



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ, ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΩΝ & ΔΙΕΘΝΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΒΙΟΟΙΚΟΝΟΜΙΑ, ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ & ΒΙΩΣΙΜΗ
ΑΝΑΠΤΥΞΗ»**

Βιώσιμες Πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα

Τσιρώνη Χριστιάνα

Πειραιάς, Ιούνιος 2025



UNIVERSITY OF PIRAEUS

**SCHOOL OF ECONOMICS, BUSINESS AND INTERNATIONAL STUDIES
DEPARTMENT OF ECONOMICS**

**MSc. in Bioeconomy, Circular Economy & Sustainable
Development**

Sustainable Practices in the Supply Chain

By Tsironi Christiana

Piraeus, Greece, June 2025



ΤΜΗΜΑ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι το έργο που εκπονήθηκε και παρουσιάζεται στην υποβαλλόμενη διπλωματική εργασία, για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών, στη «*Βιοοικονομία, Κυκλική Οικονομία και Βιώσιμη Ανάπτυξη*» με τίτλο:

«Βιώσιμες Πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα»

έχει γραφτεί από εμένα αποκλειστικά στο σύνολό της. Δεν έχει υποβληθεί ούτε εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού προγράμματος ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό, ούτε είναι εργασία ή τμήμα εργασίας ακαδημαϊκού ή επαγγελματικού χαρακτήρα.

Δηλώνω επίσης υπεύθυνα ότι οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αναφέρονται στο σύνολό τους, κάνοντάς πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.»

Υπογραφή Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Όνοματεπώνυμο

Τσιρώνη Χριστιάνα

Στο Χρήστο, στη Βιβιάνα και στη Δωρίτα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σωτήριο Καρκαλάκο για την απεριόριστη βοήθεια του κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου που ήταν κοντά μου σε όλη την πορεία μου για την ολοκλήρωση της και τους ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου για την αμέριστη στήριξή τους.

Βιώσιμες πρακτικές στον χώρο της εφοδιαστικής αλυσίδας

Όροι κλειδιά: εφοδιαστική αλυσίδα, blockchain, ψηφιακός δίδυμος, τεχνητή νοημοσύνη, έξυπνες αποθήκες, έξυπνες συσκευσίες, ουδετερότητα CO₂, βιώσιμη ανάπτυξη

Περίληψη

Εφοδιαστική αλυσίδα ή αλλιώς Logistics είναι ο όρος που περιγράφει την μεταφορά, την αποθήκευση και τον γενικότερο χειρισμό των προϊόντων από την στιγμή που είναι πρώτες ύλες μέχρι τη στιγμή που θα φτάσουν να παραδοθούν στο τελικό τους σημείο για πώληση ή κατανάλωση. Η σημερινή παγκόσμια πραγματικότητα επιτάσσει την όλο και πιο αποτελεσματική διαμόρφωση και λειτουργία των συστημάτων της εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics), ώστε αυτή να ανταποκρίνεται στην πληθώρα των απαιτήσεων που διαχρονικά υπάρχουν ή εκ νέου προκύπτουν. Ο ρόλος της αποτελεσματικής λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας τα τελευταία 50 χρόνια ήταν καθοριστικής σημασίας για τη βελτίωση και ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομικής πραγματικότητας για πληθώρα επιχειρήσεων, ένας ρόλος, όμως, ο οποίος είχε σαν μοναδικό παράγοντα επιτυχίας αυτόν του κέρδους χωρίς να προσμετρώνται μέσα στην έκρηξη της νέας παγκόσμιας πραγματικότητας και οι αρνητικές εκφάνσεις των λειτουργιών που περιλαμβάνονται.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα και πιο ξεκάθαρο ότι οι ανησυχίες για την περιβαλλοντική ευημερία του ανθρώπου αυξάνονται. Η ένταξη περιβαλλοντικών και κοινωνικών κριτηρίων στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι κομβικής σημασίας και απασχολεί τόσο τον επιχειρηματικό κόσμο όσο και τους ιθύνοντες για την θεσμική προαγωγή και προστασία των κατάλληλων πρακτικών.

Στην παρούσα διπλωματική επιχειρείται να παρουσιαστεί η σύνδεση μεταξύ logistics, περιβάλλοντος και βιώσιμης ανάπτυξης, αναλύεται σχετική μελέτη περιπτώσης και καταλήγει σε κρίσιμα συμπεράσματα που συνάδουν με αυτές, αλλά και σε κάποιες βασικές προοπτικές για το μέλλον, καθώς η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της οργάνωσης και της ευημερίας των ανθρώπινων κοινωνιών, αλλά και της ισορροπίας (ή ανισορροπίας), μεταξύ οικονομικής ανάπτυξης, θεσμών, κοινωνίας και περιβάλλοντος.

Sustainable practices in the supply chain

Key terms: supply chain, blockchain, digital twin, artificial intelligence, smart warehouses, smart packaging, CO2 neutrality, sustainable development

Abstract

Supply chain or otherwise Logistics is the term that describes the transportation, storage and general handling of products from the moment they are raw materials until the moment they reach their final point for sale or consumption. Today's global reality requires the increasingly effective configuration and operation of supply chain systems (logistics), so that it meets the plethora of requirements that exist over time or arise again. The role of efficient operation of the supply chain over the last 50 years has been decisive for the improvement and development of the global economic reality for many businesses, a role, however, which had as its only success factor that of profit without counting in the explosion of the new global reality the negative aspects of the operations involved.

In recent years it has become increasingly clear that concerns about human environmental well-being are growing. The integration of environmental and social criteria into supply chain processes is of key importance and concerns both the business world and decision-makers for the institutional promotion and protection of appropriate practices.

This thesis attempts to present the connection between logistics, environment and sustainable development, analyze relevant case study and reach critical conclusions that are consistent with them, but also some basic prospects for the future, as supply chain is a very important part of the organization and prosperity of human societies, but also of balance (or imbalance) between economic development, institutions, society and environment.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	vi
Κατάλογος εικόνων.....	x
Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή - Θεωρητικό Υπόβαθρο	
1. Εισαγωγή	1
1. 1. Βασικές Αρχές της Βιώσιμης Ανάπτυξης.....	2
1.2. Ορισμός Εφοδιαστικής Αλυσίδας.....	3
1.2.1. Νομοθετικό Πλαίσιο.....	3
1.2.2. Στόχοι.....	4
Κεφάλαιο 2^ο - Σύγχρονες Βιώσιμες Πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα	
2.1. Πράσινη Εφοδιαστική.....	5
2.2. Δείκτες	6
2.2.1. LPI (Logistics Performance Index)	6
2.2.2. EPI (Environmental Performance Index)	7
2.2.3. GLPI (Green Logistics Performance Index)	8
2.3. Κυκλική οικονομία και εφοδιαστική αλυσίδα.....	10
2.3.1. Αντίστροφη Εφοδιαστική.....	10
2.3.2. Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλειστού Βρόγχου.....	11
2.4. Μείωση εκπομπών άνθρακα και ενεργειακή αποδοτικότητα στην Εφοδιαστική Αλυσίδα.....	13
2.4.1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής.....	13
2.4.2. Ουδετερότητα CO ₂	14
2.5. Χρήση Ανανεώσιμων και φιλικών προς το περιβάλλον υλικών.....	15
2.5.1. Ανανεώσιμοι πόροι.....	15
2.5.2. Έξυπνη συσκευασία.....	17
2.5.3. Οικολογική συσκευασία.....	18
Κεφάλαιο 3^ο – Τεχνολογίες για τη Βιώσιμη Εφοδιαστική	
3.1. Ψηφιακός Μετασχηματισμός και Βιώσιμη Εφοδιαστική(IoT, Blockchain).....	19
3.2. Ανάλυση δεδομένων και Βελτιστοποίηση διαδρομών μεταφορών.....	21
3.3. Αυτοματισμοί και ρομποτική στη διαχείριση αποθεμάτων.....	24
3.3.1. Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αποθήκευσης και Ανάκτησης.....	25
3.3.2. Ψηφιακός Δίδυμος.....	26
3.4. Χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων και εναλλακτικών καυσίμων.....	28

Κεφάλαιο 4^ο – Έξυπνες Αποθήκες

4.1. Έξυπνες αποθήκες και Τεχνητή Νοημοσύνη.....	30
--	----

Κεφάλαιο 5^ο -Μελέτη Περίπτωσης

5.1 Maersk.....	37
-----------------	----

Κεφάλαιο 6^ο – Συμπεράσματα – Προκλήσεις

6.1. Συμπεράσματα.....	43
------------------------	----

6.2. Προκλήσεις.....	44
----------------------	----

Κατάλογος εικόνων

1. The Logistics Performance Index and its Indicators, connecting to compete 2023, World Bank.....	46
2. Green logistics performance Index as a benchmarking tool for EU countries environmental sustainability Marta Starostka-Patyk, Paula Bajdor Czestochowa, Jakub Białas.....	47
3. Μια γενική μορφή προωθητικής /αντίστροφης εφοδιαστικής.....	48
4. Μορφή λειτουργίας της ΑΕΚΒ.....	48
5. Τρόπος λειτουργίας του blockchain.....	49
6. Μία πολυεπίπεδη αλυσίδα εφοδιασμού.....	50
7. Η Αρχιτεκτονική της Ομοσπονδιακής Μάθησης (Federated Learning).....	51
8. Η Αρχιτεκτονική των Νευρωνικών Δικτύων Γραφημάτων.....	52
9. Η Αρχιτεκτονική των Ομοσπονδιακών Νευρωνικών Δικτύων Μάθησης και Γραφημάτων.....	52
10. Διαδικασία εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης σαν διαδικασία αποφάσεων μέσα σε μία επιχείρηση.....	53
11. Περίπτωση χρήσης CBML της Maersk για έλεγχο θαλάσσιων κινδύνων σε πραγματικό χρόνο και ασφάλιση θαλάσσιου κύτους.....	54

1. Εισαγωγή – Θεωρητικό Υπόβαθρο

Ετυμολογικά, όπως αναφέρει ο Μαλινδρέτος (2015), ο όρος *Εφοδιαστική/Logistics* έχει προέλευση από τον ελληνικό όρο «λόγος», που σημαίνει λογική, με την έννοια της εκλογίκευσης και σκοπό την επίτευξη ορισμένων συγκεκριμένων στόχων. Έχει γίνει αρχική χρήση του όρου «Λογιστική» πρώτη φορά από τον αυτοκράτορα του Βυζαντίου «Λέοντα τον Σοφό», σε σχέση με τη μέριμνα για τον εφοδιασμό, την τροφοδοσία και τη διατήρηση του στρατού της αυτοκρατορίας με τρόφιμα, ρουχισμό, πολεμοφόδια, κτλ. Σε πιο σύγχρονη ιστορική και επιστημονική αναφορά, μαζική χρήση «Εφοδιαστικής» έγινε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου από τις ΗΠΑ και τους Συμμάχους για τον εφοδιασμό των νηοπομπών των συμμαχικών δυνάμεων, μέσω χρησιμοποίησης κατά βάση επιχειρηματικής έρευνας και εκτεταμένης χρήσης «προσομοιώσεων». Το ενδιαφέρον στην Εφοδιαστική/Logistics σε επιστημονικό και επιχειρηματικό επίπεδο είχε αρχίσει μεταπολεμικά να στρέφεται συστηματικά από τη δεκαετία του 1960.

Η εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί μία βασική συνιστώσα της επιχειρηματικής λειτουργίας, καλύπτοντας όλες τις διαδικασίες που απαιτούνται για τη ροή υλικών, πληροφορίας και υπηρεσιών, από τον προμηθευτή μέχρι τον τελικό καταναλωτή. Με την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των αγορών και την απαίτηση για αποτελεσματικότερες και πιο αποδοτικές λειτουργίες, η βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία. Η βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα δεν αφορά μόνο την περιβαλλοντική διαχείριση, αλλά επεκτείνεται σε κοινωνικοοικονομικά ζητήματα, όπως η ηθική προμήθεια υλικών, η διασφάλιση δίκαιων συνθηκών εργασίας και η διαφάνεια στις συναλλαγές. Ο συνδυασμός οικονομικής αποδοτικότητας, περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και κοινωνικής υπευθυνότητας συνιστά μία στρατηγική προσέγγιση για επιχειρήσεις που επιδιώκουν μακροπρόθεσμη επιτυχία.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνήσει τις βασικές αρχές και τις βέλτιστες πρακτικές που εφαρμόζονται στη βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα. Ειδικότερα, η μελέτη επικεντρώνεται στην ανάλυση των περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων των λειτουργιών της εφοδιαστικής αλυσίδας, έχοντας ως στόχο τη διαμόρφωση προτάσεων για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας. Μέσα από τη διεθνή βιβλιογραφία, τις αναδυόμενες τάσεις και τις πρακτικές που εφαρμόζονται

σε επιτυχημένες επιχειρήσεις, αυτή η διπλωματική εργασία επιχειρεί να καταγράψει και να αξιολογήσει τα σημεία-κλειδιά για την επιτυχημένη εφαρμογή μιας βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας. Επομένως, η συμβολή της εργασίας εστιάζεται στη διαμόρφωση μιας ολιστικής προσέγγισης, η οποία θα συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη των επιχειρήσεων και στην αποτελεσματική διαχείριση των πόρων .

1.1 Βασικές Αρχές της Βιώσιμης Ανάπτυξης

Η Βιώσιμη Ανάπτυξη ξεκίνησε το ταξίδι της πίσω στο 1987 με την πρώτη αναφορά στον όρο να αποδίδεται στην Πρωθυπουργό της Νορβηγίας GroHarlem Brundtland και την περίφημη “Brundtland Report” που κατέθεσε, όπου εκεί ορίστηκε πως βιώσιμη ανάπτυξη είναι **«η ανάπτυξη που ικανοποιεί της ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες»**. Από τότε μεσολάβησαν πολλές άλλες διασκέψεις και συνέδρια , ώσπου φτάσαμε στο 2015 , χρονιά ορόσημο για τη βιωσιμότητα , και στη συμφωνία του Παρισιού για την Κλιματική Αλλαγή, καθώς εκεί υιοθετήθηκε από τη Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών η Agenda 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη . Η Agenda 2030 εσωκλείει ένα σύνολο 17 Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (SDGs) και 169 υποστόχων οι οποίοι πρέπει να επιτευχθούν από χώρες και επιχειρήσεις μέχρι το 2030. Η βιώσιμη ανάπτυξη για να υπάρξει σε μία χώρα, σε ένα πλαίσιο , σε ένα περιβάλλον ή σε μία επιχείρηση στηρίζεται πάνω σε τρεις βασικούς πυλώνες : κοινωνία , περιβάλλον , διακυβέρνηση. Με την κοινωνία συνδέονται οι περισσότεροι στόχοι , ο στόχος No 1 « Εξάλειψη της Φτώχειας» , ο στόχος No 2 « Εκμηδένιση της Πείνας» , ο στόχος No 3 « Καλή Υγεία και Ευμάρεια», ο στόχος No 4 « Εκπαίδευση» , ο στόχος No 5 « Ισότητα των Φύλων» , ο στόχος No 7 « Οικονομική και Καθαρή Ενέργεια» , ο στόχος No 11 «Βιώσιμες Πόλεις και Κοινότητες» και ο στόχος No 16 «Ειρήνη και Δικαιοσύνη» . Στο περιβάλλον υπάγονται οι στόχοι No 6 «Καθαρό Νερό και Υγιεινή» , No 13 «Περιβαλλοντική Δράση» , No 14 « Υποθαλάσσια Ζωή» , και No 15 «Επίγεια Ζωή». Στον τρίτο πυλώνα της βιώσιμης ανάπτυξης υπάγονται οι στόχοι No 8 « Ευπρεπής Εργασία και Οικονομική Ανάπτυξη», No 9 «Βιομηχανία, Καινοτομία και Υποδομές» , No 10 «Μείωση των Ανισοτήτων» και No 12 «Υπεύθυνη Κατανάλωση και Παραγωγή» . Και για να σταθεί όρθιο όλο το οικοδόμημα της βιώσιμης

ανάπτυξης πρέπει οι 3 πυλώνες με τους στόχους τους να συνεργάζονται κάτω από έναν κοινό στόχο, τον πιο σημαντικό, τον στόχο Νο 17 «Συνεργασία για την Επίτευξη των Στόχων».

1.2 Ορισμός Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Εφοδιαστική (Logistics) είναι το σύνολο των διεργασιών που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον έλεγχο της ροής (της μεταφοράς, της διαμεταφοράς και της αποθήκευσης) αγαθών και εμπορευμάτων από οποιοδήποτε σημείο προέλευσης σε οποιοδήποτε σημείο προορισμού και αντιστρόφως, καθώς και για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον έλεγχο της παροχής συναφών υπηρεσιών και της σχετικής πληροφορίας. Οι δραστηριότητες της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι η συλλογή, φόρτωση, μεταφορά, μεταφόρτωση, εκφόρτωση και παράδοση αγαθών και εμπορευμάτων, η ομαδοποίηση (consolidation) και ο διαχωρισμός (deconsolidation) αγαθών και εμπορευμάτων, η αποθήκευση και η διαχείριση της απογραφής εμπορευμάτων, η διαχείριση επιστροφών εμπορευμάτων και φθαρμένων ή κατεστραμμένων εμπορευμάτων (reverse Logistics) ή ακατάλληλων εμπορευμάτων ή υλικών συσκευασίας και η διαχείριση και επεξεργασία της πληροφορίας που αφορά όλες αυτές τις δραστηριότητες και αυτές κατατάσσονται στις κύριες δραστηριότητες. Η συσκευασία, η ανασυσκευασία, η ετικετοποίηση, ο έλεγχος της ποιότητας, η συναρμολόγηση ή οι μικρές τροποποιήσεις, οι εκτελωνιστικές εργασίες και η έκθεση και ο δειγματισμός προϊόντων κατατάσσονται στις δευτερεύουσες - συμπληρωματικές δραστηριότητες. Προκειμένου οι δευτερεύουσες δραστηριότητες να εντάσσονται στο πλαίσιο άσκησης δραστηριότητας Εφοδιαστικής, απαιτείται η κατά κύριο λόγο άσκηση μίας τουλάχιστον κύριας δραστηριότητας. Η εφοδιαστική έχει εξελιχθεί σε ραχοκοκαλιά της παγκόσμιας οικονομίας, προωθούμενη από την κατανάλωση και την παραγωγή.

1.2.1 Νομοθετικό Πλαίσιο

Ο νόμος που αντιπροσωπεύει τον κλάδο της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι ο Ν. 4302/2014. Η νομοθεσία για την εφοδιαστική αλυσίδα στην Ελλάδα προσαρμόζεται διαρκώς στις σύγχρονες απαιτήσεις του τομέα. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι τα εξής:

- Ο Νόμος 4302/2014, που θεσπίστηκε για να ρυθμίσει βασικές πτυχές της λειτουργίας των Logistics στην Ελλάδα, καθόρισε τις αρχές και τους κανόνες για τη διαχείριση των εφοδιαστικών αλυσίδων σε πολλούς οικονομικούς τομείς.

- Ο νόμος 4302/2014 χρειάζεται εκσυγχρονισμό για να ανταποκριθεί στις σύγχρονες προκλήσεις και τεχνολογικές εξελίξεις. Ο Αναπτυξιακός Νόμος 2023 παρέχει κίνητρα και προγράμματα στήριξης στις επιχειρήσεις μεταποίησης και εφοδιαστικής.
- Συμφωνίες και μνημόνια συνεργασίας, όπως αυτές μεταξύ Enterprise Greece και εταιρειών Logistics, υπογράφηκαν για την ενίσχυση και προώθηση της ελληνικής εφοδιαστικής αλυσίδας στο εξωτερικό.

Ο νομικός κανονισμός για τις μεταφορές, το εμπόριο και τις ασφάλειες, με συναφείς διατάξεις, επηρεάζει άμεσα τα Logistics, διαμορφώνοντας ένα ολοκληρωμένο νομικό πλαίσιο για την εφοδιαστική αλυσίδα. Η Ελλάδα βελτιώνει το νομικό πλαίσιο για την εφοδιαστική αλυσίδα, με βάση τον Ν.4302/2014. Αυτό γίνεται μέσω αναπτυξιακών μέτρων και συμφωνιών για ένα ανταγωνιστικό περιβάλλον στον κλάδο.

1.2.2. Στόχοι

Η σύνδεση της βιώσιμης ανάπτυξης με την εφοδιαστική αλυσίδα είναι επιτακτικής σημασίας καθώς όταν αναφερόμαστε στον όρο εφοδιαστική αλυσίδα αυτό μεταφράζεται σε όλες τις μεταφορές εμπορευμάτων που γίνονται μέσω αέρα, στεριάς και θάλασσας. Η κατανάλωση που απαιτείται στις μεταφορές σε ενέργεια (μεταφορά όπου απαιτείται ψύξη/συντήρηση) και ορυκτά καύσιμα είναι τεράστια με τα αποθέματά τους να είναι σε τροχιά συρρίκνωσης. Η επιβάρυνση που προκαλείται στο περιβάλλον μέσω της ρύπανσης των εκπομπών CO₂, το κυριότερο αέριο που ευθύνεται για το «φαινόμενο του θερμοκηπίου», ο θόρυβος που προκαλούν στην εκάστοτε γεωγραφική περιοχή όπου πραγματοποιούνται, η μόλυνση του υδροφόρου ορίζοντα και η μείωση της βιοποικιλότητας είναι, επίσης, σημαντικοί παράγοντες διασύνδεσης της βιωσιμότητας με την εφοδιαστική αλυσίδα. Τέλος, η απασχόληση εργατικού δυναμικού και η διασφάλιση υγιών και ασφαλών συνθηκών εργασίας οδηγούν ολοένα και περισσότερες επιχειρήσεις στη δημιουργία «πράσινων εφοδιαστικών αλυσίδων» (green logistics).

