίπτωση, βάσει του Πίνακα 16, είναι 1, 2, 6, αντίστοιχα.

8.5.2.1 Προσδιορισμός βαρών

Τα βάρη κάθε κριτηρίου για το συγκεκριμένο σενάριο αποδίδονται ως ακολούθως:

Πίνακας 37. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα ηλεκτροπαραγωγής.

			ΔΙ		ΔΙΙ		ΔΙΙΙ		
Κριτήρια	**Υποκριτήρια**	**ΣΒ (%)**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Βάρος κριτηρίων (%)**
Περιβαλλοντικά	ΚΙ(α)	30	1	1.50	1	1.70	2	1.50	30
	ΚΙ(β)	30	2		2		1		
	ΚΙ(γ)	20	2		3		1		
	ΚΙ(δ)	20	1		1		2		
Οικονομικά	ΚΙΙ(α)	50	7	5.50	7	6	1	1	30
	ΚΙΙ(β)	50	4		5		1		
Κοινωνικά	ΚΙΙΙ(α)	45	5	4.45	4	5.10	2	4.75	25
	ΚΙΙΙ(β)	55	4		6		7		
Κίνδυνοι	ΚΙV(α)	25	7	4.60	1	2.80	1	4.05	15
	ΚΙV(β)	35	7		5		4		
	ΚΙV(γ)	40	1		2		6		
Συνολικό βάρος κριτηρίων									100

Β: Βαθμολόγηση υποκριτριών.
ΣΒ: Συνολική βαθμολόγηση κριτηρίων.

8.5.2.2 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συγκεντρωτική βαθμολογία για κάθε οικογένεια κριτηρίων.

Πίνακας 38. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

Κριτήριο	**ΚΙ**	**ΚΙΙ**	**ΚΙΙΙ**	**ΚΙV**
Βάρος	30	30	25	15
Εναλλακτική δραστηριότητα				
ΔΙ	1.50	5.50	4.45	4.60
ΔΙΙ	1.7	6	5.10	2.80
ΔΙΙΙ	1.5	1	4.75	4.05

Με βάση τον πίνακα βαθμολόγησης των δυνατών επιλογών, υπολογίστηκαν οι πίνακες συμφωνίας και ασυμφωνίας, C και D (με δ = 5) αντίστοιχα.

Πίνακας 39. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

C			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.15	0.75
ΔΙΙ	0.85	-	0.85
ΔΙΙΙ	0.55	0.15	-

D			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.13	0.06
ΔΙΙ	0.36	-	0.25
ΔΙΙΙ	0.9	1	-

8.5.2.3 Κατασκευή πυρήνα

Για την κατάληξη στη βέλτιστη επιλογή, ορίζονται οι τιμές στα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας ώστε να δημιουργηθούν οι πυρήνες που θα οδηγήσουν τελικά στην βέλτιστη εναλλακτική δραστηριότητα. Διαδοχικά έχουμε τα παρακάτω:

- Για ĉ=0.85 και d̂ = 0.25

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙ, ΔΙΙ}

- Για ĉ=0.85 και d̂ = 0.36

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙ, ΔΙΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙΙ}

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 40. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας ηλεκτροπαραγωγής.

Κατώφλι συμφωνίας	**Κατώφλι ασυμφωνίας**	**Πυρήνας επιλογών**
0.85	0.25	{ΔΙ, ΔΙΙ}
0.85	**0.36**	**{ΔΙΙ}**

Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι το CAPEX της μετασκευής στην περίπτωση χρήσης 5% πέλλετς είναι συγκριτικά πολύ χαμηλότερο από την περίπτωση αποκλειστικής χρήσης πέλλετς. Το χαμηλότερο CAPEX στηρίζεται επίσης στο γεγονός ότι οι απαιτήσεις μετασκευής στον υπάρχον εξοπλισμό του εργοστασίου είναι λιγότερες σε σύγκριση με την περίπτωση χρήσης 100% πέλλετς.

8.5.3 Σενάριο 3 - Διυλιστήριο πετρελαίου

I. ***Περιβαλλοντικά κριτήρια***

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό SimaPro παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 41. Δεδομένα σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**		**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
Πρώτη ύλη	Ορυκτό καύσιμο	95% Ορυκτό καύσιμο	5% τηγανέλαια	100% τηγανέλαια
Ποσότητα πρώτης ύλης (tn)	462,000	436,000	26,000	471,000
Παραγόμενη καύσιμο κίνησης (tn)	400,000	380,000 (ντίζελ)	20,000 (HVO)	400,000 (HVO)
Χημικά πρόσθετα	125 m^3	120 m^3 & 200 tn[31]		1,700 tn[32]
Ηλεκτρική ενέργεια (MWh)	-	700		40,000 [86]
Απόσταση μεταφοράς της πρώτης ύλης (km)	30	30	2,000	2,000
Μέσο μεταφοράς	Βυτιοφόρο φορτηγό	Βυτιοφόρο φορτηγό		Βυτιοφόρο φορτηγό

(γ) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Από τα αποτελέσματα του SimaPro υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική δραστηριότητα ότι:

Πίνακας 42. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας διυλιστηρίου ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
Συνολικές εκπομπές (tn CO_{2eq})	570,000	548,000	167,000
Εκπομπές CO_2 ανά ενεργειακό περιεχόμενο τελικού προϊόντος (g CO_{2eq}/MJ)	29.44	28.31	8.63
Μείωση εκπομπών (%)	68.68	69.89	90.82

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και του Πίνακα 10, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 1, 1, 6, αντίστοιχα.

(δ) Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων & (γ) στην ποιότητα του οικοσυστήματος – (δ) Ελάττωση φυσικών πόρων

Για την αξιολόγηση των τριών αυτών περιβαλλοντικών κριτηρίων χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα του SimaPro τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

[31] 120 m^3 χημικά πρόσθετα αφορούν αποκλειστικά την διαδικασία της διύλισης για την παραγωγή ντίζελ, ενώ οι 200 tn την προεπεξεργασία των τηγανελαίων.

[32] 200 tn χημικά πρόσθετα αφορούν αποκλειστικά την διαδικασία της προεπεξεργασίας των τηγανελαίων και τα υπόλοιπα 1,500 tn την διαδικασία της διύλισης για την παραγωγή HVO.

Πίνακας 43. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας διυλιστηρίου ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (DALY)	124	128	141
Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος (PDF·m^2·yr)	7.95×10^6	8.5×10^6	141×10^6
Ελάττωση φυσικών πόρων (MJ primary)	5.71×10^9	5.59×10^9	3.66×10^9

Βάσει των αποτελεσμάτων και με σκοπό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι βαθμολογίες για τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά κριτήρια καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 44. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου.

Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος	Ελάττωση των φυσικών πόρων	Βαθμολογία
≤ 0.0077	≤ 4,650	≤ 152,000	**7**
(0.0077 – 0.0562]	(4,650 – 32,000]	(152,000 – 1.3×10^6]	**6**
(0.0562 – 0.3915]	(32,000 – 220,000]	(1.3×10^6 – 1×10^7]	**5**
(0.3915 – 2.7276]	(220,000 – 1.5×10^6]	(1×10^7– 8×10^7]	**4**
(2.7276 – 19.006]	(1.5×10^6 – 1×10^7]	(8×10^7 – 6.6×10^8]	**3**
(19.006 – 132.43]	(1×10^7– 7.1×10^7]	(6.6×10^8 – 5.4×10^9]	**2**
> 132.43	> 7.1×10^7	> 5.4×10^9	**1**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω δύο πινάκων, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο κριτήριο της επίπτωσης στην υγεία των ανθρώπων είναι 2, 2, 1, αντίστοιχα, στο κριτήριο της επίπτωσης στην ποιότητα του οικοσυστήματος είναι 3, 3, 1, αντίστοιχα και στο κριτήριο της ελάττωση φυσικών πόρων είναι 1, 1, 2, αντίστοιχα.

III. <u>Οικονομικά κριτήρια</u>

Για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από άλλες αντίστοιχες μονάδες. Όσον αφορά το CAPEX, περιέχονται τα κόστη της μετασκευής του εξοπλισμού από άλλες μελέτες τα οποία προσαρμόστηκαν αναλογικά στην συγκεκριμένη περίπτωση μετασκευής. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 45. Δεδομένα εναλλακτικών σεναρίων για το υπολογισμό του CAPEX και OPEX μονάδας διυλιστηρίου.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Ορυκτό καύσιμο (€/tn)	350	350	-
Τηγανέλαια (€/tn)[33]	-	700	700
Χημικά πρόσθετα κατά την προ-επεξεργασία των τηγανελαίων (€/tn)	-	200	200
Χημικά πρόσθετα κατά την διύλιση	2.50 €/m^3	2.50 €/m^3 [4]	100 €/tn[34]
Ηλεκτρική ενέργεια (€/MWh) [1]	80	80	80

Ορίζεται οικονομικός περιορισμός ως προς την επένδυση κεφαλαίου που καθορίζεται από το κόστος επένδυσης για διυλιστήριο πετρελαίου. Βιβλιογραφικά [51], η τιμή αυτή είναι περίπου 130,350€/ tn και άρα το ανώτερο όριο οικονομικού κεφαλαίου ορίζεται στα 52,140,000,000€.

(γ) CAPEX

Έχοντας καθορίσει ως περιορισμό ότι το CAPEX κάθε εναλλακτικού σεναρίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 52,140,000,000€, οι βαθμολογίες του οικονομικού κριτηρίου αυτού καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 46. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας διυλιστηρίου.

CAPEX	Βαθμολογία
≤ 12,600,000€	**7**
(12,600,000 – 50,400,000] €	**6**
(50,400,000 – 201,600,000] €	**5**
(201,600,000 – 806,400,000] €	**4**
(806,400,000 – 3,225,600,000] €	**3**
(3,225,600,000 – 12,902,400,000] €	**2**
(12,902,400,000 - 52,140,000,000] €	**1**

(δ) OPEX

Οι βαθμολογίες για το οικονομικό κριτήριο OPEX καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 47. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας διυλιστηρίου.

OPEX	Βαθμολογία
≤ 54,000,000€	**7**
(54,000,000 – 77,760,000] €	**6**
(77,760,000– 111,974,400] €	**5**
(111,974,400 – 161,800,000] €	**4**
(161,800,000 – 242,000,000] €	**3**
(242,000,000 – 335,000,000] €	**2**
> 335,000,000 €	**1**

[33] Η τιμή αυτή πάρθηκε μετά από επικοινωνία με εταιρία συλλογής τηγανελαίων.
[34] ICIS. Price Data. Available online: https://www.icis.com/explore/services/market-intelligence/price-reports/

Οι υπολογισμοί για τους οικονομικούς δείκτες CAPEX και OPEX παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στους υπολογισμούς του CAPEX περιλαμβάνονται μόνο τα ενδεικτικά κόστη για τον εξοπλισμό της μετασκευής.

