Μέθοδοι Και Πρότυπα Αξιολόγησης Εναλλακτικών Καυσίμων Πλοίων

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΡΟΔΑΚΗ ΑΔΑΜΑΝΤΙΑΣ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσοπουλος

Αδαμαντία Ροδάκη

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μέθοδοι Και Πρότυπα Αξιολόγησης Εναλλακτικών Καυσίμων Πλοίων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΡΟΔΑΚΗ ΑΔΑΜΑΝΤΙΑΣ

Επιβλέπων : Γεώργιος Ματσόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2023

ΡΟΔΑΚΗ ΑΔΑΜΑΝΤΙΑ

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

© 2023 – All rights reserved

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

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

Περίληψη

Η χρήση ορυκτών καυσίμων είναι σχεδόν καθολική σε όλη τη ναυτιλιακή βιομηχανία, αν και τα τελευταία χρόνια πλοία με εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνιση τους. Ενώ μια σειρά πηγών ενέργειας χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα είναι δυνητικά διαθέσιμες για τη ναυτιλία, προς το παρόν δεν υπάρχει σαφής διαδρομή απαλλαγής από τις εκπομπές άνθρακα και ως εκ τούτου είναι πιθανό στο μέλλον να υιοθετηθεί μια σειρά από λύσεις που θα προκύψουν από νέες απαιτήσεις για τα πλοία και τη λειτουργία τους. Αν και τέτοια καύσιμα μπορεί να έχουν χαμηλές, καθαρά μηδενικές ή μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη χρήση (Tank to Wake, ή TtW), οι εκπομπές τους από την παραγωγή και τη διανομή (Well-to-Tank ή WtT) ποικίλλουν πολύ. Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η βελτίωση της κατανόησης των υφισταμένων κριτηρίων βιωσιμότητας και των μεθόδων αξιολόγησης και υπολογισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κύκλου ζωής (Greenhouse Gas – GHG), τα οποία σχετίζονται με τα ναυτιλιακά καύσιμα, καθώς και η αναγνώριση των περιοχών, οι όποιες επιδέχονται περαιτέρω μελέτη.

Λέξεις Κλειδιά: ναυτιλία, εναλλακτικά καύσιμα, εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, κριτήρια βιωσιμότητας, μέθοδοι αξιολόγησης

Αδαμαντία Ροδάκη

Abstract

The use of fossil fuels is almost universal across the shipping industry, although in recent years vessels with alternative energy sources have started to be successfully introduced in small numbers. While a range of low-carbon and zero-carbon energy sources are potentially available for shipping, currently there is no clear decarbonisation path or paths, and is likely that in the future a range of solutions will be adopted according to different vessel and operational requirements. Although such fuels may have low, net-zero, or zero GHG emissions in-use (Tank to Wake, or TtW) their emissions from production and distribution (Well-to-Tank or WtT) vary greatly. If future regulations or legislation for these fuels is adopted, it will be missing significant emissions sources unless GHG emissions are calculated and taken into account on a Well-to-Wake (WtW) basis. This project seeks to increase understanding of existing sustainability criteria and life cycle greenhouse gas (GHG) emission assessment/calculation methods that are of relevance to marine fuels and identifying areas where further work could be undertaken.

Keywords: marine sector, bio fuel, GreenHouse Gas emissions, sustainability criteria, assessment methods

Αδαμαντία Ροδάκη

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή 1
1.1 Υπόβαθρο 3
1.2 Σκοπός και Περιεχόμενο 5
1.3 Μελλοντικές Χρήσεις Και Αλληλεπίδραση Με Τους Υπάρχοντες Κανονισμούς Απόδοσης 6
Κεφάλαιο 2: 7
2.1 Αρχές Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής.....9
2.2 Εξέταση Λειτουργικών Μονάδων και Περιορισμών.....9
2.2.1 Εξέταση Κατάλληλων Λειτουργικών Μονάδων 10
2.2.2 Εξέταση Των Περιορισμών.....11
Κεφάλαιο 3: 13
Κεφάλαιο 4: 25
4.1 Σχετικά Υπάρχοντα Πρότυπα Και Κανονισμοί.....27
4.1.1 Αξιολόγηση και περιεχόμενο προτύπων, κανονισμών και οδηγιών.....27
4.1.2 Έλεγχος εκπομπών ρύπων.....44
4.1.3 Μείωση των εκπομπών GHG.....44
4.2 Συνοπτική Επισκόπηση Υφιστάμενων Προτύπων, Κανονισμών Και Μεθόδων Για Τον Υπολογισμό Ή Τη Μέτρηση Των Εκπομπών GHG Και Των Επιπτώσεων Στη Βιωσιμότητα Των Καυσίμων Πλοίων 47
4.3 Σύντομη Περιγραφή Μεθόδων Και Εργαλείων Που Εφαρμόζονται Στις Περιπτώσεις Μελέτης Για Τον Υπολογισμό Ή Τη Μέτρηση Εκπομπών GHG 51
Κεφάλαιο 5: 59
5.1 Επιλογή Περιπτώσεων Μελέτης.....61
5.2 Αξιολόγηση των μεθόδων/εργαλείων υπολογισμού εκπομπών GHG.....67
5.3 Ανάλυση για τις διαφορές μεταξύ μεθόδων/εργαλείων.....73
5.4 Αποτελέσματα περιπτώσεων μελέτης.....77
Κεφάλαιο 6: 85
6.1 Εξελίζοντας Το Ρυθμιστικό Τοπίο.....88
6.2 Περιορισμοί ΑνάλυσηςΤων Μεθόδων Και Εργαλείων 88
6.3 Κριτήρια Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας.....90
6.4 Εφαρμογή Υπάρχουσων Μεθόδων Και Εργαλείων Σε Εναλλακτικά Ναυτιλιακά Καύσιμα.....90
6.5 Κενά Και Σημαντικές Διαφορές Στις Μεθόδους/Εργαλεία 91
6.6 Υποθέσεις Και Δεδομένα Εισαγωγής Που Απαιτούνται Για Την Εφαρμογή Των Μεθόδων Και Των Εργαλείων.....93

Κεφάλαιο 7: 95
7.1 Όρια Για Την WTW Αξιολόγηση Των Ναυτιλιακών Καυσίμων 97
7.2 Πιθανές Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις Υπολογισμού Εκπομπών GHG 98
7.3 Προβληματισμοί Για Τις Μεθόδους Αξιολόγησης Εκπομπών GHG Και Πρότυπα Εναλλακτικών Καυσίμων Πλοίων 99

ΓΛΩΣΣΑΡΙ

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	ΟΡΙΣΜΟΣ
ADP	Abiotic Depletion Potential - Δυνατότητα αβιοτικής εξάντλησης
AP	Acidification Potential - Δυνατότητα οξίνισης
CARB	California Air Resources Board - Συμβούλιο Αεροπορικών Πόρων της Καλιφόρνια
CCLUB	Carbon Calculator for Land Use Change from Biofuels Production – Υπολογισμός άνθρακα για αλλαγή χρήσης γης από την παραγωγή βιοκαυσίμων
CCS	Carbon Capture and Storage - Συλλογή και αποθήκευση άνθρακα
CED	Cumulative Energy Demand - Σωρευτική ζήτηση ενέργειας
CH3OH	Methanol - Μεθανόλη
CH4	Methane -Μεθάνιο
CII	Carbon Intensity indicator (IMO) - Ένδειξη έντασης άνθρακα
C-LCA	Consequential Life cycle assessment - Συνεπακόλουθη αξιολόγηση του κύκλου ζωής
CNG	Compressed Natural Gas - Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο
Co	Cobalt - Κοβάλτιο
CO	Carbon monoxide – Μονοξείδιο του άνθρακα
CO2	Carbon dioxide – Διοξείδιο του άνθρακα
CO2e	CO2 equivalent – Ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation - Σχέδιο αντιστάθμισης και μείωσης άνθρακα για τη διεθνή αεροπορία
Cu	Copper - Χαλκός
DCS	Data Collection System (IMO) - Σύστημα Συλλογής Δεδομένων
DLUC	Direct Land Use Change - Άμεση Αλλαγή Χρήσης Γης
EEDI	Energy Efficiency Design Index (IMO) - Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης
EEXI	Energy Efficiency Existing Ship Index - Δείκτης ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων
EN	European Committee for Standardisation - Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης
EP	Eutrophication Potential - Δυνατότητα ευτροφισμού

EPA	Environmental Protection Agency (USA) - Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος
ETP	Ecological Toxicity Potential - Δυνατότητα Οικολογικής Τοξικότητας
ETS	Emissions Trading System (EU) - Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών
EU	European Union - Ευρωπαϊκή Ένωση
FAME	Fatty Acid Methyl Esters - Μεθυλεστέρες λιπαρών οξέων
FU	Functional Unit - Λειτουργική μονάδα
G	gram (unit of mass) - γραμμάριο
GHG	Greenhouse gas – Φαινόμενο του Θερμοκηπίου
GIA/Low Carb GIA	Global Industry Alliance / GIA to Support Low Carbon Shipping - Παγκόσμια Βιομηχανική Συμμαχία / GIA για την υποστήριξη της ναυτιλίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα
GLOBIOM	Global Biosphere Management Model - Παγκόσμιο Μοντέλο Διαχείρισης Βιόσφαιρας
GREET	Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model - Αέρια θερμοκηπίου, ρυθμιζόμενες εκπομπές και χρήση ενέργειας στο μοντέλο τεχνολογιών
GTAP	Global Trade Analysis Project - Σχέδιο Ανάλυσης Παγκόσμιου Εμπορίου
GTAP/ GTAP-BIO	The Global Trade Analysis Project
GWP	Global Warming Potential - Δυνατότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη
H2	Hydrogen - Υδρογόνο
HC	Hydrocarbon - Υδρογονάνθρακας
HTP	Human Toxicity Potential - Δυνατότητα τοξικότητας για τον άνθρωπο
HFO	Heavy Fuel Oil
HVO	Hydrogenated Vegetable Oil - Υδρογονωμένο Φυτικό Έλαιο
ICAO	International Civil Aviation Organization - Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας
ILUC	Indirect / Induced land use change - Έμμεση / Προκαλούμενη αλλαγή χρήσης γης
IMP	International Maritime Organization - Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός
IRP	Ionizing Radiation Potential - Δυναμικό Ιονίζουσας Ακτινοβολίας

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change - Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος
ISO	International Organization for Standardization (formerly International Standards Organisation) - Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (πρώην Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης)
JEC	Collaboration of European Commission's Joint Research Centre (JRC), the European Council for Automotive R&D (EUCAR) and Concawe - Συνεργασία του Κοινού Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΚΚΕρ), του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου για την Ε&Α Αυτοκινήτου (EUCAR) και του Concawe
JRC	European Commission's Joint Research Centre - Κοινό Κέντρο Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής
kWh	Kilo-Watt Hours - Κιλοβατόρες
LCA	Life cycle assessment - Εκτίμηση κύκλου ζωής
LCIA	Life Cycle Impact Assessment - Εκτίμηση Επιπτώσεων Κύκλου Ζωής
LCI	Life Cycle Inventory - Απογραφή Κύκλου Ζωής
LMC	Land management change – Αλλαγή λειτουργία γης
LNG/e-LNG	Liquified Natural Gas / synthetic LNG from renewable electricity - Υγροποιημένο φυσικό αέριο / συνθετικό LNG από ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια
Low Carbon GIA	Global Industry Alliance to Support Low Carbon Shipping - Παγκόσμια Βιομηχανική Συμμαχία για την υποστήριξη της ναυτιλίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα
LPG	Liquefied Petroleum Gas – Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου
LUC	Land use change – Αλλαγή χρήσης γης
MJ	Mega Joule (measure of energy)
MRV	Monitoring, Reporting and Verification (EU) - Παρακολούθηση, Αναφορά και Επαλήθευση
N2O	Nitrous Oxide - Οξείδιο του αζώτου
NH3	Ammonia - Αμμωνία
NMVOC	Non-methane volatile organic compounds - Πτητικές οργανικές ενώσεις χωρίς μεθάνιο
NOx	Nitrogen Oxides (NO and NO2) - Οξείδια του αζώτου

ODP	Ozone Depletion Potential - Δυνατότητα καταστροφής του όζοντος
PM, PN	Particulate Matter, Particulate Number - Σωματιδιακή Ύλη, Αριθμός Σωματιδίων
PMFP	Particulate Matter Formation Potential - Δυνατότητα Σχηματισμού Σωματιδίων
POFP	Photochemical Ozone Formation Potential - Δυνατότητα Σχηματισμού Φωτοχημικού Όζοντος
PV	Photo-Voltaic (solar panels) - Φωτοβολταικά
RED II	Renewable Energy Directive - Οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
RFS	Renewable Fuel Standard (USA) - Πρότυπο Ανανεώσιμων Πηγών Καυσίμου
RSB	Roundtable on Sustainable Biofuels - Στρογγυλή τράπεζα για τα αειφόρα βιοκαύσιμα
RTFO	Renewable transport fuel obligations (UK) - Υποχρεώσεις ανανεώσιμων καυσίμων μεταφορών
SAF	Sustainable Aviation Fuel - Βιώσιμα αεροπορικά καύσιμα
SMR	Steam Methane Reforming
TtW	Tank-to-Wake (or Tank-to-Wheel)
UK	United Kingdom – Ηνωμένο Βασίλειο
US/USA	United States / United States of America - ΗΠΑ
WtW	Well-to-Wake (or Well-to-Wheel)

Κεφάλαιο 1:Εισαγωγή

Αδαμαντία Ροδάκη

Η Σύμπραξη Παγκόσμιας Βιομηχανίας για την Υποστήριξη της Ναυτιλίας Χαμηλού Άνθρακα (Low Carbon GIA), είναι μια συνεργασία δημόσιου και ιδιωτικού τομέα που ιδρύθηκε στο πλαίσιο του Έργου Παγκόσμιων Συμπράξεων Ενεργειακής Απόδοσης στη Θάλασσα (GloMEEP Project). . Η Low Carbon GIA ιδρύθηκε με στόχο τον εντοπισμό και την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων για την αντιμετώπιση των κοινών περιορισμών στην υιοθέτηση και την εφαρμογή τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης και επιχειρησιακών μέτρων. Από τον Ιανουάριο του 2020, η Low Carbon GIA λειτουργεί υπό το Πρόγραμμα GreenVoyage20501, μια κοινή πρωτοβουλία των IMO και της Νορβηγίας για την υποστήριξη και την εφαρμογή της αρχικής στρατηγικής του IMO για τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG) (ψήφισμα MEPC.304(72)).

Η εργασία αυτή επιδιώκει να βελτιώσει την κατανόηση των υφιστάμενων κριτηρίων βιωσιμότητας και των μεθόδων αξιολόγησης/υπολογισμού εκπομπών GHG κύκλου ζωής που σχετίζονται με τα ναυτιλιακά καύσιμα καθώς και να προσδιορίσει περιοχές όπου απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση.

1.1 Υπόβαθρο

Η χρήση ορυκτών καυσίμων είναι σχεδόν καθολική σε όλη τη ναυτιλιακή βιομηχανία, αν και τα τελευταία χρόνια πλοία με εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχουν αρχίσει να κάνουν την εμφάνιση τους. Ενώ μια σειρά πηγών ενέργειας χαμηλών και μηδενικών εκπομπών άνθρακα είναι δυνητικά διαθέσιμη για τη ναυτιλία, επί του παρόντος δεν υπάρχει σαφής διαδρομή απαλλαγής από τον άνθρακα. Κάθε μία από τις επιλογές έχει πλεονεκτήματα αλλά και πρακτικές προκλήσεις, καθώς και διαφορετική τεχνική ωριμότητα και διαθεσιμότητα υποδομής. Είναι πιθανό ότι στο μέλλον θα υιοθετηθεί μια σειρά λύσεων ανάλογα με τα διαφορετικά πλοία και τις διαφορετικές λειτουργικές τους απαιτήσεις.

Ωστόσο, η κατανόηση των πραγματικών εκπομπών GHG κύκλου ζωής από κάθε πηγή ενέργειας είναι απαραίτητη, συμπεριλαμβανομένου του πώς παράγεται και διανέμεται η πηγή ενέργειας καθώς και το πεδίο χρήσης της. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να υπάρχει σαφήνεια σχετικά με τον τρόπο υπολογισμού των εκπομπών GHG από εναλλακτικά καύσιμα, προκειμένου να συγκριθούν οι διάφορες εναλλακτικές.

Ενώ οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) κυριαρχούν στις εκπομπές GHG από τη ναυτιλία, θα πρέπει επίσης να ληφθει υπόψη ο ρόλος και άλλων καλά αναμεμειγμένων GHGs όπως είναι το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) και ορισμένα αλογονωμένα είδη, (αν και τα αλογονωμένα είδη δεν περιλαμβάνονται συνήθως στις αξιολογήσεις των καυσίμων προς καύση).

Επιπλέον, πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ μη βιογενών και βιογενών εκπομπών CO_2. Τα πρώτα προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων και αντιπροσωπεύουν μια καθαρή προσθήκη CO2 στην ατμόσφαιρα. Αντίθετα, τα δεύτερα προέρχονται από την καύση του άνθρακα που περιέχεται στα καύσιμα που έχουν παραχθεί μετά απο επεξεργασία υποστρώματος βιωμάζας (δηλαδή βιοκαύσιμα). Κατ 'αρχήν, δεδομένου ότι η ίδια ποσότητα άνθρακα (σε μοριακή βάση) απορροφήθηκε προηγουμένως από την ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης κατά τη φάση ανάπτυξης της βιομάζας, οι βιογενείς εκπομπές CO_2 έχουν ως αποτέλεσμα μηδενική προσθήκη CO_2 στην ατμόσφαιρα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του καυσίμου. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και άλλες μη μηδενικές εκπομπές που σχετίζονται με την καύση τους. Επομένως, αυτός ο τρόπος υπολογισμού μηδενικών εκπομπών άνθρακα ισχύει πλήρως μόνο εάν μπορεί να αποδειχθεί ότι το σύνολο της βιομάζας αναπτύχθηκε στην πραγματικότητα με βιώσιμο τρόπο (π.χ. από καλά διαχειριζόμενες φυτείες βραχείας περιστροφής που οδηγούν σε καθαρά μηδενική

μεταβολή της μόνιμης βιομάζας με την πάροδο του χρόνου). Διαφορετικά, θα εξακολουθεί να υπάρχει μερική (μη μηδενική) προσθήκη CO_2 στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν επίσης ευρύτερες ανησυχίες σχετικά με τις εκπομπές GHG των βιοκαυσίμων που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν καταλήξουμε στο συμπέρασμα εάν ένα συγκεκριμένο βιοκαύσιμο θα πρέπει να θεωρείται «καθαρού μηδενικού» ή «ουδέτερου» άνθρακα.

Πέρα από το CO_2, οι κλιματικοί παράγοντες βραχυπρόθεσμης επίδρασης όπως τα NOx, τα SOx, ο οργανικός και μαύρος άνθρακας, η αμμωνία, το CO και το NMVOC μπορούν επίσης να αυξήσουν ή να μειώσουν την υπερθέρμανση του πλανήτη, είτε ως GHG είτε μέσω αλλαγών σε ανθρωπογενή αερολύματα. Η επιρροή τους είναι λιγότερο κατανοητή καθώς η τοποθεσία και ο χρόνος των εκπομπών αλλάζουν σημαντικά τον αντίκτυπό τους και επομένως συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη.

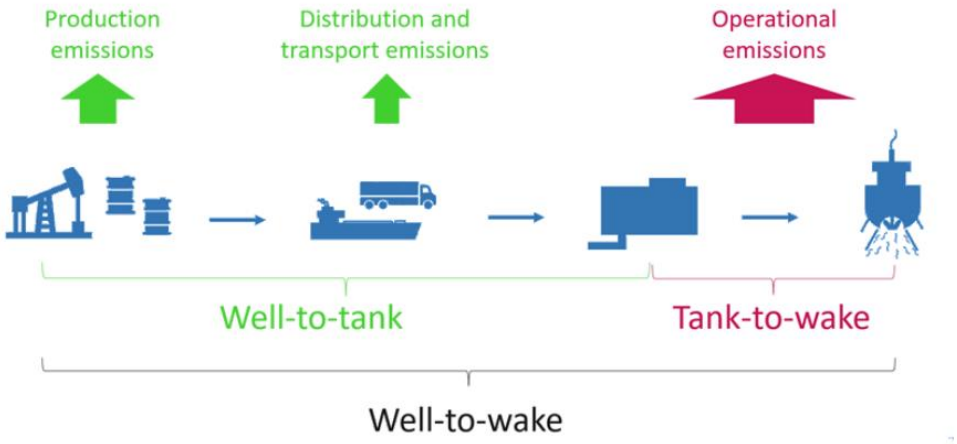
Για να συνδυαστούν οι εκπομπές GHG με διαφορετικούς χρόνους ζωής και φάσματα απορρόφησης υπέρυθρων, οι ποσότητες τους πολλαπλασιάζονται με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) σε σχέση με αυτό του CO_2, σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο·εκατό χρόνια και είκοσι χρόνια (GWP1002 και GWP203 αντίστοιχα) είναι τα χρονικά πλαίσια που χρησιμοποιούνται συνήθως. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έχει ευθυγραμμιστεί με τη χρήση του GWP100 ως προεπιλεγμένη επιλογή αναφοράς.

Όταν πρόκειται για ορυκτά καύσιμα, οι εκπομπές GHG που προκύπτουν από την καύση του καυσίμου στο πλοίο (αναφέρεται ως "Tank-to Wake" ή TtW) συνήθως αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών εκπομπών GHG σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής του καυσίμου (που αναφέρεται ως "Well-to-Wake" ή WtW). Από την άλλη πλευρά τα καύσιμα που δεν περιέχουν άνθρακα συνεπάγονται μηδενικές εκπομπές CO_2 κατά την TtW, αλλά μπορεί να παράγουν N_2O κατά την καύση. Είναι σημαντικό ότι οι εκπομπές GHG στην αλυσίδα παραγωγής τους (δηλ. "Well-to-Tank" ή WtT) μπορεί να ποικίλλουν από μηδέν έως έναν αρκετά μεγάλο αριθμό, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής. Πράγματι, οι εκπομπές κατά την WtT ενός καυσίμου καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο παραγωγής καθώς και σημαντικούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του αν χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, εάν καταγράφονται οι ανεξέλεγκτες εκπομπές καθώς και από την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας.

Επιπλέον, η βιωσιμότητα των καυσίμων είναι κάτι περισσότερο από τις εκπομπές GHG και μόνο. Άλλες περιβαλλοντικές επιδράσεις για κάθε πηγή ενέργειας πρέπει επίσης να γίνουν κατανοητές, όπως η ρύπανση του αέρα και των υδάτων (τόσο κατά τη χρήση όσο και κατα την παραγωγή και τη διανομή), η διαταραχή και η ζημιά στα οικοσυστήματα με σχετική απώλεια της βιοποικιλότητας, η χρήση σπάνιων πόρων, συμπεριλαμβανομένης της γης, του νερού, της πρώτης ύλης και της ενέργειας καθώς και κοινωνικές ανησυχίες για τον αθέμιτο ανταγωνισμό και τα ανθρώπινα δικαιώματα. Ωστόσο και ενώ μια υψηλού επιπέδου συνοπτική επισκόπηση μιας σειράς πρόσθετων κατηγοριών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως αντιμετωπίζονται επί του παρόντος από την αξιολόγηση του κύκλου ζωής παρέχεται στη συνέχεια, θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι μπορεί να υπάρξουν επιπτώσεις που είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν, ενώ η κοινωνική και η οικονομική βιωσιμότητα δεν εμπίπτουν στο επιδιωκόμενο πεδίο εφαρμογής αυτής της εργασίας.

1.2 Σκοπός και Περιεχόμενο

Η εργασία αυτή στοχεύει στη χαρτογράφηση των σχετικών υφιστάμενων και επερχόμενων προτύπων και κανονισμών εφαρμόζοντας κατάλληλα κριτήρια και μεθόδους και συγκεντρώνοντας κριτήρια βιωσιμότητας για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων, τα οποία εξετάζουν ευρύτερες εκτιμήσεις για τη βιωσιμότητα και όχι απλώς για τις εκπομπές GHG. Για να συμπληρωθούν τα κριτήρια βιωσιμότητας, αυτή η εργασία εξετάζει τα πρότυπα και τους κανονισμούς που σχετίζονται με τα καύσιμα και τους τρόπους μεταφοράς τους για να προσδιορίσει τις μεθόδους υπολογισμού των εκπομπών GHG που θα ήταν κατάλληλες για τα καύσιμα πλοίων, καλύπτοντας WtT και TtW (Εικόνα 1.1). Έχουν σχεδιαστεί πολλά πρότυπα καυσίμων και κανονισμοί διαφορετικού βεληνεκούς για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης τα οποία έχουν όρια στην εφαρμογή τους στον παγκόσμιο ναυτιλιακό τομέα. Σε αυτή την εργασία, γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν αυτά τα κενά και να διερευνηθούν οι επιλογές για την κάλυψη τους και για την προσαρμογή των μεθόδων στο ναυτιλιακό τομέα. Η μελέτη περιλαμβάνει παραδείγματα («περιπτώσεις μελέτης») που μελετούν τόσο τα κριτήρια βιωσιμότητας όσο και τους υπολογισμούς των εκπομπών GHG για έναν επιλεγμένο αριθμό καυσίμων.



Εικόνα 1.1: Η φάση WtW περιλαμβάνει το άθροισμα των WtT και TtW

1.3 Μελλοντικές Χρήσεις Και Αλληλεπίδραση Με Τους Υπάρχοντες Κανονισμούς Απόδοσης

Αυτή τη στιγμή, οι εκπομπές από τη ναυτιλία υπολογίζονται με την εφαρμογή του κατάλληλου συντελεστή καυσίμου CO_2 προς την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου. Αυτός ο συντελεστής CO_2 είναι ένα μέτρο της ποσότητας CO_2 που απελευθερώνεται ανά μονάδα καυσίμου που χρησιμοποιείται και δε λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές άλλων ρύπων. Σύμφωνα με την προσέγγιση του IMO για τα υπάρχοντα πλοία που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, η απόδοση των πλοίων θα αξιολογείται (από το 2023) χρησιμοποιώντας το δείκτη έντασης άνθρακα (CII). Το CII είναι ένα μέτρο του πόσο αποτελεσματικά μεταφέρει ένα πλοίο το φορτίο του από την άποψη των εκπομπών CO_2 και υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{CII} = \frac{\text{Annual fuel used} \times \text{Fuel } CO_2 \text{ factor}}{\text{Annual distance travelled} \times \text{Capacity}} \times \text{Correction factors}$$

Στην περίπτωση του δείκτη CII, ο συντελεστής καυσίμου CO_2 απλώς αντανακλά την ποσότητα του CO_2 που απελευθερώνεται όταν το καύσιμο υπόκειται σε πλήρη καύση. Αυτός ο δείκτης δε λαμβάνει υπόψη τυχόν εκπομπές κατά την WtT ή άλλες εκπομπές κατά την TtW εκτός από CO_2, όπως π.χ την ολίσθηση μεθανίου ή N_2O. Για τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία, αυτές οι απλουστεύσεις χάνουν μόνο ένα μικρό ποσοστό από τις συνολικές εκπομπές GHG κατά την WtW. Ωστόσο, για τα μη παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και τα μελλοντικά μη ορυκτά καύσιμα, η απλούστευση αυτή μπορεί να μην είναι πλέον επαρκής, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές παραλείψεις.

Ο Δείκτης Σχεδιασμού Ενεργειακής Απόδοσης (EEDI) είναι ένα πρότυπο απόδοσης για νεόκτιστα πλοία και συνήθως είναι ευθύνη του ναυπηγείου. Επειδή οι υπολογισμοί είναι πολύπλοκοι, δεν θα επαναληφθούν σε αυτή την εργασία. Ωστόσο, όπως και με το δείκτη CII, ο συντελεστής καυσίμου CO_2 περιλαμβάνεται ώστε να καταστεί δυνατή η σύγκριση κατανάλωσης και εκπομπών μεταξύ συγκεκριμένων καυσίμων.

Κεφάλαιο 2:

Η Αξιολόγηση Του Κύκλου Ζωής Στο Ναυτιλιακό Τομέα

Αδαμαντία Ροδάκη

Ενώ το πεδίο εφαρμογής αυτής της εργασίας καλύπτει τις εκπομπές καυσίμων κατά την WtW, στοιχεία των εκπομπών κατά την TtW εξαρτώνται επίσης από το σχεδιασμό του πλοίου, το ταξίδι, τον καιρό και από άλλους παράγοντες που δεν σχετίζονται με το καύσιμο. Αποφασίστηκε, στα πλαίσια αυτής της εργασίας, να αποκλειστούν αυτοί οι παράγοντες ώστε να δημιουργηθεί μία μέθοδος ανάλυσης για τη σύγκριση των καυσίμων, και έτσι, όπως εξηγείται στην Ενότητα 2.2, επιλέχθηκε ως έξοδος (λειτουργική μονάδα) της ανάλυσης των καυσίμων η απόδοση στον άξονα του συστήματος πρόωσης. Επομένως, το στάδιο TtW περιλαμβάνει την απόδοση του καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων του συστήματος μετάδοσης κίνησης, ενώ εξαιρούνται παράγοντες ειδικοί για το πλοίο, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως ανεξάρτητοι από το πλοίο.

2.1 Αρχές Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής (LCA) ως μέσο περιβαλλοντικής ανάλυσης έχει καθιερωθεί από τη δεκαετία του 1980. Η προσέγγιση LCA αντιπροσωπεύει μια σημαντική μέθοδο για τον χαρακτηρισμό και τον προσδιορισμό των περιβάλλοντικών περιορισμών διάφορων συστημάτων. Τα πρότυπα ISO14040 (2006) και ISO14044 (2006) παρέχουν την κοινή βάση για LCA μελέτες και περιλαμβάνουν γενικές απαιτήσεις για όλες τις πτυχές του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ή συστήματος. Ωστόσο, λόγω του ευρέως πεδίου των LCA μελετών σήμερα, τα πρότυπα ISO αφήνουν περιθώρια σε πολλές ακόμη μεθοδολογίες, οι οποίες μπορούν να εξεταστούν περαιτέρω.

Στην πράξη, μια LCA μέθοδος είναι μια κατάλληλη διαδικασία για την καταγραφή και την αξιολόγηση περιβαλλοντικά συναφών διαδικασιών. Αρχικά αναπτύχθηκε κυρίως για την αξιολόγηση προϊόντων, τώρα χρησιμοποιείται επίσης για διαδικασίες, υπηρεσίες και συμπεριφορές συστημάτων. Τα αποτελέσματα μίας LCA μεθόδου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών για βιώσιμη παραγωγή, αλλά και για την ανάπτυξη πολιτικών. Ανάλογα με τον χρονικό ορίζοντα (τρέχουσα ή μελλοντική κατάσταση), μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης. Η βασική δύναμη μιας LCA μεθόδου έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του προϊόντος ή της διαδικασίας λαμβάνονται υπόψη. Εάν η ανάλυση επικεντρωθεί σε ένα μόνο στάδιο της διαδικασίας ή σε μια υποενότητα της διάρκειας ζωής του προϊόντος (π.χ. μόνο στη φάση χρήσης ενός καυσίμου), μπορεί να προκύψει σοβαρή παρερμηνεία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Οι κύριες κατευθυντήριες αρχές μιας LCA μεθόδου είναι επομένως ότι: (1) πρέπει να ληφθούν υπόψη όλες οι ροές υλικών που σχετίζονται με το σύστημα υπό εξέταση (εισροές πρώτων υλών και εκπομπές από διαδικασίες προμήθειας και διάθεσης, παραγωγή ενέργειας, μεταφορά και άλλες διαδικασίες)· και (2) πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα ευρύ και ποικίλο φάσμα πιθανών βλαβερών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όσον αφορά τις εκπομπές στο έδαφος, τον αέρα και το νερό, καθώς και την εξάντληση πόρων, επιτρέποντας έτσι στον αναλυτή να επισημάνει επιπρόσθετες επιπτώσεις που μπορεί να δημιουργηθούν από την αλληλεπίδραση άλλων επιπτώσεων.

2.2 Εξέταση Λειτουργικών Μονάδων και Περιορισμών

Πριν προχωρήσουμε στην αξιολόγηση των υπολογισμών για τις GHG εκπομπές και άλλες μετρήσεις βιωσιμότητας για μια σειρά καυσίμων / μεταφορών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ναυτιλίας, πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των κατάλληλων Λειτουργικών

Μονάδων και Ορίων. Η Μονάδα Λειτουργίας (FU) αντιπροσωπεύει το προϊόν ή την υπηρεσία αναφοράς ως προς την οποία σχετίζονται οι ροές εισόδου και εξόδου κατά τον κύκλο ζωής. Τα όρια (ή το πεδίο εφαρμογής) καθορίζουν ποιες διεργασίες περιλαμβάνονται στην αξιολόγηση και πρέπει να είναι σύμφωνες με τον στόχο της μελέτης. Αυτή η αξιολόγηση απαιτείται για να εξασφαλιστεί ένα συνεπές πλαίσιο για τη σύγκριση των εναλλακτικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένης της καταλληλότητάς τους για εφαρμογή στο ναυτιλιακό τομέα και για να αποφευχθεί η εξαγωγή παραπλανητικών συμπερασμάτων.

2.2.1 Εξέταση Κατάλληλων Λειτουργικών Μονάδων

Για την ενότητα της ανάλυσης κάτα την WtT, τα καύσιμα μπορούν να αναλυθούν σωστά και να συγκριθούν με βάση την ανά MJ παρεχόμενη ενέργεια. Ωστόσο, όταν εξετάζονται κατά την Tank to Wake, πρέπει να επιλεγεί μια κατάλληλη Μονάδα Λειτουργίας. Μεγάλο μέρος της δημοσιευμένης βιβλιογραφίας και των προτύπων έχει επικεντρωθεί στα οδικά οχήματα και συχνά η μονάδα λειτουργείας που χρησιμοποιείται είναι το «έργο μεταφοράς – transport work» - δηλαδή οι εκπομπές ανά μονάδα φορτίου επί την απόσταση (CO_2 ανά τόνο-χλμ) για ένα συγκεκριμένο όχημα. Αυτή η μονάδα επιλέγεται καθώς επιτρέπει μια δίκαιη σύγκριση της χρησιμότητας του καυσίμου, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις επιπτώσεις του καυσίμου που χρησιμοποιεί το όχημα. Το ανάλογό του στο ναυτιλιακό τομέα είναι το CO_2 ανά τόνο-ναυτικό μίλι, t-nm σε συντομογραφία.

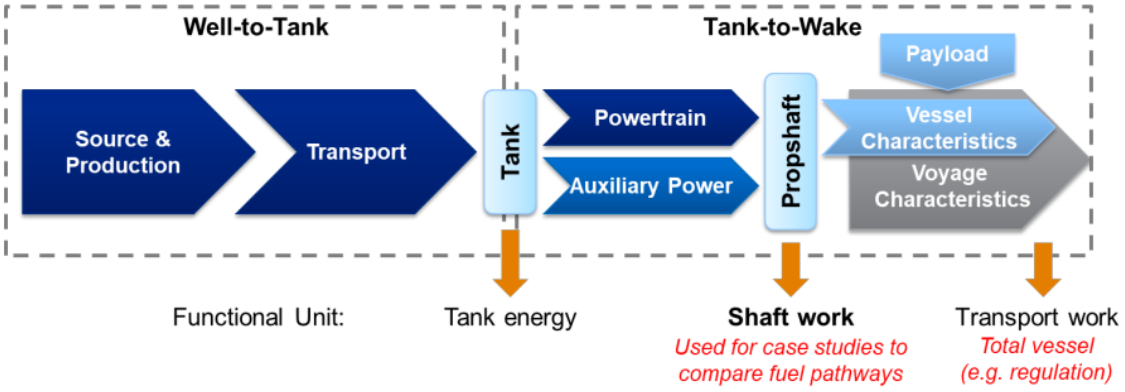
Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα που εξηγούν γιατί αυτή η προσέγγιση αντιμετωπίζει προκλήσεις όταν εξετάζουμε τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται στο ναυτιλιακό τομέα και όχι σε ένα συγκεκριμένο πλοίο:

- Σε σύγκριση με τις οδικές μεταφορές, τα πλοία έχουν πολύ μεγαλύτερες διαφοροποίησεις ως προς τα φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, από λίγα μέτρα μήκος έως πάνω από τέσσερα γήπεδα ποδοσφαίρου, από βυτιοφόρα σε πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων και σε πλοία υπεράκτιων υπηρεσιών.
- Για ορισμένους τύπους πλοίων, ένα καύσιμο χαμηλής ενεργειακής πυκνότητας θα είχε σημαντική επίδραση στη χωρητικότητα φορτίου, ενώ για άλλους, η επίδραση μπορεί να είναι ελάχιστη.
- Υπάρχουν πιθανές συσκευές εξοικονόμησης ενέργειας (π.χ. αιολική ενέργεια) που μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση σχετικά με την ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ενός φορτίου σε μια ορισμένη απόσταση. Αυτές θα μπορούσαν να εφαρμοστούν σε ορισμένα πλοία αλλά δεν είναι εφαρμόσιμες σε άλλα.
- Η «μονάδα» φορτίου που σχετίζεται με τις παραπάνω εργασίες μεταφοράς διαφέρει ανάλογα με την κατηγορία του πλοίου όπως τη χωρητικότητα του, τα κυβικά, ή τους επιβάτες του.

Αυτοί είναι κάποιοι από τους λόγους για τους οποίους, στα πλαίσια αυτής της εργασίας δεν κρίνεται σκόπιμη η χρησιμοποίηση μιας μεμονωμένης μονάδας λειτουργίας κατά την TtW. Αντίθετα, προτείνεται η εφαρμογή μιας μονάδας λειτουργίας που εξετάζει τη μετατροπή ενέργειας από τη δεξαμενή (είσοδος) σε ενέργεια στον άξονα πρόωης (έξοδος), που θα περιλαμβάνει τις απώλειες μετατροπής, τις εκπομπές καυσαερίων και διάφορες ανεξέλεγκτες εκπομπές – δηλαδή, τις εκπομπές ανά μονάδα έργου εξόδου του συστήματος ηλεκτροκίνησης (CO_2e/MJ). Για τους σκοπούς των περιπτώσεων μελέτης σε αυτή την εργασία, χρησιμοποιούνται τυπικές θερμικές αποδόσεις μεγάλων κινητήρων πλοίων που χρησιμοποιούν τα τρία καύσιμα. Για διαφορετικούς τύπους κινητήρων, όπως μικρότερους κινητήρες, η απόδοση και οι εκπομπές ποικίλλουν. Επίσης, θα πρέπει να εξεταστούν ο τύπος του πλοίου καθώς και συγκεκριμένα στοιχεία σχεδιασμού, πέρα από την προσέγγιση της

«ενέργειας στον άξονα», όπως γίνεται τώρα με το CII και το EEDI, και περιγράφεται στην Ενότητα 1.3.

Τα σχετικά όρια αυτών των μονάδων λειτουργείας απεικονίζονται στην Εικόνα 2-1, δείχνοντας πώς όταν χρησιμοποιείται η ενέργεια στον άξονα εξαιρούνται τα ειδικά χαρακτηριστικά ενός πλοίου, το ωφέλιμο φορτίο ή το φορτίο του και το ταξίδι, αλλά περιλαμβάνονται το σύστημα αποτελεσματικότητας στη μετάδοση κίνησης και οι εκπομπές. Τα βοηθητικά συστήματα που παίρνουν ενέργεια από το κύριο σύστημα μετάδοσης κίνησης περιλαμβάνονται επίσης σε αυτόν τον ορισμό. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ξεχωριστές γεννήτριες, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απόδοσή τους θα διαφέρει, αν και αυτή η περίπτωση δεν εξετάζεται για τους σκοπούς αυτής της εργασίας (δηλαδή, τυχόν χρήσεις του καυσίμου σε βοηθητικά συστήματα θεωρείται ότι έχουν την ίδια απόδοση με την κύρια μηχανή). Επίσης, η παροχή ενέργειας από την ξηρά παραλείπεται καθώς δεν θα επηρεάσει την ενέργεια στον άξονα και δεν αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει τις εκπομπές που προκύποτουν από τη χρήση του καυσίμου. Η απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης ορίζεται ως το έργο που παράγεται διαιρεμένο προς το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου που χρησιμοποιείται και για τις περιπτώσεις μελέτης σε αυτήν την εργασία τα καύσιμα εξετάζονται μεμονωμένα. Για πλοία διπλού καυσίμου, οι δύο διαδρομές καυσίμου θα πρέπει να εξετάζονται παράλληλα με τον υπολογισμό της κατάλληλης απόδοσης του συστήματος μετάδοσης κίνησης για κάθε καύσιμο, αποδίδοντας το έργο που παράχθηκε ως προς τις αναλογίες των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν, τη θερμογόνο αξία τους καθώς και το σύνολο των εκπομπών GHG για το πλοίο.