Και από τη νομοθετική σκοπιά ,το άρθρο 5 του Ν.4302/2014 αναφέρεται στην Πράσινη Εφοδιαστική και συγκεκριμένα στην αναγκαιότητα να υπάρχουν συστήματα καταγραφής των περιβαλλοντικών επιδόσεων των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στην Εφοδιαστική, στις οποίες επιδόσεις συμπεριλαμβάνεται το αποτύπωμα άνθρακα, οι τρόποι γνωστοποίησης στην αγορά και στο ευρύ κοινό των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στην Εφοδιαστική οι οποίες διατηρούν ή επαυξάνουν τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις και η εφαρμογή συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης πιστοποιημένο από αρμόδιο φορέα. Επίσης , στο Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας έχει δημιουργηθεί η Εθνική Βάση των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων (Ε.Ε.Λ.) με σκοπό την άμεση και συνεχή παρακολούθηση της πορείας εφαρμογής της στη χώρα, καθώς και την απευθείας ενημέρωση του κοινού. Έχει τεθεί σε λειτουργία από το 2012 και αποτελεί ένα σημαντικό διαδραστικό εργαλείο, που χρησιμοποιείται καθημερινά από το Τμήμα Ελέγχου και Σχεδιασμού Επεξεργασίας Λυμάτων, τους αρμόδιους φορείς για την περιβαλλοντική αδειοδότηση των έργων, τους αρμόδιους φορείς για την λειτουργία των έργων και το ευρύ κοινό. Στην Εθνική Βάση καταχωρούνται και είναι διαθέσιμα σε κάθε ενδιαφερόμενο πληροφορίες για το σύνολο των οικισμών που εμπίπτουν στις διατάξεις της Οδηγίας 91/271/ΕΟΚ, τεχνικά και λειτουργικά δεδομένα των Εγκαταστάσεων Επεξεργασίας Λυμάτων στην Ελλάδα, πληροφορίες για τον τρόπο διάθεσης ή επαναχρησιμοποίησης των λυμάτων και της ιλύος, καθώς και οι περιβαλλοντικοί όροι για κάθε εγκατάσταση. Η καταχώρηση των στοιχείων και λειτουργικών δεδομένων γίνεται απευθείας από τους αρμόδιους φορείς λειτουργίας και τους εξουσιοδοτημένους χρήστες. Στην αναβαθμισμένη διαθέσιμη έκδοση της Εθνικής Βάσης παρέχεται η δυνατότητα προβολής των πληροφοριών που περιέχει σε αναβαθμισμένο γεωγραφικό περιβάλλον.

2. Σύγχρονες Βιώσιμες Πρακτικές στην Εφοδιαστική Αλυσίδα

2.1 Πράσινη Εφοδιαστική

Οι επιδόσεις των Logistics έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο φυσικό περιβάλλον. Μία από τις σημαντικές προκλήσεις για την επίτευξη των στόχων της Πράσινης Διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας είναι το οικολογικό αποτύπωμα που συνδέεται με διάφορες λειτουργίες Logistics. Οι βελτιώσεις στις επιδόσεις της εφοδιαστικής συνδέονται σημαντικά

με μειώσεις του οικολογικού αποτυπώματος μετά τον έλεγχο των επιπτώσεων του ΑΕΠ, των εισαγωγών, των εξαγωγών και του προσαρμοσμένου καθαρού εθνικού εισοδήματος. Οι επιχειρήσεις επεκτείνουν όλο και περισσότερο τις προσπάθειές τους για τη μείωση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της λειτουργίας τους λόγω των αυξανόμενων ρυθμιστικών πιέσεων και της ευαισθητοποίησης των πελατών τους. Η Πράσινη Εφοδιαστική αποτελεί την κύρια τάση ανάπτυξης των σύγχρονων Logistics.

Λόγω της παγκόσμιας οικονομικής ανάπτυξης και του παγκόσμιου δικτύου αλυσίδων εφοδιασμού, το δίκτυο εφοδιαστικής έχει γίνει πιο περίπλοκο και απομακρυσμένο. Οι μεγαλύτερες αποστάσεις που καλύπτονται κατά τη μεταφορά τείνουν να αυξάνουν τις εκπομπές, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η μεγάλη εξάρτηση του τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας από τρόπους μεταφοράς υψηλής έντασης άνθρακα, όπως είναι τα φορτηγά, τα πλοία και τα αεροπλάνα, συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, θέτοντας μια σημαντική πρόκληση βιωσιμότητας. Οι μεταφορές ξεχωρίζουν ως βασικός παράγοντας για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στον τομέα των Logistics. Ο όρος "Πράσινη Εφοδιαστική" σχετίζεται με το σχεδιασμό, τον έλεγχο και την εφαρμογή της ροής της εφοδιαστικής με την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνικών εφοδιαστικής με στόχο την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων.

2.2 Δείκτες

2.2.1. LPI (Logistics Performance Index)

Ο Δείκτης Απόδοσης Εφοδιαστικής (**LPI**) λειτουργεί ως ένα δυναμικό εργαλείο μέτρησης, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τις χώρες να κατανοήσουν τις αδυναμίες και τις ευκαιρίες που τους παρουσιάζονται στο πλαίσιο της διαχείρισης εφοδιασμού, προκειμένου να βελτιωθούν και να γίνουν καλύτερες από άποψη απόδοσης και επιχειρηματικής αριστείας. Ο LPI παρέχει μια απλή αξιολόγηση από επαγγελματικές πηγές σχετικά με το πόσο εύκολο είναι να εξαχθούν σε μια χώρα-στόχο όσον αφορά την ποιότητα των υποδομών, την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των δραστηριοτήτων εφοδιαστικής και τα σημεία συμφόρησης του δημόσιου τομέα. Ο LPI και οι συνιστώσες του ερμηνεύονται καλύτερα ως ένα στιγμιότυπο του πού βρίσκεται μια χώρα όσον αφορά την εφοδιαστική σε σχέση με τους ομολόγους της. Αυτή η σύγκριση μεταξύ των χωρών τους επιτρέπει να εντοπίζουν προκλήσεις και ευκαιρίες και να βελτιώνουν τις επιδόσεις τους. Ως εκ τούτου, μπορεί να χρησιμεύσει ως σημείο εισόδου για

μια πιο ολοκληρωμένη μέτρηση της απόδοσης εφοδιαστικής μιας χώρας. Το εργαλείο αυτό στηρίζει τη λειτουργία σε δύο κύριες πηγές δεδομένων : μέσω έρευνας που πραγματοποιείται σε επαγγελματίες του χώρου της εφοδιαστικής αλυσίδας και με αναλυτικά δεδομένα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο Δείκτης περιλαμβάνει έξι βασικούς πυλώνες των επιδόσεων της εφοδιαστικής αλυσίδας: τελωνεία, υποδομές, διεθνείς αποστολές, ποιότητα και ικανότητα εφοδιαστικής, παρακολούθηση και εντοπισμός και επικαιρότητα. Όσον αφορά το πρώτο σκέλος της πηγής δεδομένων, η έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2023 βασίστηκε σε δεδομένα 139 χωρών όπου αξιολογήθηκε το λογιστικό περιβάλλον μεταξύ αυτών των χωρών και ειδικών μεταφορέων και εταιρειών ταχυμεταφορών. Η δεύτερη πηγή των δεδομένων για αυτόν τον Δείκτη βασίστηκε σε λεπτομερείς πληροφορίες από το χώρο των θαλάσσιων μεταφορών , της παρακολούθησης κοντέινερ, από δραστηριότητες ταχυδρομείων και από αερομεταφορές. Η Ελλάδα , όπως παρατηρούμε και στην **εικόνα 1**, βρίσκεται στην 21^η θέση σύμφωνα με την World Bank στο σύνολο των 139 χωρών που μελετήθηκαν. Αυτά τα δεδομένα παρέχονται από αξιόπιστους συνεργάτες ενισχύοντας την αξιοπιστία του Δείκτη και παρέχοντας μία αντικειμενική μέτρηση της πραγματικής ταχύτητας και αποτελεσματικότητας των παγκόσμιων εφοδιαστικών αλυσίδων. Με αυτόν τον τρόπο, ο LPI δεν περιορίζεται σε μια μονοδιάστατη αξιολόγηση, αλλά προσφέρει μια πολυδιάστατη εικόνα της απόδοσης των Logistics, επιτρέποντας στις χώρες να εντοπίσουν τα σημεία προς βελτίωση και να υιοθετήσουν στοχευμένες στρατηγικές για την αναβάθμιση του ανταγωνιστικού τους πλεονεκτήματος στον τομέα των εφοδιαστικών αλυσίδων.

2.2.2. EPI (Environmental Performance Index)

Ο Δείκτης Περιβαλλοντικής Απόδοσης (Environmental Performance Index - EPI) ξεκίνησε το 2002 από το Παγκόσμιο Οικονομικό Φόρουμ σε συνεργασία με το Κέντρο Περιβαλλοντικού Νόμου και Πολιτικής του Πανεπιστημίου Yale και το Κέντρο για το Διεθνές Δίκτυο Πληροφοριών για την Επιστήμη της Γης του Πανεπιστημίου Columbia. Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει το Yale ο Δείκτης Περιβαλλοντικής Απόδοσης 2024 (EPI) παρέχει μια σύνοψη βάσει δεδομένων για την κατάσταση της βιωσιμότητας σε όλο τον κόσμο. Χρησιμοποιώντας 58 δείκτες απόδοσης σε 11 κατηγορίες θεμάτων, το EPI κατατάσσει 180 χώρες στις επιδόσεις της κλιματικής αλλαγής, την περιβαλλοντική υγεία και τη ζωτικότητα των οικοσυστημάτων. Οι δείκτες αυτοί παρέχουν μια μέτρηση σε εθνική κλίμακα του πόσο κοντά βρίσκονται οι χώρες στους καθορισμένους στόχους περιβαλλοντικής πολιτικής. Το EPI

προσφέρει έναν πίνακα αποτελεσμάτων που επισημαίνει τους ηγέτες και τους ουραγούς στις περιβαλλοντικές επιδόσεις και παρέχει πρακτική καθοδήγηση για τις χώρες που φιλοδοξούν να κινηθούν προς ένα βιώσιμο μέλλον. Οι δείκτες EPI παρέχουν έναν τρόπο εντοπισμού προβλημάτων, καθορισμού στόχων, παρακολούθησης τάσεων, κατανόησης των αποτελεσμάτων και προσδιορισμού βέλτιστων πρακτικών πολιτικής. Η υπέρβαση των συνολικών βαθμολογιών και η διερεύνηση των δεδομένων για την ανάλυση των επιδόσεων ανά κατηγορία ζητήματος, στόχο πολιτικής, ομάδα ομοτίμων και χώρας προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη αξία για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής. Αυτή η λεπτομερής άποψη και η συγκριτική προοπτική μπορούν να βοηθήσουν στην κατανόηση των καθοριστικών παραγόντων της περιβαλλοντικής προόδου και στη βελτίωση των πολιτικών επιλογών.

Ο Δείκτης Περιβαλλοντικής Απόδοσης (**EPI**) είναι μια μέθοδος ποσοτικοποίησης και αριθμητικής σήμανσης των περιβαλλοντικών επιδόσεων των πολιτικών ενός κράτους, επισημαίνοντας την υποβάθμιση των συστημάτων υποστήριξης της ζωής του πλανήτη από τα οποία εξαρτάται η ανθρωπότητα. Στον δείκτη αυτό χρησιμοποιούνται δύο διαστάσεις των περιβαλλοντικών επιδόσεων. Το πρώτο είναι η περιβαλλοντική υγεία - η οποία αναπτύσσεται με την οικονομική ανάπτυξη και το δεύτερο είναι η ζωτικότητα του οικοσυστήματος, η οποία δέχεται πίεση από την εκβιομηχάνιση και την αστικοποίηση. Το πρώτο μετρά τις απειλές για την ανθρώπινη υγεία και το δεύτερο μετρά τους φυσικούς πόρους του οικοσυστήματος. Σε αυτές τις δύο διαστάσεις, οι δημιουργοί κατηγοριοποίησαν 24 δείκτες σε δέκα κατηγορίες (**εικόνα 2**). Κάθε δείκτης έχει βαρύτητα που μας ενημερώνει για τη σημασία του και πόσο επηρεάζει τα τελικά αποτελέσματα.

Μια παγκόσμια οικονομία που εξακολουθεί να βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα ορυκτά καύσιμα μεταφράζεται σε συνεχιζόμενη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, όξυνση των ωκεανών και αυξανόμενες συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Αυτές οι αλλαγές απειλούν την επιβίωση των ειδών που ήδη υποφέρουν από εκτεταμένη απώλεια οικοτόπων, ωθώντας τα πιο κοντά στην εξαφάνιση. Πρόσφατες αναλύσεις δείχνουν ότι η ανθρωπότητα έχει ήδη υπερβεί έξι από τα εννέα κρίσιμα πλανητικά όρια που καθορίζουν τον ασφαλή επιχειρησιακό χώρο της Γης - και είναι κοντά στο να διασχίσει το έβδομο.

2.2.3. GLPI (Green Logistics Performance Index)

Ως χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση των επιδόσεων της βιομηχανίας εφοδιαστικής από την άποψη της βιωσιμότητας, χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός LPI και EPI και έχουμε πλέον έναν νέο Δείκτη τον GLPI, Δείκτης Απόδοσης Πράσινης Εφοδιαστικής. Οι χώρες με υψηλές βαθμολογίες LPI έχουν καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τις πράσινες μεταφορές. Σε αυτή την περίπτωση, η βελτίωση της απόδοσης της πράσινης εφοδιαστικής και των μεταφορών μπορεί να γίνει με την αποτελεσματική εφαρμογή περιβαλλοντικών κανονισμών και την ενθάρρυνση της χρήσης καθαρής ενέργειας. Ο κύριος στόχος της δημιουργίας του GLPI είναι να δείξει την ικανότητα μίας χώρας να αποδείξει αν η βελτίωση στην απόδοση της εφοδιαστικής είναι εις βάρος του περιβάλλοντος ή εάν πρόκειται για φιλική προς το περιβάλλον βελτίωση.

Γενικά, μία φιλική προς το περιβάλλον εφοδιαστική αλυσίδα απαιτεί λιγότερες μετακινήσεις, λιγότερο χειρισμό υλικών, μικρότερες αποστάσεις ταξιδιού, πιο άμεσες παραδόσεις και καλύτερη χρήση του χώρου. Ωστόσο, τέτοιες απαιτήσεις δεν μπορούν να ικανοποιηθούν εύκολα λόγω πολλών παραγόντων (π.χ. κόστος, εξυπηρέτηση πελατών, κυβερνητικοί κανονισμοί) που επηρεάζουν τις αποφάσεις που πρέπει να παρθούν από μία επιχείρηση στον κλάδο των Logistics. Ως εκ τούτου, μια κοινή προϋπόθεση είναι ότι οι πρωτοβουλίες προστασίας του περιβάλλοντος συχνά έρχονται σε σύγκρουση με την οικονομική ευημερία της εκάστοτε επιχείρησης. Τόσο στις αναδυόμενες όσο και στις ανεπτυγμένες οικονομίες, οι επιχειρήσεις ωθούνται να διεκδικούν την παραγωγικότητά τους, χρησιμοποιώντας παράλληλα αποδοτικούς και βιώσιμους πόρους για την εξάλειψη της περιβαλλοντικής καταστροφής, η οποία είναι κοντά στην πράσινη καινοτομία, τον βρόχο της αλυσίδας εφοδιασμού, την οικονομική παγκοσμιοποίηση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το να είσαι πράσινος μπορεί να οδηγήσει στο να έχεις λιγότερα έξοδα, για παράδειγμα, ο καλύτερος σχεδιασμός διαδρομών, η χρήση καυσίμου βιοντίζελ, ο καλύτερος συντονισμός των μεταφορών αποστολών λειτουργίες οι οποίες όχι μόνο μειώνουν το κόστος, αλλά και αναχαιτίζουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων εφοδιαστικής. Όταν τα απόβλητα ελαχιστοποιούνται ως μέρος του να είναι πράσινα, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι αποδοτικά συνδυασμένα με την καλύτερη αξιοποίηση των φυσικών πόρων. Με άλλα λόγια, οι βελτιωμένες περιβαλλοντικές επιδόσεις της επιχείρησης μπορούν να μεταφραστούν σε τεράστιο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να οδηγήσουν σε βελτιωμένα έσοδα, αυξημένο μερίδιο αγοράς και πιο θετική εταιρική εικόνα. Δημιουργήθηκαν δύο δείκτες

για την παρακολούθηση των μεταβολών τόσο στο περιβάλλον όσο και στην εφοδιαστική αλυσίδα. Ο GLPI δημιουργήθηκε μέσα από την ανάγκη που προέκυψε για να κατανοήσουν το θέμα της πράσινης εφοδιαστικής και των οικολογικών ανησυχιών. Ο GLPI θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως εργαλείο αναφοράς από χώρες για να διαπιστωθεί ποιες δράσεις που υλοποιούνται σε σχέση με άλλες λειτουργούν όπως θα έπρεπε.

2.3. Κυκλική οικονομία και εφοδιαστική αλυσίδα

2.3.1 Αντίστροφη Εφοδιαστική- ΑΕ (Reverse Logistics- RL)

Δεν γίνεται να μιλάμε για κυκλική οικονομία και εφοδιαστική αλυσίδα και να μην αναλύσουμε την αντίστροφη εφοδιαστική(εικόνα 3). Μια αλυσίδα εφοδιασμού, στην κλασική της μορφή , είναι ένας συνδυασμός διαδικασιών για την εκπλήρωση των αιτημάτων των πελατών και περιλαμβάνει όλες τις πιθανές οντότητες όπως προμηθευτές, κατασκευαστές, μεταφορείς, αποθήκες, λιανοπωλητές και τους ίδιους τους πελάτες. Η αντίστροφη εφοδιαστική (ΑΕ), από την άλλη όψη του νομίσματος, είναι μια λειτουργία εφοδιαστικής που επικεντρώνεται στην προς τα πίσω ροή των προϊόντων, δηλαδή από τους τελικούς πελάτες προς τους αρχικούς προμηθευτές. Σύμφωνα με το Αμερικανικό Εκτελεστικό Συμβούλιο Αντίστροφης Εφοδιαστικής, η αντίστροφη εφοδιαστική ορίζεται ως «Η διαδικασία σχεδιασμού, εφαρμογής και ελέγχου της αποτελεσματικής, οικονομικά αποδοτικής ροής πρώτων υλών, αποθεμάτων κατά τη διαδικασία, τελικών προϊόντων και σχετικών πληροφοριών από το σημείο κατανάλωσης έως το σημείο προέλευσης με σκοπό την ανάκτηση αξίας ή την κατάλληλη διάθεση».

Η αντίστροφη εφοδιαστική αποτελεί κρίσιμο στοιχείο της διαχείρισης της πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας και μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος της αειφόρου ανάπτυξης όπως έχει οριστεί από την Brundland ως «να ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να διακυβεύεται η ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες». Ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός συστήματος αντίστροφης εφοδιαστικής πρέπει να εξισορροπήσει τον συμβιβασμό μεταξύ οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής βιωσιμότητας , τους τρεις βασικούς πυλώνες της βιωσιμότητας. Ωστόσο, αυτό δεν είναι ένα

εύκολο εγχείρημα, λόγω της πολυπλοκότητας της αποτελεσματικής διαχείρισης πολλών ενδιαφερομένων μερών για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών, συμπεριλαμβανομένης της συλλογής, της διαλογής, της διανομής, της αποσυναρμολόγησης, της επισκευής, της επαναχρησιμοποίησης, της ανακατασκευής, της ανακύκλωσης, της ανάκτησης ενέργειας, της σωστής διάθεσης αποβλήτων και, φυσικά, των αυξημένων λειτουργικών εξόδων που απαιτούνται για τέτοια εξελιγμένα συστήματα. Η αντίστροφη εφοδιαστική μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη βελτίωση των επιδόσεων βιωσιμότητας των επιχειρήσεων μέσω, για παράδειγμα, της επίδρασής της στην εξοικονόμηση κόστους, της αύξησης των εσόδων από τις πωλήσεις ανακτημένων και ανακατασκευασμένων προϊόντων, της βελτίωσης της ικανοποίησης των πελατών ενεργώντας με κοινωνικά και περιβαλλοντικά υπεύθυνο τρόπο, της βελτίωσης της αφοσίωσης των πελατών δίνοντας μεγαλύτερη προσοχή στα ελαττωματικά προϊόντα και της θετικής επίδρασής της στην κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη με την ανάκτηση προϊόντων και τη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα.

