



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΛΟΙΟΥ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήση Καινοτόμων Τεχνολογιών στη Ναυτιλία:
Ανάπτυξη Μοντέλου Blockchain για την Υποστήριξη της
Διαδικασίας Ανεφοδιασμού Καυσίμου (BDN)

Αικατερίνα Καλαϊτζή

Επιβλέπων:
Νικόλαος Π. Βεντικός, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2020

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας κ. Νικόλαο Π. Βεντίκο, Αναπληρωτή Καθηγητή στον Τομέα Μελέτης Πλοίων και Θαλασσίων Μεταφορών της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ, για την ευκαιρία και εμπιστοσύνη που υπέδειξε αναθέτοντάς μου την εκπόνηση του συγκεκριμένου, ιδιαίτερα ενδιαφέροντος, θέματος, αλλά και για τις επεξηγήσεις και τη βοήθεια που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω και στην υποψήφια διδάκτορα, Ειρήνη Ασημίνα Σταματοπούλου, για τις συμβουλές, το χρόνο και τη στήριξη που μου προσέφερε, ώστε να ολοκληρωθεί αυτή η διπλωματική εργασία, καθώς και για την εξαιρετική συνεργασία μας.

Σύνοψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναγνωρίζει την αυξανόμενη συμβολή της διεθνούς ναυτιλίας στο παγκόσμιο πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αναδεικνύοντας την αναγκαιότητα χρήσης νέων τεχνολογιών για την υποστήριξη των κανονισμών Sulphur Cap 2020, MRV και DCS, που έχουν θεσπιστεί για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από το Διεθνή Οργανισμό της Ναυτιλίας (IMO) και την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου (BDN) αποτελεί κοινό και αναπόσπαστο στοιχείο των εν λόγω κανονισμών, καθώς χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των αναγκαίων στοιχείων που αφορούν στη διαδικασία ανεφοδιασμού καυσίμου, αλλά και για τον υπολογισμό, αφενός, της κατανάλωσης καυσίμου και αφ' ετέρου, της ποσότητας του εκπεμπόμενου CO₂. Επιπλέον, το Δελτίο αποτελεί και έγγραφο για την ανίχνευση της συμμόρφωσης με ορισμένους κανονισμούς, όπως ο Sulphur Cap 2020. Η εργασία επικεντρώνεται στην τεχνολογία Blockchain, η οποία δύναται να υποστηρίξει τον εκσυγχρονισμό του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN). Η τεχνολογία Blockchain, σε πρώτη ανάγνωση, πρόκειται να ψηφιοποιήσει το έγγραφο του BDN και να αντιμετωπίσει τις συχνές απώλειές του και πιθανές προσπάθειες παραποίησης του, καθιστώντας το πιο αξιόπιστο. Ταυτόχρονα, όμως, η υλοποίηση ενός μοντέλου Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN), που βασίζεται στη λογική της τεχνολογίας Blockchain, δημιουργεί ένα συνολικό ιστορικό των διαδικασιών ανεφοδιασμού καυσίμου σε κάθε πλοίο και προσφέρει τη δυνατότητα σε κάθε συμμετέχων του προγράμματος να ανατρέχει εύκολα και άμεσα στις πληροφορίες που αυτό περιλαμβάνει. Η άμεση πρόσβαση στα στοιχεία του BDN, που αφορούν στη σύσταση και προέλευση του καυσίμου, πρόκειται να διευκολύνει τον εντοπισμό της πιθανής αιτίας είτε λειτουργικών προβλημάτων του πλοίου, για την υποστήριξη του Sulphur Cap 2020, είτε αυξημένων εκπομπών CO₂ και ρύπων, για τη εξασφάλιση της συμμόρφωσης στους κανονισμούς EU-MRV και IMO-DCS.

Abstract

The present diploma thesis acknowledges the increasing contribution of international shipping to the global issue of air pollution and simultaneously highlights the necessity for new technologies in support of the Sulfur Cap 2020, MRV and DCS regulations, which have been introduced to reinforce the air pollution reduction by the International Maritime Organization (IMO) and the European Union. The Bunker Delivery Note (BDN) constitutes a shared and integral part of the aforementioned regulations, since it is a database for the information concerning the bunkering procedure and throughout which, fuel consumption and CO₂ emissions' calculations are also implemented. In addition, the Bunker Delivery Note is a document for detecting compliance with certain regulations, such as the Sulphur Cap 2020. The study, also, focuses on the emerging Blockchain technology, which can effectively support the creation of a retrofit Bunker Delivery Note (BDN). Blockchain Technology is about to digitize the BDN, deal with its frequent losses and also protect it from deception, in order to improve its trustworthiness. Concurrently, the implementation of a Blockchain-based BDN creates a history record of all the bunker delivery procedures of each ship and gives each participant stakeholder the opportunity to easily access the collected data. This kind of direct access to BDN's database, concerning the content and the origin of the fuel received, will facilitate the detection of possible sources, inconveniencing the regulations aiming to reduce the air pollution. More specifically, identifying the cause of either a ship's operational problems or the increased CO₂ emissions, strengthens and supports the compliance with the Sulfur Cap 2020 and MRV/DCS regulations, respectively.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
Σύνοψη	3
Abstract.....	4
Περιεχόμενα Εικόνων	8
Περιεχόμενα Πινάκων	10
Συνομογραφίες.....	11
1 Εισαγωγή	13
2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση από τη Ναυτιλία	15
2.1 Ναυτιλιακά Καύσιμα	15
2.2 Αέριοι Ρύποι	18
2.2.1 Επιπτώσεις Αέριων Ρύπων	18
2.2.2 Εκπομπές Αέριων Ρύπων της Βιομηχανίας Μεταφορών.....	22
3 Διεθνείς Οργανισμοί	24
3.1 Διεθνής Οργανισμός της Ναυτιλίας (IMO).....	24
3.2 Ευρωπαϊκή Ένωση.....	25
3.3 Σχέση EU, IMO	27
4 Νομοθεσίες για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.....	28
4.1 Η Σύμβαση-Πλαίσιο για την Αλλαγή του Κλίματος (UNFCCC)	28
4.2 Sulphur Cap 2020	29
4.2.1 Γενικό Πλαίσιο Κανονισμού Sulphur Cap 2020.....	29
4.2.2 Διαδικασία Αλλαγής Καυσίμου (ULSFO, VLSFO)	31
4.3 Κανονισμός EU-MRV	34
4.3.1 Παρακολούθηση	35
4.3.2 Υποβολή Εκθέσεων	38
4.3.3 Επαλήθευση	39
4.4 Κανονισμός IMO-DCS	40
4.5 Σύγκριση EU-MRV, IMO-DSC.....	42
4.6 Αναγκαιότητα Εκσυγχρόνισης του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN)	44
5 Τεχνολογία Blockchain	46
5.1 Εισαγωγή στην Τεχνολογία Blockchain	46
5.2 Δομικές Έννοιες Συστήματος Blockchain	47
5.2.1 Δίκτυο Ομότιμων Κόμβων (Peer-to-Peer).....	47
5.2.2 Κρυπτογραφία (Cryptography).....	47
5.2.3 Συναίνεση (Consensus).....	50
5.2.4 Αρχιτεκτονική Blockchain	52

5.3	Κατηγορίες Blockchain	53
5.3.1	Δημόσιο (Public) Blockchain.....	53
5.3.2	Ιδιωτικό (Fully Private) Blockchain	54
5.3.3	Ομοσπονδιακό (Federated-Consortium) Blockchain	55
5.4	Κύριες Πλατφόρμες Blockchain	55
5.4.1	Hyperledger Project.....	56
5.4.2	Ethereum	56
5.5	Πότε χρησιμοποιείται ένα Σύστημα Blockchain	58
5.6	Εφαρμογές της Τεχνολογίας Blockchain	59
5.6.1	Οικονομικός Τομέας.....	60
5.6.2	Διαχείριση Ιδιωτικών Αγαθών.....	61
5.6.3	Δημόσιες και Κοινωνικές Υπηρεσίες	62
5.6.4	Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	64
5.6.5	Επιχειρηματικές και Βιομηχανικές Εφαρμογές.....	65
5.7	Προκλήσεις στην Υλοποίηση της Τεχνολογίας Blockchain	70
6	Blockchain-Based Δίκτυο BDN.....	72
6.1	Διαδικασία Εφοδιασμού Καυσίμου(Bunkering)	72
6.1.1	Υπεράκτιος Ανεφοδιασμός Πλοίου (Ship-to-Ship Bunkering)	73
6.1.2	Απευθείας Προμήθεια Καυσίμου (Shore-to-Ship Bunkering).....	75
6.2	Έλεγχος Καταλληλότητας Blockchain-Based Συστήματος BDN	77
6.3	Υλοποίηση Blockchain-Based Συστήματος BDN.....	79
6.3.1	Δομή των Blocks στο Συστήματος BDN	79
6.3.2	Προσθήκη Blocks στο Σύστημα BDN	83
7	Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Κώδικα	87
7.1	Τεχνική της Δοκιμής Σύγκρισης.....	87
7.1.1	Επανάληψη Εκτέλεσης του Κώδικα	88
7.1.2	Εκτέλεση Κώδικα με Παραλλαγμένα Στοιχεία Εισαγωγής.....	89
7.2	Τεχνική του Πιθανού Σφάλματος.....	91
7.2.1	Ελλιπή Στοιχεία Εισαγωγής	91
8	Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	94
8.1	Πρακτική Χρήση του Υλοποιημένου Συστήματος BDN.....	94
8.2	Δημιουργία Blockchain-Based Συστήματος Bunkering.....	94
8.2.1	Περιγραφή του Blockchain-Based Συστήματος Υπεράκτιου Ανεφοδιασμού Καυσίμου (Ship-to-Ship).....	95
8.3	Δημιουργία Blockchain-Based Συστήματος EU-MRV.....	97
8.3.1	Περιγραφή του Blockchain-Based Δικτύου EU-MRV	98

Βιβλιογραφία..... 99

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Ποσοστό αρωματικών, παραφινικών και ναφθениκών υδρογονανθράκων στη σύσταση του αργού πετρελαίου	15
Σχήμα 2-2: Διαδικασία κλασματικής απόσταξης αργού πετρελαίου	16
Σχήμα 2-3: Τυπική διαδικασία καύσης και σύνθεση καυσαερίων σε 2 stroke, αργόστροφο κινητήρα Diesel	18
Σχήμα 2-4: Αέριοι ρύποι στη βιομηχανία της ναυτιλίας.....	19
Σχήμα 2-5: Αυξητική τάση εκπομπών GHG ναυτιλίας	20
Σχήμα 2-6: Επιπτώσεις εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στις παράκτιες περιοχές .	21
Σχήμα 2-7: Στοιχεία για την ποσότητα CO ₂ στις βιομηχανίες μεταφορών	22
Σχήμα 4-1: Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs).....	29
Σχήμα 4-2: Παγκόσμια όρια περιεκτικότητας ναυτικών καυσίμων σε θείο.....	30
Σχήμα 4-3: Χρονολόγιο κανονισμών περιορισμού εκπομπών θείου απο τον IMO	31
Σχήμα 4-4: Κοινό χρονοδιάγραμμα EU-MRV, IMO-DSC	44
Σχήμα 5-1: Δομή Merkle Tree	49
Σχήμα 5-2: PoW και PoS πρωτόκολλα συναίνεσης.....	52
Σχήμα 5-3: Πώς λειτουργεί ένα σύστημα Blockchain	53
Σχήμα 5-4: Κατηγορίες δικτύων Blockchain	55
Σχήμα 5-5: Είναι αναγκαία η χρήση Blockchain τεχνολογίας?	59
Σχήμα 5-6: Τομείς εφαρμογής της Blockchain τεχνολογίας	59
Σχήμα 6-1: Στάδια υπεράκτιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship)	75
Σχήμα 6-2: Στάδια απευθείας προμήθειας καυσίμου (shore-to-ship)	76
Σχήμα 6-3: Δημιουργία δομικών στοιχείων των Blocks.....	80
Σχήμα 6-4: Δομή των Blocks	80
Σχήμα 6-5: Δημιουργία της λειτουργίας κατακερματισμού του Genesis Block σε κώδικα Matlab	81
Σχήμα 6-6: Εισαγωγή αρχείων data	81
Σχήμα 6-7: Εισαγωγή στοιχείων πλοίων	82
Σχήμα 6-8: Εισαγωγή στοιχείων λιμένων.....	82
Σχήμα 6-9: Εισαγωγή στοιχείων διαδικασίας Bunkering.....	82
Σχήμα 6-10: Εισαγωγή στοιχείων καυσίμου	82
Σχήμα 6-11: Αποθηκευμένα data στο Matlab Workspace.....	83
Σχήμα 6-12: Δημιουργία του Genesis Block σε περιβάλλον Matlab	83
Σχήμα 6-13: Κώδικας δημιουργίας και επικύρωσης (mining) των Blocks στο σύστημα Blockchain.....	84
Σχήμα 6-14: Blockchain σύστημα BDN.....	85
Σχήμα 6-15: Εξαγωγή στοιχείων BDN πρώτης διαδικασίας Bunkering, σε περιβάλλον Matlab.	86
Σχήμα 6-16: Πίνακας εξαγωγής ημερομηνιών Bunkering	86
Σχήμα 7-1: Σχηματική απόδοση της μεθόδου αξιολόγησης "Black Box"	87
Σχήμα 7-2: Δεύτερη δοκιμή εκτέλεσης για το σύστημα BDN	88
Σχήμα 7-3: Πίνακας εισαγωγής διαφοροποιημένων στοιχείων καυσίμου	89
Σχήμα 7-4: Blockchain σύστημα BDN με είσοδο διαφοροποιημένων στοιχείων.....	90
Σχήμα 7-5: Πίνακας εισαγωγής ελλিপών στοιχείων καυσίμου	92
Σχήμα 7-6: Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος με ελλιπή στοιχεία εισαγωγής σε περιβάλλον Matlab.	92

Σχήμα 7-7: Εκτελέσιμο και μη εκτελέσιμο πρόγραμμα σε περιβάλλον Matlab.....	93
Σχήμα 8-1: Στάδια υπεράκτιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship)	95
Σχήμα 8-2: Σχηματική αναπαράσταση υπεράκτιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship) ...	97

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2-1: ISO 8217 2017 fuel standard for marine distillate & residual fuels.....	17
Πίνακας 4-1: Θερμογόνος δύναμη και συντελεστής εκπομπής βασικών κατηγοριών ναυτικού καυσίμου	36
Πίνακας 5-1: Κύρια χαρακτηριστικά των Ethereum, Hyperledger Fabric.....	58
Πίνακας 6-1: Παραδείγματα βαθμών flashpoints των ναυτιλιακών καυσίμων.	75
Πίνακας 7-1: Διαφοροποίηση στη δομή του Block από την αλλαγή των στοιχείων εισαγωγής	91
Πίνακας 8-1: Ζητούμενα χαρακτηριστικά καυσίμου σύμφωνα με το ISO 8217.....	95

Συντομογραφίες

EU: European Union
EE: Ευρωπαϊκή Ένωση
IMO: International Maritime Organization
MARPOL: Convention for Prevention of Marine Pollution
UIC: International Union of Railways
EEDI: Energy Efficiency Design Index
SEEMP: Ship Energy Efficiency Management Plan
ECAs: Emission Control Areas
ISO: International Organization for Standardization
MEPC: Marine Environment Protection Committee
EMSA: European Maritime Safety Agency
EPA: Environmental Protection Agency
IACS: International Association of Classification Societies
ETS: Emission Trading System
UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change
MRV: Monitoring, Reporting, Verification
DCS: Data Collection System
PSC: Port State Control
BDN: Bunker Delivery Note
NDIR: Nondispersive Infrared Sensor
GT: Gross Tonnage
NT: Net Tonnage
DWT: Deadweight Tonnage
VLSFO: Very Low Sulphur Fuel Oil
ULSFO: Ultra Low Sulphur Fuel Oil
MGO: Marine Gas Oil
MDO: Marine Diesel Oil
HFO: Heavy Fuel Oil
LFO: Light Fuel Oil
LNG: Liquefied Natural Gas
LPG: Liquefied Petroleum Gas
Ro-Ro: Roll-on/roll-off
TEU: Twenty-foot Equivalent Unit
CO₂: Διοξείδιο του άνθρακα
SO_x: Οξειδία του θείου
NO_x: Οξειδία του αζώτου
CO: Μονοξείδιο του άνθρακα
PM: Σωματιδιακή οργανική ύλη
CH₄: Μεθάνιο
N₂: Άζωτο
O₂: Οξυγόνο
N₂O: Υποξείδιο του αζώτου
C: Άνθρακας
H: Υδρογόνο
HFC: Υδροφθοράνθρακες

PFC: Υπερφθοράνθρακες
SF₆ : Εξαφθοριούχο θείο
pH: Potential Hydrogen
P2P: Peer-to-Peer
M2M: Machine-to-Machine
IoT: Internet of Things
IBM: International Business Machines
MBL: Maritime Blockchain Labs
BLOC: Blockchain Labs for Open Collaboration
TRI: Toyota Research Institute
MIT: Massachusetts Institute of Technology
MIT ML: Massachusetts Institute of Technology Media Lab
ECC: Elliptic Curve Cryptography
VDR: Voyage Data Recorder
TTP: Trusted Third Party
PoW: Proof of Work
PoS: Proof of Stake
PBFT: Practical Byzantine Fault Tolerance
API: Application Program Interface
EVM: Ethereum Virtual Machine
POS: Point of Sale System

1 Εισαγωγή

Η ναυτιλία αποτελεί σημαντικό παράγοντα του διεθνούς εμπορίου και της διεθνούς οικονομίας, μεταφέροντας, σήμερα, περίπου το 90% του παγκόσμιου εμπορίου. Ταυτόχρονα όμως, είναι υπεύθυνη για ένα σημαντικό ποσοστό του παγκόσμιου προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εκπέμποντας περίπου 3.1% των συνολικά παγκοσμίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος, με την κατανάλωση καυσίμου της να ανέρχεται στους 335 εκατομμύρια τόνους καύσιμο ανά έτος.¹ Επομένως, η σταθερά αυξανόμενη συμβολή της πομπού ναυτιλίας στην παγκόσμια ατμοσφαιρική ρύπανση συνιστά έναν νέο παράγοντα, τον οποίο το σύγχρονο διεθνές περιβαλλοντικό δίκαιο καλείται να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά. Η τήρηση αυστηρών περιορισμών που αφορούν στην ποιότητα των καυσίμων εφοδιασμού των πλοίων και στη σύσταση των καυσαερίων που εκπέμπονται από αυτά, όπως οι κανονισμοί Sulphur Cap 2020 και EU-MRV/IMO-DCS αντίστοιχα, είναι κομβικής σημασίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο να αναδείξει την ανάγκη της χρήσης νέων τεχνολογιών για την υποστήριξη της εφαρμογής των κανονισμών Sulphur Cap 2020, EU-MRV και IMO-DCS, που αφορούν στην ατμοσφαιρική ρύπανση και πιο συγκεκριμένα πώς η εναρμόνιση με τους κανονισμούς μπορεί να υποστηριχθεί και να ελεγχθεί μέσα από την τεχνολογία Blockchain. Οι κανονισμοί που προαναφέρθηκαν έχουν ως κοινό παράγοντα την δημιουργία ενός Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN), κατά την ολοκλήρωση της παραλαβής καυσίμου, στο οποίο περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που πλαισιώνουν τη διαδικασία ανεφοδιασμού καυσίμου, όπως στοιχεία για το λιμάνι, το πλοίο, το καύσιμο κ.α. Στα στοιχεία καυσίμου περιλαμβάνεται και η ποσότητα που παραδίδεται και με τη βοήθεια της οποίας υπολογίζεται η κατανάλωση καυσίμου μεταξύ δύο ανεφοδιασμών και η ποσότητα εκπεμπόμενου διοξειδίου του άνθρακα στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Εξασφαλίζοντας, επομένως, ότι το Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου δημιουργείται βασιζόμενο σε μια τεχνολογία, η οποία προσφέρει αξιοπιστία και εξάλειψη κακόβουλων παρεμβάσεων στα στοιχεία του, διευκολύνεται η υποστήριξη των εφαρμογών των κανονισμών Sulphur Cap 2020, EU-MRV και IMO-DCS. Με αυτόν τον τρόπο, η διαδικασία του Bunkering εκσυγχρονίζεται και το BDN αποκτά ψηφιακό και απροσπέλαστο χαρακτήρα. Έτσι διατίθεται μια βάση δεδομένων, στην οποία μπορεί εύκολα να διατρέξει κάθε συμμετέχων του προγράμματος, ώστε να εντοπίσει την πιθανή πηγή λειτουργικών προβλημάτων ή αυξημένων εκπομπών CO₂ του πλοίου, που οφείλεται στη σύσταση και προέλευση του καυσίμου που έχει παραλάβει.

Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο 2, γίνεται αναφορά στα πιο διαδεδομένα καύσιμα που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα στον τομέα της ναυτιλίας και στους αέριους ρύπους που εκπέμπονται από τη λειτουργία των στόλων, με μια εκτενή ανάλυση στις επιπτώσεις τους. Στο Κεφάλαιο 3 παρατίθενται οι ισχυροί διεθνείς και τοπικοί οργανισμοί που δραστηριοποιούνται στη θεσμοθέτηση περιορισμών για την προστασία του περιβάλλοντος, δηλαδή ο Διεθνής Οργανισμός της Ναυτιλίας (IMO) και η Ευρωπαϊκή Ένωση (EU), καθώς και η μεταξύ τους σχέση. Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται οι κυριότερες διεθνείς νομοθεσίες για την πρόληψη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη ναυτιλία, με εκτεταμένη ανάλυση στους κανονισμούς Sulphur Cap 2020, EU-MRV και IMO-DCS, καθώς και η σύγκριση μεταξύ των δύο τελευταίων. Σε αυτό το σημείο αναγνωρίζεται η ύπαρξη του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου

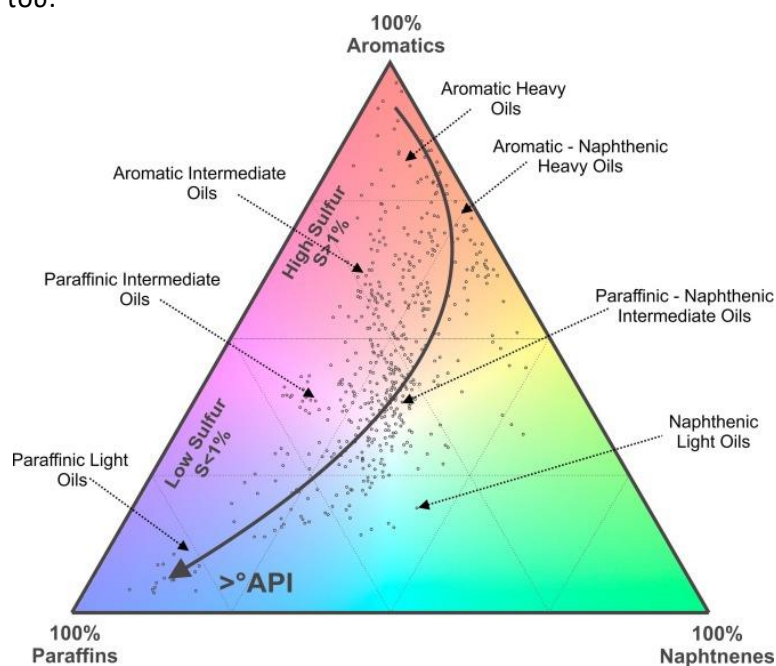
¹ (Christiansen & Fagerholt, 2008)

(BDN) και στους τρεις κανονισμούς που προαναφέρθηκαν και η αναγκαιότητα για βελτίωση της ήδη υπάρχουσας μορφής του. Στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται η τεχνολογία Blockchain, με αναφορά σε βασικές έννοιες που τη χαρακτηρίζουν, όπως η κρυπτογραφία και η συναίνεση, σε κατηγορίες υποδιαίρεσης και πλατφόρμες εφαρμογής της. Στο τέλος της συγκεκριμένης παραγράφου γίνεται αναφορά και στους τομείς εφαρμογής της τεχνολογίας, με παραδείγματα ήδη υπαρχόντων, αλλά και πιθανών μελλοντικών συστημάτων χρήσης της. Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφεται η διαδικασία ανεφοδιασμού καυσίμου, στη συνέχεια ελέγχεται η καταλληλότητα εισχώρησης της τεχνολογίας Blockchain σε αυτήν και ακολουθεί η υλοποίηση του Blockchain μοντέλου BDN, για τρεις διαδικασίες Bunkering ενός πλοίου, σε περιβάλλον Matlab. Γίνεται αναφορά στη δομή των Blocks της αλυσίδας και στη διαδικασία δημιουργίας, πρόσθεσης και επικύρωσης των Blocks σε αυτήν. Στο κεφάλαιο 7 πραγματοποιείται η αξιολόγηση του υλοποιημένου κώδικα, κάνοντας χρήση της θεωρίας της “Black Box” μεθόδου αξιολόγησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται η τεχνική της Δοκιμής Σύγκρισης, επαναλαμβάνοντας την εκτέλεση του κώδικα με τα σωστά στοιχεία για δεύτερη φορά και με παραλλαγμένα και η τεχνική του Πιθανού Σφάλματος εκτελώντας το πρόγραμμα με ελλιπή δεδομένα. Τέλος, στο κεφάλαιο 8, διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα, σε συνέχεια της παρούσας.

2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση από τη Ναυτιλία

2.1 Ναυτιλιακά Καύσιμα

Η γενικά αποδεκτή θεωρία που αφορά στο σχηματισμό του αργού πετρελαίου είναι ότι προέρχεται από την αποσύνθεση φυτικών και ζωικών οργανισμών. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, υπολείμματα οργανισμών εγκλωβίστηκαν στο βυθό της θάλασσας σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές, αναμείχθηκαν με άμμο και λάσπη και άρχισαν να δημιουργούν συσσωρευμένα, οργανικά πλούσια, στρώματα. Η άμμος και η λάσπη, στη συνέχεια, μετατράπηκαν σε ιζηματογενή πετρώματα και τα οργανικά υπολείμματα, με την επίδραση της πίεσης και της θερμότητας, σε σταγονίδια υδρογονανθράκων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Τα καύσιμα που κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην παγκόσμια αγορά και ζήτηση, είναι αυτά τα οποία προέρχονται από το αργό πετρέλαιο και την ειδική επεξεργασία του, τη διύλιση. Το αργό πετρέλαιο, όπως λαμβάνεται κατά την εξόρυξή του από υπόγεια κοιτάσματα, είναι ένα πολύπλοκο και ετερογενές μίγμα αέριων, υγρών και στερεών υδρογονανθράκων. Οι κυριότερες οργανικές ενώσεις του αργού πετρελαίου είναι οι παραφινικοί, ναφθενικοί και αρωματικοί υδρογονάνθρακες. Επίσης, περιέχει σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις θείο (0-5 %), άζωτο (0-1 %), οξυγόνο (0-2 %), και μέταλλα (0-0.1 %), κυρίως σίδηρο, νικέλιο, χρώμιο και βανάδιο. Το αργό πετρέλαιο περιέχει επίσης νερό και άλλα αέρια στοιχεία τα οποία, αμέσως μετά την εξόρυξη απομακρύνονται με κατάλληλες μεθόδους.² Η σύνθεση του πετρελαίου μπορεί να ποικίλει σημαντικά ανάλογα με την πηγή του. Ακόμα και από εξορύξεις στην ίδια γεωγραφική περιοχή μπορεί να προκύψει ακατέργαστο πετρέλαιο με διαφορές στη σύστασή του, λόγω των διαφορετικών στρωμάτων σχηματισμού του.



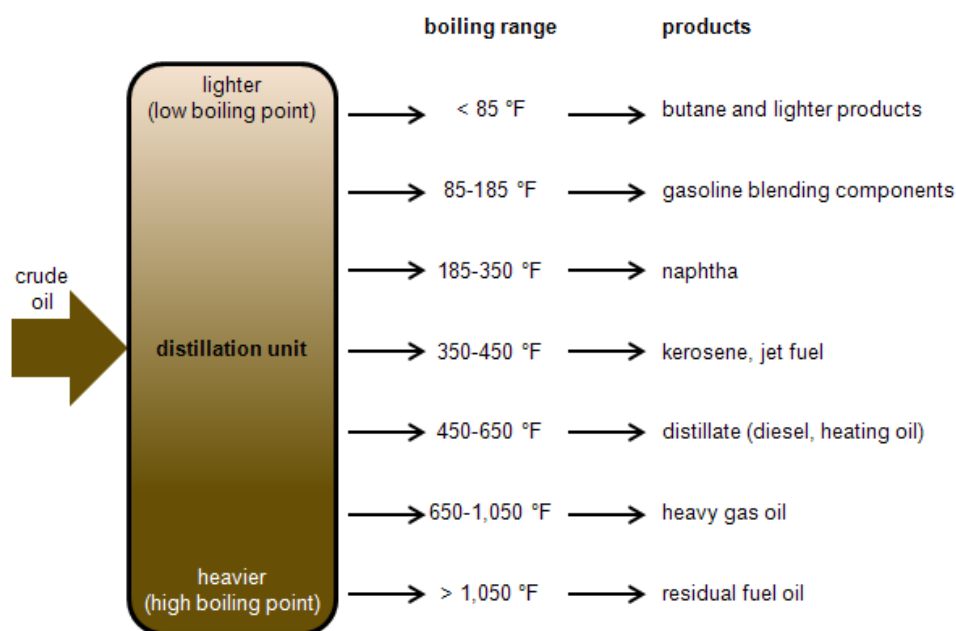
Σχήμα 2-1: Ποσοστό αρωματικών, παραφινικών και ναφθενικών υδρογονανθράκων στη σύσταση του αργού πετρελαίου³

² (Vermeire M. , 2012)

³ (Lesson 5-Crude Quality Issues)

Η αναλογία σε αρωματικούς, παραφινικούς και ναφθενικούς υδρογονάνθρακες είναι που επηρεάζει την ποιότητα του ακατέργαστου πετρελαίου, σε συνεργασία με την περιεκτικότητα σε θείο, ειδικά όταν η συγκεκριμένη ουσία είναι εντός του αρωματικού μέρους, πράγμα που καθιστά πολύ πιο δύσκολη την αφαίρεσή του.

Την εξόρυξη, εν συνεχεία, ακολουθεί μια σειρά από φυσικές και χημικές διεργασίες, οι οποίες είναι γνωστές ως «διύλιση του πετρελαίου». Η διύλιση περιλαμβάνει την κλασματική απόσταξη, δηλαδή το φυσικό διαχωρισμό του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα ανάλογα με το σημείο ζέσεως τους, τις χημικές διεργασίες μετατροπής του σε χρήσιμα υγρά και αέρια προϊόντα, καθώς και τις διεργασίες εξευγενισμού και ετοιμασίας του τελικού, εμπορικού προϊόντος που διατίθεται προς κατανάλωση.



Σχήμα 2-2: Διαδικασία κλασματικής απόσταξης αργού πετρελαίου⁴

Σε ό,τι αφορά στα ναυτιλιακά καύσιμα, αυτά είναι κλάσματα πετρελαίου που προέρχονται από την απόσταξη του και διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες: το ναυτιλιακό diesel και το ναυτιλιακό μαζούτ. Η πρώτη κατηγορία, ή αλλιώς τα καύσιμα αποστάγματος (distillate), αποτελούνται από κλάσματα αργού πετρελαίου που διαχωρίζονται σε διυλιστήριο μέσω της διαδικασίας απόσταξης. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217: 2017, ως distillate καύσιμα χαρακτηρίζονται τα: DMX, DMA, DMZ, DMB, DFA, DFZ και DFB. Η δεύτερη κατηγορία, που αλλιώς αποκαλείται και υπολειμματικό καύσιμο (residual & heavy gas oil), είναι το βαρύτερο προϊόν, αποτελεί το υπόλειμμα της αποστάξεως και περιλαμβάνει τους ακόλουθους βαθμούς: RMA, RMB, RMD, RME, RMG και RMK. Πρόκειται για δύο κατηγορίες καυσίμων οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς τις φυσικές ιδιότητες τους και τον τρόπο χρήσης τους. Ωστόσο, είτε για λειτουργικούς είτε για οικονομικούς λόγους, στις προωσθήριες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται καύσιμα και των δύο κατηγοριών είτε εναλλάξ, είτε σε μίγματα.⁵ Το LNG (Liquefied Natural Gas) επίσης, χρησιμοποιείται ως εναλλακτικό καύσιμο πλοίων. Θεωρείται το θαλάσσιο καύσιμο του μέλλοντος και ένα μέσο για την επίτευξη της συμμόρφωσης σε αυστηρότερους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Το αποτύπωμα άνθρακα αυτού του καυσίμου και οι εκπομπές ενώσεων θείου και αζώτου είναι σημαντικά βελτιωμένες σε σχέση με εκείνες των καυσίμων με βάση το αργό πετρέλαιο. Καθώς τα κατώτατα όρια εκπομπών οξειδίου του αζώτου και διοξειδίου του θείου θα εξακολουθήσουν

⁴ (Crude oil distillation and the definition of refinery capacity, 2012)

⁵ (Dekkers, 2019)

να μειώνονται για την προστασία του περιβάλλοντος, οι εμπειρογνώμονες αναμένουν ότι το LNG θα χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν διεθνώς δεσμευτικοί κανόνες και πρότυπα για την παγκόσμια χρήση και αποθήκευση του, ωστόσο αυτά αναπτύσσονται επί του παρόντος από διάφορες επιτροπές και οργανώσεις, μεταξύ των οποίων ο IMO. Τα ναυτιλιακά καύσιμα είναι ευθύνη του τμήματος της προμήθειας καυσίμων σε μια ναυτιλιακή εταιρεία, που μπορεί να υπάγεται στο τμήμα επιχειρήσεων (operation department) ή να είναι ανεξάρτητο. Τέλος, τα καύσιμα πρέπει να ικανοποιούν τις προδιαγραφές που καθορίζονται από τα διεθνή πρότυπα και κυρίως το ISO 8217:

Πίνακας 2-1: ISO 8217 2017 fuel standard for marine distillate & residual fuels⁶

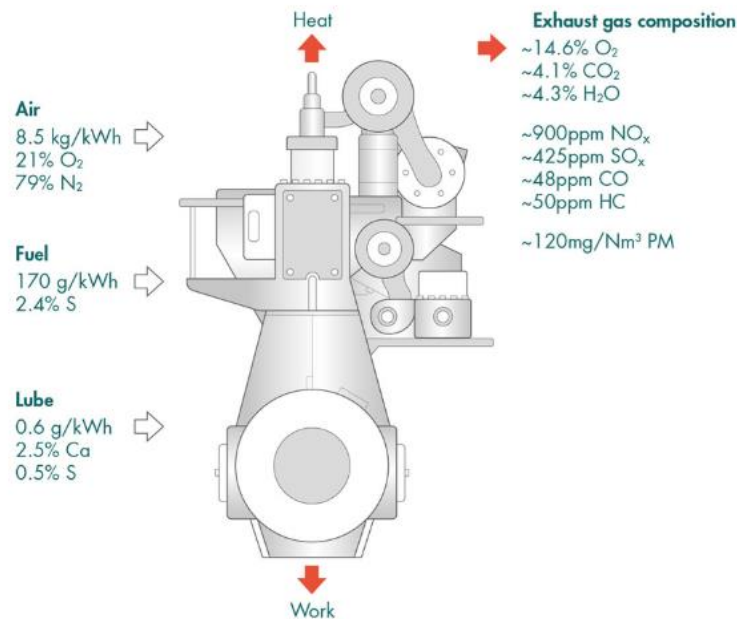
Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-								Test method(s) and references	
			DMX	DMA	DFA	DMZ	DFZ	DMB	DFB			
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s *	Max	5,500	6,000		6,000		11,00			ISO 3104	
		Min	1,400	2,000		3,000		2,000				
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	–	890,0		890,0		900,0			ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1	
Cetane index	–	Min	45	40		40		35			ISO 4264	
Sulfur ^b	mass %	Max	1,00	1,00		1,00		1,50			ISO 8754 or ISO 14596, ASTM D4294; see 6.3	
Flash point	°C	Min	43,0	60,0		60,0		60,0			ISO 2719; see 6.4	
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00		2,00		2,00			IP 570; see 6.5	
Acid number	mg KOH/g	Max	0,5	0,5		0,5		0,5			ASTM D664; see 6.6	
Total sediment by hot filtration	mass %	Max	–	–		–		0,10 ^e			ISO 10307-1; see 6.8	
Oxidation stability	g/m ³	Max	25	25		25		25 ^d			ISO 12205	
Fatty acid methyl ester (FAME) *	volume %	Max	–	–	7,0	–	7,0	–	7,0		ASTM D7963 or IP 579; see 6.10	
Carbon residue – Micro method on the 10 % volume distillation residue	mass %	Max	0,30	0,30		0,30		–			ISO 10370	
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	–	–		–		0,30			ISO 10370	
Cloud point ^f	winter	°C	Max	–16	report	report		–			ISO 3015; see 6.11	
	summer	°C	Max	–16	–	–		–				
Cold filter plugging point ^f	winter	°C	Max	–	report	report		–			IP 309 or IP 612; see 6.11	
	summer	°C	Max	–	–	–		–				
Pour point (upper) ^f	winter	°C	Max	–	–6	–6		0			ISO 3016; see 6.11	
	summer	°C	Max	–	0	0		6				
Appearance			Clear and Bright ^g						^e			see 6.12
Water	volume %	Max	–	–		–		0,30 ^e			ISO 3733	
Ash	mass %	Max	0,010	0,010		0,010		0,010			ISO 6245	
Lubricity, corrected wear scar diameter (WSD) at 60 °C ^h	µm	Max	520	520		520		520 ^d			ISO 12156-1	

Characteristic	Unit	Limit	Category ISO-F-										Test method reference		
			RMA 10	RMB 30	RMD 80	RME 180	RMG				RMK				
Kinematic viscosity at 50 °C	mm ² /s *	Max	10,00	30,00	80,00	180,0	180,0	380,0	500,0	700,0	380,0	500,0	700,0	ISO 3104	
Density at 15 °C	kg/m ³	Max	920,0	960,0	975,0	991,0	991,0				1010,0			ISO 3675 or ISO 12185; see 6.1	
CCAI	–	Max	850	860	860	860	870				870			see 6.2	
Sulfur ^b	mass %	Max	Statutory requirements										ISO 8754 or ISO 14596 or ASTM D4294; see 6.3		
Flash point	°C	Min	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0				60,0			ISO 2719; see 6.4	
Hydrogen sulfide	mg/kg	Max	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00				2,00			IP 570; see 6.5	
Acid number ^e	mg KOH/g	Max	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5				2,5			ASTM D664; see 6.6	
Total sediment – Aged	mass %	Max	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10				0,10			ISO 10307-2; see 6.9	
Carbon residue – Micro method	mass %	Max	2,50	10,00	14,00	15,00	18,00				20,00			ISO 10370	
Pour point (upper) ^d	winter	°C	Max	0	0	30	30	30				30			ISO 3016
	summer	°C	Max	6	6	30	30	30				30			
Water	volume %	Max	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50				0,50			ISO 3733	
Ash	mass %	Max	0,040	0,070	0,070	0,070	0,100				0,150			ISO 6245	
Vanadium	mg/kg	Max	50	150	150	150	350				450			IP 501, IP 470 or ISO 14597; see 6.14	
Sodium	mg/kg	Max	50	100	100	50	100				100			IP 501, IP 470; see 6.15	
Aluminium plus silicon	mg/kg	Max	25	40	40	50	60				60			IP 501, IP 470 or ISO 10476; see 6.16	
Used lubricating oil (ULO): – Calcium and zinc; or – Calcium and phosphorus	mg/kg	–	Calcium > 30 and zinc > 15 or Calcium > 30 and phosphorus > 15										IP 501 or IP 470, IP 500; see 6.17		

⁶ (ISO 8217 2010 FUEL STANDARD)

2.2 Αέριοι Ρύποι

Οι εκπομπές αέριων ρύπων που προέρχονται από τον διεθνή εμπορικό στόλο αντιπροσωπεύουν μια σημαντική συμβολή στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές. Οι κυριότερες ενώσεις που εκπέμπονται από τις ναυτιλιακές και λιμενικές επιχειρήσεις και επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οξείδια του θείου (SO_x), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα οξείδια του αζώτου (NO_x) και διάφορα είδη σωματιδιακής οργανικής ύλης (PM).



Σχήμα 2-3: Τυπική διαδικασία καύσης και σύνθεση καυσαερίων σε 2 stroke, αργόστροφο κινητήρα Diesel ⁷

2.2.1 Επιπτώσεις Αέριων Ρύπων

Οι εκπομπές θείου (SO_x) είναι προϊόν της διαδικασίας καύσης σε σκάφη που λειτουργούν με καύσιμα πετρελαίου υψηλής περιεκτικότητας σε θείο. Το θείο είναι συστατικό του αργού πετρελαίου και όταν το πετρέλαιο θερμαίνεται, το θείο αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρα και δημιουργεί το παράγωγο διοξείδιο του θείου. Οι εκπομπές θείου από τη ναυτιλία είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα που επηρεάζει το φυσικό περιβάλλον και τα υδάτινα συστήματα. Πιο συγκεκριμένα, οι εκπομπές θείου είναι η κύρια αιτία της όξινης βροχής, του σχηματισμού επιφανειακού όζοντος και της οξείδωσης με επιπτώσεις στην ατμόσφαιρα και στα υδρόβια οικοσυστήματα. Οι εκπομπές SO_x έχουν επίσης σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Το θείο είναι η αιτία πολλών προβλημάτων που οι επιδημιολογικές μελέτες συνδέουν σταθερά με μια σειρά ασθενειών, όπως το άσθμα, οι καρδιαγγειακές παθήσεις και οι πνευμονικές ασθένειες. Οι εκπομπές των πλοίων περιέχουν επίσης καρκινογόνα σωματίδια που συνδέονται ακόμα και με περιπτώσεις πρόωρων θανάτων.

⁷ (EGCSA)

Τα οξειδία αζώτου (NO_x) δημιουργούνται από την αντίδραση του αζώτου (N_2) με το οξυγόνο του αέρα μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης στα σκάφη και είναι αρμόδια επίσης για την όξινη απόθεση αλλά και τη δημιουργία φωτοχημικού νέφους, παράγοντες ιδιαίτερα ανησυχητικούς για την ανθρώπινη υγεία. Τα NO_x και οι πτητικές εκπομπές (PM), οι οποίες αποτελούν ένα σύνθετο μείγμα οργανικών και ανόργανων ουσιών και περιλαμβάνουν ατομικό άνθρακα, αιθάλη, στάχτη και πολύ μικρά σωματίδια καυσίμου που δεν κάηκε ή κάηκε ατελώς, συμβάλλουν στο σχηματισμό του όζοντος του εδάφους που είναι επίσης επιβλαβές για την υγεία και το περιβάλλον.⁸



Σχήμα 2-4: Αέριοι ρύποι στη βιομηχανία της ναυτιλίας⁹

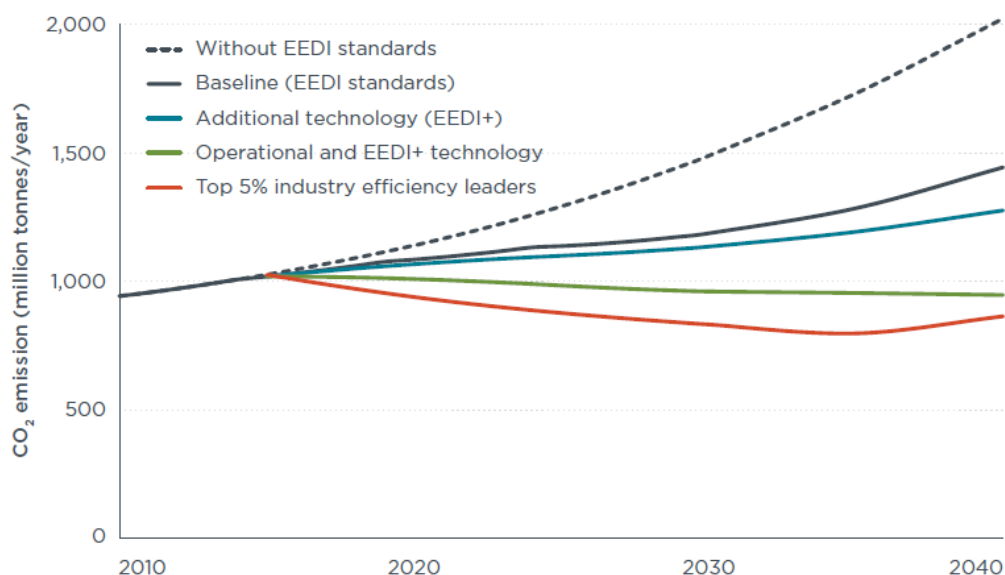
Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) σχηματίζεται στη ναυτική μηχανή από τη χημική αντίδραση αζώτου (N_2) και οξυγόνου (O_2) με καύσιμο άνθρακα (C) και υδρογόνου (H) και αποτελεί το πιο επικίνδυνο αέριο του θερμοκηπίου. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου μπορεί να περιγραφεί ως εξής. Ένα μέρος της ενέργειας που εκπέμπει ο ήλιος διασχίζει την ατμόσφαιρα χωρίς να απορροφηθεί, με τη μορφή κυρίως ορατού φωτός, και θερμαίνει την επιφάνεια του εδάφους και της θάλασσας. Εφόσον η γη θερμαίνεται, εκπέμπει με τη σειρά της ενέργεια προς το διάστημα, με τη μορφή όμως υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στη φυσιολογική σύσταση της ατμόσφαιρας υπάρχουν, σε πολύ μικρές ποσότητες, αέρια όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και οι υδρατμοί τα οποία είναι διαφανή στο ορατό φως, γι' αυτό και δεν εμποδίζουν την ακτινοβολία του ήλιου να διασχίσει την ατμόσφαιρα. Όμως δεν είναι διαφανή στην υπέρυθη ακτινοβολία και απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που εκπέμπεται από τη γη προτού αυτή διαφύγει στο διάστημα. Τα αέρια αυτά με τη σειρά τους επανεκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία, μέρος της οποίας απορροφάται από τη γη, συντελώντας έτσι στην άνοδο της θερμοκρασίας του συστήματος γη - ατμόσφαιρα.¹⁰ Επομένως, η ποσότητα CO_2 στην ατμόσφαιρα χρειάζεται διαρκή έλεγχο. Η ναυτιλία είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά του 90% προϊόντων του παγκόσμιου εμπορίου και μάλιστα αυτή η μεγάλη αύξηση συντελέστηκε κυρίως τα τελευταία 25 χρόνια. Οι θαλάσσιες μεταφορές συνεισφέρουν στις εκπομπές καυσαερίων σήμερα μεταξύ 600 και 800 εκατομμύρια τόνους CO_2 ανά έτος ή περίπου 3.1% των συνολικά παγκοσμίως εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

⁸ (Κοτρίκλα, 2015)

⁹ (AIR POLLUTION & MARINE SHIPPING)

¹⁰ (Greenhouse effect, 2018)

Η ποσότητα αυτή ισούται, για παράδειγμα, με το σύνολο των εκπομπών της Γερμανίας και μάλιστα, προβλέπεται ότι οι εκπομπές θα εμφανίσουν εντυπωσιακή αύξηση 50-250%, χωρίς τη περαιτέρω ενίσχυση των ήδη υπαρχόντων κανονισμών για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην περίοδο μέχρι το 2050.