Εικόνα 2.1: Λειτουργικές μονάδες για τους υπολογισμούς του κύκλου ζωής του καυσίμου στη φάση WtW

2.2.2 Εξέταση Των Περιορισμών

Ο καθορισμός των περιορισμών του συστήματος είναι ένα βασικό προκαταρκτικό βήμα σε κάθε μελέτη κύκλου ζωής/WtW, καθώς ουσιαστικά καθορίζει ποια στάδια και διαδικασίες κύκλου ζωής/εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνονται, και συχνά ακόμη και φαινομενικά μικρές αλλαγές στους περιορισμούς του συστήματος μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές αλλαγές στα αποτελέσματα. Σε μία ιδανική περίπτωση, οι περιορισμοί θα έπρεπε να είναι όσο το δυνατόν ευρύτεροι, περιλαμβάνοντας έτσι όλες τις διαδικασίες που επιδρούν άμεσα και έμμεσα στο σύστημα υπό μελέτη, από την εξόρυξη όλων των ακατέργαστων πόρων, έως το προβλεπόμενο σημείο χρήσης του παραδιδόμενου προϊόντος.

Κατ' αρχήν, αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση θα εξασφάλιζε ότι δυνητικά δεν θα υπάρξει παράβλεψη σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ανεξάρτητα από το αν εμφανίζονται στο «πρώτο πλάνο» του συστήματος (δηλαδή, εκείνα τα μέρη του συστήματος που βρίσκονται υπό τον άμεσο έλεγχο του χειριστή), ή στο «παρασκήνιο» (δηλ. τα υποσυστήματα των οποίων ο ρόλος είναι να παρέχουν τις τεχνικές εισροές υλικών και ενέργειας στις διάφορες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων, π.χ., της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται ως εισροή ενέργειας στο σύστημα, της κατασκευής διαφόρων στοιχείων που απαιτούνται κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού του προϊόντος, όπως οχήματα μεταφοράς, αποθηκευτικά δοχεία, δρόμοι κ.λπ.). Ανάλογα με τον στόχο της μελέτης, οι περιορισμοί του συστήματος μπορεί επίσης να επεκταθούν εγκαίρως για την κάλυψη των μελλοντικών εργασιών που σχετίζονται με τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος και όλων των στοιχείων που εμπλέκονται. Από πρακτικής άποψης, ωστόσο, υπάρχει πάντα μια σειρά ζητημάτων χρόνου και πόρων που περιορίζουν το βαθμό στον οποίο μπορεί να επεκταθεί το όριο του συστήματος. Η επιλογή του τι θα συμπεριληφθεί στην ανάλυση και του τι θα παραληφθεί πρέπει να γίνει βάσει προϋπάρχουσων γνώσεων ή – ελλείψει αυτών – βάσει καλά στοιχειοθετημένων συμπερασμάτων σχετικά με την πιθανή συνάφεια των συνεισφορών των διαφόρων νέων στοιχείων και διαδικασιών στα αποτελέσματα της συνολικής εκτίμησης επιπτώσεων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση της αλυσίδας εφοδιασμού καυσίμων πλοίων που εξετάζονται εδώ, συνιστάται ότι οι περιορισμοί του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνουν:

- Την παραγωγή καυσίμου/ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένης της καλλιέργειας και συγκομιδής της πρώτης ύλης, της εξόρυξης και της εκπομπές φυγής, επιτρέποντας ροές αποβλήτων και υποπροϊόντων)
- Τις διαδικασίες μετατροπής καυσίμου όπως συμπίεση και υγροποίηση (όπου ισχύει)
- Τη μεταφορά και διανομή καυσίμων
- Τη μετατροπή καυσίμου στο σημείο χρήσης (π.χ. για καύσιμα μεταφοράς υδρογόνου)
- Τη φάση λειτουργίας του πλοίου (π.χ. πρόωση)

Οι επιπτώσεις που συνδέονται με την κατασκευή λιμένων και υποδομών καυσίμων/ηλεκτρισμού αναμένεται να είναι ελάχιστες όταν εκφράζονται ανά λειτουργική μονάδα, δεδομένου (i) της μεγάλης διάρκειας ζωής τους και (ii) ότι η χρήση τους είναι κοινή από πολλά άλλα συστήματα. Ως αποτέλεσμα, αποκλείονται από τα όρια αυτής της εργασίας. Από την άλλη πλευρά, εξετάζονται επιπτώσεις που σχετίζονται με τη βιομάζα και την εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κεφάλαιο 3:

Κριτήρια Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας Καυσίμων Πλοίων

Αδαμαντία Ροδάκη

Η αξιολόγηση των τρόπων με τους οποίους ένα προϊόν ή μια υπηρεσία μπορεί να επηρεάσει το περιβάλλον πρέπει να υπερβαίνει τις εκπομπές GHG και την GWP. Σε αυτή την ενότητα λαμβάνεται υπόψη όλο το φάσμα των κριτηρίων βιωσιμότητας που ισχύουν για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων. Αυστηρά μιλώντας, ο όρος κριτήρια βιωσιμότητας αναφέρεται σε συχνά εν μέρει υποκειμενικές αξιολογήσεις και επιλογές, και συνεπάγεται κατώτατα όρια. Αυτά διαμορφώνονται με βάση μία εκτίμηση των κατηγοριών επιπτώσεων έναντι των δεικτών επιπτώσεων. Για παράδειγμα, για να θεωρείται ένα καύσιμο βιώσιμο έναντι μίας συγκεκριμένης κατηγορίας επιπτώσεων, ο δείκτης επιπτώσεων πρέπει να πληροί έναν καθορισμένο στόχο.

Οι κατηγορίες επιπτώσεων χρησιμοποιούνται στην LCA για τη διερεύνηση ενός ποικίλου φάσματος πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούνται από ένα προϊόν ή μια υπηρεσία. Έχουν οριστεί πολλές τέτοιες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων, καθεμία από τις οποίες αφορά ένα διαφορετικό τύπο επιπτώσεων (JRC, 2010) (Althaus et al., 2010). Η LCA μέθοδος μπορεί να υπολογίσει τους αντίστοιχους ποσοτικούς δείκτες επιπτώσεων (που αναφέρονται επίσης ως «μετρήσεις επιπτώσεων») για καθεμία από αυτές τις κατηγορίες, οι οποίοι είναι αριθμητικές τιμές, εκφρασμένες σε μονάδες συγκεκριμένης κατηγορίας (βλ. Πίνακας 3.1). Άλλοι τύποι περιβαλλοντικών επιπτώσεων και επιπτώσεων στο οικοσύστημα μέχρι στιγμής δεν είναι ποσοτικοποιήσιμοι από την LCA και ως εκ τούτου – όσο και αν είναι σημαντικοί – δεν περιλαμβάνονται σε αυτήν την Ενότητα. Επιπλέον, όπως ήδη αναφέρθηκε, δεν εμπίπτουν στο επιδιωκόμενο πεδίο εφαρμογής της παρούσης έργασίας θέματα κοινωνικής και οικονομικής βιωσιμότητας.

Ο Πίνακας 3.1 παραθέτει συγκεκριμένες κατηγορίες επιπτώσεων και τους σχετικούς δείκτες επιπτώσεων. Αυτή η σύντομη λίστα έγινε με βάση την εξέχουσα θέση τους στη LCA βιβλιογραφία, τις συστάσεις που δόθηκαν από την Πρωτοβουλία Κύκλου Ζωής UNEP-SETAC5 και τις κατευθυντήριες γραμμές του JRC της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για Περιβαλλοντικά Αποτυπώματα Προϊόντων.

Δείκτης Επιπτώσεων	Μονάδα Μέτρησης	Κατηγορία Επιπτωσεων
Πιθανότητα Υπερθέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potentia l- GWP)	kg(CO2-eq)	Η ενισχυμένη παγίδευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα (φαινόμενο του θερμοκηπίου) από εκείνες τις αέριες εκπομπές των οποίων τα ηλεκτρομαγνητικά φάσματα παρουσιάζουν ζώνες απορρόφησης σε υπέρυθρη περιοχή.
Πιθανότητα Καταστροφής του Όζοντος (Ozone Depletion Potential – ODP)	kg(CFC11-eq)	Η καταστροφή του προστατευικού στρώματος του όζοντος στις πολικές περιοχές της στρατόσφαιρας της γης που προκαλείται από την αλληλεπίδραση ορισμέων εκπομπών αέριων (π.χ. CFC) με Nox και UV ακτινοβολία.

Πιθανότητα Οξίνισης (Acidification Potential – AP)	kg(SO2-eq)	Οι δυνητικά καταστροφικές επιπτώσεις της όξινης ατμοσφαιρικής εναπόθεσης (δηλαδή βροχή, χιονόνερο, χιόνι) που προκύπτουν από τη φυσική ενυδάτωση όξινων αερίων εκπομπών (π.χ. Sox, Nox) παρουσία ατμοσφαιρικής υγρασίας.
Πιθανότητα Σχηματισμού σωματιδιακής ύλης (Particulate Matter Formation Potential – PMFP)	kg(PM10-eq)	Η απελευθέρωση λεπτών σωματιδίων στην κάτω τροπόσφαιρα, με δυνητικά δυσμενείς επιπτώσεις στο ανθρώπινο αναπνευστικό σύστημα.
Πιθανότητα Σχηματισμού Φωτοχημικού Όζοντος (Photochemical Ozone Formation Potential – POFP)	kg(NMVOC-eq)	Η απελευθέρωση μετασταθερών πτητικών οργανικών ενώσεων που, παρουσία υπεριώδους ακτινοβολίας και Nox, δημιουργούν μια σειρά από φωτοχημικές αντιδράσεις που οδηγούν τελικά στο σχηματισμό όζοντος και άλλων δευτερογενών ρύπων και αναπνευστικών ερεθιστικών στο κάτω μέρος της τροποσφαίρας.
Πιθανότητα Τοξικότητας ως προς τον άνθρωπο (Human Toxicity Potential – HTP)	Σχετική τοξικότητα (για τους ανθρώπους) (Comparative toxic units (for humans) CTUh)	Η αθροιστική πιθανή τοξικότητα ως προς τον άνθρωπο μιας σειράς εκπομπών αερίων, υγρών και στερεών. Οι παράγοντες χαρακτηρισμού εξαρτώνται από εκτιμήσεις της περιβαλλοντικής μοίρας (δηλαδή, πώς κάθε εκπομπή διανέμεται μεταξύ διαφορετικών περιβαλλοντικών διαμερισμάτων) και την ανθρώπινη έκθεση (δηλαδή τον βαθμό στον οποίο κάθε εκπομπή είναι βιοδιαθέσιμη στον άνθρωπο). Το HTP μπορεί να

		χωριστεί περαιτέρω σε καρκινικό και μη καρκινικό HTP.
Πιθανότητα Τοξικότητας ως προς το Οικοσύστημα (Eco-Toxicity Potential – ETP)	Σχετική τοξικότητα (για το οικοσύστημα) (Comparative toxic units (for ecosystems) CTUe)	Η αθροιστική πιθανή οικοσυστημική τοξικότητα μιας σειράς εκπομπών αερίων, υγρών και στερεών. Οι παράγοντες χαρακτηρισμού εξαρτώνται από τις εκτιμήσεις της περιβαλλοντικής μοίρας (δηλαδή, πώς η κάθε εκπομπή διανέμεται μεταξύ διαφορετικών περιβαλλοντικών διαμερισμάτων) και την έκθεση στο οικοσύστημα (δηλαδή ο βαθμός στον οποίο κάθε εκπομπή είναι βιοδιαθέσιμη σε ένα εύρος βασικών οργανισμών του οικοσυστήματος).
Πιθανότητα Ευτροφισμού (Eutrophication Potential – EP)	kg(PO4 3- -eq)	Η σωρευτική επίδραση «γονιμοποίησης» μιας σειράς εκπομπών που μπορούν να δράσουν ως φυτοθρεπτικά συστατικά (δηλαδή, εκπομπές που περιέχουν βιοδιαθέσιμες μορφές N, P και K). Η απελευθέρωση τέτοιων εκπομπών μπορεί τελικά να προκαλέσει υπερβολική άνθηση φυκών και επακόλουθες νεκρώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους οδηγούν σε έλλειψη οξυγόνου και απώλεια υδρόβιας βιομάζας σε όλα τα επίπεδα της τροφικής αλυσίδας.
Πιθανότητα Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (Ionizing Radiation Potential – IRP)	kg(U235 -eq)	Όλες οι εκπομπές ραδιενεργών στοιχείων, που έχουν δυνητικά καρκινογόνες επιδράσεις.
Σωρευτική Ζήτηση Ενέργειας (Cumulative Energy Demand - CED)	MJ(oil-eq)	Αυστηρά μιλώντας, αυτή δεν είναι μια κατηγορία LCA επιπτώσεων, αλλά μια μέτρηση επιπτώσεων που

		αντιπροσωπεύει τη συνολική συγκομιδή των ανανεώσιμων πηγών (δηλαδή ηλιακών, αιολικών, υδάτινων γεωδυναμικών, παλιρροϊκών και ενέργειας από βιομάζα) και μη ανανεώσιμων (δηλαδή, ορυκτών και σχάσιμων καυσίμων) πρωτογενών ενεργειακών πόρων από τη γεω-βιόσφαιρα.
Σωρευτική Ζήτηση μη ανανεώσιμης Ενέργειας (Non-renewable Cumulative Energy Demand – nr-CED)	MJ(oil-eq)	Μία υποκατηγορία της CED, η οποία αντιστοιχεί στο σύνολο της συγκομιδής μόνο των μη ανανεώσιμων (δηλαδή ορυκτών και σχάσιμων καυσίμων) πρωτογενών ενεργειακών πόρων, από τη γεωσφαίρα.
Στοιχεία Πιθανότητας Αβιοτικής Εξάντλησης (Abiotic Depletion Potential – ADP,elements)	kg(Sb-eq)	Η ζήτηση ορυκτών πόρων (εξαιρώντας τις πηγές ενέργειας όπως ορυκτά και σχάσιμα καύσιμα), σε σχέση με την σπανιότητα τους (εκτιμάται με βάση το αντίστοιχο συνολικό περιεχόμενο φλοιού).
Πιθανότητα Αβιοτικής Εξάντλησης Ορυκτών Πόρων ενέργειας Abiotic Depletion Potential – ADP, fossil	MJ(oil-eq)	Η ζήτηση για ενεργειακούς πόρους (δηλαδή, ορυκτά και σχάσιμα καύσιμα). Σε μεγάλο βαθμό (αν και όχι ακριβώς) αντιγράφει την ένδειξη που παρέχεται από το nr-CED
Χρήση νερού (Water use)	m3	Η συνολική αναλογία χρησιμοποίησης νερού προς τη διαθεσιμότητα του, όπου η "χρησιμοποίηση" αναφέρεται σε όλη τη χρήση νερού εκτός ροής (δηλαδή, εξαιρουμένου του νερού που εξάγεται και στη συνέχεια επιστρέφεται στο μη μολυσμένο περιβάλλον, όπως π.χ. νερό ψύξης) και η "διαθεσιμότητα" εκτιμάται χρησιμοποιώντας έναν περιφερειακό

		μοντέλο χαρακτηρισμού που λαμβάνει υπόψη τον ανταγωνισμό με άλλες χρήσεις του γλυκού νερού.
Χρήση γης (Land use)	m2 *a	Αυτό σχετίζεται με όλες τις υποβαθμιστικές χρήσεις γης και επίσης λαμβάνει υπόψη το χρονικό διάστημα κατά το οποίο αυτή η χρήση συνεχίζεται και το βαθμό στον οποίο η γη μπορεί να αποκατασταθεί στην αρχική της κατάσταση μετά τη διακοπή της χρήσης

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες επιπτώσεων και σχετικοί δείκτες επιπτώσεων

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι ένας βαθμός εννοιολογικής απλοποίησης έχει υιοθετηθεί στην LCA, σύμφωνα με τον οποίο όλες οι κατηγορίες επιπτώσεων θεωρείται ότι είναι ανεξάρτητες η μία από την άλλη. δηλ. αύξηση (ή μείωση) του επίπτωσης σε οποιοδήποτε κατηγορία θεωρείται ότι δεν προκαλεί (ούτε άμεσα ούτε έμμεσα) καμία αλλαγή στον επίδραση καμίας άλλης κατηγορίας. Ενώ οι διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων ορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε αυτή η απλουστευτική υπόθεση να ισχύει σε πρώτη προσέγγιση, μπορεί ωστόσο να μην καταγράφει πλήρως πιθανές επιδράσεις μεταξύ ορισμένων από τους διαφορετικούς τύπους επιπτώσεων. Για παράδειγμα, μία αύξηση της οξύτητας των ατμοσφαιρικών εναποθέσεων (π.χ. όξινη βροχή) μπορεί στην πραγματικότητα να οδηγήσει σε αυξημένη βιοδιαθεσιμότητα ορισμένων εκπομπών μετάλλων, η οποία με τη σειρά της θα οδηγήσει σε αύξηση της τοξικότητας τόσο ως προς τον άνθρωπο όσο και ως προς το οικοσύστημα.

Μια δεύτερη σκέψη που σχετίζεται με τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων έχει να κάνει με την ερμηνεία των σχετικών αποτελεσμάτων των επιπτώσεων. Κατά τη σύγκριση εναλλακτικών προϊόντων, οι ενδείξεις που παρέχονται από διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων μπορεί να υποδεικνύουν αντίθετες ταξινομήσεις / τάξεις προτίμησης, όπου για παράδειγμα το προϊόν Α μπορεί να έχει υψηλότερη επίπτωση στην κατηγορία 1 (π.χ. GWP) έναντι του προϊόντος Β, ενώ αντίθετα το προϊόν Β μπορεί να έχει χαμηλότερη επίπτωση από το προϊόν Α στην κατηγορία 2 (π.χ. HTP). Αν και είναι ακριβή, τέτοια αποτελέσματα μπορεί να είναι δύσκολο να μεταφραστούν σε μια σαφή σύσταση πολιτικής. Τα μεμονωμένα αποτελέσματα των επιπτώσεων μπορούν να συνδυαστούν σε έναν ενιαίο δείκτη της "συνολικής" περιβαλλοντικής επίπτωσης μέσω των προαιρετικών σταδίων κανονικοποίησης και στάθμισης LCA, που ωστόσο συνεπάγονται υποκειμενικές εκτιμήσεις, δεδομένου ότι οι συντελεστές στάθμισης για τους επιμέρους δείκτες επιπτώσεων ανά κατηγορία δεν μπορεί να βασίζονται μόνο σε επιστημονικά κριτήρια.. Ως αποτέλεσμα, ενώ είναι δυνητικά χρήσιμο από την άποψη της διευκόλυνσης, της ερμηνείας και της επικοινωνίας των αποτελεσμάτων της LCA, ο ISO 14044 συνιστά να μην χρησιμοποιούνται η κανονικοποίηση και η στάθμιση για όλους τους «συγκριτικούς ισχυρισμούς που προορίζονται για δημόσια γνωστοποίηση».

Ένας πρώτος τρόπος με τον οποίο μπορούν να ομαδοποιηθούν οι διάφορες κατηγορίες LCA επιπτώσεων (και οι σχετικοί δείκτες) είναι να γίνει με το αν η ίδια η επίπτωση προκαλείται από τη ζήτηση πόρων («ανοδική» επίπτωση) ή από την απελευθέρωση εκπομπών («καθοδική»

επίπτωση). Οι κατηγορίες επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εκπομπές μπορούν να ταξινομηθούν περαιτέρω ανάλογα με τη γεωγραφική κλίμακα που επηρεάζεται από την επίπτωση: «παγκόσμιες» επιπτώσεις είναι αυτές που επηρεάζουν ολόκληρο τον πλανήτη, ανεξάρτητα από το πού παράγονται οι εκπομπές, ενώ οι «περιφερειακές» επιπτώσεις είναι αυτές που επηρεάζουν μόνο τη συγκεκριμένες γεωγραφική περιοχή όπου εκλύονται οι εκπομπές.

Οι ακόλουθοι τρεις πίνακες Πίνακας 3.2, Πίνακας 3.3 και Πίνακας 3.4 παρουσιάζουν μια αναγνώριση της συγκριτικής απόδοσης μιας σειράς πιθανών εναλλακτικών θαλάσσιων καυσίμων/μεταφορέων ενέργειας σε σχέση με την καθεμία από τις υπό εξέταση κατηγορίες επιπτώσεων. Για λόγους συντομίας και απλότητας και επειδή οι ενδείξεις που παρέχονται σε αυτούς τους πίνακες δεν προορίζονται ως αυστηρά ποσοτικά αποτελέσματα για οποιαδήποτε συγκεκριμένη διαδρομή καυσίμου, αλλά μάλλον ως υψηλού επιπέδου ημι-ποιοτικές ενδείξεις «πιθανής συνάφειας», τα εναλλακτικά καύσιμα/μεταφορείς ενέργειας πλοίων κατηγοριοποιήθηκαν ευρέως στις ακόλουθες ομάδες:

• «Πράσινα» καύσιμα – συνθετικά καύσιμα που παράγονται από υποστρώματα μη ορυκτών καυσίμων και με χρήση ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. e-H2, e-NH3, e-μεθάνιο, e-μεθανόλη)

• «Μπλε» καύσιμα – συνθετικά καύσιμα που παράγονται από υποστρώματα ορυκτών καυσίμων με δέσμευση άνθρακα και τεχνολογίες απομόνωσης (CCS) (π.χ. H2, NH3)

• Υδρογόνο από πλαστικά απόβλητα

• Βιοκαύσιμα από οργανικά απόβλητα, συμπεριλαμβανομένων των γεωργικών υπολειμμάτων (βιοντίζελ, βιομεθάνιο, βιοαιθανόλη)

• Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα (βιοντίζελ, βιολιπαρά οξέα, μεθύλιο βιολιπαρού οξέος, βιοντίζελ από υδρογονωμένα φυτικά έλαια, βιομεθανόλη και βιοαιθανόλη)

• Ηλεκτρική ενέργεια (παράγεται από μια σειρά πιθανών τεχνολογιών και συνδυασμών τεχνολογίας και προορίζεται να χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά τρένα).

Οι τρεις πίνακες επικεντρώνονται αντίστοιχα σε κατηγορίες επιπτώσεων και δείκτες για:

• παγκόσμιες εκπομπές, συμπεριλαμβανομένης της πιθανότητας υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) (Πίνακας 3.2).

• περιφερειακές επιπτώσεις που σχετίζονται με τις εκπομπές (Πίνακας 3.3).

• χρήση και εξάντληση πόρων (Πίνακας 3.4).

Σε κάθε πίνακα, κάθε ομάδα καυσίμων κατατάσσεται από το "χαμηλό" (X) έως το "υψηλό" (Y) ως προς το σχετικό μέσο του δείκτη επίπτωσης ανά μονάδα παραδοθείσας ενέργειας. Επαναλαμβάνεται, ωστόσο, ότι οι σχετικές «χαμηλές» έως «υψηλές» τιμές που παρέχονται για τις διάφορες ομάδες καυσίμων σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων πρέπει να ερμηνεύονται ως ενδεικτικές, καθώς μόνο ένα σύνολο πλήρως ανεπτυγμένων LCA θα επέτρεπε την αυστηρή τελική κατάταξή τους.

Στη συνέχεια, μπορεί να τεθεί μια σειρά κριτηρίων περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Κάθε κριτήριο συνήθως συνεπάγεται ένα ποσοτικό όριο για έναν συγκεκριμένο δείκτη επιπτώσεων LCA (ο οποίος με τη σειρά του μετρά την επίπτωση στην αντίστοιχη κατηγορία). Ένα δεδομένο καύσιμο μπορεί επομένως να θεωρηθεί «επαρκώς βιώσιμο» εάν ο δείκτης επιπτώσεώς του είναι χαμηλότερος από αυτό το προκαθορισμένο όριο.

	Δείκτης Επίπτωσης		Καύσιμα/ μεταφορείς ενέργειας και σχετική αλυσίδα			
	"Πράσινα" καύσιμα	"Μπλε" καύσιμα	Υδρογόνο απο πλαστικά απόβλητα	Βιοκάυσιμα απο οργανικά απόβλητα	Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα	Ηλεκτρική ενέργεια
Πιθανότητα Υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP)	X / M	M	X/M	X	Y	X
Πιθανότητα Καταστροφής του Όζοντος (ODP)	X	X	X	X	X	X

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες και δείκτες επιπτώσεων που σχετίζονται με τις παγκόσμιες εκπομπές, με ένδειξη πιθανής συνάφειας

	Δείκτης Επίπτωσης μεταφοράς		Καύσιμα/ μεταφορείς ενέργειας και σχετική αλυσίδα			
	"Πράσινα" καύσιμα	"Μπλε" καύσιμα	Υδρογόνο απο πλαστικά απόβλητα	Βιοκάυσιμα απο οργανικά απόβλητα	Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα	Ηλεκτρική ενέργεια
Πιθανότητα Οξίνισης (AP)	X / M	X / M	X	M	M	X
Πιθανότητα Σχηματισμού σωματιδιακής ύλης (PMFP)	X	X	X	Y	Y	X
Πιθανότητα Σχηματισμού Φωτοχημικού Όζοντος (POFP)	X	X	X	M	M	X
Πιθανότητα Τοξικότητας ως προς τον άνθρωπο (HTP)	Y	X	X	M	M	Y
Πιθανότητα Τοξικότητας ως προς το Οικοσύστημα (ETP)	Y	X	X	M	M	Y
Πιθανότητα Ευτροφισμού (EP)	X	X	X	M	Y	X
Πιθανότητα Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (IRP)	X / M	X	X	X	X	X / M

Πίνακας 3.3: Κατηγορίες επιπτώσεων και δείκτες που σχετίζονται με τις περιφερειακές εκπομπές, με ένδειξη πιθανής συνάφειας

	Δείκτης Επίπτωσης μεταφοράς		Καύσιμα/ μεταφορείς ενέργειας και σχετική αλυσίδα			
	"Πράσινα" καύσιμα	"Μπλε" καύσιμα	Υδρογόνο απο πλαστικά απόβλητα	Βιοκάυσιμα απο οργανικά απόβλητα	Βιοκαύσιμα πρώτης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα	Ηλεκτρική ενέργεια
Σωρευτική Ζήτηση Ενέργειας (CED)	M / Y	M	X	X	Y	X
Σωρευτική Ζήτηση μη ανανεώσιμης Ενέργειας (nr-CED)	M	M	X	X	M	X
Στοιχεία Πιθανότητας Αβιοτικής Εξάντλησης (ADP)	Y	X / Y	X / Y	X	X	Y
Πιθανότητα Αβιοτικής Εξάντλησης Ορυκτών Πόρων ενέργειας (ADP)	X	Y	X	X	M	X
Χρήση νερού	X	X	X	M	Y	X
Χρήση γης	X	X	X	X	Y	X

Πίνακας 3.4: Κατηγορίες και δείκτες επιπτώσεων που σχετίζονται με τους παγκόσμιους πόρους, με ένδειξη πιθανής συνάφειας

Με βάση την ανάλυση των πληροφοριών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-2, στον Πίνακα 3.3 και στον Πίνακα 3.4, οι ακόλουθες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων προσδιορίστηκαν ως υψηλής συνάφειας και επομένως σημαντικές όταν εξετάζονται κριτήρια βιωσιμότητας για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων:

• Υπάρχει υψηλή πιθανότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) και σωρευτική ζήτηση ενέργειας (CED) για τα βιοκάυσιμα 1ης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα. Η πιθανότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη μπορεί επίσης να είναι υψηλή για το υδρογόνο, την αμμωνία και άλλα «μπλε» και «πράσινα» καύσιμα και εξαρτάται από με μια σειρά παραγόντων, όπως: την πηγή της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, τυχόν ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου από την καύση, τυχόν εκπομπές N_2O από την καύση αμμωνίας και την αποτελεσματικότητα δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (Carbon Capture and Storage - CCS).

• Μεγάλη Πιθανότητα Ευτροφισμού (EP), επίσης από τη χρήση γης καθώς και από επιπτώσεις στη χρήση νερού για τα βιοκαύσιμα 1ης γενιά από μη οργανικά απόβλητα.

• Μεγάλη Πιθανότητα Σχηματισμού σωματιδιακής ύλης (PMFP) για βιοντίζελ (τόσο από οργανικά όσο και από μη οργανικά απόβλητα), από τη φάση χρήσης.

• Δυνητικά μεγάλη οικολογική και ανθρώπινη τοξικότητα (ETP και HTP) και Αβιοτική Εξάντληση (ADP) που σχετίζονται με (i) την ηλεκτρική ενέργεια ως φορέα ενέργειας και (ii) τα «πράσινα» καύσιμα υδρογόνου. Αυτά οφείλονται στην αυξημένη ζήτηση για μέταλλα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Επίσης, όταν αξιολογούνται συμπεριλαμβανομένης της φάσης χρήσης, το ETP και το HTP αυξάνεται περαιτέρω λόγω της

ζήτησης μετάλλων για ηλεκτρικούς κινητήρες, μπαταρίες και κυψέλες καυσίμου (εάν χρησιμοποιούνται).

• Μεγάλη χρήση γης και νερού για τα βιοκαύσιμα 1ης γενιάς από μη οργανικά απόβλητα.

Κεφάλαιο 4:

Μέθοδοι Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής Εκμπομπών Αερίων Του Θερμοκηπίου (GHG) Και Πρότυπα Για Εναλλακτικά Κάυσιμα Πλοίων

Αδαμαντία Ροδάκη

4.1 Σχετικά Υπάρχοντα Πρότυπα Και Κανονισμοί

Για την καταγραφή των πιθανών μεθόδων υπολογισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τον ναυτιλιακό τομέα, εξετάστηκαν υφιστάμενα και επερχόμενα πρότυπα και οι κανονισμοί που καλύπτουν μια σειρά τομέων μεταφορών και ρύπων, ώστε να οδηγήσουν στην ευρύτερη δυνατή κατανόηση των προσεγγίσεων για τον έλεγχο των εκπομπών και την αξιολόγηση της δυνατότητας εφαρμογής τους στον ναυτιλιακό τομέα.

4.1.1 Αξιολόγηση και περιεχόμενο προτύπων, κανονισμών και οδηγιών

Οι κανονισμοί, τα πρότυπα και οι οδηγίες που χαρτογραφήθηκαν και αξιολογήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα 4-1, ο οποίος παραθέτει το πλήρες φάσμα των κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση και παρέχει την περίληψη για κάθε καταχώριση, συμπεριλαμβανομένων των βασικών χαρακτηριστικών, μιας σύντομης περίληψης της κάλυψης και σχολίων πάνω σε παρατηρήσεις για τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται, για καθεμία από τις καταχωρίσεις που παρατίθενται.

Η χαρτογράφηση του ρυθμιστικού τοπίου και των προτύπων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα τομέων και περιοχών μεταφορών για να γίνει κατανοητό το πώς ελέγχονται οι επιπτώσεις στη βιωσιμότητα, ιδίως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ρύπων. Εξετάζεται αν οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται σε άλλους τομείς είναι διαφορετικές από τον ναυτιλιακό τομέα, αν καλύποτυν πεδία τα οποία δεν καλύπτει ο ναυτιλιακός τομέας και εάν μπορούν να αντληθούν διδάγματα ή να μεταφερθούν αρχές. Αξιολογείται επίσης, η δυνατότητα εφαρμογής κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του καυσίμου. Οι μέθοδοι και οι κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό των επιπτώσεων των εκπομπών GHG από εναλλακτικά καύσιμα προσδιορίζονται, είτε από κανονισμούς είτε από άλλες πηγές, που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην Ενότητα 4.2 για την αξιολόγηση κατά τις περιπτώσεις μελέτης.

Οδηγία/ Πρότυπο	Τύπος	Τομέας	Πεδίο	Διαδικασία	Περιγραφή	Παρατηρήσεις
IMO NOx Technical Code	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	Μόλυνση	TtW	Απαίτηση για τους ντίζελ κινητήρες πλοίων. Διασφαλίζει τη συμμόρφωση με τα όρια εκπομπών οξειδίου του αζώτου που ορίζονται από τον IMO μέσω δοκιμών και πιστοποίησης.	Πιστοποιείται για το δυναμό του κινητήρα. Αφορά μόνο τις εκπομπές NOx. Κόστος και πιθανές επιπτώσεις στο χώρο φορτίου

IMO Energy Efficiency Design Index (EEDI)	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	GHG, Βιωσιμό-τητα	TtW	Η οδηγία EEDI προωθεί τη χρήση εξοπλισμού και κινητήρων μεγαλύτερης ενεργειακής αποδοτικότητας (λιγότερο ρυπογόνα). Η EEDI απαιτεί ένα ελάχιστο επίπεδο ενεργειακής απόδοσης ανά τόνο ναυτικού μιλίου για διαφορετικούς τύπους και μεγέθη πλοίων, γίνεται αυστηρότερη σταδιακά κάθε πέντε χρόνια, οδηγώντας σε βελτιωμένη απόδοση των καυσίμων ενός πλοίου σε σχέση με τη φάση σχεδιασμού του.	
IMO Ship Energy Efficiency Manageme nt Plan (SEEMP)	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	GHG, Βιωσιμό-τητα	TtW	Ο κανονισμός απαιτεί ένα λειτουργικό Σχέδιο Διαχείρισης Ενεργειακής Απόδοσης Πλοίου (SEEMP), το οποίο μέτρα την ενεργειακή απόδοση των πλοίων. Εγκρίθηκε το 2011 και ισχύει από το 2013. Ο Λειτουργικός Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης (Energy Efficiency Operational Indicator - EEOI) είναι ένα εργαλείο παρακολούθησης για να οδηγήσει σε αυξημένη αποδοτικότητα λειτουργίας.	
IMO Data collection system (DCS) for fuel oil consumptio n of ships	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	GHG	TtW	Σύστημα συλλογής δεδομένων για την κατανάλωση καυσίμων στα πλοία. Τα πλοία υποχρεούνται να συλλέγουν δεδομένα κατανάλωσης για κάθε τύπο καυσίμου που χρησιμοποιούν, καθώς και άλλα καθορισμένα δεδομένα συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για το «έργο μεταφοράς». Η υποβολή εκθέσεων	Περιορίζεται στα συμβατικά καύσιμα πρόωσης προς το παρόν.

					DCS είναι υποχρεωτική από το 2019, με τα πρώτα αποτελέσματα να δημοσιεύονται για το MPEC 76 το Μάρτιο του 2021.	
IMO Energy Efficiency Existing Ship Index (EEXI)	Προτεινό-μενη Οδηγία/ Πρότυπο	Ναυτιλιακός	Βιωσιμό-τητα	TtW	Απαίτηση από όλα τα πλοία για τον υπολογισμό του Δείκτη ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων πλοίων (EEXI). Υποδεικνύει την ενεργειακή απόδοση του πλοίου σε σύγκριση με μια γραμμή βάσης.Στοχεύει στο να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση και να καθιερωθεί ο ετήσιος επιχειρησιακός δείκτης έντασης άνθρακα (CII) και η βαθμολόγηση CII (A-E). Η ένταση άνθρακα συνδέει τις εκπομπές GHG με την ποσότητα φορτίου που μεταφέρθηκε στην απόσταση που διανύθηκε και απαιτείται διορθωτική δράση για πλοία με βαθμολογία E. Διοικήσεις, λιμενικές αρχές και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη, ενθαρρύνονται να παρέχουν κίνητρα σε πλοία με βαθμολογία A ή B στέλνοντας ένα ισχυρό μήνυμα στην αγορά και το χρηματοοικονομικό τομέα. Οι κατευθυντήριες γραμμές του 2021 ορίζουν ένα ποσοστό μείωσης GHG της τάξης του 11% έως το 2026 σχετικά με το 2019. Το μέτρο εγκρίθηκε το 2021 με τις απαιτήσεις EEXI να ισχύουν από το Νοέμβριο του 2022 και	Πιθανές μικρότερες ταχύτητες και μειωμένη ισχύς κινητήρα. Ορισμένες τεχνολογίες ενεργειακής απόδοσης π.χ. αιολική ενέργεια δεν περιγράφονται πλήρως.

					τη συλλογή δεδομένων CII να ξεκινάει από το 2023.	
European Union Monitoring, Reporting and Verification (MRV) of carbon dioxide emissions from maritime transport	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	GHG	TtW	Απαιτεί τα πλοία/εταιρείες να παρακολουθούν τις εκπομπές CO_2 μέσω της μέτρησης των καυσίμων που καταναλώνονται, μαζί με δεδομένα σχετικά με το ταξίδι, το φορτίο, τις αποστάσεις, έτσι ώστε να συλλέγονται ετήσια στοιχεία σε μια έκθεση εκπομπών που υποβάλλεται σε διαπιστευμένους επαληθευτές MRV. Στη συνέχεια εκδίδεται ένα έγγραφο συμμόρφωσης το οποίο πρέπει να έχουν όλα τα πλοία.	Παρόμοια αρχή με το σύστημα IMO DCS, αλλά αρκετά διαφορετικό ώστε να απαιτείται χωριστή παρακολούθηση και υποβολή εκθέσεων από πλοία/εταιρείες. Εγκρίθηκε το 2016 και θα εφαρμόζεται από το 2018.
US EPA Emissions standards for marine engines	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	Μόλυνση	TtW	Πρότυπα εκπομπών και απαιτήσεις πιστοποίησης για ντίζελ κινητήρες πλοίων. Ξεχωριστά πρότυπα για κινητήρες εμπορικών και ψυχαγωγικών δραστηριοτήτων, εξωλέμβιες κ.λπ.	Πιστοποιείται για το δυναμό του κινητήρα. Καλύπτει PM, NOx, HC, CO.
European Union EU Stage V Emissions from non road mobile machinery (NRMM)	Κανονισμός	Κινητήρες εκτός από οχήματα δρόμου	Μόλυνση	TtW	Όρια ρύπων καυσαερίων και διαδικασίες μέτρησης που εφαρμόζονται σε κινητήρες που δεν χρησιμοποιούνται σε οχήματα δρόμων στην ΕΕ και πολλές άλλες χώρες. Παρόμοια με αυτά για τουσ κινητήρες βαρέων οχημάτων. Διάφορες κατηγορίες κινητήρων και ισχύος.	Πιστοποιείται για το δυναμό κινητήρα. Καλύπτει HC, CO, Nox, PM, PN. Αφορά πλοία εσωτερικής ναυσιπλοΐας.
California Air Resources Board (CARB) 13 CCR, section 2299.2	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	Μόλυνση, καύσιμα	TtW	Πρότυπο καυσίμων και ρύπανσης για τον έλεγχο των PM, NOx, SOx σε ωκεανόπλοια εντός των «Οριζόμενων υδάτων Καλιφόρνιας».	Πιστοποιείται για το δυναμό κινητήρα, καλύπτει PM, NOx και SOx. Μέτρια επιβάρυνση για τους διαχειριστές πλοίων.