2.3.2. Εφοδιαστική Αλυσίδα Κλειστού Βρόχου(EAKB) – Closed Loop Supply Chain (CLSC)

Η αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου ενσωματώνει αντίστροφες δραστηριότητες, όπως η ανακύκλωση και η ανακατασκευή, στην παραδοσιακή αλυσίδα εφοδιασμού. Αυτές οι αντίστροφες δραστηριότητες έχουν μετατρέψει τη μονόδρομη ροή των υλικών σε κυκλική ροή, βελτιώνοντας τη χρήση των πόρων και μειώνοντας τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων της αλυσίδας εφοδιασμού. Η χρήση μεταχειρισμένων και υποτιμημένων προϊόντων και η επιστροφή τους στην εφοδιαστική αλυσίδα όχι μόνο έχει θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, αλλά δημιουργεί ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και αυξάνει το όφελος της αλυσίδας. Επειδή τα προϊόντα είναι ανακτήσιμα και επαναχρησιμοποιήσιμα σε ορισμένες βιομηχανίες, ορισμένοι εξετάζουν μέτρα για την επισκευή ή την κατασκευή νέων προϊόντων με τη χρήση επιστρεφόμενων τεμαχίων των προϊόντων για την πώλησή τους στη δευτερογενή αγορά και την αύξηση του εισοδήματος της αλυσίδας. Εάν ανακαινισμένα και νέα προϊόντα προσφέρονται στην αγορά στην ίδια ποιότητα και τιμή, είναι δύσκολο για τους λιανοπωλητές να τα πουλήσουν όλα ταυτόχρονα. Η αντίστροφη εφοδιαστική είναι μία από τις βασικές διαδικασίες μιας αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Η ΕΑΚΒ περιλαμβάνει την ΑΕ. Υπάρχει διαφοροποίηση στην αγορά μεταξύ των καταναλωτών, ακόμη και αν τα προϊόντα

αυτά έχουν παρόμοιες ποιότητες και τιμές. Αυτά τα ανακαινισμένα προϊόντα είναι το αποτέλεσμα μιας αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου. Ένα απλοποιημένο παράδειγμα της λειτουργίας της αλυσίδας εφοδιασμού κλειστού βρόχου απεικονίζεται στην **εικόνα 4** και αφορά στην επαναχρησιμοποίηση των ελαστικών αυτοκινήτων.

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες ανάκτησης προϊόντων δημιουργούν πρόσθετες ευκαιρίες για ΑΕ και ΕΑΚΒ. Όσον αφορά τις επιλογές ανάκτησης προϊόντων, ορισμένα προϊόντα, όπως τα ενδύματα, τα ηλεκτρονικά είδη, οι μπαταρίες και τα προϊόντα ψύξης, έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά που καθιστούν δυνατή την ανάκτηση αποβλήτων με οποιονδήποτε από τους ακόλουθους τρόπους 1)ανάκτηση προϊόντων (επισκευή, ανακαίνιση, επαναχρησιμοποίηση, ανακατασκευή και επισκευή), 2)ανάκτηση υλικών (ανακύκλωση), 3)ανάκτηση εξαρτημάτων (ανακατασκευή), 4) ανάκτηση ενέργειας. Εκτός από την ανάκτηση προϊόντων και υλικών, τα μεταχειρισμένα προϊόντα ένδυσης μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως βιώσιμη ενέργεια μέσω της ανάκτησης ενέργειας. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να δημιουργήσουν αξία από τα προϊόντα που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Η ανάκτηση ενέργειας είναι η διαδικασία μετατροπής των αποβλήτων σε ενέργεια με τη μορφή θερμότητας, ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμου μέσω μεθόδων όπως η αποτέφρωση, η αεριοποίηση ή η πυρόλυση, μειώνοντας έτσι την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και ελαχιστοποιώντας τις εκπομπές. Όλα αυτά συμβάλλουν στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα.

Παρά τα θετικά στοιχεία που εσωκλείει μέσα της η εφοδιαστική αλυσίδα κλειστού βρόχου, αξίζει να αναφερθούμε, έστω και επιγραμματικά, σε κάποιες από τις προκλήσεις τις οποίες καλείται να αντιμετωπίσει. Αυτές περιλαμβάνουν α) τις τοποθεσίες των καταναλωτών που δεν είναι σταθερές, β) το γεγονός ότι ανακτάται ένα ορισμένο ποσοστό των παραληφθέντων αγαθών, τα οποία αποστέλλονται σε τοποθεσίες ανάκτησης, γ) τα αγαθά που δεν μπορούν να ανακτηθούν αποστέλλονται σε τοποθεσίες ανακύκλωσης, δ) ένα ορισμένο ποσοστό των αγαθών που μεταφέρονται σε χώρους ανακύκλωσης μετατρέπονται σε απόβλητα και αποστέλλονται σε χώρους διάθεσης, ε) οι περιορισμοί που σχετίζονται με τη ζήτηση ανακυκλωμένων αγαθών και υλικών και στ) οι περιορισμοί της χωρητικότητας που απαιτείται.

Η εκπλήρωση της ΕΚΕ λαμβάνει όλο και περισσότερη προσοχή από το κοινό με τους καταναλωτές να είναι πρόθυμοι να πληρώσουν υψηλότερες τιμές για προϊόντα με κοινωνικά

υπεύθυνα χαρακτηριστικά . Η ΕΚΕ απαιτεί από τις εταιρείες να προχωρήσουν πέρα από την επιδίωξη οικονομικού κέρδους ως μοναδικού στόχου και , επίσης, δίνει έμφαση στη συμβολή στα ενδιαφερόμενα μέρη, τους καταναλωτές, το περιβάλλον και την κοινωνία. Συνοπτικά, η πράσινη ταυτότητα, η κυκλική οικονομία , η καινοτομία μάρκετινγκ, η ΕΚΕ και η χρηματοδότηση κεφαλαίων είναι όλα θέματα που πρέπει να εξετάσουν οι επιχειρήσεις της αλυσίδας εφοδιασμού, και ο κλειστός βρόχος στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι ένα σημαντικό τμήμα μέσα σε μία επιχείρηση που οφείλει να υιοθετηθεί σαν πρακτική για όσες επιχειρήσεις θέλουν να συμβαδίζουν με τα νέα δεδομένα.

2.4. Μείωση εκπομπών άνθρακα και ενεργειακή αποδοτικότητα στην ΕΑ

Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου έχει καταστεί τεράστια πρόκληση για κάθε μεμονωμένη επιχείρηση και την αλυσίδα εφοδιασμού της, λόγω της αυξανόμενης ανησυχίας για την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ως κύριοι παράγοντες οικονομικών δραστηριοτήτων, οι επιχειρήσεις αντιμετωπίζουν ορισμένες προκλήσεις όσον αφορά την ανάληψη ευθυνών για την κλιματική αλλαγή. Οι κανονισμοί εκπομπών και οι μηχανισμοί εμπορίας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα επιβάλλουν περιορισμούς στις επιχειρηματικές δραστηριότητες και οδηγούν τις επιχειρήσεις να βελτιώσουν τον σχεδιασμό των προϊόντων. Η αβεβαιότητα είναι επίσης εγγενής στην κλιματική αλλαγή και οι επιχειρήσεις έχουν ζητήσει ένα σταθερό πλαίσιο πολιτικής για την κλιμάκωση των επενδύσεων σε καθαρές τεχνολογίες και την κατάλληλη ανάπτυξη μιας αγοράς άνθρακα.

2.4.1. Ανάλυση Κύκλου Ζωής -AKZ

Ένα σημαντικό ζήτημα που σχετίζεται με το αποτύπωμα άνθρακα είναι η κοινή παραγωγή, η οποία προκύπτει συνήθως στις αλυσίδες εφοδιασμού. Για τις εκπομπές άνθρακα, η κοινή παραγωγή σημαίνει ότι πολλές επιχειρήσεις ενδέχεται να επηρεάσουν τις εκπομπές από μια συγκεκριμένη διαδικασία. Ένα προϊόν είναι το αποτέλεσμα πολλαπλών λειτουργικών διαδικασιών, όπως η αγορά, η κατασκευή και η μεταφορά και όλα αυτά τα στάδια στη ζωή των προϊόντων/εμπορευμάτων απαιτούν τη συνέργεια μεταξύ διαφορετικών επιχειρήσεων όπως είναι οι προμηθευτές των πρώτων υλών , οι παραγωγοί/κατασκευαστές των τελικών αγαθών ,οι μεταφορείς της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από τις

διαφορετικές αυτές επιχειρήσεις κατά τη διάρκεια μιας εξ' αυτών των διαδικασιών συνήθως καθορίζουν τις στρατηγικές της κάθε εταιρείας και επηρεάζουν άλλους. Η ανάλυση/αξιολόγηση κύκλου ζωής – AKZ (Life Cycle Assessment -LCA), η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για το αποτύπωμα άνθρακα στην πράξη, συγκεντρώνει τις εκπομπές σε πολλαπλά υποσυστήματα (διαδικασίες/επιχειρήσεις) για τη σωστή εκτίμηση των εκπομπών σε όλο το σύστημα (σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού). Η ανάλυση κύκλου ζωής είναι μια συστηματική μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος, μιας διαδικασίας ή μιας υπηρεσίας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του, από την εξόρυξη πρώτων υλών έως την απόρριψή του. Στόχος αυτής της ανάλυσης είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, υποστηρίζοντας πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τη βιωσιμότητα και τις περιβαλλοντικές επιδόσεις. Η AKZ είναι η πιο αναδυόμενη προσέγγιση που μπορεί να καλύψει πολλούς περιβαλλοντικούς ρύπους πολλαπλών συστατικών, όπως τα αέρια του θερμοκηπίου, η οικο-τοξικότητα, ο ευτροφισμός και ούτω καθεξής και γι' αυτό το λόγο η AKZ διαδραματίζει βασικό ρόλο στην επίτευξη καθαρών μηδενικών στόχων. Η επιλογή των πρώτων υλών μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στις συνολικές εκπομπές της αλυσίδας εφοδιασμού στο στάδιο της προμήθειας, όπως η αντικατάσταση των συμβατικών πλαστικών με βιώσιμα πλαστικά, η οποία βασίζεται σε δύο οδούς, συμπεριλαμβανομένων φιλικών προς το περιβάλλον υλικών βιολογικής προέλευσης (άμυλο, ζαχαροκάλαμο κ.λπ.) και υψηλού ποσοστού ανακύκλωσης και με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι υπολογισμοί εκπομπών στη διαδικασία ιχνηλασιμότητας της AKZ και ελαχιστοποιούνται τα απόβλητα. Η χρήση της AKZ μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό σημείων αιχμής στην αλυσίδα εφοδιασμού που συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές και να δώσει προτεραιότητα στα εργαλεία μετριασμού του φαινομένου.

2.4.2. Ουδετερότητα CO₂

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου έχουν οδηγήσει στην κλιματική αλλαγή αυξάνοντας την παγκόσμια μέση θερμοκρασία κατά 1,28^C από το 1850, με αποτέλεσμα καιρικά φαινόμενα που βλάπτουν τα δίκτυα παραγωγής σε όλο τον κόσμο. Στο πλαίσιο της εφοδιαστικής αλυσίδας η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θα πρέπει να γίνει εντός χρονικού πλαισίου που θα επιτρέπει στα οικοσυστήματα

να προσαρμόζονται φυσικά στην κλιματική αλλαγή, να αποτρέπει διαταραχές στα δίκτυα εφοδιαστικής και να επιτρέπει τη βιώσιμη οικονομική ανάπτυξη. Ανταποκρινόμενη στην ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εξελίχθηκε η έννοια της ουδετερότητας του άνθρακα, δηλαδή η κατάσταση στην οποία η καθαρή έκλυση εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι μηδενική, μία κατάσταση η οποία μπορεί να επιτευχθεί μέσω μέτρων όπως η μείωση των εκπομπών στις αλυσίδες εφοδιασμού, η εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή η υιοθέτηση εναλλακτικών τρόπων μεταφοράς. Παραδοσιακά, οι δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώνονταν κυρίως στην εξισορρόπηση της αποδοτικότητας, της μείωσης του κόστους και την αύξηση της αποτελεσματικότητας, μετρούμενη μέσω της βελτίωσης του επιπέδου εξυπηρέτησης. Σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, οι αποθήκες έχουν αναγνωριστεί ως βασικά συστατικά, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 20% του κόστους εφοδιαστικής. Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία η περιβαλλοντική βιωσιμότητα των εγκαταστάσεων εφοδιαστικής και των λειτουργιών αποθήκευσης έχει τεθεί υπό αμφισβήτηση, φέρνοντας περαιτέρω πολυπλοκότητα και αυξημένες προκλήσεις στον κλάδο των logistics. Οι διαχειριστές στην εφοδιαστική έχουν αρχίσει να αναζητούν καινοτόμα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και λύσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα εφαρμοστούν στις εγκαταστάσεις αποθήκευσής τους για να ενισχύσουν όχι μόνο την οικονομική αλλά και την περιβαλλοντική τους απόδοση όπως φωτοβολταϊκά πάνελ στην ταράτσα, θερμομόνωση, ανεμοσυλλέκτες, μείωση συσκευασιών, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση συσκευασιών, φωτισμός LED και αισθητήρες φωτός, μπαταρίες ιόντων λιθίου για εξοπλισμό χειρισμού υλικών, ταχυφορτιστές, βελτιστοποίηση απόστασης διαδρομής κ.ά.

2.5. Χρήση ανανεώσιμων πόρων και φιλικών προς το περιβάλλον υλικών

2.5.1. Ανανεώσιμοι πόροι

Η ανάπτυξη και η εμπορευματοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των βιώσιμων πρακτικών παραγωγής διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στη διαμόρφωση της παραδοσιακής διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και των επιχειρηματικών μοντέλων. Οι επιχειρήσεις και οι οργανισμοί πρέπει να εξισορροπήσουν τις οικονομικές και περιβαλλοντικές επιδόσεις για να παραμείνουν ανταγωνιστικές και να συμμορφωθούν με τις ρυθμιστικές και κοινοτικές πιέσεις τις σχετικές με την περιβαλλοντική τους συμμόρφωση. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) όπως η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμία, η βιομάζα και η υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρούνται οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες πηγές στη βιομηχανία ΑΠΕ και, ως εκ τούτου, είναι ευρέως αναγνωρίσιμες για την καταπολέμηση της χρήσης πηγών ενέργειας που δεν είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Η παραγωγή και η κατανάλωση αυτών των ενεργειακών πόρων είναι σημαντικά καθαροί, γεγονός που τους καθιστά κρίσιμης σημασίας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν πολλαπλά χαρακτηριστικά, όπως το γεγονός ότι είναι φυσικά αναπληρώσιμες, έχουν μειωμένη εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και μειωμένες έως μηδενικές εκπομπές CO₂ στην ατμόσφαιρα. Δύο θεμελιώδη στοιχεία καθιστούν την ενέργεια ανανεώσιμη, πρώτον, πρέπει να παράγεται από εύκολα αντικαταστάσιμες πηγές και, δεύτερον, πρέπει να εκπέμπει αμελητέα έως καθόλου αέρια θερμοκηπίου (GHG).

Η **βιομάζα** ως πηγή ενέργειας λαμβάνεται από οργανικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένου του ξύλου, των βιομηχανικών και οικιακών αποβλήτων, των μικροοργανισμών και άλλων φυτικών υλικών από γεωργικές δραστηριότητες. Τα απόβλητα αυτά μετατρέπονται άμεσα ή έμμεσα σε χρησιμοποιήσιμη ενέργεια και προϊόντα, όπως τα βιοκαύσιμα με τη χρήση διαφόρων τεχνολογικών διαδικασιών.

Η **ηλιακή ενέργεια** είναι αρκετή για να τροφοδοτήσει τον κόσμο για περισσότερες από δύο συνεχόμενες ώρες ανά δευτερόλεπτο ενέργειας που εκπέμπεται. Αυτό κάνει την ηλιακή ενέργεια να είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη και μεγαλύτερη πηγή ενέργειας σε εμπορική κλίμακα. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί από τον ήλιο χρησιμοποιώντας τρεις κύριες τεχνολογίες: φωτοβολταϊκά, συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια και ηλιακή θερμική. Αυτές οι τεχνολογίες μετατρέπουν το ηλιακό φως σε θερμότητα ή ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, η μεγαλύτερη πρόκληση που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας είναι η ικανότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας για μελλοντική χρήση.

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που προέρχεται από την κίνηση του αέρα. Ο κινούμενος αέρας λειτουργεί μια ανεμογεννήτρια που βρίσκεται στην ξηρά ή στην ανοικτή θάλασσα, η οποία παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Ο αέρας γύρω από έναν ρότορα, ο οποίος είναι προσαρτημένος στον κύριο άξονα που περιστρέφει τη γεννήτρια και παράγει ηλεκτρική ενέργεια, γυρίζει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει η αιολική ενέργεια είναι ζητήματα που προκύπτουν περιοδικά ως αποτέλεσμα των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών που επηρεάζουν την κίνηση των αποδημητικών πτηνών και , επίσης, καταλαμβάνουν σημαντικό τμήμα γης.

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται βαθιά κάτω από την επιφάνεια της Γης λόγω της ύπαρξης ζεστού νερού σε ποικίλες θερμοκρασίες μέσα στον πυρήνα της Γης. Η θερμοκρασία στον πυρήνα της Γης υπερβαίνει τους 5800C και η ενέργεια που αποθηκεύεται μέσα στη Γη είναι απεριόριστη σε σύγκριση με άλλες εμπορικές πηγές ΑΠΕ. Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την αντιστάθμιση του κόστους θέρμανσης και ψύξης σε διάφορες εγκαταστάσεις. Σε σύγκριση με την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια απελευθερώνει ελάχιστες εκπομπές CO₂, είναι πιο σταθερή και έχει προσελκύσει περισσότερη προσοχή την τελευταία δεκαετία.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την κίνηση του νερού με την μετακίνηση στροβίλων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η βαρύτητα παρέχει την πρωτογενή ενέργεια καθώς το νερό πέφτει πάνω στον στρόβιλο. Η υδροηλεκτρική ενέργεια έρχεται με πολλά πλεονεκτήματα, όπως η αφθονία και η αξιοπιστία, καθώς και το χαμηλό κόστος λειτουργίας. Οι αποταμιευτήρες υδροηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται για πολλαπλές χρήσεις, όπως για παράδειγμα, για τον έλεγχο των πλημμυρών και της ξηρασίας, για αρδευτικούς σκοπούς, για πόσιμη και οικιακή χρήση και για τη ναυσιπλοΐα. Ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια θεωρείται ανανεώσιμη χωρίς σχεδόν καμία ιδιαίτερη ρύπανση, τα μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα μπορούν, ωστόσο, να έχουν μεγάλο οικολογικό αποτύπωμα.

2.5.2. Έξυπνη Συσκευασία

Η ζήτηση για φιλικές προς το περιβάλλον και βιώσιμες συσκευασίες τροφίμων γνωρίζει σήμερα σημαντική αύξηση λόγω της αυξανόμενης ανησυχίας για τις επιπτώσεις που έχουν στην υγεία και στη ρύπανση του περιβάλλοντος που συνδέονται με τις συμβατικές πρακτικές συσκευασίας. Η παγκόσμια βιομηχανία συσκευασίας έχει δει μια αλλαγή τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξανόμενης ζήτησης των καταναλωτών για βιώσιμες, ασφαλείς και καινοτόμες λύσεις συσκευασίας. Η βιώσιμη συσκευασία ορίζεται ως συσκευασία με σχετικά ελάχιστο περιβαλλοντικό αντίκτυπο και αξιολογείται μέσω μοντέλων αξιολόγησης του κύκλου ζωής.

Περίπου το 37 % της παραγωγής πλαστικών προορίζεται για σκοπούς συσκευασίας, συμπεριλαμβανομένων ειδών μίας χρήσης, όπως είναι οι συσκευασίες τροφίμων και ποτών. Ένα σημαντικό μέρος, περίπου 85 %, αυτού του υλικού συσκευασίας καταλήγει τελικά σε χώρους υγειονομικής ταφής ως απόβλητο. Κατά συνέπεια, η διερεύνηση καινοτόμων λύσεων έχει καταστεί επιτακτική, οδηγώντας στην εμφάνιση της έξυπνης συσκευασίας ως μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση. Ο στόχος της έξυπνης συσκευασίας είναι να ενισχύσει την ασφάλεια και την ποιότητα των συσκευασμένων τροφίμων και τη διάρκεια ζωής τους επιτρέποντας την αλληλεπίδραση μεταξύ των υλικών συσκευασίας και των τροφίμων. Η έξυπνη συσκευασία αναφέρεται, επίσης, σε υλικά συσκευασίας που μπορούν να αλληλοεπιδρούν με τα προϊόντα και να παρακολουθούν αλλά και να ελέγχουν διάφορα στρώματα, όπως υγρασία, θερμοκρασία και σύνθεση αερίου. Η ενσωμάτωση βιοδραστικών ενώσεων που προέρχονται από φυσικές πηγές στις έξυπνες συσκευασίες είναι υψίστης σημασίας. Οι βιοδραστικές ενώσεις είναι φυσικές ενώσεις που έχουν βιολογική δραστηριότητα και υπάρχουν μέσα σε μια σειρά φυσικών δεξαμενών, συμπεριλαμβανομένων των φυτών, των φρούτων, των λαχανικών και άλλων οργανικών πηγών. Αυτές οι ενώσεις, ιδιαίτερα οι φαινολικές ενώσεις, τα καροτενοειδή και τα πεπτίδια, προσφέρουν λειτουργικές ιδιότητες, συμπεριλαμβανομένων αντιοξειδωτικών, αντιμικροβιακών και αντιφλεγμονωδών επιδράσεων.

2.5.3. Οικολογική συσκευασία

Η οικολογική συσκευασία έχει μεγάλες δυνατότητες να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι οικολογικά-σχεδιασμένες συσκευασίες έχουν θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο λαμβάνοντας υπόψη τους κύκλους ζωής των προϊόντων και βελτιώνοντας τις λειτουργίες συσκευασίας από την αρχή έως το τέλος της διάρκειας ζωής τους. Ένας πιο ανεπτυγμένος ορισμός της οικολογικής συσκευασίας, καθιερώνει τρία επίπεδα: α) πρώτες ύλες, β)

διαδικασίες παραγωγής και γ) διαχείριση αποβλήτων. Όσον αφορά τις πρώτες ύλες , χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένα υλικά και ανανεώσιμα αγαθά για τη μείωση της χρήσης υλικών με βάση το πετρέλαιο. Στη συνέχεια , ό,τι έχει σχέση με τη διαδικασία παραγωγής βιώσιμων συσκευασιών, πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτική και πρέπει να είναι μια ελαφριά και λεπτή συσκευασία. Και τέλος, στο τέλος της ζωής τους, πρέπει να συσκευάζονται με τρόπο που να επαναχρησιμοποιείται, να ανακυκλώνεται ή να βιοδιασπάται.