Πίνακας 48. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων του σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
CAPEX (€)	0	30,000,000	72,392,000 [76]
Συνολικό κόστος πρώτων υλών (€)	161,700,000	170,800,000[35]	329,700,000
Κόστος χημικών πρόσθετων κατά την προ-επεξεργασία (€)	-	40,000	40,000
Κόστος χημικών πρόσθετων κατά την διύλιση (€)	313	300	150,000
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)	-	56,000	3,200,000
OPEX (€)	161,700,313	170,896,300	333,090,000

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και τους Πίνακες 22 και 23, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο οικονομικό κριτήριο CAPEX είναι 7, 6, 5, αντίστοιχα και στο κριτήριο OPEX είναι 4, 3, 2, αντίστοιχα.

VII. <u>Κοινωνικά κριτήρια</u>

(α) <u>Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές</u>

Σχετικά με την βαθμολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης θεωρούμε ότι το ορυκτό έλαιο είναι γνωστό προς το ευρύ κοινό σαν καύσιμο για την παραγωγή ντίζελ, μη καινοτόμο, μη φιλικό προς το περιβάλλον και βρίσκεται στο στάδιο παρακμής. Στην περίπτωση χρήσης των τηγανελαίων σαν πρώτη ύλη και στις δύο περιπτώσεις μετασκευής, αξιολογούμαι ότι αποτελεί καινοτόμο προϊόν, άγνωστο στο ευρύ κοινό. Ωστόσο, λόγω του διαφορετικού ποσοστού χρήσης τηγανελαίων μεταξύ των δύο περιπτώσεων μετασκευής, θεωρούμε ότι η χρήση πρώτων υλών βιογενούς και μη βιογενούς προέλευσης βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης ενώ η 100% χρήση τηγανελαίων στο στάδιο εισαγωγής. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 12, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 5, 4, 2 αντίστοιχα.

[35] 152,600,000€ χρειάζονται για την αγορά ορυκτού καυσίμου και 18,200,000€ για την αγορά τηγανελαίων.

(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης, λόγω ότι δεν θα γίνει καμία αλλαγή στην εφοδιαστική αλυσίδα της παραγωγικής διαδικασίας, θεωρούμε ότι δεν θα χαθεί αλλά ταυτόχρονα δεν θα δημιουργηθεί καμία νέα θέση εργασίας. Στην περίπτωση χρήσης τηγανελαίων, λόγω της εκτενής εφοδιαστικής αλυσίδας κατά την συλλογή τηγανελαίων, μεταφορά, προ-επεξεργασία και εφαρμογής στην εκάστοτε μονάδα θα δημιουργηθούν πάνω από 5 θέσεις εργασίας. Θεωρούμε ότι θα υπάρξει διαφοροποίηση στην περίπτωση χρήσης 100% τηγανελαίων λόγω της μεγάλης διαφοράς στην απαιτούμενη ποσότητα και των υψηλών απαιτήσεων μετασκευής στον τεχνικό εξοπλισμό του εργοστασίου. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 13, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 4, 6, 7 αντίστοιχα.

VIII. *Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες*

(α) Συνεχή προμήθεια πρώτης ύλης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εταιρία προμηθεύεται ορυκτό έλαιο (Υφιστάμενη κατάσταση) από κοντινή περιοχή, σε απόσταση 30 km, και τηγανέλαια σε συνολική απόσταση 2,000 km η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο, βάσει του Πίνακα 14, είναι 7, 4, 4 αντίστοιχα.

(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής

Για την χρήση τηγανελαίων όπως έχει προαναφερθεί απαιτείται η εγκατάσταση μονάδας προ-επεξεργασίας. Επίσης λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης υδρογόνου στο αντιδραστήρα θα χρειασθεί αντικατάσταση του καταλύτη. Βιβλιογραφικά αναφέρεται ότι για την πλήρη αντικατάσταση του ορυκτού ελαίου από τηγανέλαια απαιτούνται σημαντικές προσαρμογές στον κύριο αντιδραστήρα με σκοπό να απομακρύνει το παραγόμενο οξυγόνο, του οποίου η ποσότητα είναι σημαντικά υψηλότερη από την τρέχουσα κατάσταση. Επίσης, απαιτείται η εγκατάσταση μονάδας προ-επεξεργασίας των τηγανελαίων και προσαρμογές στα μηχανήματα τροφοδοσία της μονάδας και στην μονάδα αποθήκευσης. Τέλος, απαιτείται η προσαρμογή στα φίλτρα καθαρισμού των καυσαερίων λόγω της παραγωγής σημαντικής ποσότητας NOx, ενώ τμήματα της μονάδας θα μείνουν εκτός λειτουργίας [52]. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 15, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7, 3, 2 αντίστοιχα.

(γ) Αλλαγή νομοθεσίας

Για την χρήση ορυκτού καυσίμου, η Ελλάδα έχει δηλώσει σταδιακή κατάργηση χρήσης τους μέχρι το 2028. Όσον αφορά τα τηγανέλαια ως πρώτη ύλη, απαριθμούνται στο παράρτημα IX μέρος B. Δεδομένου ότι για την 1η περίπτωση μετασκευής το 95% μερίδιο τροφοδοσίας είναι ορυκτά καύσιμα και μόλις το 5% από τηγανέλαια, οι βαθμολογίες για κάθε περίπτωση, βάσει του Πίνακα 16, είναι 1, 2, 5, αντίστοιχα.

8.5.3.1 Προσδιορισμός βαρών

Τα βάρη για το συγκεκριμένο σενάριο αποδίδονται ως ακολούθως:

Πίνακας 49. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα διυλιστηρίου.

			ΔΙ		ΔΙΙ		ΔΙΙΙ		
Κριτήρια	**Υποκριτήρια**	**ΣΒ (%)**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Βάρος κριτηρίων (%)**
Περιβαλλοντικά	ΚΙ(α)	30	1	1.7	1	1.7	6	2.7	30
	ΚΙ(β)	30	2		2		1		
	ΚΙ(γ)	20	3		3		1		
	ΚΙ(δ)	20	1		1		2		
Οικονομικά	ΚΙΙ(α)	50	7	5.10	6	4.50	5	3.50	30
	ΚΙΙ(β)	50	4		3		2		
Κοινωνικά	ΚΙΙΙ(α)	45	5	4.45	4	5.10	2	4.75	25
	ΚΙΙΙ(β)	55	4		6		7		
Κίνδυνοι	ΚΙV(α)	25	7	4.60	4	2.85	4	3.70	15
	ΚΙV(β)	35	7		3		2		
	ΚΙV(γ)	40	1		2		5		
Συνολικό βάρος κριτηρίων									100

Β: Βαθμολόγηση υποκριτριών.
ΣΒ: Συνολική βαθμολόγηση κριτηρίων.

8.5.3.2 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συγκεντρωτική βαθμολογία για κάθε οικογένεια κριτηρίων.

Πίνακας 50. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου.

Κριτήριο	**ΚΙ**	**ΚΙΙ**	**ΚΙΙΙ**	**ΚΙV**
Βάρος	30	30	25	15
Εναλλακτική δραστηριότητα				
ΔΙ	1.70	5.10	4.45	4.60
ΔΙΙ	1.70	4.50	5.10	2.85
ΔΙΙΙ	2.70	3.50	4.75	3.70

Με βάση τον πίνακα βαθμολόγησης των δυνατών επιλογών, υπολογίστηκαν οι πίνακες συμφωνίας και ασυμφωνίας, C και D (με δ = 1.75) αντίστοιχα.

Πίνακας 51. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου.

C			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.80	0.50
ΔΙΙ	0.50	-	0.50
ΔΙΙΙ	0.50	0.50	-

D			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.37	0.57
ΔΙΙ	1	-	0.57
ΔΙΙΙ	0.91	0.57	-

8.5.3.3 Κατασκευή πυρήνα

Για την κατάληξη στη βέλτιστη επιλογή, ορίζονται οι τιμές στα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας ώστε να δημιουργηθούν οι πυρήνες που θα οδηγήσουν τελικά στην βέλτιστη εναλλακτική δραστηριότητα. Διαδοχικά έχουμε τα παρακάτω:

- Για ĉ=0.80 και d̂ = 0.37

προκύπτει ότι ΔΙ S ΔΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙ, ΔΙΙΙ}

- Για ĉ =0.50 και d̂ = 0.58

προκύπτει ότι ΔΙ S ΔΙΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙ}

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 52. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας διυλιστηρίου.

Κατώφλι συμφωνίας	**Κατώφλι ασυμφωνίας**	**Πυρήνας επιλογών**
0.80	0.37	{ΔΙ, ΔΙΙΙ}
0.50	**0.58**	**{ΔΙ}**

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών θα μπορούσαμε να πούμε ότι το επίπεδο υπεροχής της εναλλακτικής δραστηριότητας ΔΙ είναι χαμηλό λόγω του ότι το κατώφλι συμφωνίας είναι είναι κοντά στο 0.5 και το κατώφλι ασυμφωνίας είναι σχετικά υψηλό.

Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ακραίες διαφοροποιήσεις μεταξύ των βαθμολογιών σε κάθε κριτήριο. Επίσης, η περίπτωση χρήσης ορυκτών καυσίμων αν και περιβαλλοντικά είναι η χειρότερη περίπτωση, είναι οικονομικά η πιο βιώσιμη. Σημαντικό ρόλο στα περιβαλλοντικά αποτελέσματα έπαιξε το γεγονός ότι το ορυκτό καύσιμο μεταφέρεται σε απόσταση 30 km ενώ τα τηγανέλαια σε απόσταση 2,000 km.