International Shipping Commission Lake Constance Shipping Regulation	Κανονισμός	Ναυτιλιακός	Μόλυνση	TtW	Περιορίζει τις εκπομπές ρύπων για πλοία που πλέουν στη Λίμνη Κωνσταντίας.	Πιστοποιείται για το δυναμό κινητήρα, καλύπτει CO, HC, NOx. Περιορισμένη γεωγραφία.
European Union FuelEU Marine	Προτεινό-μενη Οδηγία / Πρότυπο	Ναυτιλιακός	GHG, Βιωσιμό-τητα, Μόλυνση	WtW	Προτεινόμενος κανονισμός ως μέρος του "Fit for 55" πακέτου, για τη χρήσης ανανεώσιμων πηγών καυσίμων και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα στις θαλάσσιες μεταφορές, συμπεριλαμβανομένων πλοών προς ή από λιμένες της ΕΕ. Χρήση ισχύος από την ξηρά. Συνδέεται με το REDII και περιορίζει τη χρήση βιοκαυσίμων που προέρχονται από την καλλιέργεια.	Εφαρμόζει το REDII για τις επιπτώσεις στη WtT.
European Union Fuel Quality Directive (FQD)	Κανονισμός	Μεταφορές	GHG, Βιωσιμό-τητα, Καύσιμα	WtW	Ισχύει για βενζίνη, ντίζελ και βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται σε οδικές μεταφορές και βενζίνη που χρησιμοποιείται σε μηχανήματα εκτός δρόμου. Απαιτεί την μείωση της έντασης GHG των καυσίμων μεταφορών κατά 6% το ελάχιστον έως το 2020. Μαζί με την Οδηγία RED ρυθμίζει επίσης βιωσιμότητα των βιοκαυσίμων.	Θα πρέπει να εξεταστεί παράλληλα με τη REDII.
European Union EU Renewable Energy Directive (REDII)	Κανονισμός	Μεταφορές, θα επεκταθεί ώστε να καλύπτει το ναυτιλιακό τομέα	GHG, Βιωσιμό-τητα, Μόλυνση	WtT	Το RED II θέτει τον στόχο της ΕΕ για την κατανάλωση από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο 32%, με έναν επιμέρους στόχο για τις μεταφορές στο 14%. Το RED II ορίζει μία σειρά κριτηρίων βιωσιμότητας και εκπομπών GHG τα οποία πρέπει να	Υψηλό αντίκτυπο στην αγορά. Περιορίζει τη χρήση βιοκαυσίμων με βάση τις καλλιέργειες ή Επιπτώσεις LUC.

					πληρούν τα βιορευστά. Επιπλέον, θέτει όρια στα βιοκαύσιμα υψηλού κινδύνου και έναν ειδικό στόχο για προηγμένα βιοκαύσιμα.	
US EPA Renewable Fuel Standard Programme (RFS)	Πρότυπο	Βιοκαύσιμα	GHG, Βιωσιμό-τητα, Καύσιμα	WtT	Το πρόγραμμα RFS απαιτεί ορισμένους όγκους ανανεώσιμων καυσίμων για να αντικατασταθούν ή να μειωθούν οι ποσότητες πετρελαιοειδών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές, στη θέρμανση και στα αεροσκάφη. Ο Νόμος Ενεργειακής Ανεξαρτησίας και Ασφάλειας του 2007 (Energy Independence and Security Act - EISA) επέκτεινε το πρόγραμμα RFS.	Καλύπτει το ναυτιλιακό τομέα. Επιπτώσεις των βιοκαυσίμων σχετικά με: βιοποικιλότητα και περιβάλλον, οικονομικά και κοινωνικά θέματα. Οι στόχοι δεν έχουν επιτευχθεί.
UK Government Renewable transport fuel obligations (RTFO)	Κανονισμός	Μεταφορές, NRMM, ποτάμια. Μπορεί να επεκταθεί στο ναυτιλιακό τομέα.	GHG, Βιωσιμό-τητα	WtT	Εφαρμογή στο Ηνωμένο Βαίλειο / ισοδύναμο με το πρόγραμμα EU RED. Το RTFO ενθαρρύνει τη χρήση βιοκαυσίμων που δεν βλάπτουν το περιβάλλον, α το ποσοστό των καυσίμων πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ΚΑΙ βιώσιμες πηγές. Διαβούλευση σε 2021 για την αύξηση των υποχρεώσεων RTFO, κάλυψη μη βιολογικών ανανεώσιμων καυσίμων ("καύσιμα") και αλλαγές για τη ναυτιλία, και επικαιροποίηση των κριτηρίων βιωσιμότητας.	Περιλαμβάνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε WtT, ελέγχους για διπλή καταμέτρηση και προσθετικότητα.

UK Government Transport Decarbonisation Plan	Πολιτική	Όλοι οι τομείς μεταφορών- Οδικός, σιδηροδρο-μικός, θαλάσσιος, αεροπορικός	GHG , Βιωσιμό-τητα	WtW	Πολιτική του Ηνωμένου Βασιλείου ενόψει της COP26 και ακολουθώντας το σχέδιο 10 σημείων του Πρωθυπουργού και Συμβουλές της CCC για προϋπολογισμούς άνθρακα, καλύπτοντας στρατηγικές για την απαλλαγή των μεταφορών έως το 2050.	Πολιτικές, πολλές από τις οποίες είναι χαμηλής ωριμότητας και θα υπόκεινται σε διαβούλευση.
European Union International Sustainability Carbon Certification (ISCC)	Πρότυπο	Βιομάζα και βιο-ενέργεια	GHG	WtT	Το ISCC προωθεί τη βιομάζα, τη βιοενέργεια και την κοινωνική βιωσιμότητα μεταξύ των αγροτών και μεταποιητών με στόχο τον σεβασμό στο κλίμα και το περιβάλλον. Πρότυπα ISCC καλύπτουν ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού βιομάζας από το αγρόκτημα και τη φυτεία μέχρι τις αποθήκες ή σημεία εφοδιασμού σε οργανισμούς μετατροπής και στους τελικούς χρήστες.	Εθελοντικές πρωτοβουλίες πιστοποίησης έχουν δεχτεί κριτική για περιορισμένη αποτελεσματικότη-τα. Εμπορικά οφέλη - περιβαλλοντική αξιοπιστία.
European Union EU Emissions Trading System (EU ETS)	Κανονισμός	Ισχύς, βιομηχανίες, πολιτική αεροπορία. Επέκταση για ναυτιλιακό τομέα, κτίρια και μεταφορές.	GHG	TtW	Στόχος η μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας και άλλες ενεργοβόρες βιομηχανίες (σίδηρος, αλουμίνιο, τσιμέντο, γυαλί, χαρτί, κ.λπ.) με βάση ένα στοχευμένο χρονοδιάγραμμα. Οι εταιρείες κρατούν δικαιώματα για τις εκπομπές, με ανώτατο όριο από την ΕΕ, αλλά μπορεί να τα ανταλλάξει για να είναι πιο αποτελεσματικά. Κατάλληλο για την ΕΕ.	Βρισκόμαστε στην 4η αναθεώρηση για την αύξηση του στόχου μειώσεων. Παρόμοια συστήματα ισχύουν σε Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ. Εμπορικές ευκαιρίες για συναλλαγές πιστώσεων.

US EPA REGULATION OF FUELS AND FUEL ADDITIVES - Subpart l of 40 CFR Part 80	Πρότυπο	Ενέργεια, σιδηρόδρο-μοι, ναυτιλιακός τομέας.	Μόλυνση, καύσιμα	TtW	Καθορίζει τα πρότυπα καυσίμου ντίζελ για τα διυλιστήρια που παράγουν καύσιμο ντίζελ μηχανοκίνητων οχημάτων.	
United Nations ICAO CORSIA	Προτεινό-μενη Οδηγία / Πρότυπο	Καύσιμα Αεροπορίας	GHG	TtW	Η προτεινόμενη οδηγία CORSIA είναι μια αντιστάθμιση άνθρακα και ένα σύστημα μείωσης άνθρακα που στοχεύει σε χαμηλότερες εκπομπές CO2 για διεθνείς πτήσεις, για τον περιορισμό των επιπτώσεων της αεροπορίας στην κλιματική αλλαγή. Στόχοείναι να επιτευχθεί ανάπτυξη ουδέτερη ως προς τον άνθρακα μετά το 2020.	Περιορισμένη φιλοδοξία (ανάπτυξη ουδέτερου άνθρακα). Οι πτήσεις εσωτερικού δεν περιλαμβάνονται, ούτε επίσης τα μικρά αεροσκάφη. Απαιτεί δυνητικά εμπορικά ευαίσθητες πληροφορίες και δεδομένα είναι ανώνυμα. Καθυστερήσεις λόγω COVID.
European Union Euro 6 Emissions from light duty road vehicles	Κανονισμός	Ελαφρά Οχήματα (έως 3,5t GVW)	Μόλυνση	TtW	Όρια των καυσαερίων ρύπων και διαδικασίες μέτρησης που εφαρμόζονται στα ελαφρά οδικά οχήματα στην ΕΕ και πολλές άλλες χώρες. Καλύπτει τις εκπομπές HC, CO, Nox, PM, PN. Εκπομπές εξάτμισης (HC) από βενζινοκίνητα οχήματα. Απευθείας μέτρηση στο σωλήνα εξάτμισης σύμφωνα με προδιαγεγραμμένη (WLTP) δοκιμή.	Ο προηγούμενος κύκλος NEDC επικρίθηκε επειδή δεν ήταν αρκετά ρεαλιστικός. Υψηλό κόστος για τη συμμόρφωση (τεχνική, υλικό και διαχειριστής). Τα όρια στην EU7 αναμένεται να είναι πιο σοβαρά, περιλαμβάνονταασ επιπλέον ρύπους.

European Union Euro VI Emissions from heavy duty vehicles and non-road sources	Κανονισμός	Βαρέα οχήματα (>3,5t GVW)	Μόλυνση	TtW	Όρια ρύπων καυσαερίων και διαδικασίες μέτρησης που εφαρμόζονται σε βαρέα οδικά οχήματα στην ΕΕ και πολλές άλλες χώρες. Εκπομπές καυσαερίων HC, CO, NOx, PM, PN. Βασικό όριο για NH3.	Ο κινητήρας έχει δοκιμαστεί ανεξάρτητα από το όχημα. Κάποιες εφαρμογές π.χ. ψυχρές εκκινήσεις, stop-start κύκλοι μπορεί να μην καλύπτονται καλά. Υψηλός κόστος συμμόρφωσης (τεχνικό, υλικό και διαχειριστής). Τα όρια EU7 αναμένονται πιο αυστηρά περιλαμβάνοντας πρόσθετους ρύπους.
European Union Fuel Economy & CO2 emissions for light duty road vehicles	Κανονισμός	Ελαφρά οχήματα (έως 3,5t GVW)	GHG	TtW	Υποχρεωτικά όρια εκπομπών CO2 για οχήματα, που εφαρμόζεται από τον κατασκευαστή και περιλαμβάνει πρόστιμα.Πιστώσεις και υπερ-πιστώσεις για οχήματα χαμηλών εκπομπών ρύπων.	Η δοκιμή NEDC θεωρείται μη αντιπροσωπευτική. Δυνατότητα βελτιστοποίησης της τεχνολογίας. Για τα premium/sport αυτοκίνητα τα πρόστιμα μπορεί να μην είναι ένας αποτρεπτικός παράγοντας.
European Union Heavy Duty Vehicles - CO2 emissions standards	Κανονισμός	Βαρέα οχήματα (>3,5t GVW)	GHG	TtW	Υποχρεωτικά όρια εκπομπών CO2 για οχήματα που εφαρμόζεται από τον κατασκευαστή. Οι στόχοι εκπομπών είναι ειδικοί για κάθε κατασκευαστή ως γραμμική μείωση έως τον στόχο του 2025 (μείωση 15%) και του στόχου για το 2030 (30% μείωση). Πιστώσεις και υπερ-πιστώσεις για οχήματα χαμηλών εκπομπών ρύπων.	

European Union On board fuel consumption monitoring	Κανονισμός	Όλα τα οχήματα	GHG	TtW	Απαιτεί τα οχήματα να παρακολουθούν τη χρήση καυσίμου μαζί με τα χιλιόμετρα, τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, κ.λπ. Προορίζεται για την επαλήθευση της επίδρασης του CO2 κατά τη χρήση. Η συλλογή δεδομένων καιοι πτυχές αναφοράς είναι ατελείς.	Δεν υπάρχει ακόμη νομοθεσία για τη συλλογή ή χρήση δεδομένων και υπάρχουν σημαντικά εμπόδια π.χ. παρακολούθηση ωφέλιμου φορτίου, δεδομένων μετάδοσης, ασφάλεια και εγκυρότητα δεδομένων.
US EPA Emissions standards for heavy duty vehicles	Κανονισμός	Βαρέα οχήματα (>3,5t GVW)	Μόλυνση	TtW	Όρια καυσαερίων ρύπων και διαδικασίες μέτρησης που εφαρμόζονται σε βαρέα οδικά οχήματα στις ΗΠΑ και πολλές άλλες χώρες. Εκπομπές καυσαερίων HC, NMHC, CO, Nox, PM. Απευθείας μέτρηση στο σωλήνα εξάτμισης σύμφωνα με προδιαγεγραμμένη δοκιμή.	
US EPA Emissions standards for nonroad engines	Κανονισμός	Κινητήρες (κατασκευή, γεωργικός τομέας, βιομηχανι-κός τομέας)	Μόλυνση	TtW	Όρια καυσαερίων ρύπων και διαδικασίες μέτρησης που εφαρμόζονται σε μη οδικούς κινητήρες στις ΗΠΑ και σε πολλές άλλες χώρες. Διάφορες κατηγορίες εφαρμογών κινητήρων και ισχύος κινητήρων.	Δεν καλύπτει άμεσα το ναυτιλιακό τομέα.
US EPA CAFE & SAFE	Κανονισμός	Όλα τα οχήματα	GHG	TtW	Η Εταιρική Μέση Οικονομία Καυσίμου (Corporate Average Fuel Economy - CAFE) και τα οχήματα Ασφαλέστερου Οικονομικού Καυσίμυου (Safer Affordable Fuel Efficient - SAFE) ορίζουν το μέσο καύσιμο του στόλου για τους κατασκευαστές. Ισχύουν όρια για N2O και CH4. Οι στόχοι μειώνονται	

					με την πάροδο του χρόνου και εξαρτόνται από το μέγεθος του οχήματος.	
European Union Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH)	Κανονισμός	Όλοι οι τομείς	Μόλυνση, Βιωσιμό-τητα	N/A	Το REACH εγκρίθηκε για τη βελτίωση της προστασίας της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος από τους κινδύνους που μπορεί να ενέχουν τα χημικά. Το REACH θεσπίζει διαδικασίες συλλογής και αξιολόγησης πληροφοριών για τους κινδύνους διάφορων ουσιών. Κατ 'αρχήν, ισχύει για όλες τις χημικές ουσίες.	Δεν αφορά συγκεκριμένα καύσιμα, δεν εξετάζει τις εκπομπές κατά τη χρήση. Σχετικό για εξέταση νέου εναλλακτικού καυσίμου - για επιπτώσεις στον άνθρωπο και το περιβάλλον.
US EPA (NAAQS) National Ambient Air Quality Standards	Πρότυπο	Ποιότητα αέρα	Μόλυνση	N/A	Πρότυπο ποιότητας για έξι κύριους ρύπους που θεωρούνται επιβλαβείς για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον. Τα πρότυπα αναθεωρούνται τακτικά, με βάση πρότυπα που στοχεύουν στην προστασία της δημόσιας υγείας. Καλύπτει CO, Μόλυβδο, NO2, O3, PM, SO2, με δευτερεύοντα πρότυπα που στοχεύουν στον περιορισμό των επιπτωσεων σε ζώα, καλλιέργειες, βλάστηση και κτίρια.	Οι επιπτώσεις των πλοίων μπορεί να είναι σημαντικές σε λιμενικές περιοχές
ISO 14040/14044 Life cycle assessment	Πρότυπο	Όλοι οι τομείς	GHG, Βιωσιμό-τητα	WtW	Πρότυπα για την εφαρμογή της αξιολόγησης του κύκλου ζωής "από την κούνια μέχρι τον τάφο", χρησιμοποιούνται ευρέως για σύγκριση των επιπτώσεων των διαφορετικών προϊόντων και διεργασιών και χρησιμοποιούνται ως βάση για τις μεθόδους αξιολόγησης των	Τα αποτελέσματα δεν είναι απόλυτα, αλλά σχετικά. Τα κριτήρια μπορεί να είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν σε πολύπλοκα συστήματα.

					επιπτώσεων. Δυνητικά εφαρμόσιμο σε οποιοδήποτε προϊόν ή διαδικασία.	
European Union EN 14214	Πρότυπο	Βιοκαύσιμα, Ορυκτά καύσιμα	Μόλυνση, Καύσιμα, Βιωσιμό-τητα	TtW	Τρέχον πρότυπο της ΕΕ για τους μεθυλεστέρες Λιπαρών οξέων (FAME) του βιοντίζελ, που περιγράφει απαιτήσεις και μεθόδους δοκιμής.	Καλύπτει το θείο, μέταλλα, στάχτη.
European Union EN 228	Πρότυπο	Οχήματα Βενζινοκινη -τήρων	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για αμόλυβδη βενζίνη.	Καλύπτει την περιεκτικότητα της βενζίνης σε μόλυβδο και θείο, βενζόλιο και Οξυγονικά.
European Union EN 590	Πρότυπο	Οχήματα ντιζελοκινη-τήρων	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για ντίζελ.	Καλύπτει θείο, υπολείμματα άνθρακα, στάχτη, νερό.
European Union EN 589	Πρότυπο	Οχήματα κινητήρων LPG	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για υγραέριο (LPG). Ως LPG ορίζεται το υγροποιημένο χαμηλής πίεσης αέριο που αποτελείται κυρίως από προπάνιο, βουτάνιο, ισομερή βουτανίου, βουτένια με ίχνη άλλων αερίων υδρογονανθράκων.	Καλύπτει το θείο.
European Union EN 14214	Πρότυπο	FAME για χρήση σε μηχανές ανάφλεξης (ντίζελ)	GHG, Μόλυνση, Καύσιμα, Βιωσιμό-τητα	TtW	Απαιτήσεις και μέθοδοι δοκιμής για διαθέσιμα στην αγορά FAME, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων επαλήθευσης και ελέγχου τους για τη βιομάζα σε ενεργειακές εφαρμογές.	Καλύπτει το θείο και όλες τις εξαρτώμενες από το καύσιμο εκπομπές που σχετίζονται με βιοκαύσιμα: στάχτη, νερό. Επιπτώσεις των βιοκαυσίμων στη βιοποικιλότητα και το περιβάλλον, τον οικονομικό και κοινωνικό τομέα, έμμεσες επιπτώσεις.

ISO 8217	Πρότυπο	Σταθερές μηχανές και μηχανές ναυτιλιακού τομέα	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Προϊόντα πετρελαίου — Καύσιμα (κατηγορία F) — Προδιαγραφές καυσίμων πλοίων. Καθορίζει τις απαιτήσεις για καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε πετρελαιοκινητήρες και λέβητες πλοίων. Καθορίζει επτά κατηγορίες απόσταξης καυσίμων και έξι κατηγορίες υπολειμματικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων των μειγμάτων βιοκαυσίμων, συνθετικών και ανανεώσιμων.	Καλύπτει θείο, υδρόθειο, υπολείμματα άνθρακα, άλλα στοιχεία - στάχτη, Νερό.
ISO 23306	Πρότυπο	Μηχανές πλοίων	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Προδιαγραφή υγροποιημένου φυσικού αερίου ως καυσίμου για θαλάσσιες εφαρμογές. Ισχύει για LNG από οποιαδήποτε πηγή, π.χ. αέριο από συμβατικές δεξαμενές, σχιστολιθικό αέριο, μεθάνιο με άνθρακες, βιομεθάνιο, συνθετικό μεθάνιο.	Καλύπτει το θείο
ISO 14687	Πρότυπο	Οδικά οχήματα	Καύσιμα	TtW	Καθορίζει τα ελάχιστα ποιοτικά χαρακτηριστικά καυσίμου υδρογόνου για οχήματα και για τεχνολογίες PEM κυψελών καυσίμου .	
European Union EN 15940	Πρότυπο	Πετρέλαιο εκ παραφίνης	Μόλυνση, Καύσιμα	TtW	Πρότυπα για υδροεπεξεργασμένα παραφινικά ανανεώσιμα καύσιμα ντίζελ και συνθετικά προϊόντα. Στο μέλλον ενδέχεται επίσης τα ηλεκτρονικά καύσιμα να καλύπτονται με αυτό το πρότυπο.	Καλύπτει το θείο

European Union and Intelligent Energy Europe BioGrace	Οδηγία	Βιοκαύσιμα και βιομάζα για ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη	GHG	WtW	Το BioGrace εργαλείο υπολογισμού αερίων θερμοκηπίου (GHG) έχει αναγνωριστεί ως εθελοντικό σχέδιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Είναι σύμφωνο με τα κριτήρια βιωσιμότητας της Οδηγίας για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (2009/28/EC, RED) καθώς και την οδηγία RED-II για βιοκαύσιμα και βιορευστά. Έχει αναπτυχθεί για εταιρείες που θέλουν αποδεικνύουν τη συμμόρφωση τους με τα κριτήρια βιωσιμότητας RED-II, για ηλεκτρική ενέργεια, θέρμανση και ψύξη από βιομάζα.	Εργαλείο που βασίζεται στο Excel και έχει σχεδιαστεί για να είναι φιλικό στο χρήστη. Περιλαμβάνει εκπομπές από τη χρήση γης καθώς και εξοικονόμηση από τη βελτίωση της υποβαθμισμένης γης.
JRC, EUCAR, and Concawe: JEC WtW Report (Prussi, et al., 2020)	Οδηγία	Οδική μεταφορά	GHG	WtW	Η μελέτη JEC WtW επικεντρώνεται στα στάδια παραγωγής και χρήσης καυσίμων οχημάτων και ενώ βασίζεται στην αξιολόγηση των μεθόδων κύκλου ζωής, δεν στοχεύει να είναι μια πλήρης LCA. Ο στόχος του JEC WtW είναι να αξιολογήσει την επίδραση του καυσίμου ή/και του συστήματος μετάδοσης κίνησης, στο παγκόσμιο ισοζύγιο ενέργειας χρήσης και εκπομπών GHG. WtW	Το εργαλείο είναι για την αξιολόγηση των καυσίμων - χαμηλός όγκος, υψηλός διαχειριστικός φόρτος. Εστιάζει στις οδικές μεταφορές.

U.S Department of Energy's (DOE) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy GREET	Οδηγία	Οδικός, αέρα, ναυτιλιακός και σιδηροδρο-μικός	GHG, Βιωσιμότητα	WtW	Το μοντέλο GREET είναι ένα αναλυτικό εργαλείο που προσομοιώνει τη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές ρύπων διαφόρων συνδυασμών οχημάτων και καυσίμων. Περιλαμβάνει πάνω από 100 μονοπάτια παραγωγής καυσίμου από διάφορες ενεργειακές πρώτες ύλες, περιλαμβάνει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και άνω των 80 συστήματων οχημάτων/καυσίμων. Καλύπτει VOC, CO, NOx, PM10, PM2.5, SOx και αλλαγές άνθρακα στο έδαφος, καθώς και GHG.	Μη υποχρεωτική μέθοδος αλλά χρησιμοποιείται για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς λειτουργίας των βιοκαυσίμων στις ΗΠΑ. Σχετικό για ναυτικό όπου υπό τον κανονισμό των ΗΠΑ για τα βιοκαύσιμα. Τα σύνολα δεδομένων περιορίζονται στις ΗΠΑ εφαρμογές
RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials) RSBSTD-01-001 RSB Principles & Criteria	Πρότυπο	Καύσιμο βιομάζας εφοδιαστική αλυσίδα	GHG, Βιωσιμότητα	WtT	Ο (RSB) είναι ένας ανεξάρτητος και παγκόσμιος συνασπισμός που εργάζεται για να προώθηση της βιωσιμότητας των βιοϋλικών, συμπεριλαμβανομένης της βιομάζας και των βιοκαυσίμων. Καλύπτει την κατανάλωση πόρων, τη Βιώσιμη ανάπτυξη, την Αγροτική οικονομική ανάπτυξη.	Οι εθελοντικές πρωτοβουλίες πιστοποίησης μπορούν έχουν περιορισμένη εφαρμογή. Εμπορικά οφέλη - περιβαλλοντική αξιοπιστία.

GHGenius LCA model	Οδηγία	Όλα τα καύσιμα	GHG	WtW	Το GHGenius είναι ένα μοντέλο ανάλυσης του κύκλου ζωής (LCA) με κύρια εστίαση σε καύσιμα μεταφοράς στον Καναδά. Περιλαμβάνει δεδομένα για δραστηριότητες που κυμαίνονται από την καλλιέργεια, στην παραγωγή ενέργειας, στην εξάτμιση εκπομπών σε πολλές περιοχές. Ανάπτυξη νέων πρώτων υλών, καυσίμων. Καλύπτει GHG (CO2, CH4, N2O, CFC-12, HFC-134a) και ρύπους (CO, NOx, NMOCs, SO2, PM).	Δυνητικά εφαρμόσιμο στο ναυτιλιακό τομέα. Καλύπτει τεράστιο αριθμό καυσίμων. Λεπτομερές μοντέλο με πολλά εξαρτήματα - πολύπλοκο στη χρήση. Οι παράγοντες προέρχονται από διάφορες πηγές που χρειάζονται τακτικά ενημέρωση, εστίαση στον Καναδά αλλά μπορεί να εφαρμοστεί παγκοσμίως.
IFEU GHG calculator	Οδηγία	Όλοι οι τομείς	GHG, Βιωσιμό-τητα	WtW	Το Ινστιτούτο παρέχει μια ποικιλία μεθόδων και εργαλείων, συμπεριλαμβανομένων εργαλείων υπολογισμού, αξιολογήσεων , μοντέλων, αξιολογήσεων βιωσιμότητας και ανάλυσης ροής LCA υλικού. Καλύπτει GWP, καταστροφή του όζοντος, ρύποι αέρα, οξίνιση, ευτροφισμό,χρήση γης, πρώτες ύλες.	Εθελοντική μεθοδολογία. Δωρεάν εργαλείο ανοιχτής πρόσβασης που βασίζεται στο excel. Μπορεί να είναι χρησιμοποιηθεί στη ναυτιλία.
California Air Resources Board (CARB) California Global Warming Solutions Act (AB32)	Κανονισμός	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, Τσιμέντο, Ασβέστης, Παραγωγή νιτρικού οξέως, Διυλιστήρια πετρελαίου	GHG	WtW	Νομοθεσία και ρυθμιστικό πρόγραμμα για τα GHG. Δύο πρωτογενείς οδοί αναφοράς/μείωσης εκπομπών GHG: Ένα υποχρεωτικό πρόγραμμα αναφοράς (MRP) και το Cap and Trade (C&T) πρόγραμμα για το California Cap για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τους μηχανισμούς συμμόρφωσης με βάση την αγορά. Μετριέται	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τεχνολογίες θαλάσσιων μεταφορών /διαδρομές καυσίμων. Πιθανή σύγκρουση μεταξύ καταναλωτή και επαληθευτή.

					από την εταιρεία που υποβάλλει την έκθεση αλλά επαληθεύεται ανεξάρτητα από τρίτο μέρος.	
Ecoinvent	Βάση Δεδομένων	Όλοι οι τομείς	GHG , Μόλυνση , Βιωσιμό-τητα	WtW	Το Ecoinvent δεν είναι από μόνο του ένα πρότυπο ή κανονισμός, αλλά είναι αναμφισβήτητα η μεγαλύτερη ολοκληρωμένη και αξιόπιστη βάση δεδομένων. Είναι πολύ λεπτομερές όσον αφορά τη συμπερίληψη εισροών και εκπομπών. Περιορίζεται σε αποθέματα των εισροών και εκροών υλικών και ενέργειας (δηλαδή, τυχόν συγκεντρωτικές μετρήσεις επιπτώσεων πρέπει να υπολογίζονται χωριστά).	Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμεν η βάση δεδομένων, βασίζεται σε μέσους όρους που έχουν ελεγχθεί από τη βιομηχανία· είναι συνδυασμός άμεσων μετρήσεων και εκτιμήσεων.
Zemo Partnership Renewable Fuels Assurance Scheme (RFAS)	Πρότυπο	Δρόμοι, NRMM	GHG, Βιωσιμότη-τα	WtT	Μια πρωτοβουλία που σχεδιάστηκε και διαχειρίζεται η Zemo Συνεταιρισμός. Το Σχέδιο στοχεύει στην επαλήθευση απαιτήσεις από εταιρείες που προμηθεύουν ανανεώσιμα καύσιμα για βαρέα οχήματα και χειριστές εξοπλισμού σχετικά με την εξοικονόμηση εκπομπών GHG των προϊόντων τους και την προέλευση των πρώτων υλών. Παρέχει βεβαιότητα συμμόρφωσης με το RTFO και καλύπτει τα ίδια όρια και εκπομπές με το RTFO.	Περιορισμένη εμβέλεια. Παρέχει σιγουριά και αξιοπιστία.

Πίνακας 4.1: Χαρτογράφηση προτύπων, κανονισμών και κατευθυντήριων γραμμών

4.1.2 Έλεγχος εκπομπών ρύπων

Οι κανονισμοί για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων από τις μεταφορές έχουν καθιερωθεί από διάφορους κανονισμούς, όπως το Παράρτημα VI του IMO MARPOL NOx Technical Code, τα Πρότυπα εκπομπών της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) για κινητήρες πλοίων, το Euro Stage V για κινητήρες εκτός οδικού δικτύου. Πολλές άλλες χώρες επιλέγουν να υιοθετήσουν είτε τους Κανονισμούς της ΕΕ ή των ΗΠΑ, αν και ορισμένες, όπως η Ιαπωνία, έχουν τους δικούς τους κανονισμούς. Όλοι αυτοί οι κανονισμοί βασίζονται στην αρχή της μέτρησης εκπομπών των κινητήρων σε τυπικούς κύκλους δοκιμών (είτε εντός του οχήματος είτε σε βάση δοκιμών) με όρια για τους ρύπους, συμπεριλαμβανομένων των οξειδίων του αζώτου (NOx), των υδρογονανθράκων (HC), των σωματιδίων κατά αριθμό (PN) και της μάζας (PM) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Από τη στιγμή που εξετάζεται η χρήση καυσίμου, δεν καλύπτονται οι εκπομπές WtT. Στόχος τους είναι η προστασία της ανθρώπινης υγείας συμπεριλαμβανομένης της μείωσης της αιθαλομίχλης και δεν καλύπτουν τις εκπομπές GHG ή άλλες επιπτώσεις βιωσιμότητας. Οι προσεγγίσεις αυτές συνήθως δεν μετρούν τις πραγματικές εκπομπές κατά τη χρήση.

Πρότυπα καυσίμων από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (προσδιορίζονται ως ISO) ή εθνικά ισοδύναμα, ή πρότυπα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (προσδιορίζονται ως EN), χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της σύνθεσης του καυσίμου. Εκτός από τη διασφάλιση ότι το καύσιμο είναι ασφαλές στη χρήση και παρέχει την αναμενόμενη απόδοση, υπάρχει και περιορισμός στην περιεκτικότητα σε ρυπογόνα στοιχεία όπως το θείο, ο μόλυβδος, το υδρόθειο και τα υπολείμματα άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των εκπομπών αυτών των επιβλαβών ουσιών κατά τη χρήση. Ωστόσο, αυτά δεν καλύπτουν τις εκπομπές GHG ή άλλες επιπτώσεις βιωσιμότητας και λαμβάνουν υπόψη μόνο τις εκπομπές κατά τη χρήση (TtW).

Ο έλεγχος των εκπομπών που σχετίζονται με το περιεχόμενο του καυσίμου εφαρμόζεται από κανονισμούς που επιβάλλουν τη χρήση καυσίμων που πληρούν καθορισμένα πρότυπα και έτσι μειώνουν τις εκπομπών ρύπων που συνδέονται με τη σύνθεση του καυσίμου. Στο ναυτιλιακό τομέα ο IMO περιορίζει την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο για τη μείωση των εκπομπών οξειδίων του θείου μέσω του παραρτήματος VI της MARPOL.

4.1.3 Μείωση των εκπομπών GHG

Κανονισμοί για τη μείωση των εκπομπών GHG από τις μεταφορές έχουν θεσπιστεί τα τελευταία χρόνια και ποικίλλουν ανά τομέα, εστιάζοντας στις εκπομπές TtW κατά τη χρήση.

Για αυτοκίνητα και φορτηγά, οι εκπομπές CO_2 μετρώνται κατά την πιστοποίηση σε έναν καθορισμένο κύκλο σε εργαστήριο εκπομπών. Ενώ οι κατασκευαστές έχουν κίνητρα να παράγουν οχήματα με χαμηλές εκπομπές ρύπων αφού η ζήτηση των πελατών επηρεάζεται από τους φόρους που σχετίζονται με τις εκπομπές CO_2, ο νομοθετικός παράγοντας είναι ένας στόχος που έχει τεθεί για το μέσο όρο των εκπομπών CO_2 όλων των οχημάτων που πωλούνται από κάθε κατασκευαστή (ή ομάδα/συναιτερισμό κατασκευαστών) σε ένα έτος, ο οποίος απαιτεί μείωση των εκπομπών και έχει οδηγήσει σε αύξηση των πωλήσεων υβριδικών και ηλεκτρικών οχημάτων, όπως θεσπίστηκε στην ΕΕ μέσω του κανονισμού για την οικονομία καυσίμου & εκπομπών CO_2 για ελαφρά οχήματα και στις Η.Π.Α. από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (EPA) μέσω των κανονισμών της μέσης εταιρικής οικονομία καυσίμου (CAFE) και του ασφαλέστερου προσιτού οικονομικού καυσίμου (SAFE). Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την «εμπορία» των εκπομπών μεταξύ κατασκευαστών που παράγουν εκπομπές κάτω και πάνω από τα όρια. Παρόμοια προγράμματα ισχύουν για βαρέα επαγγελματικά οχήματα. Οι κατασκευαστές αντιμετωπίζουν βαριά πρόστιμα για κάθε g/km CO_2 πάνω από το όριο ανά όχημα που πωλείται. Δεν υπάρχουν μετρήσεις εκπομπών

GHG κατά τη χρήση για οδικά οχήματα (αν και σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν γίνει δοκιμές για μετρήσεις εκπομπών CO_2 στο δρόμο) και οι δοκιμές έγκρισης θεωρείται ότι παρέχουν κακή ένδειξη των εκπομπών κατά τη χρήση στον πραγματικό κόσμο. Η ΕΕ προσπαθεί να εισάγει την ενσωματωμένη παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμου, αλλά δεν είναι ακόμη σαφές πώς θα χρησιμοποιηθεί. Ωστόσο, σε πολλές χώρες χρησιμοποιείται μια πολιτική φορολόγησης των οδικών καυσίμων για την ενθάρρυνση της αποδοτικότητας των καυσίμων και συνεπώς της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Ο κανονισμός για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από οδικά οχήματα επικεντρώνεται κυρίως στις εκπομπές CO_2, εκτός από τα βαρέα οχήματα στην ΕΕ, για τα οποία οι εκπομπές CH_4 είναι περιορισμένες στις δοκιμές πιστοποίησης (όπως με τις εκπομπές ρύπων), αν και οι συνολικές εκπομπές HC (συμπεριλαμβανομένου του CH_4) είναι περιορισμένες και τα μελλοντικά πρότυπα Euro 7 τόσο για ελαφρά όσο και για βαρέα οχήματα αναμένεται να περιλαμβάνουν όρια για CH_4 και N_2O. Οι κανονισμοί των ΗΠΑ αποκλείουν το μεθάνιο από τα όρια εκπομπών ρύπων. Η αιθάλη και/ή τα σωματίδια περιορίζονται μέσω δοκιμών πιστοποίησης οχημάτων, αλλά δεν λαμβάνονται υπόψη φαινόμενα του θερμοκηπίου όπως ο μαύρος άνθρακας.

Για τη διεθνή αεροπορία, το σχέδιο του Διεθνούς Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) για Αντιστάθμιση και Μείωση Άνθρακα στη Διεθνή Αεροπορία (CORSIA) εστιάζει στην αντιστάθμιση των εκπομπών άνθρακα, αν και δεν είναι επί του παρόντος υποχρεωτική (μέχρι το 2027). Ωστόσο, οι πτήσεις εντός της ΕΟΧ καλύπτονται από το Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (ETS) μαζί με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τις μεγάλες βιομηχανίες. Αυτό παρέχει δικαιώματα (πιστώσεις άνθρακα) για εκπομπές GHG που μειώνονται από έτος σε έτος, με πρόστιμα για υπέρβαση και καλύπτει το 40% των εκπομπών GHG της ΕΕ. Πολλά κράτη μέλη της ΕΕ έχουν λάβει πρόσθετα μέτρα. Παρόμοια προγράμματα ισχύουν και σε άλλες περιοχές συμπεριλαμβανομένου του Ηνωμένου Βασιλείου, της Καλιφόρνιας και ορισμένων συνδεδεμένων πολιτειών των ΗΠΑ.

Για τον ναυτιλιακό τομέα, ο IMO υιοθέτησε μια αρχική στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών GHG από τα πλοία το 2018, το οποίο έθεσε ένα στόχο για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον 50% έως το 2050 σε σύγκριση με το 2008, με απώτερο στόχο τη σταδιακή κατάργησή τους το συντομότερο δυνατό. Τα μέτρα που υιοθετήθηκαν περιλαμβάνουν τον Δείκτη Ενέργειας Απόδοσης Σχεδιασμού (EEDI) που απαιτεί συνεχή βελτίωση της απόδοσης και μείωση των εκπομπών CO_2 ανά τόνομίλι από νέα πλοία (και ομοίως ο Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης των Υφιστάμενων Πλοίων (EEXI) παρακολουθεί υπάρχοντα πλοία), ενώ η κατανάλωση καυσίμου των πλοίων παρακολουθείται μέσω του Συστήματος Συλλογής Δεδομένων του IMO (DCS), και στην Ευρώπη μέσω του παράλληλου κανονισμού της ΕΕ για την παρακολούθηση, την αναφορά και την επαλήθευση (MRV). Επιπλέον, εγκρίθηκαν νέα υποχρεωτικά μέτρα για τη μείωση της έντασης άνθρακα στη διεθνή ναυτιλία από τον IMO το 2021 και παρουσιάστηκαν προτάσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στο πακέτο αναζήτησης EU Fit for 55 για να επεκταθεί η κάλυψη του ETS ώστε να συμπεριλάβει τον ναυτιλιακό τομέα για ταξίδια εντός της ΕΕ καθώς και τα μισά ταξίδια προς ή εκτός ΕΕ. Ενώ τα DCS και MRV βασίζονται σε εκπομπές TtW, το πακέτο EU Fit for 55 περιλαμβάνει μία ευρύτερη προσέγγιση WtW στην πρωτοβουλία FuelEU Maritime, η οποία στοχεύει στην αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα όπως περιγράφεται παρακάτω.

Η χρήση υπολειμματικών καυσίμων στον ναυτιλιακό τομέα συμβάλλει στις εκπομπές μαύρου άνθρακα, που προσδιορίζονται ως μία σημαντική αιτία για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ο IMO εξετάζει τη μέτρηση και την υποβολή εκθέσεων σχετικά με τις εκπομπές μαύρου άνθρακα με σκοπό την εξέταση ρυθμιστικών επιλογών για τον έλεγχο τους.

Όπως και με τους κανονισμούς που καλύπτουν τις εκπομπές ρύπων, και με εξαίρεση την πρωτοβουλία FuelEU Maritime όπως συζητείται παρακάτω, αυτοί οι κανονισμοί για τις εκπομπές GHG λαμβάνουν υπόψη τις εκπομπές από οχήματα/πλοία που λειτουργούν (δηλαδή TtW) και δεν λαμβάνουν υπόψη τις εκπομπές κατά την παραγωγή ή τη διανομή καυσίμων. Η εστίασή τους είναι στις εκπομπές CO_2 αν και όλο και περισσότερες άλλες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων των CH_4, N_2O και μαύρου άνθρακα εξετάζονται όπου είναι δυνατό. Δεδομένου ότι οι κανονισμοί βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα οι εκπομπές GHG και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις δεν λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του καυσίμων, παραλείπονται οι εκπομπές από την παραγωγή και τη διανομή, όπως οι ανεξέλεγκτες εκλύσεις (π.χ. μεθανίου) που μπορεί να είναι σημαντικές για ορισμένα καύσιμα. Ωστόσο, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τα βιοκαύσιμα καλύπτονται από πρόσθετους κανονισμούς.