3. Τεχνολογίες για τη Βιώσιμη Εφοδιαστική

3.1. Ψηφιακός μετασχηματισμός και Βιώσιμη Εφοδιαστική (IoT, Blockchain)

Το Blockchain είναι μια τεχνολογία αιχμής που αναδύεται από την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0) και έχει τεράστιες δυνατότητες στην ψηφιοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού με χαρακτηριστικά όπως η αμετάβλητη των δεδομένων, η λειτουργική συνέπεια, η παρακολούθηση αρχείων και ένας μηχανισμός συναίνεσης που δημιουργεί ένα αξιόπιστο επιχειρηματικό οικοσύστημα βασισμένο σε κρυπτογραφικά στοιχεία με λιγότερους ή καθόλου μεσάζοντες. Η βασική δομή ενός blockchain περιέχει ένα μπλοκ και μια αλυσίδα. Όταν ένας ενδιαφερόμενος δημιουργεί μια συναλλαγή, όπως ένα χρονοδιάγραμμα αποστολής , η συναλλαγή αυτή καταγράφεται σε ένα μπλοκ αφού επικυρωθεί και εγκριθεί από όλα τα μέρη που συμμετέχουν στην εν λόγω συναλλαγή. Αυτό το πρώτο μπλοκ συνεχίζει να αποθηκεύει νέες εγγραφές συναλλαγών μέχρι να επιτευχθεί η χωρητικότητα αποθήκευσης αυτού του πρώτου μπλοκ. Στη συνέχεια, δημιουργείται το δεύτερο μπλοκ για σύνδεση με το πρώτο μπλοκ. Αυτό το δεύτερο μπλοκ συνεχίζει να καταγράφει νέες συναλλαγές μέχρι να καλυφθεί η χωρητικότητα αποθήκευσης του. Επιπλέον, στη συνέχεια, δημιουργείται το τρίτο μπλοκ και συνδέεται με το δεύτερο μπλοκ. Καθώς όλο και περισσότερα νέα μπλοκ δημιουργούνται και προσαρτώνται σε μια υπάρχουσα αλυσίδα μπλοκ, σχηματίζεται μια διαδοχική αλυσίδα μπλοκ. Συγκεκριμένα, το blockchain λειτουργεί σε μια εξαιρετικά ασφαλή και ζωντανή βάση δεδομένων κατανεμημένου καθολικού που διευκολύνει τις ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού για να τους επιτρέψει να παρακολουθούν τη συναρμολότητα των προϊόντων από τη στιγμή που προμηθεύονται μέχρι να φτάσουν στον τελικό χρήστη. Στην ουσία, το blockchain είναι ένα κρυπτογραφικό ψηφιακό καθολικό ή ένα

ηλεκτρονικά προστατευμένο αρχείο εγγράφων, αλληλεπιδράσεων ή εκτελούμενων δραστηριοτήτων που ανταλλάσσονται από τα συμμετέχοντα μέλη. Οι επιχειρησιακές δραστηριότητες που βασίζονται στο blockchain διευκολύνουν την πιστοποιημένη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ κάθε οντότητας σε μια αλυσίδα εφοδιασμού χωρίς την ανάγκη μιας αξιόπιστης κεντρικής αρχής να ενεργεί ως μεσάζοντας . Από αυτή την άποψη, το blockchain προσφέρει έναν γρήγορο διακανονισμό που μειώνει το κόστος συναλλαγής και αυξάνει τη διαφάνεια σε μια αλυσίδα εφοδιασμού επιβεβαιώνοντας και καταγράφοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο . Είναι, στην ουσία , μια παγκόσμια πλατφόρμα στην οποία μπορούν να βασίζονται οι επιχειρηματικές οντότητες για την καταγραφή συναλλαγών αλυσίδας εφοδιασμού ή άλλων ψηφιακών αλληλεπιδράσεων με τρόπο κρυπτογραφημένο, προσβάσιμο, εντελώς απρόσβλητο από διακοπές, ελέγξιμο και αξιόπιστο. Το blockchain ενδυναμώνει όλα τα μέλη της εφοδιαστικής αλυσίδας με ορατότητα σε πραγματικό χρόνο στις δραστηριότητες της εφοδιαστικής αλυσίδας, βελτιστοποιώντας έτσι τη διαχείριση αποθεμάτων και βελτιώνοντας την ανταπόκριση σε ζητήματα εφοδιαστικής αλυσίδας. Το πιο σημαντικό, η ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής πληροφοριών και επικοινωνιών, όπως το blockchain στη διαχείριση της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας , μπορεί να αντιμετωπίσει όχι μόνο τα εμπόδια στη λογοδοσία και την ιχνηλασιμότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού, αλλά και να προωθήσει τον συντονισμό και να βελτιώσει τη διαφάνεια, καθώς τα μέλη της αλυσίδας εφοδιασμού σε όλο τον κόσμο εξελίσσονται περισσότερο μέσω της χρήσης της.

Χρησιμοποιώντας κρυπτογραφικά κλειδιά, το blockchain είναι ικανό να καταγράφει όλες τις συναλλαγές εντός ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας, προστατεύοντάς το με μια λειτουργία δείκτη κατακερματισμού σε κάθε συναλλαγή. Με άλλα λόγια, το blockchain λειτουργεί σε ασφαλή πλαίσια απαραίτητα για τη διαχείριση της βιωσιμότητας εντός του δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας για την πρόληψη της παραποίησης δεδομένων από μέλη της αλυσίδας εφοδιασμού ή κυβερνοεπιθέσεων όπως η πλαστοπροσωπία ταυτότητας και οι επιθέσεις sybil(μία επίθεση sybil είναι μια κακόβουλη στρατηγική σε δίκτυα υπολογιστών όπου ένας εισβολέας δημιουργεί πολλές ψεύτικες ταυτότητες / κόμβους για να αποκτήσει επιρροή και να διαταράξει τη λειτουργία του δικτύου.). Το κατανεμημένο και μη αναστρέψιμο καθολικό των blockchains καθιστά επίσης τις συναλλαγές μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού και της εταιρείας εστίασης μη αφαιρούμενες, παρέχοντας έτσι ένα πλήρες αρχείο όπου κάθε δραστηριότητα εντός της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να παρακολουθείται για

συμμόρφωση μακροπρόθεσμα. Μπορούμε να δούμε τον τρόπο που λειτουργεί το blockchain στην **εικόνα 5** της παρούσας διπλωματικής. Από αυτή την άποψη, το blockchain παρέχει ορατότητα και διαφάνεια, προστατεύοντας παράλληλα το απόρρητο των ανταλλαγών της αλυσίδας εφοδιασμού μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού και των εταιρειών, συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στη βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η τεχνολογία του blockchain ασχολείται με τρία σημαντικά θέματα στον τομέα, 1) το blockchain για βιώσιμες επιχειρηματικές δραστηριότητες, 2) τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που χρησιμοποιούν blockchain και 3) το blockchain για έξυπνο σύστημα μεταφορών. Το Blockchain προσφέρει μια καινοτόμο διέξοδο για την αντιμετώπιση των ζητημάτων εμπιστοσύνης και ανταλλαγής πληροφοριών σχετικά με τις πρακτικές βιωσιμότητας μεταξύ των μελών της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω των εγγενών τεχνολογικών ιδιοτήτων του, που υποστηρίζονται από τεχνολογίες διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things- IoT). Η διαφανής και ελέγξιμη λειτουργικότητα του blockchain που ενεργοποιείται από την κατάλληλη τεχνολογία IoT μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη πρόσβαση σε πληροφορίες στο μέλλον για τις επιχειρήσεις για την αντιμετώπιση ζητημάτων λογοδοσίας σε περίπτωση μη συμμόρφωσης από ένα μέλος της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπλέον, το blockchain λειτουργεί με βάση την αυτο-επιβαλλόμενη συναίνεση μεταξύ των μελών της αλυσίδας εφοδιασμού για να καταστήσει μια συναλλαγή αυθεντική και, ως εκ τούτου, να αποτρέψει την καταγραφή ψευδών ή δυνητικά παράνομων συναλλαγών στο ψηφιακά κατανομημένο καθολικό. Επιπλέον, το blockchain είναι μια κλιμακούμενη εφαρμογή που δημιουργήθηκε για δίκτυα peer-to-peer που επιτρέπει γρήγορους οικονομικούς διακανονισμούς μεταξύ των μελών της αλυσίδας εφοδιασμού, εξαλείφοντας παράλληλα την ανάγκη για αξιόπιστους μεσάζοντες. Αυτή η λειτουργικότητα έξυπνων συμβολαίων στο blockchain είναι κρίσιμη για τη μείωση της οικονομικής ζημίας και της φήμης. Συνολικά, η εφαρμογή συστημάτων blockchain μπορεί να διευκολύνει τις επιχειρήσεις να συλλέγουν πληροφορίες (π.χ. πιστοποίηση, ημερομηνία, τοποθεσία, τιμή, ποιότητα) από τους εταίρους της αλυσίδας εφοδιασμού τους και έτσι να βελτιώσουν τη βιώσιμη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού. Με άλλα λόγια, η διαθεσιμότητα πληροφοριών μέσω μιας υποδομής βασισμένης σε blockchain για μια πολυεπίπεδη αλυσίδα εφοδιασμού, όπως φαίνεται στην **εικόνα 6**, μπορεί να βελτιώσει την ιχνηλασιμότητα των προϊόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού, να μειώσει τις απώλειες από τις αγορές παραποίησης/απομίμησης και τις γκρίζες αγορές, να ενισχύσει την προβολή και τη συμμόρφωση έναντι της εξωτερικής ανάθεσης της

συμβολαιακής κατασκευής και να ενισχύσει τον ρόλο της κεντρικής επιχείρησης ως ηγέτη στην υπεύθυνη παραγωγή .

3.2. Ανάλυση δεδομένων και βελτιστοποίηση διαδρομών μεταφοράς

Στο πλαίσιο της συνεχούς ανάπτυξης της παγκόσμιας οικονομίας, η ταχεία ανάπτυξη του κλάδου των logistics έχει επιφέρει σημαντικά προβλήματα κατανάλωσης ενέργειας και ρύπανσης του περιβάλλοντος. Στο ταχέως εξελισσόμενο τοπίο των λειτουργιών logistics, η βελτιστοποίηση των διαδρομών μεταφοράς αποτελεί βασικό παράγοντα για την επίτευξη αυξημένης αποτελεσματικότητας και οικονομικής αποδοτικότητας. Στο δυναμικό τοπίο του παγκόσμιου εμπορίου, η αποτελεσματική διακίνηση αγαθών αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο επιτυχίας για τις επιχειρήσεις σε όλους τους κλάδους. Κεντρικό στοιχείο αυτής της αποτελεσματικότητας είναι η βελτιστοποίηση των οδών μεταφοράς στο πλαίσιο των λειτουργιών της εφοδιαστικής. Η ενσωμάτωση της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων αναδύεται ως μια μετασχηματιστική προσέγγιση, προσφέροντας πρωτοφανείς γνώσεις και δυνατότητες βελτιστοποίησης διαδρομής.

Το ταξίδι της βελτιστοποίησης ξεκινά με τη σχολαστική συλλογή δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, συντεταγμένες GPS, αναφορές κυκλοφορίας, ιστορικά δεδομένα μεταφορών και προβλέψεις ζήτησης σε πραγματικό χρόνο. Μέσα από το πρίσμα της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων, αυτή η ανόμοια σειρά δεδομένων επεξεργάζεται, αναλύεται και μετατρέπεται σε αξιοποιήσιμες πληροφορίες που αποτελούν το θεμέλιο των στρατηγικών βελτιστοποίησης διαδρομών . Αυτές οι στρατηγικές έχουν σχεδιαστεί όχι μόνο για να ελαχιστοποιήσουν το κόστος μεταφοράς και το χρόνο ταξιδιού, αλλά και για να βρουν τη θέση τους μέσα στο περίπλοκο δίκτυο μεταβλητών που χαρακτηρίζουν τα σύγχρονα δίκτυα μεταφορών. Δεδομένης της πολυπλοκότητας των κυκλικών αλυσίδων εφοδιασμού, η χρήση ψηφιακών και αναλυτικών εργαλείων καθίσταται απαραίτητη για τη μοντελοποίηση και τη βελτιστοποίηση αυτών των δικτύων. Απαιτούνται ισχυρές ψηφιακές ικανότητες και τεχνολογίες για τη διευκόλυνση των κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Οι ψηφιακές τεχνολογίες προσφέρουν ευκαιρίες για την ενίσχυση των πόρων, τη δημιουργία αξίας και την καινοτομία, ευθυγραμμιζόμενες με τις πρακτικές της κυκλικής οικονομίας έτσι , συμβάλλουν στην Κυκλική Οικονομία με δύο βασικούς τρόπους: (i) επιτρέποντας τη δημιουργία και την ανταλλαγή γνώσης για τους υπεύθυνους λήψης

αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση των πόρων και τη δημιουργία αξίας και (ii) παρέχοντας αναλυτικά εργαλεία, όπως αλγόριθμους λήψης αποφάσεων πολλαπλών στόχων για τη βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας αποβλήτων.

Οι συμβατικές τεχνικές μηχανικής μάθησης (machine learning) παρέχουν διάφορες στρατηγικές για το χειρισμό ζητημάτων βιωσιμότητας στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και κάθε στρατηγική είναι επωφελής αλλά έχει συγκεκριμένα μειονεκτήματα. Αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ως εποπτευόμενη μάθηση, μη εποπτευόμενη μάθηση και αυτά που συνδυάζουν τις δύο κατηγορίες. Για τις μετρήσεις βιωσιμότητας, προτιμώνται τεχνικές εποπτευόμενης μάθησης, όπως η ανάλυση παλινδρόμησης και οι τεχνικές ταξινόμησης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται συνήθως για την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση ορισμένων βασικών μετρήσεων. Για παράδειγμα, η χρήση ανάλυσης παλινδρόμησης μπορεί να προβλέψει το επίπεδο εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, ενώ η ταξινόμηση μπορεί να ταξινομήσει τις πρακτικές της αλυσίδας εφοδιασμού με βάση τις επιδόσεις τους όσον αφορά τη βιωσιμότητα. Τα εργαλεία μηχανικής μάθησης, όπως οι μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machines-SVM), εφαρμόζονται συχνά για την εργασία σε μεγάλα σύνολα δεδομένων και καταλήγουν σε προβλέψεις σχετικά με τις εκπομπές ή τη χρήση των πόρων, τη διαχείριση αποβλήτων κ.λπ. . Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν δεδομένα για την ανάπτυξη μοντέλων σχετικά την πρόβλεψη της βιωσιμότητας και συνοδεύονται από συστάσεις γύρω από τα βήματα που απαιτούνται για την ενίσχυση της βιωσιμότητας. Ορισμένες από τις μεθόδους ομαδοποίησης, όπως είναι για παράδειγμα η ιεραρχική ομαδοποίηση, μπορούν να ομαδοποιήσουν παρόμοιες δραστηριότητες ή οντότητες της αλυσίδας εφοδιασμού με βάση διάφορους δείκτες βιωσιμότητας. *Υβριδισμός* είναι η πρακτική της ενσωμάτωσης δύο ή περισσότερων μεθόδων μηχανικής μάθησης για να επωφεληθούν από τα ενισχυτικά χαρακτηριστικά τους. Για παράδειγμα, μοντέλα που εμπίπτουν στην κατηγορία των συνόλων, όπως το Gradient Boosting (είναι μια τεχνική μηχανικής μάθησης που βασίζεται στην ενίσχυση σε έναν λειτουργικό χώρο, όπου ο στόχος είναι ψευδο-υπολείμματα αντί για υπολείμματα όπως στην παραδοσιακή ενίσχυση και δίνει ένα μοντέλο πρόβλεψης με τη μορφή ενός συνόλου ασθενών μοντέλων πρόβλεψης,) και το Stacking, μπορούν να ενισχύσουν την ακρίβεια πρόβλεψης λόγω της ενσωμάτωσης των αποτελεσμάτων διαφορετικών μοντέλων. Επιπλέον, έχουν χρησιμοποιηθεί προηγμένες τεχνικές βαθιάς μάθησης, συμπεριλαμβανομένων των Νευρωνικών Δικτύων, όπου ο αλγόριθμος αναλύει τεράστια σύνολα δεδομένων και εξάγει χαρακτηριστικά που είναι επωφελή για τη βιωσιμότητα.

Παρόλο που τέτοιες στρατηγικές παρέχουν τα κατάλληλα μέσα για την επίτευξη μίας βιώσιμης ταυτότητας, ενδέχεται να απαιτούν ορισμένες τροποποιήσεις για την αντιμετώπιση πραγματικών προβλημάτων και ιδιαιτεροτήτων των αλυσίδων εφοδιασμού. Ο συνδυασμός αυτών των τεχνικών με νέες τάσεις, όπως η *Ομοσπονδιακή Μάθηση* (**εικόνα 7** - Federated Learning-FL- η ομοσπονδιακή μάθηση είναι ένας τρόπος εκπαίδευσης μοντέλων TN χωρίς κανείς να βλέπει ή να αγγίζει τα δεδομένα , προσφέροντας έναν τρόπο ξεκλειδώματος πληροφοριών για την τροφοδοσία νέων εφαρμογών TN) και τα *Νευρωνικά Δίκτυα Γραφημάτων* (**εικόνα 8** - Graph Neural Networks – GNN είναι εξειδικευμένα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα που έχουν σχεδιαστεί για εργασίες των οποίων τα εισαγωγικά δεδομένα είναι γραφήματα), καθιστά δυνατή την ενίσχυση του αντίκτυπου και την επίτευξη ολιστικών, βιώσιμων στόχων για την επίτευξη υψηλότερης βιωσιμότητας στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα Ομοσπονδιακά Νευρωνικά Δίκτυα Μάθησης και Γραφημάτων (**εικόνα 9**) μπορούν να επιλύσουν αποτελεσματικά προκαθορισμένες εργασίες. Ωστόσο, η διαβίβαση τέτοιων πληροφοριών μπορεί να δημιουργήσει ορισμένα σοβαρά ζητήματα προστασίας της ιδιωτικής ζωής και ασφάλειας, καθώς μεταδίδονται σε καθαρό κείμενο. Το Federated Learning το λύνει αυτό, επιτρέποντας σε κάθε συμμετέχοντα να εκπαιδεύσει ένα τοπικό μοντέλο με τα δεδομένα του και στέλνοντας μόνο ενημερώσεις του μοντέλου σε έναν κεντρικό διακομιστή. Αυτή η αποκεντρωμένη διαδικασία ανταλλαγής και ανάλυσης δεδομένων συμβάλλει στη διατήρηση της ασφάλειας των πληροφοριών, ενώ εξακολουθεί να είναι σε θέση να συλλέγει δεδομένα από τα άλλα μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού.

3.3. Αυτοματισμοί και ρομποτική στη διαχείριση αποθηκών

Υπάρχει αυξανόμενη ζήτηση για ρομπότ στα συστήματα χειρισμού υλικών και στις αποθήκες για την αντιμετώπιση των ελλείψεων εργατικού δυναμικού και την αύξηση της παραγωγικότητας. Ο αυτοματισμός έχει αναδυθεί στη βιομηχανία, με στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των λειτουργιών. Αυτό έχει εφαρμοστεί στον τομέα της εσωτερικής εφοδιαστικής προκειμένου να φέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο στη φόρτωση και την ανάλυση δεδομένων, μείωση λαθών, οργανωτικό έλεγχο, βελτιωμένη εξυπηρέτηση πελατών, επεκτασιμότητα, ταχύτητα κ.λπ. Οι αποθήκες είναι οι κόμβοι ροής υλικών κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού και είναι ζωτικής σημασίας για τη

βιομηχανία και την εφοδιαστική. Οι τυπικές εργασίες αποθήκευσης περιλαμβάνουν παραλαβή, αποθήκευση, συλλογή παραγγελιών, συσκευασία και αποστολή. Για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με το υψηλό κόστος, τους γρήγορους χρόνους παράδοσης, τις δημογραφικές αλλαγές, τη ζήτηση για εξατομικευμένα προϊόντα, τις αυξανόμενες τιμές ενέργειας, την αβεβαιότητα εφοδιασμού και τις διαταραχές στην επιχειρηματική λειτουργία (βλέπε εποχή Covid-19), οι αποθήκες έχουν γίνει όλο και πιο «έξυπνες» και τώρα ενσωματώνουν ψηφιοποίηση, αυτοματοποίηση και δικτύωση διαδικασιών. Έξυπνες συσκευές και υπηρεσίες, όπως ρομπότ, drones, αυτόνομα οχήματα, εξωσκελετοί, αυτοματοποιημένα συστήματα αποθήκευσης και ανάκτησης και εφαρμογές cloud, έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται ευρέως σε αποθήκες. Τα προσαρμοσμένα κινητά ρομπότ είναι συνηθισμένα στις εφαρμογές κατασκευής και χειρισμού υλικών. Μια κατηγορία κινητών ρομπότ είναι αυτά τα οποία είναι γνωστά ως αυτόματα καθοδηγούμενα οχήματα (Automatic Guided Vehicles - AGVs) ή αυτόνομα κινητά ρομπότ (Autonomous Mobile Robots- AMRs), τα πρώτα ακολουθούν μια σταθερή διαδρομή κατά μήκος του δαπέδου χρησιμοποιώντας τροχιές, ετικέτες RFID ή μαγνητική ταινία ενώ τα AMRs συνήθως αποτελούνται από ρομποτικούς βραχίονες ή γερανούς. Τα AGVs συνήθως ταξιδεύουν κατά μήκος προκαθορισμένων διαδρομών και προσφέρουν περιορισμένη ευελιξία για αλλαγές που πρέπει να γίνουν ή για τη χρήση τους σε περιβάλλοντα όπως είναι οι αποθήκες όμως η απομάκρυνση από τα παραδοσιακά σταθερά συστήματα AGV στον ασύρματο και δυναμικό έλεγχο και παρακολούθηση έχει οδηγήσει στον νέο τύπο ρομπότ ο οποίος είναι γνωστός ως αυτόνομο AGV. Αν και αυτό μπορεί να είναι το ιδανικό σενάριο, η πραγματικότητα είναι ότι πολλές εργασίες απαιτούν ανθρώπους και ο χώρος εργασίας είναι ένας συνδυασμός αυτοματοποιημένων και ανθρώπινων σταθμών με συνθήκες που αλλάζουν λεπτό προς λεπτό. Αυτά τα ρομπότ πρέπει να μοιράζονται σχετικές πληροφορίες για τη συνέχεια και την ασφάλεια των διαδικασιών σε πραγματικό χρόνο. Από τη μία πλευρά, αυτά τα ρομπότ διαχειρίζονται ολόκληρη τη διαδικασία εφοδιαστικής και, όταν είναι απαραίτητο, βοηθούν στη μετακίνηση του εξοπλισμού από την αποθήκη στα εργαστήρια παραγωγής. Από την άλλη, η ασφάλεια μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε διάφορες διαδικασίες (βλέπε ατύχημα στο εργοστάσιο της Tesla στο Τέξας το 2021). Για το λόγο αυτό, τα AGV και τα AMR είναι εξοπλισμένα με διαφορετικούς αισθητήρες για τη λήψη πληροφοριών όπως η θέση, η παρουσία εμποδίων ή ανθρώπων και τα αποθέματα. Αυτοί οι αισθητήρες αποκτούν αυτά τα δεδομένα μέσω καμερών ή λέιζερ.