8.5.4 Σενάριο 4 – 1G βιοκαύσιμα

I. Περιβαλλοντικά κριτήρια

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο λογισμικό SimaPro παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 53. Δεδομένα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων για την δημιουργία των περιβαλλοντικών μοντέλων.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**		**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**		
Πρώτη ύλη	καλαμπόκι	καλαμπόκι	βιομ/κά απόβλητα	καλαμπόκι	βιομ/κά απόβλητα	υπολείμματα καλ/κιού
Ποσότητα πρώτης ύλης (tn)	570,000	530,000	1,100,000	500,000	1,100,000	130,000
Ηλεκτρική ενέργεια (MWh_e)	55,000	54,000		61,000		
Φυσικό αέριο (MWh)	1,000,000	1,010,000		1,200,000		
Μαγιά (tn)	25	25		340		
Ένζυμο (tn)	400	360		8,300		
Χημικά πρόσθετα (tn)	-	-		1,700		
Απόσταση μεταφοράς της πρώτης ύλης (km)	30	30		30		
Μέσο μεταφοράς	φορτηγό	φορτηγό		φορτηγό		

(α) Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Από τα αποτελέσματα του SimaPro υπολογίζεται για κάθε εναλλακτική δραστηριότητα ότι:

Πίνακας 54. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας βιοκαυσίμων ως προς τις επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
Συνολικές εκπομπές (tn CO_{2eq})	340,000	341,000	383,000
Εκπομπές CO_2 ανά ενεργειακό περιεχόμενο τελικού προϊόντος (g CO_{2eq}/MJ)	56.56	56.73	63.71
Μείωση εκπομπών (%)	39.83	39.65	32.21

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και του Πίνακα 10, οι βαθμολογίες για όλες τις εναλλακτικές δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 1.

(δ) Επίδραση στην υγεία των ανθρώπων & (γ) στην ποιότητα του οικοσυστήματος – (δ) Ελλάτωση φυσικών πόρων

Τα αποτελέσματα του SimaPro παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 55. Αποτελέσματα περιβαλλοντικής ανάλυσης μονάδας βιοκαυσίμων ως προς τις επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, στην ποιότητα του οικοσυστήματος και στην ελάττωση φυσικών πόρων.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων (DALY)	281	282	104
Επιπτώσεις στην ποιότητα του οικοσυστήματος (PDF·m^2·yr)	1.39×10^7	1.33×10^7	1.16×10^7
Ελάττωση φυσικών πόρων (MJ primary)	9.87×10^9	9.96×10^9	3.17×10^9

Βάσει των αποτελεσμάτων και με σκοπό να υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των εναλλακτικών δραστηριοτήτων, οι βαθμολογίες για τα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά κριτήρια καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 56. Βαθμολογίες στα περιβαλλοντικά κριτήρια της ανθρώπινης υγείας, της ποιότητας του οικοσυστήματος και στην ελάττωση των φυσικών πόρων του σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων.

Επίδραση στην ανθρώπινη υγεία	Επίδραση στην ποιότητα του οικοσυστήματος	Ελάττωση των φυσικών πόρων	Βαθμολογία
≤ 0.0077	≤ 4,650	≤ 152,000	**7**
(0.0077 – 0.0616]	(4,650 – 22,845]	(152,000 – 1.39×10^6]	**6**
(0.0616 – 0.4928]	(22,845 – 112,240]	(1.39×10^6 - 1.27×10^7]	**5**
(0.4928 – 3.3924]	(112,240 – 551,433]	(1.27×10^7 – 1.16×10^8]	**4**
(3.3924 – 31.5392]	(551,433 – 2.71×10^6]	(1.16×10^8 – 1.06×10^9]	**3**
(31.5392 – 252.3136]	(2.71×10^6 – 1.33×10^7]	(1.06×10^9 – 9.64×10^9]	**2**
> 252.3136	> 1.33×10^7	> 9.64×10^9	**1**

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω δύο πινάκων, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο κριτήριο της επίπτωσης στην υγεία των ανθρώπων είναι 1, 1, 2, αντίστοιχα, στο κριτήριο της επίπτωσης στην ποιότητα του οικοσυστήματος είναι 1, 2, 3, αντίστοιχα και στο κριτήριο της ελάττωση φυσικών πόρων είναι 1, 1, 2, αντίστοιχα.

II. Οικονομικά κριτήρια

Για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από άλλες αντίστοιχες μονάδες. Όσον αφορά το CAPEX, περιέχονται τα κόστη της μετασκευής του εξοπλισμού από άλλες μελέτες τα οποία προσαρμόστηκαν αναλογικά στην συγκεκριμένη περίπτωση μετασκευής. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 57. Δεδομένα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων για τον υπολογισμό του CAPEX και OPEX.

Δραστηριότητα	Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)	Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)	Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)
Καλαμπόκι (€/tn)	200	200	200
Μαγιά (€/kg)	6	6	6
Ένζυμο (€/kg) [49]	5	5	5
Χημικά πρόσθετα (€/kg)[36]	-	-	0.10
Φυσικο αέριο (€/MWh)	25	25	25
Ηλεκτρική ενέργεια (€/MWh) [1]	80	80	80

Ορίζεται οικονομικός περιορισμός ως προς την επένδυση κεφαλαίου που καθορίζεται από το κόστος επένδυσης για βιομηχανία παραγωγής αιθανόλης. Βιβλιογραφικά [14], η τιμή αυτή είναι περίπου 0.43€/ λίτρο και άρα το ανώτερο όριο οικονομικού κεφαλαίου ορίζεται στα 107,500,000€.

(α) CAPEX

Έχοντας καθορίσει ως περιορισμό ότι το CAPEX κάθε εναλλακτικού σεναρίου δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 107,500,000€, οι βαθμολογίες του οικονομικού κριτηρίου αυτού καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 58. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο CAPEX μονάδας βιοκαυσίμων.

CAPEX	Βαθμολογία
≤ 100,000€	**7**
(100,000 – 450,000] €	**6**
(450,000 – 1,500,000] €	**5**
(1,500,000 – 4,500,000] €	**4**
(4,500,000 – 15,000,000] €	**3**
(15,000,000 - 50,000,000] €	**2**
(50,000,000 – 107,500,000] €	**1**

(β) OPEX

Οι βαθμολογίες για το οικονομικό κριτήριο OPEX καθορίζονται ως εξής:

Πίνακας 59. Βαθμολογίες στο οικονομικό κριτήριο OPEX μονάδας βιοκαυσίμων.

OPEX	Βαθμολογία
≤ 100×10^6 €	**7**
(100×10^6 - 120×10^6] €	**6**
(120×10^6 - 140×10^6] €	**5**
(140×10^6 - 160×10^6] €	**4**
(160×10^6 - 180×10^6] €	**3**
(180×10^6 - 200×10^6] €	**2**
200×10^6 > €	**1**

[36]ICIS. Price Data. Available online: https://www.icis.com/explore/services/market-intelligence/price-reports/

Οι υπολογισμοί για τους οικονομικούς δείκτες CAPEX και OPEX παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στους υπολογισμούς του CAPEX περιλαμβάνονται μόνο τα ενδεικτικά κόστη για τον εξοπλισμό της μετασκευής.

Πίνακας 60. Οικονομικά στοιχεία εναλλακτικών δραστηριοτήτων μονάδας βιοκαυσίμων.

Δραστηριότητα	**Υφιστάμενη κατάσταση (ΔΙ)**	**Περίπτωση 1η (ΔΙΙ)**	**Περίπτωση 2η (ΔΙΙΙ)**
CAPEX (€)	0	100,000	30,000,000
Συνολικό κόστος πρώτων υλών (€)[37]	114,000,000	106,000,000	100,000,000
Κόστος ενζύμου (€)	2,000,000	1,800,000	41,500,000
Κόστος μαγιάς (€)	150,000	150,000	2,040,000
Κόστος χημικών πρόσθετων (€)	-	-	170,000
Κόστος φυσικού αερίου (€)	25,000,000	25,250,000	30,000,000
Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (€)	4,400,000	4,320,000	4,880,000
OPEX (€)	145,550,000	137,520,000	178,590,000

Από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα και τους Πίνακες 22 και 23, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο οικονομικό κριτήριο CAPEX είναι 7, 7, 2, αντίστοιχα και στο κριτήριο OPEX είναι 4, 5, 3, αντίστοιχα.

III. Κοινωνικά κριτήρια

(α) Αποδοχή τελικού προϊόντος από τους καταναλωτές

Σχετικά με την βαθμολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης θεωρούμε ότι το βρώσιμο καλαμπόκι είναι γνωστό προς το ευρύ κοινό σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή αιθανόλης, καινοτόμο προϊόν, φιλικό προς το περιβάλλον και βρίσκεται στο στάδιο της ανάπτυξης. Στην περίπτωση χρήσης αποβλήτων σαν πρώτη ύλη και στις δύο περιπτώσεις μετασκευής, αξιολογούμαι ότι αποτελεί καινοτόμο προϊόν, άγνωστο στο ευρύ κοινό και βρίσκεται στο στάδιο εισαγωγής. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 12, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 4, 2, 2 αντίστοιχα.

[37] Θεωρούμε ότι η μονάδα δεν επιβαρύνεται με έξοδα από την προμήθεια των βιομηχανικών αποβλήτων και των υπολειμμάτων καλαμποκιού.

(β) Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

Στην περίπτωση της υφιστάμενης κατάστασης, λόγω ότι δεν θα γίνει καμία αλλαγή στην εφοδιαστική αλυσίδα της παραγωγικής διαδικασίας, θεωρούμε ότι δεν θα χαθεί αλλά ταυτόχρονα δεν θα δημιουργηθεί νέα θέση εργασίας. Στην 1η περίπτωση της μετασκευής με χρήση βιομηχανικών αποβλήτων, θεωρούμε ότι θα δημιουργηθούν από 1 έως 5 θέσεις εργασίας λόγω του ότι δεν απαιτείται καμία μετασκευή στον εξοπλισμό, τα απόβλητα είναι βιομηχανικής προέλευσης τα οποία προμηθεύονται από πολύ κοντινή απόσταση και δεν απαιτείται προεπεξεργασία πριν την εισαγωγή τους στην μονάδα. Στην 2η περίπτωση μετασκευής, λόγω της χρήσης υπολειμμάτων καλαμποκιού ως πρόσθετη πρώτη ύλη και των απαιτήσεων μετασκευής της μονάδας - εγκατάσταση σιλό και νέας μονάδας προεπεξεργασίας - θεωρούμε ότι θα δημιουργηθούν πάνω από 10 θέσεις εργασίας. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 13, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 4, 5, 7, αντίστοιχα.

IV. ***Κίνδυνοι/ Αβεβαιότητες***

(α) Συνεχή προμήθεια πρώτης ύλης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εταιρία προμηθεύεται όλες τις πρώτες ύλες από την περιοχή σε απόσταση 30 km, η βαθμολογία όλων των εναλλακτικών δραστηριοτήτων στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7.