4.1.4 Ανανεώσιμα καύσιμα και Βιωσιμότητα

Η χρήση βιοκαυσίμων για την αντικατάσταση ενός ποσοστού ορυκτών καυσίμων ενθαρρύνεται μέσω της οδηγίας της ΕΕ για την ποιότητα των καυσίμων (FQD) σε συνδυασμό με την Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (RED II), το παρόμοιο πλαίσιο για τις υποχρεώσεις των ανανεώσιμων καυσίμων μεταφορών στο Ηνωμένο Βασίλειο (RTFO) και το Πρόγραμμα Προτύπων Ανανεώσιμων Πηγών Καυσίμου (RFS) της EPA των ΗΠΑ, το οποίο θέτει ελάχιστους στόχους ώστε οι προμηθευτές καυσίμων να καλύπτουν ένα ποσοστό καυσίμων που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, μαζί με μεθόδους για τον υπολογισμό των εκπομπών GHG. Εθελοντικά προγράμματα πιστοποίησης, όπως το Πρότυπο για τα αειφόρα βιοκαύσιμα (RSB)) και το σχήμα της Zemo για την ασφάλεια των ανανεώσιμων καυσίμων (RFAS) βασίζονται στο RED II και τις μεθόδους RTFO αντίστοιχα. Εργασίες που γίνονται για την ανάπτυξη εγγυήσεων πιστοποίησης προέλευσης για το υδρογόνο χαμηλού άνθρακαγια στην ΕΕ (CertifHy14) και το Ηνωμένο Βασίλειο, βασίζονται επίσης σε αυτές τις μεθόδους. Αυτά επηρεάζουν μια σειρά από τομείς μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων (σε ένα περιορισμένο επίπεδο) πλοίων που χρησιμοποιούν εναλλακτικά και ανανεώσιμα καύσιμα.

Αυτοί οι κανονισμοί ακολουθούν μια ευρύτερη προσέγγιση του κύκλου ζωής για την εξέταση των εκπομπών GHG στις διαδρομέςWtW, συμπεριλαμβανομένης της ρύθμισης της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή καυσίμου, και έχουν διατάξεις σχετικά με τις πηγές πρώτης ύλης, τον αντίκτυπό τους στο LUC και άλλες ανησυχίες για τη βιωσιμότητα.

Το πρόσφατο πακέτο EU Fit for 55 πρότεινε αλλαγές για την αύξηση της υιοθέτησης ανανεώσιμων καυσίμων στις μεταφορές και το RED II θα αναθεωρηθεί ώστε να αυξηθεί η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, να βελτιωθεί η ενσωμάτωση του ενεργειακού συστήματος (με άλλους κανονισμούς) και να αυξηθεί η προστασία της βιοποικιλότητας. Η FuelEU Maritime θα εφαρμόσει αποτελεσματικά την προσέγγιση RED II στα καύσιμα που πωλούνται στον ναυτιλιακό τομέα εντός της ΕΕ, έχοντας ως υπόχρεο μέρος τον ιδιοκτήτη και όχι τον προμηθευτή. Ομοίως, το RefuelEU Aviation θα ενισχύσει την προσφορά και τη ζήτηση των βιώσιμων αεροπορικών καυσίμων (καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα για τις αερομεταφορές) στην ΕΕ, ενώ μια αναθεώρηση της Οδηγίας Ενεργειακής Φορολογίας θα έχει ως στόχο την παροχή κινήτρων για καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

4.1.5 Συνάφεια για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων μηδενικών και χαμηλών εκπομπών άνθρακα

Οι υφιστάμενοι κανονισμοί για το ναυτιλιακό τομέα για τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου επικεντρώνονται στη μείωση TtW (και συγκεκριμένα στις εκπομπές CO_2) δεδομένου ότι έχουν σχεδιαστεί στο πλαίσιο της χρήσης ορυκτών καυσίμων, με προεπιλεγμένους παράγοντες εκπομπών για το περιορισμένο εύρος των καυσίμων που χρησιμοποιούνται, αν και τώρα εξετάζεται και ο αντίκτυπος του μαύρου άνθρακα και πώς μπορεί να μειωθεί. Άλλες πιθανές εκπομπές GHG, συμπεριλαμβανομένων των CH_4 και N_2O, δεν ποσοτικοποιούνται ούτε ελέγχονται, όπως επίσης ούτε η παραγωγή καυσίμου και οι εκπομπές διανομής (συμπεριλαμβανομένων των δυνητικά σημαντικών διαφυγόντων εκπομπών) ή άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του καυσίμου. Ωστόσο, τα βιοκαύσιμα και τα καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα καλύπτονται από διατομεακούς κανονισμούς που καλύπτουν ανησυχίες για τις εκπομπές WtT και τη βιωσιμότητα.

Στην ΕΕ, η προτεινόμενη επέκταση του ETS (που έχει ήδη εφαρμοστεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, τη βιομηχανία και τις αερομεταφορές) ώστε να περιλαμβάνει μέρος του ναυτιλιακού τομέα μαζί με τα μέτρα που προτείνονται στο FuelEU Maritime θα δώσει κίνητρα επιχειρησιακά και τεχνικά μέτρα απόδοσης, αύξηση της χρήσης ενέργειας από την ξηρά σε ορισμένους τομείς. Η FuelEU Maritime έχει σχεδιαστεί ειδικά για να ενθαρρύνει την χρησιμοποίηση εναλλακτικών καυσίμων. Άλλοι τομείς των μεταφορών έχουν κανονισμούς που ενθαρρύνουν τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων, ιδίως για τις οδικές μεταφορές, όπου ένα μέρος των καυσίμων πρέπει να είναι από ανανεώσιμες πηγές και πρέπει να υπάρξει υιοθέτηση οχημάτων μηδενικών εκπομπών. Τόσο το EU ETS όσο και τα προγράμματα ICAO CORSIA έχουν δεχθεί επικρίσεις επειδή είναι πολύ αδύναμα, ενώ οι μετρήσεις CO2 στα οδικά οχήματα έχει αναφερθεί ότι δεν αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές εκπομπές, δεδομένου ότι έχουν καθοριστεί στο εργαστήριο και πραγματικές μετρήσεις κατανάλωσης καυσίμου δεν είναι ακόμη διαθέσιμες.

Οι κανονισμοί και τα πρότυπα σχετικά με τη χρήση εναλλακτικών βιώσιμων καυσίμων περιλαμβάνουν το EU REDII (και το παρόμοιο RTFO του Ηνωμένου Βασιλείου), το US EPA RFS και το ICAO CORSIA. Όλα αυτά περιλαμβάνουν μεθόδους ανάλυσης WtT και ορισμένες εκτιμήσεις ευρύτερων επιπτώσεων στη βιωσιμότητα και, κατά συνέπεια, έχουν σχέση με την εξέταση εναλλακτικών καυσίμων για τον ναυτιλιακό τομέα ανεξάρτητα από την πραγματική τους έκταση. Αυτά μελετώνται λεπτομερώς σχετικά με τον τρόπο εφαρμογής τους στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και στα μέτρα βιωσιμότητας στην Ενότητα 4.2, και στην εφαρμογή των περιπτώσεων μελέτης στην Ενότητα 5.

4.2 Συνοπτική Επισκόπηση Υφιστάμενων Προτύπων, Κανονισμών Και Μεθόδων Για Τον Υπολογισμό Ή Τη Μέτρηση Των Εκπομπών GHG Και Των Επιπτώσεων Στη Βιωσιμότητα Των Καυσίμων Πλοίων

Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα γνώση από τη βιβλιογραφία και τα ευρήματα του πίνακα 4.1 , καταρτίστηκε ένας κατάλογος καθιερωμένων μεθόδων και εργαλείων που ισχύουν για τις επιλογές καυσίμων.

Όνομα	Τύπος	Περιγραφή	Σχετικότητα
EU REDII (2021 revision)	Πρότυπο	Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II, Directive (EU) 2018/2001) θέτει δεσμευτικούς στόχους για όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. ώστε να αυξήσουν τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Συμπεριλαμβάνει ένα συγκεκριμένο στόχο για τον τομέα των μεταφορών.	Υψηλή
UK RTFO	Πρότυπο	Η υποχρέωση ανανεώσιμων καυσίμων στις μεταφορές (RTFO) έχει εφαρμογή στο Ηνωμένο Βασίλειο, είναι ισοδύναμη της EU RED - σε μεγάλο βαθμό είναι παρόμοιες. Ισχύει για μεταφορές, NRMM και τις εσωτερικές πλωτές οδούς στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ηλεκτρονικό εργαλείο υπολογισμού GHG.	Υψηλή
RSB - stds & certification	Πρότυπο	Η μέθοδος Στρογγυλής Τραπέζης για τα Αειφόρα Βιοϋλικά (RSB) είναι παρόμοια με τη RED εκτός από το ότι λαμβάνει υπόψη τη χαμένη δέσμευση, κοπή και καύση και τις εκπομπές N2O από την απώλεια οργανικού άνθρακα του εδάφους.	Υψηλή
IFEU	Πρότυπο	Ινστιτούτο που παρέχει μεθόδους για μία ολοκληρωμένη LCA, αναφορές GWP και άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Το IFEU ανέπτυξε το BioGrace, έτσι είναι σε συμφωνία με τη RED.	Υψηλή
BioGrace	Μέθοδος, εργαλείο	Τα BioGrace I και II είναι εργαλεία υπολογισμού GHG σύμφωνα με τις RED και RED-II για τα βιοκαύσιμα. Το BioGrace II αναπτύχθηκε για εταιρείες που επιθυμούν να αποδείξουν τη συμμόρφωση τους με τα κριτήρια βιωσιμότητας RED-II για την ηλεκτρική ενέργεια, τη θέρμανση και την ψύξη από βιομάζα για 22 βιοκαύσιμα, ενώ το BioGrace I είναι για τα βιοκαύσιμα μεταφοράς.	Υψηλή

US Renewable Fuel Standard (RFS)	Πρότυπο	Πρότυπα των ΗΠΑ για τα βιοκαύσιμα. Με βάση τη μέθοδο κύκλου ζωής EISA. GHG, ρυθμιζόμενες εκπομπές και χρήση ενέργειας υπολογίζονται με το GREET.	Υψηλή
CARB	Πρότυπο	Υπολογισμός GHG για το ρυθμιστικό πρόγραμμα που εφαρμόζεται από το Συμβούλιο Αεροπορικών Πόρων της Καλιφόρνια (CARB) (καλύπτει 12 πολιτείες των ΗΠΑ καθώς και την Καλιφόρνια). Ισχύει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μερικές βιομηχανίες καθώς και καύσιμα. GHG, ρυθμιζόμενες εκπομπές και χρήση ενέργειας υπολογίζονται με το GREET.	Υψηλή
GREET	Μέθοδος, εργαλείο	Το μοντέλο GREET είναι ένα αναλυτικό εργαλείο που προσομοιώνει τη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές ρύπων από διάφορους συνδυασμούς οχημάτων και καυσίμων. Περιλαμβάνει πάνω από 100 μονοπάτια παραγωγής καυσίμου από διάφορες πηγές ενέργειας, περιλαμβάνει ηλεκτρική ενέργεια και πάνω από 80 συστήματα οχημάτων/καυσίμων. Χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των προτύπων ανανεώσιμων καυσίμων στις ΗΠΑ.	Υψηλή
JEC WtW	Μέθοδος	Η μελέτη JEC WtW επικεντρώνεται στα στάδια παραγωγής καυσίμου και χρήσης οχημάτων και ενώ βασίζεται σε Μέθοδοι Αξιολόγησης Κύκλου Ζωής, δεν στοχεύει να είναι μια πλήρης LCA. Στόχος του JEC WtW είναι να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της αντικατάστασης καυσίμου και/ή συστήματος μετάδοσης κίνησης στην Ευρώπη, στην παγκόσμια χρήση ενέργειας και στο ισοζύγιο εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.	Υψηλή
ISCC carbon certification (ICAO CORSIA)	Μέθοδος	Το CORSIA 205 περιγράφει τη μέθοδο, τους κανόνες και τις κατευθυντήριες γραμμές για τον υπολογισμό, την αναφορά και την επαλήθευση μειώσεων εκπομπών. Βασίζεται στη μέθοδο ICAO CORSIA LCA.	Μέτρια - Υψηλή
GHGenius	Μέθοδος	Το GHGenius εστιάζει στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής (LCA) των τρεχόντων και μελλοντικών καυσίμων γιαεφαρμογές μεταφορών και χρησιμοποιεί ιστορικά δεδομένα ή συσχετίσεις για αλλαγές στις παραμέτρους ενέργειας και διεργασιών με χρονικές ή κυβερνητικές προβλέψεις που είναι αποθηκευμένες στο μοντέλο. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκεκριμένες περιοχές (ανατολικά, κεντρικά ή δυτικά) του Καναδά και των Ηνωμένων Πολιτειών. Το μοντέλο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για το Μεξικό, την Ινδία και τέσσερις περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.	Μέτρια - Υψηλή

Ecoinvent	Βάση Δεδομένων	Το Ecoinvent είναι αναμφισβήτητα η πιο ολοκληρωμένη και αξιόπιστη βάση δεδομένων LCI, αλλά δεν αποτελεί από μόνο του.	N/A

Πίνακας 4.2: Μέθοδοι Υπολογισμού GHG

Αυτές οι μέθοδοι και τα εργαλεία αξιολογήθηκαν με βάση τα ακόλουθα βασικά κριτήρια:
• ΣΦΑΙΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ:
ο Τύπος (δηλαδή κατευθυντήρια γραμμή/μέθοδος ή πρότυπο ή κανονισμός ή πιστοποίηση)
ο Ενεργειακά διανύσματα που καλύπτονται
ο Σχετική ημερομηνία
• Well to Tank:
ο Κατηγορίες επιπτώσεων
ο Πορεία παραγωγής
ο Γεωγραφική κατανομή
• Tank to Wake:
ο Μετατροπή ενέργειας
ο Αποδοτικότητα συστήματος
ο Διάρκεια ζωής
ο Τομέας εφαρμογής

Ο πλήρης κατάλογος των χαρακτηριστικών που αξιολογήθηκαν για κάθε μέθοδο/εργαλείο και οι ομαδοποιήσεις τους συνοψίζονται στον Πίνακα 4.3. Στη συνέχεια εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά για κάθε μέθοδο για να αξιολογηθεί τι θα περιλαμβάνεται στις περιπτώσεις μελέτης.

Συνολικά έχουν αξιολογηθεί δώδεκα πρότυπα, μέθοδοι και εργαλεία για την αξιολόγηση των αερίων του θερμοκηπίου και της βιωσιμότητας με μια σύντομη περίληψη του καθενός και ένα σχόλιο σχετικά με τη συνάφειά τους με αυτή την εργασία.(Πίνακας 4.2) Αυτό περιλαμβάνει την κάλυψη των κατηγοριών επιπτώσεων που συζητούνται στην Ενότητα 3. Αυτά τα πρότυπα, μέθοδοι, εργαλεία επιλέχθηκαν λόγω της συνάφειάς τους με την εργασία και της αναγνώρισής τους στον ναυτιλιακό κλάδο. Αυτό δείχνει ότι δεν είναι όλα ανεξάρτητα και τονίζονται οι σχέσεις τους.

			RSB - stds & certification	CARB/LCFS	RTFO	REDII	CORSIA	US RFS	JEC WTW	GHGenius	BioGrace	GREET	ecoinvent	IFEU GHG calculator
Overview	Type	Guideline/methodology	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	N	Y
		Standard	Y	N	N	N	N	Y	N	N	N	N	N	N
		Regulation	Y	Y	Y	Y	N	N	N	N	N	N	N	N
		Certification scheme	Y	Y	Y	N	Y	Y	N	N	Y	N	N	N
		Default values/inventory	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
		Blue H2	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	N
		Green H2	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	N	Y	N	N
		Ammonia (green/blue)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y	Y	N
		Synthetic hydrocarbons	N	N	Y	N	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	N
		Biofuels	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		Electricity	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Well to Tank	Impact categories	CO_2	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		GWP	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y
		Air Quality (AP, PMFR)	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y
		Toxicity (HTP, ETP)	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
		Energy Use (CED, ADP)	N	Y	N	N	Y	N	Y	Y	N	Y	N	Y
		Land use	N	N	N	N	Y	N	N	Y	N	Y	N	Y
		Resource depletion	N	N	N	N	N	N	N	Y	N	Y	N	Y
	Production	Carbon source	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N
		Carbon capture	Y	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N
		Carbon storage	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y	Y	N	N
		Energy use	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		Counterfactual	N	N	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	Y
		Energy source	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		Fugitive emissions	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
	Distribution	Included Y/N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		Transport/pipeline	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
		EV Grid/charging efficiency	Y	N	N	N	N	N	Y	Y	N	Y	Y	Y
		Recharge/discharge	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Y
		Compression/liquefaction	Y	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Tank to X		Energy conversion	N	N	N	N	Y	N	Y	N	N	Y	Y	Y
		System Efficiency	N	N	N	N	N	Y	Y	N	N	Y	Y	Y
		Lifetime/degradation	N	N	N	N	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y
	Sector	Road	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y
		Marine	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y
		Air	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	N	Y	Y	Y
		Other	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	N	N	Y	Y	Y

Πίνακας 4.3: Χαρακτηριστικά για την αξιολόγηση των προτύπων και μεθόδων

4.3 Σύντομη Περιγραφή Μεθόδων Και Εργαλείων Που Εφαρμόζονται Στις Περιπτώσεις Μελέτης Για Τον Υπολογισμό Ή Τη Μέτρηση Εκπομπών GHG

Μετά την αξιολόγηση όλων των προτύπων, μεθόδων και εργαλείων όπως περιγράφεται παραπάνω, τέσσερα επιλέχθηκαν για να εφαρμοστούν στις περιπτώσεις μελέτης. Διαπιστώθηκε ότι αυτά έχουν υψηλού επιπέδου συνάφεια δεδομένου ότι είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους, περιλαμβάνουν μια σειρά τομεακών και γεωγραφικών προοπτικών και παρέχουν μια μέθοδο με επαρκή κάλυψη και συγκεκριμένη καθοδήγηση για εφαρμογή στα καύσιμα πλοίων, αν και με ορισμένες επιλογές που πρέπει να γίνουν γύρω από την επιλογή μεθοδολογίας και τις παραδοχές όπως περιγράφονται παρακάτω. Γενικά πρότυπα και οι κατευθυντήριες γραμμές LCA χωρίς ειδική

καθοδήγηση, π.χ., ISO 14040/14044, εξαιρέθηκαν από την αξιολόγηση, όπως και εργαλεία (όπως το GHGenius) ή βάσεις δεδομένων (όπως το Ecoinvent) που δεν καθορίζουν αυστηρά μια μέθοδο υπολογισμού. Οι επιλεγμένες μέθοδοι και εργαλεία είναι:

• Οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II)

• Μελέτη JEC (JRC-EUCAR-Concawe) Well to Wheels

• Αέρια θερμοκηπίου, ρυθμιζόμενες εκπομπές και χρήση ενέργειας στο μοντέλο τεχνολογιών (GREET)

• Πιστοποίηση άνθρακα ICAO CORSIA

Αυτά τα τέσσερα πρότυπα και εργαλεία βρέθηκαν να είναι τα μόνα σχετικά σημαντικά κατάλληλα για τους σκοπούς της εργασίας αυτής και αξιολογήθηκαν λεπτομερώς μέσω της εφαρμογής τους στις περιπτώσεις μελέτης με σκοπό να εντοπιστούν τυχόν κενά ή παραλείψεις.

4.3.1 Οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II)

Η οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (RED II, Directive (EU) 2018/2001) θέτει δεσμευτικούς στόχους για όλα τα μέλη κράτη της Ε.Ε. ώστε να αυξήσουν τη χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένου ενός συγκεκριμένου στόχου για τον τομέα των μεταφορών. Θεσπίζει αυστηρά κριτήρια βιωσιμότητας και εξοικονόμησης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Πίνακας 4.4) με τα οποία πρέπει να συμμορφώνονται τα βιοκαύσιμα, τα βιορευστά και τα καύσιμα βιομάζας.

Το RED II καθιερώνει επίσης τη μέθοδο υπολογισμού για την εξαγωγή της εξοικονόμησης εκπομπών GHG από βιοκαύσιμα, βιορευστά και καύσιμα βιομάζας και παρέχει ένα σύνολο τυπικών και προεπιλεγμένων τιμών για μια σειρά από μονοπάτια. Αυτά πρέπει να χρησιμοποιούνται εκτός εάν ο οικονομικός φορέας αποφασίσει να χρησιμοποιήσει πραγματικές τιμές (ή συνδυασμό προεπιλεγμένων και πραγματικών τιμών) για τη διαδρομή του καυσίμου τους. Η μεθοδολογία καλύπτει τις εκπομπές GHG από την παραγωγή και τη χρήση βιοκαυσίμων, βιορευστών και καυσίμων βιομάζας, συμπεριλαμβανομένων:

• Εκπομπές από την εξόρυξη ή την καλλιέργεια πρώτων υλών

• Ετήσιες εκπομπές από αλλαγές αποθεμάτων άνθρακα που προκαλούνται από χρήσης γης

• Εκπομπές από την επεξεργασία

• Εκπομπές από τη μεταφορά και τη διανομή

• Εκπομπές από το καύσιμο που χρησιμοποιείται

• Εξοικονόμηση εκπομπών από τη συσσώρευση άνθρακα στο έδαφος μέσω βελτιωμένης γεωργικής διαχείρισης

• Εξοικονόμηση εκπομπών από τη δέσμευση CO2 και τη γεωλογική αποθήκευση

• Εξοικονόμηση εκπομπών από τη δέσμευση και αντικατάσταση CO2.

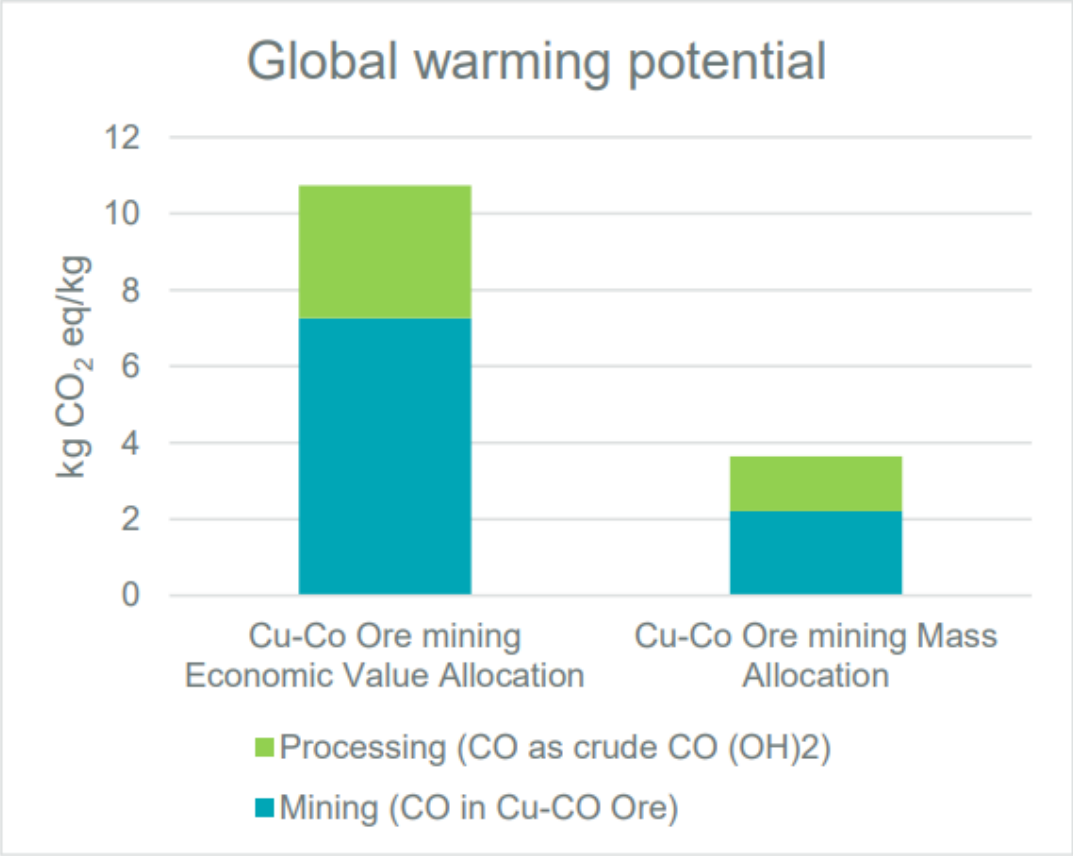
Ωστόσο, οι εκπομπές του καυσίμου κατά την καύση θεωρούνται μηδενικές για τα βιοκαύσιμα. Η μεθοδολογία επίσης διευκρινίζει ότι οι επιπτώσεις των παραπροϊόντων από την παραγωγή και τη χρήση καυσίμων θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς και να κατανέμονται με βάση τη μέθοδο κατανομής ενέργειας.

Με τη μέθοδο κατανομής ενέργειας γίνεται προσπάθεια να εκχωρηθούν (δηλ. να κατανεμηθούν) διαφορετικά ποσοστά των ροών εισροών και εκροών, και συνεπώς των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, κατά τη λειτουργία μιας διαδικασίας πολλαπλών εκροών στα διάφορα υποπροϊόντα.

Υπάρχουν τρεις κύριες ξεχωριστές δυνατότητες, δηλαδή: η κατανομή μάζας, η κατανομή ενέργειας και η οικονομική κατανομή. Όλες αυτές έχουν τη θέση τους και καθεμία από τις τρεις προσεγγίσεις μπορεί να θεωρηθεί η καταλληλότερη, ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης, τον

επιδιωκόμενο στόχο και το εύρος της αξιολόγησης. Η κύρια διαφορά μεταξύ των τριών προσεγγίσεων είναι ότι ενώ οι δύο πρώτες (δηλαδή η κατανομή μάζας και ενέργειας) εξαρτώνται μόνο από φυσικές, μετρήσιμες ποσότητες (η μάζα των υποπροϊόντων και το ενεργειακό τους περιεχόμενο αντίστοιχα), η οικονομική κατανομή πραγματοποιείται με βάση τις αντίστοιχες αγοραίες αξίες των ροών υποπροϊόντων, κάτι το οποίο μπορεί συχνά να αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Αυτό καθιστά τα αποτελέσματα της ανάλυσης λιγότερο σταθερά και δυνητικά ασυνεπή με τα προηγούμενα αποτελέσματα που υπολογίζονται ακόμη και για πανομοιότυπα συστήματα αλλά σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Το κύριο επιχείρημα υπέρ της οικονομικής κατανομής είναι ότι υπολογίζει καλύτερα τα σχετικά ποσοστά ευθύνης που πρέπει να φέρουν τα διάφορα υποπροϊόντα για την περιβαλλοντική ζημιά που προκαλείται από τη διαδικασία πολλαπλών εκροών που τα παράγει, σύμφωνα με την υπόθεση ότι η κύρια κινητήρια αρχή για τη λειτουργία της ίδιας της διαδικασίας είναι το οικονομικό κέρδος.

Τα διαφορετικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την εναλλακτική υιοθέτηση της οικονομικής κατανομής και της κατανομής μάζας παρουσιάζονται εντυπωσιακά στην Εικόνα 4.1 που δείχνει τα αποτελέσματα μιας περίπτωσης μελέτης περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε από το Εθνικό Εργαστήριο Argonne χρησιμοποιώντας το GREET, το οποίο εστιάζει στην εξόρυξη κοβαλτίου ως υποπροϊόν της εξόρυξης μεταλλεύματος κοβαλτίου χαλκού στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και στην επακόλουθη επεξεργασία του σε εμπορικό υδροξείδιο κοβάλτιου, συμπεριλαμβανομένης της κατανάλωσης καυσίμου και ηλεκτρικής ενέργειας (Dai, Kelly, & Elgowainy, 2018).



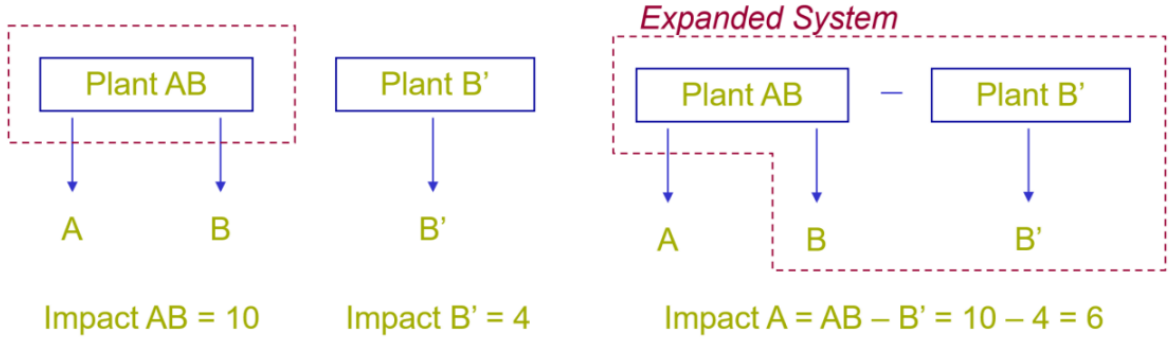
Εικόνα 4.1: Παράδειγμα GWP σύγκρισης οικονομικής κατανομής έναντι κατανομής με βάση τη μάζα

Όπως εύκολα αναμενόταν, δεδομένης της πολύ υψηλότερης μοναδιαίας οικονομικής αξίας του Co έναντι του Cu, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το μοντέλο GREET για την εξόρυξη Co από μετάλλευμα χαλκού-κοβαλτίου και την μεμτατροπή σε υδροξείδιο του κοβαλτίου ($Co(OH)_2$) παρουσιάζουν σημαντικά χαμηλότερες GWP επιπτώσεις με βάση την κατανομή μάζας έναντι της οικονομικής κατανομής (δηλαδή, λιγότερο από 4 kg CO_2-eq/kg και άνω των 10 kg CO_2-eq/kg). Ωστόσο, τέτοιοι χαμηλότεροι αριθμοί είναι αναμφισβήτητα λιγότερο ενδεικτικοί της περιβαλλοντικής «ευθύνης» που αποδίδεται στα επιμέρους μέταλλα που εξάγονται από κοινού από την κοινή εξορυκτική δραστηριότητα, δεδομένου ότι το τελευταίο οφείλεται κυρίως στην παρουσία κοβαλτίου στο μετάλλευμα.

Έχοντας πει όλα αυτά, για τη συγκεκριμένη περίπτωση των καυσίμων πλοίων και των υποπροϊόντων τους, η κατανομή ενέργειας είναι συχνά η πιο συνιστώμενη προσέγγιση, τουλάχιστον σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου τα υποπροϊόντα είναι επίσης ενεργειακοί φορείς. Ως πιθανή εξαίρεση σε αυτόν τον γενικό κανόνα, ωστόσο, για τις αλυσίδες προμήθειας βιοκαυσίμων που συνεπάγονται τη συμπαραγωγή υπόπαραγωγών καυσίμων και μη καυσίμων, η υιοθέτηση της οικονομικής κατανομής μπορεί μερικές φορές να είναι προτιμότερη ώστε να αντικατοπτρίζεται καλύτερα η διαφορά μεταξύ αυτού που μπορεί να είναι ένα κύριο ενεργειακό προϊόν υψηλής αξίας αφενός, και ένος συμπροϊόντος χαμηλότερης αξίας ή το αντίστροφο.

Όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής σε αυτήν την εργασία, η κατανομή με βάση την ενέργεια χρησιμοποιείται στις μεθόδους REDII και CORSIA, ενώ τόσο η ενεργειακή όσο και η οικονομική κατανομή είναι διαθέσιμες επιλογές στο GREET.

Η άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η μέθοδος επέκτασης συστήματος. Στην μέθοδο επέκτασης συστήματος, πρώτα υπολογίζεται ολόκληρη η επίπτωση και, στη συνέχεια, το όριο του συστήματος πολλαπλών εξόδων (π.χ. Εγκατάσταση AB στην Εικόνα 4.2 παρακάτω) επεκτείνεται για να συμπεριλάβει ένα σύνολο εναλλακτικών ανεξάρτητων μονοπατιών παραγωγής (π.χ. εργοστάσιο B'), οι οποίες είναι ικανές να παράγουν προϊόντα που θεωρείται ότι είναι "λειτουργικά ισοδύναμα" με τα διάφορα συμπροϊόντα ενδιαφέροντος (π.χ., το προϊόν B' του φυτού B' υποτίθεται ισοδύναμο με το συμπροϊόν B του φυτού AB). Η επίπτωση που αποδίδεται σε ένα συγκεκριμένο συμπροϊόν (π.χ. προϊόν A του φυτού AB) τελικά υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της συνολικής επίπτωσης της αρχικής διαδικασίας πολλαπλών εξόδων (π.χ AB = 10 στο σχήμα), και το άθροισμα των επιπτώσεων των εναλλακτικών ανεξάρτητων μονοπατιών που παράγουν λειτουργικά ισοδύναμα όλων των άλλων συμπροϊόντων (π.χ. Επίπτωση B' = 4).



Εικόνα 4.2: Προσέγγιση επέκτασης συστήματος για την αξιολόγηση συμπροϊόντων.

Η επέκταση συστήματος είναι η προτιμώμενη LCA προσέγγιση σύμφωνα με τις συστάσεις του ISO (ISO 14044, 2006), και συχνά υιοθετείται σε «επακόλουθες» LCA (όπου η έμφαση δίνεται στην αλλαγή σε επίπεδο συστήματος παρά σε μεμονωμένες μονάδες προϊόντος). Ωστόσο, η εφαρμογή αυτή δεν είναι απλή, καθώς συνεπάγεται ένα βαθμό υποκειμενικότητας στον καθορισμό των εναλλακτικών προϊόντων που μπορούν να θεωρηθούν λειτουργικά ισοδύναμα με κάθε συμπροϊόν. Επιπλέον, ακόμη και όταν μπορεί να εντοπιστεί ένα τέλειο προϊόν αντικατάστασης, όπως, για παράδειγμα, συμβαίνει για τη γλυκερίνη που προέρχεται από το πετρέλαιο ως ισοδύναμο της γλυκερίνης που παράγεται ως συμπροϊόν του βιοντίζελ, μπορεί να δημιουργηθούν ζητήματα κλίμακας τα οποία απαιτούν προσοχή. Σε αυτό το παράδειγμα που λαμβάνεται ως υπόθεση, έχει υποστηριχθεί ότι, ανάλογα με το σενάριο που εξετάζεται, μια μελλοντική μαζική αναβάθμιση της παραγωγής βιοντίζελ και γλυκερόλης μπορεί να οδηγήσει στον πρώιμο κορεσμό της αγοράς γλυκερίνης, μετά την οποία η τελευταία δεν θα είναι αποτελεσματικά σε θέση να αντικαταστήσει το ισοδύναμο που προέρχεται από πετρέλαιο, ακυρώνοντας έτσι την εγκυρότητα της θεωρητικής αρχής που στηρίζει την προσέγγιση επέκτασης του συστήματος (Ulgiati, 2001).

Όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής σε αυτή την εργασία, η προσέγγιση επέκτασης συστήματος χρησιμοποιείται στη μέθοδο JEC και επίσης είναι μία από τις διαθέσιμες επιλογές στο GREET.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προετοιμάζει επίσης τη μέθοδο για τον προσδιορισμό του μεριδίου των βιοκαυσίμων και του βιοαερίου που προκύπτει από την επεξεργασία της βιομάζας με ορυκτά καύσιμα σε μια κοινή διαδικασία, και τη μέθοδο για την αξιολόγηση της εξοικονόμησης αερίων του θερμοκηπίου από ανανεώσιμα υγρά και αέρια ανανεώσιμα καύσιμα μη βιολογικής προέλευσης (RFNBOs) και από ανακυκλωμένα καύσιμα άνθρακα (RCF). Η αναθεώρηση του RED II προτάθηκε ως μέρος του πακέτου Fit for 55 τον Ιούλιο του 2021 και περιλαμβάνει την εξέταση των RFNBO, αλλά επί του παρόντος, ενώ δηλώνει μια ελάχιστη εξοικονόμηση GHG, δεν υπάρχει η αντίστοιχη μεθοδολογία.

Για να πληρούνται οι προϋποθέσεις για τους στόχους της RED II, τα βιοκαύσιμα πρέπει να αποδεικνύουν συμμόρφωση με τη βιωσιμότητα και τα κριτήρια εξοικονόμησης εκπομπών GHG μέσω εθνικών συστημάτων επαλήθευσης ή εγκεκριμένα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή εθελοντικά συστήματα. Έχουν χρησιμοποιηθεί εργαλεία, όπως το BioGrace, για την επαλήθευση των υπολογισμών εξοικονόμησης εκπομπών GHG στη διαδικασία ελέγχου. Ωστόσο, το BioGrace δεν έχει ανανεωθεί πρόσφατα και επομένως δεν είναι σύμφωνο με τα κριτήρια βιωσιμότητας του RED II και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αποδειχθεί η συμμόρφωση.

Έχει ήδη καθιερωθεί η χρήση της RED II στον ναυτιλιακό τομέα. Θα αποτελέσει επίσης τη βάση της μεθόδου για την πιστοποίηση καυσίμων για την ένταση GHG WtT στους FuelEU ναυτιλιακούς κανονισμούς που προτάθηκε πρόσφατα από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή (η οποία περιλαμβάνει όλα τα καύσιμα μηδενικού άνθρακα και τη μέθοδο πρόωσης).

Παραγωγή Βιομάζας

• Η RED II ορίζει ότι τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να παράγονται από πρώτες ύλες που προέρχονται από προστατευόμενες περιοχές, εδάφη υψηλής βιοποικιλότητας και εκτάσεις με αποθέματα άνθρακα, συμπεριλαμβανομένων υγροτόπων, τυρφώνων, δασών.

• Επιπλέον, η RED II θέτει πρόσθετα κριτήρια για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου χρήσης δασικής βιομάζας που προέρχεται από μη βιώσιμη παραγωγή και για τη διασφάλιση της νομιμότητας των εργασιών συγκομιδής, την αναγέννηση των εκτάσεων συγκομιδής και τη διατήρηση του εδάφους και της μακροπρόθεσμης παραγωγικότητας των δασών.

• Επίσης, η RED II ορίζει ότι τα βιοκαύσιμα και η βιοενέργεια από δασικά υλικά πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις για το LULUCF (χρήση γης, αλλαγή χρήσης γης και δασοκομία).

Τελική απόδοση Βιομάζας

Οι μειώσεις των εκπομπών GHG που πρέπει να επιτευχθούν με τα βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές είναι τουλάχιστον :

• 50% για εγκαταστάσεις που ξεκίνησαν να λειτουργούν πριν από τις 5 Οκτωβρίου 2015,

• 60% για εγκαταστάσεις που ξεκίνησαν να λειτουργούν μετά τις 6 Οκτωβρίου 2015 και πριν από τις 31 Δεκεμβρίου 2020,

• 65% για εγκαταστάσεις που ξεκίνησαν να λειτουργούν από την 1η Ιανουαρίου 2021.

Επιπλέον, διαπιστώνει ότι οι εκπομπές GHG που εξοικονομούνται από ανανεώσιμα υγρά και αέρια καύσιμα μεταφοράς μη βιολογικής προέλευσης (όπως τα ηλεκτροκαύσιμα) πρέπει να είναι τουλάχιστον 70% από την 1η Ιανουαρίου 2020 – εάν χρησιμοποιούνται σε συμμόρφωση προς τους στόχους RED II.