Σχήμα 2-5: Αυξητική τάση εκπομπών GHG ναυτιλίας¹¹

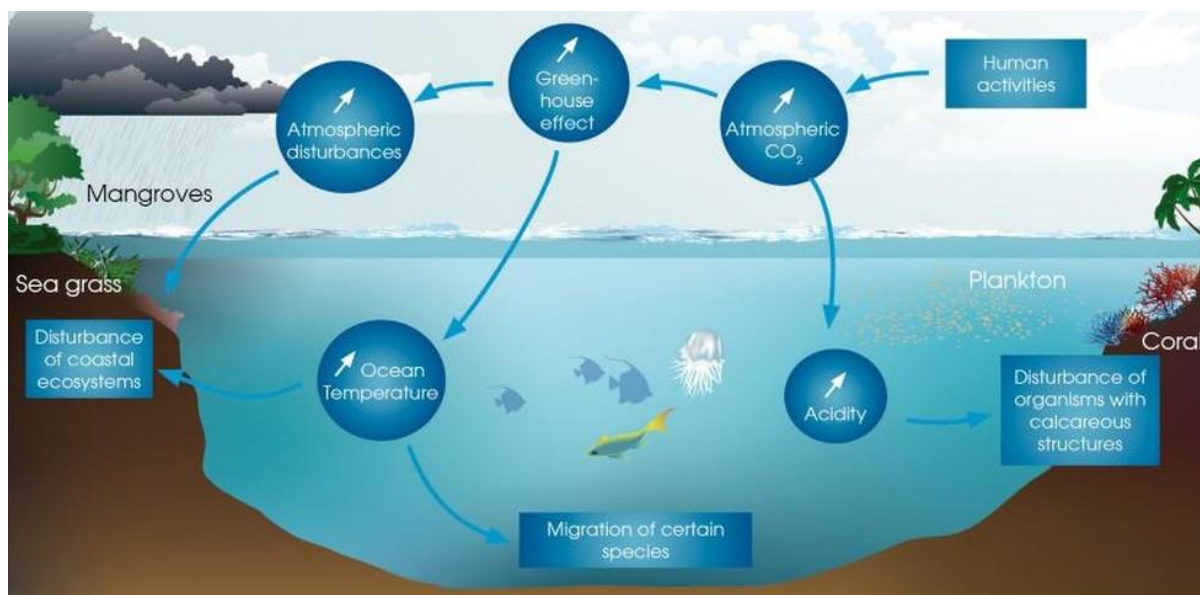
Οι εκπομπές, ακόμα, σε παράκτιες περιοχές είναι σημαντικές καθώς αντιπροσωπεύουν 18 εκατομμύρια τόνους CO₂ και έχουν επιπτώσεις στο οικοσύστημα αλλά και στον πληθυσμό των πόλεων, αφού περίπου 230 εκατομμύρια άνθρωποι εκτίθενται άμεσα σε αυτές.¹² Οι παράκτιες περιοχές επομένως, δεδομένης της παγκόσμιας σπουδαιότητάς τους, αποτελούν βασικό άξονα ανησυχίας όσον αφορά τις πιθανές επιπτώσεις της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα των εκπομπών CO₂. Οι ωκεανοί της γης θερμαίνονται και τα επίπεδα της θάλασσας αυξάνονται, ως αποτέλεσμα των αυξανόμενων συγκεντρώσεων αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Περίπου το 93% της πρόσθετης θερμότητας που δημιουργείται από την υπερθέρμανση του πλανήτη έχει μέχρι στιγμής απορροφηθεί από τους ωκεανούς. Καθώς θερμαίνεται το νερό, επεκτείνεται. Αυτή η επέκταση υπήρξε η κύρια αιτία αύξησης της στάθμης της θάλασσας. Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, η μέση στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο, αυξήθηκε κατά 19 εκατοστά. Με την πάροδο του χρόνου, η συμβολή της τήξης των πάγων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά.¹³ Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αυξάνει επίσης την αλατότητα των υπόγειων υδάτων και ωθεί το αλμυρό νερό προς τα πάνω. Η υψηλότερη αλατότητα μπορεί να καταστήσει το νερό μη πόσιμο χωρίς αφαλάτωση, με αποτέλεσμα να βλάπτονται υδρόβια φυτά και ζώα. Ακόμα, η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας σε ρηχό βάθος μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες αλλαγές στα παράκτια οικοσυστήματα, επηρεάζοντας τα είδη που κατοικούν στις περιοχές αυτές. Μάλιστα έχουν σημειωθεί μετακινήσεις φάσματος σε ψάρια ζεστού και κρύου νερού. Οι αλλαγές στην ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου, ενδέχεται επίσης να αλλάξουν τη συχνότητα των καταιγίδων, οι οποίες καταστρέφουν τους βιότοπους, δημιουργούν

¹¹ (Third IMO GHG Study, 2014)

¹² (Merk, 2014)

¹³ (Causes of climate change and sea-level rise, 2018)

επικίνδυνες πλημμύρες και απειλούν την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια. Με τη σειρά τους, οι αυξήσεις στην απορροή των υδάτων μέσα στο έδαφος, να απειλούν την υγεία και την ποιότητα των παράκτιων υδάτων, όπως ο Κόλπος του Μεξικού, που αντιμετωπίζεται ήδη ως "νεκρή ζώνη". Οι νεκρές ζώνες εμφανίζονται όταν χερσαίες πηγές ρύπανσης (π.χ. γεωργικά λιπάσματα) συμβάλλουν στην άνθηση των φυκιών. Όταν οι φυτικοί μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε υδάτινο περιβάλλον βυθίζονται και αποσυντίθενται, η διαδικασία εξαντλεί το οξυγόνο στο νερό. Τέλος, καθώς οι αυξήσεις στην απορροή φέρνουν περισσότερο άζωτο, φώσφορο και άλλους ρύπους στα παράκτια ύδατα, πολλά είδη πρόκειται να απειληθούν.¹⁴ Η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου έχει σημαντικές επιπτώσεις και στη βιοχημεία των ωκεανών. Η συνεχιζόμενη πρόσληψη ατμοσφαιρικού CO₂ αναμένεται να μειώσει αισθητά το ωκεάνιο pH τους επόμενους αιώνες, από 0,3 έως 0,5 μονάδες για τα επόμενα 100 χρόνια και από 0,3 έως 1,4 μονάδες για τα επόμενα 300 χρόνια, ανάλογα με το σενάριο εκπομπών CO₂ που χρησιμοποιείται. Ενώ πολλοί θαλάσσιοι οργανισμοί έχουν προσαρμοστεί στις θερμικές διακυμάνσεις τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια, η αναμενόμενη οξίνιση του ωκεανού είναι υψηλότερη από οποιαδήποτε άλλη, κατά τα προηγούμενα 200-300 εκατομμύρια χρόνια.¹⁵ Η οξίνιση καταστά πιο δύσκολο για ορισμένους οργανισμούς που κατασκευάζουν κελύφη για την προστασία τους, όπως τα κοράλλια και κάποιο πλαγκτόν, να σχηματίσουν ανθρακικό ασβέστιο, το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή αυτού του κελύφους. Ταυτόχρονα, θαλάσσιοι οργανισμοί, όπως τα σαλιγκάρια και τα καβούρια αναπτύσσουν περίεργη συμπεριφορά. Έχει παρατηρηθεί ότι το όξινο νερό επηρεάζει την όσφρησης αυτών των ζώων και δεν μπορούν πλέον να ανιχνεύσουν τις χημικές ουσίες που σχετίζονται με τα σπίτια τους, με αποτέλεσμα να αποτυγχάνουν να βρουν το δρόμο τους, για να επιστρέψουν από τα επικίνδυνα ανοιχτά νερά.¹⁶



Σχήμα 2-6: Επιπτώσεις εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στις παράκτιες περιοχές¹⁷

¹⁴ (Climate Impacts on Coastal Areas, 2017)

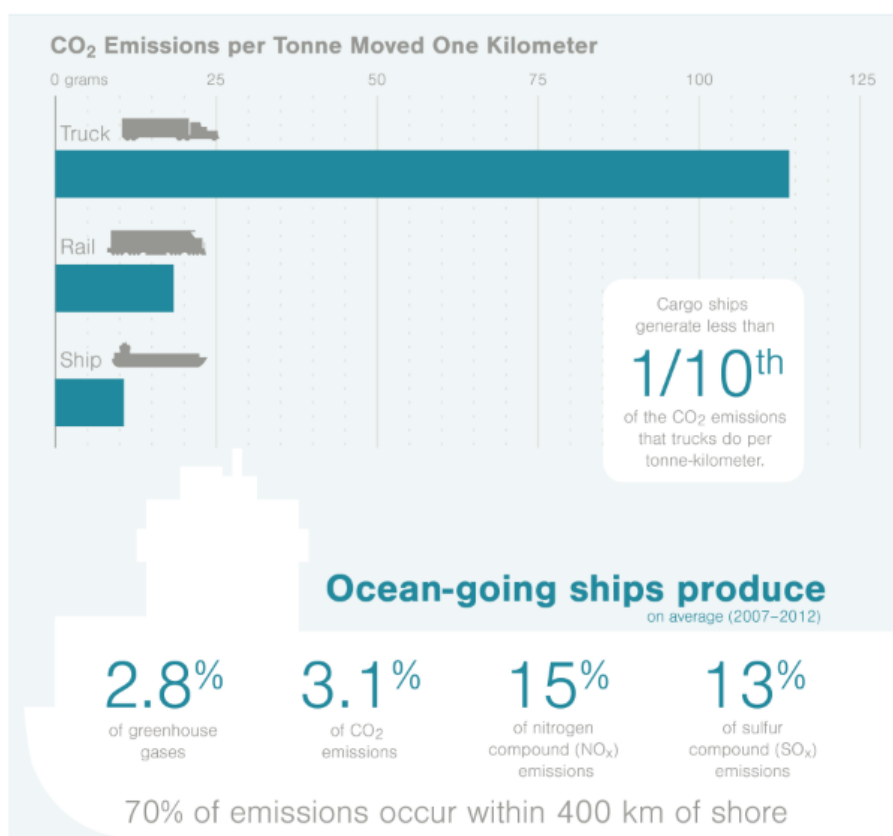
¹⁵ (D.G. Harley, 2006)

¹⁶ (Lorch, 2016)

¹⁷ (C. Field, 2009)

2.2.2 Εκπομπές Αέριων Ρύπων της Βιομηχανίας Μεταφορών

Αν και η ναυτιλία αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό μερίδιο των παγκόσμιων εκπομπών, λόγω της τεράστιας ποσότητας των εμπορευμάτων που μεταφέρονται δια θαλάσσης, είναι η πιο αποδοτική, από άποψη εκπομπών, μορφή εμπορικών μεταφορών. Οι CO₂ εκπομπές ανά τόνο χιλιομέτρου (g / tkm, γραμμάρια CO₂ εκπεμπόμενα ανά χιλιόμετρο που διανύθηκε, ανά τόνο των εμπορευμάτων που μεταφέρονται) ποικίλλουν μεταξύ των διαφορετικών τρόπων μεταφοράς. Οι αεροπορικές μεταφορές είναι μακράν το πιο ρυπογόνο μέσο, με εκπομπές 540g / tkm. Ακολουθεί η οδική μεταφορά με φορτηγά που ανέρχεται στα 110g / tkm εκπεμπόμενου CO₂. Ο σιδηροδρομικές μεταφορές απέχουν αρκετά από τις προηγούμενες, με 23g / tkm και η πιο αποδοτική είναι η ναυτιλία που παράγει 15-21g / tkm.



Σχήμα 2-7: Στοιχεία για την ποσότητα CO₂ στις βιομηχανίες μεταφορών ¹⁸

Συμπεραίνεται ότι ταυτόχρονα με την αυξανόμενη ζήτηση για ταχύτερες μεταφορές, εντείνονται και οι αρνητικές επιπτώσεις στις εκπομπές, καθώς οι ταχύτερες μορφές μεταφοράς είναι τελικά και οι πιο ρυπογόνες.¹⁹ Οι εκπομπές CO₂ από την αεροπορία, για τη βελτίωση των επιπέδων τους, έχουν συμπεριληφθεί στο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ. Στα πλαίσιά του όλες οι αεροπορικές εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην Ευρώπη, τόσο ευρωπαϊκές όσο και μη, οφείλουν να παρακολουθούν, να αναφέρουν και να επαληθεύουν τις εκπομπές τους και να παραδίδουν δικαιώματα εκπομπής, αλλά και να λαμβάνουν εμπορεύσιμα δικαιώματα που καλύπτουν ένα ορισμένο επίπεδο εκπομπών από τις πτήσεις τους ανά έτος. Το σύστημα έχει μέχρι στιγμής συμβάλλει στη μείωση του

¹⁸ (Kingdon & Garrison, 2015)

¹⁹ (Monkelbaan, 2011)

αποτυπώματος άνθρακα στον κλάδο των αερομεταφορών κατά περισσότερο από 17 εκατομμύρια τόνους ετησίως, ενώ η συμμόρφωση καλύπτει άνω του 99,5% των εκπομπών. Λειτουργικά μέτρα, όπως ο εκσυγχρονισμός και η βελτίωση των τεχνολογιών, διαδικασιών και συστημάτων διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας, συμβάλλουν επίσης στη μείωση των εκπομπών από τις αεροπορικές μεταφορές. Στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια απαιτείται από τις οδικές μεταφορές η εφαρμογή ενός συνδυασμού νέων μέτρων πολιτικής με υποχρεωτικά πρότυπα για το διοξείδιο του άνθρακα τόσο για τα επιβατικά όσο και για τα φορτηγά, η βελτίωση των κανονισμών για τις εκπομπές οχημάτων και η επιτάχυνση της μετάβασης στα ηλεκτρικά οχήματα. Η ανάλυση δείχνει ότι εάν οι τρέχουσες πολιτικές παραμείνουν αμετάβλητες, οι εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα και τα φορτηγά στην ΕΕ πιθανότατα θα αυξηθούν κατά 7,6% από το 2005 έως το 2030. Ενίσχυση του συστήματος δοκιμών εκπομπών οχημάτων στην Ευρώπη με την εισαγωγή μη υπέρβασης για το CO₂ σε πραγματικές συνθήκες οδήγησης, θα συμβάλλει στη μείωση του χάσματος μεταξύ εργαστηριακών και πραγματικών τιμών και θα αποφευχθούν έτσι άλλα 25 εκατομμύρια τόνοι CO₂ ετησίως έως το 2030. Η επιτάχυνση της μετάβασης στην ηλεκτροκίνηση των επιβατικών αυτοκινήτων στην Ευρώπη, με στόχο να φθάσουν τα ηλεκτρικά οχήματα το 23% της νέας αγοράς αυτοκινήτων το 2030, θα μπορούσε να αποτρέψει άλλα 19 εκατομμύρια τόνους CO₂ το έτος αυτό. Αντιθέτως, η ενσωμάτωση του τομέα των μεταφορών στο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ δεν θα είχε σημαντικές μειώσεις του CO₂. Πρόσθετα μέτρα, τα οποία δεν αφορούν την ανάπτυξη τεχνολογιών οχημάτων και καυσίμων, θα εξακολουθήσουν να απαιτούνται για την εκπλήρωση της απαίτησης για μείωση κατά 30% που ορίζεται από το πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κλίμα και την ενέργεια του 2030.²⁰ Τέλος, τα μέλη του UIC (Παγκόσμιος Σιδηροδρομικός Οργανισμός) δεσμεύτηκαν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ που οφείλονται στη λειτουργία της αμαξοστοιχίας σε σύγκριση με το έτος βάσης 1990, σε επιβάτες / km και σε τόνους / km από τις σιδηροδρομικές μεταφορές, κατά 30%. Επιπλέον, ο ευρωπαϊκός σιδηροδρομικός τομέας ανέλαβε ότι έως το 2030 δεν θα υπερβεί το συνολικό επίπεδο εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, ακόμη και με προβλεπόμενη αύξηση της κυκλοφορίας σε σύγκριση με το έτος βάσης 1990. Οι δεσμεύσεις αυτές παρακολουθούνται ετησίως από την UIC μέσω της βάσης δεδομένων για την ενέργεια και το CO₂. Η στρατηγική της δέσμευσης καθορίζει διάφορους στόχους για τον τομέα των σιδηροδρόμων, οι οποίοι πρέπει να εκπληρωθούν έως το 2030, αλλά λόγω ορισμένων αβεβαιοτήτων εκπονούνται προβλέψεις για το 2050, με στόχο για μηδενικές εκπομπές άνθρακα.²¹

²⁰ (Miller J. , 2016)

²¹ (Ilie, 2013)

3 Διεθνείς Οργανισμοί

Οι Διεθνείς Οργανισμοί σήμερα έχουν κομβικό ρόλο για τη θέσπιση κανονισμών και προτύπων για τη διασφάλιση της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής και της προστασίας του περιβάλλοντος. Χαρακτηριστικά στοιχεία των Διεθνών Οργανισμών είναι, πέραν της νομικής και πολιτικής εξουσίας που φέρουν, το «πολυμερές», η δέσμευση τους στη διεθνή «μονιμότητα», η θέληση επιδίωξης ενός συγκεκριμένου «σκοπού», καθώς και η διάθεση αποκλειστικών «οργάνων άσκησης του έργου τους», η οποία τους προσφέρει τη δυνατότητα να εκδηλώνονται με μια «ιδιαίτερη βούληση».²²

3.1 Διεθνής Οργανισμός της Ναυτιλίας (IMO)

Το έτος 1948 συστάθηκε στην Γενεύη ο πολυεθνικός, διακυβερνητικός οργανισμός με την επωνυμία IMCO (International Maritime Consultative Organization), ο οποίος τελεί υπό την οργανωτική διοίκηση του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών και επίσημα το 1958 ξεκίνησε η ισχύς του. Το 1982 μετονομάστηκε σε International Maritime Organization (IMO). Ο σκοπός του Οργανισμού καθορίζεται στο άρθρο 1(α) της ιδρυτικής σύμβασης, που ορίζει ως αρμοδιότητές του: «Να προσφέρει εργαλεία για την συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων στον τομέα των κυβερνητικών ρυθμίσεων και των δράσεων που σχετίζονται με τεχνικά θέματα όλων των ειδών που μπορούν να επηρεάσουν τον δεσμό της ναυτιλίας με το διεθνές εμπόριο, να ενθαρρύνει και να διευκολύνει την υιοθέτηση των καλύτερων προτύπων που αφορούν θέματα προστασίας της ναυτιλίας, την αποτελεσματικότητα της ναυσιπλοΐας, την πρόληψη και τον έλεγχο της θαλάσσιας ρύπανσης από τα πλοία και να μεταχειρίζεται διοικητικά και νομικά θέματα.»²³

Το 1973 ο IMO υιοθέτησε τη Διεθνή Σύμβαση για την Πρόληψη της Ρύπανσης από τα Πλοία, γνωστή ως MARPOL 73/78. Η σύμβαση MARPOL αντιμετωπίζει τη ρύπανση από πετρέλαιο, από υγρές επιβλαβείς ουσίες χύδην, από επιβλαβείς ουσίες σε συσκευασμένη μορφή, από λύματα των πλοίων, απορρίμματα και από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους. Το 1997 υιοθετήθηκε σε αυτή ένα νέο Παράρτημα (VI), το οποίο θέτει όρια στις εκπομπές NO_x και SO_x, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει και την ποσότητα πτητικών οργανικών ενώσεων στα δεξαμενόπλοια. Το Παράρτημα αναθεωρήθηκε ξανά το 2008 με τις κυριότερες αλλαγές να αφορούν την προοδευτική μείωση των εκπομπών SO_x, NO_x (και έμμεσα των PM) και την εισαγωγή Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (Emission Control Areas – ECAs).²⁴ Επίσης, τον Ιανουάριο του 2013 τέθηκαν σε ισχύ οι προβλέψεις του νέου Κεφαλαίου 4 του Παραρτήματος VI της MARPOL, το οποίο εισάγει μέτρα που έχουν στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας της ναυτιλίας, ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές CO₂. Στον Κανονισμό 21 του Κεφαλαίου 4 εισάγεται ο Δείκτης Αποδοτικού Ενεργειακού Σχεδιασμού (Energy Efficiency Design Index – EEDI), ο οποίος αφορά κυρίως τεχνικά μέτρα και είναι υποχρεωτικός για τα νέα πλοία από 400 GT και πάνω. Πιο συγκεκριμένα, ο EEDI είναι ένας συντελεστής που εκφράζει τον λόγο του κόστους για το περιβάλλον προς την ωφέλεια για την κοινωνία που προκύπτει από τις μεταφορές από ένα πλοίο. Στην προκειμένη περίπτωση, το κόστος οφείλεται στις εκπομπές CO₂ από ένα πλοίο,

²² (Βλάχος, 2007)

²³ (IMO-International Maritime Organization)

²⁴ (Κοτρίκλα, 2015)

οι οποίες συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ η ωφέλεια είναι το μεταφορικό έργο που ένα πλοίο προσφέρει. Ο συντελεστής αυτός είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, διότι για πρώτη φορά είναι διαθέσιμος σε παγκόσμιο επίπεδο ένας δείκτης που εστιάζει στις εκπομπές CO₂ στη ναυτιλία και που η σταδιακή μείωση των τιμών από τον IMO παρακινεί την ανάπτυξη τεχνολογιών για τη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των νέων πλοίων. Το 2015 η Επιτροπή Προστασίας του Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (MEPC) του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού (IMO) συμφώνησε ότι τα πλοία υποχρεούνται να καταγράφουν και να αναφέρουν δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση καυσίμων τους σε ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Collection System-DCS), ως τροποποίηση στο παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL. Οι συμβάσεις που αφορούν στην οριοθέτηση των εκπομπών θείου και διοξειδίου του άνθρακα από τον IMO πρόκειται να αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο.

3.2 Ευρωπαϊκή Ένωση

Η ΕΕ, στο πλαίσιο της Συμφωνίας του Παρισιού, έχει δεσμευτεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου τουλάχιστον κατά 40% κάτω από τα επίπεδα του 1990 έως το 2030, βελτιώνοντας παράλληλα την ενεργειακή απόδοση κατά 27% και αυξάνοντας το ποσοστό της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 27% της τελικής κατανάλωσης. Ο χάρτης πορείας της ΕΕ για τη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών επιπέδων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα έως το 2050 διαμορφώνει έναν μακροπρόθεσμο στόχο μείωσης των αερίων θερμοκηπίου κατά 80%. Πέρα από τις τεχνολογικές αλλαγές και τις βελτιώσεις στη λειτουργία των πλοίων, ο IMO θεωρεί ότι είναι απαραίτητο να ληφθούν και οικονομικά μέτρα με στόχο να στραφεί η ναυτιλιακή βιομηχανία στην υιοθέτηση, φιλικότερων προς το περιβάλλον, τεχνολογικών και λειτουργικών λύσεων. Τα τεχνικά μέτρα εστιάζουν σε βελτιώσεις στο σχεδιασμό της υποβρύχιας γάστρας και προπέλας, καθώς και στις μηχανές των πλοίων. Στα λειτουργικά μέτρα εντάσσεται η πλεύση σε χαμηλότερες ταχύτητες, που μειώνει την κατανάλωση καυσίμων και τα εναλλακτικά καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν όπως το LNG και τα βιοκαύσιμα.

Το σημαντικότερο οικονομικό μέτρο αφορά στο προτεινόμενο Σύστημα Εμπορίας Εκπομπών (Emission Trading System – ETS). Βασίζεται στην αρχή «ανώτατων ορίων και δικαιωμάτων εμπορίας» (cap and trade), δηλαδή τίθεται ένα ανώτατο όριο για τις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που μπορούν να προκύψουν από τις περισσότερες από 11000 εγκαταστάσεις (βιομηχανίες, σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ) που συμμετέχουν στο σύστημα. Η κάθε εγκατάσταση λαμβάνει δικαιώματα εκπομπών που τίθενται σε πλειστηριασμό από τα κράτη μέλη. Αυτές οι πιστώσεις, η κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα τόνο εκπομπών CO₂, είναι δυνατόν να αποτελέσουν αντικείμενο εμπορίας με άλλες εγκαταστάσεις, εάν παραμείνουν αχρησιμοποίητες. Με την πάροδο του χρόνου, ο συνολικός αριθμός δικαιωμάτων μειώνεται σταδιακά. Στις αρχές του 2018, μετά από ένα προσωρινό πάγωμα του πλειστηριασμού δικαιωμάτων εκπομπών CO₂ και τη δημιουργία «αποθεματικού για τη σταθερότητα της αγοράς», το Κοινοβούλιο συμφώνησε την επιπλέον ετήσια μείωση δικαιωμάτων εκπομπών και ταυτόχρονα την αύξηση της ικανότητας του αποθεματικού σταθερότητας για τη σταθερότητα της αγοράς. Καινοτόμο μέρος αυτού του συστήματος αποτελεί η τεχνολογία δέσμευσης και αποθήκευσης διοξειδίου του άνθρακα (CCS), που διαχωρίζει το CO₂ από τις υπόλοιπες ατμοσφαιρικές εκπομπές, το συμπιέζει και

το μεταφέρει σε τοποθεσία όπου μπορεί να αποθηκευτεί. Με αυτή την τεχνολογία θα μπορούσε να αποφευχθεί το 80-90% των εκπομπών CO₂ που παράγονται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύση ορυκτών καυσίμων. Η ΕΕ έχει θεσπίσει ένα κανονιστικό πλαίσιο για την εμπορία και επιδότηση αυτής της νέας τεχνολογίας. Ωστόσο, η υλοποίηση των προβλεπόμενων σχεδίων επίδειξης στην Ευρώπη αποδείχθηκε δυσκολότερη από ό,τι είχε προβλεφθεί αρχικά, καθώς το υψηλό κόστος αποτέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα εμπόδια.²⁵ Πιο συγκεκριμένα, για τη διεθνή ναυτιλία, ένα παγκόσμιο σύστημα εμπορίας εκπομπών για αυτή θεωρείται ένας αποτελεσματικός, οικονομικά αποδοτικός και δίκαιος μηχανισμός που μπορεί να παράσχει αξιόπιστο έλεγχο των εκπομπών. Ωστόσο, η ΕΕ έχει ως τώρα εξαίρει τη ναυτιλία από την οδηγία εμπορίας των δικαιωμάτων εκπομπής αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (οδηγία 2003/87/ΕΚ). Εκτιμάται ότι μπορεί να την εντάξει στο μέλλον μονομερώς, ιδιαίτερα αν και ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (ΙΜΟ) δεν προχωρήσει στην υιοθέτηση επιπλέον εργαλείων μείωσης εκπομπών.²⁶ Η εμπορία ρύπων θα απαιτούσε από κάθε πλοίο που υπάγεται στη ρύθμιση να παραδίδει μία άδεια εκπομπών για κάθε μονάδα CO₂ που εκπέμπει. Ο πλοιοκτήτης θα έχει την επιλογή είτε να επενδύσει σε μέτρα μείωσης, είτε να αγοράσει δικαιώματα εκπομπής από άλλα πλοία ή από άλλο κλάδο εκτός ναυτιλίας. Τα πλοία θα καταγράφονται και θα έχουν ένα λογαριασμό σε ένα διεθνές μητρώο ETS και θα αποκτούν δικαιώματα εκπομπής τα οποία και θα παραδίδουν περιοδικά. Οι πλοιοκτήτες θα πρέπει να διατηρούν αρχεία της κατανάλωσης καυσίμων τους. Οι τελευταίες αναθεωρήσεις της συγκεκριμένης πρότασης αναφέρουν ότι το ETS θα πρέπει να περιέχει ρήτρα εξαίρεσης και να απαλλάσσονται ορισμένα ταξίδια προς αναπτυσσόμενες χώρες. Η ΕΕ εξέτασε την εισαγωγή της ναυτιλίας στο ευρωπαϊκό ETS από το 2013 εμπνέοντας και άλλες χώρες και περιφέρειες να ξεκινήσουν πρόγραμμα εμπορίας εκπομπών, στοχεύοντας στη σύνδεση του ETS με συμβατά συστήματα σε όλο τον κόσμο και το σχηματισμό μια εκτεταμένης διεθνούς αγοράς.²⁷

Η ΕΕ, ενώ προβλέπει σε μια παγκόσμια προσέγγιση, έχει παράλληλα θεσπίσει ένα σύστημα για ολόκληρη την Ένωση με στόχο την παρακολούθηση, υποβολή εκθέσεων και επαλήθευση των εκπομπών CO₂ από πλοία, γνωστό και ως EU-MRV (Monitoring, Reporting, Verification), ως πρώτο μέτρο για τον περιορισμό των εκπομπών. Ο κανονισμός τέθηκε σε ισχύ την 1η Ιουλίου του 2015 και απαιτεί από τους πλοιοκτήτες και τους διαχειριστές να παρακολουθούν, να υποβάλλουν εκθέσεις και να επαληθεύουν τις εκπομπές CO₂ για πλοία μεγαλύτερα των 5000 GT, τα οποία προσεγγίζουν λιμένες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελευθέρων Συναλλαγών (Νορβηγία και Ισλανδία). Η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται ανά ταξίδι και ξεκινάει από την 1η Ιανουαρίου του 2018. Οι αναφερόμενες εκπομπές CO₂ σε συνδυασμό με πρόσθετα στοιχεία όπως π.χ το φορτίο και οι παράμετροι της ενεργειακής απόδοσης θα πρέπει να επαληθεύονται από ανεξάρτητους ελεγκτές και να αποστέλλονται σε μια κεντρική βάση δεδομένων, την οποία διαχειρίζεται ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Ασφάλειας της Ναυσιπλοΐας (EMSA). Τα συγκεντρωτικά δεδομένα για τις εκπομπές και την αποδοτικότητα των πλοίων θα δημοσιευτούν από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή μέχρι τις 30 Ιουνίου 2019 και έπειτα κάθε συνεχή χρονιά.²⁸

²⁵ (Ohliger, 2018)

²⁶ (Χαραλαμπίδη, 2017)

²⁷ (Ρηγάνη, 2014)

²⁸ (Μαζαράκης, 2017)

3.3 Σχέση EU, IMO

Οι δύο, αυτοί, ρυθμιστικοί φορείς δραστηριοποιούνται στη ρύθμιση των ναυτιλιακών τομέων αλλά με διαφορετικά εργαλεία και διαφορετικές μεθοδολογίες. Οι σχέσεις μεταξύ των δύο δεν είναι άμεσες, αλλά σημαντικές. Στην ψήφιση ρυθμιστικών διατάξεων, στα πλαίσια του IMO, τα ευρωπαϊκά όργανα, όπως το Κοινοβούλιο, δεν έχουν δικαίωμα ψήφου, αλλά θέση, κυρίως, παρατηρητή. Αρκετές εβδομάδες πριν από τις βασικές συνεδριάσεις του IMO, πραγματοποιείται στις Βρυξέλλες συντονιστική συνάντηση για τους εκπροσώπους των κρατών μελών, έτσι ώστε να συμφωνήσουν σε κοινές θέσεις. Στην πράξη, όμως, αν και η Προεδρία του Συμβουλίου της ΕΕ προωθεί τη συντονισμένη θέση, μεμονωμένα κράτη μέλη της ΕΕ μπορούν να λάβουν τον λόγο και να εκφράσουν τη δική τους θέση, μερικές φορές παρεκκλίνοντας ελαφρά από την κοινή. Ο IMO και η ΕΕ εργάζονται με διαφορετικές ταχύτητες. Μία από τις μεγάλες διαφορές τους είναι ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση υπάρχει επιβολή των κανονισμών του Ευρωπαϊκού Δικαστηρίου, ενώ ένα τέτοιο σύστημα δεν ισχύει εντός του IMO. Η ίδια διαφορά ταχύτητας υπάρχει επίσης όσον αφορά στον κανονισμό σχετικά με τη μείωση των εκπομπών CO₂. Ο IMO σε αυτό το θέμα βρίσκεται σε αρχικό στάδιο, ενώ η ΕΕ κατέχει ηγετική θέση στη ρύθμιση των εκπομπών ρύπων και άρχισε να δραστηριοποιείται μετά από μερικά μεγάλα ατυχήματα που αφορούσαν επιβάτες (Estonia το 1994, Express Samina το 2000) ή ρυπογόνα φορτία (Erika το 1999, Prestige το 2002) και είχαν μεγάλες συνέπειες στην Ευρώπη. Οι δύο οργανισμοί δεν ανήκουν στον ίδιο τομέα ανταγωνισμού, αλλά ο ενεργός ρόλος της ΕΕ έχει συνέπειες στο εσωτερικό του IMO. Η πρόθεση της ΕΕ δεν είναι να δημιουργήσει προβλήματα εντός του IMO, αλλά μόνο να προχωρήσει περισσότερο στην επίτευξη ενός κανονισμού για την άμβλυνση της αλλαγής του κλίματος για τη ναυτιλία, καθώς θεωρεί ότι οι κανόνες του IMO για την ασφάλεια στη θάλασσα είναι προς το παρόν ανεπαρκείς. Ωστόσο, πολλές κριτικές από τις ναυτιλιακές βιομηχανίες απαιτούν ένα διεθνές μέτρο, επειδή ορισμένοι κανονισμοί και ένα σύνολο προτύπων που εφαρμόζονται στα ύδατα της βρίσκονται σε αντίθεση με αυτά που ισχύουν στη διεθνή ναυτιλία και καθώς ο IMO είναι, για τους περισσότερους παράγοντες του ναυτιλιακού κόσμου, το κατάλληλο όργανο για τη ρύθμιση θεμάτων. Ακόμα, ο ευρωπαϊκός κλάδος της ναυτιλίας ανησυχεί ως επί το πλείστον ότι έχουν τεθεί αυστηρότεροι κανόνες και αντιμετωπίζουν ανταγωνιστικό μειονέκτημα έναντι των ομολόγων τους που λειτουργούν εκτός του πεδίου εφαρμογής της νομοθεσίας της ΕΕ. Η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής, για παράδειγμα, στην περίπτωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη ναυτιλία.²⁹ Η Ευρωπαϊκή Ένωση εκμεταλλεύτηκε, μάλιστα, τον ισχυρισμό ότι τεχνικά μέτρα όπως ο EEDI και το SEEMP του IMO από μόνα τους δεν μπορούν να οδηγήσουν στις απαραίτητες και απόλυτες μειώσεις των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και να διατηρήσουν το στόχο του περιορισμού της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη στους 2°C και εξέδωσε τον κανονισμό EU-MRV. Ταυτόχρονα, η ΕΕ επιβεβαίωσε ότι μόλις επιτευχθεί μια παγκόσμια συμφωνία από τον IMO, ο κανονισμός θα τροποποιηθεί για να ευθυγραμμιστούν τα δύο συστήματα. Σχετικά με αυτό το θέμα, ο IMO συμμερίζεται την ναυτιλιακή βιομηχανία, αντιτιθέμενη στα μέτρα περιφερειακής μείωσης και υποστηρίζοντας ότι για να είναι αποτελεσματικό, κάθε καθεστώς μείωσης του CO₂ πρέπει να είναι παγκόσμιο, ομοιόμορφο και υιοθετημένο εντός του IMO.³⁰

²⁹ (Pape, 2016, European Parliamentary Research Service)

³⁰ (Χαραλαμπίδη, 2017)

4 Νομοθεσίες για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Επί του παρόντος, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον από την παγκόσμια ναυτιλία για τον περιορισμό των ρυπογόνων εκπομπών των πλοίων, ιδίως στις παράκτιες περιοχές. Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί έχουν ως κυρίαρχο ρόλο να επηρεάσουν συγκεκριμένες λειτουργίες στα πλαίσια ενός συστήματος καινοτομίας: Ενισχύουν τα κίνητρα και ασκούν πίεση στις αρμόδιες οργανώσεις να εισέλθουν στον τεχνολογικό τομέα, να διευκολύνουν τη διαμόρφωση της αγοράς και να ενισχύσουν την κοινωνική αποδοχή της καινοτομίας μέσω της νομιμοποίησής της.

4.1 Η Σύμβαση-Πλαίσιο για την Αλλαγή του Κλίματος (UNFCCC)

Η Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος, αποτέλεσε το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της αλλαγής του κλίματος, συνήφθη το Μάιο του 1992 και άρχισε να ισχύει το Μάρτιο του 1994. Σύμφωνα με αυτή, όλα τα συμβαλλόμενα μέρη έχουν την υποχρέωση να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να υποβάλλουν εθνικές ετήσιες απογραφές.³¹ Η διάσκεψη των μελών της UNFCCC που πραγματοποιήθηκε το Δεκέμβριο του 1997 στο Κιότο της Ιαπωνίας είχε ως αποτέλεσμα, με συναινετική απόφαση, να υιοθετηθεί ένα Πρωτόκολλο βάσει του οποίου οι βιομηχανικές χώρες που συμμετείχαν χρειάζεται να μειώσουν τις συνδυασμένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 5% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990 έως τα τέλη της πρώτης περιόδου δέσμευσης του Πρωτοκόλλου μεταξύ 2008–2012. Τα έξι βασικά αέρια του θερμοκηπίου στα οποία στόχευε η σύμβαση είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι υδροφθοράνθρακες (HFC), οι υπερφθοράνθρακες (PFC) και το εξαφθοριούχο θείο (SF₆).³² Η διεθνής ναυτιλία ωστόσο, λόγω του διεθνούς χαρακτήρα της, δε συμπεριλήφθηκε στα συνολικά εθνικά στοιχεία των απογραφών. Προτάθηκε ο έλεγχος των αερίων του θερμοκηπίου να αποδοθεί είτε στη χώρα αναχώρησης-προορισμού είτε στη χώρα σημαίας. Όμως επειδή αυτή η λύση εμφάνιζε δυσκολίες, τελικά, στο άρθρο 2, παράγραφος 2, του Πρωτοκόλλου του Κιότο ορίζεται ότι : «Τα Μέλη που συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα VI θα επιδιώξουν τον περιορισμό ή τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που δεν ελέγχονται από το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ από καύσιμα ναυτιλίας, μέσω του Διεθνούς Οργανισμού Ναυτιλίας (ΙΜΟ)».³³ Στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το κλίμα που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι τον Δεκέμβριο του 2015, τα συμβαλλόμενα μέρη από ολόκληρο τον κόσμο συμφώνησαν να περιορίσουν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη σε επίπεδα πολύ κατώτερα των 2%.

³¹ (Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές)

³² (Εξαρχος, 2013)

³³ (Κοτρίκλα, 2015)

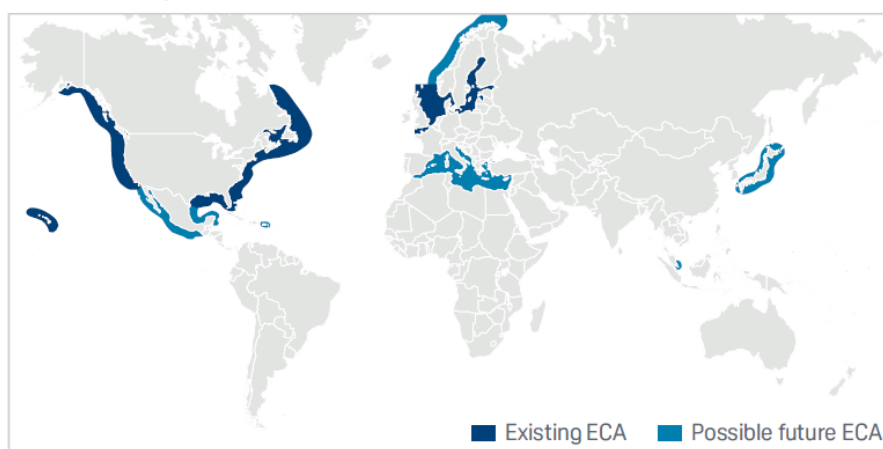
4.2 Sulphur Cap 2020

4.2.1 Γενικό Πλαίσιο Κανονισμού Sulphur Cap 2020

Η πιο πρόσφατη απόφαση του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού, να μειώσει το παγκόσμιο όριο θείου στα καύσιμα πλοίων, επηρεάζει περισσότερα από 70.000 πλοία και τίθεται σε ισχύ την 1η Ιανουαρίου 2020. Σύμφωνα με το τελευταίο αναθεωρημένο MARPOL παράρτημα VI του IMO:

- Από το 2015, τα πλοία που πλέουν στις Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECA) δεν μπορούν να χρησιμοποιούν πετρέλαιο εσωτερικής καύσης με σύσταση πάνω από 0,1% περιεκτικότητα θείου. Σύμφωνα με το Παράρτημα VI της MARPOL, η Περιοχή Ελέγχου Εκπομπών (ECA) ορίζεται ως εξής: "Μια ECA είναι περιοχή που έχει καθιερωθεί από τον Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό (IMO), στην οποία απαιτείται η θέσπιση ειδικών υποχρεωτικών μέτρων για τις εκπομπές από πλοία, δηλαδή να μειώσουν και να ελέγξουν την ατμοσφαιρική ρύπανση από τα οξείδια του αζώτου (NO_x) ή τα οξείδια του θείου (SO_x) και τα σωματίδια ή και τα τρία είδη εκπομπών και τις δυσμενείς επιπτώσεις τους στην υγεία του ανθρώπου και στο περιβάλλον». Οι ECAs περιλαμβάνουν τη Βαλτική, τη Βόρεια Θάλασσα, τις περισσότερες αμερικανικές και канаδικές ακτές και την Καραϊβική.

ECA ZONES, EXISTING AND POSSIBLE



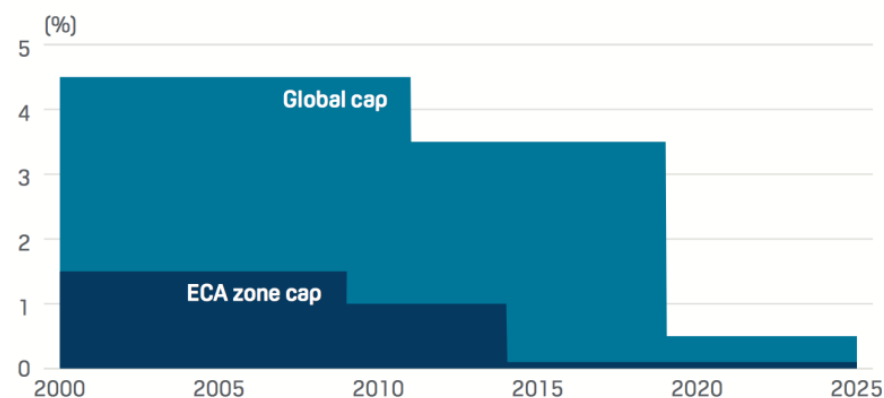
Source: IMO

Σχήμα 4-1: Περιοχές Ελέγχου Εκπομπών (ECAs)³⁴

- Από το 2020, τα πλοία που πλέουν εκτός των Περιοχών Ελέγχου Εκπομπών (ECAs) δεν μπορούν να χρησιμοποιούν πετρέλαιο εσωτερικής καύσης με σύσταση πάνω από 0,5% θείου στο καύσιμο.

³⁴ (Emission Control Areas (ECAs) designated under MARPOL Annex VI, 2020)

MARPOL ANNEX VI SULFUR LIMITS



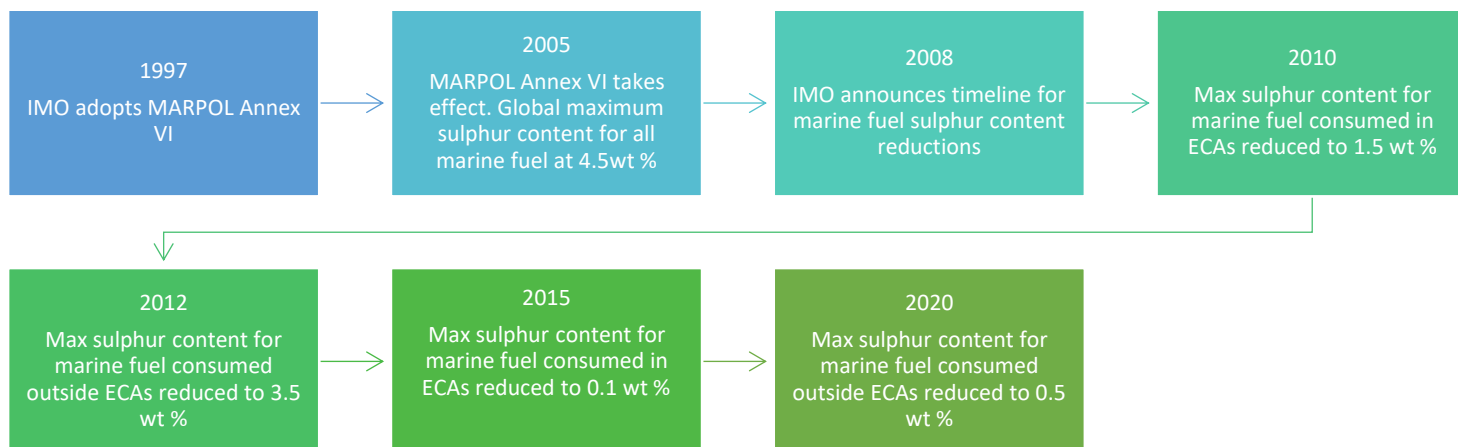
Source: IMO

Σχήμα 4-2: Παγκόσμια όρια περιεκτικότητας ναυτικών καυσίμων σε θείο³⁵

Η απαίτηση για χαμηλότερες εκπομπές οξειδίων του θείου πρόκειται να εφαρμοστεί αυστηρά σε παγκόσμιο επίπεδο από τις αρχές λιμενικού ελέγχου (PSC) και δε θα υπάρξει μεταβατική περίοδος μετά την 1η Ιανουαρίου 2020. Για να συμμορφωθούν με το νέο παγκόσμιο όριο θείου, οι ναυτιλιακές εταιρείες χρειάζεται είτε να εξασφαλίσουν ότι η περιεκτικότητα του καυσίμου που χρησιμοποιούν σε θείο δεν υπερβαίνει τα προαναφερθέντα όρια, είτε να χρησιμοποιούν «ισοδύναμους» μηχανισμούς συμμόρφωσης. Αντί να χρησιμοποιούν, δηλαδή, καύσιμα με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο (VLSFO) εκτός ECAs και πετρελαίου εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSFO) εντός ECAs, οι πλοιοκτήτες μπορούν να επιλέξουν να στραφούν στο LNG ή να μειώσουν τις εκπομπές θείου τους με την τοποθέτηση απορροφητικών συστημάτων ή άλλων τεχνολογιών καθαρισμού καυσαερίων (Scrubbers). Τα κατάλληλα καύσιμα που χρησιμοποιούνται μετά την 1η Ιανουαρίου 2020 για την κάλυψη του 0,5% του εκπεμπόμενου θείου είναι υπολειμματικά, αποσταγματικά ή συνδυασμός αυτών. Μίγματα καυσίμου με συνολικά 0,5% ποσότητα θείου και αποσταγματικά καύσιμα με σύσταση 0,1% θείου (όπως χρησιμοποιείται σήμερα στις ECAs) είναι τα κυρίαρχα διαθέσιμα προϊόντα. Η απόφαση για το ποια μέθοδος προς τη συμμόρφωση είναι οικονομικά βέλτιστη δεν είναι εύκολη και δεν υπάρχει μια τυποποιημένη λύση για όλους. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εταιρεία πρέπει να λάβει τις δικές της τεκμηριωμένες αποφάσεις, έτσι ώστε οι τελικές τεχνικές λύσεις να ταιριάζουν με τον τρόπο λειτουργίας του στόλου της. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη βέλτιστη λύση εξαρτώνται, για παράδειγμα, από τον τύπο σκάφους, την ηλικία του σκάφους και τον τύπο κινητήρα. Πολύ σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή λύσεων συμμόρφωσης είναι επίσης οι νομοθετικές απαιτήσεις, το κόστος των νέων επενδύσεων, το (re)building και το λειτουργικό κόστος. Οι διαφορές των τιμών μεταξύ των καυσίμων και η διαθεσιμότητα, η δυνατότητα υλικοτεχνικής υποστήριξής τους και η βιωσιμότητα είναι πτυχές που πρέπει επίσης να εξεταστούν. Ταυτόχρονα με την απόφαση για την επιλογή της μεθόδου συμμόρφωσης θα πρέπει να αναπτυχθούν κατάλληλα σχέδια δράσης για την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων της κάθε μεθόδου. Τα σχέδια αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν δοκιμές συμβατότητας και διαχωρισμό καυσίμων από διαφορετικές πηγές έως ότου επιβεβαιωθεί η συμβατότητα,

³⁵ (The 2020 global sulphur limit, 2019)

σχέδια για αντιμετώπιση οποιονδήποτε μηχανικών περιορισμών όσον αφορά τον χειρισμό συγκεκριμένων καυσίμων και διασφάλιση των προτύπων καυσίμων ISO 8217.³⁶



Σχήμα 4-3: Χρονολόγιο κανονισμών περιορισμού εκπομπών θείου από τον IMO

4.2.2 Διαδικασία Αλλαγής Καυσίμου (ULSFO, VLSFO)

Η χρήση καυσίμων εξαιρετικά χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (ULSFO) για πλεύση στις περιοχές ECAs, σε συνδυασμό με καύσιμα πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (VLSFO) για πλεύση εκτός των προστατευμένων περιοχών, είναι ο πιο άμεσος τρόπος μείωσης των ατμοσφαιρικών ρύπων από τα πλοία, καθώς οι περισσότεροι κινητήρες υποστηρίζουν τη χρήση των συγκεκριμένων καυσίμων. Τα ULSFO καύσιμα είναι καθαρά αποστάγματα, ενώ και τα MGO και MDO, μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη περιεκτικότητά τους σε θείο να μην ξεπερνά το 0,1%. Ωστόσο, το ULSFO θα μπορούσε επίσης να είναι υβρίδιο αποσταγματικού πετρελαίου, αναμειγμένο με υπολειμματικό σε συγκεκριμένα ποσοστά το κάθε ένα. Σε γενικές γραμμές, το ULSFO λειτουργεί καλά με τυποποιημένες διαμορφώσεις κινητήρα, αν και μπορεί να απαιτούνται λειτουργικές αλλαγές. Καθώς τα περισσότερα πλοία δεν πλέουν αποκλειστικά σε ECAs, προτείνεται η χρήση πολύ χαμηλού πετρελαίου θείου (VLSFO) έξω από αυτές, για την επίτευξη του ορίου θείου 0,5%. Αυτοί οι τύποι καυσίμων προκαλούνται από την ανάμιξη κατάλληλων υπολειμματικών προϊόντων με χαμηλά αποστάγματα θείου για τη δημιουργία καυσίμων με καλή ποιότητα και συμμόρφωση. Η ιδέα πίσω από τη μετάβαση από το VLSFO στο ULSFO και το αντίστροφο, ανάλογα με την περιοχή πλεύσης, επομένως, στηρίζεται στην προσπάθεια μείωσης του κόστους.³⁷ Οι κατωτέρω ιδιότητες καυσίμου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την παραγγελία και τη χρήση κάθε καυσίμου, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217.

³⁶ (FAQ: The 2020 global sulphur limit, 2019)

³⁷ (Compliance with the 2020 'Global Sulphur Cap', 2019)

- Σταθερότητα

Η σταθερότητα είναι η ικανότητα ενός καυσίμου να διατηρεί τα ασφαλένια της περιεκτικότητάς του σε αναστολή. Τα ασφαλένια είναι μόρια τα οποία, εάν δε διατηρούνται σε σταθερές τιμές προκαλούν την αστάθεια του καυσίμου. Εάν δεν διορθωθεί εγκαίρως, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της πρόωσης και της ισχύος. Συνιστάται να ελέγχεται η σταθερότητα κάθε καυσίμου που αποθηκεύεται και χρησιμοποιείται στο πλοίο πριν φορτωθεί στο πλοίο, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 8217 για τις ελάχιστες απαιτήσεις ευστάθειας.