(β) Πιθανότητα βλάβης κατά την εφαρμογή της μετασκευής

Για την χρήση βιομηχανικών αποβλήτων κατά την 1η περίπτωση μετασκευής δεν απαιτείται καμία μετασκευή στον τεχνικό εξοπλισμό του εργοστασίου. Ωστόσο, διαφορετικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου απαιτούνται. Στην 2η περίπτωση μετασκευής όπου γίνεται χρήση βιομηχανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων καλαμποκιού, απαιτείται η εγκατάσταση μονάδας προεπεξεργασίας των υπολειμμάτων καλαμποκιού και χρήση χημικών πρόσθετων κατά την επεξεργασία αυτή. Επιπλέον απαιτείται η εγκατάσταση σιλό, για την αποθήκευση των υπολειμμάτων αυτών. Βάσει των θεωρήσεων αυτών και του Πίνακα 15, η βαθμολογία κάθε εναλλακτικής δραστηριότητας στο συγκεκριμένο κριτήριο είναι 7, 6, 3, αντίστοιχα.

(γ) Αλλαγή νομοθεσίας

Στο συγκεκριμένο σενάριο γίνεται χρήση διαφορετικών πρώτων υλών, οι οποίες υπόκεινται σε διαφορετικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, το καλαμπόκι είναι βρώσιμο προϊόν, οπότε υπόκειται στον περιορισμό του 7%, τα βιομηχανικά απόβλητα προέρχονται από βιομηχανία γεωργικών τροφίμων (παράρτημα IX μέρος Α), και ομοίως, τα απορρίμματα από την καλλιέργεια καλαμποκιού θεωρούνται απόβλητο της βιομηχανίας γεωργικών τροφίμων η οποία δεν είναι κατάλληλη για χρήση στην τροφική αλυσίδα και απαριθμούνται επίσης στο παράρτημα IX μέρος Α. Βάσει αυτών και του Πίνακα 16, οι βαθμολογίες για κάθε περίπτωση είναι 4, 5, 6, αντίστοιχα.

8.5.4.1 Προσδιορισμός βαρών

Τα βάρη αποδίδονται ως ακολούθως:

Πίνακας 61. Αξιολόγηση εφαρμογής μετασκευής σε μονάδα βιοκαυσίμων.

			ΔΙ		ΔΙΙ		ΔΙΙΙ		
Κριτήρια	**Υποκριτήρια**	**ΣΒ (%)**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Β**	**ΜΒ**	**Συνολικό βάρος κριτηρίων (%)**
Περιβαλλοντικά	ΚΙ(α)	30	1	1	1	1.20	1	1.90	30
	ΚΙ(β)	30	1		1		2		
	ΚΙ(γ)	20	1		2		3		
	ΚΙ(δ)	20	1		1		2		
Οικονομικά	ΚΙΙ(α)	50	7	5.50	7	6	2	2.50	30
	ΚΙΙ(β)	50	4		5		3		
Κοινωνικά	ΚΙΙΙ(α)	45	4	4	2	3.65	2	4.75	20
	ΚΙΙΙ(β)	55	4		5		7		
Κίνδυνοι	ΚΙV(α)	25	7	5.80	7	5.85	7	5.20	20
	ΚΙV(β)	35	7		6		3		
	ΚΙV(γ)	40	4		5		6		
Συνολικό βάρος κριτηρίων									100

Β: Βαθμολόγηση υποκριτριών.
ΣΒ: Συνολική βαθμολόγηση κριτηρίων.

8.5.4.2 Εφαρμογή της μεθόδου ELECTRE I

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η συγκεντρωτική βαθμολογία για κάθε οικογένεια κριτηρίων.

Πίνακας 62. Πίνακας απόφασης σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων.

Κριτήριο	**ΚΙ**	**ΚΙΙ**	**ΚΙΙΙ**	**ΚΙV**
Βάρος	30	30	20	20
Εναλλακτική δραστηριότητα				
ΔΙ	1	5.50	4	5.80
ΔΙΙ	1.20	6	3.65	5.85
ΔΙΙΙ	1.90	2.80	4.75	5.20

Με βάση τον πίνακα βαθμολόγησης των δυνατών επιλογών, υπολογίστηκαν οι πίνακες συμφωνίας και ασυμφωνίας, C και D (με δ = 3.20) αντίστοιχα.

Πίνακας 63. Πίνακας Συμφωνίας και Ασυμφωνίας σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων.

C			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.20	0.50
ΔΙΙ	0.80	-	0.50
ΔΙΙΙ	0.50	0.50	-

D			
	ΔΙ	**ΔΙΙ**	**ΔΙΙΙ**
ΔΙ	-	0.16	0.28
ΔΙΙ	0.11	-	0.34
ΔΙΙΙ	0.84	1	-

8.5.4.3 Κατασκευή πυρήνα

Για την κατάληξη στη βέλτιστη επιλογή, ορίζονται οι τιμές στα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας ώστε να δημιουργηθούν οι πυρήνες που θα οδηγήσουν τελικά στην βέλτιστη εναλλακτική δραστηριότητα. Διαδοχικά έχουμε τα παρακάτω:

- Για ĉ=0.80 και d̂ = 0.11

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙΙ, ΔΙΙΙ}

- Για ĉ =0.50 και d̂ = 0.84

προκύπτει ότι ΔΙΙ S ΔΙΙΙ.

Άρα ο πυρήνας των δυνατών επιλογών είναι Π={ΔΙΙ}

Τα παραπάνω συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 64. Κατασκευή Πυρήνα σεναρίου μονάδας βιοκαυσίμων.

Κατώφλι συμφωνίας	**Κατώφλι ασυμφωνίας**	**Πυρήνας επιλογών**
0.80	0.11	{ΔΙΙ, ΔΙΙΙ}
0.50	**0.84**	**{ΔΙΙ}**

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών θα μπορούσαμε να πούμε ότι το επίπεδο υπεροχής της εναλλακτικής δραστηριότητας ΔΙΙ είναι χαμηλό λόγω του ότι το κατώφλι συμφωνίας είναι 0.5 και το κατώφλι ασυμφωνίας κοντά στο 1.

Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις βαθμολογίες των μελετηθείσων περιπτώσεων. Το τελικό αποτέλεσμα καθόρισε το σημαντικά μικρότερο CAPEX της μετασκευής στην περίπτωση χρήσης καλαμποκιού και βιομηχανικών αποβλήτων (ΔΙ). Αυτό γιατί στην περίπτωση χρήσης και υπολειμμάτων καλαμποκιού (ΔΙΙ), απαιτείται η κατασκευή επιπλέον μονάδας επεξεργασίας των υπολειμμάτων αυτών.

9 Ανάπτυξη εργαλείου σε Python

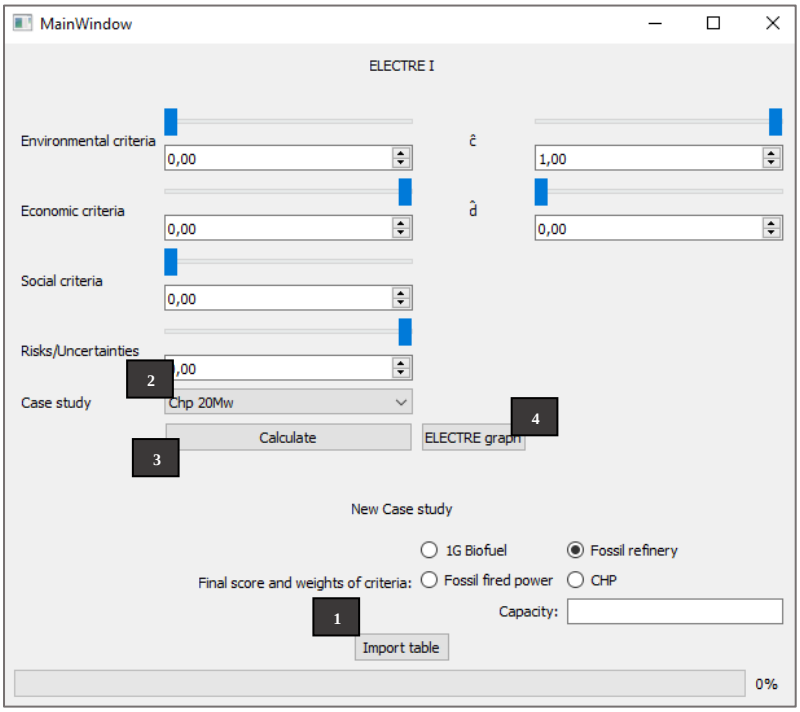
Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε εργαλείο για την λήψη αποφάσεων των μελετηθείσων περιπτώσεων μετασκευής με την μέθοδο ELECTRE I. Το εργαλείο αυτό αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Python, η σχεδίαση διεπαφής χρήστη έγινε με το εργαλείο Qt designer και για την διαχείριση της βάσης δεδομένων των περιπτώσεων μελέτης που εξετάστηκαν έγινε χρήση του συστήματος SQLite.

Η Python επιλέχθηκε λόγο της ευκολίας χρήσης της και των πολλών διαθέσιμων βιβλιοθηκών (modules) οι οποίες μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις της εφαρμογής. Ομοίως, τα εργαλεία Qt designer και SQLite επιλέχθηκαν λόγο της ευκολίας χρήσης τους, της δυνατότητας επικοινωνίας με την γλώσσα Python και, τέλος, λόγω του ότι είναι ευρέως διαδεδομένη η χρήση τους από προγραμματιστές για την ανάπτυξη διαφορετικών εφαρμογών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στάδια εφαρμογής για την λειτουργία του εργαλείου εφαρμογής της μεθόδου Electre I που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

9.1 Λειτουργία εργαλείου

Το κεντρικό παράθυρο διεπαφής χρήστη παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.



Εικόνα 1. Γραφικό περιβάλλον διεπαφής χρήστη.

Παρακάτω αναλύεται σταδιακά βήμα προς βήμα ο τρόπος λειτουργίας του εργαλείου, βάσει των αριθμητικών ενδείξεων στην Εικόνα 1.

1. Import table

Αρχικά ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ένα από τα τέσσερα σενάρια και να εισάγει στο λευκό κουτί την δυναμικότητα της μονάδας την οποία θέλει να εισάγει στην βάση δεδομένων. Πατώντας το κουμπί «*Import table*», δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει αρχείο τύπου .csv[38] με τον πίνακα απόφασης του σεναρίου προς εξέταση. Η μορφή του αρχείου CSV πρέπει να έχει συγκεκριμένη μορφή, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.

	A	B	C	D	E
1	C	KI	KII	KIII	KIV
2	DI	1.0	5.5	4.45	4.15
3	DII	5.5	5	4.75	4.55
4	DIII	2.0	5	5.1	4.35

Εικόνα 2. Δομή δεδομένων εισαγωγής αρχείου CSV.

Επιλέγοντας το αρχείο CSV, ο πίνακας απόφασης του εξεταζόμενου σεναρίου εισάγεται αυτόματα στην βάση δεδομένων με μορφή η οποία φαίνεται στην Εικόνα 3.