Πίνακας 4.4: Κριτήρια αειφορίας και εξοικονόμησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στη RED II (άρθρο 29)

4.3.2 Μελέτη JEC (JRC-EUCAR-Concawe) Well to Wheels

Η μελέτη JEC (JRC-Eucar-Concawe) είναι μια συνεργασία μεταξύ τριών φορέων, του Κέντρου Ερευνών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (JRC), το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο για την Έρευνα & Ανάπτυξη της Αυτοκίνησης (EUCAR) και το Concawe. Ο απώτερος στόχος της JEC είναι να υποστηρίξει τη βιωσιμότητα της ευρωπαϊκής βιομηχανίας οχημάτων και πετρελαίου και να παράσχει στην ΕΕ πολιτικά ουδέτερα επιστημονικά δεδομένα.

Βασικός στόχος είναι η αξιολόγηση της χρήσης ενέργειας και των εκπομπών που σχετίζονται με τις τεχνολογίες κινητήρων και οχημάτων, τις ιδιότητες των καυσίμων και τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Αυτό αποδεικνύεται μέσα από τη μελέτη JEC WtW που παρέχει δεδομένα για περισσότερες από 250 διαδρομές πόρων προς καύσιμο και πάνω από 60 συνδυασμούς κινητήρων με αποτέλεσμα πάνω από 1.500 πιθανούς συνδυασμούς Η μελέτη ενημερώνεται τακτικά για να συμβαδίζει με την τεχνολογική εξέλιξη και την καινοτομία.

Η μελέτη παρουσιάζει τη χρήση ενέργειας και τα ισοζύγια GHG για τους διαφορετικούς συνδυασμούς καυσίμου και συστήματος μετάδοσης κίνησης. Δεν λαμβάνει υπόψη το ναυτιλιακό τομέα, αλλά η μέθοδος για την εκτίμηση των εκπομπών μπορεί να εφαρμοστεί με τον ίδιο τρόπο, ιδιαίτερα στην WtT. Το πεδίο της ανάλυσης καλύπτει το WtT και το TtW συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής καυσίμου, της μεταφοράς και διανομή και της χρήσης εντός του οχήματος.

4.3.3 Αέρια θερμοκηπίου, ρυθμιζόμενες εκπομπές και χρήση ενέργειας στο μοντέλο τεχνολογιών (GREET)

Το GREET είναι ένα απλοποιημένο εργαλείο μοντελοποίησης LCA με επίκεντρο τις ΗΠΑ, αυτόνομο και σε μεγάλο βαθμό αυτάρκες. Αναπτύχθηκε από το Argonne National Laboratory το 1999 (Argonne National Laboratory, 2021) για την ανάλυση μη συμβατικών οχημάτων – συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (HEV), των plug-in υβριδικών ηλεκτρικών οχημάτων (PHEV) και των ηλεκτρικών οχήματα με μπαταρία (BEV) – και καυσίμων μεταφορών. Με βάση την περιγραφή που έδωσε ο Argonne National Laboratory στον ιστότοπό του, το GREET είναι ένα συγκεκριμένο ολοκληρωμένο εργαλείο για μια γρήγορη και ρεαλιστική αξιολόγηση, που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί «για την εκτέλεση προσομοιώσεων ανάλυσης κύκλου ζωής εναλλακτικών καυσίμων μεταφοράς και τεχνολογιών οχημάτων σε λίγα κλικ". Σε συνέπεια με τον πρωταρχικό στόχο του, το GREET περιέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τις εκπομπές από όλα τα στάδια παροχής καυσίμου (Well-to-Tank) καθώς και από τη λειτουργία του οχήματος, συμπεριλαμβανομένων των πλοίων (Tank-to-Wake), οι οποίες είναι κατάλληλες για τον υπολογισμό των εκπομπών GHG ως προς ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα (CO2e), καθώς και της χρήσης πρωτογενούς ενέργειας και ενός περιορισμένου συνόλου ελεγχόμενων εκπομπών αέρα. Ωστόσο, δεν περιέχει αρκετές πληροφορίες για την αξιολόγηση των εκπομπών στο νερό και το έδαφος.

Συνολικά, το GREET είναι ευέλικτο, φιλικό προς το χρήστη και σχετικά ισχυρό ως αυτόνομη μέθοδος και καλύπτει τα περισσότερα χαρακτηριστικά που προσδιορίστηκαν για τους σκοπούς αυτής της εργασίας. Συγκεκριμένα, από τον Μάιο του 2021, η τελευταία κυκλοφορία του GREET (Argonne National Laboratory, 2021) περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων:

• μια διευρυμένη θαλάσσια μονάδα που θα περιλαμβάνει έξι μονοπάτια μεθανόλης για την παραγωγή της από φυσικό αέριο, βιομάζα, ανανεώσιμο φυσικό αέριο, άνθρακα και μαύρο υγρό

• μονοπάτια ηλεκτροκαυσίμων (e-fuels) που χρησιμοποιούν CO2 υψηλής καθαρότητας από την παραγωγή αιθανόλης με ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου χαμηλών εκπομπών άνθρακα

• μονοπάτια παραγωγής αμμωνίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα (δηλαδή πράσινη αμμωνία) που χρησιμοποιούν N2 από τεχνολογίες διαχωρισμού αέρα και H2 από ανανεώσιμες και βιομηχανικές πηγές υποπροϊόντων

• τέσσερα μονοπάτια για μείγματα βιοκαυσίμων που βελτιώνουν την απόδοση του κινητήρα για κινητήρες με ανάφλεξη σπινθήρα και μειώνουν τις εκπομπές του κινητήρα για κινητήρες ανάφλεξης συμπίεσης

• παραγωγή φυσικού αερίου από ανανεώσιμες πηγές μέσω αναερόβιας χώνευσης

• Συντελεστές εκπομπών άνθρακα του εδάφους που βασίζονται στην αλλαγή της χρήσης γης (LMC).

• Υπολογιστής Έντασης Άνθρακα Feedstock για τον υπολογισμό της έντασης άνθρακα σε επίπεδο αγροκτήματος του παραγόμενου καλαμποκιού ως πρώτη ύλη βιοαιθανόλης

• μονοπάτια για (συμ)παραγωγή ζωοτροφών, συμπεριλαμβανομένων σκευασμάτων σόγιαλευρου, καλαμποκιού, αποξηραμένους σε αποστακτήριο κόκκους με διαλυτά και συνθετικά αμινοξέα.

Ωστόσο, αναγνωρίζεται ότι το GREET είναι κατά τα άλλα σοβαρά περιορισμένο όσον αφορά την ικανότητά του να χρησιμοποιείται ως ένα πιο γενικό εργαλείο LCA για εφαρμογές εκτός του αρχικά καθορισμένου κύριου πεδίου εφαρμογής του.

Το GREET επιτρέπει διαφορετικές προσεγγίσεις για να ληφθούν υπόψη διεργασίες πολλαπλών εξόδων, επιτρέποντας την επέκταση του συστήματος ή κατανέμοντας μεταξύ των

παραπροϊόντων τη μάζα, την ενέργεια ή την αγοραία αξία (δηλαδή, οικονομική). Αυτό συμβαίνει γιατί είναι ένα μοντέλο που έχει σχεδιαστεί να είναι ευέλικτο και να επιτρέπει την εφαρμογή διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων. Αυτό το φέρνει σε πλήρη αντίθεση με τη RED II, η οποία αντ' αυτού προορίζεται ως ρυθμιστικό πρότυπο, και ως εκ τούτου προσδιορίζει όλες τις πτυχές της μεθόδου που πρέπει να εφαρμόζονται, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου κατανομής.

4.3.4 Πιστοποίηση άνθρακα ICAO CORSIA

Ο ICAO δημιούργησε την CORSIA το 2016. Τα επιλέξιμα CORSIA καύσιμα περιλαμβάνουν τα Καύσιμα Αειφόρου Αεροπορίας (SAF) και τα Καύσιμα Αεροπορίας Χαμηλότερου Άνθρακα (LCF). Μέχρι τώρα, οι λεπτομερείς οδηγίες (ICAO, 2021) και οι προεπιλεγμένοι συντελεστές εκπομπής κύκλου ζωής (ICAO, 2021) παρέχονται μόνο για ένα σύνολο οδών SAF, οι οποίες δεν περιλαμβάνουν ανανεώσιμα καύσιμα μη βιολογικής προέλευσης (RFNBO).

Τα εξεταζόμενα μονοπάτια είναι

1. Μονοπάτια Fischer-Tropsch (FT) από υπολείμματα γεωργίας/δασοκομίας και ξυλώδεις/λιγνοκυτταρινούχες καλλιέργειες
2. Μονοπάτια υδροεπεξεργασμένων εστέρων και λιπαρών οξέων (HEFA) από ελαιούχες καλλιέργειες και χρησιμοποιημένα μαγειρικά έλαια
3. Μονοπάτια συνθετικών ισοπαραφινών (SIP) από ζαχαροκάλαμα/ζαχαρότευτλα
4. Διαδρομές αλκοόλ από γεωργικά/δασικά υπολείμματα και καλαμπόκι/ζαχαροκάλαμο/ποτικές καλλιέργειες

Οι βασικές κατευθυντήριες αρχές της μεθόδου CORSIA:

1. Συμπεριλαμβάνουν τις εκπομπές GHG πέρα από το CO2. Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτο ότι οι εκπομπές μη CO2 από την εξάτμιση του αεροσκάφους εξαιρούνται λόγω ανησυχιών σχετικά με την ακρίβεια των μετρήσεων και των επιπτώσεων τους. Οι τελευταίες πηγές αβεβαιότητας δεν ισχύουν για τις εκπομπές των πλοίων, και γι' αυτό όλες οι άμεσες εκπομπές GHG, πρέπει να συμπεριληφθούν σε αυτη την εργασία.
2. Λαμβάνει μια προοπτική πλήρους κύκλου ζωής. Συγκεκριμένα, το πλαίσιο CORSIA καθιστά σαφές ότι δεν επιτρέπει αυτόματα σε όλα τα βιοκαύσιμα να έχουν μηδενικές εκπομπές CO2 στον κύκλο ζωής και περιλαμβάνει προεπιλεγμένους έμμεσους παράγοντες εκπομπής από την αλλαγή χρήσης γης για διάφορες καλλιέργειες.

Μια άλλη βασική πτυχή της μεθόδου CORSIA είναι ότι οι διαδικασίες πολλαπλών εκροών μοντελοποιούνται χρησιμοποιώντας κατανομή ενέργειας περιεχομένου για όλα τα συμπροϊόντα (εκτός από τις ροές αποβλήτων, στις οποίες εκχωρούνται μηδενικές επιπτώσεις).

Κεφάλαιο 5:

Περιπτώσεις Μελέτης

Αδαμαντία Ροδάκη

Χρησιμοποιούνται τρεις περιπτώσεις μελέτης καυσίμων για να δείξουμε πώς οι μέθοδοι και τα εργαλεία για την αξιολόγηση των εκπομπών GHG και άλλων κριτηρίων βιωσιμότητας (όπως διερευνώνται στην Ενότητα 3) θα μπορούσαν να λειτουργήσουν στην πράξη. Οι τέσσερις μέθοδοι και εργαλεία που προσδιορίζονται στην Ενότητα 4.3 έχουν εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση μελέτης για τον εντοπισμό των κενών, των αδυναμιών και των σημαντικών ευαισθησιών τους.

Όπου εντοπίστηκαν κενά, υπήρχαν δύο προσεγγίσεις. Πρώτον, όπου θα μπορούσε να θεωρηθεί το κενό ως ένα συνειδητό μέρος της διαδικασίας, για παράδειγμα η άμεση αλλαγή χρήσης γης, αλλά όχι της έμμεσης, η περίπτωση μελέτης αξιολογήθηκε αφήνοντας το κενό όπως εντοπίστηκε. Δεύτερον, όπου υπήρχαν κενά στα καύσιμα ή στα μονοπάτια που εξετάστηκαν με τη μέθοδο, όπως τη RED II η οποία δεν περιλαμβάνει τα μπλε καύσιμα ή την αμμωνία, έγιναν εύλογες υποθέσεις με βάση άλλα περιλαμβανόμενα μονοπάτια.

Οι περιπτώσεις μελέτης χρησιμοποιούνται για την κατανόηση και τη σύγκριση των μεθόδων και των εργαλείων που εφαρμόζονται στα καύσιμα της ναυτιλίας. Δεν αποτελούν οριστικές τελικές εκτιμήσεις της έντασης GHG των αξιολογούμενων καυσίμων.

5.1 Επιλογή Περιπτώσεων Μελέτης

Η επιλογή των κατάλληλων καυσίμων για τις περιπτώσεις μελέτης δεν ήταν απλή καθώς υπάρχει ένα ευρύ φάσμα πιθανών τύπων καυσίμων ή ενεργειακών φορέων που έχουν δυνατότητα εφαρμογής στον ωαυτιλιακό τομέα. Επίσης, τα περισσότερα καύσιμα έχουν πολλαπλές πορείες παραγωγής που θα μπορούσαν να υιοθετηθούν, με πολλές διαφορετικές απόψεις για την καταλληλότητα και τις δυνατότητές τους.

Ως εκ τούτου, εφαρμόστηκαν τα ακόλουθα βασικά κριτήρια για την επιλογή των περιπτώσεων μελέτης:

• Ο στόχος των περιπτώσεων μελέτης ήταν να αναδείξουν τις μεθόδους και τα εργαλεία και τις αποκλίσεις τους, παρά να εξερευνήσουν τα ίδια τα καύσιμα. Στην ιδανική περίπτωση, οι τρεις περιπτώσεις μελέτης θα πρέπει να λειτουργούν ως εργαλείο για τη μελέτη των κύριων διεργασιών και εκπομπών μελλοντικών ναυτιλιακών καυσίμων αντί να αντικατοπτρίζουν απαραίτητα τα πιο πιθανά καύσιμα (αν και τα καύσιμα που επιλέχθηκαν θα πρέπει να σχετίζονται με τον ναυτιλιακό τομέα).

• Ωστόσο, οι επιλεγμένοι τύποι καυσίμων θα πρέπει να είναι σχετικοί και κατάλληλοι για χρήση στο ναυτιλιακό τομέα σε σύντομο ή μεγάλο χρονικό διάστημα.

• Ενώ ένα υπάρχον ορυκτό καύσιμο όπως το HFO θα παρείχε μια ενδιαφέρουσα βάση, η σχετική φάση WtT θεωρήθηκε απίθανο να είναι μια καλή δοκιμή των μεθόδων και θεωρήθηκε ότι εκεί θα είχε μεγαλύτερη αξία η εστίαση στα μελλοντικά καύσιμα, δεδομένου ότι έχουν πιο περίπλοκη και διαφορετική παραγωγή.

• Για το LNG είχε ενδιαφέρον να αξιολογηθεί πώς, για παράδειγμα, η υγροποίηση, οι διαφυγόντες εκπομπές και η ολίσθηση μεθανίου λαμβάνονται υπόψη στις μεθόδους και τα εργαλεία. Η αντικατάσταση καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα όπως το e-LNG θα μπορούσε να είναι μια ελκυστική επιλογή για το LNG.

• Η ηλεκτρική ενέργεια θεωρήθηκε σημαντική για την ενέργεια από την ξηρά καθώς και για τις μπαταρίες. Επίσης, αν και λιγότερο ενδιαφέρον καθώς είναι μια οδός καυσίμου/ενέργειας από μόνη της, αποτελεί σημαντική απαίτηση για την «πράσινη» παραγωγή ηλεκτροκαυσίμων.

• Οι τρεις βασικοί δρόμοι καυσίμων που έπρεπε να καλυφθούν ήταν:

ο «Πράσινα» συνθετικά καύσιμα που συλλαμβάνουν τη σημασία του μείγματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας/ηλεκτρισμού και άνθρακα

ο «Μπλε» καύσιμα που βασίζονται στην παραγωγή ορυκτών καυσίμων με ολοκληρωμένες τεχνολογίες δέσμευσης άνθρακα στο Στάδιο WtT και

ο «Βιο» με προβληματισμούς για τις αλλαγές χρήσης γης ή/και τις ροές αποβλήτων

Με βάση αυτά τα κριτήρια, οι τύποι καυσίμου και οι οδοί παραγωγής του πράσινου συνθετικού μεθανίου (e-LNG), της μπλε αμμωνίας και του ανανεώσιμου καυσίμου ντίζελ από Υδρογονωμένο Φυτικό Έλαιο (HVO) συμφωνήθηκαν για τις περιπτωσεις μελέτης.

Εκτός από τα κριτήρια που καθορίστηκαν παραπάνω, τα καύσιμα αυτά επιλέχθηκαν για ρεαλιστικά σενάρια παραγωγής όπου υπάρχουν διαθέσιμα εύλογα δεδομένα, αν και δεδομένα για διαδικασίες χαμηλής ωριμότητας μπορεί να περιέχουν ακόμα κάποια αβεβαιότητα.

Κάθε μία από τις περιπτωσιολογικές μελέτες εισάγεται με τη σειρά της, περιγράφοντας την υποτιθέμενη ρεαλιστική πορεία παραγωγής. Περιλαμβάνονται συνδεδεμένες εκπομπές για όλα τα στοιχεία της διαδικασίας που περιγράφεται στην περίπτβση μελέτης.

Υπάρχει συνεχής συζήτηση, ιδιαίτερα στην Ευρώπη, σχετικά με την αρχή της προσθετικότητας της καυσίμων που παράγονται από ηλεκτρόλυση. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση της έντασης του άνθρακα της ηλεκτρικής ενέργειας, η μελέτη περίπτωσης για το e-LNG εκτελέστηκε με την ένταση άνθρακα ρυθμισμένη στο μηδέν για να αντικατοπτρίζει την περίπτωση όπου η ηλεκτρική ενέργεια θεωρείται ότι είναι «πλήρως ανανεώσιμη», με τιμή βάσης 20 gCO_2e/kWh (ρεαλιστική για το σενάριο την περίπτωση μελέτης) και υψηλή τιμή 40 gCO_2e/kWh.

Η επιλογή των καυσίμων της περίπτωσης μελέτης δεν συνεπάγεται ότι αυτά αναμένεται ούτε συνιστάται να είναι σημαντικά μελλοντικά ναυτιλιακά καύσιμα, απλώς και μόνο ότι αντιπροσωπεύουν πιθανά σενάρια διαδρομής καυσίμων που καλύπτουν το φάσμα των κριτηρίων όπως περιγράφεται παραπάνω. Η πιθανή διείσδυση διαφορετικών τύπων καυσίμου εξαρτάται από πολλούς άλλους παράγοντες, μεταξύ των οποίων το κόστος τους και τον ανταγωνισμό από άλλους τομείς.

Περίπτωση Μελέτης 1: Υγροποιημένο συνθετικό πράσινο μεθάνιο (e-LNG) από ηλεκτρόλυση με ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές και η Διαδικασία Sabatier (Μεθανίωση)

Η πρώτη περίπτωση μελέτης βασίζεται σε ένα εννοιολογικό μελλοντικό σενάριο όπου το συνθετικό μεθάνιο δημιουργείται σε μία εγκατάσταση παραγωγής καυσίμων στη Χιλή, υγροποιείται και εξάγεται στο λιμάνι του Callao στο Περού με πλοίο. Η Χιλή έχει σημαντική παραγωγή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που παρέχει ισχύ χαμηλού κόστους στη διαδικασία ηλεκτρόλυσης, παρέχοντας συνεπώς ένα εμπορικά ανταγωνιστικό συνθετικό μεθάνιο. Ο χειρισμός του συνθετικού μεθανίου γίνεται όπως στο μεθάνιο ορυκτών καυσίμων και είναι συμβατός με τη διαθέσιμη τεχνολογία κινητήρων εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, η διαδικασία παραγωγής βρίσκεται ακόμη υπό ανάπτυξη, ιδιαίτερα όταν προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας μέσω τεχνολογίας άμεσης σύλληψης αέρα. Αν και οι διαδικασίες είναι παρόμοιες, το μεθάνιο επιλέχθηκε έναντι άλλων καυσίμων συνθετικών υδρογονανθράκων για την περίπτωση μελέτης, λόγω της αέριας μορφής που είναι πιο δύσκολη να διαχειριστεί σε σχέση με τα υγρά καύσιμα. Ο κίνδυνος απελευθέρωσης διαφυγόντων εκπομπών αυξάνει την πολυπλοκότητα της περίπτωσης μελέτης και της συνάφειας της στις μεθόδους και τα εργαλεία.

Περιγραφή διαδικασίας

Το υδρογόνο παράγεται με ηλεκτρόλυση αφαλατωμένου θαλασσινού νερού και το διοξείδιο του άνθρακα προέρχεται από την ατμόσφαιρα χρησιμοποιώντας πλήρως ηλεκτρισμένη τεχνολογία άμεσης σύλληψης αέρα. Το διοξείδιο του άνθρακα διοχετεύεται από μικρή απόσταση στη μονάδα όπου συμπιέζεται στην πίεση που απαιτείται από τη διαδικασία Sabatier.

Το εργοστάσιο θεωρείται ότι είναι κάθετα ολοκληρωμένο και έχει σκοπό να μεγιστοποιήσει την απόδοση. Το υδρογόνο συνδυάζεται με το διοξείδιο του άνθρακα σε ένα εργοστάσιο που χρησιμοποιεί τη διαδικασία Sabatier για τη δημιουργία συνθετικού μεθανίου. Η θερμότητα παράγεται ως συμπροϊόν της διαδικασίας Sabatier. Υποτίθεται ότι χρησιμοποιείται σε γειτονική βιομηχανική επιχείρηση που διαφορετικά θα έκαιγε φυσικό αέριο για τις ανάγκες σε θερμότητα.

Το συνθετικό πράσινο μεθάνιο υγροποιείται επίσης για να αυξήσει την ογκομετρική ενεργειακή του πυκνότητα για αποθήκευση και μεταφορά. Δεδομένου ότι αυτό είναι ισοδύναμο με το κύριο συστατικό του Υγροποιημένου Φυσικού Αερίου (LNG), αλλά παράγεται από ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, μπορεί επίσης να αναφέρεται ως e-LNG και θα μπορούσε να είναι καύσιμο για τα πλοία που χρησιμοποιούν ήδη LNG. Το e-LNG φορτώνεται από το εργοστάσιο υγροποίησης σε μεγάλης κλίμακας φορείς e-LNG. Μόλις φτάσει στον προορισμό του, εκφορτώνεται σε ένα τερματικό ανεφοδιασμού. Το καύσιμο θεωρείται ότι χρησιμοποιείται σε κινητήρα εσωτερικής καύσης LNG Otto (με μέση ταχύτητα διπλού καυσίμου) με υποθετική θερμική απόδοση 50% (50% της χημικής ενέργειας από το καύσιμο μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια στον άξονα) και ολίσθηση μεθανίου 3,1% (σύμφωνα με το Παράρτημα II της αναθεώρησης του 2021 της Οδηγίας 2009/16/EC). Η αποτελεσματικότητα του πλοίου δεν λαμβάνεται υπόψη καθώς ποικίλλει σημαντικά από πλοίο σε πλοίο.

Όλες οι διαδικασίες στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφοδοτούνται από αποκλειστική ηλιακή ανανεώσιμη ενέργεια με υποτιθέμενο κύκλο ζωής έντασης άνθρακα 20 gCO_2e/kWh (υποθέτοντας ότι η παραγωγή πραγματοποιείται σε τοποθεσίες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Οι απώλειες διανομής ηλεκτρικής ενέργειας θεωρούνται 2,6%

Συγκεκριμένες υποθέσεις GREET

Για την οδό πράσινου μεθανίου, τα βήματα παραγωγής ήταν τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στις άλλες μεθόδους και εργαλεία (JEC WtW, REDII και CORSIA), και οι συντελεστές εκπομπής ελήφθησαν από το JEC WtW. Υπάρχει επιπλέον συντελεστής διαφυγόντων εκπομπών με τη μορφή διαρροής μεθανίου από το σταθμό LNG που περιλαμβάνεται στο GREET, ο οποίος δεν περιλαμβάνεται στις άλλες τρεις μεθόδους/εργαλεία. Αυτή η τιμή ελήφθη ως 0,051 g CH4/MJ (Babak Manouchehrinia, 2020). Οι συντελεστές επέκτασης του συστήματος για την ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο ελήφθησαν από τις τυπικές τιμές που παρέχονται από την κυβέρνηση του Ηνωμένου Βασιλείου (Department for Business, 2021).

Περίπτωση Μελέτης 2: Αμμωνία παραγόμενη από αμείωτη αναμόρφωση μεθανίου ατμού (SMR) και δέσμευση και απομόνωση άνθρακα (CCS) και η διαδικασία Haber-Bosch

Αυτή η περίπτωση μελέτης βασίζεται σε ένα εννοιολογικό μελλοντικό σενάριο όπου η αμμωνία δημιουργείται δίπλα στο λιμάνι του Hull στο το Ηνωμένο Βασίλειο σε Haber-Bosch εργοστάσιο που τροφοδοτείται με υδρογόνο που προέρχεται από μια μονάδα SMR που βρίσκεται στο κοντινό βιομηχανικό σύμπλεγμα απανθρακοποίησης, που πιθανώς βρίσκεται στο Immingham. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει δηλώσει την υποστήριξή του για υδρογόνο που παράγεται από αέριο της Βόρειας Θάλασσας μέσω της διαδικασίας SMR με τη διαδικασία CCS και αναμένεται ότι οι βιομηχανικές ομάδες απανθρακοποίησης θα επωφεληθούν από απευθείας αγωγούς σε εξαντλημένα κοιτάσματα φυσικού αερίου στη Βόρεια Θάλασσα για δέσμευση άνθρακα. Η παραγωγή αμμωνίας είναι μια καλά ανεπτυγμένη διαδικασία που χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία λιπασμάτων. Η χρήση αμμωνίας ως καύσιμο αποτελεί επί του παρόντος αντικείμενο έρευνας και ανάπτυξης, με τα πρώτα εμπορικά πλοία που χρησιμοποιούν αμμωνία ως καύσιμο να μην προβλέπεται να αποπλεύσουν πριν το 2024.

Περιγραφή διαδικασίας

Το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για τη διαδικασία SMR για τη δημιουργία υδρογόνου. Το αέριο θεωρείται ότι προέρχεται και κλιματίζεται σε πηγάδι αερίου στη Βόρεια Θάλασσα. Στη συνέχεια συμπιέζεται με ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται από μία τοπική γεννήτρια και παραδίδεται στο εργοστάσιο με υποθαλάσσιο αγωγό.

Η μονάδα SMR διαθέτει τεχνολογία δέσμευσης άνθρακα για την πρόληψη του 84% (Prussi, et al., 2020) του εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα από το να απελευθερωθεί στην ατμόσφαιρα. Το δεσμευμένο διοξείδιο του άνθρακα μεταφέρεται από υποθαλάσσιο αγωγό προς τα εξαντλημένα κοιτάσματα φυσικού αερίου της Βόρειας Θάλασσας για μόνιμη δέσμευση.

Το υδρογόνο διοχετεύεται από μικρή απόσταση σε λιμάνι όπου ένα εργοστάσιο Haber-Bosch το αντιδρά με άζωτο που προέρχεται από επιτόπιες μονάδες διαχωρισμού αέρα. Η απορριπτόμενη θερμότητα από το εργοστάσιο Haber-Bosch τροφοδοτεί μια γεννήτρια ατμού που παράγει αρκετή ηλεκτρική ενέργεια για τις ανάγκες της μονάδας. Η εύρεση ενός σκοπού για την υπόλοιπη σπατάλη θερμότητας θα μπορούσε να επιτρέψει να αντιμετωπίζεται ως συμπροϊόν. Σε αυτή την περίπτωση μελέτης, υποθέτουμε ότι δεν υπάρχει πρόσθετη απορρόφηση της θερμότητας και έτσι η θερμότητα απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η παραγόμενη αμμωνία υγροποιείται, αποθηκεύεται στο λιμάνι και είναι έτοιμη για ανεφοδιασμό. Το καύσιμο χρησιμοποιείται σε κινητήρα εσωτερικής καύσης με υποθετική θερμική απόδοση 48% με ολίσθηση N2O 20 g CO_2e ανά kWh.

Η ηλεκτρική ενέργεια για αυτές τις διεργασίες θεωρείται ότι προέρχεται από υπεράκτια αιολική ενέργεια με υποτιθέμενο κύκλο ζωής άνθρακα έντασης 15gCO_2e/kWh (Bouman, 2020).

Συγκεκριμένες υποθέσεις GREET

Τα βήματα της διαδικασίας για την μπλε αμμωνία στο GREET θεωρήθηκαν τα ίδια με τα βήματα της διαδικασίας των άλλων μεθόδων/εργαλείων, χρησιμοποιώντας τις τιμές από την JEC WtW, όπου είναι διαθέσιμες, και συμπληρώνοντας τες με δεδομένα επεξεργασίας για τη μετατροπή του υδρογόνου σε αμμωνία από τη Haber-Bosch (Pfromm, 2017).

Μελέτη περίπτωσης 3: Βιοντίζελ από HVO

Αυτή η περίπτωση μελέτης βασίζεται στην παραγωγή βιοντίζελ στις Μεσοδυτικές Πολιτείες των ΗΠΑ από σπόρους σόγιας, που παραδόθηκαν στο λιμάνι της Βιρτζίνια με φορτηγό. Η HVO είναι μια καλά ανεπτυγμένη διαδικασία παραγωγής και το βιοντίζελ είναι συμβατό με την υπάρχουσα τεχνολογία κινητήρων εσωτερικής καύσης. Συνεπώς, αυτή η περίπτωση μελέτης αντιπροσωπεύει μια βραχυπρόθεσμη επιλογή απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές για τη ναυτιλιακή βιομηχανία. Οι κινητήρες πλοίων θα είναι ικανοί να καίνε καύσιμα χαμηλότερης ποιότητας και χαμηλότερου κόστους όπως π.χ FAME, που θα μπορούσε να είναι μια εναλλακτική περίπτωση μελέτης. Η έκθεση JEC WtT δείχνει ότι το WtT για τα FAME και HVO είναι παρόμοια και επειδή η διαδικασία HVO έχει περισσότερα χαρακτηριστικά, επιλέχθηκε για τη δοκιμή των μεθοδολογιών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του βιοντίζελ από καλλιέργειες πρώτης γενιάς μπορεί να είναι εξαιρετικά μεταβλητές και είναι δύσκολο να αποτυπωθούν με ακρίβεια, λόγω της πολυπλοκότητας στον υπολογισμό των σχετικών εκπομπών και των επιπτώσεών τους στη χρήση γης και την προμήθεια τροφίμων. Αυτές οι πολυπλοκότητες κάνουν το βιοντίζελ HVO να είναι μια ενδιαφέρουσα περίπτωση μελέτης για την αξιολόγηση μεθόδων και εργαλείων υπολογισμού της βιωσιμότητας.

Τα βιοκαύσιμα δεν πρέπει να θεωρούνται ουδέτερα από άνθρακα. Ακόμη και όταν οι συναφείς βιογενείς εκπομπές άνθρακα έχουν ως αποτέλεσμα μια καθαρά μηδενική προσθήκη CO_2 στην ατμόσφαιρα, οι ανοδικές μη βιογενείς εκπομπές άνθρακα από την παραγωγή βιοκαυσίμων μπορεί να είναι σημαντικές – για παράδειγμα:

• Οι αλυσίδες εφοδιασμού βιοκαυσίμων (από τη συγκομιδή έως την επεξεργασία και την παράδοση) συνεπάγονται σχεδόν πάντα τη χρήση ορυκτών καυσίμων (και συνεπώς εκπομπές ορυκτών GHG), τόσο άμεσα όσο και έμμεσα για την παροχή λιπασμάτων, ζιζανιοκτόνων κ.λπ., ανά μονάδα παραδοθέντος βιοκαυσίμου. Κατ' αρχήν, εάν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) χρησιμοποιούνταν στην εφοδιαστική αλυσίδα αντί των ορυκτών καυσίμων, αυτές οι εκπομπές θα μπορούσαν να είναι χαμηλότερες (αν και ακόμη όχι μηδενικές, καθώς ακόμη και οι γεννήτριες ανανεώσιμων πηγών απαιτούν ορισμένα ορυκτά καύσιμα στις δικές τους αλυσίδες εφοδιασμού· ωστόσο, η πλήρης αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με ΑΠΕ σε όλα τα στάδια της εφοδιαστικής αλυσίδας δεν είναι ακόμη ρεαλιστική.

Ειδικά για βιοκαύσιμα ενεργειακών καλλιεργειών (π.χ. βιοαιθανόλη 1ης γενιάς και βιοντίζελ):

• Οποιαδήποτε μη αναστρέψιμη διάβρωση και οξείδωση του εδάφους συμβάλλει περαιτέρω στις εκπομπές GHG ανά μονάδα παραδιδόμενου βιοκαυσίμου.

• Οποιαδήποτε ανεξέλεγκτη επιτόπια αναερόβια αποδόμηση γεωργικών υπολειμμάτων από καλλιέργειες βιοκαυσίμων οδηγεί σε CH4 εκπομπές, οι οποίες έχουν πολύ μεγαλύτερο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη από το CO_2.

• Η μετατόπιση βιομάζας (αναφέρεται ως αλλαγή χρήσης γης - LUC) είναι συχνά μια περαιτέρω πηγή σημαντικών πρόσθετων εκπομπών GHG. Επιπλέον, οι απλές τιμές σε πίνακα ενδέχεται να μην το λάβουν υπόψη με ακρίβεια, ειδικά όταν ο στόχος της μελέτης είναι η εκτίμηση των μελλοντικών συνεπειών της μεγάλης κλίμακας ανάπτυξης βιοκαυσίμων, καθώς οι μελλοντικές εκπομπές LUC θα εξαρτηθούν στη συνέχεια από ποια βιομάζα θα εκτοπιστεί (Fargione J., 2008).

Πρόσθετα μεθοδολογικά ζητήματα:

• Ενώ τα βιοκαύσιμα 2ης γενιάς δεν προκαλούν τις εκπομπές GHG που αναφέρονται παραπάνω για τα βιοκαύσιμα ενεργειακών καλλιεργειών, εάν/όταν αναζητούνται απαντήσεις σχετικά με το εάν (ή τον βαθμό στον οποίο) τα βιοκαύσιμα 2ης γενιάς μπορεί να αντιπροσωπεύουν μια βιώσιμη στρατηγική «ουδέτερου άνθρακα» (ή ακόμα και «χαμηλών εκπομπών άνθρακα») σε μεγάλη κλίμακα, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ζήτημα της διαθεσιμότητας και στο εάν (ή ο βαθμός στον οποίο) μπορεί να αναμένεται να καλύψει τη ζήτηση για παραγωγή βιοκαυσίμων σε σημαντικές ποσότητες για να αντικαταστήσει τα συμβατικά καύσιμα.

• Όποτε ένα βιοκαύσιμο συνοδεύεται από εμπορεύσιμο συμπροϊόν (π.χ. βιοντίζελ + γλυκερίνη), οι μεθοδολογίες αξιολόγησης κύκλου ζωής και τα «αποτυπώματα άνθρακα» εκχωρούν μεταβλητά ποσοστά του συνολικού κύκλου ζωής των αερίων του θερμοκηπίουγια ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού στα δύο συμπροϊόντα, με βάση ότι και τα δύο μοιράζονται «ευθύνη» για τις εκπομπές (τα συγκεκριμένα ποσοτικά μερίδια ποικίλλουν ανάλογα με την επέκταση του συστήματος, ή την καταναομή με βάση τη μάζα, ή την οικονομική ή ενεργειακή κατανομή). Ωστόσο, ενώ αυτή είναι μια βιώσιμη μεθοδολογική προσέγγιση βραχυπρόθεσμα και κατά την προσέγγιση της ανάλυσης από μια απλή σκοπιά «απόδοσης», για άλλη μια φορά υπάρχει ο κίνδυνος ακούσιας αποτυχίας να αναγνωρίσει μια σιωπηρή αλλαγή στον ορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής όταν τα αποτελέσματα μιας μελέτης προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη μακροπρόθεσμων αποφάσεων πολιτικής σχετικά με το εάν (ή τον βαθμό στον οποίο) τα βιοκαύσιμα αντιπροσωπεύουν βιώσιμη στρατηγική «ουδέτερου άνθρακα» (ή ακόμα και «χαμηλών εκπομπών άνθρακα») σε μεγάλη κλίμακα. Στην πραγματικότητα, εάν/όταν η αγορά ενός συμπροϊόντος κορεστεί, τότε αυτό το συμπροϊόν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ροή αποβλήτων και ως εκ τούτου: (α) δεν θα πρέπει πλέον να μην του εκχωρείται κανένα ποσοστό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (δηλαδή, το σύνολο των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να εκχωρείται στο βιοκαύσιμο) και (β) οι περαιτέρω εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προκαλούνται από την απαραίτητη επεξεργασία θα πρέπει να εκτιμηθούν και επίσης να αποδοθούν εξ ολοκλήρου στο βιοκαύσιμο (το οποίο είναι το μοναδικό εμπορεύσιμο προϊόν).

Πίνακας 5.1: Σχετικά με την ουδετερότητα του άνθρακα των βιοκαυσίμων

Περιγραφή διαδικασίας

Η σόγια είναι η ακατέργαστη πρώτη ύλη για τη διαδικασία HVO και καλλιεργείται μέσω σύγχρονων γεωργικών διεργασιών σε μεγάλη κλίμακα. Η καλλιέργεια της σόγιας περιλαμβάνει σχετικές εκπομπές από το υλικό σποράς, τα λιπάσματα, τα φυτοφάρμακα, την εξουδετέρωση του εδάφους, τις εκπομπές αγρών και οχημάτων στο αγρόκτημα.

Οι σπόροι σόγιας μεταφέρονται από το αγρόκτημα σε μια μονάδα επεξεργασίας όπου ξηραίνονται, θρυμματίζονται και αποστάζονται για την παραγωγή ενός ακατέργαστου σογιέλαιου. Το υδρογόνο που παράγεναι με τη διαδικασία της αμείωτης αναμόρφωσης μεθανίου ατμού (SMR) φυσικού αερίου χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του οξυγόνου με αποτέλεσμα να παράγεται ένα λάδι που στη συνέχεια διυλίζεται σε προϊόντα καυσίμου με παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των ορυκτών καυσίμων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας HVO παράγεται ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα παραπροϊόντος που θεωρείται ότι χρησιμοποιουνται από μια κοντινή βιομηχανία που διαφορετικά θα χρησιμοποιούσε ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό αέριο από το δίκτυο αντίστοιχα. Οι ζωοτροφές σόγιας που παράγονται με τη διαδικασία HVO ως υποπροϊόν πωλούνται στις αγορές ζωοτροφών. Το καύσιμο χρησιμοποιείται σε κινητήρα εσωτερικής καύσης με υποθετική θερμική απόδοση 52% και εκπομπές σύμφωνα με το Παράρτημα II της αναθεώρησης του 2021 της Οδηγίας 2009/16/EC.

Η ηλεκτρική ενέργεια για διεργασίες θεωρείται ότι προέρχεται από την ξηρά αιολική ενέργεια με υποτιθέμενο κύκλο ζωής άνθρακα έντασης 12,5 gCO_2e/kWh (Bouman, 2020).

Συγκεκριμένες υποθέσεις GREET

Σύμφωνα με τη διαδικασία Υδρογονωμένου Φυτικού Ελαίου (HVO) η εφαρμογή του GREET έχει χρησιμοποιήσει τον μετρητή άνθρακα του μοντέλου αλλαγής χρήσης γης για χρήση γης και διαχείριση γης από αλλαγή χρήσης για την παραγωγή βιοκαυσίμων (CCLUB). Αυτό οφείλεται στην οικιακή, άμεση και έμμεση αλλαγή χρήσης γης. Τα επιλεγμένα πεδία αλλαγής χρήσης γης που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία HVO φαίνονται στον Πίνακα 5.2 παρακάτω.

Πεδίο	Διαδικασία
Υπόθεση βιοντίζελ απο σόγια	Soy Biodiesel_CARB case 8
Σενάριο Μοντελοποίησης Εγχώριων Εκμπομπών	Century
Σενάριο Μοντελοποίησης Παγκόσμιων Εκμπομπών	Winrock
Σενάριο συγκομισμένου προϊόντος ξύλου (HWP)	0 HWP
Πρακτική άροσης για παραγωγή καλαμποκιού	Conventional Till
Συντελεστής αναλογίας δασών	Οχι

Πίνακας 5.2: Πεδία αλλαγής χρήσης γης

Η υπόθεση για την υποκατάσταση της ζωοτροφής μέσω της οδού HVO προήλθε από το JEC WtW. Η ζωοτροφή με άλευρα σόγιας που παράγεται από την οδό HVO υποκαθιστά το ξηρό καλαμπόκι.