3.3.1. Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αποθήκευσης και Ανάκτησης

Στο σημερινό γρήγορο και άκρως ανταγωνιστικό επιχειρηματικό περιβάλλον, η αποδοτική και αποτελεσματική διαχείριση αποθήκης είναι κρίσιμη για την επιτυχία οποιασδήποτε αλυσίδας εφοδιασμού. Μια τεχνολογία που έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλής τα τελευταία χρόνια είναι το Αυτοματοποιημένο Σύστημα Αποθήκευσης και Ανάκτησης (Automated Storage & Retrieval System- AS/RS) , μία λειτουργία που εισήχθη για πρώτη φορά γύρω στο 1960. Το AS/RS είναι μηχανογραφικό σύστημα χειρισμού υλικών που χρησιμοποιεί μηχανοποιημένες συσκευές για την αποτελεσματική αποθήκευση και ανάκτηση εξαρτημάτων από ράφια στα οποία έχουν πρόσβαση γερανοί που κινούνται κατά μήκος διαδρόμων χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση, καθιστώντας το ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα. Το AS/RS αποτελείται από μεθόδους οι οποίες είναι ελεγχόμενες από υπολογιστή για την αυτόματη τοποθέτηση και ανάκτηση φορτίων από ράφια που εξυπηρετούνται από γερανούς που διέρχονται από διαδρόμους μεταξύ των ραφιών. Η τεχνολογία AS/RS προσφέρει πολλά οφέλη σε σχέση με τις παραδοσιακές χειροκίνητες λειτουργίες αποθήκης, όπως αυξημένη απόδοση, βελτιωμένη ακρίβεια, μειωμένο κόστος εργασίας, αποφυγή ζημιών στο προϊόν, αντοχή σε σεισμούς και ενισχυμένη ασφάλεια . Το AS/RS έχει σχεδιαστεί για να κινείται οριζόντια και κάθετα ταυτόχρονα καθιστώντας το ταχύτερο . Τα AS/RS προσφέρουν πλεονεκτήματα, όπως καλύτερο έλεγχο του αποθέματος, αποτελεσματική χρήση του χρόνου και του χώρου, βελτιωμένα επίπεδα απόδοσης, διατηρώντας παράλληλα το κόστος υπό έλεγχο . Επίσης , αυτά τα αυτοματοποιημένα συστήματα διαθέτουν περισσότερες από 20 εναλλακτικές λύσεις σε διαστάσεις ραφιών και τύπους εξοπλισμού, όπως 3D AS / RS, σύστημα βασισμένο σε τακτικά δρομολόγια και κινητό σύστημα ραφιών. Δεδομένου ότι ο σχεδιασμός μιας αποθήκης είναι δαπανηρός και μη αναστρέψιμος, είναι σημαντικό να υπάρχει ένα εργαλείο για σύγκριση και την καλύτερη επιλογή της AS / RS για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων σχεδιασμού αποθήκης στις εκάστοτε επιχειρηματικές ανάγκες. Ωστόσο, η εφαρμογή μεγάλων και εξαιρετικά αυτοματοποιημένων συστημάτων τεχνολογίας στις αποθήκες προκαλεί σημαντική κατανάλωση ενέργειας που οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών άνθρακα.

3.3.2. Ψηφιακός Δίδυμος

Ο Ψηφιακός Δίδυμος (Digital Twin- DT) είναι ένα εικονικό αντίστοιχο ενός φυσικού συστήματος που βασίζεται σε προσομοίωση, αξιοποιώντας τον συγχρονισμό δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση των ενεργειών που αναλαμβάνει το φυσικό σύστημα. Ο Ψηφιακός Δίδυμος έχει εφαρμοστεί σε διάφορα βιομηχανικά πλαίσια, όπως η πρόβλεψη της κόπωσης και των ζημιών των αεροσκαφών ή η υποβοήθηση συστημάτων παραγωγής στον κυβερνοχώρο. Ένα DT είναι ένα ψηφιακό αντίγραφο ενός φυσικού αντικειμένου. Έχει υιοθετηθεί ως βασική τεχνολογία για την υλοποίηση των λειτουργιών ενός κυβερνο-φυσικού συστήματος (Cyber Physical System -CPS) μέσω της δημιουργίας της εικονικής παρουσίας του φυσικού περιουσιακού στοιχείου. Ένα CPS μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύνολο φυσικών αντικειμένων που αλληλεπιδρούν με έναν εικονικό κυβερνοχώρο μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας. Καθώς ένα DT δεν μπορεί να ζήσει χωρίς το δίδυμο περιουσιακό του στοιχείο στον φυσικό χώρο, μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός CPS. Από πρακτική άποψη, τα DT όχι μόνο επιτρέπουν την δημιουργία εικόνων στις πραγματικές συνθήκες των αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο, αλλά επιτρέπουν επίσης την προσομοίωση πολλών επιλογών πριν από την ανάληψη πραγματικών ενεργειών στον φυσικό κόσμο. Υπάρχουν αρκετές πρωτοβουλίες σε ορισμένες χώρες που άρχισαν να υλοποιούν το DT για έξυπνα εργοστάσια. Η Ευρώπη ξεκίνησε για πρώτη φορά το πρόγραμμα Εργοστάσια του Μέλλοντος (2008-2020 με επένδυση 2,35 δισεκατομμυρίων ευρώ), στη συνέχεια η Γερμανία επένδυσε 200 εκατομμύρια ευρώ το 2012 λανσάροντας το Plattform Industrie 4.0 και η Σιγκαπούρη ξεκίνησε το μέλλον της μεταποίησης (FoM) με επένδυση 500 εκατομμυρίων το 2014. Είναι ενδιαφέρον ότι, ακόμη και σήμερα, κάθε DT σχεδιάζεται πολύ μοναδικά και δεν καταβάλλεται καμία προσπάθεια προς την τυποποίηση. Η ιδέα του Ψηφιακού Δίδυμου προήλθε από την παρουσίαση το 2002 με τίτλο "Conceptual Ideal for Product Lifecycle Management (PLM)" από τον Dr. Grieves. Ονομάζεται «δίδυμο» επειδή είναι σαν να αντικατοπτρίζει συστήματα μεταξύ αυτού που υπήρχε στον πραγματικό χώρο και αυτού που υπήρχε στον εικονικό χώρο και αντίστροφα. Αρχικά, η ανάπτυξη του ψηφιακού δίδυμου ήταν περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους και της περιορισμένης διαθεσιμότητας πρόσβασης στο διαδίκτυο, η οποία αποτελεί κρίσιμη τεχνολογία για την υλοποίηση του, παρόλα αυτά ο ψηφιακός δίδυμος μπορεί επίσης να λειτουργεί με άλλους τύπους συνδεσιμότητας, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών δικτύων και των δικτύων ευρείας περιοχής. Επιπλέον, η σύνδεση στο διαδίκτυο σε πραγματικό χρόνο και η ευρύτερη συνδεσιμότητα γενικώς επιτρέπει

στον ψηφιακό δίδυμο να παρακολουθεί και να ελέγχει αποτελεσματικά το φυσικό σύστημα. Στην πράξη, ο ψηφιακός δίδυμος μπορεί να αναπτυχθεί ως στατικό ή δυναμικό σύστημα. Η τεχνολογία του ψηφιακού Δίδυμου είναι η βασική έννοια για την υποστήριξη της ενσωμάτωσης στην τέταρτη βιομηχανική επανάσταση και αναφέρεται σε εικονικά μοντέλα ενός περιουσιακού στοιχείου που είναι πλήρως ενσωματωμένα με ένα πραγματικό πράγμα ή περιουσιακό στοιχείο. Στον ψηφιακό δίδυμο, τα ψηφιακά και τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία συνδέονται μέσω του διαδικτύου με σημασιολογικές σχέσεις. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εικονικές δοκιμές, ανάλυση συλλεγόμενων δεδομένων και πρόβλεψη του μέλλοντος για φυσικά πράγματα πριν από την εφαρμογή του σε πραγματικά πράγματα. Παραδοσιακά, οι πληροφορίες σχετικά με ένα περιουσιακό στοιχείο είναι συνήθως διάσπαρτες σε πολλαπλές πηγές πληροφοριών, οι οποίες διατηρούνται από διαφορετικούς οργανισμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα διπλότυπες, ασυνεπείς και ελλιπείς πληροφορίες. Με έναν ψηφιακό δίδυμο, μπορεί να συλλεχθούν δεδομένα κεντρικά για κάθε οντότητα και στη συνέχεια να καθιστά αυτές τις πληροφορίες διαθέσιμες σε διαφορετικούς τομείς της επιχείρησης για τις συγκεκριμένες εφαρμογές τους μέσω διαφόρων διεπαφών ολοκλήρωσης. Αυτό βελτιώνει τη λήψη αποφάσεων μέσω μιας κοινής κατανόησης και μειώνει το συνολικό κόστος κύκλου ζωής της λειτουργίας και συντήρησης μιας μονάδας. Ένας Ψηφιακός Δίδυμος μπορεί να εφαρμοστεί πρακτικά σχεδόν σε κάθε κλάδο, όπως οι κατασκευές, η υγειονομική περίθαλψη, η αεροδιαστημική, η μεταποίηση, η έξυπνη πόλη, η διαχείριση αποβλήτων και η εφοδιαστική αλυσίδα. Το πρόβλημα είναι ότι κάθε ΨΔ είναι κατασκευασμένος πολύ διαφορετικά, γεγονός που δεν επιτρέπει τη μελλοντική ολοκλήρωση.

3.4. Χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων και εναλλακτικών καυσίμων

Η διαρκής μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως διοξειδίου του άνθρακα, είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής. Πολλές χώρες έχουν αναλάβει δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών. Τα ηλεκτρικά οχήματα (Electric Vehicles-EV) είναι αυτοκίνητα και φορτηγά που κινούνται με ηλεκτρική ενέργεια αντί για βενζίνη ή ντίζελ. Η υιοθέτηση ηλεκτρικών οχημάτων υπερτερεί στην επιλογή έναντι των παραδοσιακών οχημάτων που κινούνται με ορυκτά καύσιμα από ιδιώτες και εταιρείες. Κατά την τελευταία δεκαετία, το ενδιαφέρον για τα ηλεκτρικά οχήματα έχει αυξηθεί, καθώς περισσότεροι καταναλωτές και επιχειρήσεις αναγνωρίζουν τα οφέλη των καθαρότερων και αποδοτικότερων μεταφορών. Δεδομένου ότι ο τομέας των μεταφορών και της εφοδιαστικής συμβάλλει έως και

στο 21% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στο να καταστεί ο τομέας πιο βιώσιμος σε διάφορους τρόπους μεταφοράς. Τα Ηλεκτρικά Επαγγελματικά Οχήματα (Electric Commercial Vehicles-ECV) αποτελούν βιώσιμη λύση, ιδίως στις αστικές περιοχές, για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης μειώνοντας σημαντικά τις εκπομπές σε σύγκριση με τα επαγγελματικά οχήματα εσωτερικής καύσης. Επιπλέον, τα Ηλεκτρικά Επαγγελματικά Οχήματα προσφέρουν χαμηλότερο λειτουργικό κόστος, κυρίως λόγω της χαμηλότερης τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τα καύσιμα για επαγγελματικά οχήματα εσωτερικής καύσης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα Ηλεκτρικά Επαγγελματικά Οχήματα έχουν γενικά υψηλότερη αρχική τιμή αγοράς σε σύγκριση με τα επαγγελματικά οχήματα εσωτερικής καύσης. Τα πολιτικά και φορολογικά κίνητρα είναι ζωτικής σημασίας για την προώθηση της υιοθέτησης των ηλεκτρικών οχημάτων. Στρατηγικές όπως η αυστηρότερη οικονομία καυσίμου και τα πρότυπα CO₂, παράλληλα με τις εντολές πωλήσεων ηλεκτρικών οχημάτων, έχουν τονώσει την αρχική υιοθέτηση και την επακόλουθη επέκταση της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, υπάρχει σημαντική αύξηση στον εξηλεκτρισμό του στόλου ελαφρών οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των αυτοκινήτων, των οχημάτων επαγγελματικής χρήσης, των ημι-φορτηγών και των φορτηγών παράδοσης. Οι στόλοι βαρέων οχημάτων (π.χ. φορτηγά «18τροχα») δεν επιδέχονται ηλεκτροκίνηση, διότι το βάρος και το μέγεθος των μπαταριών υψηλής χωρητικότητας που απαιτούνται για μια οικονομικά παραγωγική αυτονομία περιορίζουν το ωφέλιμο φορτίο του οχήματος. Επιπρόσθετα, ο χρόνος που απαιτείται για τη φόρτιση της μπαταρίας θα προκαλέσει διατάραξη στον προγραμματισμό των μεταφορών και θα καταστήσει τον τομέα μη βιώσιμο. Είναι επιτακτική η ανάγκη για οχήματα εναλλακτικών καυσίμων ως βιώσιμες στρατηγικές επιλογές για την αντιμετώπιση των ανησυχιών γύρω από την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας στην εφοδιαστική αλυσίδα. Ως εκ τούτου, υπάρχει έντονο ενδιαφέρον για την απαλλαγή του στόλου εδάφους βαρέως τύπου με οχήματα που λειτουργούν με υδρογόνο. Η ικανότητά τους να προσφέρουν γρήγορους χρόνους ανεφοδιασμού και μεγάλη αυτονομία οδήγησης τα καθιστά ιδανικά για τομείς logistics και μεταφορών. Από την άλλη πλευρά, όμως, οι φορείς εκμετάλλευσης στόλων διστάζουν να επενδύσουν σε μια λιγότερο ώριμη και ακριβότερη τεχνολογία λόγω της αβέβαιης διαθεσιμότητας καυσίμου υδρογόνου.

Η τεχνολογία κυψελών καυσίμου (Fuel Cell- FC) είναι μια πολλά υποσχόμενη και αποδοτική λύση, μετατρέποντας άμεσα το καύσιμο σε ηλεκτρική ενέργεια χωρίς καύση και ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ενέργειας. Οι κυψέλες καυσίμου είναι εξαιρετικά ευέλικτες και μπορούν να λειτουργούν με διάφορα καύσιμα όπως υδρογόνο, φυσικό αέριο και βιοαέριο. Μεταξύ αυτών, όμως, το υδρογόνο αναδύεται ως μια κρίσιμη καθαρή εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα, προσφέροντας ευρείες εφαρμογές στις μεταφορές και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω της αποδοτικότητάς του και των μηδενικών εκπομπών. Τα οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου (Hydrogen Fuel Cell Vehicles- HFCV) χρησιμοποιούν υδρογόνο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε αντίδραση με οξυγόνο, παράγοντας νερό και θερμότητα ως υποπροϊόντα, καθιστώντας τα έτσι οχήματα μηδενικών εκπομπών. Έτσι, τα οχήματα κυψελών καυσίμου υδρογόνου μπορεί να αναδειχθούν ως μια αγαπημένη επιλογή για οργανισμούς και επιχειρήσεις που προσπαθούν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να ευθυγραμμιστούν με όλο και πιο αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς.

4. Έξυπνες Αποθήκες

Μια αποθήκη είναι ένα κτίριο για την αποθήκευση αγαθών για εμπορικούς σκοπούς. Οι αποθήκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αλυσίδα εφοδιασμού αγαθών και προϊόντων και χρησιμοποιούνται από διάφορους ενδιαφερόμενους, συμπεριλαμβανομένων των κατασκευαστών, των εισαγωγέων, των εξαγωγέων, των χονδρεμπόρων και των επιχειρήσεων μεταφορών. Οι αποθήκες είναι σημαντικά στοιχεία της βιομηχανίας εφοδιαστικής, επειδή η λειτουργική τους αποτελεσματικότητα καθορίζει την επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής. Υπάρχουν τρία μέρη σε μια λειτουργία αποθήκης : τα εμπορεύματα που εισέρχονται στη διαχείριση, η διαχείριση αποθήκευσης αγαθών και η διαχείριση διανομής αγαθών . Οι παραδοσιακές αποθήκες έχουν αρκετά μειονεκτήματα, όπως αναποτελεσματική διαχείριση χώρου, κατεστραμμένο υλικό, αναποτελεσματικές λειτουργίες, υπερβολικό χειρισμό υλικών και αναποτελεσματικό εξοπλισμό χειρισμού υλικών (π.χ. αχρησιμοποίητα ακριβά περονοφόρα ανυψωτικά). Οι παραδοσιακές αποθήκες είναι αποθήκες που δεν λειτουργούν αποτελεσματικά και εκτελούν πολλές χειροκίνητες εργασίες που προκαλούν ανεπάρκειες. Στο σήμερα , χρησιμεύουν ως κάτι παραπάνω από μια απλή τοποθεσία εναπόθεσης αγαθών αλλά λειτουργούν ως μία τοποθεσία μέσα στην επιχείρηση όπου η

προσφορά και η ζήτηση συνδυάζονται μέσω της διαχείρισης αποθεμάτων για την κάλυψη των αναγκών των πελατών.

Παρόμοια με άλλους βιομηχανικούς τομείς, οι αποθήκες έχουν επίσης εξελιχθεί ως αποτέλεσμα των εξελίξεων στην επιστήμη και την τεχνολογία. Η μαζική παραγωγή αγαθών πυροδότησε την ανάγκη για την ανάπτυξη μεγαλύτερων και πιο εξειδικευμένων αποθηκών, οι οποίες συχνά βρίσκονταν κοντά σε κόμβους μεταφορών όπως κανάλια και σιδηρόδρομους. Αργότερα, η χρήση υδραυλικών συστημάτων και ηλεκτρικής ενέργειας είχε περαιτέρω αντίκτυπο τόσο στον σχεδιασμό της αποθήκης όσο και στις λειτουργίες της. Με την ευρέως διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια και υδραυλικά, οι αποθήκες έγιναν πιο αποτελεσματικές ενώ τώρα με την έναρξη της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 4.0), η οποία χαρακτηρίζεται από έξυπνα αυτόνομα κυβερνο-φυσικά συστήματα (Cyber-Physical Systems/CPS- συστήματα δηλαδή που επιτρέπουν τη δημιουργία εικονικών αναπαραστάσεων βιομηχανικών λειτουργιών (*τα ρομπότ, οι άνθρωποι, οι συσκευές CPS και το απόθεμα είναι τα τέσσερα στοιχεία των έξυπνων αποθηκών που βασίζονται στο CPS. Η αρχιτεκτονική CPS αποτελείται από δύο κύρια επίπεδα: το φυσικό επίπεδο και το αντίστοιχο του κυβερνοχώρου. Το φυσικό επίπεδο υλοποιεί ένα σύνολο περιουσιακών στοιχείων, αισθητήρων και ενεργοποιητών που εισάγουν πληροφορίες από το περιβάλλον και δρουν στο φυσικό σύστημα. Από την άλλη, το επίπεδο του κυβερνοχώρου είναι υπεύθυνο για την υποδομή επικοινωνίας, την ανταλλαγή πληροφοριών, την επεξεργασία δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων και τον έλεγχο*) εισήχθη η έννοια των έξυπνων αποθηκών, η οποία υποδηλώνει την αυξημένη αυτοματοποίηση των παραδοσιακών λειτουργιών αποθήκης. . Ένας από τους κύριους στόχους της 4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης είναι η πλήρης αυτοματοποίηση των εργοστασιακών διαδικασιών. Το καθήκον αυτό συνίσταται στην αντικατάσταση των ενσύρματων επικοινωνιών στα εργοστάσια υπέρ των ασύρματων τεχνολογιών. Η μετάβαση θα έχει πολλά οφέλη όσον αφορά το κόστος, την παραγωγή και την ασφάλεια για τους χειριστές και οι άμεσες ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις σε αυτές τις διαδικασίες θα μειωθούν. Αντίθετα, οι απομακρυσμένες λειτουργίες θα είναι τα κύρια καθήκοντα των εργαζομένων στα μελλοντικά εργοστάσια. Αυτό, με τη σειρά του, στοχεύει στην αντιμετώπιση της αυξημένης πολυπλοκότητας των λειτουργιών της αποθήκης, στην παροχή αποτελεσματικής προσβασιμότητας υπό περιορισμούς χώρου και παραγόντων ποιότητας, ελαχιστοποιώντας το κόστος λειτουργίας της αποθήκης. Μια *έξυπνη αποθήκη* είναι μια αποθήκη που έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί με μέγιστη απόδοση και να ενσωματώνει βέλτιστες πρακτικές και προηγμένες τεχνολογίες. Ως εκ τούτου, μια έξυπνη αποθήκη μπορεί

να λειτουργήσει στο υψηλότερο επίπεδο σε μια ταχέως μεταβαλλόμενη αγορά. Οι εργασίες παραλαβής, τήρησης βιβλίων και παράδοσης πρέπει να εκτελούνται με αυτοματοποιημένο, χωρίς χαρτί και μη επανδρωμένο τρόπο σε μια έξυπνη αποθήκη. Δεδομένου ότι η διαδικασία συλλογής παραγγελιών απαιτεί συνήθως το 55% της επιχειρησιακής δραστηριότητας στις λειτουργίες αποθήκης, η συλλογή παραγγελιών σε έξυπνες αποθήκες είναι ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα. Με την πρόοδο της επεξεργαστικής ισχύος, είναι πλέον δυνατή η ανάπτυξη μέσων (ρομπότ) με αυτονομία για τη διαπραγμάτευση και τη λήψη αποφάσεων, εξαλείφοντας την ιεραρχία αποδίδοντας εντολές για την εκτέλεση καθηκόντων. Οι φορείς υλοποίησης με τέτοια χαρακτηριστικά σε κυβερνο-φυσικά συστήματα που ενσωματώνουν ανατρεπτικές τεχνολογίες χρησιμοποιώντας το σύστημα διανομής μπορούν να βελτιώσουν την ευρωστία, την ευελιξία και την επεκτασιμότητα της αποθήκης.