Database Structure | Browse Data | Edit Pragmas | Execute SQL

Table: CHP_20MW

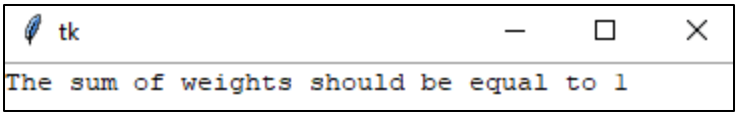
	KI	KII	KIII	KIV
	Filter	Filter	Filter	Filter
1	KI	KII	KIII	KIV
2	1	5.5	4.45	4.15
3	5.5	5	4.75	4.55
4	2	5	5.1	4.35

Εικόνα 3. Δομή εισαγωγής δεδομένων στην βάση δεδομένων SQLite.

2. Case study

Πατώντας το κουμπί 2 της Εικόνα 1, εμφανίζεται η λίστα με τα σενάρια τα οποία έχουν εισαχθεί στην βάση δεδομένων. Ο χρήστης επιλέγει αρχικά το σενάριο το οποίο θέλει να εξετάσει και έπειτα είτε χρησιμοποιώντας την μπάρα, είτε τα βέλη (∧ , ∨), είτε γράφοντας απλά τον αριθμό στο άσπρο κουτί, ορίζει την βαρύτητα που θέλει να δώσει σε κάθε οικογένεια κριτηρίων. Τα βάρη των κριτηρίων πρέπει να είναι από [0, 1], τα οποία επιλέγονται με βήμα 0.05 και το άθροισμα των τιμών αυτών πρέπει να είναι ίσο με 1. Στην περίπτωση που ο χρήστης έχει εισάγει τιμές βαρύτητας των οποίο το άθροισμα είναι διαφορετικό του 1, εμφανίζεται καινούργιο παράθυρο (Εικόνα 4) το οποίο ενημερώνει τον χρήστη ότι έχει εισάγει τιμές που δεν ικανοποιούν την συνθήκη αυτή.

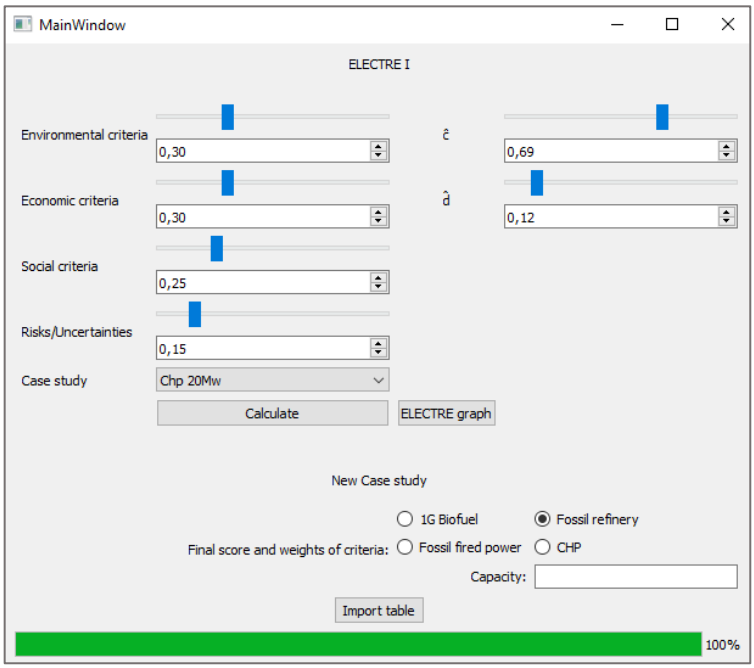
[38] Comma delimited.



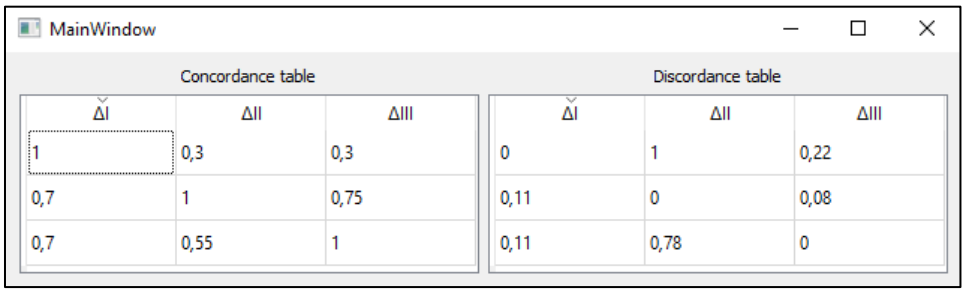
Εικόνα 4. Παράθυρο ειδοποίησης χρήστη.

3. Calculate

Εισάγοντας τις αντίστοιχες τιμές βαρύτητας με την μελέτη περίπτωσης ΣΗΘ (Εικόνα 5) και πατώντας το κουμπί «*Calculate*», εμφανίζεται καινούργιο παράθυρο με τον πίνακα συμφωνίας και ασυμφωνίας, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.



Εικόνα 5. Μελέτη περίπτωσης μονάδας ΣΗΘ.



ΔI	ΔII	ΔIII
1	0,3	0,3
0,7	1	0,75
0,7	0,55	1

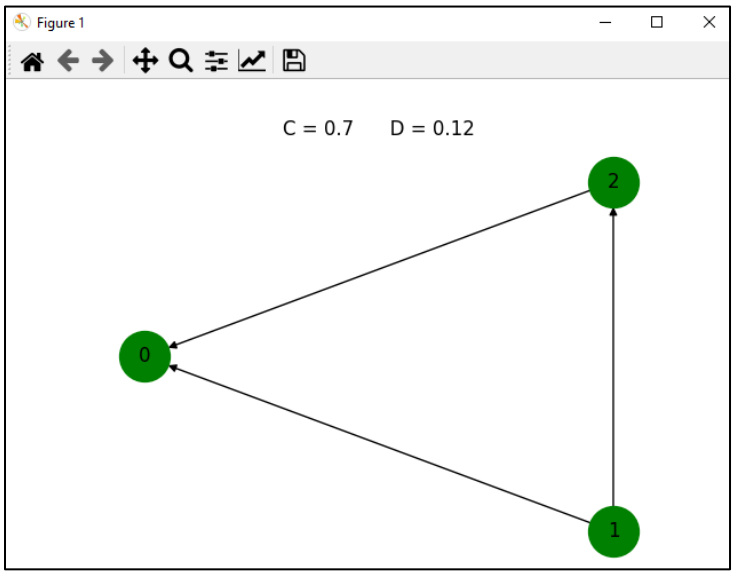
ΔI	ΔII	ΔIII
0	1	0,22
0,11	0	0,08
0,11	0,78	0

Εικόνα 6. Πίνακας Συμφωνίας/ Ασυμφωνίας μελέτης περίπτωσης μονάδας ΣΗΘ.

4. ELECTRE graph

Τέλος, επιλέγοντας κατάλληλες τιμές στα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας (ĉ και d̂), όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, και πατώντας το κουμπί «ELECTRE graph», εμφανίζεται το διάγραμμα πυρήνα (Εικόνα 7) το οποίο καταδεικνύει τις σχέσεις υπεροχής μεταξύ των περιπτώσεων 1, 2 και 3.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας λαμβάνουν τιμές με αντίστοιχο τρόπο όπως η βαρύτητα των κριτηρίων, το διάστημα τιμών είναι [0, 1] και εισάγονται με βήμα 0.01. Το εμφανιζόμενο διάγραμμα αποθηκεύεται σε μοφή .png και όνομα *'diagram.png'*. Τέλος, λόγω του ότι στην Python κάθε αρίθμηση ξεκινάει από το 0, η 1η περίπτωση μελέτης υποδεικνύεται με τον αριθμό 0, η 2η περίπτωση με τον αριθμό 1 και, αντίστοιχα, η 3η περίπτωση με τον αριθμό 2. Τα βέλη δείχνουν την σχέση υπεροχής μεταξύ των περιπτώσεων. Για παράδειγμα το βέλος που ξεκινά από το 1 και καταλήγει στο 2 δηλώνει ότι η 2η περίπτωση υπερισχύει της 3ης με κατώφλι συμφωνίας 0.7 και κατώφλι ασυμφωνίας 0.12, ή αλλιώς ότι ΔΙΙ S ΔΙΙΙ.



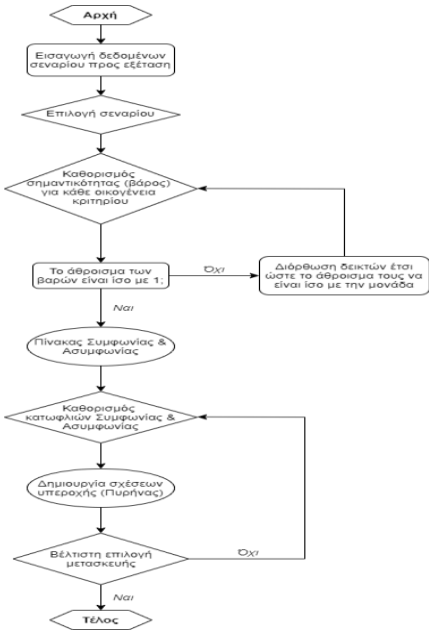
Εικόνα 7. Διάγραμμα πυρήνα.

9.2 Σύνοψη των βημάτων λειτουργίας

Τα παραπάνω βήματα λειτουργίας του εργαλείου εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE I για την αξιολόγηση των διαφορετικών σεναρίων μετασκευής συνοψίζονται στο Σχήμα 5.

Αρχικά, γίνεται εισαγωγή του πίνακα απόφασης (Εικόνα 2) του εξεταζόμενου σεναρίου στην βάση δεδομένων (Εικόνα 3). Έπειτα, επιλέγεται το σενάριο και καθορίζονται τα βάρη για κάθε οικογένεια κριτηρίου (περιβαλλοντικά, οικονομικά, κοινωνικά, κίνδυνοι/ αβεβαιότητα). Αν το άθροισμα των επιλεγμένων βαρών δεν είναι ίσο με 1, εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη μήνυμα σφάλματος (Εικόνα 4). Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει διαφορετικά βάρη για κάθε κριτήριο και να ελέγξει αν το άθροισμα τους είναι ίσο με 1. Η διαδικασία αυτή θα επαναλαμβάνεται μέχρι η συνθήκη να είναι αληθής.