5.2 Αξιολόγηση των μεθόδων/εργαλείων υπολογισμού εκπομπών GHG

Ένα σημαντικό αποτέλεσμα αυτής της εργασίας είναι η ανασκόπηση και σύγκριση των μεθόδων και εργαλείων WtW. Λόγω της πολυπλοκότητας τόσο των μεθόδων/εργαλείων όσο και των λεπτομερειών των καυσίμων που επιλέχθηκαν, αυτές συνοψίζονται σε μορφή πινάκων, ένας για κάθε καύσιμο. Αυτοί οι πίνακες παρέχουν μια ένδειξη για το αν το στάδιο παραγωγής καυσίμου εξετάζεται από κάθε μέθοδο (εάν περιλαμβάνεται, εμφανίζεται ως πράσινο, εάν εξαιρείται εμφανίζεται ως κίτρινο) και δείχνουν πού υπάρχουν διαφορές (εμφανίζονται ως γκρι). Όπου εντοπίζονται διαφορές, αυτές συζητούνται λεπτομερέστερα στην Ενότητα 5.3.

Περιλαμβάνεται	
Εξαιρείται	
Διαφορά	

Πράσινο Μεθανιο

Παραγωγή υδρογόνου Πηγή εκπομπής	Περιγραφή	REDII	JEC	GREET	CORSIA
Ηλιακή Ενέργεια	Παράγοντας Κύκλου Ζωής Άνθρακα 20 gCO_2e/kWh				
Διανομή	Απώλειες κατά τη διανομή				
Αφαλάτωση & Ηλεκτρόλυση	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				

Μεθανίωση (διαδικασία Sabatier) Πηγή εκπομπής					
Απορρόφηση CO_2 μέσω Άμεσης Σύλληψη αέρα	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				
Συμπίεση CO_2	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				
Σύνθεση συνθετικού φυσικού αερίου	Πρώτες ύλες CO_2 για τη διαδικασία Sabatier				
	Πρώτες ύλες H_2 για τη διαδικασία Sabatier				
	Πλεόνασμα θερμότητας				
Διανομή πλοίων (LNG) Πηγή εκπομπής					
Υγροποίηση φυσικού αερίου	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				
	Φλεγόμενο φυσικό αέριο				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4				
Τερματικό φόρτωσης Υγροποιημένου φυσικού αερίου (LNG)	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				
	Αέριο για τερματικό φόρτωσης				
Θαλάσσια μεταφορά LNG	Απόσταση				
	Εξάτμιση φυσικού αερίου				
	HFO για πρόωση				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4				
	Εκπομπές N_2O				
Σταθμός εκφόρτωσης LNG	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 gCO_2e/kWh				
	Αέριο για τερματικό εκφόρτωσης				
Ανεφοδιασμός LNG	Παράδοση υγροποιημένου φυσικού αερίου, χειροκίνητος εξαερισμός, αέριο βρασμού από τη δεξαμενή, συνεχής σταθμός, δεξαμενή καυσίμου, ακροφύσιο καυσίμου				
Πρόωση Πηγή εκπομπής					
Αποδοτικότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης	50% θερμική απόδοση καυσίμου προς άξονα				
Εκπομπές TTW από τη μηχανή	CO_2, CH_4, N_2O Εκπομπές καύσης				

Πινακας 5.3: Σύγκριση μεθόδων/εργαλείων για το πράσινο μεθάνιο

Για την πλειονότητα της παραγωγής πράσινου μεθανίου, οι μέθοδοι/εργαλεία είναι πανομοιότυπα (Πίνακας 5.3). Η RED II και η CORSIA χρησιμοποιούν μια προσέγγιση απόδοσης

και επιλέγουν την κατανομή με βάση την ενέργεια για το πλεόνασμα θερμότητας, ενώ η JEC και το GREET χρησιμοποιούν μια επακόλουθη προσέγγιση και δεν χρησιμοποιούν κατανομή, επιλέγοντας την επέκταση του συστήματος. Τέλος, σε αντίθεση με όλες τις άλλες μεθόδους, η RED II δεν περιλαμβάνει εκπομπές TtW.

Περιλαμβάνεται
Εξαιρείται
Διαφορά

Μπλε αμμωνία

Παραγωγή υδρογόνου Πηγή εκπομπής	Περιγραφή	REDII	JEC	GREET	CORSIA
Εξόρυξη φυσικού αερίου	Ενέργεια ως Φυσικό Αέριο				
	Εκπομπές CO_2				
	Εκπομπές διαφυγής CH4				
Μεταφορά με αγωγό φυσικού αερίου εντός ΕΕ	Συμπιεστές που τροφοδοτούνται από φυσικό καύσιμο αερίου				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4 από συμπιέση				
	Εκπομπές N_2O από συμπίεση				
	Συγκεκριμένη ενέργεια Συμπίεσης				
	Απόσταση				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4 από τους αγωγούς				
SMR & CCS	Πρώτες ύλες φυσικού αερίου				
	Εκπομπές CO_2				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4				
Διαδικασία Haber-Bosch Πηγή εκπομπής					
Αγωγός H2	Αγωγός μικρής απόστασης από μονάδα SMR				
Συμπίεση συνθετικού αερίου	Ατμός από τη γεννήτρια ψύξης Haber-Bosch για να τροφοδοτήσει τη συμπίεση				
Διαδικασία Haber-Bosch	Εξώθερμη αντίδραση, αμελητέες εκπομπές εκκίνησης. Η γεννήτρια ατμού καλύπτει τις απαιτήσεις ισχύος.				
Μονάδα διαχωρισμού αέρα	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 15 gCO_2e/kWh				
Συμπύκνωση NH3	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 15 gCO_2e/kWh				
Διανομή αγωγού Πηγή εκπομπής					

Αποθήκευση αμμωνίας	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 15 gCO_2e/kWh				
Ανεφοδιασμός αμμωνίας	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 15 gCO_2e/kWh				
Πρόωση Πηγή εκπομπής					
Αποδοτικότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης	48% θερμική απόδοση καυσίμου προς άξονα				
Εκπομπές TTW από τη μηχανή	CO_2, CH_4, N_2O Εκπομπές καύσης				

Πινακας 5.4: Σύγκριση μεθόδων/εργαλείων για την μπλε αμμωνία

Όπως και με το πράσινο μεθάνιο, για τα περισσότερα στάδια, όλες οι μέθοδοι/εργαλεία είναι πανομοιότυπες για την μπλε αμμωνία (Πίνακας 5.4). Όπως και με το πράσινο μεθάνιο, η RED II δεν περιλαμβάνει εκπομπές TtW. Η RED II και η CORSIA επί του παρόντος δεν περιλαμβάνουν μεθόδους για να λαμβάνονται υπόψη οι επιπτώσεις του CCS, οι οποίες είναι σαφώς σχετικές με το μπλε καύσιμα. Ωστόσο, αναμένεται ότι αν ένα καύσιμο έχει επιπτώσεις CCS, οι τιμές αυτές θα μπορούσαν εύκολα να ενσωματωθούν. Αν και αυτά τα καύσιμα δεν περιλαμβάνονται στη RED II, θεωρείται χρήσιμο να δημιουργηθούν λογικές επεκτάσεις στη RED II ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Περιλαμβάνεται
Εξαιρείται
Διαφορά

HVO

Καλλιέργεια Πηγή εκπομπής	Περιγραφή	REDII	JEC	GREET	CORSIA
Καλλιέργεια	Ενσωματωμένες εκπομπές λιπασμάτων: άζωτο, φώσφορο, κάλιο και ασβέστιο				
	Ενσωματωμένες εκπομπές φυτοφαρμάκων				
	Ενσωματωμένες εκπομπές υλικού σποράς				
	Diesel				
	Εκπομπές CH_4				
	CO_2 από την εκμετάλλευση του εδάφους				
	N_2O Εκπομπές πεδίου				
	Diesel				

Τοπικές μεταφορές σόγιας εντός ΕΕ	Εκπομπές CH4				
	N2O Εκπομπές				
Ξήρανση ελαιούχων σπόρων 13%	Φασόλια σε τοπικό ελαιουργείο: Ξήρανση κόκκων σόγιας (13%), αποθήκευση και διακίνηση				
	Φυσικό αέριο				
	Υγροποιημένο αέριο πετρελαίου				
Ξήρανση ελαιούχων σπόρων 11%	Φυσικό αέριο				
Εγχώρια Αλλαγή χρήσης γης (LUC)	Περίπτωση Βιοντίζελ απο Σόγια				
Άμεση Αλλαγή χρήσης γης	Σενάριο Μοντελοποίησης Εσωτερικών Εκπομπών				
Έμμεση Αλλαγή χρήσης γης	Σενάριο Μοντελοποίησης Διεθνών Εκπομπών				
Παραγωγή υδρογόνου Πηγή εκπομπής					
Εξόρυξη φυσικού αερίου	Φυσικό αέριο				
	Εκπομπές CO_2				
	Εκπομπές Διαφυγής CH_4				
SMR Υδρογόνου	Πρώτες ύλες φυσικού αερίου				
	Εκπομπές CO_2				
	Εκπομπές διαφυγής CH_4				
Διαδικασία HVO Πηγή εκπομπής					
Παραγωγή ακατέργαστου λαδιού	Απόδοση ακατέργαστου λαδιού				
	Τροφοδοσία Σόγιας				
	Θερμότητα Διαδικασίας				
	Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στα 12.5 gCO_2e/kWh				
	n-Hexane				
	Εκπομπές CO_2				
	Μείωση εκπομπών από υποκατάσταση ζωοτροφών. Υποκατάστατα γεύματος: ξερό καλαμπόκι				
Υδρογόνωση λαδιού	Απόδοση HVO				
	Υδρογόνο				
	Φωσφορικό οξύ - H3PO4				
	Υδροξείδιο του νατρίου - NaOH				
	Μείωση εκπομπών από πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας				

	Μείωση εκπομπών από πλεόνασμα θερμότητας με βάση την εναλλακτική παραγωγή με φυσικό αέριο καύσης με απόδοση 90%.				
Διανομή με Φορτηγό Πηγή εκπομπής					
	Diesel				
	Εκπομπές CH4				
Τοπική Μεταφορά	N2O Εκπομπές				
Πρόωση Πηγή εκπομπής					
Αποδοτικότητα του συστήματος μετάδοσης κίνησης	52% θερμική απόδοση καυσίμου προς άξονα				
Εκπομπές TTW από τη μηχανή	CO_2, CH_4, N_2O Εκπομπές καύσης				

Πινακας 5.5: Σύγκριση μεθόδων/εργαλείων για την HVO

Ο Πίνακας 5.5 δείχνει ότι και πάλι, οι μέθοδοι/εργαλεία αντιμετωπίζουν πολλά από τα στάδια της διαδικασίας με τον ίδιο τρόπο για το HVO. Οι κύριες διαφορές είναι ότι η JEC δεν εξετάζει την αλλαγή χρήσης γης και η RED II εξετάζει μόνο την άμεση αλλαγή χρήσης γης. Η αλλαγή χρήσης γης αναλύεται λεπτομερέστερα στην Ενότητα 5.3.2. Όπως φαίνεται στη διαδικασία για το πράσινο μεθάνιο, η JEC και η GREET χρησιμοποιούν επέκταση του συστήματος όταν ασχολούνται με παραπροϊόντα (π.χ. ζωοτροφές, ηλεκτρική ενέργεια και θερμότητα), ενώ οι άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούν κατανομή με βάση την ενέργεια. Σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι, διαφορετικές αριθμητικές υποθέσεις και δεδομένα εισόδου. Όπου είναι δυνατόν, έχουν χρησιμοποιηθεί κοινοί αριθμοί στους υπολογισμούς των περιπτώσεων μελέτης, για να διασφαλιστεί ότι τυχόν διαφορές στη μεθοδολογία δεν καλύπτονται από διαφορές στα δεδομένα εισόδου.

5.3 Ανάλυση για τις διαφορές μεταξύ μεθόδων/εργαλείων

5.3.1 Χειρισμός διαδικασιών πολλαπλών εκροών και παραπροϊόντων

Μία από τις βασικές διαφορές μεταξύ των τεσσάρων επιλεγμένων μεθόδων και εργαλείων είναι ο τρόπος με τον οποίο χειρίζονται τις διαδικασίες πολλαπλών εκροών και συμπροϊόντων. Σε γενικές γραμμές, η πρώτη μεθοδολογική διάκριση που πρέπει να γίνει είναι αυτή μεταξύ των προσεγγίσεων «επέκτασης συστήματος» και «κατανομής». Αυτό είναι ένα σύνθετο θέμα που είναι το αντικείμενο πολλών μελετών.

Η επέκταση συστήματος είναι η προτιμώμενη προσέγγιση LCA σύμφωνα με τις συστάσεις του ISO (ISO 14044, 2006), και συχνά υιοθετείται σε «επακόλουθες» LCA (όπου η έμφαση δίνεται στην αλλαγή σε επίπεδο συστήματος παρά σε μεμονωμένες μονάδες προϊόντος). Ωστόσο, η εφαρμογή του δεν είναι απλή, καθώς συνεπάγεται ένα βαθμό υποκειμενικότητας στον καθορισμό των εναλλακτικών προϊόντων που μπορούν να θεωρηθούν λειτουργικά ισοδύναμα με κάθε συμπροϊόν. Η προσέγγιση επέκτασης συστήματος χρησιμοποιείται στη μέθοδο JEC και είναι επίσης μία από τις διαθέσιμες επιλογές στο GREET.

Η εναλλακτική προσέγγιση για την αξιολόγηση συμπροϊόντων είναι η κατανομή, με την οποία γίνεται προσπάθεια να εκχωρηθούν (δηλ. να κατανεμηθούν) διαφορετικά ποσοστά των εισροών και των εκροών, και συνεπώς των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, της λειτουργίας μιας διαδικασίας πολλαπλών εκροών στα διάφορα συμπροϊόντα. Τα ποσοστά μπορούν να προσδιοριστούν με βάση διαφορετικές παραμέτρους· κατανομή με βάση τη μάζα, ενεργειακή και οικονομική κατανομή χρησιμοποιούνται όλες ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης, το στόχο και το εύρος της αξιολόγησης. Ενώ η μάζα και η ενέργεια είναι καλά καθορισμένα φυσικά μεγέθη, η οικονομική κατανομή εξαρτάται από τις αντίστοιχες αγοραίες αξίες των ροών συμπροϊόντων, που μπορεί συχνά να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Η κατανομή με βάση την ενέργεια χρησιμοποιείται στις μεθόδους REDII και CORSIA, ενώ και η ενεργειακή και η οικονομική κατανομή είναι διαθέσιμες επιλογές στο GREET.

Για τα περισσότερα καύσιμα πλοίων και τα συμπροϊόντα τους, η φυσική κατανομή (και ειδικότερα με βάση την ενέργεια) θα μπορούσε να είναι η καταλληλότερη προσέγγιση σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου τα συμπροϊόντα είναι επίσης ενεργειακοί φορείς. Εξαίρεση σε αυτό μπορεί να αποτελούν αλυσίδες εφοδιασμού βιοκαυσίμων που συνεπάγονται τη συμπαραγωγή συμπαραγωγών καυσίμων και μη καυσίμων (στην περίπτωση της μελέτης περίπτωσης HVO σόγιας, τα προϊόντα είναι τα καύσιμα HVO και οι ζωοτροφές): η υιοθέτηση της οικονομικής κατανομής μπορεί να είναι προτιμότερη για να αντικατοπτρίζει καλύτερα τη διαφορά μεταξύ ενός κύριου προϊόντος υψηλής ενεργειακής αξίας από τη μία πλευρά και ένα συμπροϊόν χαμηλότερης αξίας ή το αντίστροφο.

5.3.2 Αλλαγή Χρήσης Γης

Η αλλαγή χρήσης γης μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως άμεση (DLUC) ή έμμεση (ILUC) αλλαγή χρήσης γης. Η DLUC εμφανίζεται όταν η καλλιέργεια της πρώτης ύλης βιοκαυσίμων έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της χρήσης γης στη γη όπου καλλιεργείται, δηλαδή όταν η καλλιέργεια της πρώτης ύλης εκτοπίζει την προηγούμενη διαφορετική χρήση γης. Η ILUC, αντίθετα, περιλαμβάνει μια αλλαγή στη χρήση γης εκτός της περιοχή καλλιέργειας της πρώτης ύλης που προκαλείται από αλλαγές στη χρήση ή την ποσότητα παραγωγής της πρώτης ύλης. Επομένως, καλλιέργειες που προηγουμένως παράγονταν σε μια δεδομένη περιοχή πρέπει τώρα να

καλλιεργηθούν αλλού για να ανταποκριθούν στη ζήτηση, με αποτέλεσμα την έμμεση μετατροπή της γης. Ως εκ τούτου, η "έμμεση" LUC αναφέρεται συχνά ως "επαγόμενη" LUC (Scarlat & Dallemand, 2019).

RED II

Η RED II εισήγαγε όρια στα βιοκαύσιμα, τα βιορευστά και τα καύσιμα βιομάζας υψηλής ILUC. Επιπλέον, η RED-II περιγράφει υπολογιστικές μεθόδους για τον υπολογισμό των GHG επιπτώσεων των βιοκαυσίμων, των βιορευστών και των καυσίμων βιομάζας και συγκρίνει με τις αντίστοιχες επιπτώσεις των ορυκτών καυσίμων. (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018).

Προκειμένου οι οικονομικοί παράγοντες να δείξουν συμμόρφωση με τη RED II, αναπτύχθηκε το εργαλείο υπολογισμού GHG BioGrace II με βάση το Excel, ειδικά για τον υπολογισμό των εκπομπών GHG για την ηλεκτρική ενέργεια, τη θερμότητα και την ψύξη από βιομάζα. Το BioGrace-II ακολουθεί το BioGrace-I το οποίο είναι σύμφωνο με τα κριτήρια βιωσιμότητας τον κανονισμό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (2009/28/EC, RED) αλλά δεν συνάδει με τη RED-II καθώς οι προεπιλεγμένες και τυπικές τιμές του είναι πλέον ξεπερασμένες. Παρά ταύτα, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 115 της RED-II, ο υπολογισμός των GHG επιδράσεων της μετατροπής γης, οι οποίες αναφέρονται λεπτομερώς στις κατευθυντήριες γραμμές που δημοσιεύθηκαν στην απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής στις 10 Ιουνίου 2010, δεν έχουν ακόμη αναθεωρηθεί (BioGrace, 2021).

Οι ετήσιες εκπομπές από τη LUC υπολογίζονται ως μεταβολή των αποθεμάτων άνθρακα από τη χρήση γης αναφοράς, που αναφέρεται στη χρήση γης τον Ιανουάριο του 2008 ή 20 χρόνια πριν από τη λήψη της πρώτης ύλης, σε σύγκριση με την πραγματική χρήση γης. Οι κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν μεθόδους για τον υπολογισμό τέτοιων αποθεμάτων άνθρακα που ευθυγραμμίζονται με τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC για εθνικές απογραφές αερίων θερμοκηπίου, καθώς και τυπικές τιμές για πιθανούς συνδυασμούς κλίματος και εδάφους. Η διαφορά στα αποθέματα άνθρακα, μετρημένη σε τόνους άνθρακα ανά μονάδα έκτασης, στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με την παραγωγικότητα της καλλιέργειας για να δώσει γραμμάρια ισοδύναμου CO_2 ανά μονάδα ενέργειας βιοκαυσίμων (megajoules) (BioGrace, 2021).

Επιπλέον, αποδίδεται ένα σημαντικό μπόνους 29 g CO_2e/MJ στην εξοικονόμηση εκπομπών, εάν προσκομιστούν αποδεικτικά στοιχεία ότι η γη δεν χρησιμοποιήθηκε για γεωργία πριν από τον Ιανουάριο του 2008 ή ότι τέτοια γη έχει υποβαθμιστεί σοβαρά (BioGrace, 2021). Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι το παράρτημα VIII της RED-II παρέχει προσωρινές εκτιμώμενες εκπομπές ILUC για δημητριακά και άλλες καλλιέργειες πλούσιες σε άμυλο, σάκχαρα και ελαιώδεις καλλιέργειες. Ωστόσο, αυτό θεωρείται ότι είναι μηδέν για τις πρώτες ύλες που οδήγησαν σε άμεση αλλαγή χρήσης γης, συγκεκριμένα, «αλλαγή από μία από τις ακόλουθες κατηγορίες: δασικές εκτάσεις, λιβάδια, υγρότοποι, οικισμοί ή άλλη γη, σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις ή πολυετείς καλλιέργειες. Σε τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να έχει υπολογιστεί μια άμεση τιμή εκπομπών από την αλλαγή χρήσης γης σύμφωνα με το σημείο 7 του μέρους Γ του Παραρτήματος V», όπως περιγράφεται παραπάνω (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2018).

GREET

Το CCLUB αντιπροσωπεύει ένα αναπόσπαστο μέρος του μοντέλου GREET, που υπολογίζει τις εκπομπές άνθρακα από την αλλαγή χρήσης γης (LUC) και αλλαγή διαχείρισης γης (LMC) για μια σειρά από καύσιμα, συμπεριλαμβανομένου του βιοντίζελ που παράγεται από σόγια. Ως εκ τούτου, το CCLUB του GREET βασίζεται σε έναν αριθμό πηγών δεδομένων που τροφοδοτούν τον υπολογισμό των GHG εκπομπών.

Το CCLUB βασίζεται σε σενάρια παραγωγής βιοκαυσίμων, σενάρια LUC και LMC και σε παράγοντες εκπομπών για τον υπολογισμό των GHG εκπομπών σε γραμμάρια ισοδυνάμου διοξειδίου του άνθρακα (CO_2e) ανά MJ παραγόμενου καυσίμου. Το Πρόγραμμα Ανάλυσης Παγκόσμιου Εμπορίου (Global Trade Analysis Project - GTAP) παρέχει εκτιμήσεις της εγχώριας έκτασης των Ηνωμένων Πολιτειών και της διεθνούς γης που μετατρέπεται από έναν από τους τέσσερις τύπους χρήσεων γης σε έναν άλλο, δηλαδή δάσος, λιβάδι, βοσκότοπος, και εκτάσεις πρώτης ύλης. Το CCLUB περιλαμβάνει αποτελέσματα GTAP από εννέα σενάρια βιοκαυσίμων, με κάθε σενάριο να αντικατοπτρίζει τις διακυμάνσεις στην οικονομία ως αποτέλεσμα της αύξησης της ζήτησης για ένα συγκεκριμένο βιοκαύσιμο.

Η περιοχή που άλλαξε ως αποτέλεσμα της αλλαγής της γης στη συνέχεια πολλαπλασιάζεται με τους αντίστοιχους παράγοντες εκπομπών, οι οποίοι συγκεντρώνονται ή αναλύονται ανάλογα την περίπτωση από μια σειρά χωρικών καλύψεων. Για εγχώριες LUC εκπομπές, οι συντελεστές εκπομπής άνθρακα του εδάφους παράγονται χρησιμοποιώντας το παραμετροποιημένο μοντέλο CENTURY και τα υπέργεια δεδομένα περιεκτικότητας σε άνθρακα προέρχονται από τον διαδικτυακό εκτιμητή άνθρακα. Το CENTURY λύνεται μέσα από ένα μοντέλο μη γραμμικής παλινδρόμησης και είναι καλά αναπτυγμένο για καλλιεργήσιμες εκτάσεις, λιβάδια και δάση, καθιστώντας το ικανό να προσομοιώσει αλλαγές γης που ενσωματώνονται στο πλαίσιο της GTAP μοντελοποίησης. Οι διεθνείς συντελεστές εκπομπών υπολογίζονται κυρίως από το σύνολο δεδομένων Winrock, καθώς και από το σύνολο δεδομένων Woods Hole. Καθε σύνολο δεδομένων παρέχει παράγοντες εκπομπών σε επίπεδο χώρας που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες μεταξύ άλλων πηγών, και παρέχουν διαφορετικές εκτιμήσεις που προκύπτουν από ορισμένες παραλλαγές στους ορισμούς και το πεδίο εφαρμογής (Harris, Brown, Hagen, Baccini, & Houghton, 2012).

CORSIA

Η μέθοδος CORSIA αναλύει τον κατάλογο εκπομπών σε δύο βασικά στοιχεία: τις εκπομπές του «βασικού» κύκλου ζωής (που αντιστοιχούν στην πλήρη εφοδιαστική αλυσίδα παραγωγής και χρήσης καυσίμων) και τις εκπομπές από την προκαλούμενη αλλαγή χρήσης γης. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του «βασικού» κύκλου ζωής, υιοθετείται μια προσέγγιση αξιολόγησης απόδοσης του κύκλου ζωής (A-LCA), η οποία περιλαμβάνει:

• Την αλλιέργεια πρώτων υλών.
• Τη συγκομιδή, συλλογή και ανάκτηση πρώτης ύλης.
• Την επεξεργασία και εξόρυξη πρώτης ύλης.
• Τη μεταφορά πρώτης ύλης σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας και παραγωγής καυσίμων.
• Τις Διαδικασίες μετατροπής πρώτης ύλης σε καύσιμο.
• Τη μεταφορά και διανομή καυσίμων. και την καύση καυσίμου σε κινητήρα αεροσκάφους.

Αντίθετα, για τους υπολογισμούς ILUC, συνιστάται μια επακόλουθη προσέγγιση LCA (C-LCA), σύμφωνα με την οποία λαμβάνεται υπόψη η αναμενόμενη μετατόπιση της καλλιέργειας / αλλαγή χρήσης γης. Συγκεκριμένα, όπως εξήγησε ο Rehmatulla et al. (2020), στην CORSIA, «για την εκτίμηση των εκπομπών ILUC ενός καυσίμου, χρησιμοποιήθηκαν δύο μοντέλα - το GTAP-BIO (Taheripour, Hertel, Tyner, Beckman, & Birur, 2008) και το GLOBIOM (Ecofys-IIASA-E4tech, 2015). Αυτά τα δύο μοντέλα έχουν διαφορετικές δομές, κατηγορίες γης, σύνολα δεδομένων, παραμέτρους και παράγοντες εκπομπών που επομένως οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Για να προσδιοριστούν οι προεπιλεγμένες τυπικές τιμές εκπομπής ILUC, όταν η διαφορά μεταξύ των δύο αναλύσεων εμπίπτει στο επίπεδο ανοχής μετά την εναρμόνιση των δεδομένων και των υποθέσεων, λαμβάνεται ως προεπιλεγμένη τιμή το μέσο μεταξύ των δύο

αποτελεσμάτων. Όταν αυτό δεν συμβαίνει, λαμβάνεται η χαμηλότερη από τις δύο τιμές των μοντέλων συν ένα συντελεστή προσαρμογής 4,45 gCO_2e/MJ (που αντιστοιχεί στο μισό του επιπέδου ανοχής)» (Rehmatulla, et al., 2020).

JEC

Η αλλαγή χρήσης γης δεν λαμβάνεται υπόψη στην προσέγγιση JEC. Ενώ η σημασία της LUC στον υπολογισμό των επιπτώσεων των βιοκαυσίμων στην κλιματική αλλαγή και οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να έχει στα τελικά στοιχεία, η LUC δεν έχει ληφθεί υπόψη στην προσέγγιση JEC λόγω των υψηλών αβεβαιοτήτων στη μέθοδο υπολογιμού.

Ως εκ τούτου, προσδιορίζονται αρκετοί βασικοί τομείς αβεβαιότητας. Πρώτον, μια μεγάλη διακύμανση σε πιθανή εκπομπές άμεσης LUC (DLUC) είναι πιθανή ανάλογα με τη συγκεκριμένη γη που μετατρέπεται, με διαφορετικές μεθόδους. Επιπλέον, ένα πολύπλοκο χαρακτηριστικό των εκπομπών αλλαγής χρήσης γης, είναι ότι συμβαίνουν σε μια χρονική περίοδο αφού έχει ξεκινήσει η διαδικασία μετατροπής γης. Όσον αφορά την ILUC, οι εκπομπές είναι εγγενώς δύσκολο να ληφθούν υπόψη, καθώς είναι αδύνατο να προσδιοριστεί τι θα είχε συμβεί αν δεν εισαχθούν τα βιοκαύσιμα (Prussi, et al., 2020).

Σύνοψη προσεγγίσεων αλλαγής χρήσης γης

Οι εκπομπές από την αλλαγή χρήσης γης είναι μια καθοριστική παράμετρος για τον υπολογισμό των εκπομπών του κύκλου ζωής των καυσίμων, παρά τις σημαντικές αβεβαιότητες που σχετίζονται με την εκτίμησή τους και τη μεταβλητότητα των αποτελεσμάτων των διαφορετικών μεθόδων. Παρά την αβεβαιότητα και, κατά συνέπεια, τα λιγότερο ακριβή αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένης της LUC, οι εκτιμήσεις μπορεί να κάνουν τα αποτελέσματα πιο ακριβή και αντιπροσωπευτικά για το σύστημα που μελετήθηκε (Brandao, Azzi, Novaes, & Cowie, 2021) (Prussi, et al., 2020). Πράγματι, όπως περιγράφεται στην ενότητα 5.4.3, υπάρχουν σημαντικές διακυμάνσεις στα αποτελέσματα για το στάδιο WtT της HVO μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων λόγω της διαφορετικότητάς στην προσέγγιση για τις εκπομπές LUC.

Από τις τέσσερις μεθόδους και εργαλεία που εξετάζονται εδώ, το JEC είναι ξεκάθαρα αυτό που ξεχωρίζει για την παραμέληση όλων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από την αλλαγή χρήσης γης. Κατά συνέπεια, πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά την ερμηνεία του αποτελέσματος που παράγονται κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου, δεδομένου ότι σημαντικές συνεισφορές στον συνολικό υπολογισμό άνθρακα του καυσίμου μπορεί να χαθούν. Διαφορετικά καύσιμα επηρεάζονται σε διάφορους βαθμούς από αυτή την παράλειψη, και ως εκ τούτου η σχετική κατάταξη των ανταγωνιστικών καυσίμων μπορεί να καταλήξει να είναι ανακριβής και δυνητικά παραπλανητική.

Και οι τρεις υπόλοιπες μέθοδοι/εργαλεία περιλαμβάνουν κατ' αρχήν εκπομπές αλλαγής χρήσης γης, αλλά εξακολουθούν να διαφέρουν ανάλογα με τα συγκεκριμένα μοντέλα και τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή τους.

• Η RED II είναι η λιγότερο ενημερωμένη μέθοδος όσον αφορά τα δεδομένα LUC και κάνει επίσης κάποια απλούστευση των παραδοχών, οι οποίες είναι πιθανό να οδηγήσουν σε υποεκτίμηση των σχετικών εκπομπών.

• Οι GREET και CORSIA φαίνεται να είναι οι πιο εμπεριστατωμένες και πιθανώς ακριβείς μέθοδοι στην αξιολόγησή τους για τις εκπομπές LUC ρύπων. Και οι δύο χρησιμοποιούν το μοντέλο GTAP που έχει αναπτυχθεί στις ΗΠΑ και γενικά θεωρείται επαρκές.

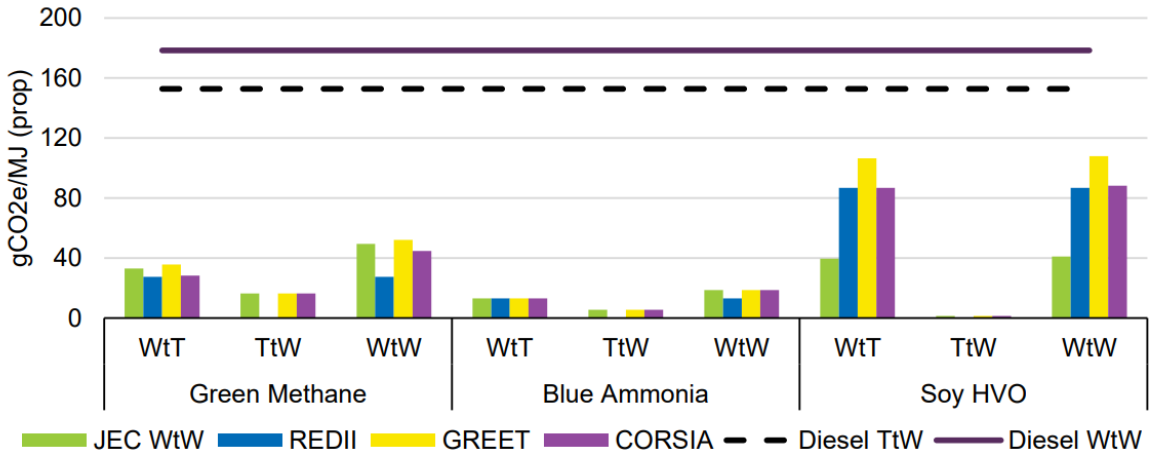
• Η CORSIA χρησιμοποιεί επίσης ένα δεύτερο μοντέλο (GLOBIOM), και στη συνέχεια ακολουθεί την προσέγγιση της επιλογής της χαμηλότερης ILUC τιμής μεταξύ των δύο μοντέλων (συν έναν

συντηρητικό συντελεστή προσαρμογής) όταν αυτά αποκλίνουν περισσότερο από 8,9 gCO_2e/MJ. Αυτή η τελευταία προσέγγιση έχει αμφισβητηθεί, με βάση ότι η χαμηλότερη τιμή μπορεί να είναι απλώς το αποτέλεσμα υπερβολικά αισιόδοξων εκτιμήσεων των τιμών ILUC σε ένα από τα μοντέλα (Rehmatulla, et al., 2020).
Συνολικά, υπό το φως της αναπόφευκτης αβεβαιότητας που συνεπάγονται τέτοιες εκτιμήσεις, αναμφισβήτητα η καλύτερη στρατηγική θα μπορούσε να είναι η χρησιμοποίηση της μέσης τιμής από αυτές που παρέχονται από το GTAP και το GLOBIOM.

5.4 Αποτελέσματα περιπτώσεων μελέτης

Τα δεδομένα TtW (ή σε αυτήν την περίπτωση από τη δεξαμενή προς τον άξονα, όπως εξηγείται στην Ενότητα 2.2.1) υπολογίστηκαν για κάθε καύσιμο όπως περιγράφεται από τις επιλεγμένες μεθόδους και εργαλεία. Σημειώνεται ότι για να συγκριθούν απευθείας οι μεθόδους/εργαλεία, χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό σύνολο παραγόντων εκπομπής ανά στάδιο διαδρομής όπου ήταν δυνατόν. Αυτά βασίστηκαν σε μεγάλο βαθμό στους συντελεστές JEC WtW, με την προσθήκη συντελεστών αλλαγής χρήσης γης από τη Biograce. Αυτό αφαιρεί οποιαδήποτε διαφορά στη μέθοδο ή τις βάσεις δεδομένων του εργαλείου και επιτρέπει την εστίαση στις διαφορές στα στοιχεία των μεθόδων/εργαλείων και όχι στις προεπιλεγμένες τιμές και παραδοχές. Επομένως, τα αποτελέσματα που εμφανίζονται εδώ μπορεί να διαφέρουν από τις διαδρομές που υπολογίζονται για αυτές τις μεθόδους χρησιμοποιώντας τυπικές προεπιλογές.

Το σχήμα 5-1 δείχνει μια επισκόπηση των αποτελεσμάτων των περιπτώσεων μελέτης, σε σύγκριση με μια βασική γραμμή εκπομπών TtW από έναν πλασματικό μεγάλο 2χρονο θαλάσσιο κινητήρα που λειτουργεί με HFO. Σημειώνεται ότι όλα τα σχέδια περιλαμβάνουν την επίδραση του συστήματος θερμικής απόδοσης μετάδοσης κίνησης– με άλλα λόγια, για ένα 50% αποδοτικό σύστημα μετάδοσης κίνησης, οι εκπομπές ανά MJ καυσίμου θα είναι διπλάσιες για να υπολογιστούν οι εκπομπές ανά MJ έργου.



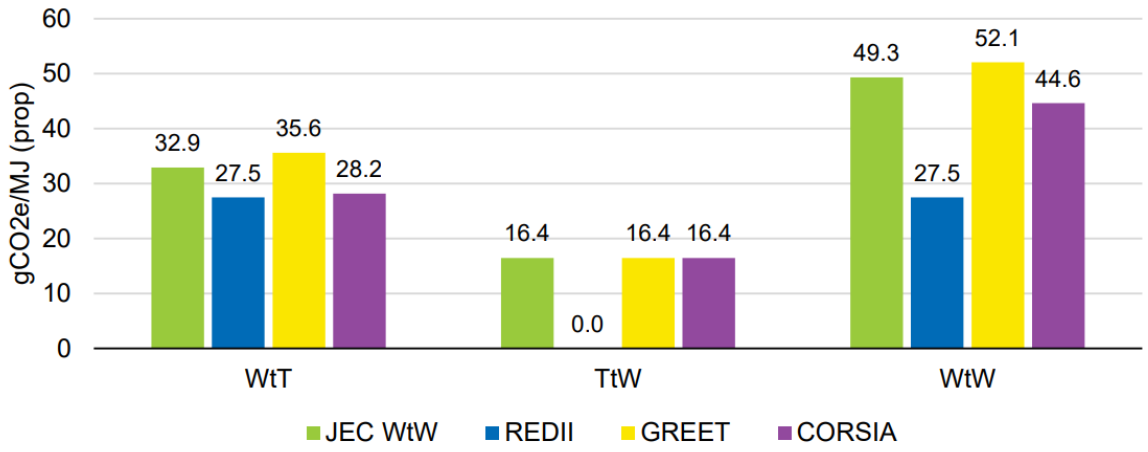
Εικόνα 5.1: Σύγκριση των περιπτώσεων μελέτης

Ενώ υπάρχουν κάποιες σημαντικές διαφορές στα αποτελέσματα των περιπτώσεων μελέτης από μέθοδο σε μέθοδο, όλες οι WtW εκπομπές για τα καύσιμα που μελετήθηκαν φαίνεται να είναι χαμηλότερες από τις WtW εκπομπές (με βάση τον παράγοντα CO_2 και τις TtW εκπομπές (Comer,

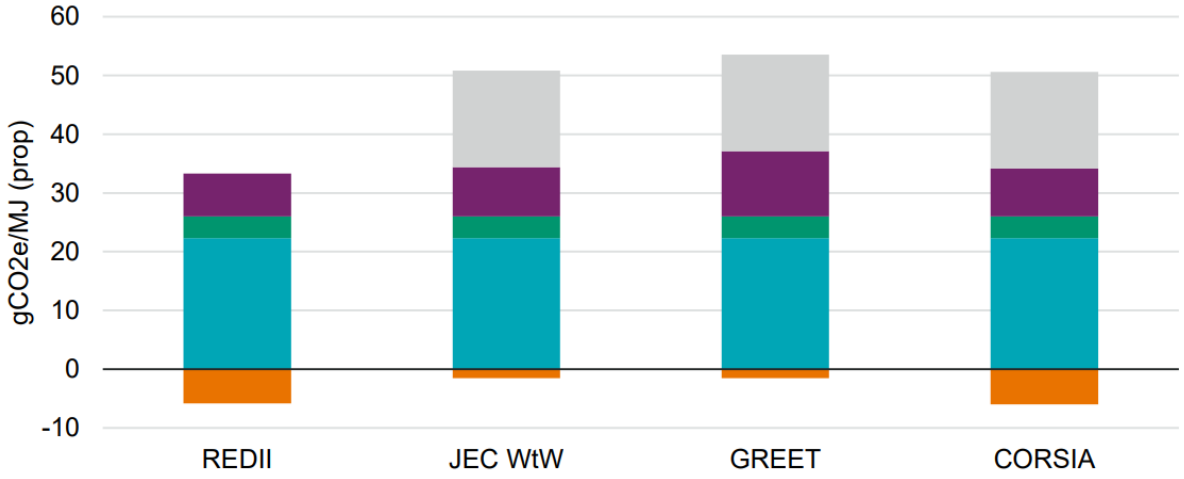
Osipova, & ICCT, 2021)) ενός πλασματικού μεγάλου θαλάσσιου 2χρονο κινητήρα που λειτουργεί με παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα με θερμική απόδοση 52%. Παρά τις ομοιότητες στις μεθόδους που συζητήθηκαν στην Ενότητα 4.2, σε ορισμένες περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι δραματικά διαφορετικά – οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό θα συζητηθούν στις επόμενες ενότητες.