Για την υποστήριξη της έννοιας της έξυπνης αποθήκης, αναπτύσσονται έξυπνα συστήματα διαχείρισης αποθήκης. Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών όπως το IoT, το blockchain, η ανάλυση μεγάλων δεδομένων, η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, το deep learning και η ρομποτική έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει πλήρως τις λειτουργίες της αποθήκης. Για να τεθεί σε εφαρμογή η έννοια της έξυπνης αποθήκης, αναπτύσσονται έξυπνα συστήματα διαχείρισης αποθήκης. Διάφοροι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται σε έξυπνα συστήματα διαχείρισης αποθήκης για την εφαρμογή χαρακτηριστικών όπως η βέλτιστη συλλογή παραγγελιών, η βέλτιστη τοποθέτηση προϊόντων και η συλλογική χωρητικότητα ζώνης. Η τεχνολογία Internet of Things (IoT) χρησιμοποιείται επίσης για το σχεδιασμό έξυπνων συστημάτων παρακολούθησης και ελέγχου αποθήκης. Η συσσώρευση των αποθεμάτων στην αποθήκη έχει μετατοπιστεί σε εργασίες υψηλής ταχύτητας, προκειμένου να μειωθεί το συνολικό κόστος. Ως αποτέλεσμα, οι αποθήκες θεωρούνται πλέον στρατηγικά περιουσιακά στοιχεία για τις επιχειρήσεις και όχι κέντρα κόστους και αυτό έχει οδηγήσει στη μετονομασία τους ως κέντρα διανομής πλέον. Ο άμεσος εντοπισμός αντικειμένων, ο χρονικά αποδοτικός προγραμματισμός επικοινωνίας, η αναγνώριση ανθρώπινης δραστηριότητας και η συνεργασία πολλαπλών ρομπότ θεωρούνται οι κύριες ερευνητικές προκλήσεις για τις εφαρμογές μιας έξυπνης αποθήκης.

4.1 Έξυπνες αποθήκες και Τεχνητή Νοημοσύνη – AI

Ο ταχύς ρυθμός των τεχνολογικών και οργανωτικών αλλαγών σημαίνει ότι μόνο εκείνοι που είναι έτοιμοι να εισαγάγουν καινοτόμες τεχνολογίες θα επιβιώσουν στη σημερινή ανταγωνιστική αγορά. Στο παρελθόν, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας επικεντρώθηκε κυρίως στα οικονομικά οφέλη, ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα χωρίς κοινωνικούς ή περιβαλλοντικούς παράγοντες. Λόγω της αυξανόμενης ευαισθητοποίησης για περιβαλλοντικά και κοινωνικά ζητήματα και της ανάγκης για τους οργανισμούς να ευθυγραμμιστούν με τους παγκόσμιους στόχους βιωσιμότητας, η βιώσιμη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SSCM) ορίζεται ως «η διαχείριση των ροών υλικών, πληροφοριών και κεφαλαίων, καθώς και η συνεργασία μεταξύ εταιρειών κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού, λαμβάνοντας υπόψη τους στόχους βιώσιμης ανάπτυξης που προέρχονται από τις ανάγκες των πελατών και όλων των ενδιαφερόμενων μερών». Σε αυτό το πλαίσιο, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) έχει φέρει ριζική επανάσταση στη διαχείριση και βελτιστοποίηση των αλυσίδων εφοδιασμού.

Η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην ανάπτυξη συστημάτων ικανών να εκτελούν εργασίες που συνήθως απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη. Η τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει τη μηχανική μάθηση, τα νευρωνικά δίκτυα και τις τεχνικές βαθιάς μάθησης που τους επιτρέπουν να μαθαίνουν από δεδομένα και να λαμβάνουν αποφάσεις ή εκτιμήσεις, προβλέψεις. Η βάση της τεχνητής νοημοσύνης είναι η μηχανική μάθηση και η βαθιά μάθηση. Η μηχανική μάθηση είναι ένα υπο-πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης που επικεντρώνεται στην ανάπτυξη αλγορίθμων που επιτρέπουν στους υπολογιστές να μαθαίνουν από δεδομένα χωρίς ρητό προγραμματισμό. Η τεχνητή νοημοσύνη αναπτύσσεται από θεωρητικές έννοιες σε πρακτικές εφαρμογές έτσι ώστε κάθε νέα μέθοδος και αλγόριθμος να φέρνει καλύτερη κατανόηση και πιο αποτελεσματική επεξεργασία. Η τεχνητή νοημοσύνη προσφέρει προηγμένα εργαλεία και τεχνικές για ανάλυση δεδομένων, πρόβλεψη ζήτησης, προγραμματισμό πόρων και βελτιστοποίηση διαδικασιών. Αυτές οι δυνατότητες επιτρέπουν στις εταιρείες να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες, ταχύτερες και πιο αποτελεσματικές αποφάσεις, μειώνοντας τους χρόνους απόκρισης και βελτιώνοντας την ακρίβεια των προβλέψεων. Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στα Logistics προσφέρει πολλά οφέλη, κυρίως βελτίωση της αποδοτικότητας και μείωση του κόστους, βελτίωση της εξυπηρέτησης πελατών, βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και διαχείριση δεδομένων και μείωση των εκπομπών CO₂.

Ο προγραμματισμός της ζήτησης μεταφορών είναι ένα από τα βασικά στοιχεία της λειτουργίας της διαδικασίας εφοδιαστικής. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των διαδικασιών εφοδιαστικής και στην αύξηση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας. Ο προγραμματισμός της ζήτησης μεταφορών είναι μια μεγάλη πρόκληση και θα πρέπει να είναι αρκετά αποτελεσματικός ώστε, αφενός, τα εμπορεύματα να μεταφέρονται με τρόπο που μεγιστοποιεί την πλήρωση του οχήματος και αφετέρου, να μην υπάρχουν πάρα πολλά εμπορεύματα στην αποθήκη. Ένα από τα εργαλεία τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση τόσο των διαδικασιών εφοδιαστικής όσο και του σχεδιασμού μεταφορών είναι η μηχανική μάθηση. Η μηχανική μάθηση είναι ένας τομέας τεχνητής νοημοσύνης που επιτρέπει στις μηχανές να μαθαίνουν από δεδομένα και να δημιουργούν μοντέλα πρόβλεψης και , επίσης , επιτρέπει την παραγωγή γνώσης με τη μορφή μοντέλων ή κανόνων από ένα σύνολο δεδομένων για τη μελλοντική χρήση αυτής της γνώσης στην ανάλυση νέων αντικειμένων. Η μηχανική μάθηση επιτρέπει την αυτοματοποίηση και βελτιστοποίηση των διαδικασιών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλότερο κόστος και αυξημένη αποτελεσματικότητα, ταχύτερη και ακριβέστερη λήψη αποφάσεων, ανίχνευση μοτίβων και σχέσεων που μπορεί να είναι δύσκολο να παρατηρηθούν από τους ανθρώπους και βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και των υπηρεσιών. Άλλο ένα πλεονέκτημα της τεχνητής νοημοσύνης είναι ότι μπορεί να εντοπίσει τόσο ποσοτικές όσο και ξαφνικές αυξήσεις στη ζήτηση για αγαθά ή αντικείμενα που γίνονται γρήγορα δημοφιλή και που θα μπορούσαν να διαταράξουν τις αλυσίδες εφοδιασμού και την παγκόσμια ροή αγαθών. Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στον σχεδιασμό των μεταφορών δίνει στις εταιρείες logistics και εμπορίου ένα σημαντικό πλεονέκτημα ενόψει απροσδόκητων αυξήσεων της ζήτησης. Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης είναι η πρόβλεψη της τρέχουσας κατάστασης και της μελλοντικής εξέλιξης των τάσεων στο παγκόσμιο εμπόριο. Το εργαλείο χρησιμοποιεί λειτουργίες μεγάλου όγκου, δεδομένα εφοδιαστικής και προηγμένη στατιστική μοντελοποίηση για τον υπολογισμό μηνιαίων προβλέψεων σχετικά με τις προοπτικές για την παγκόσμια οικονομία. Στην **εικόνα 10** παρουσιάζεται η αλληλουχία διαδικασιών/ερωτημάτων που πρέπει να ακολουθηθούν για να παρθεί η απόφαση ως προς τη διαδικασία εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης.

Ο τομέας των logistics βιώνει μια σημαντική εξέλιξη στην εξυπηρέτηση πελατών μέσω της ενσωμάτωσης τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης. Τα συστήματα 24ωρης εξυπηρέτησης πελατών με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη έχουν βελτιώσει δραστικά την ανταπόκριση και

την προσβασιμότητα, μειώνοντας τους χρόνους αναμονής και ενισχύοντας τη συνολική ικανοποίηση. Αυτά τα συστήματα αναλύουν γρήγορα τις ερωτήσεις, παρέχοντας ακριβείς πληροφορίες αμέσως, ελαχιστοποιώντας τα λάθη και προωθώντας καλύτερες σχέσεις με τους πελάτες. Επιπλέον, η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική έχει ως αποτέλεσμα την βελτίωση στις λειτουργίες, οδηγώντας σε ταχύτερες παραδόσεις, προσαρμόσιμο σχεδιασμό διαδρομών και βελτιωμένη ανταπόκριση στις ανάγκες των πελατών. Η ανάλυση και η πρόβλεψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπουν αποτελεσματικές προσεγγίσεις παράδοσης, εξασφαλίζοντας έγκαιρη και προσαρμοσμένη εξυπηρέτηση.

Οι στρατηγικές βελτιστοποίησης που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη έχουν επιδείξει πιθανές μειώσεις σε κενά χιλιόμετρα διαδρομής (είναι οι αποστάσεις που διανύονται κατά τη διάρκεια μιας διαδρομής, οι οποίες δεν χρεώνονται ή δεν προσμετρώνται στο κόστος της μεταφοράς) έως και 20%, που μεταφράζονται σε σημαντική μείωση των εκπομπών άνθρακα. Επιπλέον, ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στη βελτιστοποίηση της διαδρομής και του φορτίου σε πραγματικό χρόνο έχει επιδείξει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου έως και 15%. Η ενσωμάτωση ηλεκτρικών και αυτόνομων οχημάτων ενισχύει περαιτέρω αυτά τα οφέλη, με τεχνικές που διαχειρίζονται τεχνητή νοημοσύνη να δείχνουν μείωση της κατανάλωσης ενέργειας έως και 10%. Συνοπτικά, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης στην εφοδιαστική προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη οδό για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω της αποτελεσματικής διαχείρισης των πόρων και της βελτιστοποίησης των λειτουργιών, συμβάλλοντας έτσι σε ένα πιο βιώσιμο μέλλον.

Οι εφαρμογές της TN στη διαδικασία της εφοδιαστικής κυμαίνονται από το εμπόριο και την εφοδιαστική αλυσίδα, την αποθήκευση και τη διανομή.

1) Εμπόριο και εφοδιαστική αλυσίδα

Επεξεργασία εικόνας: η ενσωμάτωση της τεχνολογίας αναγνώρισης εικόνας ενισχύει την αποτελεσματικότητα και την οικονομική αποδοτικότητα των συστημάτων διαχείρισης εγγράφων.

Η εξυπηρέτηση πελατών με τεχνολογία AI: ενσωματώνοντας την εξυπηρέτηση πελατών με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη, χρησιμοποιώντας σημασιολογική ανάλυση φωνής, δεδομένα τηλεφωνικού κέντρου και chatbots, βελτιώνει σημαντικά την αναγνώριση φωνής σε

πραγματικό χρόνο και την παραγωγή απόκρισης. Αυτό το έξυπνο σύστημα παρέχει εξατομικευμένη βοήθεια όλο το εικοσιτετράωρο, μειώνοντας τους χρόνους απόκρισης και ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για εκτεταμένες ομάδες εξυπηρέτησης πελατών. Ως αποτέλεσμα, οι πάροχοι logistics μπορούν να προσφέρουν πιο αποτελεσματική και ταχύτερη εξυπηρέτηση πελατών, βελτιώνοντας την εμπειρία τόσο για τους πελάτες όσο και για τον πάροχο.

Αλγόριθμοι διαχείρισης αποθέματος : φέρνουν επανάσταση στην εφοδιαστική βελτιστοποιώντας τα επίπεδα αποθεμάτων και ελαχιστοποιώντας τα αποθέματα. Μέσω της ανάλυσης ιστορικών δεδομένων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η τεχνητή νοημοσύνη προβλέπει τα πρότυπα ζήτησης, διασφαλίζοντας τη διαθεσιμότητα και την αποτελεσματικότητα των προϊόντων, μειώνοντας παράλληλα τις επιστροφές. Ενισχύει επίσης την ορατότητα των αποθεμάτων, αυτοματοποιεί τον ανεφοδιασμό και δημιουργεί προγνωστικές ειδοποιήσεις, μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη προβλέπει τη ζήτηση με ακρίβεια, αυτοματοποιεί τις αγορές και οδηγεί στη βελτιστοποίηση, παρέχοντας ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στον τομέα των logistics.

2) Αποθήκευση

Έλεγχος πρόσβασης προσώπου : η εφαρμογή αναγνώρισης προσώπου στον έλεγχο πρόσβασης αποθήκης προσφέρει αυξημένη ασφάλεια, εξαιλείοντας τους περιορισμούς των παραδοσιακών μεθόδων πρόσβασης και παρέχοντας ισχυρή επιτήρηση για έρευνες μετά από κάποιο συμβάν, εξασφαλίζοντας ασφάλεια σε όλο το απόθεμα στην αποθήκη.

Ρομποτική αποθήκης : η ρομποτική με γνώμονα την τεχνητή νοημοσύνη διευκολύνει τον απρόσκοπτο χειρισμό αγαθών, από την ακριβή συλλογή με έξυπνα ρομπότ έως τις βελτιωμένες διαδικασίες φόρτωσης και εκφόρτωσης. Καινοτομίες όπως η αυτόνομη οδήγηση σε μη επανδρωμένα φορτηγά, η επιλογή φωνής και η οπτική επιλογή επαυξημένης πραγματικότητας αυξάνουν την ακρίβεια και την ταχύτητα. Τα αυτοματοποιημένα καθοδηγούμενα οχήματα ελαχιστοποιούν την ανθρώπινη παρέμβαση, ενισχύοντας την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα σε εργασίες όπως η διαλογή και η μετακίνηση παλετών.

3) Διανομή

Ψηφιακή χαρτογράφηση : αξιοποιώντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, την τεχνολογία GIS (Geographic Information System - Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι ένα εργαλείο που συνδέει πληροφορίες με τη γεωγραφική τους θέση, επιτρέποντας την απεικόνιση και την ανάλυση των δεδομένων αυτών σε χάρτη), ενσωματωμένη στην τεχνητή νοημοσύνη, αυτή η προσέγγιση παρέχει εντοπισμό θέσης υψηλής ακρίβειας, ακριβή αντιστοίχιση διευθύνσεων και σχεδιασμό διαδρομής. Τέτοιες δυνατότητες είναι ζωτικής σημασίας για την ενημερωμένη λήψη αποφάσεων εφοδιαστικής. Οι προηγμένες τεχνολογίες χαρτογράφησης διευκολύνουν την ακριβή παρακολούθηση τοποθεσίας και την κατανομή πόρων, ενισχύοντας σημαντικά την αποτελεσματικότητα των λειτουργιών εφοδιαστικής.

Έξυπνοι δρόμοι : Το προηγμένο οδικό σύστημα ενσωματώνει αισθητήρες, ηλιακούς συλλέκτες, τεχνητή νοημοσύνη και ανάλυση μεγάλων δεδομένων για αποδοτικότητα, ασφάλεια και φιλικότητα προς το περιβάλλον. Οι ενσωματωμένες τεχνολογίες επιτρέπουν την επικοινωνία με αυτόνομα οχήματα και διασυνδέουν κάθε αντικείμενο μέσω αισθητήρων AI και IoT για εξαιρετικά αποδοτική μεταφορά.

Τεχνολογίες δυναμικής διαδρομής : Η τεχνητή νοημοσύνη υπερέχει στη βελτιστοποίηση των αντίστροφων μεταφορών και στην εύρεση της συντομότερης διαδρομής προς προορισμούς, μειώνοντας τα κενά ταξίδια επιστροφής και τη σπατάλη καυσίμων.

Προληπτική συντήρηση : χρησιμοποιώντας μηχανική μάθηση, οι στρατηγικές προληπτικής συντήρησης αναλύουν ιστορικά δεδομένα και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη της συντήρησης του οχήματος, με στόχο την παράταση της διάρκειας ζωής του στόλου και τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας. Η τεχνητή νοημοσύνη ενσωματώνει δεδομένα από συσκευές IoT, GPS και αρχεία οχημάτων για την πρόβλεψη μηχανικών προβλημάτων.

Μη επανδρωμένες τεχνολογίες παράδοσης : μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (drones), οχήματα εδάφους και αποθήκες που τροφοδοτούνται από AI και ρομποτική, φέρνουν επανάσταση στην εφοδιαστική, μειώνοντας το κόστος και ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα. Αυτές οι καινοτομίες χρησιμοποιούν συγχώνευση δεδομένων αισθητήρων και προηγμένους αλγόριθμους για ακριβή σχεδιασμό διαδρομής. Αυτόνομα

αυτοματοποιημένα οχήματα μεταφέρουν εμπορεύματα γρήγορα και αποτελεσματικά με ημιαυτόνομες επιλογές, όπως η αύξηση της χωρητικότητας και η μείωση του κόστους.