Στην συνέχεια, εμφανίζεται στην οθόνη του χρήστη ο πίνακας συμφωνίας στα δεξιά και ασυμφωνίας στα αριστερά (Εικόνα 6). Για την εύρεση της βέλτιστης εναλλακτική επιλογής πρέπει να καθοριστούν τα κατάλληλα κατώφλια συμφωνίας και ασυμφωνίας, τα οποία θα δημιουργούν σχέσεις υπεροχής μεταξύ όλων των επιλογών, έτσι ώστε να βρεθεί η μοναδική βέλτιστη επιλογή μετασκευής του εξεταζόμενου σεναρίου (Εικόνα 7).



Σχήμα 5. Διάγραμμα ροής εργαλείου ELECTRE I.

10 Ανάλυση παραμέτρων μετασκευής

Στον Πίνακα 65 παρουσιάζονται οι βέλτιστες επιλογές μετασκευής για κάθε εξεταζόμενο σενάριο, με διαφορετικούς δείκτες βαρύτητας σε κάθε κριτήριο.

Στην περίπτωση της μονάδας ΣΗΘ, τη βέλτιστη επιλογή αποτελεί η χρήση βιοελαίου από τηγανέλαια. Το συμπέρασμα αυτό είναι λογικό γιατί η αντικατάσταση ορυκτών ελαίων με βιοέλαια από τηγανέλαια, τα οποία είναι απόβλητα, είναι μια πρακτική η οποία προωθείται από τη RED II και οδηγεί στη μείωση των εκπομπών CO_2, λόγω του ότι μέχρι την συλλογή οι εκπομπές των τηγανελαίων θεωρούνται μηδενικές. Επίσης αν και το CAPEX της μετασκευής είναι υψηλό, τα λειτουργικά έξοδα είναι πιο χαμηλά από τις άλλες δύο επιλογές του ορυκτού ελαίου και του βιοντίζελ, αφού και το κόστος για την αγορά του βιοελαίου είναι χαμηλό.

Στην περίπτωση της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση 95% ορυκτών καυσίμων και 5% πέλλετς αποτελεί την βέλτιστη επιλογή. Ο σημαντικότερος λόγος ο οποίος καθόρισε το συμπέρασμα αυτό είναι τα συγκριτικά πολύ χαμηλότερα έξοδα κεφαλαίου και λειτουργίας του εργοστασίου σε σχέση με την περίπτωση χρήσης 100% πέλλετς. Αυτό στηρίζεται στο υψηλό κόστος των πέλλετς, όπου στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μόνο το 5% της εισόδου, το κόστος αγοράς είναι χαμηλότερο σε σχέση με την περίπτωση όπου γίνεται αποκλειστική χρήση πέλλετς, και στις μικρές τεχνολογικές αλλαγές που απαιτούνται κατά την μετασκευή. Σημαντικό μειονέκτημα της πρακτικής αυτής αποτελεί η απόσταση μεταφοράς των πέλλετς. Για αυτόν τον λόγο, στην περίπτωση όπου το υψηλότερο βάρος δοθεί στα κριτήρια κινδύνου, σαν βέλτιστη επιλογή είναι η χρήση ορυκτού άνθρακα, ο οποίος μεταφέρεται σε μικρή απόσταση.

Στην περίπτωση του διυλιστηρίου, βέλτιστη πρακτική αποτελούν τα ορυκτά καύσιμα. Το συμπέρασμα αυτό βρίσκεται σε αντίφαση με την ιδέα της μετασκευής η οποία αποτελεί πρακτική προώθησης χρήσης βιοενέργειας, αλλά βρίσκεται σε λογική συνέχεια των αποτελεσμάτων. Από περιβαλλοντικής σκοπιάς, κατά την χρήση ορυκτών καυσίμων εκλύονται οι μεγαλύτερες ποσότητες CO_2. Παρ' όλα αυτά, κατά την εξέταση και των άλλων περιβαλλοντικών δεικτών (επίδραση στην υγεία των ανθρώπων και στην ποιότητα του οικοσυστήματος, ελάττωση φυσικών πόρων) η χρήση τηγανελαίων εμφανίζει χειρότερες αποδόσεις λόγω της μεγάλης απόστασης μεταφοράς και του χαμηλότερου ενεργειακού περιεχομένου, το οποίο σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα πρώτων υλών. Επίσης, η χρήση τηγανελαίων κατά 5% κ.ό. και κατά 100% κ.ό., απαιτεί σημαντικές τεχνικές αλλαγές στην μονάδα του διυλιστηρίου, το οποίο συνδέεται και με υψηλά κεφαλαιουχικά κόστη.

Τέλος, στην περίπτωση της μονάδας παραγωγής βιοκαυσίμων πρώτης γενιάς, βέλτιστη επιλογή αποτελεί η χρήση καλαμποκιού και βιομηχανικών αποβλήτων. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό λόγω του ότι βάσει της RED II τα βιομηχανικά απόβλητα έχουν μηδενικές εκπομπές μέχρι το στάδιο της συλλογής, ενώ δεν απαιτούνται σημαντικές τεχνικές αλλαγές στην μονάδα. Επίσης, η περίπτωση χρήσης καλαμποκιού και βιομηχανικών αποβλήτων αποτελεί την καλύτερη οικονομικά λύση. Βασικό μειονέκτημα στη περίπτωση χρήσης επιπλέον και υπολειμμάτων καλαμποκιού, είναι η σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα φυσικού αερίου και οι τεχνολογικές αλλαγές που απαιτούνται να γίνουν στην μονάδα για να επεξεργαστεί τα υπολείμματα αυτά και να παράξει βιοκαύσιμο. Επίσης, απαιτούνται υψηλότερα κεφαλαιουχικά και λειτουργικά έξοδα σε σύγκριση με τις άλλες δύο περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα ως πρώτη ύλη.

Πίνακας 65. Ανάλυση παραμέτρων εξεταζόμενων σεναρίων μετασκευής.

Α/Σ	**Τομέας Βιομηχανίας**	**Βάρος κριτηρίων**				**Κατώφλια**		**Βέλτιστη επιλογή**
		Περιβαλλοντικά	Οικονομικά	Κοινωνικά	Κίνδυνοι	Συμφωνίας	Ασυμφωνίας	
Σ1	ΣΗΘ	50	30	10	10	0.70	0.11	ΔΙΙ: βιοέλαιο από τηγανέλαια
		30	50	10	10	0.90	0.11	ΔΙΙ: βιοέλαιο από τηγανέλαια
		25	25	25	25	0.75	0.11	ΔΙΙ: βιοέλαιο από τηγανέλαια
		10	10	50	30	0.50	0.11	ΔΙΙ: βιοέλαιο από τηγανέλαια
		10	10	30	50	0.70	0.22	ΔΙΙ: βιοέλαιο από τηγανέλαια
Σ2	Ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα	50	30	10	10	0.90	0.36	ΔΙΙ: 95% ορυκτά καύσιμα, 5% πέλλετς
		30	50	10	10	0.90	0.36	ΔΙΙ: 95% ορυκτά καύσιμα, 5% πέλλετς
		25	25	25	25	0.75	0.36	ΔΙΙ: 95% ορυκτά καύσιμα, 5% πέλλετς
		10	10	50	30	0.70	0.36	ΔΙΙ: 95% ορυκτά καύσιμα, 5% πέλλετς
		10	10	30	60	0.60	0.36	ΔΙ: 100% ορυκτά καύσιμα
Σ3	Διυλιστήριο πετρελαίου	50	30	10	10	0.40	0.57	ΔΙ: 100% ορυκτά καύσιμα
		30	50	10	10	0.60	0.57	ΔΙ: 100% ορυκτά καύσιμα
		25	25	25	25	0.50	0.57	ΔΙ: 100% ορυκτά καύσιμα
		10	10	65	15	0.75	0.36	ΔΙ: 95% ορυκτά καύσιμα, 5% τηγανέλαια
		10	10	30	60	0.4	0.58	ΔΙ: 100% ορυκτά καύσιμα
Σ4	1G βιοκαύσιμα	60	20	10	10	0.30	0.34	ΔΙΙ: καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα
		30	50	10	10	0.60	0.34	ΔΙΙ: καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα
		25	25	25	25	0.50	0.34	ΔΙΙ: καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα
		10	10	65	15	0.40	0.34	ΔΙ: καλαμπόκι/ ΔΙΙ: καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα
		10	10	15	65	0.75	0.34	ΔΙΙ: καλαμπόκι και βιομηχανικά απόβλητα

11 Συμπεράσματα - Προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε ότι η μετασκευή βιομηχανιών αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη λύση για την μείωση χρήσης ορυκτών καυσίμων και την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Από την ανάλυση παραμέτρων του Κεφαλαίου 10, παρατηρήθηκε ότι οι παράγοντες οι οποίο και καθορίζουν αν μία επιλογή μετασκευής σε μια βιομηχανία είναι προτιμητέα από την υφιστάμενη κατάσταση της μονάδας, είναι ο οικονομικός παράγοντας και οι τεχνικές απαιτήσεις κατά την μετασκευή της μονάδας. Όπως είδαμε, η χρήση αποβλήτων αποτελεί μια καλή πρακτική για μείωση των περιβαλλοντικών ρύπων (π.χ. βιομηχανικά απόβλητα, τηγανέλαια για παραγωγή βιοελαίου) λόγω του ότι βάσει της RED II οι εκπομπές μέχρι την συλλογή τους είναι μηδενικές και επίσης είναι χαμηλού κόστους πρώτη ύλη. Παρόλα αυτά, απόβλητα τα οποία απαιτούν προ-επεξεργασία ή σημαντικές αλλαγές στον υπάρχον τεχνικό εξοπλισμό της μονάδας (π.χ. τηγανέλαια στην μονάδα διυλιστηρίου και υπολείμματα καλαμποκιού στην μονάδα παραγωγής καυσίμων) οδηγούν σε σημαντικά υψηλότερα κεφαλαιουχικά κόστη. Επιπρόσθετα, σημαντικό παράγοντα παίζει η απόσταση μεταφοράς και το ενεργειακό περιεχόμενο της πρώτης ύλης, λόγου του ότι οι εκπομπές κατά την μεταφορά της είναι σημαντικές και επίσης δημιουργείται αβεβαιότητα προς την συνεχή προμήθεια της πρώτης ύλης.

Το εργαλείο εφαρμογής της μεθόδου ELECTRE I, που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων μετασκευής μια μονάδας, εξετάζοντας τους συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς, οικονομικούς, κοινωνικούς δείκτες και δείκτες κινδύνων/ αβεβαιότητας που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 8.3. Εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε, ο επενδυτής θα μπορούσε να βγάλει κάποια πρωταρχικά συμπεράσματά για κάθε μελέτη περίπτωσης μετασκευής που εξετάζεται στην εκάστοτε βιομηχανία, και έκτοτε επιλέγοντας συντελεστές βαρύτητας βάσει των δικών του προτεραιοτήτων να καταλήξει στην βέλτιστη επιλογή μετασκευής.