- Συμβατότητα

Συμβατότητα ονομάζεται η καταλληλότητα δύο διαφορετικών καυσίμων να αναμειχθούν χωρίς να προκαλούνται δυσμενείς επιπτώσεις. Δύο σταθερά αλλά ασυμβίβαστα καύσιμα, ακόμη και αν συμμορφώνονται με το ISO 8217, όταν αναμειχθούν μπορεί να οδηγήσουν σε κατακρήμνιση των ασφαλενίων και σε αυξημένο σχηματισμό ακαθαρσιών μέσα σε φίλτρα και διαχωριστές. Εάν δε διορθωθεί εγκαίρως, μπορεί επίσης να οδηγήσει σε απώλεια της πρόωσης και της βοηθητικής ισχύος. Αναμένεται ότι το ζήτημα της συμβατότητας θα καταστεί πιο άμεσο από την 1η Ιανουαρίου 2020, με την εφαρμογή του Sulphur Cap. Αυτό συμβαίνει επειδή τα συστατικά των VLSFO και ULSFO που χρειάζεται να συνδυαστούν μπορεί να μην είναι συμβατά, ακόμη και αν παραγγέλλονται από τον ίδιο προμηθευτή καυσίμων. Συνεπώς, είναι σημαντικό, στο μέτρο του δυνατού, να αποθηκεύονται αυτά τα καύσιμα σε χωριστές δεξαμενές, ώστε να εξασφαλίζεται η ελάχιστη συνδιαλλαγή (ανάμειξη με καύσιμο πετρελαίου της ίδιας προδιαγραφής, αλλά από διαφορετικές πηγές) στο σύστημα καυσίμων.

- Ιξώδες

Το ιξώδες του καυσίμου που παραδίδεται για έγχυση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης της καύσης. Εάν το ιξώδες είναι πολύ υψηλό, θα έχει ως αποτέλεσμα ακατάλληλο ψεκασμό και ατελή καύση. Αντίθετα, αν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή λίπανση του εμβόλου της αντλίας καυσίμου και των κυλίνδρων.

- Αριθμός οξέος

Ο αριθμός οξέος ενός καυσίμου είναι το μέτρο της ποσότητας των όξινων ενώσεων που υπάρχουν σε ένα συγκεκριμένο δείγμα (οξύτητα). Ένα καύσιμο με υψηλό αριθμό οξέων μπορεί να προκαλέσει επιταχυνόμενη βλάβη σε διάφορα μέρη της μονάδας καύσης, συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού έγχυσης καυσίμου. Ο αριθμός οξέος μπορεί να μετρηθεί με εργαστηριακή ανάλυση του καυσίμου. Αν το πετρελαιοειδές ταυτοποιηθεί με σημαντικά υψηλό αριθμό οξέων, τότε συνιστάται να ενημερωθούν οι παροχείς υπηρεσιών δοκιμών καυσίμων για καθοδήγηση. Εάν δεν υπάρχει άλλη επιλογή και το καύσιμο χρειάζεται να καταναλωθεί, τότε πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο ενδεχόμενο επιταχυνόμενης διάβρωσης και βλάβης του εξοπλισμού καύσης.³⁸

Η μετάβαση στα καύσιμα με 0.50% m/m και 0.10% m/m θείου από τα HFO, καθώς και η διαδικασία αλλαγής από ULSFO σε VLSFO και αντίστροφα, εγείρουν σημαντικά ζητήματα ασφάλειας. Αυτά τα θέματα περιλαμβάνουν τη σταθερότητα, τη συμβατότητα, την ικανότητα

³⁸ (Guidelines for the Use of Low Sulphur Fuel Oils (IMO 2020 compliance), 2019)

καύσης, τα χαμηλότερα σημεία ανάφλεξης και τις παρατεταμένες καθυστερήσεις ανάφλεξης εξαιτίας των κακών χαρακτηριστικών καύσης. Όλα αυτά τα ζητήματα ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά τα συστήματα καυσίμων και μηχανημάτων.

Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου από VLSFO σε ULSFO και το αντίστροφο πρέπει να διεξάγεται αφού το πλοίο βρίσκεται μέσα στο λιμάνι. Δεν υπάρχουν απαιτήσεις των κανονισμών που υποχρεώνουν ένα πλοίο να κάνει την αλλαγή πριν από το αγκυροβόλιο, μόνο να το πράξει "όσο το δυνατόν συντομότερα μετά την άφιξη και από εκεί όσο το δυνατόν αργότερα πριν από την αναχώρηση". Συνιστάται, ωστόσο, η πραγματοποίηση της αλλαγής καυσίμου ως εξής: Οι δεξαμενές αποθήκευσης, οι δεξαμενές καθίζησης και οι δεξαμενές εξυπηρέτησης πρέπει να είναι ξεχωριστές για κάθε τύπο καυσίμου. Όταν η ανάμιξη σε μια δεξαμενή δεν μπορεί να αποφευχθεί, η συμβατότητα των καυσίμων θα πρέπει να ελέγχεται εκ των προτέρων και να αποφασίζεται εάν η ανάμιξη είναι αποδεκτή ή όχι. Οι δεξαμενές πρέπει να είναι εφοδιασμένες με διατάξεις αποστράγγισης, οι οποίες επιτρέπουν την απομάκρυνση ακαθαρσιών που ενδέχεται να συσσωρευτούν στο κάτω μέρος των δεξαμενών αυτών. Η διαδικασία αλλαγής καυσίμου πρέπει να ακολουθείται από καταγραφή όλων των ενεργειών και δραστηριοτήτων που αφορούν τις διαδικασίες επί του σκάφους και τις ποσότητες καυσίμου, και να καθορίζεται ότι οι απαιτήσεις πληρούνται.³⁹ Η επιβολή των κανονισμών για το θείο ελέγχεται στους λιμένες, μέσω επιθεωρήσεων ελέγχου. Οι κατευθυντήριες γραμμές για τέτοιου είδους επιθεωρήσεις έχουν συνταχθεί από αρχές όπως ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια στη Θάλασσα (EMSA) και η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA). Σε πλοία που χρησιμοποιούν καύσιμα με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο, οι επιθεωρήσεις επικεντρώνονται στο να προσδιοριστεί εάν το πλοίο χρησιμοποίησε το σωστό καύσιμο κατά το τελευταίο του ταξίδι, ανάλογα με τα ύδατα που επισκέφτηκε και εάν το πλοίο χρησιμοποιεί το σωστό καύσιμο κατά τη στιγμή του ελέγχου στο λιμάνι. Η επιθεώρηση αυτή βασίζεται σε δύο πηγές: τον έλεγχο εγγράφων τεκμηρίωσης και τη δειγματοληψία. Τα έγγραφα που εξετάζονται είναι τα δελτία παράδοσης καυσίμων (BDN) και τα ημερολόγια των πλοίων (Logbooks).⁴⁰ Τα δελτία παράδοσης, τα οποία είναι τα τυποποιημένα έγγραφα, που απαιτούνται από το παράρτημα VI της MARPOL, καταγράφουν τις λεπτομέρειες του καυσίμου που παραδίδεται. Σημαντικά έγγραφα που αποτελούν μέρος του ημερολογίου πλοίων είναι το βιβλίο καταγραφής λαδιού (Oil Record Book) και τα αρχεία των δραστηριοτήτων πλοήγησης. Το βιβλίο καταγραφής λαδιού καταγράφει τις σχετικές εργασίες που σχετίζονται με τη διαχείριση πετρελαίου, συμπεριλαμβανομένου του έρματος, της απόρριψης, της συλλογής και της ανεφοδιασμού. Τα αρχεία δραστηριοτήτων πλοήγησης είναι καθημερινές αναφορές που περιέχουν τη θέση του πλοίου, την πορεία και την ταχύτητα του πλοίου, καθώς και τις λεπτομέρειες των συνθηκών που επηρεάζουν το ταξίδι του πλοίου και την κανονική λειτουργία του πλοίου. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς για το θείο μπορεί να προσδιοριστεί με έλεγχο και σύγκριση αυτών των διαφορετικών πηγών πληροφοριών: τα δελτία παράδοσης καυσίμου, το βιβλίο πετρελαιοειδών, τα σημεία αναφοράς από τις δεξαμενές στο σημείο εκκίνησης της περιόδου επαλήθευσης, το σχέδιο αλλαγής καυσίμου, δραστηριότητες πλοήγησης, διαγράμματα γραμμής καυσίμου ή πληροφορίες σχετικά με το ποιο καύσιμο είναι στη δεξαμενή. Το αναφερόμενο ποσοστό μη συμμόρφωσης στις ευρωπαϊκές SECAs από το 2015 είναι στο 5%. Αυτό μπορεί να συναχθεί από στοιχεία ελέγχων επιθεωρήσεων, από την πρόσθετη παρακολούθηση των καπνοδόχων των πλοίων και από την παρακολούθηση της

³⁹ (Stamatopoulos, 2018)

⁴⁰ (Sulphur Cap 2020 Flyer, 2019)

ποιότητας του αέρα εντός ή εκτός των λιμένων. Αυτό το, σχετικά, χαμηλό ποσοστό μη συμμόρφωσης μπορεί να αποδείξει την υψηλή συμμόρφωση ή να δείξει τη δυσκολία ανίχνευσης της μη συμμόρφωσης. Όπως εξηγήθηκε προηγουμένως, οι κυριότεροι μηχανισμοί ελέγχου περιλαμβάνουν δείγματα λαδιού και σημειώσεις παράδοσης καυσίμων. Τα δελτία παράδοσης των καυσίμων υπόκεινται σε παρατυπίες και απάτες και γι' αυτό το λόγο θα μπορούσαν να ληφθούν τεχνολογικά καινοτόμα μέτρα για τη βελτίωση αυτής της μορφής παρακολούθησης.⁴¹

4.3 Κανονισμός EU-MRV

Ο κανονισμός θεσπίστηκε τη δεκαετία του 1990, σύμφωνα με την πολιτική της ΕΕ για τον περιορισμό της ρύπανσης από τα αέρια του θερμοκηπίου στις κύριες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης της γης, όπως η γεωργία, η βιομηχανία και η παραγωγή ενέργειας. Όσον αφορά στις μεταφορές, ακολούθησε η ίδια προσέγγιση με ειδικές απαιτήσεις για τις οδικές, αεροπορικές και θαλάσσιες μεταφορές. Ωστόσο, η στρατηγική σχετικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση έχει γίνει όλο και πιο επιτακτική ανάγκη στο πρόσφατο ευρωπαϊκό κλίμα. Στα πλαίσια της ενεργειακής πολιτικής, επιδιώκεται η μείωση των εκπομπών κατά 40% από τα επίπεδα του 1990 μέχρι το 2030 με ρητές δεσμεύσεις για όλες τις βιομηχανίες και ιδίως για τις θαλάσσιες μεταφορές.⁴²

Στον τομέα της ναυτιλίας, ο κανονισμός τέθηκε σε εφαρμογή το 2015 και αφορά όλα τα φορτηγά και επιβατηγά πλοία ≥ 5000 GT, οποιασδήποτε σημαίας ή χώρας ιδιοκτησίας, που κινούνται στα ύδατα της ΕΕ. Ο όρος "Monitoring", δηλαδή η "Παρακολούθηση", καλύπτει το επιστημονικό κομμάτι της διαδικασίας. Αφορά στην απόδοση τιμών σε κάθε παράγοντα που χρειάζεται για τον υπολογισμό των εκπομπών ρύπων. Η ποσότητα και ο συντελεστής εκπομπών για κάθε τύπο καυσίμου που καταναλώνεται συνολικά, η διανυθείσα απόσταση, η διάρκεια του ταξιδιού, το εκπεμπόμενο CO₂ και το μεταφερόμενο φορτίο είναι τέτοια στοιχεία. Το "Reporting", ή αλλιώς η "Υποβολή Εκθέσεων", αποτελεί το διοικητικό μέρος. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτό το σημείο συγκεντρώνονται και εγγράφονται οι τιμές, με επεξήγηση για την προέλευσή τους, καθώς επίσης τα αποτελέσματα υποβάλλονται στην αρμόδια αρχή, εξουσιοδοτημένη από τη σημαία του πλοίου. Η παρακολούθηση και η υποβολή εκθέσεων είναι βασικές υποχρεώσεις των ναυτιλιακών εταιρειών. Ο στόχος του "Verification", δηλαδή της "Επαλήθευσης", είναι να γίνει έλεγχος για πιθανά λάθη και συνήθως η διαδικασία αυτή γίνεται από διαπιστευμένο νομικό πρόσωπο, τον λεγόμενο ελεγκτή, ο οποίος πρέπει να είναι ανεξάρτητος από την εταιρεία. Πιο συγκεκριμένα, οι διαπιστευμένοι αυτοί ελεγκτές επαληθεύουν τα σχέδια επιτήρησης για τα πλοία, επαληθεύουν ότι οι ετήσιες εκθέσεις για τις εκπομπές πλοίων συμμορφώνονται με τα σχέδια παρακολούθησης και εξακριβώνουν ότι τα στοιχεία που περιέχονται στο ετήσιο πλοίο, δηλαδή οι εκθέσεις σχετικά με τις εκπομπές είναι ακριβείς.⁴³ Γενικά, ο κανονισμός MRV της ναυτιλίας, αποτελεί τη διαδικασία συνεχών μετρήσεων των παραγόντων που χρειάζονται για τον υπολογισμό των εκπομπών των πλοίων, με στόχο τη δημιουργία μιας κεντρικής διεθνούς βάσης δεδομένων, με τυποποιημένες συλλογές και μηχανισμούς αναφοράς δεδομένων,

⁴¹ (Crist & Masterson, 2016)

⁴² (Fedi, The European ships' Monitoring, Reporting and Verification (MRV): Pre-evaluation of a Regional Regulation on Carbon Dioxide Inventory, IAME 2016 CONFERENCE)

⁴³ (Kujanpää & Tei, 2016, International Conference on GHG Control Technologies)

σύμφωνα με ένα δομημένο και έγκυρο πλάνο παρακολούθησης.⁴⁴ Έτσι, διασφαλίζεται η συνέχεια των στοιχείων του κάθε πλοίου, παρά την πιθανή αλλαγή διαχειριστή ή ιδιοκτήτη.

4.3.1 Παρακολούθηση

Το σχέδιο παρακολούθησης είναι μια πλήρης και διαφανής περιγραφή της μεθόδου παρακολούθησης που συμπεριλαμβάνει πληροφορίες που καλύπτουν γενικά δεδομένα και τις τεχνικές πτυχές, όπως:

- Την ταυτότητα και τον τύπο του πλοίου (συμπεριλαμβανομένου του ονόματος, του αριθμού IMO, του λιμένα νηολόγησης και του ονόματος του πλοίου).
- Στοιχεία επικοινωνίας για την εταιρεία που είναι αρμόδια για την παρακολούθηση και την υποβολή εκθέσεων.
- Οι πηγές των εκπομπών CO₂ επί του σκάφους, όπως οι κύριοι και βοηθητικοί κινητήρες οι αεριοστρόβιλοι, οι λέβητες, οι γεννήτριες.
- Περιγραφή των διαδικασιών, των συστημάτων και των αρμοδιοτήτων που χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση του καταλόγου των πηγών εκπομπών.
- Περιγραφή των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της πληρότητας του καταλόγου των ταξιδιών.
- Περιγραφή των διαδικασιών παρακολούθησης της κατανάλωσης καυσίμου και του ορισμού συντελεστών εκπομπών για κάθε τύπο καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε (συμπεριλαμβανομένου του τρόπου με τον οποίο υπολογίστηκαν στην περίπτωση των εναλλακτικών καυσίμων).
- Περιγραφή των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των δεδομένων δραστηριότητας ανά ταξίδι.
- Ενημερωτικό δελτίο αναθεώρησης για την καταγραφή πιθανών αναθεωρήσεων που συντελέστηκαν.⁴⁵

Ορίζεται, ακόμα ότι, το σχέδιο παρακολούθησης είναι αναγκαίο να τροποποιηθεί όταν υπάρχει μεταβολή της εταιρείας, εάν χρησιμοποιούνται νέες πηγές εκπομπών ή χρησιμοποιούνται καύσιμα τα οποία δεν αναφέρονται ακόμη στο σχέδιο παρακολούθησης, όταν υπάρχει αλλαγή στη διαθεσιμότητα δεδομένων είτε όταν τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν κρίθηκαν εσφαλμένα.

Το πλάνο παρακολούθησης αναπτύσσεται με τρόπο, ώστε να διασφαλίζεται η ταχύτητα των εργασιών επί του πλοίου και η διαχείριση των εγγράφων. Οι ναυτιλιακές επιχειρήσεις καθορίζουν επίσης και τη μέθοδο που θέλουν να επιλέξουν για την εξασφάλιση των απαιτούμενων πληροφοριών από το πλοίο, διασφαλίζοντας αξιοπιστία στις μετρήσεις. Οι πιθανές μέθοδοι είναι:

- A. Σημείωμα Παράδοσης Καυσίμου (Bunker Delivery Note-BDN)
- B. Παρακολούθηση της στάθμης της δεξαμενής καυσίμων του πλοίου επί του σκάφους.
- C. Ροόμετρα (flowmeters).

⁴⁴ (Rony, Ensuring the effective implementation of the monitoring, reporting and verification (MRV) system in shipping: a step towards making energy-efficiency happen, 2017)

⁴⁵ (MRV REGULATION)

D. Απευθείας μέτρηση κατά την εξαγωγή καυσαερίων.

Οι δύο πρώτες μέθοδοι έχουν χαμηλότερο αρχικό κόστος και γι' αυτό το λόγο είναι και οι πιο διαδεδομένες. Τα ροόμετρα είναι πιο ακριβά από τα συστήματα μέτρησης της στάθμης της δεξαμενής καυσίμου, αλλά πιο φθηνά από τα όργανα άμεσης μέτρησης των καυσαερίων.⁴⁶ Έχοντας επιλεχθεί η κατάλληλη μέθοδος, οι επιχειρήσεις παρακολουθούν τις εκπομπές των πλοίων ανά ταξίδι ή σε ετήσια βάση. Όταν οι εκπομπές παρακολουθούνται ανά ταξίδι, ορίζεται ότι πρέπει να παρακολουθούνται οι λιμένες αναχώρησης και άφιξης, η συνολική ποσότητα και ο συντελεστής εκπομπών για κάθε τύπο καυσίμου που καταναλώνεται, το εκπεμπόμενο CO₂, η διανυθείσα απόσταση, ο χρόνος παραμονής στη θάλασσα, το μεταφερόμενο φορτίο και οι εργασίες μεταφορών.

Πίνακας 4-1: Θερμογόνος δύναμη και συντελεστής εκπομπής βασικών κατηγοριών ναυτικού καυσίμου

Τύπος Καυσίμου	Θερμογόνος Δύναμη(kj/kg)	Συντελεστής Εκπομπής-EF (t-CO ₂ /t-Fuel)
Residual Fuels	40200	3,114
Distillate Fuels	42700	3,206
LNG	48000	2,750

Τα πλοία απαλλάσσονται από την ανάγκη παρακολούθησης των εκπομπών ανά ταξίδι, εάν όλα τα ταξίδια του πλοίου ξεκινούν ή τελειώνουν σε λιμένα υπό τη δικαιοδοσία ενός κράτους μέλους ή το πλοίο πραγματοποιεί περισσότερα από 300 δρομολόγια ανά έτος. Όταν οι εκπομπές παρακολουθούνται σε ετήσια βάση, για κάθε πλοίο η εταιρεία πρέπει να παρακολουθεί την ποσότητα και τον συντελεστή εκπομπών για κάθε τύπο καυσίμου που καταναλώνεται συνολικά και τις συνολικές εκπομπές CO₂ από όλα τα ταξίδια.⁴⁷ Ακολουθεί εκτενέστερη αναφορά στις μεθόδους παρακολούθησης.

4.3.1.1 Δελτίο Παράδοσης Καυσίμων (Bunker Delivery Note-BDN)

Όταν γίνεται η παράδοση του καυσίμου στο πλοίο, το σημείωμα παράδοσης καυσίμων (BDN) πρέπει να υπογράφεται από τον αποστολέα και τον παραλήπτη. Το αρχείο είναι η εγγραφή της ποσότητας καυσίμου που παραδίδεται και επιπλέον, περιλαμβάνει το όνομα και τον αριθμό IMO του πλοίου, την ημερομηνία και το λιμάνι παραλαβής, τα προσωπικά στοιχεία επικοινωνίας του προμηθευτή, την ποσότητα σε τόνους, την πυκνότητα του καυσίμου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, την περιεκτικότητα σε θείο και την επικυρωμένη δήλωση ότι το καύσιμο υπόκειται σε συμφωνία με την παράγραφο VI της MARPOL. Το δελτίο αυτό είναι πολύ σημαντικό στη διαδικασία αγοράς καυσίμου και πρέπει να φυλάσσεται στο πλοίο για τρία χρόνια από την υπογραφή του.⁴⁸ Η κατανάλωση καυσίμου σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο μεταξύ δύο διαδοχικών διαδικασιών ανεφοδιασμού καυσίμου, μπορεί να υπολογιστεί ως :

Εξίσωση 1: Κατανάλωση καυσίμου μεταξύ δύο διαδικασιών ανεφοδιασμού καυσίμου

$$FC = (Q_A + Q_B) - (Q_E + Q_D)$$

⁴⁶ (Faber, Nelissen, & Smit, 2013)

⁴⁷ (Efstathiou, 2016)

⁴⁸ (Fridell, Sköld, Bäckström, & Pahlm, 2018)

Q_A: υπάρχουσα ποσότητα καυσίμου στην αρχή της αναφερόμενης περιόδου (t).

Q_B: παραλαβή καυσίμου (BDN) (t).

Q_E: ποσότητα καυσίμου στο τέλος της αναφερόμενης περιόδου (t).

Q_D: ποσότητα αποβλήτων καυσίμου (De-bunkered fuel) (t).

Χρησιμοποιώντας, ακόμα, το σωστό συντελεστή εκπομπής καυσίμου EF (t-CO₂/t-Fuel) και με γνωστή την ποσότητα του καυσίμου που καταναλώθηκε FC (t-Fuel), μπορεί να γίνει και υπολογισμός της ποσότητας εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα E (t-CO₂):

Εξίσωση 2: Ποσότητα εκπεμπόμενου CO₂ (t)

$$E = FC \cdot EF$$

Κατά τη διαδικασία της πιστοποίησης, οι κινητήρες δοκιμάζονται σε πρότυπα καύσιμα τα οποία μπορεί να διαφέρουν αρκετά από τα καύσιμα που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο. Έτσι υπάρχουν συντελεστές διόρθωσης καυσίμων (fuel correction factors, FCF) οι οποίοι ενσωματώνουν την διαφορά αυτή μεταξύ του εμπορικώς διαθέσιμου και πρότυπου καυσίμου. Οι συντελεστές αυτοί μπορούν να ληφθούν από υπηρεσίες που εμπλέκονται σε δοκιμές κινητήρων και προσομοίωσης εκπομπών.⁴⁹ Η βασική εξίσωση γίνεται:

Εξίσωση 3: Διορθωμένη ποσότητα εκπεμπόμενου CO₂ (t)

$$E = FC \cdot EF \cdot FCF$$

Η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των τιμών στο δελτίο παράδοσης BDN, οι οποία είναι εξαιρετικά αμφίβολη. Οι προμηθευτές ακολουθούν πρακτικές, ώστε να υπερεκτιμηθεί η ποσότητα παράδοσης, όπως με εσκεμμένη εισροή αέρα (carruccino effect), νοθευμένο καύσιμο με νερό και λανθασμένη θερμοκρασία καυσίμου, που προκαλεί αλλαγή του όγκου του.⁵⁰ Γι' αυτό το λόγο, για τη μέτρηση της ποσότητας παράδοσης από τον παραλήπτη, είναι αναγκαίο να χρησιμοποιούνται μέθοδοι όπως προσαρμοσμένες συσκευές μέτρησης από απόσταση, που τοποθετούνται στις δεξαμενές. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία εξασφαλίζονται με την τακτική βαθμονόμηση του μετρητή και την εξασφάλιση πιστοποιημένου εξοπλισμού από τη διοίκηση.

4.3.1.2 Παρακολούθηση της στάθμης της δεξαμενής καυσίμων του πλοίου επί του σκάφους

Η στάθμη της δεξαμενής καυσίμων μετριέται ηλεκτρονικά, μηχανικά και χειροκίνητα. Ηλεκτρονικά, υπάρχει μια σειρά αυτόματων μετρητών που βασίζονται σε διαφορετικές τεχνολογίες όπως οι “bubbler gauge” (εξ' αποστάσεως μέτρηση), μετρητές στάθμης βάσει πίεσης, αισθητήρες χωρητικότητας. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος σε πλοία μεγάλου μεγέθους είναι ο μετρητής υπερήχων “Ultrasonic Level Transmitter”, που είναι μόνιμα εγκατεστημένος στο πλοίο και δίνει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο ελέγχου. Η μηχανική μέτρηση γίνεται μέσα στη δεξαμενή και το επίπεδο της στάθμης διαβάζεται άμεσα μέσω ενός δείκτη ή ενός πλωτού αισθητήρα. Ο μετρητής μπορεί επίσης να είναι υδραυλικός, που

⁴⁹ (Κωνσταντουδάκη, 2013)

⁵⁰ (Γαλής, 2016)

λειτουργεί με μετρητή ή με διαφορά πίεσης. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη χειροκίνητη μέθοδος για τον υπολογισμό της χωρητικότητας της δεξαμενής, σε μικρού μεγέθους πλοία, είναι η χρήση μετρητικής ταινίας (“μεζούρας”) με βαρίδι στο ένα άκρο της χρησιμοποιώντας ένα άγκιστρο.⁵¹

4.3.1.3 Ροόμετρα (flowmeters)

Η μέθοδος βασίζεται πλήρως στην ένδειξη του μετρητή ροής που είναι προσαρμοσμένη στα συστήματα τροφοδοσίας του καυσίμου της μηχανής. Οι πιο διαδεδομένοι είναι οι μετρητές ογκομετρικής ροής, διαφορικής πίεσης και ταχύτητας. Ανακρίβεια στη μέτρηση μπορεί να οφείλεται είτε στο περιθώριο σφάλματος του μετρητή ροής και του προσωπικού είτε στην αυτοματοποιημένη καταγραφή των μετρήσεων. Πιο πρόσφατη εξέλιξη αποτελούν οι μετρητές ροής μάζας (Coriolis type), των οποίων η λειτουργία βασίζεται στην επιτάχυνση Coriolis και από αυτούς μετρείται η δύναμη που προκαλείται από την κίνηση της μάζας γύρω από ένα κέντρο περιστροφής. Οι συγκεκριμένοι μετρητές είναι πιο αξιόπιστοι, καθώς δεν επηρεάζονται από την ανακρίβεια της τιμής της πυκνότητας για συγκεκριμένη θερμοκρασία. Η περίοδος μέτρησης μπορεί να είναι η περίοδος ταξιδιού μεταξύ δύο λιμανιών ή η περίοδος παραμονής σε λιμάνι. Τα ροόμετρα βαθμονομούνται τακτικά και η έκθεση ελέγχου τους πρέπει να βρίσκεται στο πλοίο.⁵²

4.3.1.4 Απευθείας μέτρηση κατά την εξαγωγή καυσαερίων

Σε αυτή τη μέθοδο, λαμβάνονται δεδομένα από τις μετρήσεις της μονάδας ανάλυσης ροής αερίων στο στόμιο του φουγάρου και στη συνέχεια μεταφράζονται σε ποσότητα εκπομπών CO₂ ή κατανάλωση καυσίμου, με τη χρήση συντελεστών εκπομπής του σχετικού καυσίμου. Στην αγορά διατίθενται πολλοί τύποι αναλυτών των συστατικών των καυσαερίων με υψηλή ακρίβεια, που απαιτείται από τον Τεχνικό Κώδικα NO_x, να είναι εγκεκριμένοι σύμφωνα με διεθνή πρότυπα.⁵³ Η ανάλυση του CO₂ πρέπει να γίνεται με τεχνολογία απορρόφησης υπερύθρων (NDIR) ή από αναλυτές που γίνονται δεκτοί και δίνουν ισοδύναμα αποτελέσματα με τη συγκεκριμένη τεχνολογία.

4.3.2 Υποβολή Εκθέσεων

Τα δεδομένα που συλλέγονται πρέπει να διακατέχονται από διαφάνεια και να επιτρέπουν τον έλεγχό τους από εξωτερικό ελεγκτή. Οι εκπομπές CO₂ από τα καύσιμα, τόσο στη θάλασσα όσο και στη θέση αγκυροβολίας πρέπει να υποβάλλονται και οι εταιρείες πρέπει να αποτρέπουν τα κενά των δεδομένων κατά την περίοδο αναφοράς και να βεβαιώνονται ότι τα αναφερόμενα δεδομένα είναι ακριβή. Ο ελεγκτής, επομένως, ελέγχει το monitoring plan και αξιολογεί τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς. Για παράδειγμα, εάν αποτύχει ένας μετρητής ροής, τότε αυτό πρέπει να παρατηρηθεί από τον μηχανικό άμεσα και ένα εναλλακτικό μέσο συλλογής δεδομένων πρέπει να εφαρμοστεί για να αποφευχθεί ένα κενό δεδομένων και να ενημερωθεί η εταιρεία. Η περίοδος αναφοράς είναι ένα ημερολογιακό

⁵¹ (Fridell, Sköld, Bäckström, & Pahlm, 2018)

⁵² (Γαλής, 2016)

⁵³ (Rony, Ensuring the effective implementation of the monitoring, reporting and verification (MRV) system in shipping: a step towards making energy-efficiency happen, 2017)

έτος, από την 1η Ιανουαρίου έως τις 31 Δεκεμβρίου. Όταν ένα ταξίδι αρχίζει και τελειώνει σε διαφορετικό έτος, τα δεδομένα πρέπει να υποβάλλονται για το πρώτο ημερολόγιο έτος.⁵⁴

- Σύνταξη Εκθέσεων Εκπομπών

Η έκθεση εκπομπών είναι το έγγραφο που συμπληρώνεται από τη ναυτιλιακή ετησίως και σε αυτή καταγράφονται τα στοιχεία που παρακολουθούνται και που αναφέρονται επίσης στο πλάνο παρακολούθησης. Τέτοια στοιχεία είναι η ποσότητα και συντελεστής εκπομπών για το κάθε καύσιμο που καταναλώθηκε, ο οποίος μεταβάλλεται μεταξύ των καυσίμων που χρησιμοποιούνται εντός και εκτός περιοχών ελεγχόμενων εκπομπών θείου (ECA areas), οι εκπομπές CO₂, η συνολική διανυθείσα απόσταση, ο χρόνος ταξιδιού και η αποδοτικότητα.

Η αποδοτικότητα προσδιορίζεται από:

- Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την απόσταση (fuel tons/mile).
- Κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με το μεταφορικό έργο (fuel tons/cargo-mile).
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με την απόσταση (emission tons/mile).
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε σχέση με το μεταφορικό έργο (emission tons/cargo-mile).

Η ναυτιλιακή εταιρεία είναι ακόμα υποχρεωμένη να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το είδος του καυσίμου (HFO, LFO, MDO, LPG, LNG, Hybrid Fuels), τη συνολική κατανάλωση καυσίμου στο ταξίδι και στους λιμένες, τη συνολική υπολογισμένη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα σε τόνους και το μεταφερόμενο φορτίο ανά ταξίδι.

Για τα επιβατηγά πλοία, για να εκφραστεί το μεταφερόμενο φορτίο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο αριθμός των επιβατών, για τα πλοία Ro-Ro, το φορτίο ορίζεται ως ο αριθμός των μονάδων φορτίου (φορτηγά, αυτοκίνητα κλπ) ή των lane meters (μονάδα επιφάνειας του καταστρώματος) πολλαπλασιασμένα με προκαθορισμένες τιμές για το βάρος τους. Για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, το μεταφερόμενο φορτίο ορίζεται ως το συνολικό βάρος του φορτίου σε τόνους ή ως το ποσό των TEUs πολλαπλασιαζόμενο επίσης με προκαθορισμένες τιμές για το βάρος τους. Για τους υπόλοιπους τύπους πλοίων (δεξαμενόπλοια, πλοία μεταφοράς φυσικού αερίου, πλοία μεταφοράς χύδην φορτίου, πλοία γενικού φορτίου, ψυγεία φορτηγά πλοία, οχηματαγωγά και μεικτού φορτίου), η Επιτροπή καθορίζει παραμέτρους και τεχνικούς κανόνες για να εκφραστεί το μεταφερόμενο φορτίο. Αυτές οι παράμετροι εξετάζουν κατά περίπτωση το βάρος και τον όγκο του φορτίου που μεταφέρθηκε, καθώς και τον αριθμό των επιβατών. Για τα πλοία LNG, η μέτρηση δεν μπορεί να είναι ακριβής αφού το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου μεταφέρεται σε υγρή μορφή και χρησιμοποιούν συχνά μέρος του αερίου ως καύσιμο. Αυτό σημαίνει ότι η ποσότητα του φορτίου κατά την έναρξη του ταξιδιού είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα του φορτίου στο τέλος του ταξιδιού.

4.3.3 Επαλήθευση

Ο Φορέας Επαλήθευσης είναι ένας εξωτερικός οργανισμός, ο οποίος αφενός συμβουλεύει σε τεχνικό επίπεδο την εταιρεία σχετικά με τις προσαρμογές των διαδικασιών της στις απαιτήσεις του κανονισμού και αφετέρου ελέγχει τη ναυτιλιακή εταιρεία για τη συνέπεια της

⁵⁴ (MRV REGULATION)

τόσο στις διαδικασίες που τηρεί όσο και στα στοιχεία εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που δηλώνει. Αναμφίβολα νηογνώμονες από την Διεθνή Ένωση Νηογνώμωνων (IACS) και εξειδικευμένες εταιρείες, οι οποίες ελέγχουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, παίζουν αυτόν τον ρόλο της επαλήθευσης που συνίσταται κυρίως στην αξιολόγηση και στην πιστοποίηση της συμμόρφωσης των εγγράφων που διαβιβάζονται από τις ναυτιλιακές εταιρείες.⁵⁵ Ο επαληθευτής ελέγχει αν το σχέδιο παρακολούθησης (monitoring plan) είναι πλήρες, συμβατό και σωστό, δηλαδή ότι το σχέδιο παρακολούθησης περιέχει όλες τις υποχρεωτικές πληροφορίες. Το σύστημα διαχείρισης και ελέγχου του MRV υποβάλλεται επίσης σε εξέταση. Ο πυρήνας της επαλήθευσης μιας έκθεσης (reporting) για τις εκπομπές είναι η διαδικασία και η ανάλυση δεδομένων. Κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, ο ελεγκτής ελέγχει κατά πόσον οι εφαρμοζόμενες διαδικασίες είναι σύμφωνες με τον κανονισμό και αν περιγράφονται με ακρίβεια στο σχέδιο παρακολούθησης. Αυτή είναι η δεύτερη φορά που ζητείται έλεγχος μη συμμόρφωσης, όπως έχει ήδη γίνει κατά την αξιολόγηση του σχεδίου παρακολούθησης. Οι ανακρίβειες μπορεί να είναι αποτέλεσμα σφαλμάτων μέτρησης, υπολογισμού, δακτυλογράφησης, μετάδοσης πριν ή κατά τη διάρκεια της σύνταξης της έκθεσης εκπομπών. Αυτά τα σφάλματα μπορούν να εντοπιστούν χάρη σε δοκιμές δεδομένων και δειγματοληψία. Ο ελεγκτής εκδίδει, τέλος, το verification plan, σύμφωνα με το οποίο, πραγματοποιούνται εκτός από ελέγχους στα έγγραφα και επισκέψεις επί του πλοίου και σε περίπτωση λάθους, ειδοποιεί τη ναυτιλιακή εταιρεία. Οι δραστηριότητες επαλήθευσης στις εγκαταστάσεις αξιολογούνται από τις συνεντεύξεις του προσωπικού, τον έλεγχο των συστημάτων διαχείρισης και υποβολής αναφοράς και την αξιολόγηση κατά πόσον η κατάσταση που περιγράφεται στο σχέδιο παρακολούθησης αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση. Τα έξοδα μετακίνησης για τις επισκέψεις των ελεγκτών βαραίνουν τη ναυτιλιακή εταιρεία και το κόστος αυτό μπορεί να αυξηθεί σημαντικά όταν η επίσκεψη αφορά σε πλοίο εκτός Ευρωπαϊκού λιμένα. Γι' αυτό το λόγο το κόστος και ο αριθμός των επισκέψεων, προτιμάται να είναι μέρος της συνεννόησης με τον φορέα επαλήθευσης από την αρχή της συμφωνίας.⁵⁶

4.4 Κανονισμός IMO-DCS

Το 2011, δημοσιεύθηκαν νέα εργαλεία από τον IMO που αφορούν στην πρόληψη της ρύπανσης από τα πλοία όπως ο EEDI, ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης και το SEEMP, το σχέδιο διαχείρισης της αποδοτικότητας των πλοίων.⁵⁷ Σύμφωνα με αυτό, κάθε πλοίο ≥ 400 GT πρέπει να διατηρεί στο πλοίο ένα σχέδιο διαχείρισης της ενεργειακής απόδοσης πλοίου. Το SEEMP είναι μοναδικό για το κάθε πλοίο και πρέπει να δημιουργείται σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του IMO. Αυτές οι κατευθυντήριες οδηγίες περιλαμβάνουν τα ακόλουθα τέσσερα βήματα του σχεδίου διαχείρισης:

1. Σχεδιασμός
2. Εφαρμογή
3. Παρακολούθηση

⁵⁵ (Konick, 2017)

⁵⁶ (Χαραλαμπίδη, 2017)

⁵⁷ (Несq, 2017)

4. Αυτοαξιολόγηση και βελτίωση

Κατά τη φάση σχεδιασμού θα πρέπει να καθοριστεί η τρέχουσα χρήση ενέργειας και να καταρτιστεί κατάλογος των μέτρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του πλοίου. Το SEEMP πρέπει επίσης να περιγράφει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να εφαρμοστεί κάθε μέτρο και ποιος είναι ο υπεύθυνος για τη διεκπεραίωση της κάθε φάσης. Η ενεργειακή απόδοση των πλοίων θα πρέπει να παρακολουθείται ποσοτικά, με καθιερωμένη μέθοδο, κατά προτίμηση με διεθνή πρότυπα (ANNEX 5, RESOLUTION MEPC.245(66)). Στην τελευταία φάση, η αποτελεσματικότητα των μέτρων και η εφαρμογή τους αξιολογείται από την ίδια την εταιρεία.⁵⁸

Η MEPC (Marine Environment Protection Committee), η επιτροπή προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος, είναι η επιτροπή όπου όλες οι προπαρασκευαστικές συζητήσεις, για τους αρμόδιους κανονισμούς για τον περιορισμό εκπομπών CO₂, γίνονται παράλληλα με συζητήσεις για άλλες βλαβερές ουσίες που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα στη θάλασσα. Το MEPC δραστηριοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1998, με μια πρώτη μελέτη για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από το διεθνή στόλο. Το 2002, η ομάδα καθιέρωσε μια ομάδα αλληλογραφίας για να προετοιμάσει τη στρατηγική για τη μείωση των εκπομπών. Το 2008 δημιουργήθηκε μια διεθνής ομάδα εργασίας για την ανάπτυξη της τεχνικής βάσης για τον ίδιο σκοπό. Από το 2013, αναπτύσσεται σταδιακά ένα Παγκόσμιο Σύστημα Συλλογής Δεδομένων (Data Collection System – DCS), με κυρίαρχο μέλημα την καθιέρωση μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων για την κατανάλωση καυσίμου, με συνεχή και αδιάσπαστη ροή δεδομένων μεταξύ όσων συμμετέχουν στη διαδικασία. Αφορά σε πλοία μεγαλύτερα των 5000 GT, με υποχρέωση να καταγράφουν και να αναφέρουν στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση καυσίμου τους και πρόσθετα δεδομένα σχετικά με το μεταφορικό φορτίο του πλοίου. Πιο συγκεκριμένα, ο κανονισμός που ψηφίστηκε τον Οκτώβριο του 2016 (Reg. 22A MARPOL Annex VI) αναφέρει:

“Μέχρι και στις 31 Δεκεμβρίου 2019, στην περίπτωση πλοίου 5000 GT και άνω, το SEEMP κάθε πλοίου πρέπει περιλαμβάνει σχέδιο συλλογής δεδομένων για την κατανάλωση καυσίμου, το οποίο θα περιλαμβάνει και τη μέθοδο που θα χρησιμοποιηθεί για τη συλλογή των απαιτούμενων πληροφοριών από τον κανονισμό 22A και τις διαδικασίες που θα χρησιμοποιηθούν για την αναφορά των δεδομένων στη διοίκηση του πλοίου. Από το ημερολογιακό έτος 2019, κάθε πλοίο χωρητικότητας μικρότερης ή ίσης των 5000 GT συλλέγει τα δεδομένα που καθορίζονται στο παράρτημα IX του παρόντος κανονισμού για το εν λόγω έτος και για κάθε επόμενο ημερολογιακό έτος ή τμήμα αυτού, ανάλογα με την περίπτωση, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιλαμβάνεται στο SEEMP. Το πλοίο πρέπει να συγκεντρώνει τα δεδομένα ή μέρος αυτών, ανάλογα με την περίπτωση, και να τα υποβάλλει σε οποιαδήποτε από τις αρμόδιες αρχές εντός τριών μηνών από το τέλος κάθε ημερολογιακού έτους (π.χ. πριν από τις 31 Μαρτίου 2020 για τα δεδομένα του ημερολογιακού έτους 2019).”

Το Σύστημα Συλλογής Δεδομένων (DCS) για τα πλοία θα πρέπει να ακολουθεί μια προσέγγιση τριών σταδίων για να εξετάσει την ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των πλοίων:

1. Συλλογή δεδομένων
2. Ανάλυση δεδομένων
3. Η λήψη αποφάσεων σχετικά με τα περαιτέρω μέτρα που απαιτούνται

⁵⁸ (Nelissen & Faber, 2014)

Οι αναγκαίες πληροφορίες που χρειάζεται να συλλεχθούν είναι:

- Ταυτότητα του πλοίου
- Αριθμός IMO
- Περίοδος ημερολογιακού έτους για το οποίο υποβλήθηκαν τα δεδομένα:
- Ημερομηνία έναρξης (ηη / μμ / εεεε)
- Ημερομηνία λήξης (ηη / μμ / εεεε)
- Τεχνικά χαρακτηριστικά του πλοίου
- Τύπος πλοίου
- Ολική χωρητικότητα (GT)
- Καθαρή χωρητικότητα (NT)
- Χωρητικότητα χωρίς φορτίο (DT)
- Ονομαστική ισχύς κύριων και βοηθητικών κινητήρων (kW)
- Κατανάλωση καυσίμου, ανά τύπο καυσίμου, σε τόνους και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή των στοιχείων κατανάλωσης καυσίμου
- Απόσταση που διανύθηκε από αγκυροβόλιο σε αγκυροβόλιο⁵⁹

Η κατανάλωση καυσίμου, ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά που χρειάζεται να συλλεχθούν για το DCS πρέπει να περιλαμβάνει τη συνολική ποσότητα πετρελαίου που καταναλώνεται επί του σκάφους, το οποίο περιλαμβάνει το καύσιμο που καταναλώνεται από τους κύριους κινητήρες, τους βοηθητικούς κινητήρες, τους αεριοστρόβιλους, τους λέβητες και τις ηλεκτρογεννήτριες. Οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων σχετικά με την κατανάλωση πετρελαίου σε τόνους περιλαμβάνουν τη μέθοδο χρήσης δελτίων παράδοσης καυσίμου (BDN), τη χρήση μετρητών ροής (flowmeter) και τέλος, την παρακολούθηση της στάθμης της δεξαμενής καυσίμων στο πλοίο. Οι μέθοδοι αναλύθηκαν στην παράγραφο που αφορά στον κανονισμό EU-MRV. Για την επικύρωση των δεδομένων του DCS, όπως ορίζεται και στο παράρτημα VI της σύμβασης MARPOL: "Η διοίκηση μπορεί να εξουσιοδοτήσει έναν οργανισμό να λαμβάνει τα δεδομένα από ένα πλοίο, να επαληθεύει τα δεδομένα για συμμόρφωση με τις απαιτήσεις και να εκδίδει τη δήλωση συμμόρφωσης. Σε κάθε περίπτωση, η διοίκηση αναλαμβάνει την πλήρη ευθύνη για όλα τα καθήκοντα που εκτελούνται από οποιονδήποτε οργανισμό εξουσιοδοτημένο από αυτήν."⁶⁰

4.5 Σύγκριση EU-MRV, IMO-DSC

Παρά τις βασικές κοινές αρχές όπως η τιμή των 5000 GT, η κοινή περίοδος παρακολούθησης 12 μηνών, ο στόχος της μείωσης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αέρια του θερμοκηπίου και η απαιτούμενη μέθοδος παρακολούθησης που απαιτείται, η πρόταση του IMO και της ΕΕ διαφέρουν σημαντικά στον αντίστοιχο σχεδιασμό τους.

- Ο EU-MRV ψηφίστηκε τον Ιούλιο του 2015, με πρώτη περίοδο παρακολούθησης το 2018, σε αντίθεση με τον DSC του IMO που εισήχθη το Μάρτιο του 2018 με αρχική περίοδο παρακολούθησης το 2019. Η αναφορά στον αρμόδιο επαληθευτή, όσον αφορά στον EU-MRV υποβάλλεται μέχρι τον Ιανουάριο του 2019, ενώ στον IMO-DSC μέχρι το Μάρτιο του 2020.

⁵⁹ (Joung, Kang, Lee, & Ahn, 2020)

⁶⁰ (Hecq, 2017)

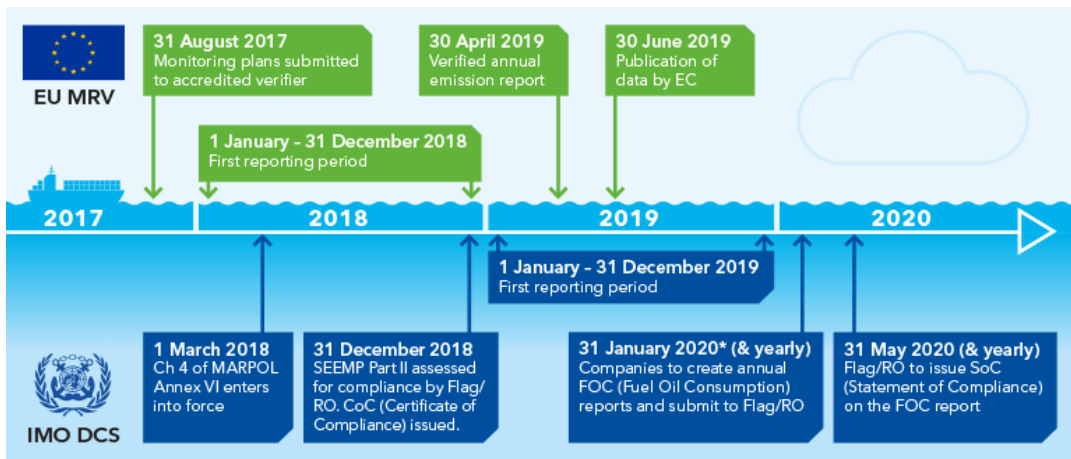
- Τα δεδομένα που παρακολουθούνται και στη συνέχεια αναφέρονται υπό τον κανονισμό MRV δημοσιοποιούνται με τα πλοία που προσδιορίζουν και μαζί με τα στοιχεία τους. Τα δεδομένα που αναφέρονται υπό το DCS του IMO παραμένουν ανώνυμα πριν δημοσιευθούν από τον IMO.
- Ο κανονισμός MRV απαιτεί την αναφορά του πραγματικού φορτίου που μεταφέρεται, ενώ το DCS του IMO χρησιμοποιεί το DWT του πλοίου ως υποκατάστατο για το φορτίο.
- Ο κανονισμός MRV απαιτεί τα δεδομένα να επαληθεύονται από έναν διαπιστευμένο και ανεξάρτητο ελεγκτή της ΕΕ και όχι από τη διοίκηση της σημαίας του πλοίου. Αυτός ο επαληθευτής είναι διαπιστευμένος από έναν εθνικό φορέα. Ο DSC του IMO απαιτεί τα δεδομένα να επαληθεύονται από τη διοίκηση της σημαίας ή από έναν από τους αναγνωρισμένους οργανισμούς του.
- Ο Κανονισμός MRV ισχύει για ταξίδια προς, εντός και από λιμένα που υπάγεται στη δικαιοδοσία κράτους μέλους της ΕΕ. Το DCS του IMO ισχύει για όλα τα δρομολόγια.
- Ο κανονισμός MRV προβλέπει απαιτήσεις για τα σχέδια παρακολούθησης, συμπεριλαμβανομένου της μορφής τους, ενώ το DCS IMO απαιτεί αυτό να συνάδει με το μέρος του SEEMP που αφορά στο σχέδιο συλλογής δεδομένων κατανάλωσης καυσίμου πετρελαίου, αλλά δεν καθορίζει την ακριβή μορφή του.
- Ο κανονισμός MRV ισχύει για τα πλοία που μεταφέρουν επιβάτες ή φορτία για εμπορικούς σκοπούς και αποκλείει αρκετές κατηγορίες ταξιδιού, όπως αυτές που εκτελούνται από πλοία ανοικτής θαλάσσης και βυθοκόρους. Ο DCS δεν προσφέρει αυτές τις εξαιρέσεις.⁶¹

Καταληκτικά, ο EU-MRV αποδεικνύεται ότι είναι μια εξαντλητική διαδικασία μέτρησης και απογραφής των ετήσιων εκπομπών CO₂ και της κατανάλωσης καυσίμων, ενώ η DCS του IMO είναι μια πιο απλουστευμένη διαδικασία συλλογής δεδομένων, με λιγότερο φιλόδοξους στόχους, που αποσκοπούν κυρίως στην ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης.

Υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί που αφορούν στην ακρίβεια των δεδομένων των καυσίμων που εισέρχονται στους κανονισμούς των EU-MRV, IMO-DCS και τελικά επηρεάζουν τις συνολικές εκπομπές αέριων ρύπων CO₂. Οι κανονισμοί του IMO και της ΕΕ, αντιμετωπίζουν κριτική από τη ναυτιλιακή βιομηχανία σε ευρωπαϊκό επίπεδο, από τους πλοιοκτήτες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας και σε διεθνές επίπεδο από το Διεθνές Επιμελητήριο της Ναυτιλίας. Συνοπτικά, οι οργανώσεις αυτές εκφράζουν ανησυχίες σχετικά την εμπιστευτικότητα και τη συλλογή των δεδομένων. Η βασική δυσκολία είναι να συγκεντρωθούν, να χωριστούν και να αναλυθούν τα ζητούμενα δεδομένα ανά ταξίδι. Για όλα τα παραπάνω θέματα, που αφορούν τελικά, στη διαρκή και διαφανή συλλογή, οργάνωση και διαχείριση δεδομένων και μετρήσεων, η χρήση τεχνολογικών εξελίξεων και εφαρμογών αποθήκευσης και διαχείρισης πληροφοριών αποτελεί πιθανή λύση.⁶²

⁶¹ (Boviatsis & Tselentis, 2019)

⁶² (Fedi, The Monitoring, Reporting and Verification of Ships' Carbon Dioxide Emissions: A European Substantial Policy Measure towards Accurate and Transparent Carbon Dioxide Quantification, 2017)



Σχήμα 4-4: Κοινό χρονοδιάγραμμα EU-MRV, IMO-DCS ⁶³

4.6 Αναγκαιότητα Εκσυγχρονισμού του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN)

Κοινό στοιχείο για τη συλλογή των δεδομένων, που πρόκειται να υποστηρίξουν τη διεξαγωγή και τη συμμόρφωση στους κανονισμούς Sulphur Cap 2020, EU-MRV και IMO-DCS αποτελεί το Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου (BDN). Έρευνα που διεξήχθη μεταξύ του Ιουνίου και Ιουλίου 2017 και διεκπεραιώθηκε με τη μορφή ερωτηματολογίων, απευθυνόμενα σε επαγγελματίες της ναυτιλίας στη Σιγκαπούρη και το Μπαγκλαντές, αποδεικνύει ότι συχνή αιτία για τη μη ομαλή λειτουργία των κανονισμών Sulphur Cap 2020, EU-MRV και IMO-DCS είναι θέματα που αφορούν BDN του κάθε πλοίου. Πενήντα τοις εκατό των συμμετεχόντων θεωρεί ως πιο σημαντική αιτία για τα λάθη και τα κενά που απαντώνται στα δεδομένα του BDN, τον ανθρώπινο παράγοντα που συμμετέχει στη συλλογή και ερμηνεία των δεδομένων.⁶⁴ Ταυτόχρονα, σημαντικός αριθμός ερωτηθέντων σε άλλη έρευνα, με αντικείμενο συζήτησης το BDN υποστηρίζει ότι δελτίο παράδοσης καυσίμου δε σχεδιάστηκε για να έχει καταστατικό χαρακτήρα στη μορφή που έχει σήμερα. Αναφέρεται ότι συχνά είναι γραμμένο στο χέρι και άρα ευάλωτο σε πιθανή απώλειά του. Το αντίγραφο του BDN του πλοίου είναι, ακόμα, ένα έγγραφο συχνά δυσανάγνωστο, ιδιαίτερα μετά την αποθήκευσή του και συντάσσεται ορισμένες φορές ακόμα και σε μη διεθνή γλώσσα.⁶⁵ Παράλληλα, η δυνατότητα για ετεροχρονισμένη παραποίησή του αυξάνεται από το γεγονός ότι η ποιότητα του εγγράφου είναι πολύ χαμηλή. Όπως περιέγραψε ένας εργαζόμενος στον ελεγκτικό φορέα εκμετάλλευσης: “Η συμμόρφωση στους κανονισμούς εξαρτάται πραγματικά από το BDN - μπορείς εύκολα να παραποιήσεις το BDN, αν αυτό είναι που θες να κάνεις. Η ποιότητά του είναι συχνά κακή, πολύ, πολύ φτωχή. [. . .] εξαρτάται από το πού βρίσκεσαι, [. . .] Αλλά ακόμα και η Ευρώπη μερικές φορές παρουσιάζει την κακή αυτή εικόνα . . .”⁶⁶

Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά της παρούσας μορφής των BDN, παρακωλύουν την αποδοτική λειτουργία των κανονισμών που στηρίζονται στις τιμές του, και γι’ αυτό το λόγο οι ναυτιλιακές εταιρείες πρέπει να οργανώσουν τις διαδικασίες αποθήκευσης των εγγράφων

⁶³ (DNV GL MARITIME-IMO DCS)

⁶⁴ (Rony, Kitada, Dalaklis, Ölçer, & Ballini, 2019)

⁶⁵ (Seafarers International Research Centre Symposium Proceedings, 2013)

⁶⁶ (Sampson, Bloor, Baker, & Dahlgren, 2016)

με γνώμονα την ασφαλή, πλήρη και άμεση ανάκτησή τους όταν αυτά ζητηθούν.⁶⁷ Ειδικότερα οι ναυτιλιακές εταιρείες που αριθμούν μεγάλο στόλο, καλούνται να διαχειριστούν, να επεξεργαστούν και να αναφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων, με διατήρηση ιστορικού. Επομένως, χρειάζεται να σχεδιαστεί ένα σύστημα αυτόματης ηλεκτρονικής διαχείρισης των πληροφοριών που απαρτίζουν το Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου, που θα καθιστά απλούστερη και πρακτικά αποδοτικότερη τη διαχείριση μεγάλων όγκων δεδομένων. Έτσι πρόκειται να βελτιωθεί η ταχύτητα επεξεργασίας δεδομένων, η ταχύτητα ανάκτησής τους και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λάθους. Το σύστημα αυτό, ιδανικά, θα δέχεται αυτόματα τα στοιχεία που αποστέλλονται από το πλοίο, θα τα συνδυάζει με τις καταχωρήσεις που αφορούν τα στοιχεία του κάθε Bunkering, του λιμένα παραλαβής και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία θα εξάγει την οργανωμένη βάση δεδομένων. Αναδεικνύεται, συμπερασματικά, η επιτακτική ανάγκη για τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού δελτίου παράδοσης καυσίμου (BDN), τεχνολογικά καινοτόμου, στο οποίο θα εξασφαλίζεται η αξιοπιστία των δεδομένων του. Η τεχνολογία Blockchain αποτελεί ένα τέτοιο εργαλείο.

⁶⁷ (Γαλής, 2016)

5 Τεχνολογία Blockchain

5.1 Εισαγωγή στην Τεχνολογία Blockchain

Ο όρος Blockchain περιγράφει έναν ψηφιακό οργανωμένο και αποκεντρωμένο δίκτυο “peer-to-peer”, ένα δίκτυο δηλαδή που επιτρέπει σε δύο ή περισσότερους υπολογιστές να μοιράζονται τους πόρους τους ισοδύναμα. Το δίκτυο αυτό χρησιμοποιεί την επεξεργαστική ισχύ, τον αποθηκευτικό χώρο και το εύρος ζώνης (bandwidth) των κόμβων. Όλοι οι κόμβοι του δικτύου έχουν ίσα δικαιώματα. Πληροφορίες που βρίσκονται στον ένα κόμβο, ανάλογα με τα δικαιώματα που καθορίζονται, μπορούν να διαβαστούν από όλους τους άλλους και αντίστροφα. Ουσιαστικά, λοιπόν αποτελεί μία κατανεμημένη βάση δεδομένων, που αποθηκεύει μια σειρά αρχείων σε ένα Block. Κάθε Block, στη συνέχεια, συνδέεται με το προηγούμενο σαν αλυσίδα, χρησιμοποιώντας κρυπτογραφική υπογραφή. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στις αλυσίδες των Blocks να χρησιμοποιούνται σαν ημερολόγιο, τα δεδομένα του οποίου μπορούν να επιβεβαιωθούν, αλλά όχι να παραποιηθούν, από οποιοδήποτε μέλος της ψηφιακής κοινότητας, με τα κατάλληλα δικαιώματα. Επιτρέπει, ακόμα, ασφαλείς ανταλλαγές ψηφιακών στοιχείων μεταξύ των συμμετεχόντων στο ίδιο δίκτυο, χωρίς μεσάζοντες και χωρίς μια κεντρική αρχή.⁶⁸ Η πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain δημιουργήθηκε από ένα ανώνυμο άτομο ή ομάδα γνωστό ως Satoshi Nakamoto το 2008. Εφαρμόστηκε στη δημιουργία των Bitcoins, ψηφιακών δηλαδή νομισμάτων, που χρησιμεύουν ως δημόσιο βιβλίο για όλες τις συναλλαγές στο δίκτυο. Το Bitcoin έγινε το πρώτο ψηφιακό νόμισμα για την επίλυση του προβλήματος των διπλών δαπανών στον ψηφιακό χώρο, χωρίς να απαιτείται διαχειριστής και αποτέλεσε έτσι την έμπνευση για πολλές πρόσθετες εφαρμογές.

Η τεχνολογία Blockchain συνδυάζει ένα πλήθος χαρακτηριστικών, που την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική, ώστε να επιλέγεται σε διάφορες χρήσεις. Αποτελεί ένα δίκτυο σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, δηλαδή επιτρέπει σχεδόν άμεσο διακανονισμό των καταγεγραμμένων συναλλαγών, απομακρύνοντας τις χρονοτριβές και μειώνοντας τις καθυστερήσεις. Είναι μία αξιόπιστη και συνεχώς διαθέσιμη βάση δεδομένων, στην οποία οι πολλαπλοί συμμετέχοντες μοιράζονται ένα πεδίο, το οποίο είναι ανθεκτικό σε διακοπές ή κακόβουλες επιθέσεις. Η διαφάνεια χαρακτηρίζει τις συναλλαγές, οι οποίες είναι ορατές σε όλους τους συμμετέχοντες, με πανομοιότυπα αντίγραφα που διατηρούνται σε πολλά συστήματα υπολογιστών, αυξάνοντας την ικανότητα ελέγχου και εμπιστοσύνης των πληροφοριών που διατηρούνται. Οι συναλλαγές πραγματοποιούνται μέσω «έξυπνων συμβάσεων», των οποίων οι όροι καταγράφονται σε γλώσσα υπολογιστή αντί της νομικής γλώσσας. Το δίκτυο Blockchain είναι μη αναστρέψιμο και αμετάβλητο, καθώς οι συναλλαγές είναι δυνατό να καταστούν αμετάκλητες, γεγονός που μπορεί να αυξήσει την ακρίβεια των εγγραφών και να απλοποιήσει τις διαδικασίες. Είναι σχεδόν αδύνατο να γίνουν αλλαγές σε ένα Blockchain χωρίς ανίχνευση, αυξάνοντας την εμπιστοσύνη στις πληροφορίες που μεταφέρει και μειώνοντας τις ευκαιρίες για απάτες. Τέλος, ο ψηφιακός χαρακτήρας του δικτύου είναι εμφανής, αφού σχεδόν οποιοδήποτε έγγραφο ή στοιχείο μπορεί να εκφραστεί σε κώδικα, πράγμα που σημαίνει ότι η τεχνολογία Blockchain έχει ευρείες εφαρμογές.⁶⁹

⁶⁸ (Distributed Ledger Technology: beyond block chain, 2016)

⁶⁹ (Accelerating technology disruption in the automotive market: Blockchain in the automotive industry, 2018)

5.2 Δομικές Έννοιες Συστήματος Blockchain

5.2.1 Δίκτυο Ομότιμων Κόμβων (Peer-to-Peer)

Η ανάγκη για ανταλλαγή αρχείων, για κοινή χρήση υπολογιστικών συστημάτων και πόρων και για παροχή υπηρεσιών, που έχει δημιουργηθεί την τελευταία περίοδο λόγω της ταχύτατης ανάπτυξης των νέων τεχνολογιών και του Διαδικτύου, οδήγησε στη συγκρότηση «ομαδικών» δικτύων πλήθους υπολογιστών. Αυτά τα δίκτυα είναι γνωστά ως δίκτυα ομότιμων κόμβων (P2P networks). Σε ένα τέτοιο δίκτυο κάθε κόμβος που συμμετέχει είναι ισότιμος με κάθε άλλο. Οι λειτουργίες του δικτύου είναι καταναμημένες στους διαφορετικούς κόμβους-χρήστες, οι οποίοι μπορούν να είναι συνδεδεμένοι ταυτόχρονα, να αυτο-οργανώνονται και να προσαρμόζονται στις αποτυχίες και στις παροδικές μετακινήσεις μελών του δικτύου. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της αρχιτεκτονικής των ομότιμων κόμβων είναι η μείωση κόστους, καθώς δεν απαιτείται σημαντική υποδομή και εύρος ζώνης εξυπηρετητή και η μη ύπαρξη πλήθους αστοχιών του δικτύου, αφού η βλάβη σε έναν μεμονωμένο κόμβο δεν επηρεάζει την ομαλή λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου.⁷⁰

5.2.2 Κρυπτογραφία (Cryptography)

Η κρυπτογραφία χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της πληροφορίας από μια κανονική, κατανοητή μορφή σε μια κωδικοποιημένη, έτσι ώστε η πληροφορία να μην μπορεί να αλλοιωθεί χωρίς ανίχνευση της αλλοίωσης, παρά μόνο από εξουσιοδοτημένα μέλη. Το δίκτυο Blockchain στηρίζεται σε βασικές τεχνολογίες κρυπτογραφίας.

5.2.2.1 Λειτουργία Κατακερματισμού (Hash Function)

Είναι μια μαθηματική συνάρτηση που λαμβάνει μια είσοδο δεδομένων οποιουδήποτε μήκους και εξάγει μια μοναδική, αλφαριθμητική αλυσίδα σταθερού μήκους. Η έξοδος ονομάζεται hash ή ψηφιακό δακτυλικό αποτύπωμα ή άθροισμα ελέγχου.⁷¹ Ενώ υπάρχουν διαφορετικές κατηγορίες κρυπτογραφικών λειτουργιών κατακερματισμού, όλες μοιράζονται τις ίδιες τέσσερις ιδιότητες. Πρώτα απ' όλα, οι λειτουργίες κατακερματισμού πρέπει να είναι υπολογιστικά αποδοτικές, δηλαδή οι υπολογιστές πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν μια μαθηματική εργασία της συνάρτησης κατακερματισμού σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η ιδιότητα είναι προφανής, καθώς εάν ένας συνηθισμένος υπολογιστής χρειαζόταν αρκετά λεπτά για να επεξεργαστεί μια κρυπτογραφική λειτουργία κατακερματισμού και να λάβει την έξοδο, δε θα ήταν καθόλου πρακτική η λύση. Σήμερα, ωστόσο, ένας μέσος υπολογιστής στο σπίτι μπορεί να επεξεργαστεί μια προηγμένη λειτουργία κατακερματισμού σε μερικά δευτερόλεπτα. Οι κρυπτογραφικές λειτουργίες κατακερματισμού πρέπει να είναι επιπλέον ντετερμινιστικές. Με άλλα λόγια, για οποιαδήποτε δεδομένη είσοδο, μια λειτουργία κατακερματισμού πρέπει πάντα να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα, καθώς αν μια κρυπτογραφική συνάρτηση κατακερματισμού έπρεπε να παράγει διαφορετικές εξόδους κάθε φορά που εισάγεται η ίδια είσοδος, η λειτουργία κατακερματισμού θα ήταν τυχαία και άρα άχρηστη. Η έξοδος κρυπτογραφικής συνάρτησης

⁷⁰ (Φράγκος, 2018)

⁷¹ (Thakur, 2017)

κατακερματισμού δεν πρέπει να αποκαλύπτει καμία πληροφορία σχετικά με την είσοδο. Η λειτουργία κατακερματισμού παράγει πάντοτε, ανεξάρτητα από το ποια είναι η είσοδος, έξοδο σε μορφή αλφαριθμητικού κώδικα σταθερού μήκους. Αυτή η ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί εάν μια μεγαλύτερη είσοδος παρήγαγε μεγαλύτερη έξοδο, τότε οι επιτιθέμενοι θα αποκτούσαν ένα χρήσιμο στοιχείο στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν την ιδιωτική είσοδο κάποιου. Γι' αυτό το λόγο, η hash function αποκρύπτει ενδείξεις σχετικά με την εμφάνιση της εισόδου, για παράδειγμα εάν η είσοδος είναι μεγάλη ή σύντομη, αν εμπεριέχει αριθμούς ή γράμματα. Η τελική ιδιότητα που πρέπει να έχουν όλες οι κρυπτογραφικές λειτουργίες κατακερματισμού είναι η «αντίσταση σε συγκρούσεις», δηλαδή ότι η εύρεση δύο διαφορετικών εισόδων που παράγουν την ίδια έξοδο είναι απίθανη. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι εισροές σε μια λειτουργία κατακερματισμού μπορούν να έχουν οποιοδήποτε μήκος. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άπειρες εισόδους που μπορούν να εισαχθούν σε μια λειτουργία κατακερματισμού. Δεδομένου όμως, ότι ο αριθμός των εισροών είναι ουσιαστικά άπειρος, ενώ οι εξόδους περιορίζονται σε έναν συγκεκριμένο αριθμό, είναι μια μαθηματική βεβαιότητα ότι περισσότερες από μία εισοδοί θα παράγουν την ίδια έξοδο. Ο στόχος είναι, η πιθανότητα να βρεθούν δύο εισοδοί που παράγουν την ίδια έξοδο να είναι πρακτικά μηδαμινή.⁷²

5.2.2.2 Δείκτης Κατακερματισμού (Hash Pointer)

Είναι ένας δείκτης που καταδεικνύει το σημείο αποθήκευσης μαζί με το ψηφιακό δακτυλικό αποθήκευσης των δεδομένων. Είναι, επομένως, ένα hash για την αναφορά σε ένα άλλο κομμάτι ήδη υπάρχοντων, γνωστών πληροφοριών, για την επαλήθευση τους και χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή δομών δεδομένων, όπως τα δίκτυα Blockchain .

5.2.2.3 Ψηφιακή Υπογραφή (Digital Signature)

Εάν δύο ή περισσότεροι άνθρωποι επιθυμούν να πραγματοποιήσουν ασφαλείς συναλλαγές μέσω του Διαδικτύου, μπορούν να χρησιμοποιήσουν κρυπτογραφία δημόσιου-ιδιωτικού κλειδιού, που επιτρέπει στους συμμετέχοντες να αποδείξουν την ταυτότητά τους με ένα ιδιωτικό κλειδί και ένα δημόσιο κλειδί. Ο συνδυασμός αυτών των δύο δημιουργεί μια ψηφιακή υπογραφή. Στα Blockchains, οι ψηφιακές υπογραφές είναι μαθηματικές λειτουργίες που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο προφίλ. Πρόκειται για μια ψηφιακή αναγνώριση ενός προφίλ. Προσθέτοντας μια ψηφιακή υπογραφή σε μια συναλλαγή, κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει ότι η συναλλαγή αυτή προήλθε από το προφίλ από το οποίο φέρεται ότι προέρχεται και ότι το προφίλ δεν μπορεί να μιμηθεί κάποιο άλλο διαφορετικού μέλους. Πιο συγκεκριμένα, το ιδιωτικό κλειδί ενεργεί ως "κωδικός πρόσβασης" και χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση των συναλλαγών, ενώ το δημόσιο κλειδί χρησιμοποιείται για την αποκρυπτογράφηση τους, εξασφαλίζοντας σε τρίτους ότι είναι έγκυρος ο ιδιοκτήτης μιας διεύθυνσης, που μπορεί να λάβει χρήματα. Ο αποστολέας κρυπτογραφεί τη συναλλαγή με το ιδιωτικό κλειδί του, το οποίο μπορεί να αποκρυπτογραφηθεί από τον παραλήπτη μόνο με το δημόσιο κλειδί του αποστολέα. Εάν το δημόσιο κλειδί του αποστολέα δε λειτουργεί, σημαίνει ότι η συναλλαγή δεν είναι από το έγκυρο προφίλ.⁷³ Τα δίκτυα Blockchain χρησιμοποιούν αλγόριθμο ψηφιακής υπογραφής, όπως η κρυπτογραφία ελλειπτικών καμπυλών. Η θεωρία της κρυπτογραφίας ελλειπτικών καμπυλών (Elliptic Curve Cryptography – ECC) προτάθηκε το 1985 από τους Victor Miller της IBM και Neil Koblitz, ως ένας εναλλακτικός μηχανισμός για την υλοποίηση της κρυπτογραφίας δημόσιου κλειδιού. Το μεγάλο πλεονέκτημα της είναι το γεγονός ότι

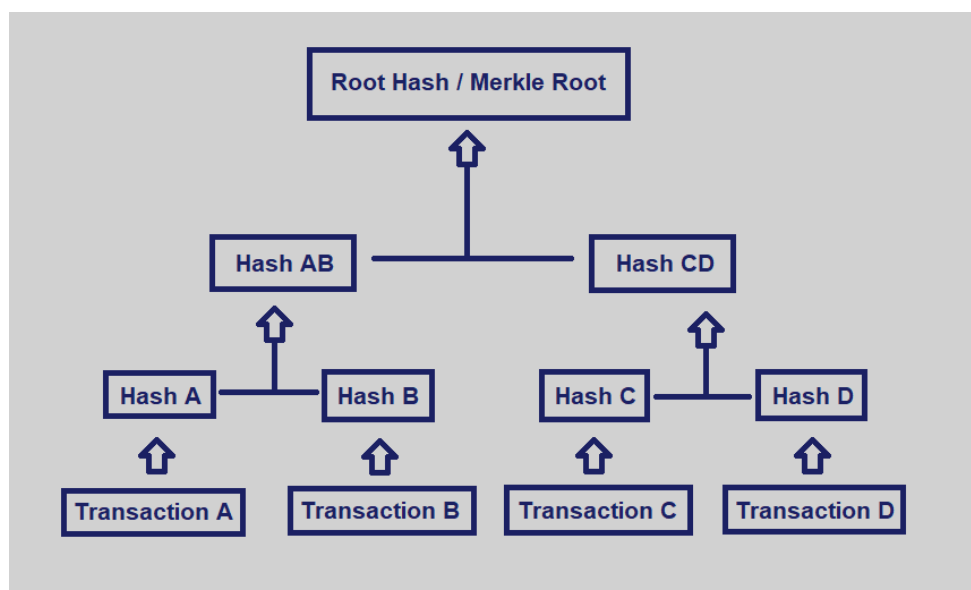
⁷² (Cryptographic Hash Functions Explained: A Beginner's Guide, 2018)

⁷³ (Cryptography & Blockchain – Part 2, 2018)

βασίζεται σε διακριτούς λογαρίθμους και συνεπώς είναι πολύ δυσκολότερο να παραβιαστεί σε σχέση με άλλους γνωστούς αλγορίθμους δημόσιων κλειδιών, με αποτέλεσμα να διασφαλίζονται οι συναλλαγές.⁷⁴

5.2.2.4 Δέντρο Merkle

Τα Merkle δέντρα, συχνά αναφερόμενα ως δυαδικά δέντρα κατακερματισμού, είναι δομές δεδομένων που χρησιμοποιούνται προκειμένου να συνοψιστεί και να επαληθευτεί η ακεραιότητα των μεγάλων συνόλων δεδομένων, έτσι ώστε να διασφαλιστεί το γεγονός ότι τα μπλοκ δεδομένων που αποστέλλονται μέσω ενός ομότιμου δικτύου (P2P) παραδίδονται άθικτα και πλήρη. Στις περιπτώσεις χρήσης για Blockchain συστήματα, τα δέντρα Merkle δρουν ως απόδειξη της ακεραιότητας. Όταν ο δέκτης πολλών μπλοκ δεδομένων λαμβάνει τη ρίζα Merkle εκ των προτέρων, που παρέχεται από τον προμηθευτή δεδομένων, ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει τη ρίζα Merkle μετά το τέλος της λήψης όλων των μπλοκ. Αν η υπολογιζόμενη ρίζα Merkle ισούται με αυτή που παρέχεται από τον προμηθευτή δεδομένων, ο δέκτης μπορεί να διαβεβαιώσει ότι όλα τα δεδομένα παραλαμβάνονται αμετάβλητα. Το δέντρο Merkle είναι ένα δέντρο, χτισμένο από κάτω προς τα πάνω, όπου τα φύλλα είναι ένα σύνολο δεδομένων, που αντιπροσωπεύονται από τις τιμές κατακερματισμού. Το επόμενο επίπεδο του δυαδικού δέντρου αποτελείται από γονικούς κόμβους, ο κάθε κόμβος αποτελούμενος από τον διπλό κατακερματισμό δύο φύλλων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το επίπεδο που οι συνιστώσες καταλήγουν σε ένα μόνο «γονέα», ως αποτέλεσμα του διπλού hashing όλων των κόμβων. Αυτός ο κόμβος που προκύπτει είναι γνωστή ως η ρίζα Merkle.⁷⁵



Σχήμα 5-1: Δομή Merkle Tree⁷⁶

5.2.2.5 Έξυπνες Συμβάσεις (Smart Contracts)

Ο Nick Szabo εισήγαγε αυτή την έννοια το 1994 και όρισε την έξυπνη σύμβαση ως «ένα ηλεκτρονικό πρωτόκολλο που εκτελεί τους όρους συναλλαγών». Προτάθηκε, ώστε να μεταφραστούν συμβατικές ρήτρες (για παράδειγμα εξασφαλίσεις, δεσμεύσεις) σε κώδικα

⁷⁴ (N. Παπαδόδημας, 2018)

⁷⁵ (Melander & Halvord, 2017)

⁷⁶ (Shaan, 2017)

και να ενσωματωθούν σε ιδιοκτησία (υλικό ή λογισμικό) που μπορεί να τις αυτό-υποβάλλει, έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ανάγκη για αξιόπιστους διαμεσολαβητές μεταξύ των συναλλασσόμενων μερών. Στα πλαίσια της Blockchain τεχνολογίας, τα έξυπνα συμβόλαια είναι αποθηκευμένα κείμενα κώδικα με συγκεκριμένες μοναδικές διευθύνσεις, που εκτελούνται ανεξάρτητα και αυτόματα σε κάθε κόμβο του δικτύου, σύμφωνα με τα δεδομένα που συμπεριλήφθηκαν στην ενεργοποιημένη συναλλαγή. Οι έξυπνες συμβάσεις είναι αυτόματα εκτελέσιμες από κατάλληλο υπολογιστικό σύστημα.⁷⁷ Τα δυνητικά οφέλη των έξυπνων συμβάσεων περιλαμβάνουν τη χαμηλή συμβολή, την άμεση επιβολή και κατά συνέπεια γίνεται οικονομικά βιώσιμη η σύναψη συμβάσεων μέσω πολλών συναλλαγών χαμηλής αξίας. Ο πιθανός κίνδυνος είναι η εξάρτησή τους από το υπολογιστικό σύστημα που εκτελεί τη σύμβαση, ωστόσο σε αυτό το στάδιο, οι κίνδυνοι και τα οφέλη είναι σε μεγάλο βαθμό θεωρητικά, διότι η τεχνολογία έξυπνων συμβολαίων είναι ακόμα περιορισμένη. Για να γίνει πιο κατανοητή η έννοια των Smart Contracts, ας υποθέσουμε ένα σενάριο όπου ο Α έχει επιφυλάξεις σχετικά με την εμπιστοσύνη του στον Β. Ο Α δε θέλει να ολοκληρώσει την πληρωμή στον Β εκτός και αν πρώτα παραδοθεί και επιθεωρηθεί η παραγγελία του. Ο Β κατανοεί την ανησυχία του Α, αλλά και αυτός πρέπει να προστατεύσει το οικονομικό του συμφέρον σε περίπτωση που ο Α παραλάβει το προϊόν, αλλά αρνηθεί να πληρώσει. Αυτή η κατάσταση μπορεί να λυθεί εάν ο Α χρησιμοποιήσει ένα έξυπνο συμβόλαιο για να στείλει την πληρωμή με «ψηφιακή-εικονική εμπιστοσύνη» μέσω του Blockchain.

5.2.3 Συναίνεση (Consensus)

Πριν από την ανάπτυξη ενός Blockchain συστήματος, η επίτευξη της συναίνεσης είναι ένα από τα θεμελιώδη ζητήματα που χρειάζεται να εξασφαλιστούν, επειδή πιστεύεται ότι είναι αδύνατο να επιτευχθεί ένα σύστημα απόλυτα ανθεκτικό σε σφάλματα και σε εξωγενείς επιθέσεις, χωρίς την ύπαρξη μιας κεντρικής Αρχής. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτή η πρόκληση, προτείνεται η υλοποίηση ομόφωνων συναινέσεων για τη δημιουργία αντιγράφων των συμφωνιών, κατά τη διαδικασία ενημέρωσης των συναλλαγών, με μια βάση οικονομικών κινήτρων για τον σωστό συντονισμό του δικτύου συμμετεχόντων. Για να επιτευχθεί επομένως η συναίνεση, δημιουργείται κοινή συμφωνία μεταξύ των συμμετεχόντων, την οποία τα μέλη του δικτύου επικυρώνουν, έτσι ώστε μια συναλλαγή να μπορεί να θεωρηθεί έγκυρη.⁷⁸ Η διαδικασία επικύρωσης δεδομένων σε ένα δίκτυο Peer-to-Peer απαιτεί τη χρήση σύνθετων αλγορίθμων όπως το “Proof of Work”, το “Proof of Stake” και το “PBFT”, για το οποίο γίνεται αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.

5.2.3.1 Σύστημα Απόδειξης Εργασίας-Proof of Work

Υποθέτουμε ότι εκατομμύρια υπολογιστές ανταγωνίζονται για να κερδίσουν μια ανταμοιβή μέσω της λύσης ενός προβλήματος και ο πρώτος που το ολοκληρώνει κερδίζει το βραβείο. Μόλις βρεθεί λύση, η ανταμοιβή απονέμεται και παρουσιάζεται ένα νέο πρόβλημα. Όλα τα μηχανήματα αρχίζουν να ανταγωνίζονται για να λύσουν το νέο πρόβλημα και ούτω καθεξής. Με πολύ απλοποιημένο τρόπο, αυτό είναι η βάση της λειτουργίας των δικτύων Proof of Work. Κάθε Block σε ένα Σύστημα Απόδειξης Εργασίας - Proof of Work είναι πραγματικά μια λίστα ολοκληρωμένων συναλλαγών και η κάθε συναλλαγή είναι πραγματικά μια μεταφορά δεδομένων από τη μια διεύθυνση στην άλλη. Προκειμένου το δίκτυο να ολοκληρώσει μια

⁷⁷ (Christidis, 2016)

⁷⁸ (P. Tabirao, 2018)

τέτοια μεταφορά δεδομένων, η συναλλαγή πρέπει να επιβεβαιωθεί και να γραφτεί σε ένα Block στο σύστημα Blockchain. Ένα Block προστίθεται κάθε φορά που ένας συμμετέχων του δικτύου βρίσκει λύση σε ένα δύσκολο μαθηματικό πρόβλημα και μεταδίδει τη λύση του στο υπόλοιπο δίκτυο. Με άλλα λόγια, ο χρήστης επιλύει το πρόβλημα και αποδεικνύει την εργασία του στις άλλες μηχανές που προσπαθούσαν να λύσουν το ίδιο πρόβλημα. Όλα τα μηχανήματα στο δίκτυο επαληθεύουν τη λύση. Εάν η λύση είναι αληθινή, ο χρήστης που την βρήκε, λαμβάνει μια ανταμοιβή. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ένα νέο πρόβλημα και ο ανταγωνισμός ξεκινά ξανά. Έτσι λειτουργούν τα Proof of Work στα Blockchain συστήματα. Το μέγεθος της ανταμοιβής για την εξόρυξη ενός Block ποικίλλει αλλά πληρώνεται πάντοτε στο νόμισμα που είναι εγγενές σε αυτό το συγκεκριμένο Blockchain. Ο σκοπός της ανταμοιβής είναι πάντα η παροχή κινήτρων στα άτομα να χρησιμοποιούν τους υπολογιστές τους για την επίλυση των δύσκολων μαθηματικών προβλημάτων που απαιτούνται για την εξόρυξη των μπλοκ. Χωρίς ένα μεγάλο δίκτυο υπολογιστών που ανταγωνίζονται για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων, ένα Blockchain δίκτυο δεν θα έχει καμία ασφάλεια. Όποιος διέθετε έναν επαρκώς ισχυρό υπολογιστή θα ήταν σε θέση να χειριστεί το Blockchain, να διαγράψει ή να αλλάξει συναλλαγές κατά βούληση.⁷⁹

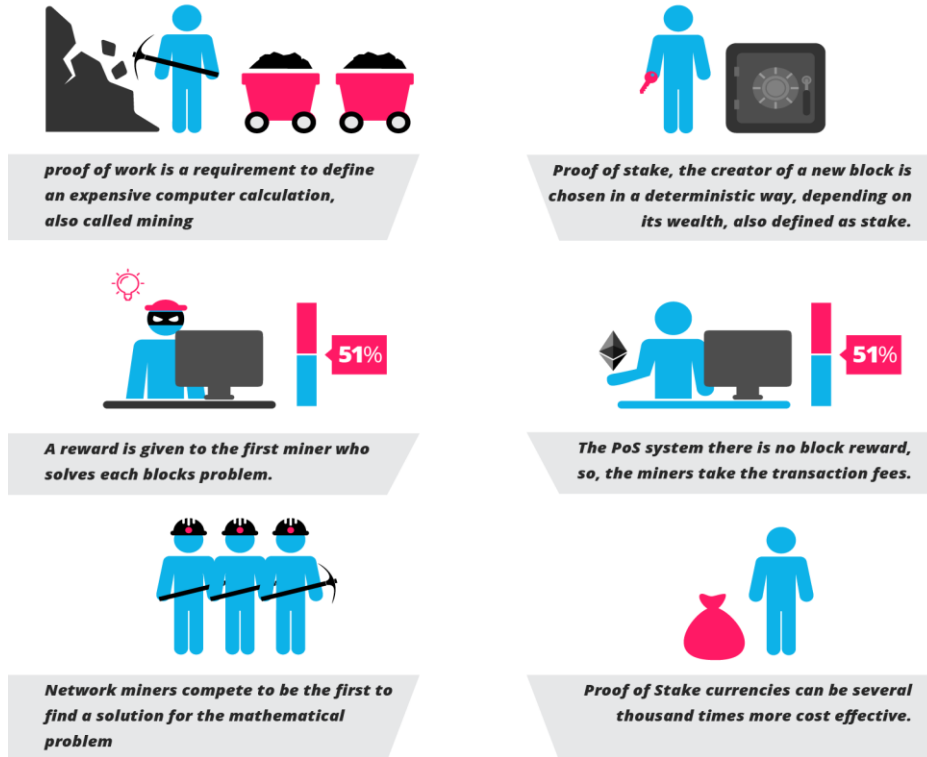
5.2.3.2 Σύστημα Απόδειξης Συμμετοχής-Proof of Stake

Σε ένα Σύστημα Απόδειξης Συμμετοχής, Proof of Stake, ο δημιουργός του κάθε επόμενου Block καθορίζεται από ένα τυχαίο σύστημα το οποίο, εν μέρει, υπαγορεύεται από το ποσό του κρυπτονομίσματος που διαθέτει ένας χρήστης ή από τη διάρκεια που ο χρήστης έχει στη διάθεση του το ποσό αυτό. Η πιθανότητα δημιουργίας ενός Block και της λήψης των σχετικών ανταμοιβών είναι, επομένως, ανάλογη με την κατοχή του υποκείμενου ποσού κρυπτονομίσματος του χρήστη στο δίκτυο. Η τυχαιοποίηση του συστήματος, για την ανάδειξη του δημιουργού του κάθε επόμενου Block, εμποδίζει την συγκέντρωση, διαφορετικά το πλουσιότερο άτομο στο σύστημα θα δημιουργούσε πάντα το επόμενο Block και θα αύξανε συνεχώς τον πλούτο του και ως αποτέλεσμα θα είχε τη δυνατότητα να πάρει τον έλεγχο του συστήματος. Ουσιαστικά, οι χρήστες με το μεγαλύτερο μερίδιο σε κρυπτογράφηση έχουν το μεγαλύτερο συμφέρον να διατηρούν και να εξασφαλίζουν το δίκτυο, διότι οποιεσδήποτε επιθέσεις θα μειώσουν τη φήμη και την τιμή του κρυπτονομίσματος που κατέχουν. Το κύριο πλεονέκτημα του PoS είναι ότι χρησιμοποιεί πολύ λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, από το PoW και συνεπώς είναι πιο οικονομικό.⁸⁰

⁷⁹ (Proof Of Work: A Brief History & Overview Of Proof Of Work Systems, 2018)

⁸⁰ (Proof of Stake, 2019)

Proof of Work vs Proof of Stake



Σχήμα 5-2: PoW και PoS πρωτόκολλα συναίνεσης⁸¹

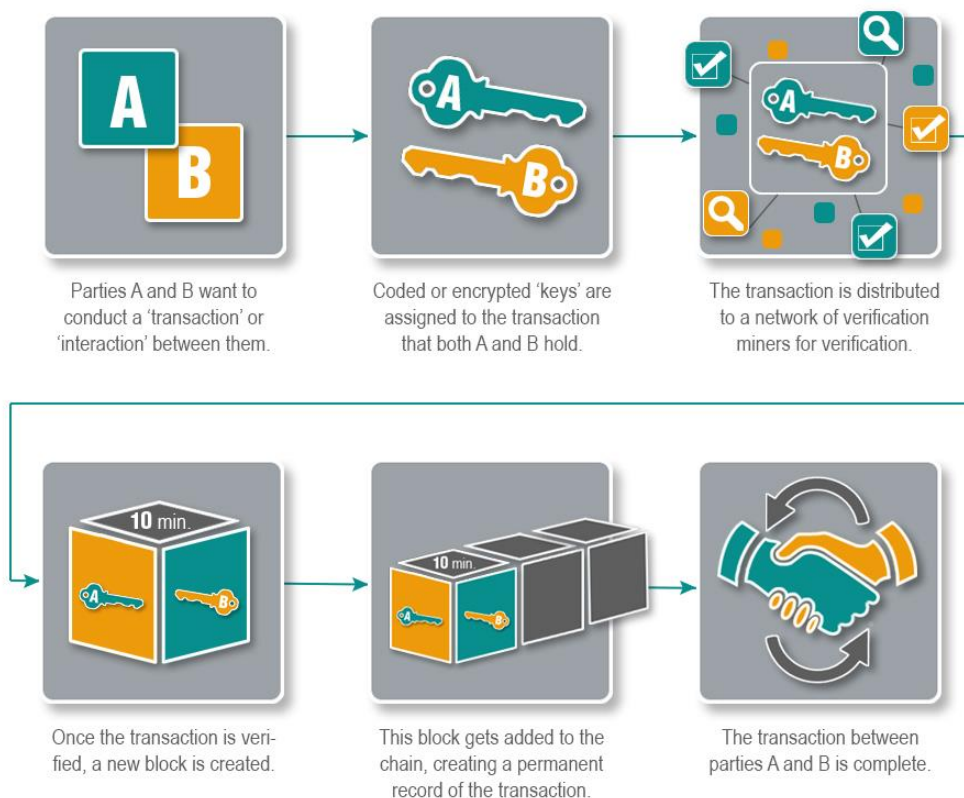
5.2.4 Αρχιτεκτονική Blockchain

Για να δημιουργηθεί ένα σύστημα Blockchain, πρέπει πρώτα να σχηματιστεί ένα P2P δίκτυο, με μέλη όλους τους κόμβους που πρόκειται να το χρησιμοποιήσουν. Κάθε κόμβος του δικτύου λαμβάνει ένα δημόσιο κλειδί, το οποίο χρησιμοποιείται από τους άλλους χρήστες για την κρυπτογράφηση των μηνυμάτων που αποστέλλονται στο συγκεκριμένο κόμβο και ένα ιδιωτικό κλειδί, το οποίο επιτρέπει στον κόμβο την αποκρυπτογράφηση του μηνύματος. Στην πράξη, το ιδιωτικό κλειδί χρησιμοποιείται για να υπογράφονται οι συναλλαγές μέσω Blockchain, ενώ το δημόσιο κλειδί λειτουργεί σαν μια μοναδική διεύθυνση και γι' αυτό το λόγο, μόνο ο χρήστης με το κατάλληλο ιδιωτικό κλειδί είναι σε θέση να αποκρυπτογραφήσει τα κρυπτογραφημένα μηνύματα του αντίστοιχου δημοσίου κλειδιού. Όταν ένας κόμβος πραγματοποιεί μια συναλλαγή, την υπογράφει και μετά μεταδίδει την κίνηση του στους υπόλοιπους εμπλεκόμενους κόμβους. Σε αυτό το σημείο γίνεται ο έλεγχος της ταυτότητας της συναλλαγής μέσω της μοναδικότητας της ψηφιακής υπογραφής, η οποία εγγυάται την ακεραιότητα της συναλλαγής. Όταν ληφθεί η υπογεγραμμένη συναλλαγή, οι κόμβοι επιβεβαιώνουν την εγκυρότητα της διαδικασίας πριν την αναμεταδώσουν σε άλλους κόμβους, συμβάλλοντας έτσι στην εξάπλωσή της στο δίκτυο. Οι συναλλαγές που διαδίδονται

⁸¹ (Proof of Work vs Proof of Stake: Basic Mining Guide)

με αυτόν τον τρόπο οργανώνονται και δημιουργούν σε ένα Block με σήμανση χρόνου, μαζί με ειδικούς κόμβους που ονομάζονται miners και οι οποίοι επιλέγονται σύμφωνα με τον κατάλληλο αλγόριθμο συναίνεσης. Το Block που σχηματίζεται, μεταδίδεται ξανά πίσω στο δίκτυο και οι κόμβοι του Blockchain επαληθεύουν ότι το Block εκπομπής περιέχει έγκυρες συναλλαγές. Παράλληλα αναφέρεται το προηγούμενο Block της αλυσίδας χρησιμοποιώντας το αντίστοιχο hash και το νέο Block προστίθεται τελικά στην αλυσίδα, ενημερώνοντας τη συναλλαγή. Εάν δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις εγκυρότητας, το Block απορρίπτεται.⁸²

How a blockchain transaction works



Σχήμα 5-3: Πώς λειτουργεί ένα σύστημα Blockchain

5.3 Κατηγορίες Blockchain

5.3.1 Δημόσιο (Public) Blockchain

Οποιοσδήποτε επαρκώς ικανός υπολογιστής μπορεί να ενταχθεί σε ένα δημόσιο σύστημα Blockchain, να το χρησιμοποιήσει επί ίσοις όροις, όπως όλοι οι άλλοι συμμετέχοντες, να ξεκινήσει την εκτέλεση ενός δημόσιου κόμβου και στη συνέχεια να το αφήσει κατά βούληση. Παράλληλα, οποιοσδήποτε μπορεί να δει τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται στο συγκεκριμένο δίκτυο, καθώς χαρακτηρίζονται από διαφάνεια και ανωνυμία. Επιπλέον,

⁸² (FERNÁNDEZ-CARAMÉS, 2018)

παρέχεται ένας μηχανισμός παροχής κινήτρων για τη συμμετοχή στο δίκτυο, προκειμένου να ενθαρρυνθούν περισσότεροι χρήστες στο να συμμετέχουν. Ο βαθμός, ωστόσο, που μπορεί κάθε χρήστης να έχει επιρροή στη διαδικασία είναι ανάλογη με την ποσότητα των οικονομικών πόρων που φέρει.⁸³ Το σύστημα Bitcoin είναι, μέχρι στιγμής, το πιο διάσημο παράδειγμα ενός τέτοιου συστήματος. Κάθε υπολογιστής με πρόσβαση στο Διαδίκτυο μπορεί να ενταχθεί στο παγκόσμιο δίκτυο, είτε ως πελάτης είτε ως επικυρωμένος κόμβος, και στη συνέχεια να ανταλλάσσει ψηφιακά στοιχεία με τη μορφή Bitcoins. Στο Bitcoin και σε παρόμοια συστήματα, η ταυτότητα δημιουργείται χρησιμοποιώντας κρυπτογραφία δημόσιου κλειδιού. Οι συμμετέχοντες στο δίκτυο είναι πρακτικά ανώνυμοι, εκτός αν το δημόσιο κλειδί τους μπορεί να συνδεθεί με κάποια ταυτότητα εκτός του συστήματος. Ένα δημόσιο σύστημα που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το Ethereum, ένα έξυπνο συμβόλαιο blockchain, στο οποίο ο καθένας μπορεί να δημιουργήσει τη δική του εφαρμογή που τροφοδοτείται από το “Ether”, το κρυπτονόμισμα του Ethereum. Χρησιμοποιεί τις έξυπνες συμβάσεις για να επιτρέψει την παρακολούθηση αποδείξεων και την ανίχνευση αντιγράφων των αποδεικτικών στοιχείων, έτσι ώστε μόνο εξουσιοδοτημένα αντίγραφα να έχουν τη δυνατότητα να εγγραφούν στην αλυσίδα του Blockchain. Δεδομένου ότι το Blockchain δημιουργεί μια μόνιμη καταγραφή της αλυσίδας, λόγω των αποδεικτικών στοιχείων που διατηρούνται ψηφιακά, κανένα στοιχείο δεν απορρίπτεται.⁸⁴ Το δημόσιο δίκτυο Blockchain, τείνει να θεωρείται ασφαλέστερο από τους υπόλοιπους τύπους, λόγω του αποκεντρωμένου ελέγχου, της ανωνυμίας των συμμετεχόντων και του ανοιχτού χαρακτήρα του. Είναι, τέλος, ένα μοντέλο Blockchain χωρίς κόστος υποδομής και ελάχιστο κόστος δημιουργίας και λειτουργίας αποκεντρωμένων εφαρμογών.

5.3.2 Ιδιωτικό (Fully Private) Blockchain

Σε αυτό το μοντέλο Blockchain οι συμμετέχοντες έχουν είτε δημόσια πρόσβαση ανάγνωσης είτε περιορισμένη σε αυθαίρετο βαθμό, αλλά τα δικαιώματα εγγραφής κρατούνται συγκεντρωτικά σε έναν οργανισμό. Αυτός ο τύπος Blockchain ταιριάζει στις ανάγκες κάθε οργανισμού που θέλει να αποφύγει τους μεσάζοντες για νομικά και εμπορικά θέματα και να διατηρήσει μια “εσωτερική” υποδομή Blockchain, για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων, τον έλεγχο και την προστασία προσωπικών δεδομένων. Οι κόμβοι του συγκεκριμένου δικτύου θεωρείται ότι είναι πολύ καλά συνδεδεμένοι μεταξύ τους και ότι οι βλάβες διορθώνονται με ανθρώπινη παρέμβαση, μέσω αλγορίθμων συναίνεσης. Τα ιδιωτικά Blockchains δέχονται αντιφατικές απόψεις. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές απόψεις σχετικά με την εγκυρότητα των ιδιωτικών μπλοκ αλυσίδων και αν είναι τόσο καλές όσο οι δημόσιες. Οι ιδιωτικές μπλοκ αλυσίδες μπορούν πραγματικά να αποδειχθούν επωφελείς για πολλές βιομηχανίες όπως οι τράπεζες, οι supply chain οργανισμοί κλπ. Από ορισμένους θεωρείται ότι το ιδιωτικό δίκτυο Blockchain παρουσιάζει μεγάλες δυνατότητες και ότι είναι ένα μεγάλο πρώτο βήμα προς ένα πιο κρυπτογραφικό μέλλον, ενώ άλλοι το χαρακτηρίζουν ως μια δυσκίνητη βάση δεδομένων. Ένα άλλο πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό που καθιστά τα ιδιωτικά Blockchains πιο κατάλληλα για τις αλυσίδες εφοδιασμού είναι ότι παρέχει προστασία της ιδιωτικής ζωής.⁸⁵

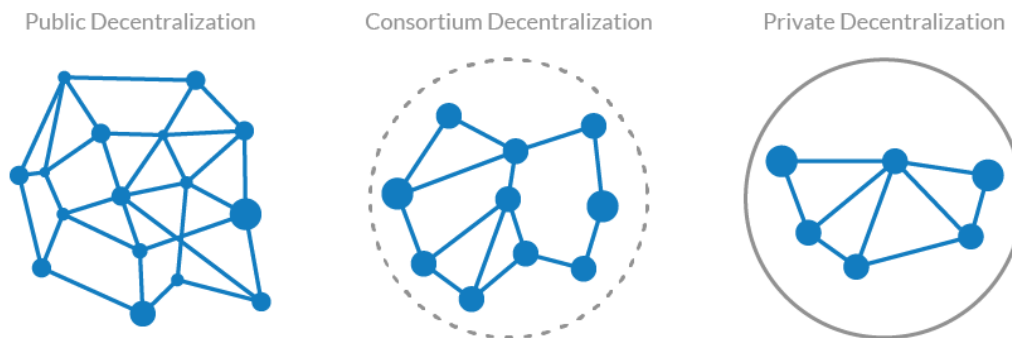
⁸³ (Palm, 2017)

⁸⁴ (Svenblad, 2018)

⁸⁵ (Φραγκούλης, 2018)

5.3.3 Ομοσπονδιακό (Federated-Consortium) Blockchain

Είναι επίσης γνωστό ως ιδιόκτητο Blockchain με άδεια και αποτελεί έναν τύπο ιδιωτικού Blockchain που δεν ελέγχεται από έναν μόνο κόμβο αλλά από πολλούς προκαθορισμένους κόμβους. Τα ομοσπονδιακά Blockchain λειτουργούν υπό την ηγεσία μιας ομάδας. Σε αντίθεση με τα δημόσια δίκτυα Blockchain, δεν επιτρέπουν σε κανένα άτομο με πρόσβαση στο δίκτυο, να συμμετέχει στη διαδικασία επαλήθευσης των συναλλαγών. Το συγκεκριμένο είδος Blockchain είναι ταχύτερο, εξουσιοδοτημένο, παρέχουν περισσότερη ιδιωτικότητα στις συναλλαγές και θεωρείται μερικώς αποκεντρωμένο. Η διαδικασία συναίνεσης στα ομοσπονδιακά Blockchain διαφέρει από αυτή των δημοσίων ομάδων. Εδώ, η συναίνεση ελέγχεται από ένα προεπιλεγμένο σύνολο κόμβων. Για παράδειγμα, σε μια κοινοπραξία 15 οικονομικών ιδρυμάτων, κάθε ένα από τα οποία λειτουργεί έναν κόμβο, τα 10 πρέπει να υπογράφουν κάθε μπλοκ, έτσι ώστε να είναι έγκυρη η επικύρωση. Το δικαίωμα ανάγνωσης μπορεί να είναι δημόσιο ή περιορισμένο στους συμμετέχοντες.⁸⁶ Ωστόσο, ορισμένοι υποστηρίζουν ότι ένα τέτοιο σύστημα δεν μπορεί να οριστεί ως Blockchain, καθώς η τεχνολογία βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και δεν είναι σαφές πώς η συγκεκριμένη τεχνολογία θα μπορέσει να υιοθετηθεί και να αποτελέσει αποδοτική.