5.4.1 Πράσινο Μεθάνιο

Τα λεπτομερή αποτελέσματα για το πράσινο μεθάνιο φαίνονται στην Εικόνα 5-2.



Εικόνα 5.2: Αναλυτική Σύγκριση των αποτελεσμάτων για το πράσινο μεθάνιο



Εικόνα 5.3: Ανάλυση των WtW αποτελεσμάτων για το πράσιο μεθάνιο ανάλογα με τη φάση

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα από τα παραπάνω σχημάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα ευρήματα:

• Οι WtT εκπομπές είναι σχετικά χαμηλές, εν μέρει λόγω της σχετικά χαμηλής έντασης άνθρακα της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, αντανακλώντας το καλό ηλιακό δυναμικό

για την παραγωγή στη Χιλή. Επιπλέον, οι μέθοδοι δίνουν πλεονάζουσα θερμότητα στην παραγωγή. Η πίστωση θερμότητας εμφανίζεται ως μέσο απόδειξης της μεθόδου, παρά ως μια ακριβής περιγραφή του σεναρίου.

• Για το WtT στάδιο της παραγωγής πράσινου μεθανίου, οι REDII και CORSIA καταλήγουν στο ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει επειδή δεν υπάρχει αλλαγή χρήσης γης στην παραγωγή πράσινου μεθανίου, και οι REDII και CORSIA έχουν την ίδια μέθοδο κατανομής συμπροϊόντων (με βάση την ενέργεια). Αυτές οι δύο μέθοδοι διαφέρουν από τα JEC και GREET που χρησιμοποιούν επέκταση συστήματος.

• Η προσέγγιση επέκτασης συστήματος για την αξιολόγηση συμπροϊόντων (JEC και GREET) έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο ποσοστό των εκπομπών που αποδίδεται στο πράσινο μεθάνιο σε σύγκριση με το ενεργειακή μέθοδο κατανομής. Αυτό σημαίνει ότι τα JEC και GREET έχουν υψηλότερες WtT εκπομπές για το πράσινο μεθάνιο σε σύγκριση με τις REDII και CORSIA.

• Ενώ όλες οι μέθοδοι και τα εργαλεία περιλαμβάνουν διαρροή μεθανίου κατά μήκος της οδού παραγωγής, μόνο το GREET περιλαμβάνει διαρροή από το τερματικό εκφόρτωσης LNG, το χειροκίνητο εξαερισμό, το αέριο βρασμού στη δεξαμενή, το συνεχή σταθμό, τη δεξαμενή καυσίμου, το ακροφύσιο καυσίμου.

• Οι εκπομπές CO_2 κατά την καύση μηδενίζονται με τις μεθόδους/εργαλεία, αφού υποτίθεται εξισορροπούνται από τον άνθρακα που συλλαμβάνεται από τον αέρα για να δημιουργηθεί το μεθάνιο. Επομένως, οι μόνες TtW εκπομπές που εξετάζονται είναι από ολίσθηση μεθανίου κατά την καύση. Σημειώνεταθ ότι για ένα μελλοντικό καύσιμο που χρησιμοποιεί δεσμευμένες βιομηχανικές εκπομπές CO_2, υπάρχουν προκλήσεις σχετικά με την κατανομή για τον εκπομπή CO_2, είτε πρόκειται για τις αρχικές βιομηχανικές εκπομπές είτε για το πλοίο που χρησιμοποιεί το συνθετικό καύσιμο. Αυτές οι προκλήσεις είναι ευρύτερες από το θαλάσσιο τομέα, συμπεριλαμβανομένων των κυβερνητικών και διεθνών πολιτικών γύρω από την ευθύνη για τις τελικές εκπομπές CO_2

• Οι μέθοδοι και τα εργαλεία δείχνουν τις ίδιες TtW εκπομπές, με εξαίρεση τη REDII

ο Η RED II δεν περιλαμβάνει TtW εκπομπές CO_2, CH_4 ή N_2O για βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές (η RED II υποθέτει ότι οι εκπομπές CO_2 είναι μηδενικές). Σημειώνεται ότι η RED II περιλαμβάνει εκπομπές CH_4 και N_2O μόνο για βιορευστά. Τα βιορευστά ορίζονται στη RED ως βιοκαύσιμα που χρησιμοποιούνται μόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή θερμότητας, όχι για μεταφορές.

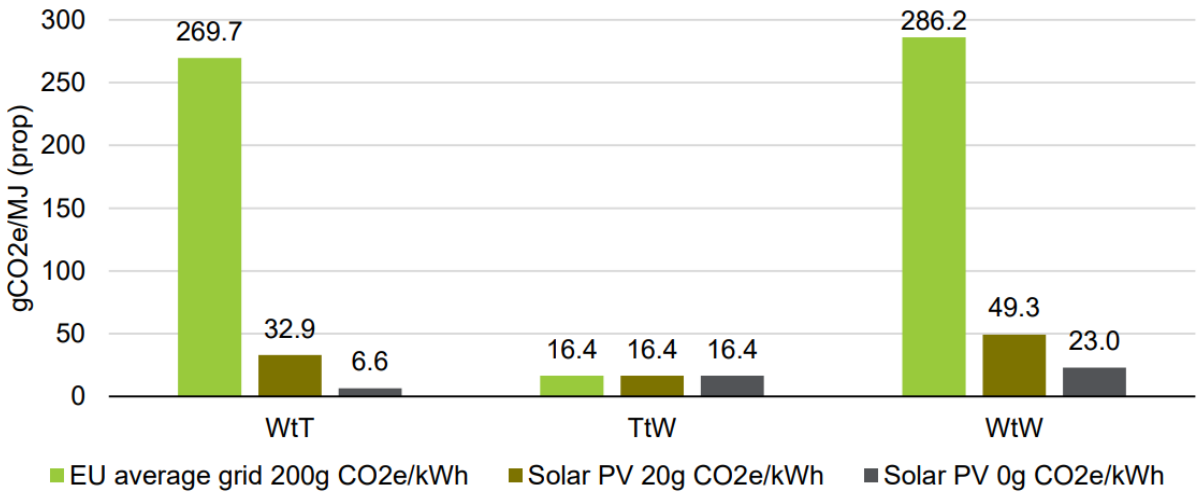
Η ένταση του άνθρακα της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου έχει σημαντικές επιπτώσεις στις συνολικές WtW εκπομπές του καυσίμου, ιδιαίτερα για συνθετικά ηλεκτροκαύσιμα όπου η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική. Υπάρχει συνεχής συζήτηση, ιδιαίτερα στην ΕΕ σχετικά με την προσθετικότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας για τα ηλεκτροκαύσιμα. Είναι επίσης πιθανό ότι στο μέλλον πολλοί ηλεκτρολύτες θα χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια από νεόδμητη αποκλειστική ηλιακή ή αιολική εγκατάσταση. Επομένως, είναι χρήσιμο να διερευνηθούν τα αποτελέσματα των εκπομπών του κύκλου ζωής από την ηλεκτρική ενέργεια προς το καύσιμο που παράγεται από αυτή, ιδιαίτερα μιας και αυτές οι εκπομπές θα μπορούσαν να είναι στην πραγματικότητα ο μεγαλύτερος συντελεστής στις WtW εκπομπές του καυσίμου (διαφορετικά θα ήταν σχεδόν μηδενικές, ανεξάρτητα από τη μεθοδολογία που επιλέχθηκε).

Προκειμένου να δειχθεί η επίδραση της έντασης του δικτύου στις WtW εκπομπές, το σχήμα 5-4 παρουσιάζει μια σύντομη ανάλυση ευαισθησίας για το πράσινο μεθάνιο (χρησιμοποιώντας τη μέθοδο JEC WtW), μεταβάλλοντας την υποτιθέμενη ένταση άνθρακα του δικτύου όπως παρακάτω:

• Ηλεκτρική ενέργεια δικτύου κατάλληλη για την ΕΕ σε 200g CO_2e/kWh.

• Ηλιακά Φωτοβολταικά Συστήματα σε περιοχές υψηλής ακτινοβολίας (2.300 kWh/(m2*έτος)) – 20 g CO_2e/kWh, αντίστοιχα με το παράδειγμα της Χιλής που χρησιμοποιήθηκε για την περίπτωση μελέτης. (Solar PV 20 g CO_2e/kWh)

• Δίκτυο «μηδενικών εκπομπών» ή «πλήρως ανανεώσιμων πηγών», δηλαδή 0g CO_2e/kWh. (Solar PV 0 g CO_2e/kWh)

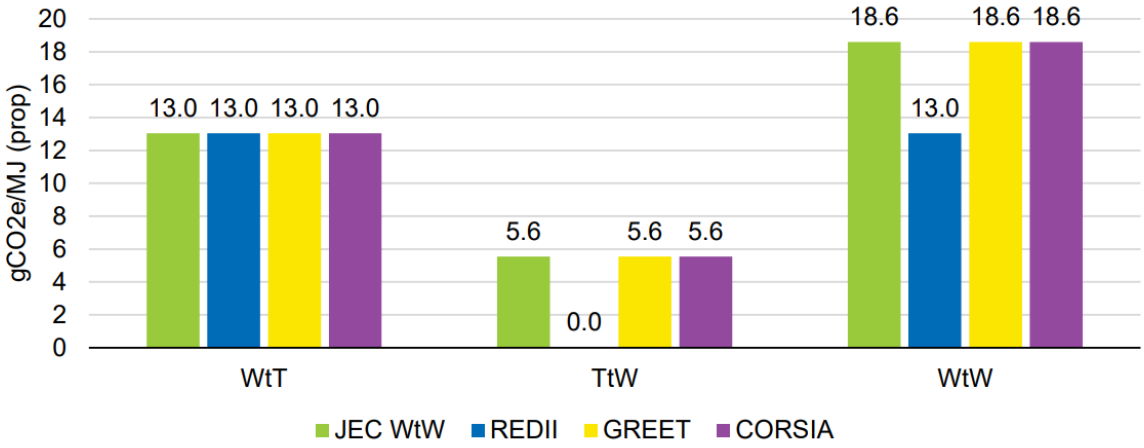


Εικόνα 5.4: Ανάλυση ευαισθησίας της οδού καυσίμου πράσινου μεθανίου WtT, TtW και WtW με βάση την ένταση GHG της ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου (χρησιμοποιώντας τη μέθοδο JEC WtW)

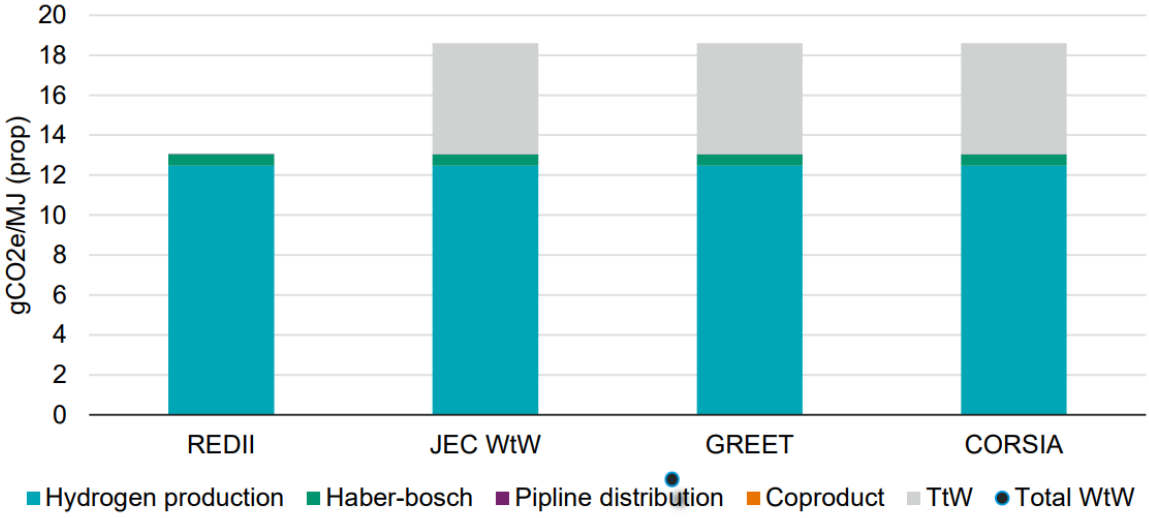
Είναι σαφές από αυτή την απλή περίπτωση, ότι η επιλογή της έντασης άνθρακα της ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζει άμεσα τις WtW εκπομπές. Στην πραγματικότητα, το e-LNG που παράγεται από την ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου στα 200g CO_2e/kWh έχει ~50% υψηλότερες WtW εκπομπές από τα ορυκτά καύσιμα. Επομένως, εάν αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιηθούν στο μέλλον για ρυθμιστικούς ή φορολογικούς σκοπούς, θα χρειαστεί να υπάρχει προσοχή στις αποφάσεις που λαμβάνονται ως προς την κατανομή των εκπομπών του πραγματικού κόσμου σε οποιοδήποτε δεδομένο καύσιμο. Αυτό μπορεί να ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση της ηλεκτρικής ενέργειας όπου η πραγματική πηγή της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας θα μπορούσε να είναι δυνητικά πολύπλοκη να καθοριστεί.

5.4.2 Μπλε Αμμωνία

Τα λεπτομερή αποτελέσματα για το πράσινο μεθάνιο φαίνονται στην Εικόνα 5-5.



Εικόνα 5.5: Αναλυτική Σύγκριση των αποτελεσμάτων για την μπλε αμμωνία



Εικόνα 5.6: Ανάλυση των WtW αποτελεσμάτων για την μπλε αμμωνία ανάλογα με τη φάση

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα από τα παραπάνω σχημάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα ευρήματα:

• Η αμμωνία έχει χαμηλές WtT εκπομπές λόγω του υδρογόνου που παράγεται από SMR με CCS (με υπόθεση απόδοσης 73,3%, σύμφωνα με τη μέθοδο JEC). Για στάδια που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια, υποτίθεται μια ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια έντασης άνθρακα 15 gCO_2e/kWh (από υπεράκτιο αέρα, κάτι που είναι λογικό για το επιλεγμένο σενάριο Ηνωμένου Βασιλείου). Ο μεγαλύτερος παράγοντας στις WtT εκπομπές προέρχεται από την ολίσθηση CO_2 κατά τη διάρκεια της διαδικασίας CCS (59%).

Για την επιλεγμένη διαδικασία (JEC GPCH2bC), οι εκπομπές δεν είναι υπερβολικές. Αυτό μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικό για τη μπλε αμμωνία που παράγεται σε λιγότερο ελεγχόμενες περιοχές και μπορεί να αποτελεί την «καλύτερη περίπτωση» για την μπλε αμμωνία.

• Για την παραγωγή αμμωνίας δεν υπάρχει αλλαγή χρήσης γης ή συμπροϊόντος, και επομένως όλες οι μέθοδοι και τα εργαλεία καταλήγουν στην ίδια τιμή για τη WtT.

ο Εάν υπάρχουν συμπροϊόντα, όπως θερμότητα από τη διαδικασία Haber-Bosch, τότε τα αποτελέσματα θα διαφέρουν, όπως φαίνεται στις περιπτώσεις μελέτης για το πράσινο μεθάνιο και την HVO.

ο Σημειώνεται ότι προς το παρόν, ενώ το JEC και το GREET περιλαμβάνουν CCS, η RED II και η CORSIA δεν το κάνουν ρητή αναφορά στο CCS. Το CCS έχει συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς για αυτές τις μεθόδους/εργαλεία, αφού θεωρείται ότι οι ρυθμιστικές αρχές δεν θα απέρριπταν τη δέσμευση άνθρακα για μεθοδολογικούς λόγους, εάν ο προμηθευτής καυσίμων παρουσιάσει ένα μπλε καύσιμο για διαπίστευση.

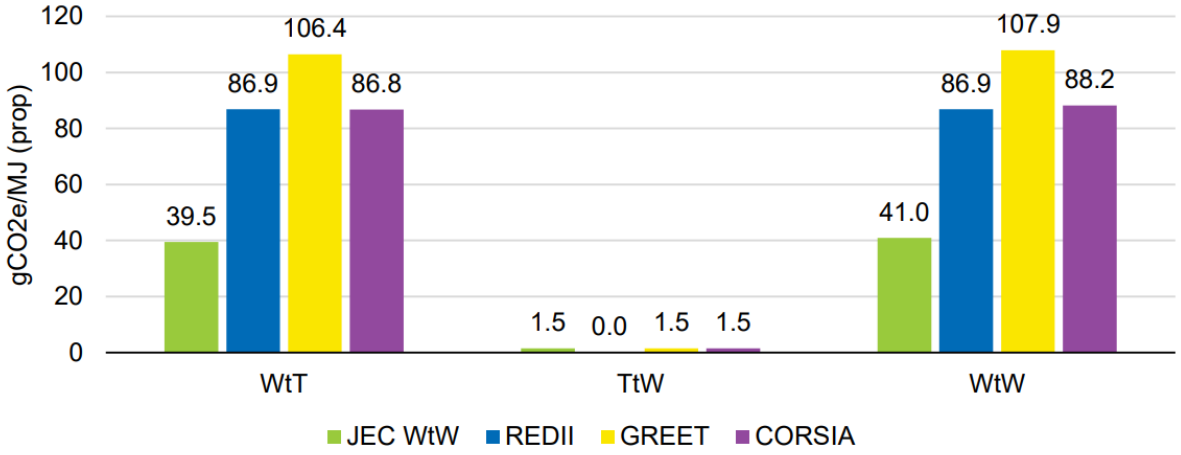
• Οι κινητήρες καύσης αμμωνίας είναι επιρρεπείς σε ολίσθηση αμμωνίας κατά την καύση του καυσίμου, κάτι που αναμένεται στη συνέχεια να υποβληθεί σε επεξεργασία από έναν καταλύτη ολίσθησης αμμωνίας, ο οποίος με τη σειρά του παράγει N2O, ένα εξαιρετικά ισχυρό αέριο θερμοκηπίου. Αυτό είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη στην WtW. Όλες οι μέθοδοι και τα εργαλεία είναι σε θέση να το εξηγήσουν αυτό.

ο Οι μέθοδοι και τα εργαλεία έχουν τις ίδιες TtW εκπομπές, με εξαίρεση τη REDII που δεν περιλαμβάνει TtW.

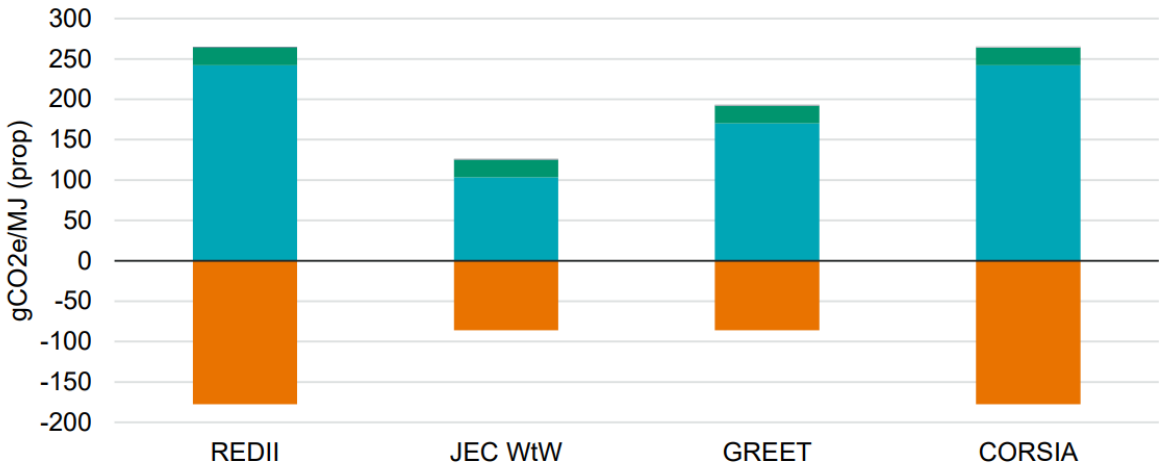
ο Με το N2O να έχει δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη 298, τυχόν αποκλίσεις από τις παραπάνω θεωρήσεις εκπομπών N2O μπορεί να έχουν μεγάλη επίδραση στις συνολικές WtW εκπομπές από έναν κινητήρα που τροφοδοτείται με αμμωνία. Για το λόγο αυτό, μπορεί να χρειαστεί έγκριση και προσεκτική παρακολούθηση ή νομοθετική ρύθμιση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, ειδικά καθώς η ηλικία κινητήρα και μετεπεξεργασίας αυξάνεται.

5.4.3 HVO από σπόρους σόγιας

Τα λεπτομερή αποτελέσματα για το πράσινο μεθάνιο φαίνονται στην Εικόνα 5-7.



Εικόνα 5.7: Αναλυτική Σύγκριση των αποτελεσμάτων για την HVO



Εικόνα 5.8: Ανάλυση των WtW αποτελεσμάτων για την HVO ανάλογα με τη φάση

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα από τα παραπάνω σχημάτων καταλήγουμε στα ακόλουθα ευρήματα:

• Η επιλεγμένη διαδικασία HVO σόγιας έχει γενικά τις υψηλότερες WtW εκπομπές από τα τρία καύσιμα, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 5-7: Λεπτομερής σύγκριση των αποτελεσμάτων του Υδρογονωμένου Φυτικού Ελαίου στην Εικόνα 5-7 δείχνει ότι η πλειονότητα των WtW εκπομπών συμβαίνει κατά τη φάση WtT.

• Το HVO έχει υψηλές εκπομπές που σχετίζονται με την αλλαγή χρήσης γης, αν και το σενάριο (βλ. Ενότητα 5.1) προϋποθέτει κέρδη από πιστώσεις άνθρακα για υποκατάσταση ζωοτροφών καθώς και πλεόνασμα θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειαςκατά τη φάση της υδρογόνωσης.

• Το HVO έχει σημαντικά διαφορετικές WtT εκπομπές όταν εξετάζεται με καθεμία από τις μεθόδους/εργαλεία:

ο Σημειώνεται ότι λόγω των σημαντικών διαφορών στις μεθόδους και τα εργαλεία, δεν κατέστη δυνατή η χρήση ενός κοινού συνόλου δεδομένων εισόδου, επομένως κάθε μέθοδος χρησιμοποιεί την αλλαγή χρήσης γης που σχετίζεται με αυτήν τη μέθοδο.

ο Το GREET δείχνει τις υψηλότερες WtT εκπομπές από τις τέσσερις. Ενώ τόσο το GREET όσο και η CORSIA λαμβάνουν υπόψη τόσο την άμεση όσο και την έμμεση αλλαγή χρήσης γης, οι μέθοδοι για να το κάνουν είναι διαφορετικές. Αυτό απαιτεί διαφορετικές τιμές εισόδου, οδηγώντας σε σημαντικά διαφορετικές WtT. Στην JEC δεν υπάρχει αλλαγή χρήσης γης και επομένως η JEC έχει τις χαμηλότερες WtT εκπομπές για την HVO από τις τέσσερις μεθόδους. Η REDII εξετάζει μόνο την άμεση αλλαγή χρήσης γης.

ο Το GREET υιοθετεί την προσέγγιση επέκτασης συστήματος για την αξιολόγηση συμπροϊόντων. Ένα συμπροϊόν της διαδικασίας HVO είναι η ζωοτροφή που παράγεται από τη σύνθλιψη των σπόρων για να σχηματιστεί το λάδι. Το ενεργειακό περιεχόμενο της ζωοτροφής είναι υψηλό (περίπου 2 MJ για 1 MJ HVO) και έτσι η μέθοδος κατανομής ενέργειας συμπροϊόντων έχει ως αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό εκπομπών να κατανέμεται στο συμπροϊόν της ζωοτροφής. Αυτο εχει ως αποτελεσμα η μέθοδος κατανομής συμπροϊόντων με βάση την ενέργεια (όπως στη REDII και την CORSIA) να έχουν χαμηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με το GREET.

ο Η διαφορά ~2,5x μεταξύ των υψηλότερων και των χαμηλότερων WtW εκπομπών υπογραμμίζει την ευαισθησία των βιοκαυσίμων στις παραδοχές χρήσης γης και συμπροϊόντων, και τις προκλήσεις στην επιλογή μιας «σωστής» μεθόδου. Επιπλέον, το παράδειγμα καυσίμου που

επιλέχθηκε είναι για μία καλά ανεπτυγμένη και κατανοητή πρώτη ύλη και γεωγραφία. Για καινοτόμες ή «αμφιλεγόμενες» πρώτες ύλες, μπορεί να είναι δύσκολο να οριστεί ένας εύλογος παράγοντας WtT εκπομπών.

ο Σημειώνεται ότι η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται ότι προέρχεται από χερσαίο αιολικό πάρκο με ένταση άνθρακα ίση με 12,5 gCO_2e/kWh, που αντιπροσωπεύει ένα μελλοντικό σενάριο στις Μεσοδυτικές ΗΠΑ.

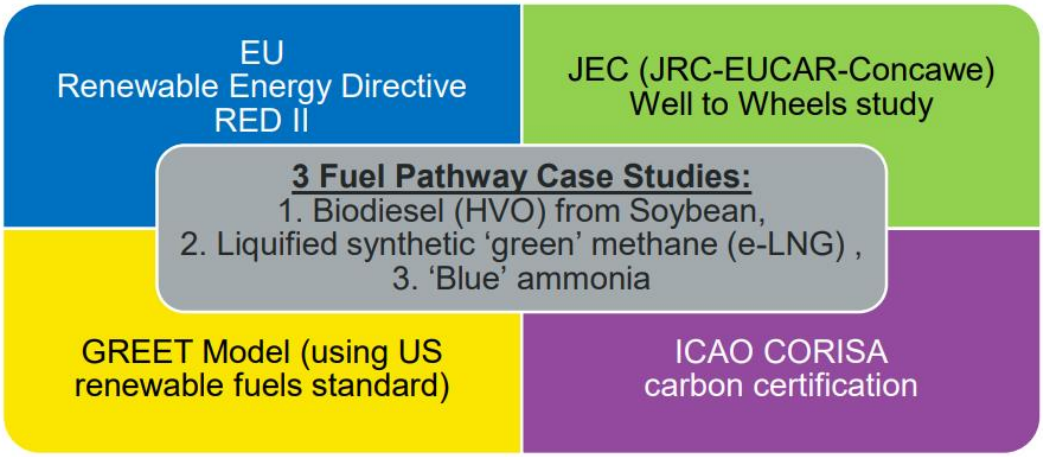
• Οι TtW εκπομπές CO_2 από την καύση θεωρούνται με τις μεθόδους και τα εργαλεία ότι αντισταθμίζονται πλήρως με την καλλιέργεια της σόγιας (σύμφωνα με τη δέσμευση άνθρακα για το πράσινο μεθάνιο). Ως εκ τούτου, οι μόνες TtW εκπομπές που εξετάζονται είναι N_2O και CH_4, οι οποίες είναι σχετικά χαμηλές για HVO (σε σύγκριση με καύσιμα μεθανίου ή αμμωνίας). Οι μέθοδοι και τα εργαλεία έχουν την ίδια προσέγγιση και TtW εκπομπές, εκτός από τη REDII που δεν περιλαμβάνει τις TtW εκπομπές CO_2.

Κεφάλαιο 6:

Συμπεράσματα Της Εφαρμογής Των Μεθόδων Και Εργαλείων Στη Διεθνή Ναυτιλία

Αδαμαντία Ροδάκη

Στόχος αυτής της εργασίας είναι ο εντοπισμός των κριτηρίων βιωσιμότητας και κρισιμότητας, η μεθοδολογική αξιολόγηση των διαφορών που προκύπτουν από τις πιθανές μεθόδους και τα εργαλεία υπολογισμού WtT και TtW μέσω της χρήσης περιπτώσεων μελέτης, χωρίς να εστιάζει υπερβολικά στα πραγματικά αριθμητικά αποτελέσματα. Τα σενάρια καυσίμων επιλέχθηκαν για να εξασφαλιστεί μια καλή κάλυψη πηγών, μεθόδων παραγωγής, περιπτώσεων διανομής και χρήσης και εφαρμογή των μεθόδων και των εργαλείων που είχαν σκοπό να δοκιμάσουν πώς οι μέθοδοι/εργαλεία αντιμετωπίζουν αυτό το φάσμα περιπτώσεων. Οι μέθοδοι/εργαλεία και τα καύσιμα που δοκιμάστηκαν ήταν:



Εικόνα 6.1: Μέθοδοι και Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τις 3 οδούς καυσίμων στις Περιπτώσεις Μελέτης

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι τα καύσιμα των περιπτώσεων μελέτης είναι αντιπροσωπευτικά μόνο για τις συγκεκριμένες διασικασίες που έχουν επιλεγεί, και άλλα καύσιμα μπορεί να έχουν διαφορετικές εκπομπές. Για παράδειγμα, η παραγωγή μεθανίου σε μια χώρα με μια διαφορετική νομοθεσία να διέπει τις εκπομπές μεθανίου μπορεί να αναμένεται να έχει υψηλότερη ή χαμηλότερη εξόρυξη και εκπομπές αγωγού ή μια διαφορετική πρώτη ύλη για HVO μπορεί να έχει διαφορετικές επιπτώσεις στην αλλαγή χρήσης γης.

Τόσο η ευρωπαϊκή (RED II) όσο και η Αμερικάνικη (EPA για τα ανανεώσιμα καύσιμα που εφαρμόζονται μέσω του GREET) μέθοδος για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των GHG και της βιωσιμότητας των εναλλακτικών καυσίμων αξιολογήθηκαν μέσω των περιπτώσεων μελέτης για την εφαρμογή τους στα καύσιμα πλοίων. Αξιολογήθηκαν επίσης δύο ακόμη μέθοδοι: η μέθοδος CORSIA για τις αερομεταφορές, και αυτό που ορίζεται στην έκθεση της JEC «Well to Wheels» που επικεντρώνεται στα οδικά οχήματα (Prussi, et al., 2020).

Υπάρχει μια διάκριση μεταξύ των εργαλείων που ορίζουν ή εφαρμόζουν επιλεγμένες οδηγίες, αλλά μπορεί να έχουν ευελιξίες για διαφορετικές εφαρμογές ή πρότυπα και τα πρότυπα ή τους κανονισμούς που καθορίζουν τις κατευθυντήριες γραμμές ή τους κανόνες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Όπως αναφέρθηκε στην Ενότητα 4.3.2, το GREET επιτρέπει διαφορετικές προσεγγίσεις που έπρεπε να επιλεγούν, ενώ το GHGenius παραλείφθηκε από την αξιολόγηση των περιπτώσεων μελέτης, καθώς δεν καθόριζει μια μέθοδο από μόνο του. Ρυθμιστικές προσεγγίσεις όπως οι RED II, RFS και CORSIA πρέπει να είναι ξεκάθαρες και συνεπείς στην προσέγγιση.

Αυτή η ενότητα παραθέτει μια σειρά από συμπεράσματα από τα ευρήματα αυτής της μελέτης, τα οποία καλύπτουν:

• Το εξελισσόμενο ρυθμιστικό τοπίο, που αναδεικνύει τις σχετικές συνεχιζόμενες εργασίες

• Όρια για την ανάλυση των μεθόδων και των εργαλείων, διερευνώντας πώς οι αρχές LCA μπορούν να είναι πρακτικά εφαρμόσιμες στη διαδρομή των καυσίμων και τις πιθανές επιπτώσεις

• Κριτήρια περιβαλλοντικής βιωσιμότητας – εκτιμήσεις πέρα από το GWP

• Εφαρμογή υφιστάμενων μεθόδων και εργαλείων σε εναλλακτικά καύσιμα πλοίων, παρέχοντας μια επισκόπηση των μεθόδων/εργαλείων που αξιολογήθηκαν στις περιπτώσεις μελέτης

• Κενά και σημαντικές διαφορές σε μεθόδους και εργαλεία – συμπεράσματα από τη λεπτομερή ανάλυση των μεθόδων/εργαλείων και τις προσεγγίσεις τους

• Υποθέσεις και δεδομένα εισόδου που απαιτούνται για την εφαρμογή των μεθόδων και εργαλείων – συμπεράσματα από την εφαρμογή τους στις περιπτώσεις μελέτης και έλεγχο της ευαισθησίας τους

Συγκεκριμένες συστάσεις για την εφαρμογή μεθόδων υπολογισμού GHG σε εναλλακτικά καύσιμα πλοίων και για μελλοντικές εργασίες εξάγονται στην Ενότητα 7.

6.1 Εξελίζοντας Το Ρυθμιστικό Τοπίο

Η αξιολόγηση των κανονισμών, των προτύπων και των κατευθυντήριων γραμμών αποκάλυψε μικτές προσεγγίσεις για διαφορετικούς τομείς μεταφορών και γεωγραφικές περιοχές, με ορισμένες αλληλεπικαλυπτόμενες απαιτήσεις, όπως μεταξύ της ΕΕ και του IMO για τη ναυτιλία. Το ρυθμιστικό τοπίο εξελίσσεται επίσης γρήγορα, για παράδειγμα η ΕΕ δημοσίευσε το πακέτο μέτρων Fit for 55 για τη μείωση των εκπομπών GHG, το οποίο έχει επιπτώσεις σε όλους τους τομείς των μεταφορών συμπεριλαμβανομένης της ναυτιλίας. Εξελίξεις που αναπτύσσονται αυτή τη στιγμή σχετικά με τις εκπομπές GHG από το ναυτιλιακό τομέα περιλαμβάνουν:

✓ Την αναθεώρηση της RED II για αύξηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, βελτίωση της ενσωμάτωσης του ενεργειακού συστήματος (με άλλους κανονισμούς) και αύξηση της προστασίας της βιοποικιλότητας

✓ Τον προτεινόμενο κανονισμό FuelEU Maritime που στοχεύει στην αύξηση της χρήσης βιώσιμων εναλλακτικών καυσίμων στην ευρωπαϊκή ναυτιλία, για την αντιμετώπιση των φραγμών της αγοράς και της τεχνικής αβεβαιότητας

✓ Το EU ETS πρότεινε επέκταση ώστε να συμπεριληφθούν οι θαλάσσιες εκπομπές

✓ Την αναθεώρηση της Οδηγίας για την Υποδομή Εναλλακτικών Καυσίμων

6.2 Περιορισμοί ΑνάλυσηςΤων Μεθόδων Και Εργαλείων

Για να συγκριθούν οι εκπομπές GHG του κύκλου ζωής των ναυτιλιακών καυσίμων σε αυτή την εργασία, κρίθηκε σκόπιμο να ερμηνευτεί η well-to-wake ως well-to-shaft (με την ένταση των εκπομπών εκφραζόμενη ως g CO_2e / MJ) και να εξαιρεθούν οι λεπτομέρειες σχετικά με το πλοίο.

Ενώ οι ορολογίες της LCA ξεκίνησαν για τα οχήματα καθώς και το «well to wheel» μετατρέπται συνήθως για τα πλοία σε «well to wake», δεν είναι δυνατό να δημιουργηθεί μια ενιαία μέτρηση που να καλύπτει όλους τους τύπους πλοίων και να λαμβάνει υπόψη όλες τις τεχνολογίες επί του πλοίου που μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα του. Η μέτρηση απόδοσης του έργου στον άξονα από το σύστημα μετάδοσης κίνησης (δηλαδή, γραμμάρια ισοδύναμων

εκπομπών CO_2 ανά MJ έργου στον άξονα) επιλέχθηκε να περιλαμβάνει την απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης και τις εκπομπές καυσαερίων, ενώ εξαιρούνται τα πλοία και τα ταξίδια που εξαρτώνται από μεταβλητές. Έτσι, οι αξιολογήσεις των περιπτώσεων μελέτης θεωρούν το WtW για το καύσιμο "εναρμονισμένο" ώστε να αποκλείονται ειδικοί παράγοντες του πλοίου.

Τα όρια για την ανάλυση θα πρέπει να είναι κατάλληλα για την αξιολόγηση που απαιτείται.

Η επιλογή αυτών των ορίων για την αξιολόγηση των μεθόδων και των εργαλείων σε αυτή την εργασία δεν συνεπάγεται ότι είναι κατάλληλα όρια για όλες τις αναλύσεις WtW ή για ρυθμιστικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, η αξιολόγηση ενός πλοίου πρέπει να περιλαμβάνει τους ειδικούς για το πλοίο παράγοντες και μάλιστα τις δραστηριότητές του.

Μια σωστή ανάλυση των εκπομπών GHG ενός καυσίμου δεν συνεπάγεται πλήρη αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός πλοίου, αν και μια τέτοια αξιολόγηση θα μπορούσε να προσθέσει αξία στο σχεδιασμό του νέου πλοίου.

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός καυσίμου δεν είναι η ίδια με εκείνη ενός πλοίου και επομένως δεν λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές CO_2 που είναι εγγενείς στον χάλυβα του πλοίου ή στα υλικά που χρειάζονται για την κατασκευή μιας μπαταρίας, ούτε δείχνει τις επιπτώσεις στη χωρητικότητα φορτίου ενός πλοίου από το βάρος ή τον χώρο που απαιτείται για την αποθήκευση ενέργειας. Προς την εξασφάλιση της αποτελεσματικότερης χρήσης των πόρων και της ελάχιστης επίπτωσης GHG ενός συγκεκριμένου πλοίου, η LCA αυτού το πλοίου θα πρέπει να εξετάζει την κατασκευή του, τις εκπομπές κατά τη διάρκεια ζωής του και την απόρριψη στο τέλος του κύκλου ζωής του, τα οποία μπορεί να αξιολογούνται για παράδειγμα σε σχέση με το μεταφερόμενο φορτίο και την απόσταση.

Το συμπέρασμα για τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης του IMO είναι ότι οι τυπικοί παράγοντες (όπως ο Συντελεστής CO_2 καυσίμου στο CII) θα μπορούσαν να επεκταθούν ως προς τους παράγοντες WtW.

Η υφιστάμενη ναυτική νομοθεσία προβλέπει την καταγραφή των καυσίμων που χρησιμοποιεί ένα σκάφος μέσω του IMO DCS από το οποίο υπολογίζεται το CII χρησιμοποιώντας έναν Συντελεστή CO_2 καυσίμου. Αυτοί οι κανονισμοί λαμβάνουν υπόψη μόνο το CO_2 που εκπέμπεται από το πλοίο και δεν λαμβάνει υπόψη τις εκπομπές μη CO_2 από τη χρήση ή τις εκπομπές κατά την παραγωγή καυσίμου. Οι ισχύοντες κανονισμοί είναι λογικοί για τα υπάρχοντα υγρά ορυκτά καύσιμα (όπου βρίσκεται η πλειονότητα των εκπομπών με τη μορφή του CO_2 από την καύση). Για άλλα (μελλοντικά) καύσιμα, όπου εμφανίζονται εκπομπές σε όλη την παραγωγική αλυσίδα, υπάρχει ολοένα και μεγαλύτερη κατανόηση ότι όλες οι σχετικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη WtW βάση. Θα ήταν δυνατό να εφαρμοστούν οι αρχές του κύκλου ζωής του καυσίμου σε ένα συντελεστή GHG έντασης καυσίμου στη WtW βάση, υπολογισμένο ανά μονάδα καυσίμου. Ο παράγοντας πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικός της χρησιμοποιούμενης παραγωγής καυσίμου, που μπορεί να είναι ειδική για την περιοχή ή την παραγωγική εγκατάσταση. Ο παράγοντας μπορεί επίσης να χρειαστεί να αντικατοπτρίζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά εκπομπών διαφορετικών κινητήρων (όπως 2/4 διαδρομής, επεξεργασία καυσαερίων) και έτσι ο παράγοντας μπορεί να έχει δύο μέρη – υπολογισμένα για WtT και TtW. Ωστόσο, η απόδοση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, τα βοηθητικά συστήματα, η αποτελεσματικότητα του πλοίου και άλλα χαρακτηριστικά, καθώς και ο αντίκτυπος των λειτουργικών και καιρικών παραγόντων, καταγράφονται ως μέτρηση κατανάλωσης καυσίμου μέσω του DCS. Ομοίως, πλοία πολλαπλών καυσίμων (είτε χρησιμοποιούνται ως εναλλακτικά καύσιμα είτε για πιλοτικά καύσιμα για πρόωσης ή για βοηθητικά συστήματα) μπορούν να

περιληφθούν μέσω της μέτρησης όλων των χρησιμοποιούμενων καυσίμων και της εφαρμογής ενός κατάλληλου συντελεστή GHG έντασης σε WtW βάση για κάθε καύσιμο.