5. Μελέτη Περίπτωσης

5.1. Maersk

Η Maersk είναι μια δανέζικη εταιρεία που παρέχει ολοκληρωμένες υπηρεσίες logistics και μεταφορών, εστιάζοντας κυρίως στη διαχείριση και μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων. Είναι μια από τις μεγαλύτερες ναυτιλιακές εταιρείες στον κόσμο και προσφέρει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, από τη ναυτιλία και τις θαλάσσιες μεταφορές μέχρι τις αεροπορικές, οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές, καθώς και λύσεις για την εφοδιαστική αλυσίδα και ψηφιακές υπηρεσίες. Κατανοώντας πλήρως τις ανάγκες των πελατών τους, είναι σε καλύτερη θέση να αναπτύξουν και να παρέχουν αποτελεσματικές λύσεις και υπηρεσίες που οδηγούν τα επιχειρηματικά τους αποτελέσματα. Η διατήρηση στενών συνεργασιών με τους πελάτες τους τους βοηθά να προβλέψουν τις προτεραιότητες και τις στρατηγικές κατευθύνσεις τους, διασφαλίζοντας ότι οι προσφορές τους εξελίσσονται σύμφωνα με τις προκλήσεις και τις ανάγκες τους, ώστε να μπορέσουν να προχωρήσουν μαζί προς το καθαρό μηδέν - όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Περίπου το 60% των κορυφαίων και στρατηγικών πελατών τους έχουν δεσμευτεί ή θέσει επιστημονικά τεκμηριωμένους στόχους ευθυγραμμισμένους με την πρωτοβουλία Science Based Targets Initiative (SBTi), υπογραμμίζοντας την ανάγκη τους να απανθρακοποιήσουν όλο και περισσότερο τις εκπομπές τους από το scope 3 (Scope 3: περιλαμβάνει όλες τις άλλες εκπομπές που παράγονται σε ολόκληρη την αλυσίδα αξίας της, συμπεριλαμβανομένων των πρώτων υλών, της εφοδιαστικής, των επαγγελματικών ταξιδιών της ομάδας και του τρόπου με τον οποίο οι υπάλληλοί μετακινούνται προς την εργασία τους.) (αλυσίδα εφοδιασμού), επιπλέον των scope 1 (Scope 1: περιλαμβάνει όλες τις εκπομπές που απελευθερώνονται απευθείας από μία εταιρεία, όπως τα οχήματα και τις εγκαταστάσεις της εταιρείας) και 2 (Scope 2: περιλαμβάνει τις έμμεσες εκπομπές που παράγει μία εταιρεία, όπως η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας στις κτιριακές της εγκαταστάσεις). Η παροχή βοήθειας για τη διατήρηση της ορατότητας του αποτυπώματος εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από την εφοδιαστική και η παροχή συγκεκριμένων λύσεων για την επίτευξη μειώσεων, είναι δύο από τις βασικές τους προτεραιότητες για το κλίμα. Το πρώτο βήμα για να κατανοήσει μία εταιρεία το αποτύπωμα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και να σχεδιάσει καλύτερα ένα

σχέδιο δράσης για να το μειώσει είναι σίγουρα η ορατότητα. Το δεύτερο είναι μια καλή στρατηγική αποφασημένων δράσεων. Το Generative AI (GenAI) και το Agentic AI κερδίζουν έδαφος, με χρηματοδότηση ρεκόρ για έρευνα, επέκταση κέντρων δεδομένων και αναβαθμίσεις δικτύου. Ενώ ανακαλύπτεται το μετασχηματιστικό δυναμικό της τεχνολογίας για τις αλυσίδες εφοδιασμού και την εφοδιαστική, αναδύονται πρώιμες εφαρμογές. Με την πάροδο του χρόνου, η επιρροή της αναμένεται να επεκταθεί στις λειτουργίες πρώτης γραμμής, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης, της εκτέλεσης της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, της διαχείρισης τερματικών σταθμών και των συστημάτων μεταφοράς για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων μέσω προηγμένων αναλύσεων και ανταλλαγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι το κλειδί για την επίτευξη της πολυπόθητης ορατότητας και διαφάνειας. Όπως διευκρινίζεται από το Climate Partner, «ένα αποτύπωμα άνθρακα για μια εταιρεία σημαίνει τη συνολική ποσότητα όλων των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που εκπέμπονται άμεσα ή έμμεσα μέσω των δραστηριοτήτων της». Η πρόκληση για τις εταιρείες είναι να υπολογίσουν ολόκληρη την αλυσίδα αξίας τους, μεγάλο μέρος της οποίας είναι εκτός του ελέγχου τους.

Σύμφωνα με τις φιλοδοξίες των πελατών τους για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, τους υποστηρίζουν στον καθορισμό και την επίτευξη φιλόδοξων στόχων απαλλαγής από τις ανθρακούχες εκπομπές για τις λειτουργίες εφοδιαστικής τους. Προσφέρουν ορατότητα σε όλο το αποτύπωμα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) από την εφοδιαστική, για να κατανοήσουν το status quo των ταξιδιών τους για απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές. Αυτό λειτουργεί ως θεμέλιο για τη στρατηγική απόφαση σχετικά με τον τρόπο επίτευξης πραγματικών μειώσεων εκπομπών. Η Maersk επενδύει και συνεργάζεται με διάφορους ενδιαφερόμενους φορείς (όπως πελάτες, προμηθευτές, βιομηχανικούς οργανισμούς), για την ανάπτυξη λύσεων μειωμένων εκπομπών για end-to-end logistics. Ήδη, προσφέρουν λύσεις εφοδιαστικής μειωμένων εκπομπών σε θαλάσσιες, χερσαίες και αεροπορικές μεταφορές και επί του παρόντος δοκιμάζουν πρόσθετες λύσεις για την απαλλαγή των σιδηροδρομικών μεταφορών και των φορτηγίδων από τις ανθρακούχες εκπομπές. Η Maersk συνέχισε να αυξάνει την ενεργειακή απόδοση του στόλου της μέσω ενεργειακά αποδοτικότερων λειτουργιών και νέων τεχνολογιών. Αυτό μείωσε την ένταση εκπομπών των ωκεάνιων επιχειρήσεων από 11,7 CO₂/ton-mile το 2023 σε ιστορικό χαμηλό 11,1 CO₂/ton-mile το 2024. (Ωστόσο, παρά τη βελτιωμένη απόδοση, οι απόλυτες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της Maersk αυξήθηκαν από το 2023 έως το 2024. Αυτό οφείλεται κυρίως στην κατάσταση στην Ερυθρά Θάλασσα που

συνέχισε να αναδρομολογεί πλοία γύρω από το Ακρωτήριο της Καλής Ελπίδας το 2024, με αλυσιδωτές ελλείψεις χωρητικότητας και συμφόρηση λιμένων, απαιτώντας ταχύτερα δρομολόγια για να διατηρηθούν σε λειτουργία οι αλυσίδες εφοδιασμού Ασίας-Ευρώπης.) Το 2024 παρέλαβαν επτά νέα, μεγάλης χωρητικότητας πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων με δυνατότητα μεθανόλης για την υποστήριξη των κλιματικών φιλοδοξιών των πελατών τους. Το 2024, επίσης, επέκτεινε τον στόλο της με δύο αεροσκάφη Boeing 777F, μεταξύ των πιο αποδοτικών εμπορευματικών αεροσκαφών στον κλάδο - ειδικά για πτήσεις μεγάλων αποστάσεων. Η Maersk απέκτησε το 2025 έντεκα μεγάλα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, καθώς περιμένει και 6 επιπλέον πλοία χωρητικότητας 9.000 TEU που καταφθάνουν το 2026-2027. Στην χερσαία εφοδιαστική, έχουν ήδη ξεκινήσει επιχειρήσεις φορτηγών με κινητήρα EV στις ΗΠΑ, τη Γερμανία, την Ισπανία, την Ταϊλάνδη και την Κίνα καθώς επίσης και σε άλλες χώρες.

Η πλατφόρμα CBML (Cloud-Based Machine Learning) της Maersk βασίζεται στην υποδομή του Microsoft Azure (το Microsoft Azure είναι μια πλατφόρμα cloud της Microsoft που παρέχει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, όπως υπολογιστική ισχύ, αποθήκευση δεδομένων, βάσεις δεδομένων και δίκτυα, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν, να αναπτύσσουν και να διαχειρίζονται εφαρμογές και υπηρεσίες μέσω του διαδικτύου.), αξιοποιώντας προηγμένες cloud τεχνολογίες για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών της. Η χρήση του υπολογιστικού νέφους μέσω Azure παρέχει τις απαραίτητες προϋποθέσεις για υψηλή διαθεσιμότητα, απόδοση, ευελιξία, ασφάλεια και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, διαθέτει εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών, αποθήκευσης και επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Οι βασικές υπηρεσίες και δυνατότητες του Azure που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν:

1. **Blockchain:** Η υπηρεσία αυτή επιτρέπει είτε τη συμμετοχή σε υφιστάμενα δίκτυα blockchain είτε τη δημιουργία νέων αλυσίδων, παρέχοντας τα απαραίτητα APIs (Application Programming Interface- σύνολο κανόνων και προδιαγραφών που επιτρέπει σε διαφορετικές εφαρμογές λογισμικού να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν δεδομένα) και υποδομές για την ανάπτυξη αποκεντρωμένων εφαρμογών.

2. **Υπολογιστική Ισχύς (Compute):** Παρέχει δυναμικούς υπολογιστικούς πόρους για την ανάπτυξη και εκτέλεση εφαρμογών που βασίζονται στο cloud, με δυνατότητα αυτόματης κλιμάκωσης ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε συστήματος.
3. **IoT Hub και Service Bus:** Εξειδικευμένα εργαλεία για τη συλλογή και διαχείριση δεδομένων από συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), εξασφαλίζοντας ταχύτητα και αξιοπιστία στη μεταφορά πληροφορίας.
4. **Transaction Builder:** Επεξεργάζεται και μετατρέπει δεδομένα σε πρότυπες συναλλαγές, διευκολύνοντας την ενσωμάτωσή τους στο πληροφοριακό σύστημα.
5. **Αποθηκευτικές Υπηρεσίες:** Προσφέρει επεκτάσιμο αποθήκευση στο cloud και υποστήριξη για έργα μεγάλων δεδομένων. Περιλαμβάνει εκτός-αλυσίδας αποθήκευση και βάσεις δεδομένων για αποτελεσματική ανάκτηση πληροφοριών από το blockchain.
6. **DLT Monitoring:** Επιτηρεί την τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού (Distributed Ledger Technology), εντοπίζοντας μοτίβα και πιθανές δυσλειτουργίες σε πραγματικό χρόνο.
7. **Μηχανική Μάθηση:** Παρέχει εργαλεία για την ανάπτυξη, εκπαίδευση και δοκιμή μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης, ενισχύοντας την ακρίβεια των προβλέψεων και αποφάσεων.
8. **Δικτυακές Υποδομές:** Περιλαμβάνει εικονικά δίκτυα, ασφαλείς συνδέσεις, πύλες και υπηρεσίες εξισορρόπησης φορτίου, υποστηρίζοντας απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία.
9. **Ασφάλεια:** Περιλαμβάνει προστασία έναντι επιθέσεων, έλεγχο ταυτότητας, διαχείριση κλειδιών και υποστήριξη κρυπτογραφημένων συναλλαγών.

Η ενσωμάτωση αυτών των υπηρεσιών επιτρέπει στους μηχανικούς λογισμικού να σχεδιάζουν και να υλοποιούν αλγόριθμους μηχανικής μάθησης που λειτουργούν σε περιβάλλον blockchain. Μέσα στο οικοσύστημα CBML, κάθε υπηρεσία επιτελεί συγκεκριμένο ρόλο σε διαφορετικά στάδια, συνεργαζόμενη για τη συνολική βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η Maersk αξιοποιεί την πλατφόρμα Microsoft Azure, ενσωματωμένη με τεχνολογίες μηχανικής μάθησης (CBML), για την παρακολούθηση θαλάσσιων κινδύνων σε πραγματικό χρόνο και την ασφάλιση του κύτους των πλοίων της. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που λειτουργούν πάνω σε blockchain υποδομές cloud, εντοπίζονται και ενημερώνονται

διαρκώς οι επικίνδυνες θαλάσσιες ζώνες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση υπολογιστικών και στατιστικών αναλύσεων σε μεγάλης κλίμακας ιστορικά δεδομένα, όπως διαδρομές πλοίων, αναφορές ατυχημάτων και προηγούμενα περιστατικά κινδύνου. Η διαδικασία αυτή είναι κυκλική και εξελισσόμενη, προσφέροντας συνεχή βελτίωση της ακρίβειας στις προβλέψεις μέσω μάθησης από το παρελθόν. Όταν η Maersk δέχεται ένα νέο αίτημα αποστολής από πελάτη, ενεργοποιείται μια διαδικασία σχεδιασμού διαδρομής και χρονοδιαγράμματος που βασίζεται στην προηγμένη τεχνολογία cloud και blockchain. Συγκεκριμένα, αξιοποιείται ένα σύστημα μηχανικής μάθησης το οποίο είναι εγκατεστημένο σε υποδομή cloud (Microsoft Azure). Το σύστημα αυτό αναλύει δεδομένα ασφαλείας, ιστορικά στοιχεία και τις συνθήκες που επικρατούν, ώστε να δημιουργηθεί μια κατάλληλη και ασφαλής διαδρομή από το λιμάνι προέλευσης μέχρι το λιμάνι προορισμού. Το προτεινόμενο δρομολόγιο και το χρονοδιάγραμμα καταγράφονται στο blockchain, εξασφαλίζοντας διαφάνεια, ασφάλεια και δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων της Maersk είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες GPS, που συλλέγουν συνεχώς πληροφορίες για τη γεωγραφική τους θέση. Οι πληροφορίες αυτές αποστέλλονται στο cloud-based blockchain σύστημα, όπου οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης συνεχίζουν να επεξεργάζονται τα δεδομένα σε συνδυασμό με ιστορικά στοιχεία (όπως καιρικές συνθήκες, περιοχές κινδύνου κ.ά.). Έτσι, το σύστημα μπορεί να αναγνωρίζει αν ένα πλοίο κινείται εντός ασφαλούς ζώνης ή πλησιάζει περιοχές με αυξημένο ρίσκο. Επιπλέον, σε περίπτωση που το πλοίο παρεκκλίνει από την προγραμματισμένη του πορεία, το GPS εντοπίζει άμεσα την αλλαγή. Η νέα τοποθεσία και πορεία καταγράφεται στο blockchain και στη συνέχεια οι αλγόριθμοι αξιολογούν αν αυτή η αλλαγή είναι ασφαλής ή εάν απαιτείται επανασχεδιασμός διαδρομής. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχει διαρκής δυνατότητα προσαρμογής της πλοήγησης σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Παράλληλα, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να επηρεάζει δυναμικά το κόστος ασφάλισης των πλοίων. Όταν το πλοίο κινείται σε περιοχές υψηλού κινδύνου, το ασφαλιστικό ασφάλιστρο αυξάνεται, ώστε να αντανakλά το ρίσκο της αποστολής. Αντίστοιχα, μόλις το πλοίο επιστρέψει σε ασφαλή ζώνη, το ασφάλιστρο μειώνεται ή σταθεροποιείται. Αυτή η διαδικασία παρέχει στις ναυτιλιακές εταιρείες μεγαλύτερο έλεγχο κόστους και αυξημένη διαφάνεια. Στην **εικόνα 11** βλέπουμε απεικονιστικά τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιούνται όλες αυτές οι λειτουργίες. Συνολικά, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας cloud, των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και του blockchain στον σχεδιασμό και στην παρακολούθηση των αποστολών ενισχύει σημαντικά τη

λειτουργική αποδοτικότητα, τη διαφάνεια και τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας της Maersk. Πρόκειται για ένα καινοτόμο παράδειγμα του πώς η τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει σύγχρονες, ευέλικτες και ασφαλείς διαδικασίες στον κλάδο των logistics.

Εν κατακλείδι, η CBML της Maersk υποστηρίζει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα με τρεις βασικούς τρόπους. *Πρώτον*, η τεχνολογία blockchain επιτρέπει την παρακολούθηση και κοινή χρήση αρχείων κινδύνου αποστολής με διαφανή και ελεγχόμενο τρόπο, μειώνοντας τη γραφειοκρατία και, κατά συνέπεια, τις εκπομπές άνθρακα. *Δεύτερον*, μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης που λειτουργούν στο blockchain, επιτυγχάνεται «πράσινη εφοδιαστική», καθώς η δρομολόγηση πλοίων αποφεύγει επικίνδυνες ζώνες, με ειδοποιήσεις από GPS αισθητήρες που συμβάλλουν στην ενεργειακή εξοικονόμηση και την πρόληψη ζημιών. *Τρίτον*, η αποθήκευση αμετάβλητων αρχείων κινδύνου στο blockchain επιταχύνει την επεξεργασία αξιώσεων μεταξύ Maersk και ασφαλιστών, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας μέσω πιο αποτελεσματικών διαδικασιών.

6. Συμπεράσματα και Προκλήσεις στον Τομέα της Βιώσιμης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

6.1. Συμπεράσματα

Η βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα (Sustainable Supply Chain Management - SSCM) έχει αναδειχθεί σε στρατηγικό εργαλείο για επιχειρήσεις που επιδιώκουν όχι μόνο τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών τους, αλλά και την ενίσχυση του κοινωνικού και περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος. Καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας μελέτης, αναδείχθηκαν οι βασικές αρχές, τα τεχνολογικά εργαλεία, αλλά και οι βέλτιστες πρακτικές που μπορούν να ενσωματωθούν για την ενίσχυση της βιωσιμότητας στον τομέα της εφοδιαστικής. Η ενσωμάτωση της κυκλικής οικονομίας και των αρχών ESG (Environmental, Social, Governance) αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη μακροπρόθεσμη επιβίωση των επιχειρήσεων σε ένα παγκόσμιο περιβάλλον αυξανόμενης κανονιστικής πίεσης και κοινωνικής ευαισθητοποίησης. Οι νέες τεχνολογίες, όπως το IoT, η τεχνητή νοημοσύνη (AI), το blockchain και τα μεγάλα δεδομένα, μπορούν να προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαφάνεια, την ανιχνευσιμότητα και τη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των logistics. Οι πρακτικές της αντίστροφης εφοδιαστικής (reverse logistics), της επαναχρησιμοποίησης υλικών και της έξυπνης διαχείρισης αποθηκών ενισχύουν σημαντικά την προσπάθεια προς μία κλιματικά ουδέτερη και αποδοτική αλυσίδα αξίας. Θα πρέπει να γίνει εμβάθυνση στη σύνδεση

των δεικτών LPI (Logistics Performance Index) και EPI (Environmental Performance Index) για την αποτύπωση της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην εφοδιαστική αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική επίδοση, όπως επίσης, και ανάλυση του ρόλου των ESG metrics στη χρηματοδότηση των πράσινων επενδύσεων στον κλάδο των logistics. Η ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών που επιτρέπουν τη λεπτομερή αποτίμηση του “πραγματικού κόστους” των μη βιώσιμων πρακτικών στην εφοδιαστική αλυσίδα αποτελεί κρίσιμη πρόκληση. Το κόστος αυτό δεν περιορίζεται σε χρηματοοικονομικούς δείκτες, αλλά περιλαμβάνει και περιβαλλοντικές και κοινωνικές εξωτερικότητες, όπως εκπομπές άνθρακα, υποβάθμιση φυσικών πόρων, εργασιακές συνθήκες και επιπτώσεις στην τοπική κοινωνία. Η ενσωμάτωσή του στις αποφάσεις logistics μπορεί να οδηγήσει σε πιο υπεύθυνες και μακροπρόθεσμα αποδοτικές στρατηγικές.

Παράλληλα, η υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών όπως τα digital twins – δηλαδή ψηφιακά «δίδυμα» πραγματικών υποδομών ή διαδικασιών – προσφέρει τη δυνατότητα προσομοίωσης εναλλακτικών σεναρίων λειτουργίας. Μέσω αυτών, οι επιχειρήσεις μπορούν να μοντελοποιούν και να αξιολογούν την επίδραση διαφορετικών επιλογών (π.χ. εναλλακτικές διαδρομές, πράσινα καύσιμα, τύποι συσκευασίας) ως προς το ανθρακικό αποτύπωμα, την ενεργειακή κατανάλωση και το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και διευκολύνει τη μετάβαση σε μια πιο βιώσιμη και αποδοτική εφοδιαστική αλυσίδα.

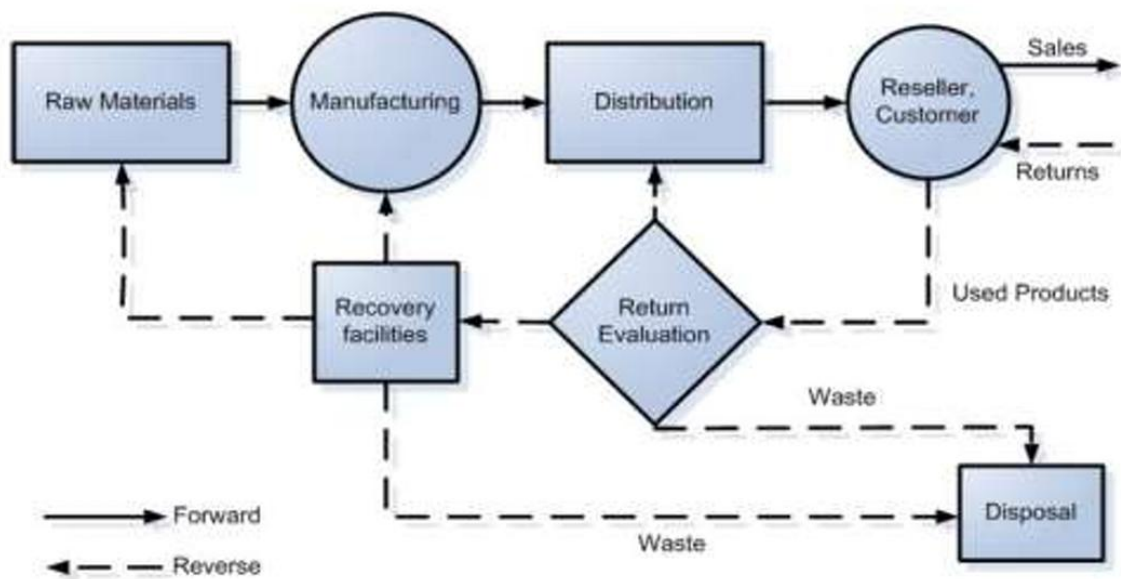
6.2 Προκλήσεις

Η μετάβαση σε βιώσιμες πρακτικές στην εφοδιαστική αλυσίδα συνοδεύεται από μια σειρά σημαντικών προκλήσεων, οι οποίες επιβραδύνουν την υιοθέτηση πράσινων τεχνολογιών, ιδιαίτερα από μικρομεσαίες επιχειρήσεις. Πρωτίστως, το υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης που απαιτείται για την εγκατάσταση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων, την αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ή την ενσωμάτωση ψηφιακών εργαλείων όπως το blockchain και το IoT, λειτουργεί αποτρεπτικά για επιχειρήσεις με περιορισμένους πόρους. Η έλλειψη οικονομικών κινήτρων και επιδοτήσεων εντείνει τον αποκλεισμό αυτών των επιχειρήσεων από τη βιώσιμη μετάβαση, διευρύνοντας τις ανισότητες στον ανταγωνισμό. Επιπλέον, η απουσία επαρκούς και στοχευμένου θεσμικού πλαισίου σε εθνικό και διακρατικό επίπεδο αποτελεί κρίσιμο ανασταλτικό παράγοντα. Παρά τις διεθνείς πρωτοβουλίες και δεσμεύσεις για βιώσιμη

ανάπτυξη, οι πολιτικές που ενθαρρύνουν συστηματικά την υιοθέτηση περιβαλλοντικά και κοινωνικά υπεύθυνων πρακτικών παραμένουν αποσπασματικές και μη δεσμευτικές για μεγάλο μέρος των επιχειρήσεων. Η πολυπλοκότητα των παγκόσμιων εφοδιαστικών δικτύων δυσχεραίνει ουσιαστικά την ιχνηλασιμότητα, τη διαφάνεια και την αξιολόγηση της συνολικής επίδοσης των επιμέρους κρίκων της αλυσίδας. Η ετερογένεια των συνεργατών, σε όρους γεωγραφικής κατανομής, θεσμικού πλαισίου και τεχνολογικής ωριμότητας, καθιστά δύσκολη την εφαρμογή ενιαίων προτύπων μέτρησης και λογοδοσίας, ιδιαίτερα ως προς τους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς δείκτες. Τέλος, αλλά εξίσου σημαντική, είναι η πρόκληση της οργανωσιακής κουλτούρας. Η υιοθέτηση βιώσιμης σκέψης στην στρατηγική απαιτεί αλλαγή νοοτροπίας σε όλα τα επίπεδα της επιχείρησης – από τη διοίκηση μέχρι τα λειτουργικά τμήματα. Η έλλειψη ευαισθητοποίησης, η περιορισμένη εκπαίδευση και η απουσία κινήτρων εντός του οργανισμού ενισχύουν την αδράνεια απέναντι στην καινοτομία και αποδυναμώνουν τη δυναμική εφαρμογής μακροπρόθεσμων βιώσιμων λύσεων.