Σχήμα 5-4: Κατηγορίες δικτύων Blockchain ⁸⁷

5.4 Κύριες Πλατφόρμες Blockchain

Στη συνέχεια παρέχεται μια σύντομη ανάλυση των κύριων πλατφορμών Blockchain τεχνολογίας και των αξιοσημείωτων διαφορών μεταξύ τους, έτσι ώστε να δοθούν τα βασικά στοιχεία για τη λήψη μιας ολοκληρωμένης και εμπειριστατωμένης απόφασης μεταξύ τους.

⁸⁶ (Svenblad, 2018)

⁸⁷ (Types of Blockchain: Public, Private, and Consortium, 2018)

5.4.1 Hyperledger Project

Το Πρόγραμμα Hyperledger είναι μια πρωτοβουλία της Linux Foundation για την ανάπτυξη ενός συστήματος ανοιχτού κώδικα Blockchain. Η Linux Foundation στοχεύει στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος, στο οποίο οι κοινότητες προγραμματιστών λογισμικού και οι εταιρείες συναντιούνται και συντονίζονται για την οικοδόμηση πλατφόρμας Blockchain. Το πρόγραμμα Hyperledger είναι μια ανοικτή βάση για εφαρμογές επιχειρήσεων τεχνολογίας Blockchain. Το Hyperledger Fabric είναι μια εφαρμογή που εκτελείται επί του παρόντος στο πλαίσιο του έργου Hyperledger Project. Είναι ουσιαστικά μια πλατφόρμα για την εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων, αξιοποιώντας ήδη υπάρχουσες και έγκυρες τεχνολογίες.⁸⁸ Το ιδιωτικό απόρρητο των συναλλαγών μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο μπορεί να ανακτηθεί χρησιμοποιώντας ένα μηχανισμό απομόνωσης που είναι γνωστός ως κανάλι. Το κανάλι εξασφαλίζει ότι η συναλλαγή και τα δεδομένα είναι διαθέσιμα μόνο στους κόμβους που είναι μέλη του καναλιού. Σύμφωνα με την επίσημη τεκμηρίωση του Hyperledger Fabric, μια συναλλαγή είναι ένα αίτημα που υποβάλλεται για επικύρωση και αρχικοποιεί τη δημιουργία ενός αλυσιδωτού κώδικα σε ένα συγκεκριμένο κανάλι. Οι περαιτέρω βελτιώσεις του πρόκειται να επιφέρουν βελτιστοποιημένες επιδόσεις με διερεύνηση σημείων αναφοράς, επεκτασιμότητα, εγγυήσεις συνέπειας, εγγυήσεις ανθεκτικότητας μέσω διαφορετικών πρωτοκόλλων συναίνεσης και τέλος προστασία ιδιωτικότητας και εμπιστευτικότητα συναλλαγών. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την επικύρωση των συναλλαγών και τη δημιουργία Blocks στο Hyperledger Fabric είναι ο “Practical Byzantine Fault Tolerance” (PBFT).⁸⁹ Η «Πρακτική Βυζαντινής Αντοχής Σφάλματος» είναι ένας αλγόριθμος που αποτέλεσε την πρώτη πρακτική λύση απέναντι στο πρόβλημα των «Βυζαντινών Στρατηγών», η οποία έγινε αποδεκτή από όλους. Περιληπτικά, το πρόβλημα συνοψίζεται: Μια ομάδα στρατηγών πολιορκεί μια εχθρική πόλη, με βάση ένα κοινό σχέδιο μάχης. Επικοινωνούν μεταξύ τους με αγγελιαφόρους, που αν συλληφθούν από τον εχθρό, η επικοινωνία θα διακοπεί. Επίσης, στην περίπτωση που κάποιος στρατηγός θεωρηθεί ότι διαπράττει προδοσία, το σχέδιο μάχης είναι αδύνατο να εκτελεσθεί. Ο αλγόριθμος PBFT, επομένως, αποτελεί τη λύση για την επίτευξη του σχεδίου, αντιμετωπίζοντας τα εμπόδια και τα σφάλματα που είναι πιθανό να προκύψουν και είναι ένας αλγόριθμος συναίνεσης που μπορεί να χειριστεί μέχρι και το 1/3 των κακόβουλων ενεργειών. Ένα νέο Block καθορίζεται σε ένα γύρο και σε κάθε επόμενο γύρο επιλέγεται ένα πρωτεύον Block σύμφωνα με ορισμένους κανόνες, που είναι υπεύθυνο για τη συναλλαγή. Η όλη διαδικασία χωρίζεται σε τρεις φάσεις, την «Προ-προετοιμασία», την «Προετοιμασία» και τη «Δεσμευτική Συμφωνία». Ένας κόμβος έχει τη δυνατότητα να εισέλθει στην επόμενη φάση αν έχει λάβει ψήφους πάνω από τα 2/3 όλων των κόμβων, ενώ αν οι ψήφοι του είναι λιγότεροι, εκλέγεται ένας καινούριος κόμβος. Η διαδικασία ολοκληρώνεται μετά το πέρας και των τριών φάσεων.⁹⁰

5.4.2 Ethereum

Είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα σε δημόσιο σύστημα Blockchain, που δεν ελέγχεται από κάποια κεντρική αρχή και κατασκευάστηκε από πολλούς ανθρώπους σε όλο τον κόσμο.

⁸⁸ (Cachin, 2016)

⁸⁹ (Nasir, 2018)

⁹⁰ (Zheng, 2018)

Ουσιαστικά, το Ethereum είναι ένα προγραμματιζόμενο Blockchain, που αντί να δίνει στους χρήστες ένα σύνολο προκαθορισμένων λειτουργιών (π.χ. Bitcoin), επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν τις δικές τους λειτουργίες οι οποίες ποικίλουν σε βαθμό δυσκολίας. Με τον τρόπο αυτό, χρησιμεύει ως πλατφόρμα για πολλούς διαφορετικούς τύπους αποκεντρωμένων εφαρμογών Blockchain, συμπεριλαμβανομένων, μεταξύ άλλων, των κρυπτονομισμάτων.⁹¹ Το πρωτόκολλο Ethereum θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλούστερο, έτσι ώστε ένας μέσος προγραμματιστής ιδανικά να είναι σε θέση να ακολουθήσει, να εφαρμόσει ολόκληρη την προδιαγραφή και να κατανοήσει πλήρως το πρωτοφανές δυναμικό του Ethereum. Οποιαδήποτε βελτιστοποίηση που προσθέτει πολυπλοκότητα δεν πρέπει να συμπεριλαμβάνεται εκτός αν η βελτιστοποίηση αυτή προσφέρει πολύ σημαντικό όφελος. Ένας χρήστης του Ethereum μπορεί, επομένως, να δημιουργήσει έξυπνες συμβάσεις (smart contracts), χρησιμοποιώντας το νόμισμα της Ether και να τις ανεβάσει στο Ethereum Blockchain με μικρή χρέωση. Ένα Ether ισούται με 1018 Wei. Οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το νόμισμα του Ethereum για τη μετατροπή του φυσικού, κανονικού χρήματος σε Ether και η ανταλλακτική αξία ενός Ether σήμερα (Φεβρουάριος 2020) είναι ίση με 244.46\$. Οι υπόλοιποι χρήστες του Ethereum έχουν πρόσβαση σε αυτές τις συμβάσεις μέσω της εφαρμογής Ethereum Application Program Interface (API). Οι συμβάσεις μπορούν να αποθηκεύουν δεδομένα, να αποστέλλουν συναλλαγές και αλληλεπιδρούν με άλλες συμβάσεις. Μόλις φορτωθούν οι συμβάσεις στο Blockchain, αποθηκεύονται, εκτελούνται και ερμηνεύονται από την Ethereum Virtual Machine (EVM).⁹² Η εικονική αυτή μηχανή είναι μια άλλη βασική τεχνολογία του Ethereum, που στοχεύει στην εκτέλεση κώδικα αλγοριθμικής πολυπλοκότητας. Οι αποκεντρωμένες εφαρμογές μπορούν να προγραμματιστούν με μια ενσωματωμένη γλώσσα προγραμματισμού Turing, που ονομάζεται Solidity. Ένα πλεονέκτημα της γλώσσας αυτής είναι η ικανότητα της να έχει βρόχους, οι οποίοι συμβάλλουν στην εκτέλεση πολλαπλών απαιτούμενων λειτουργιών, χωρίς τη δημιουργία πολλών γραμμών κώδικα. Για να γίνει πιο αποτελεσματική η εκτέλεση, ο κώδικας που γράφεται σε Solidity καταρτίζεται σε ένα αλφαριθμητικό bytecode και στη συνέχεια εκτελείται από τους κόμβους που συμμετέχουν στο Blockchain. Το EVM θεωρείται ως μία από τις βασικές καινοτομίες στον κόσμο των κρυπτονομισμάτων – σαν ένα λογισμικό που είναι συμβατό με πολλές γλώσσες προγραμματισμού και που επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκτελούν την εφαρμογή σε μια ενιαία πλατφόρμα αντί να δημιουργήσουμε αρκετές ξεχωριστές αλυσίδες με Blocks.⁹³ Τέλος, το Ethereum περιέχει ένα αντίγραφο τόσο της προηγούμενης λίστας συναλλαγών όσο και της πιο πρόσφατης κατάστασης. Εκτός αυτού, αποθηκεύονται επίσης στο Block δύο άλλες τιμές, ο αριθμός Block και η τιμή “nonce”. Ο βασικός αλγόριθμος για την επικύρωση ενός νέου Block στο Ethereum, ακολουθεί την εξής διαδικασία: Ελέγχεται αρχικά αν υπάρχει το προηγούμενο Block και ότι είναι έγκυρο και στη συνέχεια αν η χρονική σήμανση του Block είναι μεγαλύτερη από εκείνη του προηγούμενου και σε λιγότερο από 15 λεπτά μετά. Ελέγχεται ακόμα ότι ο αριθμός Block, το “nonce” και άλλες έννοιες που αφορούν στο περιεχόμενο του Ethereum, όπως το “Proof of Work” είναι έγκυρες.⁹⁴ Ο Satoshi Nakamoto μπόρεσε να παρακάμψει το πρόβλημα των “Βυζαντινών Στρατηγών», που προαναφέρθηκε, εφευρίσκοντας την Απόδειξη του Πρωτοκόλλου Εργασίας (“Proof of Work-PoW”).

⁹¹ (Στεφάνου, 2018)

⁹² (Thakur, 2017)

⁹³ (Zmaznev, 2017)

⁹⁴ (Bagchi, 2017)

Πίνακας 5-1: Κύρια χαρακτηριστικά των Ethereum, Hyperledger Fabric

Characteristics	Hyperledger Fabric	Ethereum
Type	Private	Public
Governance	Linux Foundation	Ethereum Developers
Audience	Consortium of Companies	Everyone
Consensus	PBFT	PoW
Smart Contract Code	Golang	Solidity
Currency	None	Ether

5.5 Πότε χρησιμοποιείται ένα Σύστημα Blockchain

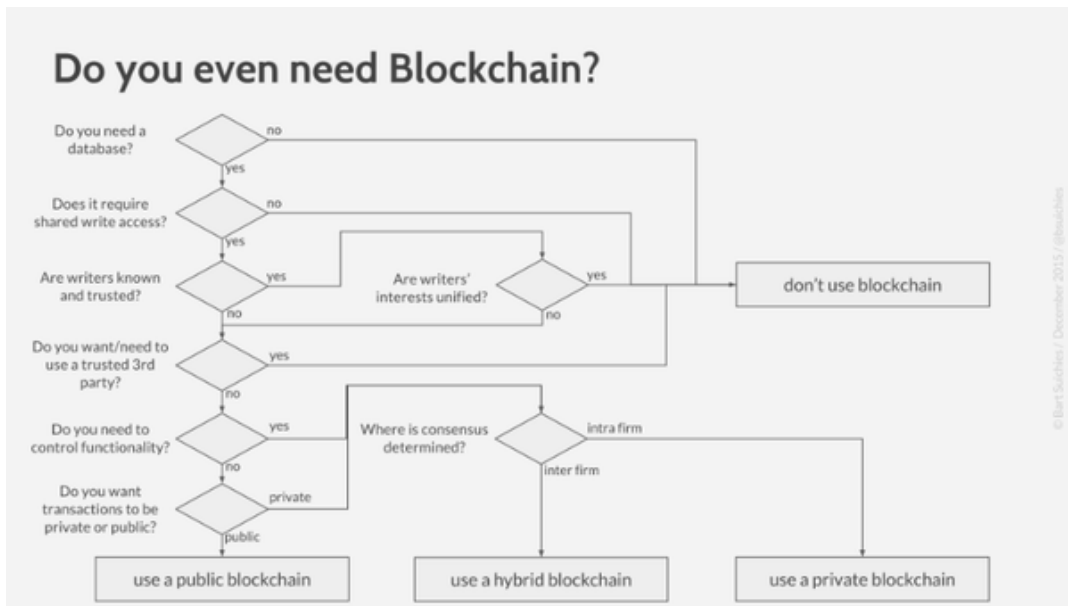
Το δίκτυο Blockchain δεν αποτελεί πάντα τη σωστότερη επιλογή για κάθε “IoT” εφαρμογή και απευθύνεται κυρίως σε επιχειρηματικές εφαρμογές όπου ισχύουν μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Υπάρχουν πολλά εμπλεκόμενα ισότιμα μέρη ή συγγραφείς (P2P) σε μια κοινή βάση δεδομένων, με κοινή πρόσβαση εγγραφής και ενιαία συστήματα που διέπουν τους συμμετέχοντες.
- Τα μέρη που εμπλέκονται στη διαδικασία έχουν αντικρουόμενα κίνητρα ή δεν έχουν εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων.
- Η σταθερότητα του δικτύου, η εξάλειψη εσωτερικών μεταβολών και η διασφάλιση ότι οι φορείς του οικοσυστήματος δεν μπορούν να αλλάξουν το ιστορικό των συναλλαγών είναι αναγκαία.
- Δεν υπάρχει εμπιστοσύνη σε τρίτους φορείς, όπως σε τράπεζες και κυβερνητικούς οργανισμούς και επομένως υπάρχει ανάγκη για ένα αποκεντρωμένο σύστημα, χωρίς της ύπαρξη μιας οργανωτικής κυρίαρχης Αρχής.
- Η κρυπτογραφία χρησιμοποιείται επί του παρόντος ή πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η κρυπτογραφία διευκολύνει την εμπιστευτικότητα των δεδομένων, την ακεραιότητα των δεδομένων και την εξακρίβωση της γνησιότητας.
- Η λήψη αποφάσεων των μερών είναι διαφανής και όχι εμπιστευτική και υπάρχει ανάγκη για μια αντικειμενική, αμετάβλητη συναλλαγή με ιστορικό γεγονότων.^{95 96}

Πιο αναλυτικά, ακολουθεί ένα σχεδιάγραμμα για την επιλογή ή όχι του κατάλληλου συστήματος Blockchain:

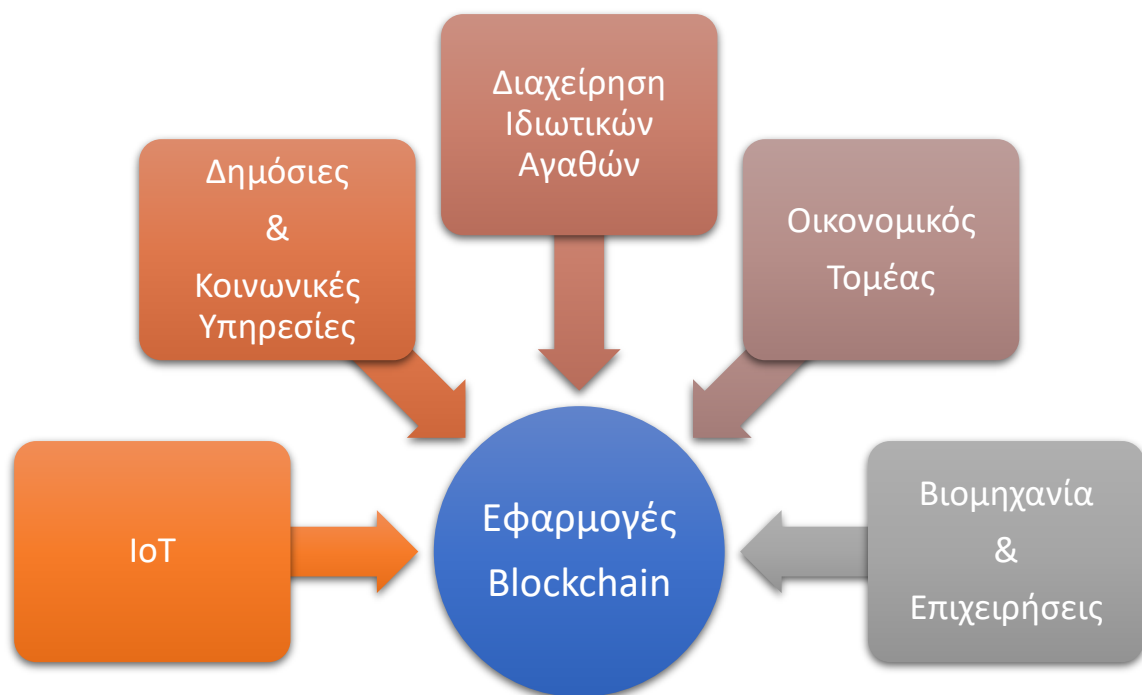
⁹⁵ (Hyperledger — Chapter 3 | When to use the Blockchain Technology, 2018)

⁹⁶ (Menon, 2018)



Σχήμα 5-5: Είναι αναγκαία η χρήση Blockchain τεχνολογίας?⁹⁷

5.6 Εφαρμογές της Τεχνολογίας Blockchain



Σχήμα 5-6: Τομείς εφαρμογής της Blockchain τεχνολογίας

Η τεχνολογία Blockchain βρίσκει εφαρμογή σε περιπτώσεις που χρειάζεται να αποθηκευτούν δεδομένα γενικής φύσεως σε μια κεντρική βάση δεδομένων, για την οποία ισχύει ότι ήδη καταγεγραμμένες πληροφορίες δεν μπορούν να τροποποιηθούν, ενώ επιτρέπεται η προσάρτηση νέων δεδομένων στα οποία καταγράφεται η χρονική στιγμή δημιουργίας τους.

⁹⁷ (Burton, 2018)

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη τεχνολογία και έχει δημιουργηθεί μια ποικιλία εφαρμογών που βασίζονται σε αυτήν. Σε αυτή την ενότητα, συνοψίζονται τυπικές εφαρμογές της σε διάφορους τομείς.

5.6.1 Οικονομικός Τομέας

Οι χρηματοοικονομικοί οργανισμοί ήταν από τους πρώτους που έδειξαν ενδιαφέρον για την τεχνολογία Blockchain. Η εμφάνιση του Bitcoin ως καινοτόμος τρόπος για τη διακίνηση του ψηφιακού χρήματος, προκάλεσε εξαρχής το ενδιαφέρον για εφαρμογές στον χρηματοοικονομικό τομέα, που βρίσκεται σε συνεχή αναζήτηση επιτυχημένων καινοτόμων συστημάτων. Το αυξημένο ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη τεχνολογία υπόκειται στο γεγονός ότι προσφέρει ένα αξιόπιστο και οργανωμένο δίκτυο μεταξύ του υψηλού αριθμού συμμετεχόντων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση χρηματοοικονομικών συναλλαγών, όπως για παράδειγμα, για την επεξεργασία μιας απλής συναλλαγής με πιστωτική κάρτα, για την οποία απαιτούνται τουλάχιστον πέντε μεσάζοντες. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain στο χρηματοοικονομικό τομέα είναι γνωστή ως Fintech (Financial Technology) και αφορά τις καθημερινές συναλλαγές με υπηρεσίες του δημοσίου, τράπεζες και άλλους χρηματοοικονομικούς οργανισμούς. Ενδεικτικά, δίνονται παραδείγματα εφαρμογής της Fintech:

- **Εμπορικές συναλλαγές:** Η διακίνηση των αγαθών μεταξύ διαφορετικών χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο, απαιτεί μια σειρά από διαδικασίες, όπως οι εκτελωνισμοί και οι μεταφορές. Σε αυτές τις υπηρεσίες απαιτείται διαφάνεια για την αποφυγή, αλλά και την επίλυση των διαφορών που πιθανό να προκύψουν στις συναλλαγές. Έτσι, μεγάλες πολυεθνικές εταιρείες, οι οποίες δραστηριοποιούνται παγκοσμίως, δημιουργούν καταμεμημένα, Blockchain-based, λογιστικά βιβλία για την παρακολούθηση των οικονομικών συναλλαγών με τους συνεργάτες τους ή την παρακολούθηση της διακίνησης των αγαθών μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, αποκεντρωμένου τύπου, συστήματα POS επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να δέχονται και να επεξεργάζονται τα κρυπτονομίσματα ως πληρωμή. Αυτό εξαλείφει την εξάρτησή τους από τα δαπανηρά προγράμματα εμπορικών υπηρεσιών και τις αμοιβές συναλλαγών πιστωτικών καρτών.⁹⁸

- **Τραπεζικές και Χρηματιστηριακές συναλλαγές:** Η μεταφορά κεφαλαίων υπήρξε πάντα μια γνωστή αργή και δαπανηρή διαδικασία στο πλαίσιο του κεντρικού τραπεζικού συστήματος. Με τη χρήση Cross-Border συναλλαγών, για την επαλήθευση συναλλαγών, εκατομμύρια μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία σε διάφορες ζώνες ώρας σε δευτερόλεπτα. Ταυτόχρονα, αντί να χρησιμοποιούνται παραδοσιακά ομόλογα, οι επενδυτές μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα Smart Bonds. Τα Smart Bonds είναι αυτοματοποιημένες συμβάσεις ομολόγων που χρησιμοποιούν την τεχνολογία Blockchain για την αυτοματοποίηση των υπηρεσιών μητρώου ομολόγων. Όσον αφορά τη δανειοδότηση και το δανεισμό, η χρήση της τεχνολογίας Blockchain απαλλάσσει από την ανησυχία της μη αποπληρωμής, αφού προσφέρει ασφάλεια και εμπιστοσύνη στις συναλλαγές μέσω του κοινοπρακτικού δανεισμού. Η εκκαθάριση και ο διακανονισμός αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες προκλήσεις για την τεχνολογία Blockchain, καθώς υπάρχει αναφερθείσα απώλεια 20 δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως σε σχετικές δαπάνες. Ο τυπικός κύκλος εκκαθάρισης και

⁹⁸ (Πολυτίδου, 2018)

διακανονισμού, που επί του παρόντος είναι εξαιρετικά περίπλοκος και απαιτεί την αντιστοίχιση, τον συμβιβασμό και την επίλυση όλων των αντισυμβαλλομένων στο παγκόσμιο σύστημα συναλλαγών, μπορεί να αυτοματοποιηθεί μέσω της νέας τεχνολογίας. Τέλος, ένα Blockchain δίκτυο είναι ικανό να συνεισφέρει στα αντισταθμιστικά κεφάλαια (hedge funds), που αποτελούνται από μια ομάδα επενδυτών που συνεργάζονται με έναν διαχειριστή κεφαλαίων, για να μεγιστοποιήσουν τις πιθανές αποδόσεις τους και να μετριάσουν τους κινδύνους που συνδέονται με το «παιχνίδι» της χρηματιστηριακής αγοράς. Το εμπόριο αποκεντρωμένων κρυπτονομισμάτων δίνουν στους επενδυτές έναν καλύτερο τρόπο να επενδύσουν χωρίς τον διαχειριστή κεφαλαίων ή μια ενιαία οντότητα υπό έλεγχο. Αυτή η νέα εύρεση αντιστάθμισης κινδύνου προσφέρει στους επενδυτές μια ανοιχτή πλατφόρμα για να προωθήσουν περισσότερους επενδυτές και να ελαχιστοποιήσουν περαιτέρω τον επενδυτικό κίνδυνο (Risk Management).⁹⁹

5.6.2 Διαχείριση Ιδιωτικών Αγαθών

Με τη χρήση της τεχνολογίας αναπτύσσονται εφαρμογές όπου απαιτείται κατοχύρωση ιδιοκτησίας, διατήρηση ιστορικού και πληροφοριών σχετικά με προϊόντα και υπηρεσίες όπως:

- Προστασία πνευματικών δικαιωμάτων

Μουσικοί και άλλοι παραγωγοί πνευματικού περιεχομένου μπορούν, μέσω συστημάτων Blockchain, να βρίσκονται σε άμεση επικοινωνία με το κοινό τους έτσι ώστε να διευκολύνεται η εύρεση, η διάθεση και η δίκαιη αμοιβή των υπηρεσιών τους χωρίς να επιβάλλονται χρεώσεις που αποδίδονται σε τρίτους. Εκτιμάται ότι η τεχνολογία Blockchain αποτελεί λύση στο θέμα της διαφάνειας σε σχέση με τα πνευματικά δικαιώματα, δηλαδή να μπορεί κάποιος να αποδείξει ότι είναι ο πραγματικός δημιουργός ενός διεκδικούμενου και από άλλους περιεχομένου. Επιπλέον, μειώνεται ο κίνδυνος της ηλεκτρονικής πειρατείας, επιτρέποντας τον έλεγχο πάνω στα ψηφιακά αντίγραφα που δημιουργούνται.

- Ιδιοκτησία προσωπικών αγαθών

Ορισμένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η αγορά ακινήτων σήμερα είναι η περιορισμένη πρόσβαση πελατών στην προσφορά ακινήτων, οι χρονοβόρες διαδικασίες για την ολοκλήρωση αγοραπωλησιών, τα λάθη στις καταγραφές τίτλων ιδιοκτησίας, τα υψηλά τέλη αγοραπωλησιών και τα περιστατικά απάτης. Ορισμένες καινοτομίες που αναμένεται να επιφέρει η τεχνολογία Blockchain στο συγκεκριμένο χώρο είναι η τμηματική πώληση/αγορά ιδιοκτησίας. Χρησιμοποιώντας κρυπτονομίσματα καθίσταται τεχνικά δυνατό να «σπάσει» μια ιδιοκτησία σε μερίσματα που αποθηκεύονται σε ένα δίκτυο Blockchain. Με αυτό τον τρόπο οι ιδιοκτήτες έχουν τη δυνατότητα να πουλήσουν ένα μέρος μόνο της ιδιοκτησίας τους. Το εύρος των πιθανών αγοραστών γίνεται μεγαλύτερο και παύουν να υπάρχουν γεωγραφικοί περιορισμοί. Επενδυτές που διαθέτουν μικρότερα κεφάλαια μπορούν να επενδύσουν σε ιδιοκτησίες μεγάλης συνολικής αξίας. Οι πλήρεις πληροφορίες της αγοραπωλησίας βρίσκονται καταγεγραμμένες ψηφιακά και κρυπτογραφημένες έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωστούν μόνο από όσους έχουν δικαίωμα. Με αυτόματο τρόπο όταν ικανοποιηθούν όλοι οι όροι του κάθε συμβολαίου πραγματοποιείται η αλλαγή ιδιοκτησίας

⁹⁹ (Μπισδούνη, 2019)

και η αποπληρωμή. Οι τίτλοι ιδιοκτησίας στην παρούσα φάση διατηρούνται σε υποθηκοφυλακεία ή σε διάφορες διάσπαρτες ηλεκτρονικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα κάθε δήμος έχει το υποθηκοφυλακείο του και τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια έτσι ώστε όλη η σχετική πληροφορία να μεταφερθεί στην εφαρμογή του κτηματολογίου. Ωστόσο, αν όλη η πληροφορία ιδιοκτησιών ήταν αποκεντρωμένη σε δίκτυο Blockchain θα υπήρχε η δυνατότητα να κρατηθεί ιστορικό βλαβών, προσθηκών και μετατροπών σε κάθε ιδιοκτησία έτσι ώστε ο πιθανός αγοραστής να γνωρίζει πλήρως τα στοιχεία της ιδιοκτησίας για την οποία ενδιαφέρεται.¹⁰⁰

5.6.3 Δημόσιες και Κοινωνικές Υπηρεσίες

- Υπηρεσίες υγείας

Οι υπηρεσίες υγείας χρειάζονται έναν αποδοτικότερο και ασφαλέστερο τρόπο διαχείρισης των ιατρικών φακέλων ασθενών καθώς και της διαχείρισης των οικονομικών δεδομένων που δημιουργούνται στην πορεία των ασθενών εντός του συστήματος υγείας. Η τρέχουσα κατάσταση σε ότι αφορά τους ιατρικούς φακέλους ασθενών είναι ότι διατηρούνται σε κάποια κεντρική βάση δεδομένων μιας ιατρικής μονάδας. Η πρόσβαση στα δεδομένα των ιατρικών φακέλων μπορεί να γίνει μόνο από το προσωπικό της ιατρικής μονάδας στην οποία έχουν δημιουργηθεί τα δεδομένα εξαρχής. Αυτή η κατάσταση είναι ευάλωτη σε επιθέσεις με στόχο την ασφάλεια των δεδομένων. Η τεχνολογία Blockchain δίνει τη δυνατότητα καταγραφής του πλήρους ιατρικού ιστορικού του κάθε ασθενή, επιτρέποντας τη διάθεση της πληροφορίας σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας όπως αυτά θα ορίζονται από τον ασθενή, τους γιατρούς, τις ρυθμιστικές και ασφαλιστικές αρχές κλπ. Η ύπαρξη των συγκεκριμένων πληροφοριών θα υποχρεώνει τους ασφαλιστικούς φορείς να προσδιορίζουν και να αποδίδουν ταχύτερα τις απαιτούμενες αποζημιώσεις, ενώ αναλυτικό ιστορικό του ασθενή με δοσολογίες φαρμάκων και πλήρη στοιχεία περίθαλψης θα είναι προσβάσιμα στο εξουσιοδοτημένο ιατρικό προσωπικό έτσι ώστε να αποφασίσει την περαιτέρω αγωγή εάν και όταν παρουσιαστεί η σχετική ανάγκη. Παράλληλα, ένα πρόβλημα που καλούνται να αντιμετωπίσουν οι φαρμακευτικές εταιρείες είναι η κυκλοφορία αντιγράφων φαρμάκων που παράγονται και διατίθενται με μη ελεγχόμενους τρόπους θέτοντας σε κίνδυνο τη δημόσια υγεία. Το δίκτυο Blockchain θεωρητικά δίνει τη δυνατότητα να καταγράφεται το πλήρες ιστορικό κάθε συσκευασίας φαρμάκου από την παραγωγή του μέχρι την τελική λιανική του πώληση συμπεριλαμβανομένων όλων των ενδιάμεσων σταθμών από τους οποίους περνά η συσκευασία κατά τη μεταφορά της.¹⁰¹

- Περιβαλλοντικός Τομέας

Μια από τις πρόσφατες και ελπιδοφόρες εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain για την υπεράσπιση του περιβάλλοντος, αποτελεί η χρήση της στο Emission Trading System (ETS). Σύμφωνα με το ETS, μια χώρα με χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορεί να πουλήσει τα δικαιώματα των παραπάνω εκπομπών της σε μια χώρα με υψηλότερες εκπομπές. Με άλλα λόγια, οι εταιρείες που υπερβαίνουν το επιτρεπόμενο επίπεδο εκπομπών τους μπορούν να επιτύχουν τους στόχους τους αγοράζοντας αντισταθμίσεις άνθρακα από άλλες εταιρείες. Σε ένα ιδανικό σενάριο, η αγορά εμπορίας εκπομπών

¹⁰⁰ (Zibin, Shaoan, Hong-Ning, & Wang, 2018)

¹⁰¹ (Μπρατσιάκος, 2018)

διοξειδίου του άνθρακα επιτρέπει την αποδοτικότερη και οικονομικά βέλτιστη μέθοδο ελέγχου των συνολικών εκπομπών και τα αντισταθμιστικά κέρδη είναι πραγματικά, μετρήσιμα και αποδεδειγμένα. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες προκλήσεις με αυτό το μοντέλο όπως εφαρμόζεται σήμερα. Η παρακολούθηση των εκπομπών είναι δύσκολη. Δεν υπάρχει πρότυπο πρωτόκολλο μέτρησης και παρακολούθησης των ρύπων και πολλές φορές προέρχονται από εκτιμήσεις. Η έλλειψη κοινών προτύπων οδηγεί σε σύγχυση και συχνά δημιουργείται ζήτημα με τη "διπλή μέτρηση" των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, όπου πολλαπλές οντότητες αξιώνουν την ίδια, ενιαία πίστωση.¹⁰² Παράλληλα, η αξιοπιστία του ETS της ΕΕ αντιμετωπίζει την απειλή από μία σειρά εγκληματικών περιστατικών. Τους πρώτους τρεις μήνες του 2011, κλάπηκαν περίπου 50 εκατομμύρια ευρώ από δικαιώματα, από τα μητρώα της Ανατολικής Ευρώπης. Ακόμα, υπάρχει έλλειψη διαφάνειας, καθώς οι καταναλωτές δεν έχουν άμεση πρόσβαση για να εξετάσουν την δράση των εταιρειών που συμμετέχουν στο ETS. Τέλος, υπάρχουν πολλοί μεσάζοντες που εμπλέκονται στην εμπορία άνθρακα και αυτό το γεγονός αποτελεί σαφή ένδειξη της πολυπλοκότητας του συστήματος και του, πιθανώς, άσκοπου υψηλού κόστους των συναλλαγών.¹⁰³ Η τεχνολογία Blockchain, επομένως, βοηθά στην αντιμετώπιση αρκετών αδυναμιών του Emission Trading System της ΕΕ. Το ETS υποστηρίζεται από τη νέα αυτή τεχνολογία, η οποία έχει την δυνατότητα να του παρέχει ένα αμετάβλητο και διαφανές αρχείο αδειών. Ένα αμετάβλητο αρχείο πιστώσεων αγορών και πωλήσεων, εμποδίζει τις εταιρείες και τις κυβερνήσεις να εθελουφλούν, σε περίπτωση που οι πιστώσεις άνθρακα δωροδοκούνται ή πωλούνται παράνομα. Ένα επιπλέον όφελος από τη χρήση ενός συστήματος Blockchain είναι η διαφάνεια που παρέχει, καθώς όταν όλες οι πληροφορίες είναι προσιτές για έλεγχο, οι συμμετέχοντες ενθαρρύνονται να ενεργούν με υπεύθυνο τρόπο. Η τεχνολογία Blockchain παρέχει αυτή τη διαφάνεια διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία της πληροφορίας και το επίπεδο προστασίας της ιδιωτικής ζωής των συμμετεχόντων στο ETS. Οι αξιόπιστες πληροφορίες προωθούν την παρακολούθηση και επαλήθευση της πιστωτικής πηγής και της ιδιοκτησίας, με αποτέλεσμα το σύστημα να προστατεύεται όχι μόνο από απάτες, αλλά και από άλλα προβλήματα, όπως τα διπλά θέματα μέτρησης που προαναφέρθηκαν.¹⁰⁴

- Εκπαίδευση

Πληροφορίες που αφορούν τις σπουδές μαθητών και φοιτητών από την έναρξή μέχρι και την ολοκλήρωσή τους μπορούν να διατηρούνται μόνιμα σε ένα σύστημα Blockchain. Η συγκεκριμένη τεχνολογία φαίνεται να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει προβλήματα που έχουν να κάνουν με την ασφαλή διακίνηση προσωπικών δεδομένων και την αντιμετώπιση περιστατικών διαρροής δεδομένων που συχνά βλέπουν το φως της δημοσιότητας. Επιπλέον, μπορεί να διασφαλιστεί ότι οι υποψήφιοι εργαζόμενοι έχουν ολοκληρώσει τις σπουδές που ισχυρίζονται και έχουν λάβει τις επιθυμητές πιστοποιήσεις. Ωστόσο, η ιδιωτικότητα και η παροχή πιστοποιητικών δεν είναι οι μοναδικές εφαρμογές του Blockchain. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδεθούν σπουδαστές με καθηγητές και βοηθούς καθηγητών, έτσι ώστε η μεταφορά γνώσεων να γίνεται προσωποποιημένα και αποδοτικότερα. Οι αυξημένες δυνατότητες του Blockchain για αποθήκευση και διαμοιρασμό πληροφορίας το καθιστά ως κατάλληλο για την καταγραφή πληροφοριών που διακινούνται εντός μιας εκπαιδευτικής

¹⁰² (King, 2018)

¹⁰³ (Schiller, 2011)

¹⁰⁴ (Hödl, 2018)

μονάδας, όπως για παράδειγμα το πρόγραμμα μαθημάτων και των αλλαγών που πραγματοποιούνται σε αυτό καθώς εξελίσσονται τα επιστημονικά αντικείμενα.¹⁰⁵

- Διακυβέρνηση

Η υπευθυνότητα, η αυτοματοποίηση και η ασφάλεια που προσφέρει το δίκτυο Blockchain για το χειρισμό δημόσιων αρχείων θα μπορούσε τελικά να εμποδίσει τη διαφθορά και να καταστήσει τις κυβερνητικές υπηρεσίες πιο αποτελεσματικές. Τέτοια συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δημόσιες υπηρεσίες όπως η εγγραφή γάμου, η διαχείριση των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας και τα συστήματα φορολογίας εισοδήματος. Η ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών στην καθημερινή ζωή απαιτεί μηχανισμούς που μπορούν να προσδιορίσουν με ακρίβεια ποιοι είναι οι χρήστες και πιστοποιούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους όπως όνομα, διεύθυνση, πιστωτικό αρχείο, καθώς και άλλα προσωπικά χαρακτηριστικά. Η υλοποίηση της ηλεκτρονικής ψηφοφορίας, ακόμα, παρουσιάζει ορισμένα αισιόδοξα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, θα διασφαλίζεται η ανωνυμία της ψήφου, αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να υπάρχει κάποιος τρόπος επαλήθευσης των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να αποφεύγεται η παραποίηση των αποτελεσμάτων. Από την άλλη μεριά ο τρόπος με τον οποίο διεξάγονται οι ψηφοφορίες σήμερα φαίνεται να βρίσκεται σε αναντιστοιχία με την ψηφιακή εποχή την οποία βιώνουμε. Η χρήση συστημάτων ηλεκτρονικής ψηφοφορίας επιτρέπει τη συμμετοχή στη ψηφοφορία χωρίς να απαιτείται η φυσική παρουσία, την άμεση έκδοση αποτελεσμάτων, την αποφυγή επανάληψης καταμέτρησης κ.α. Η τεχνολογία Blockchain φαίνεται να προσθέτει ορισμένα επιπλέον επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα την αδυναμία αλλαγής της ψήφου από τι στιγμή που εισάγεται στο δίκτυο και μετά.¹⁰⁶

5.6.4 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Ενώ είναι ακόμα στα πρώτα στάδια ανάπτυξης του, το IoT αποτελείται από τεχνολογίες που επιτρέπουν τη συλλογή δεδομένων, την απομακρυσμένη παρακολούθηση και τον έλεγχο των συσκευών που το απαρτίζουν. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, το IoT θα εξελιχθεί σε ένα δίκτυο αυτόνομων συσκευών που μπορούν να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους και να λαμβάνουν έξυπνες αποφάσεις χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση. Η τεχνολογία Blockchain, επομένως, δύναται να αποτελέσει τη βάση που θα υποστηρίξει μια κοινή δράση που βασίζεται στη machine-to-machine (M2M) επικοινωνία. Η Blockchain τεχνολογία είναι ο συνδεδεμένος κρίκος για να διευθετήσει τις ανησυχίες προστασίας της ιδιωτικής ζωής και να διασφαλίσει την αξιοπιστία του IoT. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση δισεκατομμύρια συνδεδεμένων συσκευών, επιτρέποντας την επεξεργασία των συναλλαγών και του συντονισμού μεταξύ των συσκευών. Αυτή η αποκεντρωμένη προσέγγιση δημιουργεί ένα πιο ανθεκτικό σύστημα για συσκευές που θα ενεργούν σε αυτό. Σε ένα δίκτυο IoT, η λογική του Blockchain μπορεί να κρατήσει μια αμετάβλητη καταγραφή της ιστορίας των έξυπνων συσκευών, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης μιας κεντρικής αρχής. Ως αποτέλεσμα, το φαινόμενο του Blockchain ανοίγει την πόρτα σε μια σειρά από καινοτόμα σενάρια IoT που ήταν εξαιρετικά δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να εφαρμοστούν χωρίς αυτό. Βλέπουμε ήδη πρωτοβουλίες αναδυόμενες σε αυτόν τον τομέα, όπως για παράδειγμα το

¹⁰⁵ (Ayers, 2019)

¹⁰⁶ (Αποστολόπουλος, 2018)

ADEPT, ένα αποκεντρωμένο σύστημα IoT που δημιουργήθηκε από την IBM και τη Samsung, το οποίο επιτρέπει σε δισεκατομμύρια συσκευές τη μετάδοση συναλλαγών και την εκτέλεση εργασιών αυτοσυντήρησης. Η πλατφόρμα έχει δοκιμαστεί σε διάφορα σενάρια, μεταξύ των οποίων ένα που περιλαμβάνει ένα έξυπνο πλυντήριο που μπορεί αυτόματα να παραγγείλει και να πληρώσει για τα απορρυπαντικά με bitcoins ή άλλο κρυπτονόμισμα και είναι σε θέση να διαπραγματευτεί για την καλύτερη τιμή η οποία βασίζεται στις προτιμήσεις του ιδιοκτήτη του. Το Blockchain-IoT σύστημα θα επιτρέψει επίσης τη νομισματοποίηση δεδομένων, όπου οι ιδιοκτήτες των συσκευών και αισθητήρων IoT θα μπορούν να μοιραστούν τα IoT δεδομένα που δημιουργούν σε αντάλλαγμα για μικροπληρωμές σε πραγματικό χρόνο. Το Tilepay, για παράδειγμα, προσφέρει μία ασφαλή, αποκεντρωμένη online αγορά, όπου οι χρήστες μπορούν εγγράφουν τις συσκευές τους στο Blockchain και να πωλήσουν τα δεδομένα τους σε πραγματικό χρόνο, με αντάλλαγμα ψηφιακά νομίσματα.¹⁰⁷

5.6.5 Επιχειρηματικές και Βιομηχανικές Εφαρμογές

Το δίκτυο Blockchain έχει τη δυνατότητα να αποτελέσει σημαντική πηγή καινοτομιών στις επιχειρήσεις μέσω της βελτίωσης, βελτιστοποίησης και αυτοματοποίησης των επιχειρηματικών διαδικασιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, κάθε παράμετρος της επιχειρησιακής διαδικασίας μπορεί να διατηρηθεί στο Blockchain και η δρομολόγηση της ροής εργασίας θα μπορούσε να εκτελεστεί από τις εφοδιαστικές αλυσίδες, ομαλοποιώντας και αυτοματοποιώντας τις διεργασίες και μειώνοντας το κόστος της διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούν παραδείγματα καινοτομιών στη βιομηχανία των μεταφορών.