6.3 Κριτήρια Περιβαλλοντικής Βιωσιμότητας

Τα κριτήρια περιβαλλοντικής βιωσιμότητας για ένα καύσιμο θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη περισσότερα από το GWP.

Εκτός από την ανάγκη υπολογισμού των εκπομπών, αυτή η εργασία εντόπισε την ανάγκη να ληφθουν υπόψη τα περιβαλλοντικά κριτήρια βιωσιμότητας για τις διάφορες κατηγορίες επιπτώσεων:

• Συμβολή στην πιθανότητα υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) από την προμήθεια πρώτων υλών καυσίμων – ειδικά μέσω της αλλαγής χρήσης γης (LUC) για βιοκαύσιμα χωρίς απόβλητα.

• Συνεισφορά στο GWP από την παραγωγή καυσίμων – όπως η αποτελεσματικότητα της δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα (CCS), οι ανεξέλεγκτες εκπομπές και η ένταση άνθρακα των πηγών ηλεκτρικής ενέργειας

• Δυνατότητα ευτροφισμού – από χρήση γης για βιοκαύσιμα χωρίς απόβλητα

• Δυνατότητα σχηματισμού σωματιδίων για υγρά καύσιμα υδρογονανθράκων (π.χ. βιοντίζελ), τα οποία μπορεί να είναι παρόμοια με ορισμένα υπάρχοντα ορυκτά καύσιμα

• Δυνητικά μεγάλες ανησυχίες οικολογικής και ανθρώπινης τοξικότητας και αβιοτικής εξάντλησης από τις απαιτήσεις υλικών που συνδέονται με την ηλεκτρική ενέργεια για την εισροή πράσινων καυσίμων, καθώς και η ζήτηση για ηλεκτροκινητήρες, μπαταρίες και κυψέλες καυσίμου.

Η αξιολόγηση των υφιστάμενων μεθόδων και εργαλείων έδειξε ότι υπάρχει εστίαση στο GWP. Οι κατηγορίες πρώτων υλών και παραγωγής καυσίμων περιγράφονται παρακάτω. Ωστόσο, τα κριτήρια για ένα βιώσιμο καύσιμο θα πρέπει επίσης να περιλαμβάνουν άλλες κατηγορίες υψηλών επιπτώσεων.

6.4 Εφαρμογή Υπάρχουσων Μεθόδων Και Εργαλείων Σε Εναλλακτικά Ναυτιλιακά Καύσιμα

Σε αυτή την εργασία αξιολογήθηκαν τέσσερις μέθοδοι και εργαλεία για τον υπολογισμό των συνολικών εκπομπών GHG των καυσίμων χρησιμοποιώντας τρεις περιπτώσεις μελέτης για ναυτιλιακά καύσιμα.

Η ρυθμιστική προσέγγιση της RED II είναι θεμελιώδης για διάφορες ευρωπαϊκές νομοθεσίες, όπου απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές στη ναυτιλία, αναμφισβήτητα ωθείται περισσότερο από ό,τι σε άλλες περιοχές. Δεν παρέχει πλήρη WtW κάλυψη, δεδομένου ότι αφούμ βασίζεται στα βιοκαύσιμα, υποθέτει ότι οι εκπομπές CO_2 είναι μηδενικές και παραλείπει άλλες GHG εκπομπές. Επομένως, δεν θα πρέπει να εφαρμόζεται σε WtW ανάλυση χωρίς πρόσθετη εξέταση των TtW εκπομπών. Η RED II παραλείπει επίσης τις ανεξέλεγκτες εκπομπές από τη διανομή (που μπορεί να έχουν σημαντικές GHG επιπτώσεις για ορισμένα καύσιμα) και την έμμεση και εγχώριη LUC (περιορίζεται μόνο στην άμεση). Επιπλέον επί του παρόντος δεν καλύπτει το CCS. Ωστόσο, η χρήση της μεθόδου κατανομής απόδοσης είναι λιγότερο απαιτητική για τον χρήστη σε σχέση με την επακόλουθη κατανομή.

➢ **Η RED II μπορεί να παρέχει μόνο μια ελλιπή μέθοδο για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων στην τρέχουσα μορφή της**

Το διεθνές σύστημα αεροπορικών μεταφορών CORSIA παραλείπει επίσης τις ανεξέλεγκτες εκπομπές και δεν καλύπτει το CCS, υποστηρίζοντας μόνο περιορισμένα καύσιμα προς το παρόν.

➢ **Ενώ η CORSIA παρέχει ένα παράδειγμα υπολογισμού GHG στον τομέα των διεθνών μεταφορών και μπορεί να εφαρμοστεί σε καύσιμα πλοίων, επί του παρόντος είναι περιορισμένη ως προς τους υποστηριζόμενους τύπους καυσίμων.**

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται στην έκθεση JEC (Prussi, et al., 2020) δεν έχει καθόλου LUC κάλυψη, καθώς και έλλειψη του CCS και ανεξέλεγκτων εκπομπών. Ως εκ τούτου, δεν μπορεί να παρέχει πλήρη αξιολόγηση των επιπτώσεων των αερίων του θερμοκηπίου όλων των καυσίμων.

➢ **Η μέθοδος JEC δεν παρέχει επαρκή κάλυψη για να χρησιμοποιηθεί για το φάσμα των εναλλακτικών ναυτιλιακών καυσίμων.**

Το GREET παρέχει ένα ευέλικτο εργαλείο με ευρεία κάλυψη. Αν και υπήρχε μια βορειοαμερικανική περιφερειακή εστίαση παρείχε μια υγιή πλατφόρμα για την ανάλυση εναλλακτικών καυσίμων πλοίων. Ωστόσο, η χρήση της επακόλουθης κατανομή είναι απαιτητική για τον χρήστη

➢ **Το GREET θα ήταν κατάλληλο για αξιολόγηση αερίων του θερμοκηπίου ναυτιλιακών καυσίμων με κατάλληλα πρότυπα, υποθέσεις και δεδομένα εισόδου.**

6.5 Κενά Και Σημαντικές Διαφορές Στις Μεθόδους/Εργαλεία

Εντοπίστηκαν ορισμένες παραλείψεις στις μεθόδους και τα εργαλεία μέσω της σύγκρισης στην Ενότητα 5.3 και τα χαρακτηριστικά της καθεμίας συνοψίζονται παραπάνω. Η ανάλυση των κενών και των σημαντικών διαφορών οδηγεί στα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η WtW ανάλυση θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις TtW εκπομπές.

Δεδομένου ότι η RED II προορίζεται για βιοκαύσιμα, υποθέτει ότι οι εκπομπές CO_2 κατά τη χρήση (φάση TtW) είναι μηδενικές. Ωστόσο, δεν είναι όλα τα καύσιμα χαμηλών εκπομπών άνθρακα καθαρά μηδενικά και οι εκπομπές GWP μπορεί επίσης να εκπέμπονται από τη χρήση του καυσίμου, ανάλογα με το καύσιμο και το σύστημα πρόωσης. Καθώς οι εκπομπές CO_2 μειώνονται, οι εκπομπές CH_4 και N_2O θα καταστούν σχετικά πιο σημαντικές.

Ανεξέλεγκτες εκπομπές GHG (ειδικά μεθανίου) από την παραγωγή, τη διανομή, την αποθήκευση και τη χρήση εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών εκπομπών άνθρακα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο συνολικό GWP τους

Οι ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου στην παραγωγή και τη διανομή αποτελούν σημαντική GHG και καλύπτονται σε ορισμένο βαθμό από όλες τις μεθόδους/εργαλεία, αλλά πιο διεξοδικά από το GREET. Η RED II, η JEC και η CORSIA δεν περιλάμβαναν τις ανεξέλεγκτες εκπομπές μεθανίου από τη διανομή. Κατ' αρχήν, είναι σημαντικό να περιλαμβάνονται οι ανεξέλεγκτες εκπομπές για όλα τα στάδια της διαδρομής του καυσίμου, αλλά αναγνωρίζεται ότι είναι από τη φύση τους δύσκολο να μετρηθούν και ποσοτικοποιήστε με ακρίβεια.

Οι εκπομπές από τη χρήση καυσίμων δεν είναι καλά κατανοητές για ορισμένα καύσιμα και τεχνολογίες (όπως η αμμωνία ICE), ενώ η τεχνολογία του συστήματος μετάδοσης κίνησης και η μετεπεξεργασία (καταλύτες καυσαερίων) αλλάζουν τα χαρακτηριστικά τέτοιων εκπομπών.

Τα μελλοντικά «μπλε» καύσιμα πλοίων θα χρειαστούν μια μέθοδο ικανή να λαμβάνει υπόψη τις επιπτώσεις του CCS.

Ορισμένες μελλοντικές οδοί καυσίμου μπορεί να περιλαμβάνουν τη δέσμευση και αποθήκευση άνθρακα για την παροχή καυσίμου χαμηλών εκπομπών άνθρακα που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα στην παραγωγή του. Το παράδειγμα που δοκιμάστηκε σε αυτή την εργασία ήταν η μπλε αμμωνία. Από τις μεθόδους και τα εργαλεία που δοκιμάστηκαν, η CORSIA και η RED II δεν περιλαμβάνουν (προς το παρόν) ρητά το CCS, αλλά το CCS συμπεριλήφθηκε στις περιπτώσεις μελέτες καθώς ήταν λογικό να περιμένουμε ότι θα συμπεριληφθεί στην επεξεργασία μελλοντικών καυσίμων πλοίων. Καθώς η απόδοση δέσμευσης άνθρακα της μονάδας μπορεί να ποικίλλει κατά τη λειτουργία, μπορεί να απαιτείται κάποια παρακολούθηση και έγκριση για οποιαδήποτε ρυθμιζόμενα μπλε καύσιμα.

Οι οδοί βιοκαυσίμων έχουν πρόσθετα ζητήματα αειφορίας, ιδίως όσον αφορά την αλλαγή χρήσης γης. Οι τέσσερις μέθοδοι και τα εργαλεία που δοκιμάστηκαν το εξηγούν διαφορετικά.

Οι διαδρομές καυσίμου για τα βιοκαύσιμα έχουν πρόσθετα ζητήματα, τα οποία μπορεί να είναι αμφιλεγόμενα και περίπλοκα για να λυθούν, ιδίως όσον αφορά τον υπολογισμο για την αλλαγή χρήσης γης. Η REDII (άμεση LUC), η CORSIA και το GREET (άμεση συν έμμεση LUC) περιλαμβάνουν μεθόδους/εργαλεία πλήρως ή τουλάχιστον εν μέρει ικανά να υπολογήσουν την αλλαγή χρήση γης. Αντίθετα, η JEC στερείται τέτοιων μεθόδων/εργαλείων διότι δεν περιλαμβάνει καθόλου τις εκπομπές LUC.

Ένα περαιτέρω, συχνά θεμελιώδες, σημείο για πολλές αλυσίδες εφοδιασμού βιοκαυσίμων είναι αυτό της επεκτασιμότητας. Στην ουσία, ενώ σχεδόν οποιοδήποτε μονοπάτι μπορεί να είναι εφικτό σε μειωμένη κλίμακα, πολλά ζητήματα μπορεί σύντομα να αρχίσουν να εμφανίζονται όταν Γίνεται προσπάθεια να αναβαθμιστεί η παραγωγή στο βαθμό που θα απαιτούνταν εάν ένα σημαντικό μέρος των συμβατικών ορυκτών καυσίμων επρόκειτο να εκτοπιστούν. Παραδείγματα αυτών των θεμάτων περιλαμβάνουν:

• Διαθεσιμότητα πόρων/πρώτων υλών, συμπεριλαμβανομένων της εξάντλησης της καλλιεργήσιμης γης, του γόνιμου φυτικού εδάφους, του ανταγωνισμού με καλλιέργειες τροφίμων κ.λπ.

• Υποβάθμιση της γης που μπορεί να οδηγήσει σε LUC εκπομπές πέρα από αυτό που εξετάζεται επί του παρόντος και καταγράφεται στις διαθέσιμες μεθόδους και εργαλεία· εάν, για παράδειγμα, ένας εντελώς διαφορετικός τύπος γης με φυσική βλάστηση πρέπει να καθαριστεί για να δημιουργηθεί χώρος για τις νέες φυτείες που απαιτούνται για την κάλυψη της ζήτησης βιοκαυσίμων σε μεγαλύτερη κλίμακα.

• Κορεσμό της αγοράς για συμπροϊόντα, που μπορεί να αλλάξει, δυνητικά δραστικά, το ισοζύγιο κατανομής επιπτώσεων μεταξύ του βιοκαυσίμου και των συμπροϊόντων του, με αποτέλεσμα απότομες αυξήσεις στη χρήση ενέργειας και τις εκπομπές άνθρακα ανά MJ βιοκαυσίμου.

Αυτές οι υπαρκτές πολυπλοκότητες οδηγούν στο να μην υπάρχει καθολικά αποδεκτή «σωστή» προσέγγιση στην WtT ανάλυση των βιοκαυσίμων, η οποία περιπλέκει την απόδοση των WtT εκπομπών από τα βιοκαύσιμα για παγκόσμιους ρυθμιστικούς σκοπούς, ειδικά αφού τα ρυθμιστικά συστήματα των ΗΠΑ και της ΕΕ διαφέρουν. Ωστόσο, σε αυτή την εργασία σημειώθηκε ότι η προσέγγιση CORSIA έχει την πιο ολοκληρωμένη κάλυψη όλων των μεθόδων και εργαλείων που εξετάστηκαν, σχετικά με την LUC.

Σημαντικές διακυμάνσεις στις WtT εκπομπές μπορεί να προκύψουν από τις διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τα συμπροϊόντα, είτε μέσω ενεργειακής ή οικονομικής κατανομής, είτε μέσω της «επέκτασης του συστήματος».

Η μέθοδος επέκτασης συστήματος όπως συνιστάται από τα ISO LCA πρότυπα χρησιμοποιείται από την JEC και είναι διαθέσιμη επιλογή στο GREET. Η κατανομή με βάση την ενέργεια χρησιμοποιείται στις μεθόδους REDII και CORSIA, ενώ τόσο η ενεργειακή όσο και η οικονομική κατανομή είναι διαθέσιμες επιλογές στο GREET. Ανάλογα με το μονοπάτι, διαπιστώνονται σημαντικές διαφορές στην ανάλυση των συμπροϊόντων, η οποία μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να έχει δραματική επίδραση στις WtT εκπομπές. Η επιλογή προσέγγισης για την αλλαγή χρήσης γης και η κατανομή συμπροϊόντων έχει αποτελέσει αντικείμενο πολυάριθμων μελετών, αλλά αυτή η εργασία σημείωσε ότι η RED II και η CORSIA είναι και τα δύο διεθνή νομοθετικά μέτρα που χρησιμοποιούν την ενεργειακή κατανομή των συμπροϊόντων.

6.6 Υποθέσεις Και Δεδομένα Εισαγωγής Που Απαιτούνται Για Την Εφαρμογή Των Μεθόδων Και Των Εργαλείων

Για τους σκοπούς της σύγκρισης, χρησιμοποιήθηκαν κοινές προεπιλεγμένες τιμές για όλες τις μεθόδους και τα εργαλεία, αλλά στο μέλλον θα χρειαστούν προεπιλεγμένες τιμές προσαρμοσμένες στις συγκεκριμένες διαδρομές καυσίμου.

Για την ακριβή σύγκριση των μεθόδων και των εργαλείων χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό σύνολο δεδομένων εισόδου για όλες τις περιπτώσεις μελέτης. Αυτά ήταν προεπιλεγμένα σύνολα δεδομένων τα οποία είναι διαθέσιμα στις επιλεγμένες μεθόδους/εργαλεία. Οι διαφορές στις προεπιλεγμένες τιμές μεταξύ των μεθόδων και των εργαλείων δεν λήφθηκαν πλήρως υπόψη, αλλά οι διαφορές στις εκπομπές που σχετίζονται με κάθε καύσιμο αναμένεται να είναι σημαντικές. Αυτές οι διαφορές αντικατοπτρίζουν τις οδούς καυσίμου που καλύπτονται και τις περιφερειακές επιρροές που υπάρχουν για κάθε μέθοδο. Μια πιθανή μέθοδος που να εφαρμόζεται στα καύσιμα πλοίων πρέπει να εξετάζει αυτούς τους παράγοντες, οι υποθέσεις της θα πρέπει να βασίζονται στη διαδρομή του καυσίμου και η γεωγραφική περιοχή πρέπει να εξετάζεται με δίκαιο και αντικειμενικό τρόπο.

Τα χημικά πανομοιότυπα καύσιμα που προέρχονται από διαφορετικές οδούς θα πρέπει να διαφοροποιηθούν σθεναρά.

Σε αντίθεση με την τρέχουσα κατάσταση όπου οι παράγοντες CO_2 για ένα συμβατικό καύσιμο είναι καθολικοί, οι WtT εκπομπές για ένα καύσιμο που παράγεται με μία μέθοδο ή σε μία γεωγραφική περιοχή μπορεί να διαφέρει σημαντικά από ένα χημικά πανομοιότυπο καύσιμο που παράγεται αλλού. Αυτό μπορεί να απαιτεί «πιστοποιητικά προέλευσης» ή ισοδύναμα εάν χρησιμοποιούνται WtT προσεγγίσεις ως μέρος της ρυθμιστικής διαδικασίας. Είναι επίσης πιθανό ότι ένα φυτό μπορεί να παράγει μια σειρά προϊόντων ανάλογα με την εισροή, για παράδειγμα μια μονάδα αμμωνίας θα μπορούσε να συμπληρώσει το H2 από LNG με πράσινο H2 και επομένως μπορεί να το διαθέσει κάποιο προϊόν ως πράσινο.

Όλες οι μέθοδοι και τα εργαλεία υπολογισμού GHG που δοκιμάστηκαν είναι ευαίσθητα στις υποθέσεις εισόδου, ιδιαίτερα γύρω από την αλλαγη χρήσης γης, τις εκπομπές, την ένταση ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο για πράσινα καύσιμα και τις εκπομπές N2O και CH4.

Κατά τη διερεύνηση των μεθόδων και των εργαλείων και την πραγματοποίηση των υπολογισμών στις περιπτώσεις μελέτης, εισήχθησαν διάφορα δεδομένα τα οποία στη συνέχεια αναθεωρήθηκαν. Ενώ γινόταν αυτό, έγινε πολύ σαφές ότι οι τιμές εκπομπών για κάθε καύσιμο ήταν ευαίσθητες στις παραδοχές και τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται. Περιοχές

ιδιαίτερου κινδύνου επικεντρώνονται γύρω από: την αλλαγή χρήσης γης για βιοκαύσιμα, τις εκπομπές των μπλε καυσίμων, την ένταση ηλεκτρικής ενέργειας του δικτύου για πράσινα καύσιμα και εκπομπές N2O και CH4 από την καύση.

Ο υπολογισμός της επίδρασης στο GWP από ορισμένα είδη όπως το μεθάνιο και ο μαύρος άνθρακας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος από επιλογή χρονικού ορίζοντα μεταξύ 20 ή 100 ετών.

Οι περισσότερες μέθοδοι συνιστούν (ή απαιτούν) τη χρήση ενός χρονικού ορίζοντα 100 ετών για τη δημιουργία του CO_2e παραγόντων χαρακτηρισμού για όλες τις ροές εκπομπων αερίων του θερμοκηπίου, και αυτός είναι μακράν ο πιο διαδεδομένος χρονικός ορίζοντας που χρησιμοποιείται στην επιστημονική βιβλιογραφία. Ωστόσο, όταν εξετάζουμε ορισμένα είδη όπως το μεθάνιο όπου το GWP είναι σημαντικά υψηλότερο σε ένα χρονικό πλαίσιο 20 ετών από ένα χρονικό πλαίσιο 100 ετών, οι βραχυπρόθεσμες κλιματικές επιπτώσεις θα μπορούσαν να είναι πολύ υψηλότερες από ό,τι θα προτείνει η χρήση ενός GWP 100 ετών. Επομένως, όταν εξετάζεται το ενδεχόμενο βραχυπρόθεσμων κλιματικών επιπτώσεων, η χρήση ενός χρονικού πλαισίου 20 ετών για το GWP είναι πιο κατάλληλη επιστημονικά, ενώ όταν λαμβάνονται υπόψη οι πιο μακροπρόθεσμες κλιματικές επιπτώσεις, η χρήση ενός χρονικού πλαισίου 100 ετών είναι πιο κατάλληλη από επιστημονικής άποψης. Το αν θα δοθεί προτεραιότητα στις βραχυπρόθεσμες ή στις μακροπρόθεσμες επιπτώσεις είναι τελικά μια απόφαση πολιτικής. Ωστόσο, σημειώνεται ότι η επιλογή μεταξύ χρήσης χρονικού πλαισίου 20 ή 100 ετών για το GWP θα επηρεάσει διαφορετικά τον υπολογισμό WtW εκπομπών GHG από διαφορετικά καύσιμα – π.χ. χρησιμοποιώντας GWP 100 χρόνων θα οδηγήσει σε συγκριτικά υψηλότερες εκπομπές GHG για ένα καύσιμο με υψηλότερες εκπομπές άνθρακα αλλά χαμηλότερες εκπομπές μεθανίου και η χρήση GWP 20 ετών θα οδηγήσει σε συγκριτικά υψηλότερες εκπομπές GHG για ένα καύσιμο με υψηλότερες εκπομπές μεθανίου αλλά χαμηλότερες εκπομπές άνθρακα.

Κεφάλαιο 7:

Συστάσεις Και Περαιτέρω Εργασίες

Αδαμαντία Ροδάκη

Σε αυτήν την ενότητα, παρατηρήσεις από αυτήν την εργασία και συστάσεις για περαιτέρω εργασία σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας του WtW
Παρουσιάζονται μέθοδοι υπολογισμού των αερίων του θερμοκηπίου για την κάλυψη της διεθνούς ναυσιπλοΐας, με βάση τα ευρήματα της προηγούμενης
ενότητες. Αυτά ομαδοποιούνται κατά:
• Τα πιθανά όρια που πρέπει να εφαρμοστούν στην αξιολόγηση WtW των ναυτιλιακών καυσίμων και όπου περαιτέρω εργασία
μπορεί να αυξήσει την κατανόηση των επιπτώσεων στον κύκλο ζωής του σκάφους
• Τις πιθανές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τον υπολογισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και όπου μπορεί να γίνει περαιτέρω εργασία
φέρνουν αξία
• Η σημασία των ακριβών δεδομένων και πώς μπορεί να διαπιστωθεί για δίκαιη σύγκριση WtW
• Σύνοψη πιθανών προσεγγίσεων για μελλοντική μέθοδο υπολογισμού WtW για καύσιμα πλοίων
Οι συστάσεις επισημαίνονται με μπλε κείμενο.

7.1 Όρια Για Την WTW Αξιολόγηση Των Ναυτιλιακών Καυσίμων

Κατά την εφαρμογή των LCA αρχών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα όρια ώστε να περιλαμβάνουν όλους τους σχετικούς παράγοντες και να επιτρέπουν μια δίκαιη σύγκριση στο χαμηλότερο δυνατό επίπεδο πολυπλοκότητας υπολογισμού. Αυτή η εργασία εξέτασε τα κατάλληλα όρια για την αξιολόγηση των καυσίμων πλοίων σε διαφορετικά πλαίσια.

➢ Κατά την εξέταση των WtW εκπομπών GHG από καύσιμα πλοίων, τα όρια του συστήματος μπορεί να περιλαμβάνουν:

• Την παραγωγή καυσίμου/ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της προμήθειας πρώτης ύλης, της παραγωγής και των ανεξέλεγκτων εκπομπών.

• Τη διανομή και αποθήκευση καυσίμου, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών και της κατανάλωσης ενέργειας από τη συμπίεση και τη ρευστοποίηση (όπου ισχύει) και των ανεξέλεγκτων εκπομπών.

• Τη Φάση λειτουργίας του πλοίου, συμπεριλαμβανομένης της μετατροπής/καύσης καυσίμου και των καυσαερίων και των ανεξέλεγκτων εκπομπών.

Η καταγραφή των μέτρων κατανάλωσης και μεταφοράς καυσίμου μεμονωμένων πλοίων έχει ήδη καθιερωθεί μέσω του IMO DCS και για ορισμένα πλοία μέσω των κανονισμών EE MRV. Για την αξιολόγηση των WtW επιπτώσεων GHG που προκύπτουν από τα καύσιμα που καταναλώνει ένα πλοίο, μπορεί να εφαρμοστεί ένας παράγοντας έντασης GHG.

➢ Ένας συντελεστής έντασης GHG περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

• Ένα συντελεστής WtT για το καύσιμο, που καθορίζεται για κάθε τύπο καυσίμου και κάθε διαδρομή παραγωγής, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών διανομής και ανεφοδιασμού του καυσίμου.

• Ένα συντελεστής TtW εκπομπών για τις εκπομπές καυσαερίων και τις ανεξέλεγκτες εκπομπές του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Ενώ για το σημερινούς κινητήρες και τα διαθέσιμα καύσιμα, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι σε μεγάλο βαθμό ανάλογες με το καύσιμο που χρησιμοποιείται, στο μέλλον, μπορεί να υπάρχουν έντονες διαφορές στην απόδοση. Ένα παράδειγμα θα ήταν οι κινητήρες LNG, όπου ορισμένοι κινητήρες μπορεί να έχουν χαμηλότερη ολίσθηση μεθανίου από άλλους.

Δεν είναι ασυνήθιστο για τα πλοία να χρησιμοποιούν περισσότερους από έναν τύπους καυσίμων, είτε εναλλακτικά είτε σε συνδυασμό, για πρόωση ή άλλη χρήση, και αυτό είναι πιθανό να γίνει πιο κοινό με την υιοθέτηση των εναλλακτικών καυσίμων. Επομένως:

➢ Μια WtW μεθοδολογία για τις GHG εκπομπές στο ναυτιλιακό τομέα θα πρέπει να μπορεί να καλύπτει πλήρως τα συστήματα διπλού καυσίμου ώστε να παρακολούθείται η χρήσης όλων των καυσίμων που χρησιμοποιούνται (είτε για πρόωση είτε για άλλα συστήματα) με τους κατάλληλους συντελεστές εκπομπών WtT και TtW

Η χρήση ισχύος από την ξηρά για την άρση της ανάγκης λειτουργίας βοηθητικών κινητήρων στα λιμάνια μπορεί στο μέλλον να επιβληθεί μέσω νομοθεσίας, όπως προτείνεται στην ΕΕ, και ισχύει ήδη στην Κίνα και την Καλιφόρνια, για διάφορους τύπους μεγαλύτερων πλοίων. Αν και αυτό σημαίνει ότι δεν καταναλώνεται καύσιμο στο πλοίο, μπορεί να μην σημαίνει ότι δεν υπάρχουν εκπομπές GHG. Πράγματι, η αξιολόγηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου της χρησιμοποιούμενης ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρειαστεί να εξετάσει ποιοι παράγοντες είναι κατάλληλοι. Επομένως:

➢ Οι επιπτώσεις των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται από την ξηρά ή τη φόρτιση μπαταρίας θα μπορούσαν να αξιολογηθούν με τη μέτρηση της παρεχόμενης ενέργειας και τη χρήση ενός κατάλληλου συντελεστή GHG για την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Με την αυξανόμενη πρόσληψη καυσίμων χαμηλών/μηδενικών εκπομπών άνθρακα, αυξάνεται το ποσοστό των εκπομπών κύκλου ζωής που σχετίζεται με το πλοίο (κατασκευή, τροποποίηση και χρήση). Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για ηλεκτρικά πλοία και πλοία μπαταρίας, και όχι μόνο για τις GHG εκπομπές, όπως σημειώνεται στην εξέταση ευρύτερων κριτηρίων βιωσιμότητας. Επιπλέον, το αποτέλεσμα μελλοντικών καυσίμων χαμηλότερης πυκνότητας στη «χρησιμότητα» του πλοίου (περισσότερος χώρος που χρησιμοποιείται από τα καύσιμα, λιγότερος διαθέσιμος χώρος για φορτίο) και κατά συνέπεια η βιωσιμότητά του μπορεί να μην είναι ξεκάθαρη. Αυτό μπορεί να αξιολογηθεί μόνο για συγκεκριμένο σχεδιασμό και χρήση πλοίου.

➢ Συνιστάται η περαιτέρω μελέτη των σχετικών εκπομπών στα στάδια του κύκλου ζωής για έναν αριθμό τύπων πλοίων.

7.2 Πιθανές Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις Υπολογισμού Εκπομπών GHG

Οι περιπτώσεις μελέτης μοιράστηκαν ένα κοινό σύνολο δεδομένων εισόδου για κάθε σενάριο καυσίμου για την αξιολόγηση των διαφορών που προέκυψαν από τις μεθόδους και τα εργαλεία. Το ότι υπήρχαν διαφορές αντικατοπτρίζει τις διαφορετικές υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στις μεθόδους και τα διαφορετικά καύσιμα και περιοχές που αυτές οι μέθοδοι σχεδιάστηκαν να καλύπτουν. Ωστόσο, η προσέγγιση CORSIA σχετικά με την LUC είναι ένα υπάρχον παράδειγμα πλαισίου που καλύπτει τις διεθνείς εκπομπές και έχει την πληρέστερη κάλυψη για την LUC μεταξύ των μεθόδων και εργαλείων που αξιολογήθηκαν.

➢ Η CORSIA αντιπροσωπεύει ένα σχετικό μοντέλο για το πώς μια ναυτιλιακή WtW μέθοδος θα μπορούσε να αντιμετωπίσει την LUC, χρησιμοποιώντας μία μέση τιμή μεταξύ των μοντέλων GTAP και GLOBIOM ILUC.

➢ Περαιτέρω εργασίες θα μπορούσαν να εντοπίσουν κατάλληλες προσεγγίσεις για την LUC που αντιμετωπίζουν τα απαιτούμενα κριτήρια βιωσιμότητας και τα οποία ισχύουν για το φάσμα των πιθανών εναλλακτικών καυσίμων πλοίων που είναι διαθέσιμα παγκοσμίως.

Η καταλληλότερη προσέγγιση για την αξιολόγηση των συμπροϊόντων είναι αντικείμενο μελέτης, καθώς βασίζεται σε τεχνητά καθορισμένα όρια και στον καθορισμό του κάθε υποσυστήματος που θεωρείται υπεύθυνο για κάθε ποσοστό συνολικών εκπομπών. Η επέκταση συστήματος είναι η προτιμώμενη προσέγγιση LCA σύμφωνα με τις συστάσεις του ISO (ISO 14044, 2006), και προτείνεται επίσης από το εγχειρίδιο ILCD (JRC, 2010) για «επακόλουθες» LCA (όπου δίνεται έμφαση στην αλλαγή σε επίπεδο συστήματος και όχι σε μεμονωμένες μονάδες προϊόντος). Ωστόσο, η κατανομή με βάση την ενέργεια είναι λιγότερο σύνθετη και υποκειμενική προσέγγιση. Σημειώνεται ότι από τις μεθόδους και τα εργαλεία που μελετήθηκαν, η RED II και η CORSIA είναι και οι δύο διεθνή νομοθετικά μέτρα και αμφότερες υιοθετούν την απλούστερη προσέγγιση της κατανομής με βάση την ενέργεια.

➢ Κατ' αρχήν, η επέκταση του συστήματος είναι η προτιμώμενη προσέγγιση για την κατανομή συμπροϊόντων, αλλά δεδομένου ότι οι πολυπλοκότητες που σχετίζονται με την επέκταση του συστήματος είναι μεγάλες, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια προσέγγιση κατανομής με βάση την ενέργεια όπως ορίζεται από τη RED II και την CORSIA.

Οι επιπτώσεις των εκπομπών GHG από τις ανεξέλεγκτες εκπομπές μπορεί να είναι σημαντικέςς για ορισμένα καύσιμα (όπως αυτά που περιέχουν μεθάνιο). Αυτά μπορεί να προκύψουν π.χ. από διαρροές ή εξαέρωση δοχείων αποθήκευσης. Ενώ τέτοιες εκπομπές μπορεί να είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν επακριβώς, δεν υπάρχει λόγος να τις αγνοήσουμε.

➢ Στο βαθμό που είναι εφικτό, οι μέθοδοι υπολογισμού GHG καυσίμων πλοίων θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις ανεξέλεγκτες εκπομπές σε όλα τα στάδια της διαδρομής του καυσίμου. **Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ο κατάλληλος χρονικός ορίζοντας για τον καθορισμό του CO_2e παράγοντα χαρακτηρισμού για όλες τις εκπομπές GHG. Το GWP των εκπομπών μεθανίου ή μαύρου άνθρακα είναι πολύ υψηλότερο σε ένα χρονικό πλαίσιο 20 ετών από αυτό που θα έδειχνε το τυπικά υιοθετούμενο χρονικό πλαίσιο των 100 ετών. Οι εκπομπές GHG που υπολογίζονται για διαφορετικούς τύπους καυσίμων θα επηρεαστούν με διαφορετικούς τρόπους από την επιλογή του χρονοδιαγράμματος.**

➢ Περαιτέρω εργασία θα μπορούσε να διερευνήσει εάν η καταγραφή για βραχυπρόθεσμες ή μακροπρόθεσμες επιπτώσεις είναι κατάλληλη για υπολογισμούς εκπομπών GHG για εναλλακτικά καύσιμα πλοίων.

7.3 Προβληματισμοί Για Τις Μεθόδους Αξιολόγησης Εκπομπών GHG Και Πρότυπα Εναλλακτικών Καυσίμων Πλοίων

Από την ανάλυση των υφιστάμενων μεθόδων και εργαλείων αξιολόγησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, συνίσταται οποιαδήποτε WtW μεθοδολογία που εφαρμόζεται στα εναλλακτικά καύσιμα πλοίων να λαμβάνει υπόψη τα ακόλουθα:

➢ Εκπομπές CO_2, CH_4, N_2O, συν δυνητικά μαύρου άναθρακα, κατά τη χρήση.

➢ Εκπομπές, ιδίως όσον αφορά τη διαρροή μεθανίου, την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή και το ποσοστό δέσμευσης και αποθήκευσης άνθρακα.

Αδαμαντία Ροδάκη

➢ Η CORSIA αντιπροσωπεύει ένα σχετικό μοντέλο για την εξέταση της αλλαγής χρήσης γης και η RED II για την εξέταση της κατανομής συμπροϊόντων.

Βιβλιογραφία

(2021). Retrieved from Global CCS Institute: https://co2re.co/FacilityData

Althaus et al. . (2010). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Ecoinvent report No. 3. ecoinvent. Retrieved from https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf

Argonne National Laboratory. (2021). The Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model. Retrieved from https://greet.es.anl.gov/

Babak Manouchehrinia, Z. D. (2020). Well-to-Propeller environmental assessment of natural gas as a marine transportation fuel in British Columbia, Canada. Energy Reports

BioGrace. (2021, February). BioGrace I and II Methodological Background Document.

Bouman, E. A. (2020). A life cycle perspective on the benefits of renewable electricity generation. Eionet Report - ETC/CME 4/2020.

Brandao, M., Azzi, E., Novaes, R. M., & Cowie, A. (2021). The modelling approach determines the carbon footprint of biofuels: The role of LCA in informing decision makers in government and industry. Cleaner Environmental Systems, 100027.

Comer, B., Olmer, N., Mao, X., Roy, B., & and Rutherford, D. (2017). Black Carbon Emissions and Fuel Use in Global Shipping 2015. Washington DC: ICCT.

Comer, B., Osipova, L., & ICCT. (2021). Accounting for well-to-wake carbon dioxide equivalent emissions in maritime transportation climate policies.

Dai, Q., Kelly, J., & Elgowainy, A. (2018). Cobalt Life Cycle Analysis Update for the GREET® Model. Retrieved from https://greet.es.anl.gov/publication-update_cobalt

Department for Business, E. &. (2021). Greenhouse gas reporting: conversion factors 2021.

Ecofys-IIASA-E4tech. (2015). The land use change impact of biofuels consumed in the EU. European Commission.

European Commission. (2018, December 11). DIRECTIVE (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN

Fargione J., H. J. (2008). Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. Science, https://doi.org/10.1126/science.1152747.

Fthenakis, V. L. (2021). Updated sustainability status of crystalline silicon-based photovoltaic systems: Lifecycle energy and environmental impact reduction trends. Progress in Photovoltaics, https://doi.org/10.1002/pip.3441.

Harris, N., Brown, S., Hagen, S. C., Baccini, A., & Houghton, R. (2012, November). Progress toward a Consensus on Carbon Emissions from Tropical Deforestation. Retrieved from https://www.woodwellclimate.org/wpcontent/uploads/2015/05/WI_WHRC_Policy_Brief_Forest_CarbonEmissions_finalreportReduced.pdf

ICAO. (2021). CORSIA Default Life Cycle Emissions Values for CORSIA Eligible Fuels. Retrieved from https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/ICAO%20document%2006%20-%20Default%20Life%20Cycle%20Emissions%20-%20March%202021.pdf

ICAO. (2021). CORSIA Supporting Document, CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology v3. Retrieved from https://www.icao.int/environmentalprotection/CORSIA/Documents/CORSIA_Supporting_Document_CORSIA%20Eligible%20Fuels_LC A_Methodology_V3.pdf

ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework

ISO 14044. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.

JRC. (2010). International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Provisions and Action Steps. EUR 24378 EN JRC58190. Joint Research Centre (JRC). Publications Office of the European Union.

Kwon, H. L. (2020, September 30). The Carbon Calculator for Land Use and Land Management Change from Biofuels Production (CCLUB). Users' Manual and Technical Documentation. Retrieved from https://greet.es.anl.gov/publication-cclub-manual-r6-2020

Mallins, D. C. (2019). Understanding the indirect land use change analysis for CORSIA. Retrieved from Transport & Environment: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2019_12_Cerulogy_ILUC-inCORSIA.pd

Pavlenko N, C. B. (2020). The climate implications of using LNG as a marine fuel. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/LNG%20as%20marine%20fuel%2C%20working%20 paper-02_FINAL_20200416.pdf

Pfromm, P. H. (2017). Towards sustainable agriculture: Fossil-free ammonia. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 9(3), 034702.

Prussi, M., Yugo, M., De Prada, L., Padella, M., Edwards, R., & Lonza, L. (2020). JEC Well-To-Wheels report v5. European Commission, JRC. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:doi:10.2760/100379

Prussi, M., Yugo, M., Padella, M., Edwards, R., Lonza, L., & De Prada, L. (2020). JEC Well-to-Tank report v5: Annexes. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Rehmatulla, N., Piris-Cabezas, P., Baresic, D., Fricaudet, M., Raucci, C., Cabbia Hubatova, M., . . . Stratton, A. (2020, June 30). Exploring the relevance of ICAO's Sustainable Aviation Fuels framework for the IMO. Retrieved from https://www.edf.org/sites/default/files/content/Exploring_the_relevance_of_ICAO_SAF_for_the_IMO__July_2020.pdf

Ricardo-DG CLIMA. (2020). Determining the environmental impacts of Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. European Commission.

Scarlat, N., & Dallemand, J.-F. (2019). The Role of Bioenergy in the Emerging Bioeconomy (Vols. 978-0-12- 813056-8). Academic Press.

Smith, J. a. (2020). The joys of automatically referencing documents that you're allowed to reference. Retrieved from website source name: www.referencelocation.com

Taheripour, F., Hertel, T., Tyner, W., Beckman, J., & Birur, D. (2008). Biofuels and their By-Products: Global Economic and Environmental Implications. 11th GTAP Conference. Helsinki, Finland.

Ulgiati, S. (2001). A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When “Green” Is Not Enough. Critical Reviews in Plant Sciences, 71-106.