Με σκοπό την προώθηση χρήσης βιοενέργειας και περαιτέρω την εφαρμογή μετασκευής σε υπάρχουσες βιομηχανίες της Ελλάδας, η πολιτεία οφείλει να δώσει ισχυρά κίνητρα στους πολίτες και τις εταιρίες/ βιομηχανίες να συλλέγουν τα απόβλητα τους, τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή βιοενέργειας. Λόγου χάρη, ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής τηγανελαίων από τα νοικοκυριά αλλά και από μεγαλύτερους παραγωγούς όπως είναι τα ξενοδοχεία, τα εστιατόρια, τα catering κ.ά., θα μπορούσε να αναπτυχθεί αν υπήρχαν ισχυρά κίνητρα, κατά βάσει οικονομικά. Αντίστοιχα, οι βιομηχανίες τροφίμων, κτηνοτροφικές και γεωργικές μονάδες θα μπορούσαν να αναπτύξουν συνέργειες με βιομηχανίες στις οποίες θα πουλούσαν τα απόβλητα τους και ταυτόχρονα θα αύξαναν τα έσοδα τους. Με την εξασφάλιση ότι η βιομηχανία θα προμηθεύεται διαρκώς την απαιτούμενη ποσότητα πρώτης ύλης που χρειάζεται στην περίπτωση μετασκευής, θα υπήρχε μείωση των εξόδων για την αγορά πρώτων υλών αφού τα έξοδα μεταφοράς θα ήταν σημαντικά μικρότερα, δεν θα υπήρχε ρίσκο για την συνεχή προμήθειας πρώτης ύλης όπως επίσης θα μειωνόταν και οι περιβαλλοντικές συνέπειες κατά την μεταφορά της πρώτης ύλης σε μεγάλες αποστάσεις.

Τέλος, αναφέρεται ότι ο βιοενεργειακός τομέας έχει την μεγαλύτερη δυνατότητα δημιουργίας νέων θέσεων εργασίας συγκριτικά με άλλες ΑΠΕ, λόγω των πολλών σταδίων της εφοδιαστικής αλυσίδας από την παραγωγή της πρώτης ύλης έως την διανομή του τελικού προϊόντος. Ωστόσο, όσον αφορά την Ελλάδα, μεγάλο μέρος του τεχνολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στην βιομηχανία έρχεται από το εξωτερικό, οπότε οι θέσεις εργασίας σχετικές με την βιοενέργεια δεν αφορούν τόσο το τεχνικό προσωπικό. Συνεπώς κρίνεται αναγκαίο, αρχικά όπως προείπαμε να δοθούν κίνητρα για την συλλογή αποβλήτων και την ανάπτυξη εφοδιαστικής αλυσίδας για την συνεχή προμήθεια αυτών προς την βιομηχανία, και κατά δεύτερον η υποστήριξη των ελληνικών κατασκευαστικών επιχειρήσεων τεχνικού εξοπλισμού από τις εγχώριες βιομηχανίες.

Προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελούν:

- Η εισαγωγή ως οικονομικό κριτήριο το εξωτερικό κόστος (extrernalities) σε κάθε περίπτωση μετασκευής. Το κριτήριο αυτό θα έδινε επιπλέον βαρύτητα στην ανάγκη μείωσης των περιβαλλοντικών εκπομπων εφόσον θα αποδίδονταν σε οικονομικούς όρους και θα είχαν σαν αποτέλεσμα σημαντική αύξηση στα λειτουργικά κόστη.
- Η εφαρμογή της αρχής «ο ρυπαίνων πληρώνει» στα απόβλητα (υγρά και στερεά) κάθε περίπτωσης μετασκευής. Το κριτήριο αυτό θα μπορούσε να αποτελεί οικονομικό και κοινωνικό ταυτόχρονα, το οποίο θα δείξει την ανάγκη ανάπτυξης συνεργειών μεταξύ διαφορετικών βιομηχανιών, όπου τα απόβλητα της μίας θα μπορούσαν να αποτελούν πρώτη ύλη της άλλης και την ανάγκη εισαγωγής των αποβλήτων ως πρώτη ύλη στην βιομηχανία.
- Η εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας σε κάθε περίπτωση, το οποίο θα μπορούσε να προσδώσει επιπλέον αξία στην ιδέα της μετασκευής. Λόγου χάρη, κατά την χρήση καλαμποκιού για την παραγωγή βιοκαυσίμων, παράγεται επίσης υπόλειμμα το οποίο μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στην κτηνοτροφία. Για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων αυτών, δηλαδή πιθανών παράπλευρων προϊόντων που δημιουργούνται σε όλα τα στάδια την μετασκευής (εφοδιαστική αλυσίδα πρώτων υλών, διαδικασία παραγωγής και διανομής τελικών προϊόντων) και μπορούν να αξιοποιηθούν στην ίδια την βιομηχανία ή σε κάποια άλλη, θα χρησιμοποιηθούν ανάλογα κριτήρια κυκλικής οικονομίας κατά την ανάλυση κάθε σεναρίου.

12 Βιβλιογραφία

1. A2A. Italian energy market overview. 2015 & 2016 | Market analysis & price forecasting. 2017. Available online: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/a2a-be/a2a/2017-03/Overview-Italian-Energy-Market-2015-2016.pdf (accessed on 31 January 2021).
2. Abgueguen R. La Sélection des Supports de Presse. Robert Lafont, Paris. 1971.
3. Asiedu Y. and Gu P. Product life cycle cost analysis: State of the art review. International Journal of Production Research. 1998. Volume 36, Issue 4.
4. Baddour F., Snowden-Swan L. Catalyst Cost Model Development (CatCost). ChemCatBio. Project Peer Review. 2019.
5. Belton V., Stewart T. J. Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. 2002. 1st edition. Chapter 1. pg. 1-27.
6. Belton V., Stewart T. J. Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. 2002. 1st edition. Chapter 3. pg. 49-91.
7. Belton V., Stewart T. J. Multiple Criteria Decision Analysis. An Integrated Approach. 2002. 1st edition. Chapter 4. pg. 91-131.
8. Benayoun R., Roy B., and Sussman B. ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de travail 49, SEMA-METRA International, Direction Scientifique. 1966.
9. Bioenergy Europe. Policy brief Biomass for heat. Statistical report. 2019. Available online: https://bioenergyeurope.org/article/194-biomass-for-heat.html (accessed on 15 December 2019).
10. Bioenergy Europe. Report Biomass for heat. Statistical report. 2019. Available online: https://bioenergyeurope.org/article/194-biomass-for-heat.html (accessed on 15 December 2019).
11. Biofuel.org.uk. First generation Biofuels. Available online: http://biofuel.org.uk/first-generation-biofuels.html (accessed on 14 April 2020).
12. Biofuel.org.uk. Second Generation Biofuels. Available online: http://biofuel.org.uk/second-generation-biofuels.html (accessed on 14 April 2020).
13. Buffet P., Grémy J., Marc M., and Sussmann B. Peut-on choisir en tenant compte de critères multiples? Une méthode ELECTRE et trois applications. Revue METRA. 1967. VI: 283–316.
14. Charles C., Gerasimchuk I., Bridle R., Moerenhout T., Asmelash E., Laan T. Biofuels—At What Cost? A review of costs and benefits of EU biofuel policies. Technical Annex. 2013. The International Institute for Sustainable Development.
15. Consoli F, Allen D., Boustead I., Fava J., Franklin W., Jensen A.A., de Oude N, Parrish R, Perriman R, Postlethwaite D., Quay B., Séguin J., Vigon B. Guidelines for Life-cycle assessment: A Code of practice. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1993.
16. Curran M. A. Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. Current Opinion in Chemical Engineering. 2013. Vol. 2, Issue 3, pg. 273-277.
17. EME 801: Energy Markets, Policy, and Regulation. Basic economics of power generation, transmission and distribution. Available online: https://www.e-education.psu.edu/eme801/node/530 (accessed on 30 January 2021).
18. Epstein M.J. Measuring corporate environmental performance. Chicago: Irwin Professional Publishing. 1996.
19. Estevan H., Schaefer B. Life Cycle Costing State of the art report. Regional Networks for Sustainable Procurement. 2017. Available online: http://www.sppregions.eu/home/ (accessed on 15 December 2019).

20. Europe beyond Coal. Overview: National Coal Phase-Out Announcements in Europe. 2019. Available online: https://beyond-coal.eu/ (accessed on 9 January 2021).
21. Europe Commission. 2050 long-term strategy. Available online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (accessed on 15 December 2019).
22. Europe Commission. Clean energy for all Europeans package. Available online: https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans_en (accessed on 15 December 2019).
23. European Commission. 2030 climate & energy framework. Available online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en (accessed on 25 December 2020).
24. European Commission. A European Green Deal. Available online: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (accessed on 11 April 2020).
25. European Commission. Climate strategies & targets. Available online: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_fi (accessed on 15 December 2019).
26. European Environment Agency. Life-cycle assessment (LCA) - a guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series. No6. 1997.
27. Eurostat. Renewable energy statistics. 2019. Available online: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics (accessed on 15 December 2019).
28. Fabrycky J., Blanchard BS. Life-Cycle Costing. The Technology Management Handbook. 1998. pg 8-63 to 8-70. 8.13. CRC Press.
29. Figueira J., Mousseau V., Roy B. ELECTRE methods – Multiple Criteria Decision Analysis. Chapter 1 & 4.
30. Flach B., Lieberz S., Bolla S., & Phillips S. EU Biofuels Annual 2019. USDA Foreign Agricultural Service. 2019.
31. Frischknecht, R. & Rebitzer, G. The ecoinvent database system: a comprehensive web-based LCA database. 2005. Journal of Cleaner Production 13 (13-14). pg. 1337-43.
32. Geissdörfer K., Gleich R., Wald A. Standardisierungspotentiale lebenszyklusbasierter Modelle des strategischen Kostenmanagements. Zeitschrift für Betriebswirtschaft. 2009. Vol. 79, pg. 693-715. The Munich University.
33. Gluch P., Baumann H. The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision-making. Building and Environment. 2004. Vol. 39, pg. 571–580.
34. GoCardless. How to calculate life cycle costing. Available online: https://gocardless.com/guides/posts/how-to-calculate-life-cycle-costing/ (accessed on 26 December 2020).
35. Greenea analysis. Waste-based feedstock and biofuels market in Europe. 2016. Available online: https://www.greenea.com/wp-content/uploads/2016/11/Argus-2016.pdf (accessed on 16 January 2021).
36. Grolleau J., Tergny J. Manuel de référence du programme ELECTRE II. Document de travail 24, SEMA-METRA International, Direction Scientifique. 1971.
37. Gudmundsson O., Thorsen J.E., Zhang L. Cost analysis of district heating compared to its competing technologies. WIT Transactions on Ecology and The Environment, Vol 176. 2013.
38. Heijungs R., Hofstetter P. Part II: Definitions of terms and symbols. In: Udo de Haes (ed.). Towards a methodology for life cycle impact assessment. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) - Europe. Brussels. 1996.