- Αυτοκινητοβιομηχανία

Η διαχείριση δεδομένων είναι μία από τις πιο αδιαμφισβήτητες ιδιότητες του Blockchain. Εφαρμογές που βασίζονται σε αυτή την τεχνολογία όχι μόνο έχουν βελτιώσει τη διαχείριση δεδομένων, αλλά έχουν επίσης διευκολύνει την ελεγκτική απρόβλεπτη λειτουργία, καθώς πλέον όλες οι εσωτερικές λειτουργίες κάθε τέτοιας εφαρμογής είναι επαληθεύσιμες. Η Renault Groupe, επιδιώκοντας να αξιοποιήσει αυτού του είδους την εφαρμογή, έχει ανακοινώσει τη δημιουργία ενός πρωτοτύπου για ένα ψηφιακό βιβλίο συντήρησης αυτοκινήτων, αξιοποιώντας την ισχύ της τεχνολογίας Blockchain. Στα πλαίσια του έργου, η Microsoft παρέχει πρόσβαση στην τεχνολογία Microsoft Azure Blockchain, μια ανοιχτή, ευέλικτη και οικονομικά αποδοτική πλατφόρμα για την ανάπτυξη του ιδανικού δικτύου Blockchain. Με αυτό το ψηφιακό δίκτυο διασφαλίζεται ότι τα δεδομένα στο αρχείο του ιστορικού των αυτοκινήτων αποθηκεύονται με ασφαλή και διαφανή τρόπο. Μέχρι σήμερα, οι πληροφορίες σχετικά με τους πελάτες και τα οχήματά τους είναι κατανοημένες σε πολλαπλά συστήματα πληροφοριών που αποθηκεύονται από αυτοκινητοβιομηχανίες, ασφαλιστές και συνεργεία επισκευών. Με την εισαγωγή της τεχνολογίας Blockchain συγκεντρώνονται όλες οι σημαντικές πληροφορίες σε ένα δίκτυο, προσβάσιμο από τον πελάτη, δημιουργώντας έτσι ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο εμπιστοσύνης. Για παράδειγμα, αν ο ιδιοκτήτης ενός αυτοκινήτου ετοιμάζεται να το πουλήσει, μπορεί μέσω αυτού του συστήματος να κάνει πιο διαφανείς τις πληροφορίες για το ιστορικό του οχήματος, επιτρέποντας στον δυνητικό αγοραστή να έχει πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα του βιβλίου

¹⁰⁷ (Ντοά, 2017)

συντήρησης ψηφιακού αυτοκινήτου, δημιουργώντας εμπιστοσύνη μεταξύ του αγοραστή και του πωλητή.¹⁰⁸

Στην ίδια λογική με τη Renault Groupe, το Ινστιτούτο Έρευνας της Toyota (TRI) έχει ανακοινώσει ότι εξερευνά την τεχνολογία Blockchain για τη χρήση της στην ανάπτυξη ενός νέου συστήματος κινητικότητας, στο οποίο μπορεί να επιτευχθεί η αυτόνομη τεχνολογία οδήγησης. Το TRI συνεργάζεται με το MIT Media Lab (MIT ML) για την προώθηση ενός ψηφιακού περιβάλλοντος όπου οι χρήστες, δηλαδή οι επιχειρήσεις και οι καταναλωτές, έχουν τη δυνατότητα να μοιράζονται τα δεδομένα των οχημάτων, να διαχειρίζονται συναλλαγές και να αποθηκεύουν πληροφορίες χρήσης οχημάτων, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στον καθορισμό των ασφαλιστικών συμβολαίων. Το TRI πιστεύει ένα τέτοιο σύστημα Blockchain μπορεί να προσφέρει διαφάνεια και εμπιστοσύνη μεταξύ των χρηστών, να μειώσει τον κίνδυνο απάτης και να μειώσει ή να εξαλείψει τα έξοδα συναλλαγής, όπως τα τέλη ή οι προσαυξήσεις που εφαρμόζονται από τρίτους φορείς. Το TRI συνεργάζεται με διάφορους συνεργάτες της βιομηχανίας εκτός από το MIT ML, για να αναπτύξει εφαρμογές που αφορούν στην κοινή χρήση δεδομένων οδήγησης (Driving / Testing Data Sharing), στην κοινή χρήση αυτοκινήτων (Car Sharing) και στην ασφάλιση βάσει χρήσης (Usage - based Insurance). Όσον αφορά στην κοινή χρήση δεδομένων οδήγησης (Driving / Testing Data Sharing), η τεχνολογία Blockchain επιτρέπει σε εταιρείες να μοιράζονται με ασφάλεια τις πληροφορίες οδήγησης των αυτοκινήτων τους και να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα που συνεισφέρουν οι άλλοι χρήστες σε ένα σύστημα ασφαλούς αγοράς. Τα σύγχρονα οχήματα, που αποτελούν μέρος αυτού του δικτύου, αποθηκεύουν πληροφορίες για το περιβάλλον τους μέσω αισθητήρων και είναι συνδεδεμένα ψηφιακά, δημιουργώντας έτσι μια μεγάλη βάση πολύτιμων δεδομένων, που διατηρεί ωστόσο την ιδιοκτησία των δεδομένων από τον δημιουργό. Στην κοινή χρήση αυτοκινήτων (Car Sharing) ιδιοκτήτες οχημάτων κερδίζουν έσοδα διαθέτοντας χώρο φορτίου ή ακόμα και τη χρήση του ίδιου του οχήματος. Στη δεύτερη περίπτωση το δίκτυο Blockchain μπορεί να αποθηκεύσει δεδομένα σχετικά με τη χρήση του οχήματος και πληροφορίες σχετικά με τους οδηγούς και τους επιβάτες, βοηθά στην επικύρωση μιας "έξυπνης σύμβασης" και στην πληρωμή των υπηρεσιών χωρίς την ανάγκη ενός χρηματοπιστωτικού διαμεσολαβητή, εξοικονομώντας έτσι πρόσθετα τέλη συναλλαγής. Επίσης, στην περίπτωση της ιδιωτικής κοινής χρήσης αυτοκινήτων, όπου κάποιος που κατέχει ένα αυτοκίνητο μπορεί να το προσφέρει για ενοικίαση στο κοινό, οι εταιρίες αυτού του είδους παρέχουν μια πλατφόρμα όπου ιδιοκτήτες αυτοκινήτων μπορούν να προσφέρουν τα αυτοκίνητά τους σε πιθανούς ενοικιαστές.¹⁰⁹ Τέλος, το δίκτυο χρησιμοποιεί την τεχνολογία Blockchain, έτσι ώστε οι αισθητήρες του οχήματος να συλλέγουν τα δεδομένα οδήγησης και να τα αποθηκεύουν, δίνοντας πρόσβαση στις ασφαλιστικές εταιρείες σε δεδομένα οδήγησης για τη μέτρηση των ασφαλών οδηγικών συνθηκών (Usage-based Insurance).¹¹⁰

Σε συνεργασία με τη start-up εταιρεία XAIN, που κέρδισε το διαγωνισμό καινοτομίας της Porsche, η Porsche δοκιμάζει σήμερα εφαρμογές Blockchain τεχνολογίας απευθείας στα οχήματα. Η εφαρμογή επιδιώκει ο κάθε χρήστης, χρησιμοποιώντας μόνο το smartphone του, να έχει τη δυνατότητα να καταγράφει δεδομένα της οδικής κυκλοφορίας μέσω του

¹⁰⁸ (GROUPE RENAULT TEAMS WITH MICROSOFT AND VISEO TO CREATE THE FIRST-EVER DIGITAL CAR MAINTENANCE BOOK PROTOTYPE, 2017)

¹⁰⁹ (Blockchain-based Car Sharing, 2018)

¹¹⁰ (Toyota Research Institute Explores Blockchain Technology for Development of New Mobility, 2017)

Blockchain, σε άμεση επικοινωνία με άλλα οχήματα. Ακόμα το κλείδωμα και το ξεκλείδωμα του αυτοκινήτου να γίνεται πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ασφάλεια, χάρη σε μια offline σύνδεση Blockchain. Ο ιδιοκτήτης έχει την ικανότητα επιπλέον να παρέχει προσωρινή πρόσβαση, από απόσταση, στην Porsche του σε κάποιον άλλο χρήστη και να λαμβάνει ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το πότε, πού και από ποιόν έγινε η πρόσβαση. Τέλος, επιτρέπει την ασφαλή απόκτηση και απάντηση της αλληλογραφίας (e-mail) του ιδιοκτήτη απευθείας μέσα από το αυτοκίνητο.¹¹¹

Η εφαρμογή ωστόσο στην αυτοκινητοβιομηχανία, η οποία αφορά πιο άμεσα και αποδοτικά στη μέριμνα του περιβάλλοντος είναι η δημιουργία μιας εφαρμογής παρακολούθησης εκπομπών άνθρακα, μέσα από τη συνεργασία της BYD, μιας από τις μεγαλύτερες κινεζικές εταιρείες αυτοκινήτων, της VeChain, εταιρείας ανάπτυξης προγραμμάτων Blockchain και του νηογνώμονα DNV-GL. Η αποκαλούμενη λύση Carbon Credit που θα διατίθεται στο σύστημα του οχήματος θα συγκεντρώνει δεδομένα οδήγησης, όπως η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας, η κατανάλωση καυσίμου και η χιλιομετρική απόσταση και θα τα αποθηκεύει στην πλατφόρμα VeChainThor. Μέσω μιας έξυπνης σύμβασης, που βασίζεται στον τύπο μείωσης των εκπομπών που αναπτύχθηκε από την DNV-GL, θα απονέμονται πιστώσεις άνθρακα στους οδηγούς, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αγορά προϊόντων και υπηρεσιών στο σύστημα τραπεζών άνθρακα.¹¹² Ωστόσο, η συγκεκριμένη εφαρμογή Blockchain τεχνολογίας αφορά όχι μόνο τους οδηγούς των οχημάτων. Τα καταστήματα αντιπροσωπείας αυτοκινήτων και τα συνεργεία επισκευής θα παρέχουν και θα παγώνουν τις βασικές πληροφορίες για το όχημα και τις επισκευές καταλόγων. Οι ασφαλιστικές εταιρείες, με τη σειρά τους, θα χρησιμοποιούν τα δεδομένα κατά την προετοιμασία των πακέτων προϊόντων για τους πελάτες τους.¹¹³

- Εναέριες Μεταφορές

Η διάρκεια ζωής ενός εμπορικού αεροσκάφους μπορεί να είναι έως και 30 χρόνια, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να περάσει από πέντε ή έξι ιδιοκτήτες πριν αποσυρθεί. Δεδομένου αυτού του επιπέδου δραστηριότητας και διαδοχικής μεταφοράς ιδιοκτησίας, η παρακολούθηση και ο εντοπισμός πληροφοριών σχετικά με το αεροσκάφος μπορεί να αποδειχθεί μια δύσκολη διαδικασία, ιδιαίτερα όταν μάλιστα αφορά σε έγγραφα συντήρησης που σχετίζονται με το αεροσκάφος. Διατηρώντας τέτοιου είδους έγγραφα σε έντυπη μορφή, δημιουργείται ο κίνδυνος απώλειας ή πιθανής απάτης. Γι'αυτό το λόγο, εταιρείες όπως η Boeing και η AirFrance-KLM δοκιμάζουν την τεχνολογία Blockchain για την παρακολούθηση όχι μόνο της συντήρησης των αεροσκαφών, αλλά και ολόκληρου του κύκλου ζωής τους. Ομοίως, η Airbus ερευνά πώς ένα Blockchain δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση της αλυσίδας εφοδιασμού (supply chain tracking). Ταυτόχρονα, έχει ανακοινωθεί η ιδέα του AirChain, ενός μελλοντικού συστήματος για όλους τους φορείς που συμμετέχουν στη χρηματοδοτική μίσθωση των αερομεταφορών (aviation leasing). Αυτή η ιδιωτική αλυσίδα της τεχνολογίας Blockchain θα είναι προσβάσιμη σε όλους τους ενδιαφερόμενους στη βιομηχανία, με διαφορετικά επίπεδα πρόσβασης για κάθε έναν.¹¹⁴ Η Aeron, με τη σειρά της, επιδιώκει να αναδείξει τη χρησιμότητα του Blockchain για την ασφάλεια της αεροπορίας. Η πιλοτική εφαρμογή του επιχειρησιακού μοντέλου της είναι η παροχή αρχείων καταγραφής πτήσεων, για να ενισχυθεί η ασφάλεια κατά την πρόσληψη

¹¹¹ (Porsche introduces Blockchain to vehicles to make car sharing easier and more efficient, 2018)

¹¹² (VeChainFoundation, 2018)

¹¹³ (Tekelieva, 2018)

¹¹⁴ (Kehoe & Hallahan, 2018)

ιδιωτικών πιλότων ή σε συναλλαγές με τους ιδιοκτήτες αεροσκαφών. Η SITA FlightChain έχει συνεργαστεί με διάφορες αεροπορικές εταιρείες και αεροδρόμια, εξετάζοντας τη διατήρηση ενός κοινόχρηστου βιβλίου πληροφοριών πτήσεων με τη συμμετοχή των εξουσιοδοτημένων αρχών. Το SITA Lab, μάλιστα, εξέδωσε το FlightChain32, ένα αρχείο που επεκτείνει τα αποτελέσματα της έρευνας και ανάπτυξης του κοινόχρηστου βιβλίου, διατηρώντας Smart Contracts, σε συνεργασία με την British Airways και τα αεροδρόμια Heathrow, Geneva και Miami International. Η TrustaBit προσφέρει υπηρεσίες σε αεροπορικές εταιρείες για να βοηθήσει τους πελάτες να λάβουν αποζημίωση για ακυρωμένες ή καθυστερημένες πτήσεις, μέσω της χρήσης των Smart Contracts του Blockchain και της αυτόματης έκδοσης κουπονιών στους επιβάτες όταν υπάρχει διακοπή της πτήσης.¹¹⁵ Τέλος, ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι και η περίπτωση της AVINOC, η οποία φέρνει σε άμεση επαφή τους επιβάτες με τις αεροπορικές εταιρείες, τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας και τα ταξιδιωτικά γραφεία. Η τεχνολογία Blockchain επιτρέπει την άμεση σύνδεση των χρηστών της εφαρμογής, καθώς η AVINOC εξαφανίζει την ανάγκη για ενδιάμεσο φορέα μεταξύ των επιβατών και των αεροπορικών εταιρειών. Περιληπτικά, η AVINOC αποτελεί μια πλατφόρμα για τον παγκόσμιο συντονισμό των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων πτήσεων στα πλαίσια της αεροπορίας. Από τη φύση της, είναι αποκεντρωμένη και απολύτως διαφανής, προστατεύοντας παράλληλα την ιδιωτικότητα τόσο των ατόμων όσο και των εταιρειών, που είναι μέλη της. Έχει σχεδιαστεί για να επιτυγχάνει τη βέλτιστη χρήση των πόρων και να μειώσει σημαντικά το κόστος και ο κύριος στόχος της είναι να ξεπεράσει τις αδυναμίες που συνδέονται με τις τρέχουσες αεροπορικές επιχειρήσεις, όπως οι αδιαφανείς και πολύπλοκες διαδικασίες, το υψηλό κόστος για τους μεσάζοντες, καθώς και οι καθυστερημένες πτήσεις. Η AVINOC θα μειώσει επίσης πολλές κενές πτήσεις, με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά και η κατανάλωση καυσίμου, η οποία είναι επιβλαβής για το περιβάλλον.¹¹⁶

- Ναυτιλία

Η ισραηλινή εταιρεία ZIM έχει προσφέρει τη δυνατότητα σε όλους τους πελάτες της να στραφούν σε ένα ηλεκτρονικό Bill-of-Lading, δηλαδή ένα ψηφιακό έγγραφο για τη φόρτωση εμπορευμάτων (φορτίων) προς μεταφορά, καθώς και ένα αποδεικτικό έγγραφο της σύμβασης ναύλωσης, που βασίζεται στην Blockchain τεχνολογία. Η ZIM εξέτασε την πρώτη «πιλοτική» ψηφιακή πλατφόρμα Bill-of-Lading, ως λύση για εμπορικές δραστηριότητες. Μάλιστα, σε δύο πρόσφατες συναλλαγές, τα πρωτότυπα τιμολόγια μεταφέρθηκαν στον παραλήπτη εντός δύο ωρών από την αναχώρηση του πλοίου, μια διαδικασία που συνήθως διαρκεί ημέρες ή και εβδομάδες.¹¹⁷ Όλες οι διαδικασίες τεκμηρίωσης, συμπεριλαμβανομένων των εγκρίσεων και των μεταβιβάσεων ιδιοκτησίας πραγματοποιούνται μέσω της ειδικά σχεδιασμένης πλατφόρμας που βασίζεται στο Blockchain και η ZIM δήλωσε ότι οι δοκιμαστικές αυτές συναλλαγές απέδειξαν ότι η τεχνολογία Blockchain μπορεί να βελτιώσει τις τρέχουσες δραστηριότητες που βασίζονται σε μηνύματα ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, φαξ και άλλα παραδοσιακά έντυπα υπάρχοντα εργαλεία. Οι διαδικασίες ψηφιοποίησης που σχετίζονται με τη ναυτιλιακή τεκμηρίωση αναμένεται να εξοικονομήσουν, ακόμα, χρόνο και να μειώσουν το κόστος για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη των συναλλαγών.¹¹⁸

¹¹⁵ (Léopold, 2018)

¹¹⁶ (AVINOC the Blockchain Solution Disrupting the Global Aviation Business, 2018)

¹¹⁷ (ZIM Levels Up Blockchain Initiative, 2019)

¹¹⁸ (ZIM Moves Forward with Blockchain-Based Bill-of-Lading, 2019)

Η εταιρεία BlocBox , συνεργαζόμενη με την Zeaborn Ship Management, σχεδιάζουν την υλοποίηση ενός έργου, για να εξασφαλιστεί η ασφάλεια των πλοίων στη θάλασσα, έχοντας ως βάση την τεχνολογία Blockchain. Η BlocBox έχει αναπτύξει το πρώτο, σε παγκόσμιο επίπεδο, πρωτόκολλο Blockchain για την ασφάλεια στη ναυτιλία και την αεροπορία, το οποίο βρίσκεται σε δοκιμαστικό επίπεδο. Η εταιρεία θα κατασκευάσει ένα αμετάβλητο καταναμεμημένο αρχείο για την επίλυση των προκλήσεων της ανάκτησης στοιχείων μαύρου κουτιού, της διαφάνειας, των προβλέψεων και της ιδιοκτησίας στις θαλάσσιες μεταφορές. Σύμφωνα με τη συμφωνία που έχει ανακοινωθεί, θα συλλέγονται τα καταγεγραμμένα δεδομένα ταξιδιού (VDR) από το πλοίο, τα οποία στη συνέχεια θα αποθηκεύονται και θα διανέμονται σε ένα Blockchain δίκτυο. Τα εν λόγω δεδομένα θα μετατρέπονται, στη συνέχεια, σε μορφή κρυπτογράφησης και τέλος, τα προσομοιωμένα δεδομένα VDR θα αναλύονται από την Zeaborn Ship Management.¹¹⁹

Η Maersk και η IBM ανακοίνωσαν πρόσφατα τη δημιουργία της εφαρμογής TradeLens, την οποία ανέπτυξαν από κοινού οι δύο εταιρείες για να εφαρμόσουν την τεχνολογία Blockchain στην παγκόσμια αλυσίδα εφοδιασμού (Global Supply Chain). Το δίκτυο επαφών της TradeLens περιλαμβάνει περισσότερους από 20 φορείς εκμετάλλευσης λιμενικών και τερματικών σταθμών σε όλο τον κόσμο, σε συνεργασία με ναυτιλιακές εταιρείες και εταιρείες μεταφορών. Όσον αφορά στη λειτουργία του πολυπληθούς αυτού δικτύου, η TradeLens χρησιμοποιεί την τεχνολογία Blockchain της IBM ως βάση για τις ψηφιακές αλυσίδες εφοδιασμού, παρέχοντας τη δυνατότητα σε πολλούς εμπορικούς εταίρους να συνεργαστούν δημιουργώντας μια ενιαία κοινή προβολή μιας συναλλαγής χωρίς να διακυβεύονται λεπτομέρειες, ιδιωτικό απόρρητο ή εμπιστευτικότητα. Οι πλοιοκτήτες, οι ναυτιλιακές εταιρείες, οι μεταφορείς εμπορευμάτων, οι τερματικοί σταθμοί, οι χερσαίες μεταφορές και οι τελωνειακές αρχές μπορούν να αλληλεπιδρούν αποτελεσματικότερα μέσω της πρόσβασης σε πραγματικό χρόνο στα δεδομένα και στα έγγραφα αποστολής, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων IoT και των αισθητήρων, που κυμαίνονται από τον έλεγχο της θερμοκρασίας περιβάλλοντος μέχρι το βάρος του εμπορευματοκιβωτίου. Με τη χρήση έξυπνων συμβολαίων, θα επιτρέπεται η ψηφιακή συνεργασία μεταξύ πολλών μερών που εμπλέκονται στο διεθνές εμπόριο, όπως οι εισαγωγείς, οι εξαγωγείς, οι τελωνειακοί μεσίτες, οι κυβερνητικές υπηρεσίες και οι ΜΚΟ.¹²⁰

Το Maritime Blockchain Labs (MBL), μια σύμπραξη που δημιουργήθηκε μεταξύ του Lloyd's Register Foundation και του Blockchain Labs for Open Collaboration (BLOC) για να διερευνήσει τη χρήση της τεχνολογίας Blockchain για τη διασφάλιση και την προώθηση νέων επιχειρηματικών μοντέλων για την παγκόσμια ναυτιλιακή βιομηχανία, ανακοίνωσε ότι το πρώτο πρόγραμμα εφαρμογής της τεχνολογίας Blockchain, θα είναι ένα μητρώο καταγραφής της προέλευσης των καυσίμων για τον ναυτιλιακό τομέα, που αποσκοπεί στην παροχή αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με την προέλευση, το ταξίδι και τα χαρακτηριστικά των καυσίμων. Η λύση αυτή μάλιστα κέρδισε το βραβείο του διαγωνισμού MIT SOLVE, στην κατηγορία των παράκτιων κοινοτήτων.¹²¹ Η πλατφόρμα Blockchain που χρησιμοποιεί η MBL είναι το Hyperledger Fabric, που δημιουργεί μια αμετάβλητη αλυσίδα για την τεκμηρίωση της ανάλυσης ποιότητας και την προδιαγραφή των καυσίμων από τους διάφορους παράγοντες που πραγματοποιούν συναλλαγές και μεταφέρουν τα καύσιμα σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού. Η επόμενη φάση του επιχειρηματικού σχεδίου θα περιλαμβάνει την

¹¹⁹ (Zeaborn & BlocBox collaborate on Blockchain Project, 2019)

¹²⁰ (Maersk and IBM Introduce TradeLens Blockchain Shipping Solution, 2018)

¹²¹ (Maritime Blockchain Lab's Fuels Assurance Platform Scaling Up, 2018)

περαιτέρω ανάπτυξη και κλιμάκωση της λύσης, την καταγραφή των παραδοτέων καυσίμων και των συναφών επαληθευμένων δεδομένων στο σύστημα.¹²² Το δίκτυο θα αποτελεί, ουσιαστικά, μια κοινοπραξία από πλοιοκτήτες ή φορείς εκμετάλλευσης, προμηθευτές καυσίμων, λιμενικές αρχές και φορέων δοκιμών καυσίμων. Κάθε μέλος της κοινοπραξίας αντιπροσωπεύει έναν διαφορετικό παράγοντα στην αλυσίδα αξίας των καυσίμων πλοίων. Για παράδειγμα, η Lloyd's Register αποτελεί τον φορέα που διανέμει τις γνώσεις και τις πληροφορίες σχετικά με την προμήθεια καυσίμου και τη διαδικασία ελέγχου ποιότητας, καθώς ακόμα παρέχει δεδομένα δοκιμών ποιότητας για τη φάση κατασκευής. Η BIMCO και η IBIA, ναυτιλιακές οργανώσεις, θα λειτουργούν ως σύμβουλοι για τις συμβατικές πτυχές του έργου και για την επίδειξη της ανιχνευσιμότητας και της ποιότητας των καυσίμων, ενώ οι ναυτιλιακές εταιρείες θα είναι υπεύθυνες για την απόδειξη της ποιότητας και της λογοδοσίας των καυσίμων ως αγοραστές. Τέλος, οι προμηθευτές καυσίμων στη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως η GoodFuels θα παρέχει πληροφορίες για το ίδιο το καύσιμο.¹²³

5.7 Προκλήσεις στην Υλοποίηση της Τεχνολογίας Blockchain

Παρά τα εγγενή πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Blockchain, δηλαδή την ακεραιότητα, την επαλήθευση, τη διαφάνεια και την ελεγχόμενη καταγραφή γεγονότων που προσφέρει, υπάρχουν πολλές προκλήσεις, που χρειάζεται να ληφθούν υπόψη για την ασφαλή υιοθέτησή της σε ένα σύστημα. Έχοντας υπόψη ότι ένα δίκτυο Blockchain αντλεί την ασφάλειά του από την αποκεντρωμένη φύση των κόμβων του και καθώς ο καθένας μπορεί να ενταχθεί και να γίνει κόμβος στο δίκτυο, ένα ετερογενές σύμπλεγμα “hackers” είναι δυνατό να προσθέσει αρκετούς κόμβους στο δίκτυο για καταλάβει τον έλεγχο του συστήματος. Αυτή η απειλή που αφορά στα θέματα ασφαλείας, είναι γνωστή ως “51% Attack”. Μια επίθεση κατά 51% συμβαίνει όταν ένας hacker παράγει περισσότερο από το 50% της υπολογιστικής ισχύος του δικτύου Blockchain. Με αυτόν τον τρόπο, καταλαμβάνεται η πλειοψηφία και ο έλεγχος του δικτύου, επιτρέποντας στους hackers να αποτρέψουν από άλλους κόμβους τη δημιουργία Blocks και να αποτρέψουν τις συναλλαγές εντελώς.¹²⁴ Ακόμα μια απειλή στην ασφάλεια αποτελεί η “Sybil Attack”. Σε ένα σύστημα peer-to-peer, οι κόμβοι αναπαράγουν συχνά δεδομένα, για καλύτερη ασφάλεια, τα οποία αποστέλλονται σε άλλους μοναδικούς, διακριτούς κόμβους, με την πλειοψηφία τους να είναι αληθινοί κόμβοι. Σε μια επίθεση Sybil, ο εισβολέας, δημιουργώντας ένα μεγάλο αριθμό ψευδών ταυτοτήτων και χρησιμοποιώντας τους για να κερδίσουν τα δεδομένα του συστήματος και δυσανάλογα μεγάλη επιρροή, καταφέρνει να καταλάβει τον έλεγχο του δικτύου.¹²⁵ Η ταχύτητα και η αποτελεσματικότητα με την οποία Blockchain δίκτυα μπορούν να εκτελούν συναλλαγές μεταξύ ομότιμων χρηστών παρουσιάζουν υψηλό συνολικό κόστος, που μπορεί να διαφέρει από δίκτυο σε δίκτυο. Στην κλίμακα ολόκληρου του δικτύου, η διαδικασία για την αύξηση της παραγωγικότητας απαιτεί ένα πλήθος κόμβων, το οποίο περιορίζεται, καθώς υπάρχει δυσκολία στην αποθήκευση του συνεχώς αυξανόμενου μεγέθους του Blockchain. Η επίλυση του ζητήματος της επεκτασιμότητας απαιτείται, διότι ο περιορισμός αυτός του πλήθους κόμβων έχει σημαντικό

¹²² (MLB to Test Blockchain in Real-World Bunker Fuel Supply, 2018)

¹²³ (Consortium to Test Blockchain in Bunker Industry, 2018)

¹²⁴ (Price, 2018)

¹²⁵ (Weaknesses)

αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα του δικτύου.¹²⁶ Η ικανότητα ευελιξίας του συστήματος παρουσιάζει ένα σημαντικό ανώτατο όριο για τις τρέχουσες υλοποιήσεις, καθιστώντας δύσκολη την εφαρμογή της τεχνολογίας σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές, όπως οι πληρωμές. Για παράδειγμα, το Bitcoin έχει χωρητικότητα 3-4 συναλλαγές ανά δευτερόλεπτο και το Ethereum υποστηρίζει έως και 15 ανά δευτερόλεπτο. Ακόμη πιο σημαντικό, η εφαρμογή ενός συστήματος Blockchain, σήμερα απαιτεί κολοσσιαίες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας.¹²⁷ Η ανωνυμία και η προστασία του ιδιωτικού απορρήτου αποτελούν ακόμα κρίσιμα θέματα που χρειάζεται να διασφαλιστούν σε ένα τέτοιο δίκτυο. Ο έλεγχος των συναλλαγών μπορεί να ελεγχθεί από την πρώτη συναλλαγή του συστήματος, συμβάλλοντας έτσι στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης. Ωστόσο, αυτή η διαφάνεια προσδίδει μια αρνητική διάσταση στην ιδιωτικότητα. Αν και δεν υπάρχει άμεση και προφανής σχέση μεταξύ των ατόμων και των ψηφιακών υπογραφών που χρησιμοποιούν, η ανωνυμία των χρηστών φαίνεται να απειλείται, παρά τους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται, όπως τα ψευδώνυμα και η χρήση πολλαπλών προφίλ.¹²⁸ Τέλος, βάση του αποκεντρωμένου δικτύου Blockchain αποτελεί η απουσία κεντρικής αρχής ή οργάνωσης που να λαμβάνει αποφάσεις. Ενώ, από τη μία πλευρά, αυτό επιτρέπει την ιδεατή περίπτωση όπου όλοι ακολουθούμε ένα απολύτως ανοιχτό σύστημα με διαφάνεια, από την άλλη πλευρά, δεν υπάρχει κάποιος υπεύθυνος για τον καθορισμό και τη διατήρηση των προτύπων. Παρόλο που είναι απαραίτητο να διατηρηθεί όσο το δυνατόν πιο αποκεντρωμένη η ανάπτυξη της τεχνολογίας Blockchain, χρειάζεται μια επιπλέον οργάνωση μεταξύ των προγραμματιστών και χρηστών στο σύστημα για την κοινή λήψη αποφάσεων που αφορούν σε νέα πρότυπα, χαρακτηριστικά και αναβαθμίσεις.

¹²⁶ (Grewal-Carr & Marshall)

¹²⁷ (Savage, 2018)

¹²⁸ (Reyna, Martin, Chen, Soler, & Diaz, 2018)

6 Blockchain-Based Δίκτυο BDN

Για να αναλυθεί και να στοιχειοθετηθεί η χρήση της τεχνολογίας Blockchain στην ψηφιακή καταγραφή του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN), χρειάζεται αρχικά να περιγραφεί η διαδικασία εφοδιασμού καυσίμου στο πλοίο και να αξιολογηθεί αν η τεχνολογία Blockchain μπορεί να ωφελήσει στη βελτίωσή της.

6.1 Διαδικασία Εφοδιασμού Καυσίμου(Bunkering)

Εφόσον έχει καθοριστεί η πορεία του πλοίου από το τμήμα διαχείρισης της ναυτιλιακής εταιρείας, ζητείται από τον καπετάνιο να δώσει εκτίμηση για την απαιτούμενη και αναγκαία ποσότητα καυσίμου μέχρι το λιμάνι ή τα λιμάνια που πρόκειται να προσεγγιστούν. Πάντα υπολογίζεται στις απαιτούμενες ποσότητες ένα περιθώριο επιπλέον καυσίμων (Safety Margin). Όταν σταλεί η απαίτηση με τις εκτιμώμενες ποσότητες, η ναυτιλιακή εταιρεία αναλαμβάνει να στείλει αιτήσεις για προσφορά και έλεγχο της διαθεσιμότητας καυσίμων στα λιμάνια προσέγγισης, στους προμηθευτές με τους οποίους συνεργάζεται ή και ανεξάρτητους, εφόσον εκτιμά ότι έχουν καλύτερη συνεργασία με το κάθε λιμάνι. Ειδικά στην περίπτωση που το πλοίο εκτιμάται ότι θα παραμείνει στο λιμάνι αρκετό καιρό και η προμήθεια καυσίμων σε αυτό είναι δύσκολη ή ακριβή, το τμήμα σχεδιάζει τη πορεία του πλοίου έτσι ώστε το πλοίο να φτάσει στο λιμάνι με επαρκή ποσότητα καυσίμων προς κατανάλωση. Με την παραλαβή των προσφορών γίνεται η απαραίτητη αξιολόγησή τους και η επιλογή της πιο συμφέρουσας. Η τιμή, αλλά και οι σχέσεις μεταξύ της εταιρείας και του προμηθευτή είναι σημαντικοί παράμετροι που επηρεάζουν την τελική απόφαση για την προμήθεια. Επιπλέον, το περιθώριο πίστωσης και οι οικονομικές ελαφρύνσεις λόγω έγκαιρης εξόφλησης συμφωνηθέντων δόσεων, αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την τελική επιλογή. Όταν έχει αποφασιστεί η επιλογή, η εταιρεία αναθέτει την παραγγελία και ενημερώνει παράλληλα και το λιμάνι, στο οποίο θα προσεγγίσει το πλοίο για την πετρέλευση. Ο προμηθευτής παρέχει όλες τις πληροφορίες παράδοσης και ενημερώνεται για τα στοιχεία του πλοίου. Ακολουθεί η επικοινωνία της εταιρείας με τον καπετάνιο, από την οποία ενημερώνεται αναλυτικά για το καύσιμο που πρόκειται να παραλάβει. Ακόμα, το λιμάνι χρειάζεται να είναι ενήμερο για πληροφορίες που αφορούν το πλοίο, αν η πετρέλευση θα γίνει απευθείας από το τερματικό ή αν θα χρειαστεί η διαμεσολάβηση λάντζας και επιπλέον πληροφορίες που είναι αναγκαίες για τη δεύτερη περίπτωση, όπως το ύψος από τα έξαλλα του πλοίου, η τοποθεσία της εξόδου του κεντρικού συστήματος σωληνώσεων για τροφοδότηση καυσίμου και το πρόγραμμα της ημερομηνίας εφοδιασμού. Υπάρχουν απρόβλεπτοι παράγοντες που δυσχεραίνουν την τήρηση του προγράμματος, όπως η διαδικασία φόρτωσης ή εκφόρτωσης και γι' αυτό το λόγο η καλή συνεργασία μεταξύ των δύο μερών είναι αναγκαία, προκειμένου να αποφευχθούν επιπλέον έξοδα για τον πλοιοκτήτη από πιθανή καθυστέρηση. Τέλος, ολοκληρώνεται η διαδικασία της προετοιμασίας και των επικοινωνιών, πριν την παράδοση του καυσίμου στο πλοίο.¹²⁹ Πριν από την παράδοση των καυσίμων, το πλοίο πρέπει να έχει προνοήσει ώστε να διαθέτει επαρκείς ελεύθερες και καθαρές δεξαμενές για την αποθήκευση του καυσίμου από τη νέα πετρέλευση. Παράλληλα, είναι αναγκαίο να βεβαιωθεί ότι διαθέτει επαρκή καύσιμα, ώστε να επιτραπεί η λήψη

¹²⁹ (Μπρουζιούτης, 2017)

δειγμάτων των νέων καυσίμων πριν από τη χρήση, καθώς συνίσταται να αποφεύγεται η χρήση νεοαποκτηθέντων καυσίμων χωρίς να έχει ληφθεί δειγματοληπτική ανάλυση. Από την πλευρά του λιμένα εφοδιασμού, χρειάζεται να υπάρχει γνώση σχετικά με τα στοιχεία της ποιότητας των καυσίμων και να εξασφαλίζεται ο συντονισμός των μερών που θα λάβουν μέρος στην πετρέλευση. Τέλος, επειδή η πετρέλευση γίνεται συχνά ταυτόχρονα με άλλες εργασίες που εκτελούνται στο πλοίο και το πλήρωμα δεν επαρκεί για να επιβλέψει όλες τις διαδικασίες, η επίβλεψη και μέτρηση των καυσίμων, συχνά, ανατίθεται σε επιθεωρητή.

6.1.1 Υπεράκτιος Ανεφοδιασμός Πλοίου (Ship-to-Ship Bunkering)

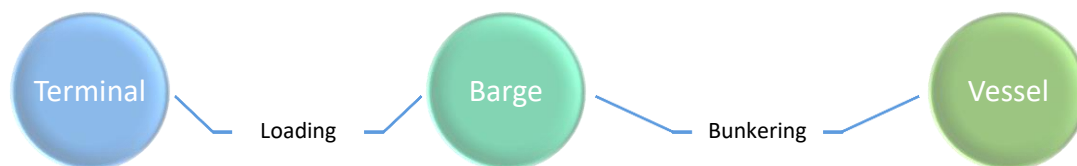
Η πρώτη μέθοδος ανεφοδιασμού πλοίου είναι ο υπεράκτιος ανεφοδιασμός με φορτηγίδες -μπάριζες (Ship-to-Ship), που επί του παρόντος κατέχει το 90% της παράδοσης καυσίμων σε όλο τον κόσμο. Σε αυτή την περίπτωση, πριν από τη φόρτωση (Loading) του καυσίμου από τον τερματικό λιμένα στη φορτηγίδα, ζητείται επαλήθευση από τον χειριστή του τερματικού φόρτωσης ότι οι αγωγοί μεταφοράς καυσίμου έχουν καθαριστεί σωστά, για να αποφευχθεί κάθε είδους πιθανή μόλυνση από προηγούμενα προϊόντα, που έχουν μεταφερθεί μέσω του ίδιου αγωγού. Συνίσταται η λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος κατά τη φόρτωση της φορτηγίδας, το οποίο θα πρέπει να γίνει δεκτό και να υπογραφεί η εγγυρότητά του από έναν εκπρόσωπο της φορτηγίδας μεταφοράς καυσίμου και από έναν εκπρόσωπο του τερματικού φόρτωσης. Επιπλέον, κατά τη φόρτωση της φορτηγίδας, πρέπει να αποφεύγεται η αποθήκευση διαφορετικών παρτίδων προϊόντων στην ίδια δεξαμενή φορτίου και να ζητούνται εγγυήσεις ότι το δοχείο φορτίου έχει καθαριστεί σωστά, κυρίως αν το προηγούμενο φορτίο παρουσιάζει κίνδυνο διασταυρούμενης μόλυνσης. Έχοντας ολοκληρωθεί το κομμάτι της φόρτωσης καυσίμου (Loading) από το λιμάνι στην μπάριζα, ακολουθεί η διαδικασία του εφοδιασμού καυσίμου (Bunkering) από την μπάριζα στο πλοίο. Αφότου έχει πραγματοποιηθεί η άφιξη του πλοίου, της φορτηγίδας και του αρμόδιου επιθεωρητή στον προορισμό πετρέλευσης, ξεκινάει η διαδικασία πρόσδεσής της (mooring) στο πλοίο, στο σημείο που βρίσκεται η έξοδος του κεντρικού συστήματος σωληνώσεων για τροφοδότηση καυσίμου, δηλαδή στα bunker manifolds. Ο οπτικός έλεγχος των αγωγών, συμπεριλαμβανομένων οποιωνδήποτε εσωτερικών ή εξωτερικών συστημάτων ρύθμισης υπερχειλίσης, καθώς επίσης και η επιτήρηση στη διάταξη και τη λειτουργία των βαλβίδων ελέγχων – μετρητών είναι απαραίτητος σε αυτό το σημείο. Οι συναγερμοί υψηλής στάθμης και υπερχειλίσης του καυσίμου πρέπει να ελεγχθούν με δοκιμαστική ενεργοποίηση εάν είναι δυνατόν.¹³⁰ Σε αυτό το σημείο, πρέπει επιπλέον, να εξασφαλιστεί ότι είναι κλειστές όλες οι πόρτες στο στεγασμένο χώρο του πλοίου, που βρίσκεται πάνω από το κύριο κατάστρωμα και προορίζεται για τη διαμονή πληρώματος και επιβατών (π.χ. καμπίνες, τραπεζαρίες κλπ.), για να εμποδίζεται η είσοδος αναθυμιάσεων σε αυτό, να απαγορευτεί το κάπνισμα και η χρήση φωτιάς στο κατάστρωμα. Ακόμη ασφαλιζονται οι αντλίες αποστράγγισης νερού του καταστρώματος, έτσι ώστε σε περίπτωση που χυθούν καύσιμα στο κατάστρωμα κατά την πετρέλευση, να μη διαρρέυσουν στη θάλασσα.¹³¹ Με την ολοκλήρωση της πρόσδεσης της μπάριζας στο πλοίο, ο υπεύθυνος από την πλευρά της με τον Chief Engineer του πλοίου συμπληρώνουν και υπογράφουν από κοινού το “Bunkering Safety Check List”, στο οποίο καταγράφονται πληροφορίες που αφορούν στην ασφάλεια, το “Bunker requisition form”,

¹³⁰ (Miller T. , 2018)

¹³¹ (Μπακάλη, 2017)

στο οποίο καταγράφονται τα είδη, η ποσότητα και η ποιότητα των ναυτιλιακών καυσίμων, καθώς επίσης η σειρά και ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρονται τα καύσιμα. Παράλληλα παραδίδεται το “Material Safety Data Sheet” από τη φορτηγίδα στο πλοίο, το οποίο περιέχει βασικές πληροφορίες για την επικινδυνότητα, την κατάλληλη αποθήκευση και μεταφορά του καυσίμου. Ο επιθεωρητής φορτίου του πλοίου προχωρά στις μετρήσεις όλων των δεξαμενών, για τον ακριβή υπολογισμό των ποσοτήτων που έχει η κάθε μια πριν την έναρξη της παράδοσης. Επίσης είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί δειγματοληψία καυσίμου κατευθείαν από τις δεξαμενές για περαιτέρω ανάλυση και καλύτερη εξακρίβωση της ποιότητας. Μετά το πέρας των μετρήσεων και αφού καταγραφούν οι ώρες έναρξης, λήξης αρχικής επιθεώρησης και υπολογισμών, ο επιθεωρητής εκδίδει τα έγγραφα με τις αρχικές ποσότητες του πλοίου και της μπάριζας, τα οποία υπογράφονται και από τις δύο πλευρές. Ταυτόχρονα, τα πληρώματα κάνουν την σύνδεση των ειδικών σωλήνων μεταφοράς καυσίμου (bunker hoses) με την πηγή παροχής καυσίμου (manifold) και εγκαθιστούν στο σημείο σύνδεσης τον ειδικό δειγματολήπτη, για τη δημιουργία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του κάθε φορτίου με σκοπό τον μετέπειτα ποιοτικό έλεγχο τους. Η αντλία μεταφοράς καυσίμου πρέπει να είναι απομονωμένη, οι βαλβίδες ελέγχου παροχής του συστήματος θα πρέπει να είναι σωστά ευθυγραμμισμένες για να τροφοδοτήσουν τις επιθυμητές δεξαμενές από την πηγή παροχής καυσίμου. Μετά το πέρας όλων των παραπάνω διαδικασιών ελέγχου, η μεταφορά καυσίμου από την μπάριζα στο πλοίο ξεκινά με χαμηλές πιέσεις στην αρχή και με το ρυθμό να ανεβαίνει σταδιακά, αφού πρώτα έχει επιβεβαιωθεί ξανά ότι το φορτίο μεταφέρεται στις σωστές δεξαμενές. Κατά τη διάρκεια της πετρέλευσης απαιτείται να βρίσκεται ένα άτομο στο κατάστρωμα του πλοίου στο σημείο του manifold. Επίσης πρέπει ένα άτομο από το πλήρωμα να βρίσκεται πάνω στη λάντζα, για να ελέγχει την αρχή και το τέλος της πετρέλευσης αλλά και να παρακολουθεί τη δειγματοληψία. Ο εφοδιασμός ολοκληρώνεται όταν έχει φορτωθεί η συμφωνηθείσα ποσότητα και τότε καταγράφεται η ώρα. Μετά το πέρας 10-15 λεπτών από το τέλος παράδοσης, μέχρι να σταθεροποιηθούν οι στάθμες καυσίμων στις δεξαμενές και να αδειάσουν οι γραμμές, ο επιθεωρητής μαζί με τους εκπροσώπους του πλοίου και της φορτηγίδας προμήθειας καυσίμου, επαναλαμβάνει τη διαδικασία των μετρήσεων. Διεξάγονται και οι απαραίτητοι υπολογισμοί για να πιστοποιηθεί ότι το πλοίο έχει παραλάβει την ποσότητα που απαιτείται και σε αντίθετη περίπτωση, η μπάριζα συνεχίζει τον εφοδιασμό καυσίμου. Σε αυτή την περίπτωση, ο επιθεωρητής εκδίδει ένα “Statement of Facts” με τυχόν παρατηρήσεις όπως υποψίες για νόθευση φορτίου. Όταν έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς οι τελικές μετρήσεις συλλέγονται τα τελικά αντιπροσωπευτικά δείγματα, σφραγίζονται και διανέμονται στα συμβαλλόμενα μέρη. Η πετρέλευση ολοκληρώνεται όταν εκδίδονται και υπογράφονται με τη σειρά τους τα απαιτούμενα έγγραφα από την κάθε πλευρά: Από τον επιθεωρητή, οι φόρμες υπολογισμού των τελικών ποσοτήτων φορτίων στο πλοίο και στην μπάριζα, το “Sample report” που περιέχει τα δείγματα με ημερομηνία και ώρα δειγματοληψίας, είδος, ποσότητα, τρόπο και σημείο δειγματοληψίας και το “Time Log”, που καταγράφει όλες τις ώρες των διαδικασιών που περιγράφηκαν, με την προσθήκη της ώρας παράδοσης των εγγράφων στο πλοίο, την εκτιμώμενη ώρα αποχώρησης του επιθεωρητή και την εκτιμώμενη ώρα που η μπάριζα αποσυνδέεται από το πλοίο. Από την πλευρά της μπάριζας εκδίδεται το BDN - “Bunker Delivery Note”, το οποίο υπογράφεται και σφραγίζεται από τον Cargo Officer της μπάριζας και τον Chief Engineer του πλοίου. Όταν η διαδικασία της πετρέλευσης έχει πια ολοκληρωθεί, ο επιθεωρητής και ο εκπρόσωπος της μπάριζας αναχωρούν και τα πλοία αποσυνδέονται μεταξύ τους (unmooring) και απομακρύνονται με χαμηλές ταχύτητες. Οι εκπρόσωποι της μπάριζας και του πλοίου ενημερώνουν το αντίστοιχο Logbook τους με τις κινήσεις του καυσίμου (παράδοση και παραλαβή) που πραγματοποιήθηκαν και η εταιρεία ενημερώνεται

από το πλοίο για τους χρόνους, τις διαδικασίες και τις ποσότητες των καυσίμων με επισύναψη του BDN.¹³²



Σχήμα 6-1: Στάδια υπεράκτιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship)

6.1.2 Απευθείας Προμήθεια Καυσίμου (Shore-to-Ship Bunkering)

Η δεύτερη μέθοδος είναι η προμήθεια καυσίμων απευθείας από τις δεξαμενές αποθήκευσης του λιμένα, όταν το σκάφος βρίσκεται σε αγκυροβόλιο και συναντάται πολύ πιο σπάνια από τη διαδικασία του υπεράκτιου ανεφοδιασμού. Σε αυτή την περίπτωση η παράδοση στο πλοίο γίνεται από μια δεξαμενή ξηράς (στο διυλιστήριο ή τον τερματικό σταθμό) μέσω αγωγού. Η άδεια για τη διεξαγωγή αυτής της μεθόδου παραχωρείται όταν το σημείο ανάφλεξης του καυσίμου είναι τουλάχιστον 60 °C.

Πίνακας 6-1: Παραδείγματα βαθμών flashpoints των ναυτιλιακών καυσίμων.¹³³

	Flashpoint (°C)
HFO	>65
MDO-MGO	>60
ULSFO	>70

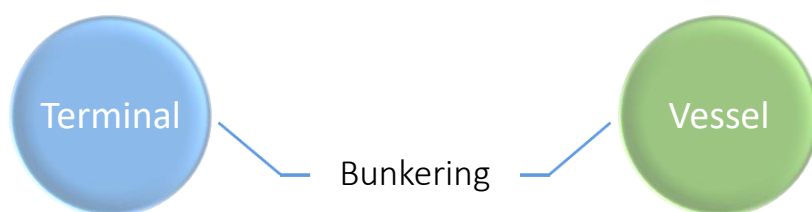
Ταυτόχρονα, η χερσαία εγκατάσταση πρέπει να διαθέτει εξοπλισμό περιορισμού πετρελαιοκηλίδων ("Oil spill equipment") κοντά στις συνδέσεις των σωλήνων πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τη μεταφορά πετρελαίου. Αυτός ο εξοπλισμός δεν πρέπει να αφαιρείται μέχρις ότου αποσυνδεθούν οι σωλήνες μεταφοράς πετρελαίου. Συνδυαστικά είναι απαραίτητο και το ίδιο το πλοίο να διαθέτει κάποιου είδους ανάλογο εξοπλισμό κοντά στο σημείο σύνδεσης του εύκαμπτου σωλήνα καυσίμων.

Η διαδικασία ακολουθεί τη λογική του υπεράκτιου ανεφοδιασμού, αυτή τη φορά χωρίς τη μεσολάβηση φορτηγίδας – μπάριζας. Αφότου έχει πραγματοποιηθεί η άφιξη του πλοίου στην καθορισμένη και εγκεκριμένη θέση του λιμένα πετρέλευσης, προετοιμάζεται η διαδικασία πρόσδεσης του εύκαμπτου σωλήνα μεταφοράς φορτίου (hose) του πλοίου, στο σταθερό αγωγό καυσίμου της πηγής παροχής καυσίμου, που βρίσκεται στο λιμάνι. Η κατάσταση των αγωγών και από τις δύο πλευρές πρέπει να έχει ήδη ελεγχθεί από το προσωπικό και μόλις ολοκληρωθεί η σύνδεσή τους, ο κύριος μηχανικός εξασφαλίζει ότι οι βαλβίδες της γραμμής

¹³² ("Best practice guidance for suppliers for assuring the quality of bunkers delivered to ships.", 2018)

¹³³ (Wright & Wilson, 2012)

που οδηγούν το καύσιμο στις επιλεγμένες δεξαμενές είναι ανοικτές. Επιπλέον, δεν ξεκινά η μεταφορά του πετρελαίου μέχρις ότου το σκάφος να επιβεβαιώσει ότι έχει λάβει άδεια από το λιμάνι και να έχει ενημερώσει με τη σειρά του το λιμάνι ότι έχουν ολοκληρωθεί και υπογραφεί τα Bunkering Safety Check List και Ship/Shore Safety Checklist που απαιτούνται και βρίσκονται στο παράρτημα. Ο επιθεωρητής φορτίου του πλοίου προχωρά στις μετρήσεις όλων των δεξαμενών, για τον ακριβή υπολογισμό των ποσοτήτων που έχει η κάθε μια πριν την έναρξη της παράδοσης και εκδίδει τα έγγραφα με τις αρχικές ποσότητες του πλοίου. Μόλις ολοκληρωθούν όλοι οι έλεγχοι και συμφωνηθεί από τις δύο πλευρές ο ρυθμός τροφοδοσίας, ξεκινά ο ανεφοδιασμός¹³⁴ και παραδίδεται το "Material Safety Data Sheet" από τον τερματικό στο πλοίο, το οποίο περιέχει βασικές πληροφορίες που αφορούν στο καύσιμο. Στο σημείο σύνδεσης μεταξύ των συνδεδεμένων αγωγών του τερματικού και του σκάφους, τοποθετείται ο ειδικός δειγματολήπτης, για την δημιουργία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του φορτίου με σκοπό τον μετέπειτα ποιοτικό έλεγχό του. Κατά την διάρκεια της πετρέλευσης απαιτείται να βρίσκεται ένα άτομο στο κατάστρωμα του πλοίου και ένα άτομο από το πλήρωμα στο λιμάνι, για να ελέγχει την αρχή και το τέλος της πετρέλευσης αλλά και να παρακολουθεί τη δειγματοληψία. Ο εφοδιασμός ολοκληρώνεται όταν έχει φορτωθεί η συμφωνηθείσα ποσότητα και τότε καταγράφεται η ώρα. Μετά από την ολοκλήρωση της παράδοσης, διεξάγονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για να πιστοποιηθεί ότι το πλοίο έχει παραλάβει την ποσότητα που απαιτείται και σε αντίθετη περίπτωση, σηματοδοτείται η συνέχεια εφοδιασμού καυσίμου. Σε αυτή την περίπτωση, ο επιθεωρητής εκδίδει ένα "Statement of Facts" με τυχόν παρατηρήσεις όπως υποψίες για νόθευση καυσίμου. Όταν έχουν ολοκληρωθεί επιτυχώς οι τελικές μετρήσεις συλλέγονται τα τελικά αντιπροσωπευτικά δείγματα, σφραγίζονται και διανέμονται στα συμβαλλόμενα μέρη. Η πετρέλευση ολοκληρώνεται όταν εκδίδονται και υπογράφονται με τη σειρά τους τα απαιτούμενα έγγραφα από την κάθε πλευρά: Από τον επιθεωρητή, οι φόρμες υπολογισμού των τελικών ποσοτήτων φορτίων στο πλοίο και στην μπάριζα, το "Sample report" που περιέχει τα δείγματα με ημερομηνία και ώρα δειγματοληψίας, είδος, ποσότητα, τρόπο και σημείο δειγματοληψίας και το "Time Log", που καταγράφει όλες τις ώρες των διαδικασιών που περιγράφηκαν, με την προσθήκη της ώρας παράδοσης των εγγράφων στο πλοίο. Σε αυτό το σημείο εκδίδεται και το BDN - "Bunker Delivery Note", το οποίο υπογράφεται και σφραγίζεται από τον Chief Engineer του πλοίου. Όταν η διαδικασία της πετρέλευσης έχει πια ολοκληρωθεί, το πλοίο «αποσυνδέεται» από το λιμάνι και η εταιρεία ενημερώνεται από το πλοίο για τους χρόνους, τις διαδικασίες και τις ποσότητες των καυσίμων με επισύναψη του BDN.¹³⁵



Σχήμα 6-2: Στάδια απευθείας προμήθειας καυσίμου (shore-to-ship)

¹³⁴ ("Ship Bunker Operations from Fixed Shore Installations.", 2017)

¹³⁵ ("Best practice guidance for suppliers for assuring the quality of bunkers delivered to ships.", 2018)

6.2 Έλεγχος Καταλληλότητας Blockchain-Based Συστήματος BDN

Η αλυσίδα εφοδιασμού, συμπερασματικά, από το διυλιστήριο μέχρι το σημείο παράδοσης του Bunker σε ένα πλοίο ποικίλλει και μπορεί να αποτελεί μια εκτεταμένη και σύνθετη διαδικασία. Το τελικό προϊόν μπορεί να αποτελεί μίγμα συστατικών από πολλαπλές πηγές και επομένως, είναι σημαντικό να διενεργούνται συνεχείς έλεγχοι για να διασφαλίζεται ότι η ποιότητα του τελικού προϊόντος που εισέρχεται στο σκάφος πληροί τις σχετικές προδιαγραφές. Σε κάθε περίπτωση, η αξιοπιστία της μεθόδου εισαγωγής καυσίμου στο πλοίο εξαρτάται κυρίως από την εγκυρότητα των τιμών στο δελτίο παραλαβής BDN που παρέχονται από το λιμάνι εφοδιασμού του καυσίμου και από το ίδιο το πλοίο. Η διαδικασία αυτή, όπως έχει προαναφερθεί, είναι εξαιρετικά αμφίβολη. Η τεχνολογία Blockchain έχει την ικανότητα να αποτελέσει έναν ασφαλή οδηγό για τον έλεγχο της ποιότητάς και τη διαφανή και έγκυρη καταγραφή του καυσίμου εισόδου. Η καινοτόμος διαδικασία που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στον τομέα της ναυτιλίας, για την αποτελεσματική στελέχωση της δράσης των κανονισμών που αφορούν στην προστασία από την ατμοσφαιρική ρύπανση, είναι η τεχνολογία Blockchain.