39. Herrmann I.T., Moltesen A. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? E a comparative assessment of SimaPro and GaBi, J. 2015. Clean. Prod. 86 (Suppl. C). pg. 163-169.
40. Hillairet F., Allemandou V., Gołąb K. Waste-based feedstock and biofuels market in Europe. Greenea. 2016. Available online: https://www.greenea.com/en/publications/ (accessed on 22 November 2020).
41. Hunkeler D., Rebitzer G. Life Cycle Costing – Paving the Road to Sustainable Development? (Editorial). The Internal Journal of Life Cycle Assessment. 2003. Vol. 8 (2), pg. 109-110.
42. Huppes G., van Rooijen M., Kleijn R., Heijungs R., de Koning A. and van Oers L. Life Cycle Costing and the Environment. CML. 2004.
43. ISO (1997a). Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO/FDIS 14 040, 1997.
44. ISO: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Geneva, Switzerland: International Standards Organization. ISO 14044; 2006.
45. Itskos G., Nikolopoulos N., Kourkoumpas D.-S., A. Koutsianos A., Violidakis I., Drosatos P., Grammelis P. Chapter on Energy and the Environment. 2016.
46. Jacquet-LagrBze E. How we can use the notion of semiorders to build outranking relations in multicriteria decision making, Revue Metra. 1974. Vol. 13 (1).
47. Jacquet-Lagrèze E. Le problème de l'aggrégation des préférences: une classe de procedures B seuil., Mathénatiques et Sciences Humaines. 1973. Vol. 43.
48. Jacquet-Lagrkze E. La modelisation des préférences; prébodres, quasi-ordres et relations floues, Thèse, Universite Paris V. 1975.
49. Joelsson E., Erdei B., Galbe M. et al. Techno-economic evaluation of integrated first- and second-generation ethanol production from grain and straw. 2016. Biotechnol Biofuels 9, 1. Available online: https://doi.org/10.1186/s13068-015-0423-8 (accessed on 31 January 2021).
50. Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet J., Rebitzer G., Rosenbaum R. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. 2003. Int J LCA 8 (6): 324 – 330.
51. Kathleen V., Simbolotti G., Giancarlo T. Oil Refineries. IEA ETSAP. Technology Brief P04. 2014.
52. Kotrba R. A Transformative Project: Total's La Mède Conversion. Biodiesel Magazine. 2015. Available online: http://www.biodieselmagazine.com/articles/606885/a-transformative-project-totals-la-mede-conversion (accessed on 10 January 2021).
53. Laffy R. La méthode MARSAN pour la recherche de produits nouveaux. Presented at the ESOMAR congress, Copenhagen. 1966.
54. Levi P., Vass T., Mandová H., Gouy A. Tracking Industry 2020. IEA. Available online: https://www.iea.org/reports/tracking-industry-2020 (accessed on 3 December 2020).
55. Menuet J. Quasi-ordres et modélisation des préférences. SEMA (METRA International), Dir. Sci., Note de travail, No. 197. 1974.
56. NATO RTO (North Atlantic Treaty Organisation - Research And Technology Organisation). Code of Practice for Life Cycle Costing. 2009.
57. Papakostas K., Martinopoulos G., Papadopoulos A. A Comparison of Various Heating Systems in Greece Based on Efficiency and Fuel Cost. 2015. Conference: 17th International Symposium on Thermal Science and Engineering of Serbia At: Sokobanja.
58. Pearce D.W. and R.K. Turner. Economics of Natural Resources and the Environment, Harvester Wheatsheaf, Hemel Hempstead, Herst. 1990.

59. Porter A. UCO collection on the edge. Argus Media group. 2020. Available online: https://www.argusmedia.com/en/news/2091798-uco-collection-on-the-edge (accessed on 22 November 2020).
60. PRé Sustainability. Life cycle assessment: the basics. Available online: https://www.pre-sustainability.com/sustainability-consulting/lca-methodology-basics (accessed on 15 December 2019).
61. PRé Sustainability. SimaPro Database Manual - Methods Library. 2016.
62. Rebitzer G. and Hunkeler D. Life Cycle Costing in LCM: ambitions, opportunities, and limitations. International Journal of LCA. 2003. Vol. 8 (5), pg. 253-256.
63. Reviso. What is Residual Value? Available online: reviso.com/residual-value/#:~:text=Definition%3A%20The%20residual%20value%20is,end%20of%20its%20useful%20life. (accessed on 26 December 2020).
64. Roy B. and Bertier P. La méthode ELECTRE II – Une application au média-planning. In M. Ross, editor, 1973. Vol. 72, pg. 291–302. North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
65. Roy B. and Bouyssou D. Aide Multicritère à la Décision: Méthodes et Cas. Economica, Paris. 1993.
66. Roy B. ELECTRE III: Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. Cahiers du CERO. 1978. Vol. 20(1), pg. 3–24.
67. Roy B. From optimization on a fixed set to Multicriteria decision aid. The Institute of Management Sciences, Kyoto, Japan. 1975.
68. Roy B. Méthodologie Multicritère d'aide à la Décision. Economica, Paris. 1985.
69. Roy B. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. Theory and Decision. 1991. Vol. 31, pg. 49–73.
70. Roy B., Bertier P. La méthode ELECTRE II. Note de travail 142, SEMA-METRA Metra International. 1971.
71. Roy B., Présent M., and Silhol D. A programming method for determining which Paris metro stations should be renovated. European Journal of Operational Research. 1986. Vol. 24, pg. 318–334.
72. Roy B. Methodologie multicritere d'aide a la Decision, Economica, Paris. 1985.
73. Roy B. Multicriteria methodology for decision aiding. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1996.
74. Sackett J. Southeast U.S. Wood Pellet Plants Exporting to Europe. 2017. Southern Environmental Law Center. Available online: https://www.southernenvironment.org/uploads/maps/SELC_WoodPelletExportMap_2017_0707_map+table.pdf (accessed on 5 January 2021).
75. Scarlat N., Dallemand J.-F., Taylor N., Banja M., Sanchez Lopez J., Avraamides M. Brief on biomass for energy in the European Union. The European Commission's Knowledge Centre for Bioeconomy. 2019. Available online: https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/brief-biomass-energy-european-union (accessed on 15 December 2019).
76. Sunde K., Brekke A., Solberg B. Environmental Impacts and Costs of Hydrotreated Vegetable Oils, Transesterified Lipids and Woody BTL - A Review. Energies. 2011. Vol. 4, pg. 845-877. Available online: doi:10.3390/en4060845 (accessed on 13 February 2021).
77. Tam W., Le Y.V., Tan K.N., Wang J.Y. A review on contemporary computational programs for Building's life-cycle energy consumption and greenhouse-gas emissions assessment: an empirical study in Australia, 2018. J. Clean. Prod. 172. pg. 4220-30.
78. Thrän D., Schaubach K., Peetz D., Junginger M., Mai-Moulin T., Schipfer F., et al. The dynamics of the global wood pellet markets and trade - key regions, development and impact factors. 2018. Germany: Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons Ltd.

79. Tzelepi V., Zeneli M., Kourkoumpas D., Karampinis E., Gypakis A., Nikolopoulos N., Grammelis P. Biomass Availability in Europe as an Alternative Fuel for Full Conversion of Lignite Power Plants: A Critical Review. CERTH/CPERI.Energies 2020, 13, 3390. Available online: https://doi.org/10.3390/en13133390 (accessed on 1 December 2020).
80. UNEP-SETAC. Life Cycle Management. 2009.
81. Vail Farr, J. Systems Life Cycle Costing: Economic Analysis, Estimation and Management.
82. Visser L., Hoefnagels R., Junginger M. Wood pellet supply chain costs - A review and cost optimization analysis. 2020: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2020.
83. Visser, L., Hoefnagels, R., & Junginger, M. Wood pellet supply chain costs - A review and cost optimization analysis. 2020: Renewable and Sustainable Energy Reviews.
84. WIP Renewable Energies. Technical options for retrofitting industries with bioenergy - A Handbook, 2020. Available online: https://www.biofit-h2020.eu/news-and-events/handbook-published/ (accessed on 30 March 2020).
85. Wolf M.A., Pant R., Chomkhamsri K., Sala S., Pennington D. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Towards more sustainable production and consumption for a resource-efficient Europe. JRC Reference Report, EUR 24982 EN. European Commission. 2012.
86. Yano J., Aoki T., Nakamura K., Yamada K., Sakai S. Life cycle assessment of hydrogenated biodiesel production from waste cooking oil using the catalytic cracking and hydrogenation method. Journal Article on Waste management. 2015. Vol. 38. Pg. 409-423.
87. Δούκας Χ., Ξυδώνας Π., Ψαρράς Ι. Πολυκριτηριακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, σημειώσεις μαθήματος. 2015. Σχολή ΗΜΜΥ. Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων & Συστημάτων Αποφάσεων. ΕΜΠ.
88. Δούκας Χ., Ψαρράς Ι. Ενότητα 8: Θεωρία σχέσεων υπεροχής. σημειώσεις μαθήματος «Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων». Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης. Σχολή ΗΜΜΥ. ΕΜΠ.
89. Νίκας Α., Δούκας Χ., Ψαρράς Ι. Ενότητα 8: Η οικογένεια μεθόδων ELECTRE: ELECTRE I & ELECTRE Tri. σημειώσεις μαθήματος «Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων». Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης. Σχολή ΗΜΜΥ. ΕΜΠ.
90. Σημειώσεις μαθήματος «Διοίκηση Παραγωγής & Συστημάτων Υπηρεσιών». Κεφάλαιο 4: Σχεδιασμός Προϊόντος – Σχεδιασμός Παραγωγικής Διαδικασίας. Διαθέσιμο διαδικτυακά: http://users.teiath.gr/giovanis/files_dioikisi_paragogis/CH2.PRODUCT-DESIGN.pdf Πρόσβαση στις 9 Ιανουαρίου 2021.
91. Σίσκος, Ι. Μοντέλα αποφάσεων. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών. Αθήνα. 2008.