Η διαδικασία για να αποφασιστεί, αρχικά, αν στην προκειμένη περίπτωση η χρήση της τεχνολογίας είναι ενδεδειγμένη, ακολουθεί στη συνέχεια.

- Αποθήκευση δεδομένων με χρονική σήμανση

Προκειμένου να διασφαλιστεί ο ποιοτικός έλεγχος σε ολόκληρη τη διαδικασία εφοδιασμού καυσίμου, χωρίς την παρουσία επιθεωρητικής αρχής, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διατηρείται ιστορικό, που να βοηθά στον εντοπισμό της αρχικής προέλευσης και των διάφορων κρίκων της αλυσίδας, ώστε να καταστεί δυνατή η ανιχνευσιμότητα πιθανών προβλημάτων στην πηγή τους. Τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τον εφοδιασμό μια κεντρικής βάσης δεδομένων που αφορούν στο Δελτίο Παράδοσης Καυσίμων (Bunker Delivery Note) είναι πληροφορίες για την ταυτότητα του πλοίου, του καυσίμου και της διαδικασίας Bunkering.

- Ύπαρξη πολλαπλών «συγγραφών»

Οι εφαρμογές με βάση το Blockchain στη ναυτιλιακή βιομηχανία απαιτούν την ύπαρξη και συμμετοχή από πολλούς ενδιαφερόμενους, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να μοιράζονται δεδομένα μέσω αυτού του συστήματος. Ταυτόχρονα είναι εμφανές ότι τα μέρη που εμπλέκονται στη διαδικασία έχουν αντικρουόμενα κίνητρα ή δεν υπάρχει εμπιστοσύνη μεταξύ τους. Τέτοιοι συμμετέχοντες είναι:

Ο Ρυθμιστής (IMO, EU Regulator), ο οποίος θεσπίζει τις επιτρεπόμενες τιμές συστατικών των ναυτιλιακών καυσίμων, σύμφωνα με το ISO 8217.

Ο Πλοιοκτήτης και η Ναυτιλιακή Εταιρεία παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ταυτότητα του σκάφους, της φορτηγίδας, τον αριθμό δεξαμενών για τον εφοδιασμό και την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου.

Λιμένες που προμηθεύουν το καύσιμο σε πλοία είτε μέσω υπεράκτιου ανεφοδιασμού (Ship-to-Ship), είτε με απευθείας προμήθεια καυσίμου (Shore-to-Ship).

- Απουσία TTP (Trusted Third Party) σε μόνιμη σύνδεση με τη διαδικασία

Με την εφαρμογή της Blockchain τεχνολογίας στην επικύρωση του Bunker Delivery Note, η δράση των οργανισμών που εξασφάλιζαν τη μέχρι πρότινος διαδικασία του Bunkering, όπως οι Επιθεωρητές, μειώνεται και η σύνδεση τους με τη διαδικασία εξαρτάται πια από το είδος του Blockchain συστήματος που έχει αποφασιστεί να χρησιμοποιηθεί. Η αλλαγή στη συμμετοχή των TTP, οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνολογία Blockchain μπορεί να δημιουργήσει αξιόπιστη εμπιστοσύνη μεταξύ των κόμβων του δικτύου, κάνοντας τη διαδικασία ανεξάρτητη από ένα κεντρικό κόμβο TTP, με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων που εξασφαλίζουν την ασφάλεια των δεδομένων και την ψηφιακή επιβεβαίωση εγκυρότητας των διαδικασιών.

Έχει επαληθευτεί ότι χρειάζεται μια βάση αποθήκευσης, ότι θα υπάρχουν πολλοί συγγραφείς στο σύστημα και ότι τα TTP δεν είναι πάντα συνδεδεμένα. Από την παραπάνω διαδικασία λήψης αποφάσεων, επιβεβαιώνεται ότι η τεχνολογία Blockchain δύναται να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση της μελέτης μας.

Οι κατηγορίες Blockchain που έχουν ήδη περιγραφεί είναι το Δημόσιο, το Ιδιωτικό και το Ομοσπονδιακό Blockchain. Καθώς η τεχνολογία που υποστηρίζει το Ομοσπονδιακό σύστημα βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο και δεν είναι σαφές πώς μπορεί να υιοθετηθεί άμεσα με αποδοτικό τρόπο, όσον αφορά στη ναυτιλία, η συλλεγμένη ερευνητική πληροφόρηση σχετικά με την επιλογή του είδους Blockchain περιορίζεται μόνο στο αν πρόκειται για Δημόσιο ή Ιδιωτικό. Στην περίπτωση ενός Δημοσίου συστήματος Blockchain, οι ταυτότητες των συμμετεχόντων δεν είναι γνωστές, τα δεδομένα που συλλέγονται και εγγράφονται είναι διαφανή και ανοιχτά σε όλους και υπάρχει η δυνατότητα ένταξης στο δίκτυο νέων ανώνυμων κόμβων, οι οποίοι μπορούν να συμμετέχουν, να επεξεργάζονται και να επιβεβαιώνουν τα νέα δεδομένα και τις κινήσεις των υπολοίπων. Το Δημόσιο σύστημα Blockchain, επομένως, θα μπορούσε να αποτελέσει τον τρόπο αποθήκευσης πληροφοριών για το δελτίο παραλαβής καυσίμου, στην ιδανική περίπτωση που οι πλοιοκτήτες και οι ναυτιλιακές εταιρείες, που διαχειρίζονται τους στόλους, παρείχαν πλήρως διαφανή δεδομένα. Όμως, οι συνθήκες της αγοράς θέτουν αρκετούς περιορισμούς στην ανοιχτή δημοσίευση δεδομένων, θεωρώντας τα εμπορικά και ναυτιλιακά εμπιστευτικά. Ταυτόχρονα, καθώς οι συγγραφείς στο Δημόσιο δίκτυο δεν είναι γνωστοί και άρα ούτε αξιόπιστοι, χρειάζεται επιπλέον η δημόσια επαλήθευση κάθε συναλλαγής τους, γεγονός που δημιουργεί ένα πιο αργό δίκτυο. Επομένως, υπό τις παρούσες συνθήκες του ναυτιλιακού χώρου, το Ιδιωτικό δίκτυο Blockchain αποτελεί την ιδανική λύση. Σε αυτή την περίπτωση, υπάρχει διαφάνεια στις δράσεις μεταξύ των μελών, τα οποία μπορούν να διαβάσουν, να επεξεργαστούν και να επαληθεύσουν τα δεδομένα, ωστόσο έξω από το σύστημα διατηρείται η εμπιστευτικότητα των εμπορικών και ναυτιλιακών πληροφοριών που αφορούν στην απόκτηση καυσίμου. Οι κύριες πλατφόρμες για την ανάπτυξη ενός δικτύου Blockchain, που περιγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι το Hyperledger Project και το Ethereum. Από τη στιγμή που αποφασίστηκε ότι ο κατάλληλος τύπος Blockchain για τις ανάγκες του συστήματος BDN είναι το Ιδιωτικό Δίκτυο, το Ethereum απορρίπτεται, καθώς ανταποκρίνεται στις ανάγκες των Δημοσίων συστημάτων. Επομένως, το Hyperledger Fabric θα ήταν η ιδανική πλατφόρμα για την εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων, εξασφαλίζοντας το ιδιωτικό απόρρητο και την εμπιστευτικότητα των πληροφοριών και των δράσεων των συμμετεχόντων.

6.3 Υλοποίηση Blockchain-Based Συστήματος BDN

Ένα σύστημα Blockchain, με μια απλή περιγραφή, είναι ένα ψηφιακό ημερολόγιο, στο οποίο καταγράφονται χρονολογικά και με ασφάλεια οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται σε αυτό. Αυτές οι συναλλαγές καταγράφονται σε έγκυρα Blocks. Στη παράγραφο που προηγήθηκε, στην οποία διερευνήθηκε η καταλληλότητα της τεχνολογίας Blockchain και αναζητήθηκε η ιδανική κατηγορία Blockchain για την ανάπτυξη της εφαρμογής του BDN, αναδείχτηκε ότι το Hyperledger Fabric θα ήταν η ιδανική πλατφόρμα για την εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων σε ένα ιδιωτικό Blockchain δίκτυο για την αποθήκευση πληροφοριών σε ένα ψηφιακό Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου (BDN), εξασφαλίζοντας το ιδιωτικό απόρρητο και την εμπιστευτικότητα των πληροφοριών και των δράσεων των συμμετεχόντων. Ωστόσο, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί κώδικας που να περιγράφει το ζητούμενο σύστημα σε περιβάλλον Matlab R2019b, ακολουθώντας βέβαια την αρχιτεκτονική και τη δομή που ορίζει η τεχνολογία Blockchain. Το Matlab είναι λογισμικό πρόγραμμα που στηρίζεται σε γλώσσα προγραμματισμού, η οποία διδάσκεται στα πλαίσια της σχολής. Ο κώδικας επομένως που δημιουργήθηκε αφορά στο τελικό στάδιο της διαδικασίας του Bunkering, δηλαδή περιγράφει την αποθήκευση πληροφοριών σε ένα ψηφιακό Δελτίο Παράδοσης Καυσίμου (BDN), αφότου έχει συμφωνηθεί από τους συμμετέχοντες ότι η διαδικασία του Bunkering πρόκειται να πραγματοποιηθεί. Θεωρήθηκε ότι τα αρχεία με τις απαραίτητες πληροφορίες για τη συμπλήρωση του BDN παρέχονται στο δίκτυο από το χρήστη της ναυτιλιακής εταιρείας, η οποία με τη σειρά της τα έχει λάβει από τους συμμετέχοντες, δηλαδή το λιμένα και το πλοίο. Επιλέχθηκε να μη δημιουργηθεί περιβάλλον στο οποίο να δρουν ταυτόχρονα περισσότερα του ενός Interface, καθώς η αποθήκευση του BDN δεν προϋποθέτει την ταυτόχρονη εισαγωγή δεδομένων από τους χρήστες, αλλά περιλαμβάνει τα ήδη επικυρωμένα στοιχεία από τους συμμετέχοντες και από το εργαστήριο δειγματοληψίας.

6.3.1 Δομή των Blocks στο Σύστημα BDN

Το πρώτο λογικό βήμα είναι να αποφασιστεί η δομή των Blocks που θα αποτελέσουν την αλυσίδα. Τα βασικά στοιχεία κάθε Block, σύμφωνα με τη θεωρία της αρχιτεκτονικής της τεχνολογίας Blockchain, περιλαμβάνουν τα στοιχεία: index, data, timestamp, nonce, hash, previous hash. Για τη δημιουργία των Block δημιουργήθηκε μια συνάρτηση "obj" στο Matlab η οποία αντιστοιχεί τις τιμές των index, data, timestamp και previous hash που εισέρχονται σε αυτή με τη σωστή τους θέση μέσα στη δομή του κάθε Block. Ακολουθεί το αντίστοιχο απόσπασμα του κώδικα.

```

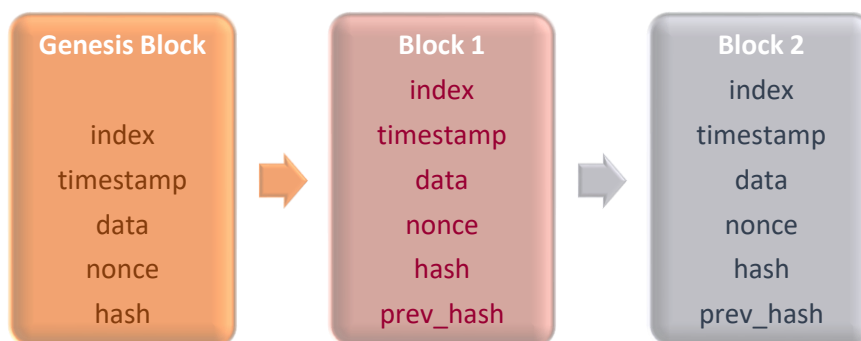
function obj = Block(index,data,timestamp,prev_hash)
    if nargin == 3           % genesis block
        obj.index = index ;
        obj.data = data ;
        obj.timestamp = timestamp ;

    elseif nargin == 4      %other blocks
        obj.index = index ;
        obj.data = data ;
        obj.timestamp = timestamp ;
        obj.prev_hash = prev_hash;
    end
end
end

```

Σχήμα 6-3: Δημιουργία δομικών στοιχείων των Blocks

Οι τιμές των στοιχείων hash, nonce εισέρχονται σε κάθε Block κατά τη διαδικασία του “Mining”, που θα περιγραφεί αναλυτικά στη συνέχεια.



Σχήμα 6-4: Δομή των Blocks

- Το hash, ή αλλιώς λειτουργία κατακερματισμού, για κάθε Block υπολογίζεται μέσω μιας συνάρτησης. Η συνάρτηση αυτή λαμβάνει μια είσοδο δεδομένων και εξάγει για κάθε Block μια μοναδική, αλφαριθμητική αλυσίδα σταθερού μήκους. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση “DataHash-version 1.7.1 (12 KB) by Jan” και δέχεται σαν είσοδο πίνακα string με τα δεδομένα που περιλαμβάνονται στο δελτίο παράδοσης καυσίμου (BDN) και χαρακτήρες που περιγράφουν τον τύπο του hash που θέλουμε να λάβουμε. Σαν χαρακτήρες που προσδιορίζουν το hash χρησιμοποιήθηκαν:
 - 'ascii', που είναι μια αριθμητική σειρά, στην οποία μόνο το 8-bit περιεχόμενο των πινάκων εισόδου χρησιμοποιείται.
 - 'SHA-256', που είναι ο αλγόριθμος κρυπτογράφησης που χρησιμοποιείται και στα Bitcoins και ο οποίος όταν κρυπτογραφεί τα δεδομένα επιστρέφει ένα μοναδικό αλφαριθμητικό hash.

Δίνεται ενδεικτικά η συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του hash του Genesis Block και καλεί τη “DataHash” :


```

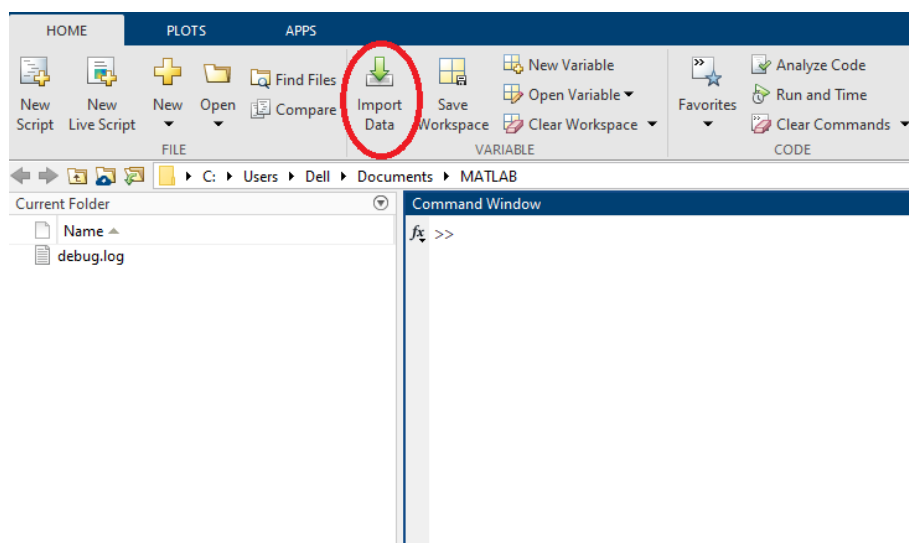
function calculateGenesisBlockHash(obj)
    gb = obj.blockArray(1);
    Opt.Method = 'SHA-256';
    Opt.Input = 'ascii';
    str = strcat(num2str(gb.index), gb.data);
    gb.hash = DataHash( str , Opt);
end

```

Σχήμα 6-5: Δημιουργία της λειτουργίας κατακερματισμού του Genesis Block σε κώδικα Matlab

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 5.2.2.1 , οι λειτουργίες κατακερματισμού πρέπει:

- Να εκτελούνται σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα.
 - Να είναι ντετερμινιστικές, δηλαδή για δεδομένη είσοδο, πρέπει να παράγεται πάντα το ίδιο αποτέλεσμα.
 - Να παράγει πάντοτε, ανεξάρτητα από το ποια είναι η είσοδος, έξοδο σε μορφή αλφαριθμητικού κώδικα σταθερού μήκους
 - Να προβάλλει «αντίσταση σε συγκρούσεις», δηλαδή η εύρεση δύο διαφορετικών εισόδων που παράγουν την ίδια έξοδο να είναι απίθανη.
- Το previous hash συνδέει κάθε Block με το προηγούμενό του. Το Genesis Block, καθώς είναι το πρώτο που δημιουργείται αυτοματοποιημένα και δεν έχει προκάτοχο, δεν περιλαμβάνει το χαρακτήρα του previous hash. Το στοιχείο του previous hash πρέπει να υπάρχει σε κάθε επόμενο Block, για να ελέγχεται η ακεραιότητα της αλυσίδας.
 - Τα δεδομένα (data) που αφορούν το BDN είναι αρχεία .xlsx με στοιχεία πλοίων, λιμένων υποδοχής, πληροφορίες για το Bunkering και τέλος, τα χαρακτηριστικά καυσίμου. Τα στοιχεία των αρχείων είναι υποτυπώδη, δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χωρίς να βασίζονται σε αρχεία πραγματικών τιμών και αφορούν σε τρεις υποθετικές διαδικασίες πετρέλευσης ενός πλοίου. Τα δεδομένα εισάγονται μέσω του Import Data στο Workspace του Matlab, με τη μορφή String Arrays, για να διευκολυνθεί η χρήση τους στη συνάρτηση υπολογισμού του hash.



Σχήμα 6-6: Εισαγωγή αρχείων data

IMPORT VIEW

Range: A2:G4

Output Type: String Array

Variable Names Row: 1

Text Options

Import Selection

IMPORT

Shipinfo.xlsx

Shipinfo							
	Name	IMO Number	Homeport	ShipOwner	DWT	GrossTonn...	Ship Categ...
2	Ship1	804509	Piraeus	Kat	30000	22000	A
3	Ship2	813565	Piraeus	Kat	80000	65000	A
4	Ship3	852876	Piraeus	Kat	50000	35000	A

Σχήμα α 6-7: Εισαγωγή στοιχείων πλοίων

IMPORT VIEW

Range: A2:D4

Output Type: String Array

Variable Names Row: 1

Text Options

Import Selection

IMPORT

Terminalinfo.xlsx

Terminalinfo				
	Port Name	Name of S...	Adress of S...	Telephone ...
2	Rotterdam	A	P.O. Box 66...	31 (0) 10 25...
3	Hamburg	B	Mattentwie...	+49-40 / 37...
4	Piraeus	C	10 Akti Mia...	210 4550229

Σχήμα 6-8: Εισαγωγή στοιχείων λιμένων

IMPORT VIEW

Range: A2:F4

Output Type: String Array

Variable Names Row: 1

Text Options

Import Selection

IMPORT

Bunkeringdetails.xlsx

Bunkeringdetails						
	Bunkering ID	Start Date	Completi...	ISO Grade	Product	Fuel Quanti...
2	1	1.1.2020	1.1.2020	marine gas ...	DMX	900
3	2	2.2.2020	2.2.2020	heavy fuel oil	RMA10	4000
4	3	3.3.2020	3.3.2020	marine gas ...	DMX	900

Σχήμα 6-9: Εισαγωγή στοιχείων διαδικασίας Bunkering

IMPORT VIEW

Range: A2:G4

Output Type: Table

Variable Names Row: 1

Text Options

Replace unimportable cells with NaN

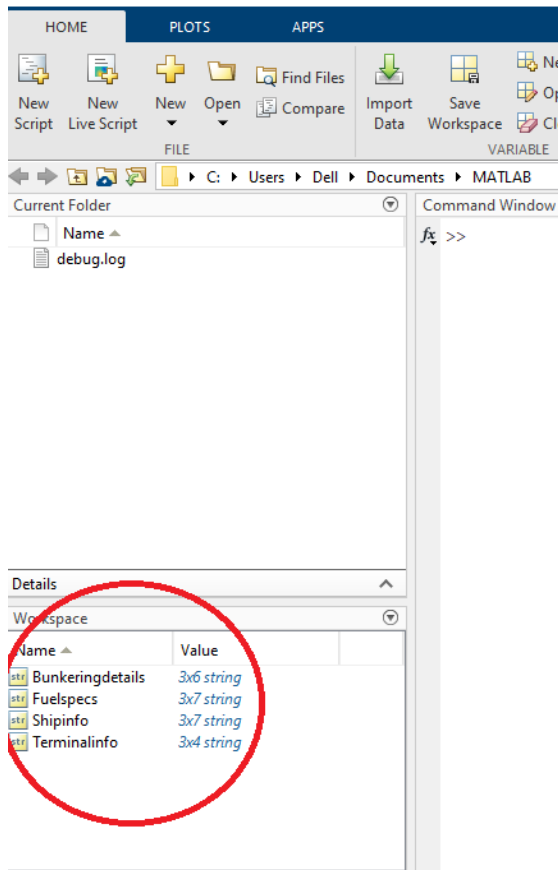
Import Selection

IMPORT

Fuelspecs.xlsx

Fuelspecs							
	Product	KinematicV...	Density	Sulfur	FlashPoint	HydrogenS...	AcidNumber
	Text	Number	Number	Text	Number	Number	Number
1	Product	KinematicV...	Density	Sulfur	FlashPoint	Hydrogen ...	Acid Numb...
2	DMX	5	800	0.5000	40	2	0.5000
3	RMA10	10	900	2	60	2	2.5000
4	DMX	5	800	0.5000	40	2	0.5000

Σχήμα 6-10: Εισαγωγή στοιχείων καυσίμου



Σχήμα 6-11: Αποθηκευμένα data στο Matlab Workspace

- Το index είναι ένας αριθμός ο οποίος χαρακτηρίζει τη σειρά με την οποία δημιουργείται το κάθε Block, με το Genesis Block να έχει τον αριθμό 0.
- Το timestamp περιλαμβάνει την ακριβή ημερομηνία και ώρα δημιουργίας του κάθε Block.
- Το nonce είναι μία τιμή-στόχος που χρησιμοποιείται ως Σύστημα Απόδειξης Εργασίας-Proof of Work για την επίτευξη της συναίνεσης στο σύστημα.

6.3.2 Προσθήκη Blocks στο Σύστημα BDN

Επιλέχθηκε να δημιουργηθεί Blockchain σύστημα για την αποθήκευση των στοιχείων του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN), για τρεις διαδικασίες Bunkering ενός πλοίου "Ship1". Το πρώτο Block δημιουργείται αυτοματοποιημένα, επομένως έχει αριθμό index 0 και χρησιμοποιεί σαν δεδομένα εισαγωγής το χαρακτηρισμό 'Genesis Block', χωρίς την εισαγωγή σε αυτό πραγματικών στοιχείων που αφορούν τη διαδικασία του Bunkering.

```
function obj = Blockchain()
    obj.blockArray = Block(0, 'Genesis Block', char(datetime));
    %genesis block is hard coded
    obj.totalCount = 1 ;
    obj.calculateGenesisBlockHash();
end
```

Σχήμα 6-12: Δημιουργία του Genesis Block σε περιβάλλον Matlab

Για την προσθήκη κάθε επόμενου Block στην αλυσίδα απαιτείται να επικυρωθεί η πραγματική σχέση του με το προηγούμενο Block, μέσα από την ύπαρξη του αληθινού previous hash στα δομικά στοιχεία του, αλλά και μέσα από τη διαδικασία του “Mining”. Η διαδικασία του “Mining” αποσκοπεί στην εύρεση μιας τιμής-στόχου, γνωστή ως nonce, μέσα από επαναλαμβανόμενη αναζήτησή της, σύμφωνα με κάποιο κριτήριο που έχει επιλεγεί. Αυτή η διαδικασία είναι περίπλοκη και απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ για να βρεθεί η σωστή τιμή του nonce. Η εύρεση περιγράφεται από τη σχέση:

$$\text{Hash}(\text{data}, \text{nonce}) = 00 \dots$$

Το κριτήριο που επιλέχθηκε στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το hash, εξαρτώμενο από τα δεδομένα και την τιμή-στόχο nonce, να έχει τις τιμές “00” στα πρώτα δύο ψηφία του. Το nonce αυξάνεται από την τιμή “1” μέχρι την τιμή για την οποία θα ικανοποιείται η απαίτηση που προαναφέρθηκε, με επαναληπτική διαδικασία. Η εύρεση του nonce μπορεί να θεωρηθεί ως “Proof of Work” του συστήματος, επιτυγχάνεται επομένως η συναίνεση στο δίκτυο (“Consensus”) και η διαδικασία επικύρωσης δεδομένων του Blockchain θεωρείται έγκυρη.¹³⁶ Στον κώδικα, η διαδικασία του “Mining” καλείται από την εντολή “m1”:

```
transaction{1}=Shipinfo(1,:);
transaction{2}=Terminalinfo(1,:);
transaction{3}=Bunkeringdetails(1,:);
transaction{4}=Fuelspecs(1,:);
m1=Miner(bc);
m1.mine(transaction);
```

Η συνάρτηση που εκτελεί τη διαδικασία του “Mining” ακολουθεί:

```
function mine(obj,newData)
    latestBlock = obj.blockchain.getLatest();
    newBlock = Block(latestBlock.index+1,...
    newData,...
    char(datetime),...
    latestBlock.hash);

    not_found = true;
    iter = 1;
    Opt.Method = 'SHA-256';
    Opt.Input = 'ascii';
    while( not_found)
        newHash = DataHash( strcat( newBlock.getCombined(),num2str(iter)));
        if( strcmp(newHash(1:2),'00') )
            newBlock.nonce = iter;
            newBlock.hash = newHash;
            obj.blockchain.addBlock(newBlock);
            break
        end
        iter = iter + 1;
    end
end
```

Σχήμα 6-13: Κώδικας δημιουργίας και επικύρωσης (mining) των Blocks στο σύστημα Blockchain

¹³⁶ (Ahmed, Li, & Ahmed, 2019)

Έτσι, προκύπτει τελικά το εικονιζόμενο σύστημα Blockchain από την εκτέλεση του υλοποιημένου κώδικα σε περιβάλλον Matlab:

m1.blockchain.blockArray(1, 1)	
Property ▲	Value
index	0
data	'Genesis Block'
timestamp	'16-Feb-2020 18:02:50'
nonce	[]
hash	'075c27741a3506846368fa6e5b3477f85b31ceee71a5716e2f12b40fa21d23aa'
prev_hash	[]

m1.blockchain.blockArray(1, 2)	
Property ▲	Value
index	1
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:02:50'
nonce	1144
hash	'002b1d4733d4f8bd3a6830eda9cf3064'
prev_hash	'075c27741a3506846368fa6e5b3477f85b31ceee71a5716e2f12b40fa21d23aa'

m1.blockchain.blockArray(1, 3)	
Property ▲	Value
index	2
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:02:56'
nonce	90
hash	'004e2a08b19f79268d72984763567b65'
prev_hash	'002b1d4733d4f8bd3a6830eda9cf3064'

m1.blockchain.blockArray(1, 4)	
Property ▲	Value
index	3
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:02:56'
nonce	464
hash	'00d82c4eef24fc7c8b769900acc0840e'
prev_hash	'004e2a08b19f79268d72984763567b65'

Σχήμα 6-14: Blockchain σύστημα BDN

Ακολουθεί ενδεικτικά ο τελικός πίνακας του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου-BDN, που προκύπτει από τις πληροφορίες που εμπεριέχονται στο στοιχείο “data” του Block με αριθμό index: 1. . Αντίστοιχη μορφή παρουσιάζουν και τα BDN των υπόλοιπων Blocks. Οι μονάδες μέτρησης των μεγεθών που εμφανίζονται ακολουθούν το πρότυπο : ISO 8217-2017 Fuel Standard for marine fuels που υπάρχει σε προηγούμενη παράγραφο που αφορά στα

καύσιμα. Υπενθυμίζεται ότι τα δεδομένα που εισήχθησαν στο υλοποιημένο σύστημα είναι υποτυπώδη, δημιουργήθηκαν δηλαδή στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας χωρίς να βασίζονται σε αρχεία πραγματικών τιμών.

Name	IMO Number	Homeport	ShipOwner	DWT	GrossTonnage	Ship Category
Ship1	804509	Piraeus	Kat	30000	22000	A
Port Name	Name of Supplier	Adress of Supplier	Telephone of Supplier			
Rotterdam	A	P.O. Box 6622, Rotter...	31 (0) 10 252 10 10			
Bunkering ID	Start Date	Completion Date	ISO Grade	Product	Fuel Quantity	
1	1.1.2020	1.1.2020	marine gas oil	DMX	900	
Product	KinematicViscosity	Density	Sulfur	FlashPoint	Hydrogen Sulfide	Acid Number
DMX	5	800	0	40	2	0.5

Σχήμα 6-15: Εξαγωγή στοιχείων BDN πρώτης διαδικασίας Bunkering, σε περιβάλλον Matlab.

Το Bunkering ID μαζί με την ημερομηνία της πετρέλευσης αποφασίστηκε να αποθηκεύονται και σε ξεχωριστό πίνακα, που απεικονίζεται στη συνέχεια, έτσι ώστε να είναι πιο άμεση η εύρεση της προέλευσης του πιθανού προβληματικού καυσίμου. Για παράδειγμα, οι περιπτώσεις υπερφόρτωσης στο στρόβιλο της μηχανής, αυξημένων θερμοκρασιών των εξερχόμενων καυσαερίων ή αυξημένης ποσότητας λάσπης, ακαθαρσιών και νερού στον αγωγό αποστράγγισης της δεξαμενής καυσίμου, αποτελούν ενδείξεις ότι το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε πιθανόν να μην πληροί τις προϋποθέσεις των κανονισμών.¹³⁷

The image shows a software interface with a 'Date' menu. The menu has two tabs: 'PLOTS' and 'VARIABLE'. Under 'PLOTS', there is a '+' icon and 'New from Selection'. Under 'VARIABLE', there is an 'Open' dropdown and a 'Print' icon. To the right, there is a 'Rows' section with a dropdown menu showing '[]' and a 'SELECT' button. Below the menu, there is a '2x3 cell' label and a table with the following data:

	1	2	3
1	1	2	3
2	"1.1.2020"	"2.2.2020"	"3.3.2020"

Σχήμα 6-16: Πίνακας εξαγωγής ημερομηνιών Bunkering

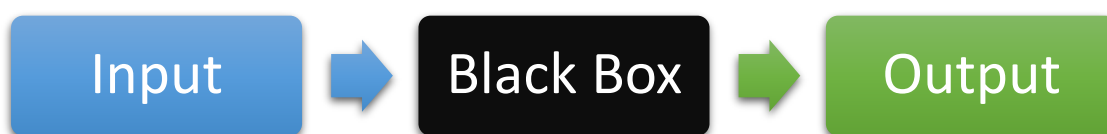
¹³⁷ ("Main Engine Damage due to bunkered fuel quality.", 2019)

7 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Κώδικα

Για να αξιολογηθεί αν το υλοποιημένο σύστημα εκτελείται αποδοτικά αποφασίστηκε να εφαρμοστεί η λογική της “Black Box” μεθόδου αξιολόγησης. Το “Black Box” είναι ένας τύπος δοκιμής λογισμικού, όπου δε λαμβάνεται υπόψη η εσωτερική δομή και σχεδιασμός του. Αυτός ο τύπος δοκιμών εστιάζει στην καθολική λειτουργικότητα του συστήματος, δηλαδή εξετάζεται η δομή και το περιεχόμενο των τελικών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εκτέλεση του κώδικα. Εν ολίγοις, η δοκιμή του “Black Box” χρησιμοποιείται για να επαληθευτεί η ομαλή λειτουργία των προβλεπόμενων λειτουργιών, χωρίς να αξιολογείται η εσωτερική δομή του συστήματος. Η μέθοδος του “Black Box” επιλέχθηκε καθώς ενδείκνυται για την αξιολόγηση ενός προγράμματος το οποίο έχει ολοκληρωθεί, σε αντίθεση με άλλου είδους μεθόδους, όπως η “White Box”, η οποία προτιμάται από προγραμματιστές στα πρώτα στάδια συγγραφής ενός κώδικα. Η μέθοδος αξιολόγησης “White Box”, ελέγχει εκτός από την έξοδο του προγράμματος και τη δομή και λειτουργία του κώδικα στον οποίο στηρίζεται η εφαρμογή. Γι’ αυτό το λόγο επιλέγεται κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μιας εφαρμογής, δηλαδή για να επαληθευτεί η απόδοση επιμέρους τμημάτων ενός κώδικα. Όταν πλέον το σύστημα έχει ολοκληρωθεί, η δοκιμή “Black Box” αποτελεί μια ασφαλή επιλογή.¹³⁸ Οι πιο διαδεδομένες τεχνικές “Black Box” αξιολόγησης είναι:

- Ανάλυση Οριακής Τιμής
- Πίνακας Δοκιμών
- Πιθανό Σφάλμα
- Δοκιμή Σύγκρισης

Η Ανάλυση Οριακής Τιμής καθώς και ο Πίνακας Δοκιμών προϋποθέτουν την εξέταση των τιμών των ακραίων περιπτώσεων ή κάποιου εύρους τιμών, αντίστοιχα, για την αξιολόγηση του υλοποιημένου συστήματος.¹³⁹ Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, η λειτουργικότητα του κώδικα εξαρτάται από όλες τις τιμές εισόδου και όχι από συγκεκριμένες τιμές οι οποίες θεωρούνται πιο επικίνδυνες. Γι’ αυτό το λόγο επιλέγεται να εξεταστούν οι τεχνικές της Δοκιμής Σύγκρισης και του Πιθανού Σφάλματος.



Σχήμα 7-1: Σχηματική απόδοση της μεθόδου αξιολόγησης “Black Box”

7.1 Τεχνική της Δοκιμής Σύγκρισης

Στην τεχνική της Δοκιμής Σύγκρισης χρησιμοποιούνται διάφορα στοιχεία εισόδου στο ίδιο λογισμικό, για να συγκριθούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα που προκύπτουν τελικά.

¹³⁸ (Dobran, 2018)

¹³⁹ (Black Box Testing: An In-Depth Tutorial With Examples And Techniques, 2019)

7.1.1 Επανάληψη Εκτέλεσης του Κώδικα

Αρχικά, για πρώτη δοκιμή σύγκρισης, ελέγχεται αν η λειτουργία του συστήματος είναι ομαλή, δηλαδή ότι η επιτυχία εκτέλεσης του κώδικα την πρώτη φορά δεν ήταν τυχαία και αν τελικά οι ιδιότητες της λειτουργίας κατακερματισμού ικανοποιούνται. Εκτελείται, επομένως, για δεύτερη φορά ο κώδικας με διαφορά περίπου 8 λεπτών, εισάγοντας ακριβώς τα ίδια αρχεία δεδομένων, με τον ίδιο τρόπο που περιγράφηκε στην παράγραφο 6.3. Τελικά, προκύπτει το εικονιζόμενο σύστημα Blockchain:

m1.blockchain.blockArray(1, 1)	
Property ▲	Value
index	0
data	'Genesis Block'
timestamp	'16-Feb-2020 18:11:34'
nonce	[]
hash	'075c27741a3506846368fa6e5b3477f85b31ceee71a5716e2f12b40fa21d23aa'
prev_hash	[]

m1.blockchain.blockArray(1, 2)	
Property ▲	Value
index	1
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:11:34'
nonce	1144
hash	'002b1d4733d4f8bd3a6830eda9cf3064'
prev_hash	'075c27741a3506846368fa6e5b3477f85b31ceee71a5716e2f12b40fa21d23aa'

m1.blockchain.blockArray(1, 3)	
Property ▲	Value
index	2
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:11:38'
nonce	90
hash	'004e2a08b19f79268d72984763567b65'
prev_hash	'002b1d4733d4f8bd3a6830eda9cf3064'

m1.blockchain.blockArray(1, 4)	
Property ▲	Value
index	3
data	1x4 cell
timestamp	'16-Feb-2020 18:11:39'
nonce	464
hash	'00d82c4eef24fc7c8b769900acc0840e'
prev_hash	'004e2a08b19f79268d72984763567b65'

Σχήμα 7-2: Δεύτερη δοκιμή εκτέλεσης για το σύστημα BDN

Συμπεραίνουμε ότι:

- Η hash function εκτελείται σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα δευτερολέπτων και αυτό αποδεικνύεται από το “timestamp” των Blocks.
- Είναι ντετερμινιστική, δηλαδή για δεδομένη είσοδο, παράγεται πάντα το ίδιο αποτέλεσμα hash. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του κώδικα και από τις δύο εκτελέσεις του, προκύπτει ότι είναι ίδια και ότι όντως η λειτουργία κατακερματισμού είναι ντετερμινιστική.
- Παράγει, ανεξάρτητα από το ποια είναι η είσοδος, έξοδο σε μορφή αλφαριθμητικού κώδικα.
- Προβάλλει «αντίσταση σε συγκρούσεις», δηλαδή η εύρεση δύο διαφορετικών εισόδων που παράγουν την ίδια έξοδο είναι απίθανη.

Επομένως, η λειτουργία του συστήματος είναι ομαλή, δηλαδή η επιτυχία εκτέλεσης του κώδικα με σωστά δεδομένα εισαγωγής δεν είναι τυχαία.

7.1.2 Εκτέλεση Κώδικα με Παραλλαγμένα Στοιχεία Εισαγωγής

Δοκιμάστηκε, σαν δεύτερη δοκιμή σύγκρισης, η λειτουργία του κώδικα με εισαγωγή διαφορετικών στοιχείων από του αρχικού προγράμματος. Εισήχθη αρχείο που αφορά τα χαρακτηριστικά του καυσίμου (Fuel Specifications), στο οποίο έχουν μεταβληθεί οι τιμές της περιεκτικότητας σε θείο (Sulphur Content), όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια. Τα αρχεία που αφορούν στα στοιχεία του πλοίου, στο λιμένα προμήθειας καυσίμου και στις πληροφορίες της διαδικασίας Bunkering δε διαφοροποιήθηκαν.

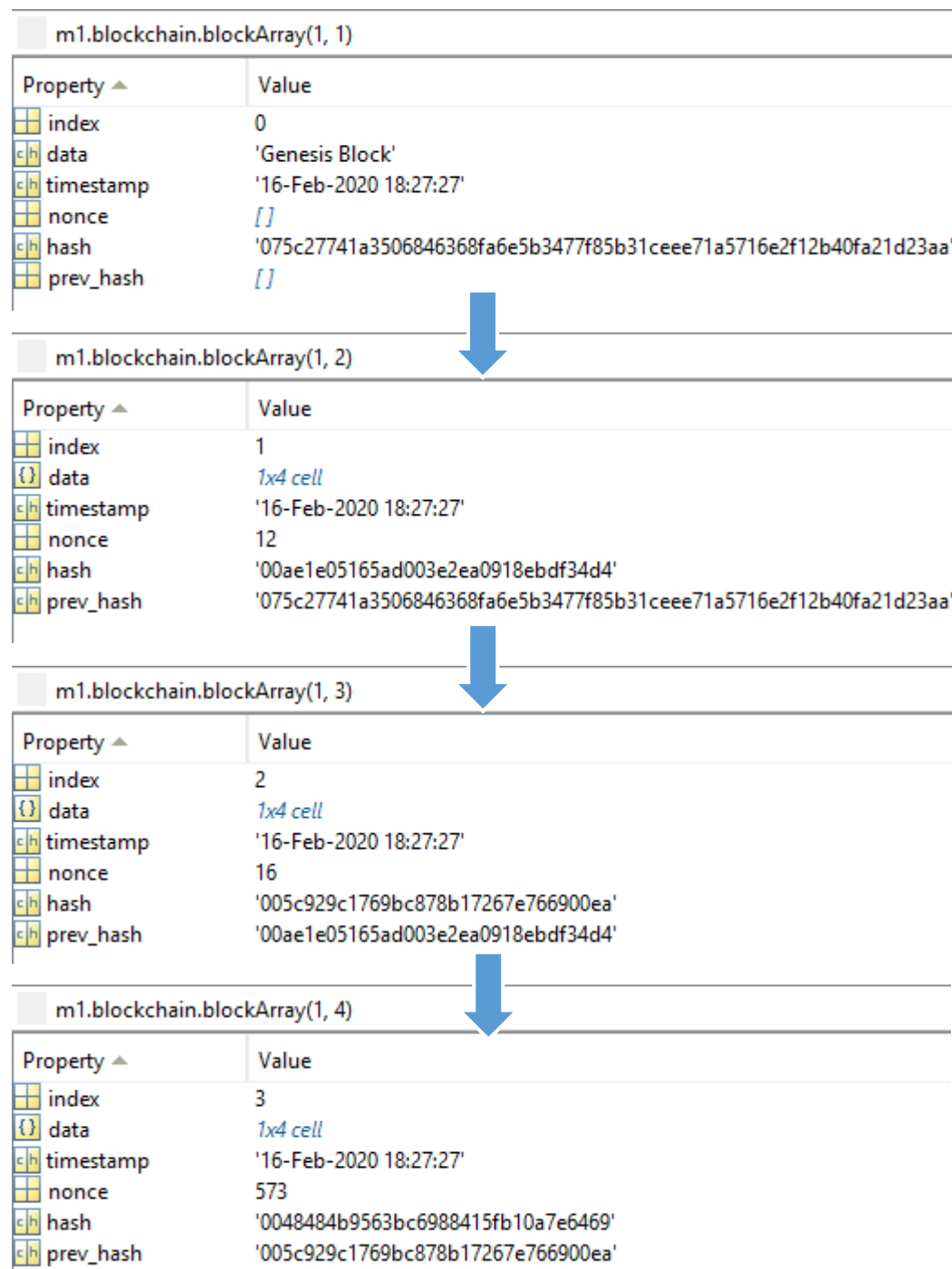
Import - C:\Users\Dell\Desktop\Διπλωματική\matlab\false\Fuelspecs2.xlsx

	A	B	C	D	E	F	G	
	Fuelspecs1							
1	Product	KinematicV...	Density	Sulfur	FlashPoint	Hydrogen ...	Acid Numb...	
2	DMX		5	800	1	40	2	0.5000
3	RMA10		10	900	1	60	2	2.5000
4	DMX		5	800	1	40	2	0.5000

Σχήμα 7-3: Πίνακας εισαγωγής διαφοροποιημένων στοιχείων καυσίμου

Ο κώδικας εκτελείται κανονικά, ωστόσο η διαφοροποίηση που έχει υποστεί λόγω των αλλαγών στα δεδομένα εισαγωγής, παρατηρείται στις τιμές των “nonce” και “hash” που προκύπτουν σε κάθε Block. Αυτό συμβαίνει επειδή στη διαδικασία του “Mining” η τιμή του “hash” εξαρτάται από τα στοιχεία που εισάγονται (δηλαδή τα data) και ταυτόχρονα το “hash” και το “nonce” αλληλεξαρτώνται. Επομένως, μπορεί να παρατηρηθεί μια πιθανή ετεροχρονισμένη μεταβολή, σε αυτή την περίπτωση, παρατηρώντας τις διαφορές που υπάρχουν στα δομικά στοιχεία των Blocks. Το Genesis Block, που όπως έχει αναφερθεί, δημιουργείται αυτοματοποιημένα και χρησιμοποιεί σαν δεδομένα εισαγωγής τον χαρακτηρισμό 'Genesis Block', είναι το μόνο που δεν παρουσιάζει αλλαγή.

Έτσι, δημιουργείται τελικά το εικονιζόμενο σύστημα Blockchain, που διαφέρει τελικά από το πρωτότυπο:



Σχήμα 7-4: Blockchain σύστημα BDN με είσοδο διαφοροποιημένων στοιχείων

Πράγματι, παρατηρώντας τελικά το αποτέλεσμα του αρχικού και του διαφοροποιημένου προγράμματος, προκύπτει ενδεικτικά η διαφορά μεταξύ των στοιχείων του “Block 3”, στις δύο περιπτώσεις εκτέλεσης του κώδικα, αντίστοιχα:

Πίνακας 7-1: Διαφοροποίηση στη δομή του Block από την αλλαγή των στοιχείων εισαγωγής

BLOCK Index number	Αρχική τιμή “nonce”	Τιμή “nonce” μετά από παραποίηση στοιχείων	Αρχική τιμή “hash”	Τιμή “hash” μετά από παραποίηση στοιχείων
3	464	573	00d82c4eef24fc7c8b769900acc0840e	0048484b9563bc6988415fb10a7e6469

Επομένως, αποδεικνύεται ότι κάθε πιθανή ετεροχρονισμένη εξωτερική προσπάθεια για παρεμβολή στην αρχική εισαγωγή των δεδομένων στο δίκτυο BDN γίνεται άμεσα αντιληπτή από έναν έμπειρο χρήστη και συμμετέχων του προγράμματος.

7.2 Τεχνική του Πιθανού Σφάλματος

Σε αυτήν την τεχνική, ο χρήστης χρησιμοποιεί την εμπειρία του σχετικά με τη συμπεριφορά και τις λειτουργίες της εφαρμογής, για να μαντέψει την περιοχή που είναι επιρρεπής σε σφάλμα. Συχνά σφάλματα που εμφανίζονται κατά την εκτέλεση κάποιου κώδικα:

- Διαίρεση με το μηδέν.
- Μηδενικές τιμές σε πεδία εισαγωγής.
- Ελλιπή στοιχεία εισαγωγής.

Καθώς ο υλοποιημένος κώδικας BDN αποτελεί ουσιαστικά μια βάση δεδομένων, ο έλεγχος σφαλμάτων όπως η διαίρεση με το μηδέν και οι μηδενικές τιμές σε πεδία εισαγωγής δεν έχει νόημα να εξεταστούν.¹⁴⁰

7.2.1 Ελλιπή Στοιχεία Εισαγωγής

Δοκιμάστηκε, επομένως, η λειτουργία του κώδικα μετά από την εισαγωγή ελλιπών δεδομένων. Εισήχθη αρχείο που αφορά τα χαρακτηριστικά του καυσίμου (Fuel Specifications), από το οποίο απουσίαζε η τιμή της περιεκτικότητας σε θείο (Sulphur Content), όπως παρουσιάζεται και στη συνέχεια. Τα αρχεία που αφορούν στα στοιχεία του πλοίου, στο λιμένα προμήθειας καυσίμου και στις πληροφορίες της διαδικασίας Bunkering δε διαφοροποιήθηκαν.

¹⁴⁰ (Black Box Testing: An In-Depth Tutorial With Examples And Techniques, 2019)

Import - C:\Users\Dell\Desktop\Διπλωματική\matlab\false\Fuelspecs.xlsx

IMPORT VIEW

Range: A2:G4

Output Type: String Array

Variable Names Row: 1

Text Options

Import Selection

SELECTION IMPORTED DATA UNIMPORTABLE CELLS IMPORT

	A	B	C	D	E	F	G
	Fuelspecs						
1	Product	KinematicV...	Density	Sulfur	FlashPoint	Hydrogen ...	Acid Numb...
2	DMX	5	800		40	2	0.5000
3	RMA10	10	900	3	60	2	2.5000
4	DMX	5	800	0	40	2	0.5000

Σχήμα 7-5: Πίνακας εισαγωγής ελλειπών στοιχείων καυσίμου

Όπως έχει αναφερθεί ήδη, στον κώδικα, η διαδικασία του “Mining”, δηλαδή η επικύρωση για την πρόσθεση Blocks στο σύστημα, καλείται από τις εντολές:

```
ml=Miner(bc);
ml.mine(transaction);
```

Πατώντας την εντολή “Run” για να ξεκινήσει η εκτέλεση του προγράμματος, παρατηρείται ότι μετά τη δημιουργία του Genesis Block το πρόγραμμα σταματάει στη διαδικασία του “Mining” και στο Command Window εμφανίζεται η λέξη “ERROR”. Η αδυναμία εκτέλεσης του συστήματος Blockchain αποδεικνύεται και στο Workspace, από το οποίο λείπει το στοιχείο “m1”, που εκφράζει το “Mining”.

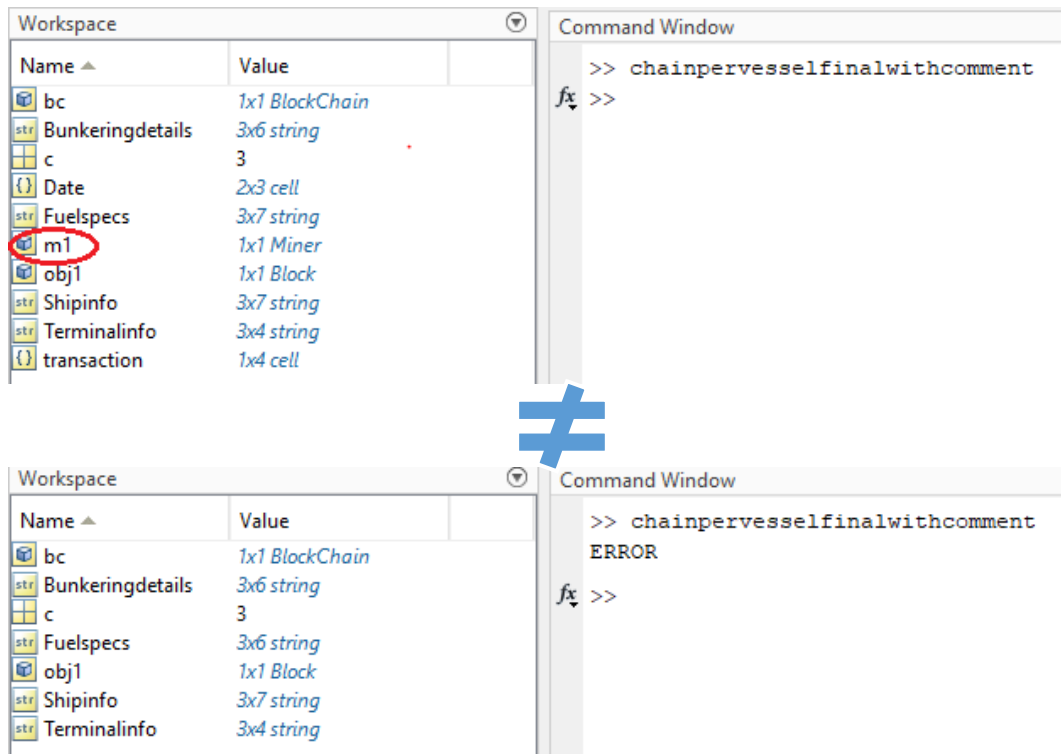
Name	Value
bc	1x1 BlockChain
Bunkeringdetails	3x6 string
c	3
Fuelspecs	3x6 string
obj1	1x1 Block
Shipinfo	3x7 string
Terminalinfo	3x4 string

Command Window

```
>> chainpervesselfinalwithcomment
ERROR
fx >>
```

Σχήμα 7-6: Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος με ελλιπή στοιχεία εισαγωγής σε περιβάλλον Matlab.

Ακολουθεί συγκριτική εικόνα μεταξύ του εκτελέσιμου και του μη εκτελέσιμου κώδικα, λόγω της ανεπαρκούς εισαγωγής στοιχείων που αφορούν στα χαρακτηριστικά του καυσίμου.



Σχήμα 7-7: Εκτελέσιμο και μη εκτελέσιμο πρόγραμμα σε περιβάλλον Matlab

Επομένως, αποδεικνύεται ότι σε κάθε μία από τις τεχνικές δοκιμής της μεθόδου αξιολόγησης “Black Box” προκύπτει το επιθυμητό αποτέλεσμα και τελικά ο κώδικας υλοποίησης του BDN, βασιζόμενο στην τεχνολογία Blockchain, είναι λειτουργικός.

8 Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

8.1 Πρακτική Χρήση του Υλοποιημένου Συστήματος BDN

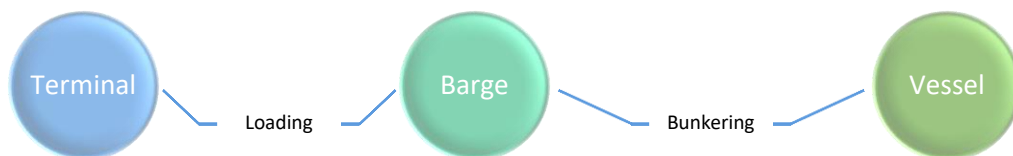
Στα πλαίσια της μελλοντικής αξιοποίησης του κώδικα που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία και ο οποίος αφορά στο κομμάτι της αποθήκευσης του Δελτίου Παράδοσης Καυσίμου (BDN) σε αξιόπιστο σύστημα, που βασίζεται στη λογική και αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Blockchain, θα μπορούσε να δοκιμαστεί το σύστημα σε εισαγωγή πραγματικών δεδομένων ναυτιλιακής εταιρείας. Τα υποτυπώδη αρχεία, που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, αφορούσαν υποθετικές διαδικασίες ανεφοδιασμού ενός πλοίου. Με την εισαγωγή στο πρόγραμμα πραγματικών τιμών θα είναι ενδιαφέρον να παρατηρηθεί η δομή των Blocks και οι τιμές “nonce” και “hash” που θα σχηματιστούν. Ταυτόχρονα, θα μπορούσε να διερευνηθεί η λογική του ήδη υπάρχοντος κώδικα, που αφορά σε τρεις ανεφοδιασμούς καυσίμου ενός πλοίου, για την αποθήκευση των BDN συνόλου πλοίων.

8.2 Δημιουργία Blockchain-Based Συστήματος Bunkering

Σε συνέχεια της διπλωματικής εργασίας, προτείνεται η δημιουργία κώδικα που θα περιλαμβάνει ολόκληρη τη διαδικασία του Bunkering σε συνδυασμό με τον ήδη ανεπτυγμένο κώδικα που αφορά το BDN. Σε αυτή την υλοποίηση της μεθοδολογίας χρειάζεται να αναπτυχθούν περισσότερα του ενός Interfaces σε κατάλληλο περιβάλλον γλώσσας προγραμματισμού, καθώς οι συμμετέχοντες εισάγουν τα στοιχεία που τους αφορούν κατευθείαν στο σύστημα και η επικύρωσή τους γίνεται και αυτή μέσα στο πρόγραμμα. Οι χρήστες που εισάγουν τα στοιχεία στο πρόγραμμα εξαρτώνται από το τρόπο ανεφοδιασμού καυσίμου που έχει επιλεγεί. Στην περίπτωση του υπεράκτιου ανεφοδιασμού (“ship-to-ship”) οι χρήστες που εργάζονται σε αυτό το ιδιωτικό αξιόπιστο δίκτυο και μπορούν να δημιουργούν λίστες και βάσεις δεδομένων είναι τρεις: ο χρήστης του τερματικού λιμένα, ο χρήστης της φορτηγίδας και ο χρήστης του πλοίου, ενώ στον απευθείας ανεφοδιασμό καυσίμου (“shore-to-ship”) οι συμμετέχοντες είναι δύο: ο χρήστης του τερματικού λιμένα και ο χρήστης του πλοίου. Καθώς το 90% των διαδικασιών Bunkering πραγματοποιείται με υπεράκτιο ανεφοδιασμό, στη συνέχεια θα γίνει η θεωρητική περιγραφή αυτού του είδους Blockchain-Based σύστημα Bunkering. Το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να γίνει ακόμα πιο περίπλοκο εισάγοντας και τέταρτο χρήστη, το χειριστή του εργαστηρίου που έχει αναλάβει την ανάλυση του δείγματος καυσίμου, ο οποίος θα ελέγχει την αξιοπιστία των τιμών που δίνονται από τον τερματικό λιμένα, πριν αυτές εισέλθουν στον ήδη υπάρχων κώδικα του συστήματος BDN.

8.2.1 Περιγραφή του Blockchain-Based Συστήματος Υπεράκτιου Ανεφοδιασμού Καυσίμου (Ship-to-Ship)

Υπενθυμίζεται η σχηματική απεικόνιση του υπεράκτιου ανεφοδιασμού καυσίμου πλοίου:



Σχήμα 8-1: Στάδια υπεράκτιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship)

Η εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain στη συγκεκριμένη διαδικασία δύναται να αντικαταστήσει τα παραδοσιακά μέσα επικοινωνίας, για να επιταχυνθεί η αξιόπιστη ανταλλαγή των αναγκαίων πληροφοριών μεταξύ των συμμετεχόντων του συστήματος. Αρχικά, όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης που συμμετέχουν στη διαδικασία του Bunkering δημιουργούν ένα κοινό δίκτυο Blockchain και ο καθένας δραστηριοποιείται στο δικό του Interface. Ο χρήστης του τερματικού λιμένα λαμβάνει αίτημα από το χρήστη της φορτηγίδας, μέσω του ιδιωτικού δικτύου Blockchain. Στο αίτημα περιλαμβάνονται πίνακες με τα στοιχεία για την ταυτότητα της φορτηγίδας, που συνεργάζεται με το πλοίο που πρόκειται να ανεφοδιαστεί και τη ζητούμενη ποσότητα και κατηγορία καυσίμου. Αν ο λιμένας αποδεχτεί το αίτημα, καλείται να συμπληρώσει μια φόρμα του συστήματος με τα δεδομένα που τον αφορούν, δηλαδή το όνομα λιμένα του τερματικού και το διυλιστήριο εξαγωγής του καυσίμου μαζί με το όνομα, τη διεύθυνση και τα δεδομένα του ατόμου επαφής σε κάθε περίπτωση. Στη συνέχεια, κατά την εφαρμογή της «συναλλαγής», ο χρήστης του τερματικού παρέχει τα παρακάτω στοιχεία που αφορούν στο προϊόν, σύμφωνα με το ISO 8217, που έχει προαναφερθεί:

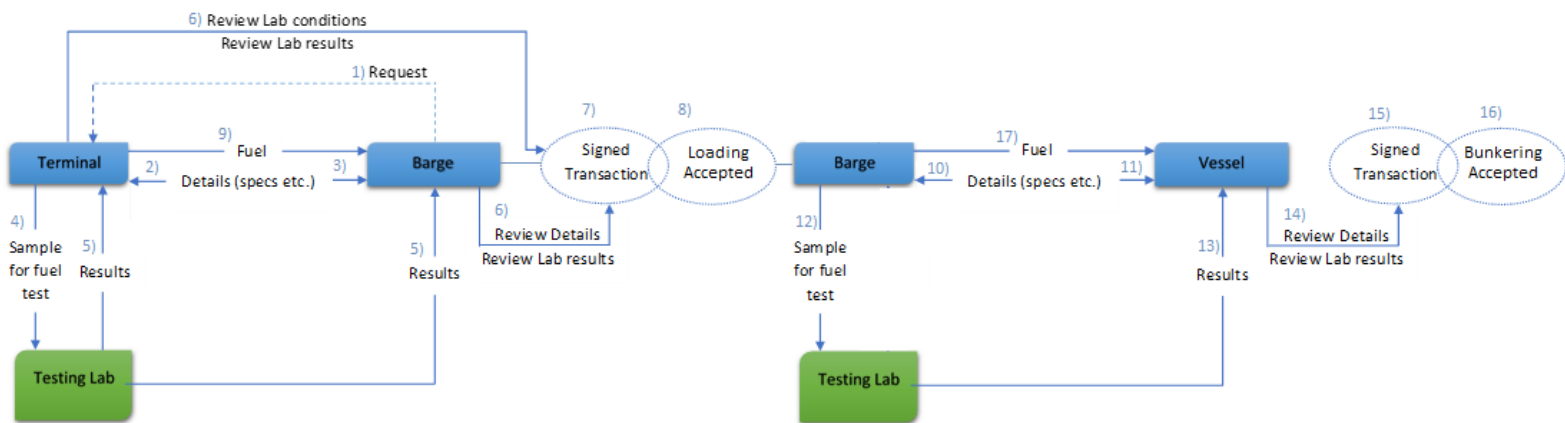
Πίνακας 8-1: Ζητούμενα χαρακτηριστικά καυσίμου σύμφωνα με το ISO 8217

Πληροφορίες Καυσίμου
Κινηματικό ιξώδες στα 40°C [mm ² / s]
Πυκνότητα σε 15°C [kg / m ³]
Δείκτης κετανίου
Θείο [mass %]
Σημείο ανάφλεξης [°C]
Υδροσουλφίδιο [mg / kg]
Αριθμός Οξέος [mg KOH / g]
Ολικό ίζημα [mass %]
Σταθερότητα οξειδώσεως [g / m ²]
Μεθυλεστέρας λιπαρών οξέων (FAME) [volume %]
Υπολείμματα άνθρακα [mass %]
Σημείο νεφών [°C]
Σημείο ψυκτικής σύνδεση φίλτρου [°C]
Σημείο ροής [°C]
Νερό [volume %]
Τέφρα [mass %]
Λιπαρότητα στους 60 ° C (για θείο <0,05% mass) [μm]

Τέλος, ο χρήστης τερματικού παραθέτει τον αριθμό ταυτότητας φόρτωσης (Loading ID No.), την ημερομηνία έναρξης και ολοκλήρωσης της φόρτωσης και τον βαθμό ISO 8217/2017 ανά BDN.

Όταν όλα τα πεδία που προαναφέρθηκαν έχουν συμπληρωθεί στο Blockchain σύστημα, ο χρήστης του τερματικού αποστέλλει το δείγμα του καυσίμου στο εργαστήριο για να αναλυθεί και στη συνέχεια ελέγχει αν η μέθοδος, τα πρότυπα συσκευής, ο χώρος δειγματοληψίας, η σφράγιση και η αποθήκευση του δείγματος του εργαστηρίου τηρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις. Τα αποτελέσματα του δειγματοληπτικού ελέγχου αποστέλλονται και στο χρήστη του τερματικού και στο χρήστη της φορτηγίδας και εάν αποδειχτεί ότι τα στοιχεία που παρέχονται από το χρήστη του τερματικού δεν είναι σύμφωνα με αυτά που έχουν ελεγχθεί από το εργαστήριο, ο τερματικός σταθμός ενημερώνεται, ώστε να επαναλάβει τη διαδικασία. Όταν όλες οι πληροφορίες «υπακούουν» στο έξυπνο συμβόλαιο, τότε θεωρείται ότι η ταυτότητα φόρτωσης του πλοίου από τον τερματικό λιμένα στη φορτηγίδα έχει επαληθευτεί επιτυχώς.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η διαδικασία ελέγχου της φόρτωσης (Bunkering). Από τον χρήστη του πλοίου σε αυτό το σημείο παρέχονται στο σύστημα οι πληροφορίες που αφορούν στην αναγνώριση του πλοίου, δηλαδή το όνομά του, ο αριθμός αναγνώρισης του IMO, το λιμάνι νηολόγησης, το όνομα του πλοιοκτήτη, ο εγγεγραμμένος αναγνωριστικός αριθμός ιδιοκτησίας, το DWT του (σε τόνους), το GT και η κατηγορία του πλοίου, αλλά και στοιχεία που αφορούν στην αναγνώριση της ναυτιλιακής εταιρείας. Ο χρήστης φορτηγίδας, εν συνεχεία, συμπληρώνει τα στοιχεία της διαδικασίας Bunkering (ημερομηνία έναρξης και ολοκλήρωσης φόρτωσης, βαθμός ISO 8217/2017), παρέχει έναν αριθμό αναγνώρισης καυσίμου και ξανά τις πληροφορίες που αφορούν στην ποιότητα και στα χαρακτηριστικά του καυσίμου. Τέλος, ο χρήστης της φορτηγίδας καλείται να εισάγει τις πληροφορίες που αφορούν στον τερματικό λιμένα. Οι πληροφορίες που συμπληρώθηκαν μόλις, αποτελούν και τα δεδομένα που πρόκειται να αποσταλούν στη ναυτιλιακή εταιρεία για την εισαγωγή τους στο ήδη υλοποιημένο Blockchain-based σύστημα BDN. Όταν όλα τα πεδία έχουν επαληθευτεί από τους συμμετέχοντες, ο χρήστης της φορτηγίδας αποστέλλει το δείγμα του καυσίμου στο εργαστήριο για να αναλυθεί ξανά και στη συνέχεια ελέγχει αν η μέθοδος, τα πρότυπα συσκευής, ο χώρος δειγματοληψίας, η σφράγιση και η αποθήκευση του δείγματος του συνεργαζόμενου εργαστηρίου τηρούν τις απαιτούμενες προϋποθέσεις. Τέλος, τα αποτελέσματα του δειγματοληπτικού ελέγχου αποστέλλονται στο χρήστη του πλοίου και εάν δεν είναι σύμφωνα με αυτά που έχουν ζητηθεί, ο τερματικός σταθμός ενημερώνεται, ώστε να επαναλάβει τη διαδικασία. Όταν όλες οι πληροφορίες «υπακούουν» στο έξυπνο συμβόλαιο, τότε θεωρείται ότι η διαδικασία ανεφοδιασμού καυσίμου έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς.



Σχήμα 8-2: Σχηματική αναπαράσταση υπερράκιου ανεφοδιασμού πλοίου (ship-to-ship)

8.3 Δημιουργία Blockchain-Based Συστήματος EU-MRV

Πρόταση για μελλοντική μελέτη αποτελεί ακόμα η ανάπτυξη μεθοδολογίας για τη δημιουργία ενός συστήματος Blockchain που θα αφορά στον κανονισμό EU-MRV. Η ναυτιλιακή βιομηχανία, όπως έχει προαναφερθεί, ευθύνεται για σχεδόν 700 εκατομμύρια τόνους εκπομπών CO₂ και αερίων θερμοκηπίου σήμερα, ποσό το οποίο αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% μέχρι το 2050. Στο επίκεντρο αυτού του προβλήματος εκτιμάται ότι οι εκπομπές CO₂ και η κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσαν να μειωθούν έως και κατά 75% εφαρμόζοντας νέα λειτουργικά μέτρα και αξιοποιώντας καινοτόμες τεχνολογικές λύσεις.¹⁴¹ Προς το παρόν, ο ψηφιακός παγκόσμιος συντονισμός με τη μορφή συλλογής και αναφοράς δεδομένων στη ναυτιλιακή βιομηχανία είναι ουσιαστικά ανύπαρκτος. Για παράδειγμα, οι ναυτιλιακές εταιρείες εξετάζουν το περιβαλλοντικό CO₂ αποτύπωμά τους σε ετήσια βάση, κυρίως επειδή τα τρέχοντα εργαλεία για τη συγκέντρωση αυτών των δεδομένων απαιτούν την αξιολόγησή τους σε ένα συνεπές χρονικό πλαίσιο και υπάρχει σημαντική επένδυση για τη συγκέντρωση όλων των σχετικών δεδομένων αθροιστικά. Μέσω της τεχνολογίας Blockchain, επιτρέπεται η αξιολόγηση των δεδομένων που αφορούν στις εκπομπές CO₂ σε όλα τα πιθανά χρονικά πλαίσια. Επομένως, αν κάποια βραχυπρόθεσμη επιχειρησιακή πρακτική προκαλεί μεγάλη αύξηση των εκπομπών, το ζήτημα αυτό μπορεί να εντοπιστεί και να επιλυθεί άμεσα, αντί να εντοπιστεί στο τέλος του έτους, όταν έχουν ήδη συμβεί οι επιπλέον εκπομπές.¹⁴² Ακόμα, η ανάγκη παρακολούθησης σχετικά με τα δεδομένα των εκπομπών σε «ψηφιακό χώρο» αποτελούν ζήτημα, καθώς η προσέγγιση και η διαδικασία, τα πρότυπα και η τεχνολογία που απαιτούνται για την εφαρμογή και συμμόρφωση με τον παρόντα κανονισμό δεν έχουν ακόμη αναπτυχθεί. Δοθείσης της ευκαιρίας και όσον αφορά στον κανονισμό EU-MRV, η εφαρμογή τεχνολογίας Blockchain αντιπροσωπεύει την ευκαιρία για μια τεχνολογική μεταρρύθμιση στην παρακολούθηση και καταγραφή εκπομπών CO₂.

¹⁴¹ (Second IMO GHG Study, 2009)

¹⁴² (P. Tabirao, 2018)

8.3.1 Περιγραφή του Blockchain-Based Δικτύου EU-MRV

Όλοι οι φορείς εκμετάλλευσης που συμμετέχουν στο πρόγραμμα του MRV εισέρχονται στο κοινό δίκτυο Blockchain. Αρχικά, ο Ρυθμιστής (IMO-EU Regulator) καθορίζει τους όρους και τις προϋποθέσεις για τα προβλεπόμενα επίπεδα αέριων ρύπων CO₂ και θέτει την οριακή τιμή εκπομπής. Στη συνέχεια, για κάθε πλοίο που συμμετέχει, ενεργοποιείται η εκτέλεση της σύμβασης με την προσθήκη πληροφοριών που έχουν ληφθεί από τη ναυτιλιακή εταιρεία, για τη δημιουργία του πλάνου παρακολούθησης. Στην εγγραφή του πλοίου στο σύστημα Blockchain, δίνονται οι αναλυτικές πληροφορίες για την ταυτότητα του, δηλαδή το όνομα του, ο αριθμός αναγνώρισης IMO, το λιμάνι νηολόγησης, το όνομα του πλοιοκτήτη, το είδος του πλοίου και δεδομένα που αφορούν στη χωρητικότητά του. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται στο σύστημα, έτσι ώστε σε κάθε επόμενη σύνδεση του χρήστη να υπάρχει ήδη το προφίλ του. Ταυτόχρονα, δίνονται στοιχεία και για τη ναυτιλιακή εταιρεία που διαχειρίζεται το πλοίο, πληροφορίες οι οποίες όμως σε κάθε σύνδεση χρειάζονται επιβεβαίωση, σε περίπτωση που προκύψει αλλαγή εταιρείας διαχείρισης του πλοίου. Στη συνέχεια, σε κάθε σύνδεση που αφορά σε ένα συγκεκριμένο ταξίδι, ζητούνται τα δεδομένα που έγκεινται στην ταυτότητα του ταξιδιού, δηλαδή η κατανάλωση καυσίμου, οι πηγές εκπομπών, ο αριθμός ημερών του ταξιδιού και το BDN. Σε αυτό το σημείο εκτελείται ο υπολογισμός εκπομπών CO₂ σε Smart Contract, αντιμετωπίζοντας έτσι τις πιθανές αλλοιώσεις και επεμβάσεις στα αποτελέσματα των μετρήσεων από τους φορείς εκμετάλλευσης. Οι έξυπνες συμβάσεις είναι αυτοματοποιημένες και ενημερώνονται σύμφωνα με μελλοντικά γεγονότα, προσθέτοντας σημαντική ευελιξία στη διαδικασία επαλήθευσης. Στη συνέχεια, υποβάλλεται το σχέδιο παρακολούθησης (“Monitoring Plan” του EU-MRV) για έγκριση από το δίκτυο Blockchain και αν τα δεδομένα είναι ανακριβή βάσει των προτύπων MRV, οι φορείς εκμετάλλευσης ενημερώνονται για την αναθεώρηση του σχεδίου παρακολούθησης. Σε περίπτωση που τα δεδομένα του σχεδίου παρακολούθησης επαληθεύονται, το σύστημα δημιουργεί το επαληθευμένο σχέδιο παρακολούθησης, το οποίο αποστέλλεται στους φορείς εκμετάλλευσης των πλοίων και στις ρυθμιστικές αρχές.

Βιβλιογραφία

1. Christiansen, M., & Fagerholt, K. (2008). "Maritime inventory routing problems.". Στο *Encyclopedia of optimization*. Springer.
2. Vermeire, M. (2012). *"Everything You Need to Know About Marine Fuels"*. Chevron Global Marine Products.
3. Lesson 5-Crude Quality Issues. (χ.χ.). *John A. Dutton e-Education Institute*. Ανάκτηση από https://courseware.e-education.psu.edu/courses/egce101/L05_petroleum/L05_quality.html
4. Crude oil distillation and the definition of refinery capacity. (2012). *U.S. Energy Information Administration*. Ανάκτηση από <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=6970>
5. Dekkers, W. (2019). *Recent and future fuel oil quality*. Van Ameyde Marine.
6. *ISO 8217 2010 FUEL STANDARD*. Dan Bunkering.
7. EGCSA. (χ.χ.). *What happens when fuel oils containing sulphur are burnt in a diesel engine without an exhaust gas cleaning system?* Ανάκτηση από <http://www.egcsa.com/technical-reference/what-happens-when-fuel-oils-containing-sulphur-are-burnt-in-a-diesel-engine-without-an-exhaust-gas-cleaning-system/>
8. Κοτρίκλα, Α.-Μ. (2015). Ναυτιλία και περιβάλλον. Στο *ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6*. Εκδόσεις Κάλλιπος.
9. AIR POLLUTION & MARINE SHIPPING. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://clearseas.org/en/air-pollution/>
10. Greenhouse effect. (2018). *Encyclopaedia Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>
11. (2014). *Third IMO GHG Study*.
12. Merk, O. (2014). *Shipping Emissions in Ports*. International Transport Forum.
13. (2018). *Causes of climate change and sea-level rise*. CoastAdapt. Ανάκτηση από <https://coastadapt.com.au/causes-of-climate-change-and-sea-level-rise>
14. (2017). *Climate Impacts on Coastal Areas*. United States Environmental Protection Agency. Ανάκτηση από https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-impacts/climate-impacts-coastal-areas_.html
15. D.G. Harley, C. (2006). *The impacts of climate change in coastal marine systems*. Wiley Online Library. Ανάκτηση από <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>
16. Lorch, M. (2016). *Thanks to CO2 emissions, the smell of the sea is changing*. The Guardian. Ανάκτηση από <https://www.theguardian.com/science/blog/2016/jun/29/thanks-to-co2-emissions-the-smell-of-the-sea-is-changing-ocean-acidification>

17. C. Field, I. (2009). *Advances in Marine Biology, Chapter 4 Susceptibility of Sharks, Rays and Chimaeras to Global Extinction*. ScienceDirect.
18. Kingdon, A., & Garrison, M. (2015). Global Shipping and Emissions. *Hakai Magazine, Coastal Science and Societies*. Ανάκτηση από <https://www.hakaimagazine.com/videos-visuals/global-shipping-and-emissions/>
19. Monkelbaan, J. (2011). *Transport, Trade and Climate Change: Carbon Footprints, Fuel Subsidies and Market-based Measures*. International Centre for Trade and Sustainable Development (ICTSD).
20. Miller, J. (2016). *Reducing CO2 emissions from road transport in the European Union: An evaluation of policy options*. The International Council on Clean Transportation. Ανάκτηση από <https://www.theicct.org/publications/reducing-co2-emissions-road-transport-european-union-evaluation-policy-options>
21. Ilie, E. (2013). *Target 2050 – Zero carbon emissions in railway transport*. Railway Pro, Communication Platform. Ανάκτηση από <https://www.railwaypro.com/wp/target-2050-zero-carbon-emissions-in-railway-transport/>
22. Βλάχος, Π. (2007). *"Διεθνής Ναυτιλιακή Πολιτική"*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη.
23. IMO-International Maritime Organization. (χ.χ.). *History of IMO*. Ανάκτηση από <http://www.imo.org/en/About/HistoryOfIMO/Pages/Default.aspx>
24. Κοτρίκλα, Ά.-Μ. (2015). Ναυτιλία και περιβάλλον. Στο *ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6*. Εκδόσεις Κάλλιπος.
25. Ohliger, T. (2018). *"Κλιματική αλλαγή και περιβάλλον", Θεματολογικά δελτία για την Ευρωπαϊκή Ένωση*.
26. Χαραλαμπίδη, Β. (2017). *"ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ MRV"*. ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ.
27. Ρηγάνη, Π. (2014). *"ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO2"*. Πολυτεχνείο Κρήτης.
28. Μαζαράκης, Ν. (2017). Σύστημα MRV. Ορισμοί, ημερομηνίες, εφαρμογή. *e-Nautilia*. Ανάκτηση από <http://www.e-nautilia.gr/sustima-mrv-orismoι-hmerominies-efarmogi/>
29. Pape, M. (2016, European Parliamentary Research Service). *The IMO – for 'safe, secure and efficient shipping on clean oceans'*.
30. Χαραλαμπίδη, Β. (2017). *"ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ MRV"*. ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ.
31. Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές. (χ.χ.). *Βικιπαίδεια*. Ανάκτηση από https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8D%CE%BC%CE%B2%CE%B1%CF%83%CE%B7-%CE%A0%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%83%CE%B9%CE%BF_%CF%84%CF%89%CE%BD_

%CE%97%CE%BD%CF%89%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CE%BD_%CE%95%CE%B8
%CE%BD%CF%8E%CE%BD_%CE%B3%CE%B9%CE%B1_%CF%84%CE%B9%CF%82_%C

32. Ξεαρχος, Σ. (2013). "ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ ΑΠΟ ΠΛΟΙΑ.ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ."
33. Κοτρίκλα, Ά.-Μ. (2015). Ναυτιλία και περιβάλλον. Στο ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Εκδόσεις Κάλλιπος.
34. (2020). *Emission Control Areas (ECAs) designated under MARPOL Annex VI*. International Maritime Organization (IMO). Ανάκτηση από [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-\(ECAs\)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-\(NOx-emission-control\).aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-(ECAs)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-(NOx-emission-control).aspx)
35. (2020). *Emission Control Areas (ECAs) designated under MARPOL Annex VI*. International Maritime Organization (IMO). Ανάκτηση από [http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-\(ECAs\)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-\(NOx-emission-control\).aspx](http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Emission-Control-Areas-(ECAs)-designated-under-regulation-13-of-MARPOL-Annex-VI-(NOx-emission-control).aspx)
36. (2019). *FAQ: The 2020 global sulphur limit*. IMO.
37. (2019). *Compliance with the 2020 'Global Sulphur Cap'*. International Chamber of Shipping.
38. (2019). *Guidelines for the Use of Low Sulphur Fuel Oils (IMO 2020 compliance)*. Bureau Veritas.
39. Stamatopoulos, B. (2018). *VERIFUEL-UNDERSTANDING MARINE*. Bureau Veritas.
40. (2019). *Sulphur Cap 2020 Flyer*. IMO.
41. Crist, P., & Masterson, S. (2016). *Reducing sulphur emissions from ships: The impact of International Regulation*. International Transport Forum.
42. Fedi, L. (IAME 2016 CONFERENCE). *The European ships' Monitoring, Reporting and Verification (MRV): Pre-evaluation of a Regional Regulation on Carbon Dioxide Inventory*. Kedge Business School. Ανάκτηση από https://www.researchgate.net/profile/Laurent_Fedi/publication/308887004_The_European_ships'_Monitoring_Reporting_and_Verification_MRV_Pre-evaluation_of_a_Regional_Regulation_on_Carbon_Dioxide_Inventory/
43. Kujanpää, L., & Tei, S. (2016, International Conference on GHG Control Technologies). *Implications of the new EU maritime emission monitoring regulation on ship transportation of CO2*. Elsevier Ltd. Ανάκτηση από <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610217320738?token=DE4894A4A6B905C154044ED15B1626D4EE0B7125BB85424A7E8DD1BFD6547339A3476983470CD7B20716CFE606E7FA2F>
44. Rony, A. H. (2017). *Ensuring the effective implementation of the monitoring, reporting and verification (MRV) system in shipping: a step towards making energy-efficiency happen*. Malmö, Sweden: WORLD MARITIME UNIVERSITY.

45. MRV REGULATION, E. U. (χ.χ.). *Guidance for ships over 5000GT which carry passengers or cargo to, from or between EU/EEA ports, regardless of Flag*. Ανάκτηση από <http://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/ics-guidance-on-eu-mrv.pdf?sfvrsn=10>
46. Faber, J., Nelissen, D., & Smit, M. (2013). *Monitoring of bunker fuel consumption*. CE Delft.
47. Efstathiou, P. (2016). *REPORTING AND VERIFICATION REGULATION AND ITS POSSIBLE FUTURE CONSEQUENCES FOR THE PORT OF PIRAEUS*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
48. Fridell, E., Sköld, S., Bäckström, S., & Pahlm, H. (2018). *"Transport work and emissions in MRV; methods and potential use of data"*. Lighthouse Swedish Maritime Competence Centre.
49. Κωνσταντουδάκη, Γ. (2013). *ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΕ ΛΙΜΕΝΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΛΙΜΕΝΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ*. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.
50. Γαλής, Α. (2016). *"Ο νέος κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Παρακολούθηση, Υποβολή εκθέσεων και Επαλήθευση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα(MRV) από θαλάσσιες μεταφορές στη λειτουργία των ναυτιλιακών επιχειρήσεων."*. ΕΜΠ.
51. Fridell, E., Sköld, S., Bäckström, S., & Pahlm, H. (2018). *"Transport work and emissions in MRV; methods and potential use of data"*. Lighthouse Swedish Maritime Competence Centre.
52. Γαλής, Α. (2016). *"Ο νέος κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Παρακολούθηση, Υποβολή εκθέσεων και Επαλήθευση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα(MRV) από θαλάσσιες μεταφορές στη λειτουργία των ναυτιλιακών επιχειρήσεων."*. ΕΜΠ.
53. Rony, A. H. (2017). *Ensuring the effective implementation of the monitoring, reporting and verification (MRV) system in shipping: a step towards making energy-efficiency happen*. Malmö, Sweden: WORLD MARITIME UNIVERSITY.
54. MRV REGULATION, E. U. (χ.χ.). *Guidance for ships over 5000GT which carry passengers or cargo to, from or between EU/EEA ports, regardless of Flag*. Ανάκτηση από <http://www.ics-shipping.org/docs/default-source/resources/ics-guidance-on-eu-mrv.pdf?sfvrsn=10>
55. Konick, T. (2017). *Everything You Need to Know About EU MRV Compliance*. Ανάκτηση από <https://www.maritime-executive.com/editorials/everything-you-need-to-know-about-eu-mrv-shipping>
56. Χαραλαμπίδη, Β. (2017). *"ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ MRV"*. ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ.
57. Hecq, E. (2017). *The Mitigation of Climate Change by the International Maritime Transport through the Reduction of CO2 Emissions, the Situation after the COP 21*. Universiteit Gent.
58. Nelissen, D., & Faber, J. (2014). *Economic impacts of MRV of fuel and emissions in maritime transport*. CE Delft.

59. Joung, T.-H., Kang, S.-G., Lee, J.-K., & Ahn, J. (2020). *The IMO initial strategy for reducing Greenhouse Gas(GHG) emissions, and its follow-up actions towards 2050*. Taylor & Francis Group.
60. Hecq, E. (2017). *The Mitigation of Climate Change by the International Maritime Transport through the Reduction of CO2 Emissions, the Situation after the COP 21*. Universiteit Gent.
61. Boviatsis, M., & Tselentis, B. (2019). *A comparative analysis between EU MRV and IMO DCS – the need to adopt a harmonised regulatory system*. Conference on Environmental Science and Technology 2019.
62. Fedi, L. (2017). *The Monitoring, Reporting and Verification of Ships' Carbon Dioxide Emissions: A European Substantial Policy Measure towards Accurate and Transparent Carbon Dioxide Quantification*. KEDGE Business School.
63. DNV GL MARITIME-IMO DCS. Ανάκτηση από <https://www.dnvgl.com/maritime/imo-dcs/index.html>
64. Rony, A. H., Kitada, M., Dalaklis, D., Ölçer, A. I., & Ballini, F. (2019). *Exploring the new policy framework of environmental performance management for shipping: a pilot study*. WMU Journal of Maritime Affairs.
65. (2013). *Seafarers International Research Centre Symposium Proceedings*. Lloyd's Register Foundation.
66. Sampson, H., Bloor, M., Baker, S., & Dahlgren, K. (2016). *Greener shipping? A consideration of the issues associated with the introduction of emission control areas*. Taylor & Francis Group.
67. Γαλής, Α. (2016). "Ο νέος κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την Παρακολούθηση, Υποβολή εκθέσεων και Επαλήθευση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα(MRV) από θαλάσσιες μεταφορές στη λειτουργία των ναυτιλιακών επιχειρήσεων.". ΕΜΠ.
68. (2016). *Distributed Ledger Technology: beyond block chain*. UK Government Chief Scientific Adviser.
69. (2018). *Accelerating technology disruption in the automotive market: Blockchain in the automotive industry*. Deloitte.
70. Φράγκος, Γ. (2018). *Ανάπτυξη κατανεμημένων πρωτοκόλλων συναίνεσης και Blockchain με χρήση Βάσης Δεδομένων Γράφου*.
71. Thakur, M. (2017). *Authentication, Authorization and Accounting with Ethereum Blockchain*. UNIVERSITY OF HELSINKI.
72. Cryptographic Hash Functions Explained: A Beginner's Guide. (2018, August 14). KOMODO. Ανάκτηση από <https://komodoplatfrom.com/cryptographic-hash-function/>
73. Cryptography & Blockchain – Part 2. (2018, September 10). *BlockchainHub*. Ανάκτηση από <https://blockchainhub.net/blog/blog/cryptography-blockchain-bitcoin/>
74. Ν. Παπαδόδημας, Γ. (2018). *Ανάπτυξη Έξυπνων Συμβολαίων στο Blockchain και εφαρμογή στο IoT*.

75. Melander, A., & Halvord, E. (2017). *Blockchain - What it is, and a non-financial use case*.
76. Shaan, R. (2017, December 15). Merkle Trees. *Hackernoon*. Ανάκτηση από <https://hackernoon.com/merkle-trees-181cb4bc30b4>
77. Christidis, K. (2016). *Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things*.
78. P. Tabirao, M. A. (2018). *Blockchain Technology for Tracking and Reporting of Carbon Dioxide Emission*. Aalborg University Copenhagen.
79. Proof Of Work: A Brief History & Overview Of Proof Of Work Systems. (2018, December 5). *KOMODO*. Ανάκτηση από <https://komodoplatform.com/proof-of-work/>
80. Proof of Stake. (2019). *Lisk*. Ανάκτηση από <https://lisk.io/academy/blockchain-basics/how-does-blockchain-work/proof-of-stake>
81. Proof of Work vs Proof of Stake: Basic Mining Guide. (χ.χ.). *Blockgeeks*. Ανάκτηση από <https://blockgeeks.com/guides/proof-of-work-vs-proof-of-stake/>
82. FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M. (2018). *A Review on the Use of Blockchain for the Internet of Things*.
83. Palm, E. (2017). *Implications and Impact of Blockchain Transaction Pruning*. Luleå University of Technology.
84. Svenblad, T. (2018). *An Analysis of Using Blockchains for Processing and Storing Digital Evidence*. Dalarna University.
85. Φραγκούλης, Ν. (2018). "Η τεχνολογία Blockchain στην υπηρεσία της εκπαίδευσης, της έρευνας και των πνευματικών δικαιωμάτων."
86. Svenblad, T. (2018). *An Analysis of Using Blockchains for Processing and Storing Digital Evidence*. Dalarna University.
87. Types of Blockchain: Public, Private, and Consortium. (2018, November 8). *Cryptotips*. Ανάκτηση από <https://www.cryptotips.io/types-of-blockchain/>
88. Cachin, C. (2016). *Architecture of the Hyperledger Blockchain Fabric*. IBM Research.
89. Nasir, Q. (2018). Performance Analysis of Hyperledger Fabric Platforms. *Hindawi*.
90. Zheng, Z. (2018, January). Blockchain challenges and opportunities: a survey. *International Journal of Web and Grid Services*.
91. Στεφάνου, Κ. (2018). «Δημιουργία Εφαρμογής Blockchain Ethereum και Κρυπτονομίσματος». ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ.
92. Thakur, M. (2017). *Authentication, Authorization and Accounting with Ethereum Blockchain*. UNIVERSITY OF HELSINKI.
93. Zmaznev, E. (2017). *BITCOIN AND ETHEREUM EVOLUTION*. CENTRIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES.

94. Bagchi, R. (2017). *Using Blockchain Technology and Smart Contracts for Access Management in IoT devices*. UNIVERSITY OF HELSINKI.
95. Hyperledger — Chapter 3 | When to use the Blockchain Technology. (2018, April 26). *The Startup*. Ανάκτηση από <https://medium.com/swlh/hyperledger-chapter-3-when-to-use-the-blockchain-technology-a5c414221bdf>
96. Menon, J. (2018, September 11). 10 Questions To Ask Before You Use Blockchain. *Forbes*. Ανάκτηση από <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/09/11/10-questions-to-ask-before-you-use-blockchain/>
97. Burton, E. (2018, May 23). 5 ways in which blockchain is NOT just a slow database. *Medium*. Ανάκτηση από <https://medium.com/@chainfrog/5-reasons-that-blockchain-is-not-just-a-slow-database-55fe9d913578>
98. Πολυτίδου, Ε. (2018). *Τεχνολογίες Blockchain σε Συστήματα Υποδομής Δημόσιου Κλειδιού και Διαχείρισης Ηλεκτρονικής Ταυτότητας*. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο.
99. Μπισδούνη, Α. (2019). *BLOCKCHAIN ΚΑΙ ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ*. Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
100. Zibin, Z., Shaoan, X., Hong-Ning, D., & Wang, H. (2018). *"Blockchain challenges and opportunities: a survey"*. Inderscience Enterprises Ltd.
101. Μπρατσιάκος, Ν. (2018). «ΚΡΥΠΤΟΝΟΜΙΣΜΑΤΑ, ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ BLOCKCHAIN ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ». Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
102. King, J. (2018, October 2). Deep Dive into Carbon Emissions Trading and How Blockchain Can Help. *Medium*. Ανάκτηση από <https://medium.com/kingsland/deep-dive-into-carbon-emissions-trading-and-how-blockchain-can-help-21c9fa05795e>
103. Schiller, B. (2011). Is it time to overhaul Europe's carbon trading scheme? *The Guardian*. Ανάκτηση από <https://www.theguardian.com/environment/2011/apr/28/overhaul-europe-carbon-trading-scheme>
104. Hödl, L. (2018, July 23). A Blockchain enabled Emission Trading Scheme — Introduction: Blockchain Use Cases for Environmental Sustainability. *Medium*. Ανάκτηση από <https://medium.com/@hoedllena/a-blockchain-enabled-emission-trading-scheme-introduction-blockchain-use-cases-for-environmental-f3d98942fc40>
105. Ayers, R. (2019). "How will blockchain transform the education system?". *Dataconomy*. Ανάκτηση από <http://dataconomy.com/2019/01/how-will-blockchain-transform-the-education-system/>
106. Αποστολόπουλος, Α. (2018). *"Μελέτη της τεχνολογίας Blockchain και των εφαρμογών της στις ψηφιακές."*. Εθνικό Κέντρο Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης.
107. Ντοά, Γ. (2017). *«Blockchain και η εφαρμογή του στο Internet of Things (IoT)»*. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.
108. (2017). *GRUPE RENAULT TEAMS WITH MICROSOFT AND VISEO TO CREATE THE FIRST-EVER DIGITAL CAR MAINTENANCE BOOK PROTOTYPE*. Groupe Renault-Press Release.

109. Blockchain-based Car Sharing. (2018, September 6). *Medium*. Ανάκτηση από <https://medium.com/@l4mp1/blockchain-based-car-sharing-e71c40754c1f>
110. (2017). *Toyota Research Institute Explores Blockchain Technology for Development of New Mobility*.
111. Porsche introduces Blockchain to vehicles to make car sharing easier and more efficient. (2018, March 8). *Hackernoon*. Ανάκτηση από <https://hackernoon.com/porsche-introduces-blockchain-to-vehicles-to-make-car-sharing-easier-and-more-efficient-f75d1151508a>
112. VeChainFoundation. (2018, September 5). BYD, One of the Largest Chinese Car Brands and World's Top Selling Plug-In Electric Car Manufacturer, Is Further Tackling Carbon Emission Imbalances by Partnering with DNV GL and VeChain, Completing Blockchain Based Proof of Concept. *Medium*. Ανάκτηση από <https://medium.com/@vechainofficial/byd-one-of-the-largest-chinese-car-brands-and-worlds-top-selling-plug-in-electric-car-ab591f73237f>
113. Tekelieva, K. (2018, September 5). VeChain, BYD Build Blockchain Carbon Monitoring App. *Cryptovest*. Ανάκτηση από <https://cryptovest.com/news/vechain-byd-build-blockchain-carbon-monitoring-app/>
114. Kehoe, L., & Hallahan, J. (2018). *Blockchain – a game changer in aircraft leasing?* Airfinance Annual.
115. Léopold, E. (2018). *BLOCKCHAIN IN AVIATION*. IATA.
116. AVINOC the Blockchain Solution Disrupting the Global Aviation Business. (2018, June 28). *Bitcoin.com*. Ανάκτηση από <https://news.bitcoin.com/pr-avinoc-the-blockchain-solution-disrupting-the-global-aviation-business/>
117. ZIM Levels Up Blockchain Initiative. (2019, January 15). *Port Technology*. Ανάκτηση από https://www.porttechnology.org/news/zim_levels_up_blockchain_initiative
118. ZIM Moves Forward with Blockchain-Based Bill-of-Lading. (2019, January 15). *World Maritime News*. Ανάκτηση από <https://worldmaritimenews.com/archives/268583/zim-moves-forward-with-blockchain-based-bill-of-lading/>
119. Zeaborn & BlocBox collaborate on Blockchain Project. (2019, January 18). *Container News*. Ανάκτηση από <https://container-news.com/zeaborn-blocbox-blockchain-project/>
120. Maersk and IBM Introduce TradeLens Blockchain Shipping Solution. (2018). *IBM News Room*. Ανάκτηση από <https://newsroom.ibm.com/2018-08-09-Maersk-and-IBM-Introduce-TradeLens-Blockchain-Shipping-Solution>
121. Maritime Blockchain Lab's Fuels Assurance Platform Scaling Up. (2018). *The Maritime Executive*. Ανάκτηση από <https://www.maritime-executive.com/corporate/maritime-blockchain-lab-s-fuels-assurance-platform-scaling-up>
122. MLB to Test Blockchain in Real-World Bunker Fuel Supply. (2018, December 5). *World Maritime News*. Ανάκτηση από <https://worldmaritimenews.com/archives/266049/mlb-to-test-blockchain-in-real-world-bunker-fuel-supply/>

123. Consortium to Test Blockchain in Bunker Industry. (2018, July 26). *World Maritime News*. Ανάκτηση από <https://worldmaritimeneeds.com/archives/257749/consortium-to-test-blockchain-in-bunker-industry/>
124. Price, D. (2018, October 3). 5 Big Blockchain Issues: Security, Privacy, Legal, Regulatory, and Ethical. *Blocks Decoded*. Ανάκτηση από <https://blocksdecoded.com/blockchain-issues-security-privacy-legal-regulatory-ethical/>
125. *Bitcoin Weaknesses*. Bitcoin Wiki. Ανάκτηση από https://en.bitcoin.it/wiki/Weaknesses#Sybil_attack
126. Grewal-Carr, V., & Marshall, S. (χ.χ.). *Blockchain Enigma. Paradox. Opportunity*. Deloitte.
127. Savage, M. (2018, April 20). Blockchain and Its Implementation Challenges. *NetworkComputing*. Ανάκτηση από <https://www.networkcomputing.com/network-security/blockchain-and-its-implementation-challenges>
128. Reyna, A., Martin, C., Chen, J., Soler, E., & Diaz, M. (2018). *On blockchain and its integration with IoT. Challenges and opportunities*. Elsevier.
129. Μπρουζιούτης, Χ. (2017). "Τμές καυσίμων και η επίδρασή τους στη Ναυτιλία.". ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ.
130. Miller, T. (2018). "Risk Focus: Safe Bunker Operations. How to ensure safe bunkering practice to avoid spills.". UK P&I Club.
131. Μπακάλη, Α. (2017). "Η Διαδικασία του Bunkering και το συναφές κόστος κίνησης σαν στοιχείο της ανταγωνιστικότητας ενός εμπορικού πλοίου.". ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ.
132. (2018). "Best practice guidance for suppliers for assuring the quality of bunkers delivered to ships.". IBIA. Ανάκτηση από <https://ibia.net/wp-content/uploads/2018/04/IBIA-Guidance-on-best-practice-for-fuel-oil-suppliers.pdf>
133. Wright, A., & Wilson, T. (2012). "Flashpoint of Marine Oil Fuels.". Lloyd's Register FOBAS.
134. (2017). "Ship Bunker Operations from Fixed Shore Installations.". Peel Ports Great Yarmouth. Ανάκτηση από <https://www.peelports.com/media/2399/2-bunkering-shore-to-ship-bunker-guidance-and-requirements-v2>
135. (2018). "Best practice guidance for suppliers for assuring the quality of bunkers delivered to ships.". IBIA. Ανάκτηση από <https://ibia.net/wp-content/uploads/2018/04/IBIA-Guidance-on-best-practice-for-fuel-oil-suppliers.pdf>
136. Ahmed, R., Li, J., & Ahmed, J. (2019). Simulation Model for Blockchain Systems Using Queuing Theory. *MDPI*.
137. "Main Engine Damage due to bunkered fuel quality.". (2019, March). *SAFETY4SEA*. Ανάκτηση από <https://safety4sea.com/cm-main-engine-damage-due-to-bunkered-fuel-quality/>

138. Dobran, B. (2018). Black Box Testing vs White Box Testing: Know the Differences. *phoenixNAP*. Ανάκτηση από <https://phoenixnap.com/blog/white-box-vs-black-box-testing>
139. Black Box Testing: An In-Depth Tutorial With Examples And Techniques. (2019). *Software Testing Help*. Ανάκτηση από <https://www.softwaretestinghelp.com/black-box-testing/>
140. Black Box Testing: An In-Depth Tutorial With Examples And Techniques. (2019). *Software Testing Help*. Ανάκτηση από <https://www.softwaretestinghelp.com/black-box-testing/>
141. (2009). *Second IMO GHG Study*. International Maritime Organization.
142. P. Tabirao, M. A. (2018). *Blockchain Technology for Tracking and Reporting of Carbon Dioxide Emission*. Aalborg University Copenhagen.