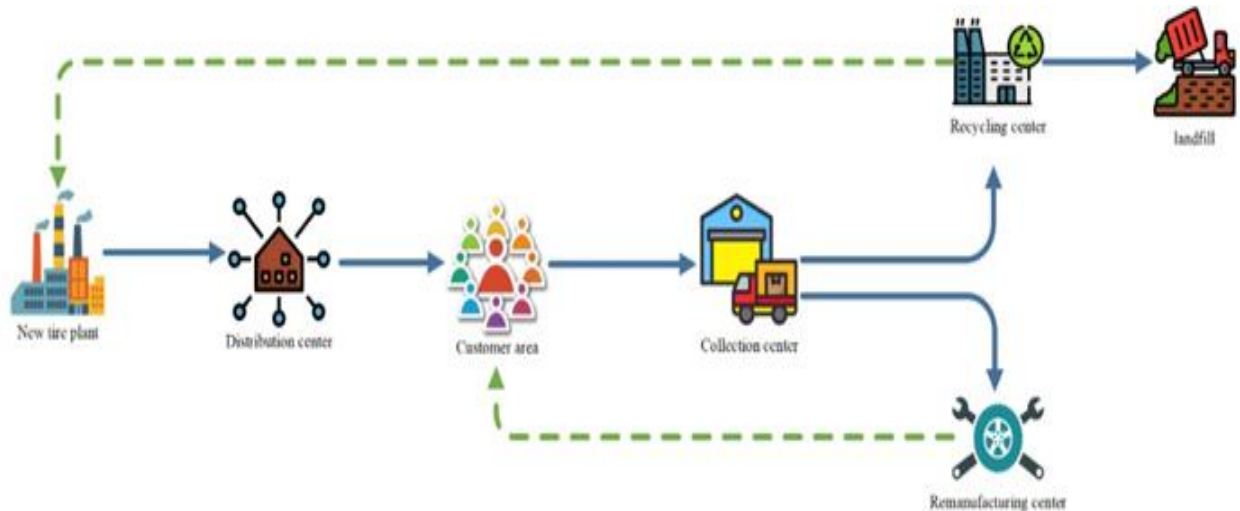
Economy	LPI score	Customs score	Infra-structure score	International shipments score	Logistics competence and quality score	Time-liness score	Tracking and tracing score
Singapore	4.3	4.2	4.6	4.0	4.4	4.3	4.4
Finland	4.2	4.0	4.2	4.1	4.2	4.3	4.2
Denmark	4.1	4.1	4.1	3.6	4.1	4.1	4.3
Germany	4.1	3.9	4.3	3.7	4.2	4.1	4.2
Netherlands	4.1	3.9	4.2	3.7	4.2	4.0	4.2
Switzerland	4.1	4.1	4.4	3.6	4.3	4.2	4.2
Austria	4.0	3.7	3.9	3.8	4.0	4.3	4.2
Belgium	4.0	3.9	4.1	3.8	4.2	4.2	4.0
Canada	4.0	4.0	4.3	3.6	4.2	4.1	4.1
Hong Kong SAR, China	4.0	3.8	4.0	4.0	4.0	4.1	4.2
Sweden	4.0	4.0	4.2	3.4	4.2	4.2	4.1
United Arab Emirates	4.0	3.7	4.1	3.8	4.0	4.2	4.1
France	3.9	3.7	3.8	3.7	3.8	4.1	4.0
Japan	3.9	3.9	4.2	3.3	4.1	4.0	4.0
Spain	3.9	3.6	3.8	3.7	3.9	4.2	4.1
Taiwan, China	3.9	3.5	3.8	3.7	3.9	4.2	4.2
Korea, Rep.	3.8	3.9	4.1	3.4	3.8	3.8	3.8
United States	3.8	3.7	3.9	3.4	3.9	3.8	4.2
Australia	3.7	3.7	4.1	3.1	3.9	3.6	4.1
China	3.7	3.3	4.0	3.6	3.8	3.7	3.8
Greece	3.7	3.2	3.7	3.8	3.8	3.9	3.9
Italy	3.7	3.4	3.8	3.4	3.8	3.9	3.9
Norway	3.7	3.8	3.9	3.0	3.8	4.0	3.7
South Africa	3.7	3.3	3.6	3.6	3.8	3.8	3.8
United Kingdom	3.7	3.5	3.7	3.5	3.7	3.7	4.0

Εικόνα 1. The Logistics Performance Index and its Indicators, connecting to compete 2023, World Bank



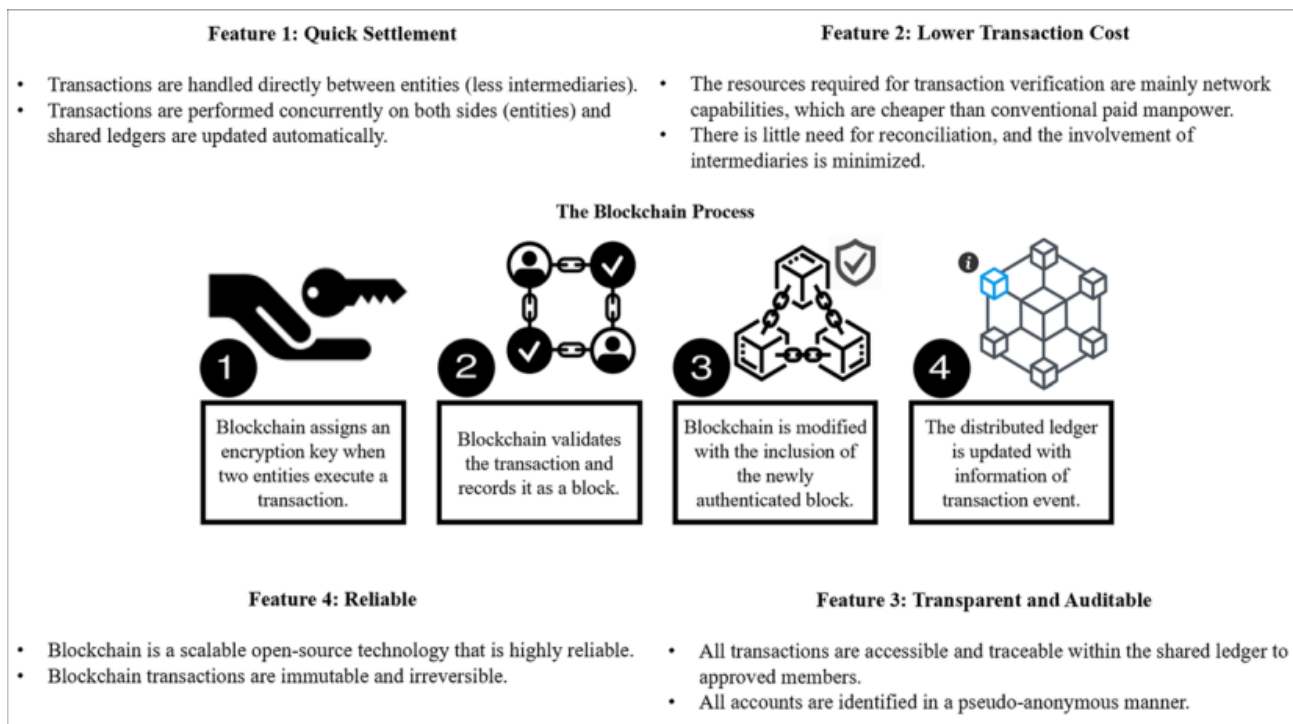
Εικόνα 3. Μια γενική μορφή προωθητικής /αντίστροφης εφοδιαστικής.

Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future 2015. Kannan Govindan, Hamed Soleimani, Devika Kannan



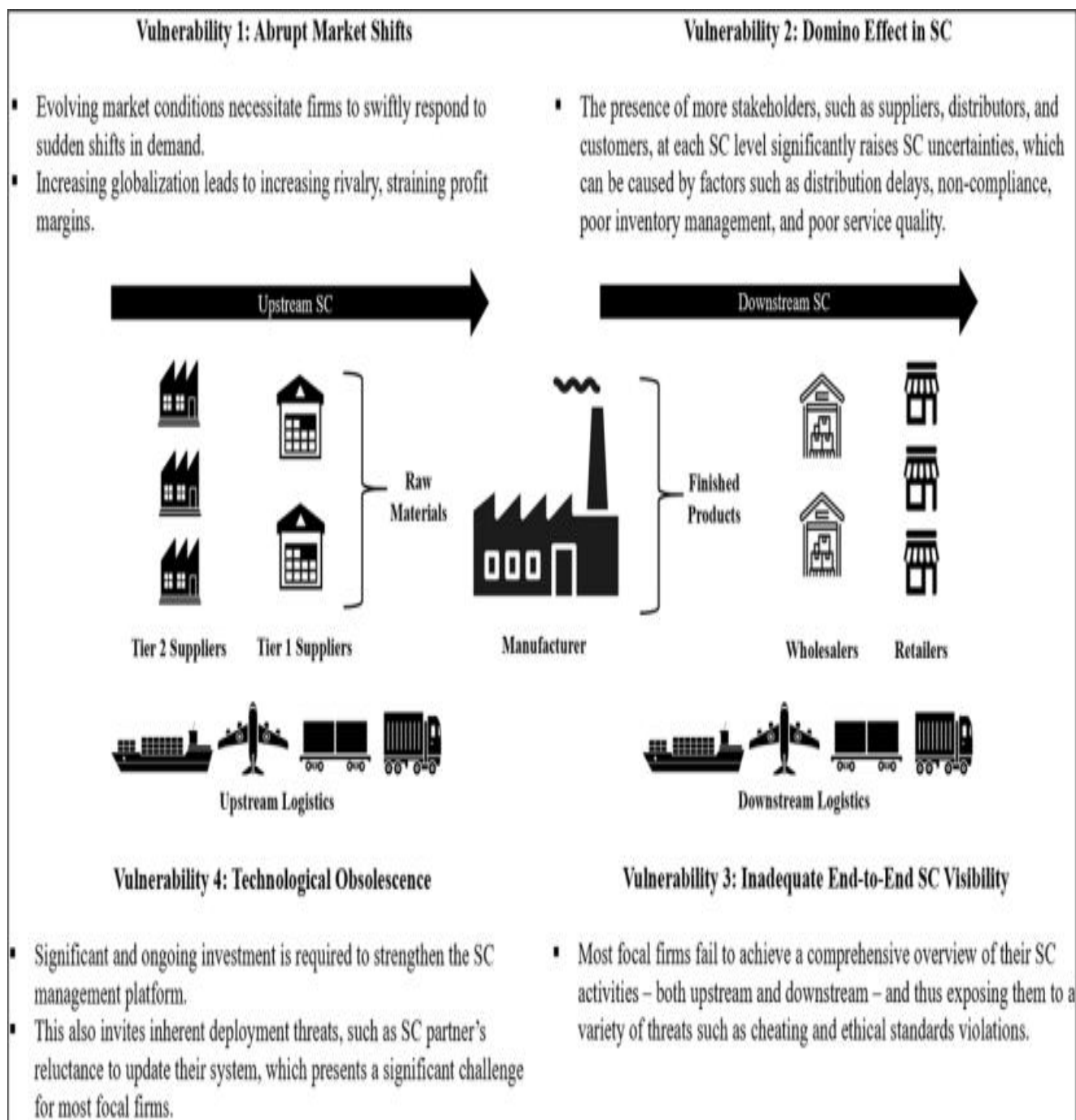
Εικόνα 4. Μορφή λειτουργίας της AEKB

Beheshteh Moghadaspoor, Reza Tavakkoli-Moghaddam, Ali Bozorgi-Amiri, Tofigh Allahviranloo(2025) « Energy-resilient closed-loop supply chain design managed by the 3PL provider: A pick-up strategy and data envelopment analysis»



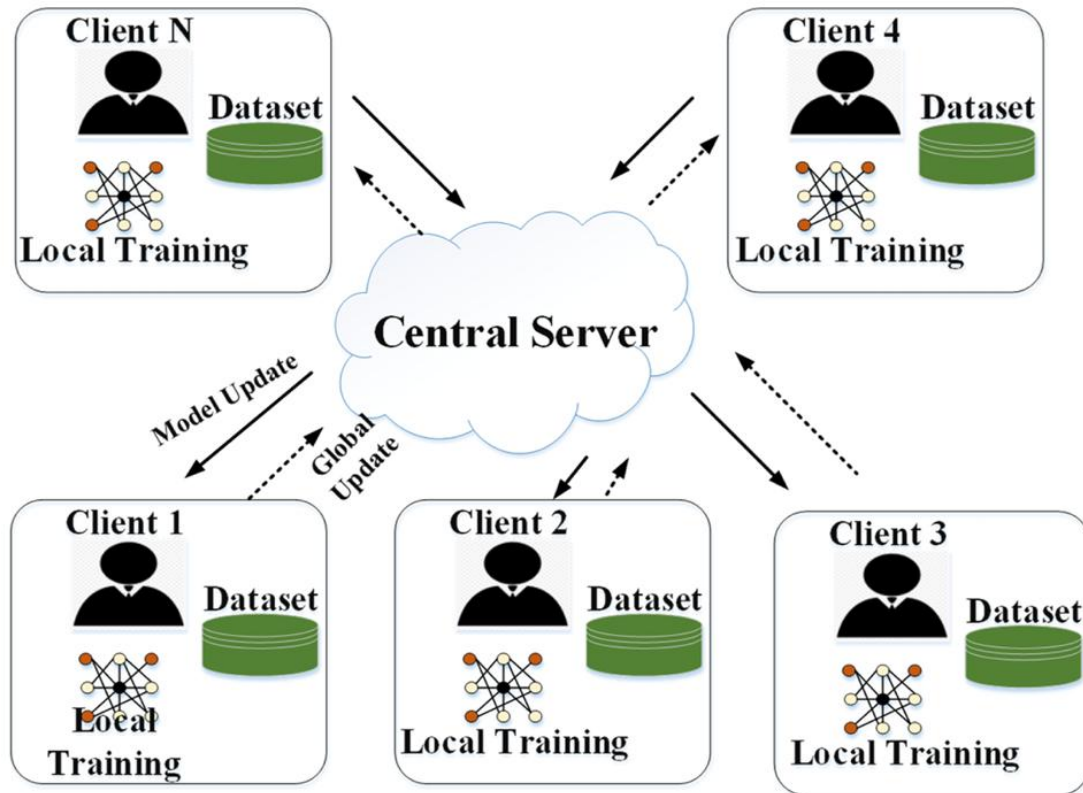
Εικόνα 5. Τρόπος λειτουργίας του blockchain

Saumyaranjan Sahoo, Satish Kumar, Uthayasankar Sivarajah, Weng Marc Lim, J. Christopher Westland, Ashwani Kumar (2022) “Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward”



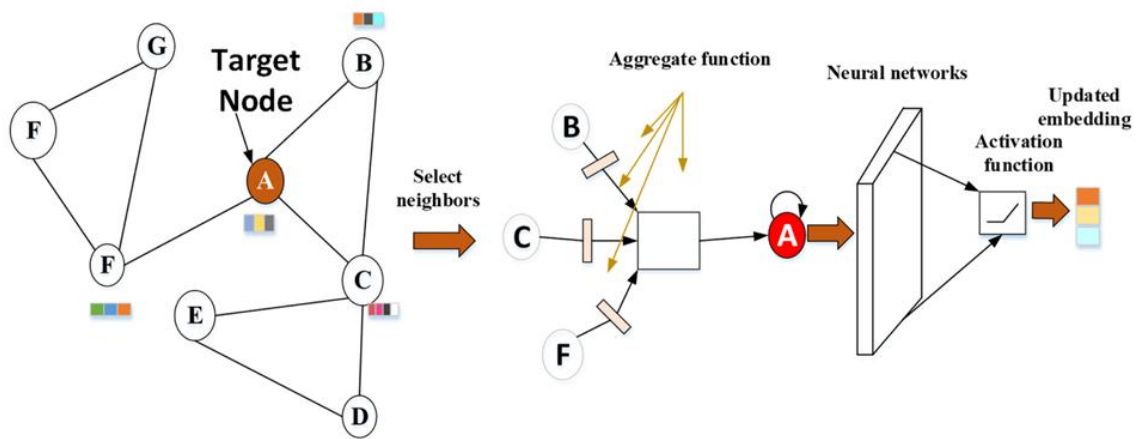
Εικόνα 6. Μία πολυεπίπεδη αλυσίδα εφοδιασμού

Saumyaranjan Sahoo, Satish Kumar, Uthayasankar Sivarajah, Weng Marc Lim, J. Christopher Westland, Ashwani Kumar (2022) “Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward “



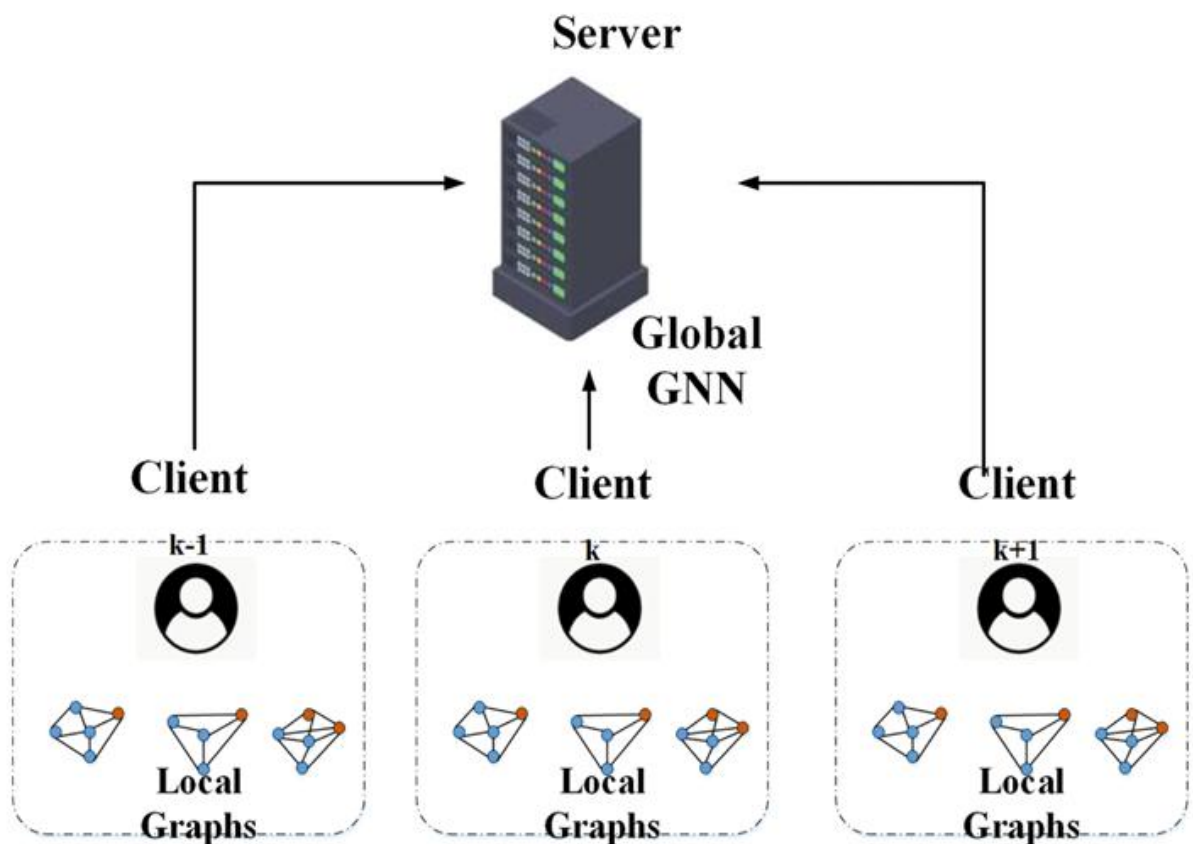
Εικόνα 7. Η Αρχιτεκτονική της Ομοσπονδιακής Μάθησης (Federated Learning)

Mastoor M. Abushaega, Osamah Y. Moshebah, Ahmed Hamzi, Saleh Y. Alghamdi, 2024
 “Multi-objective sustainability optimization in modern supply chain networks: A hybrid approach with federated learning and graph neural networks”



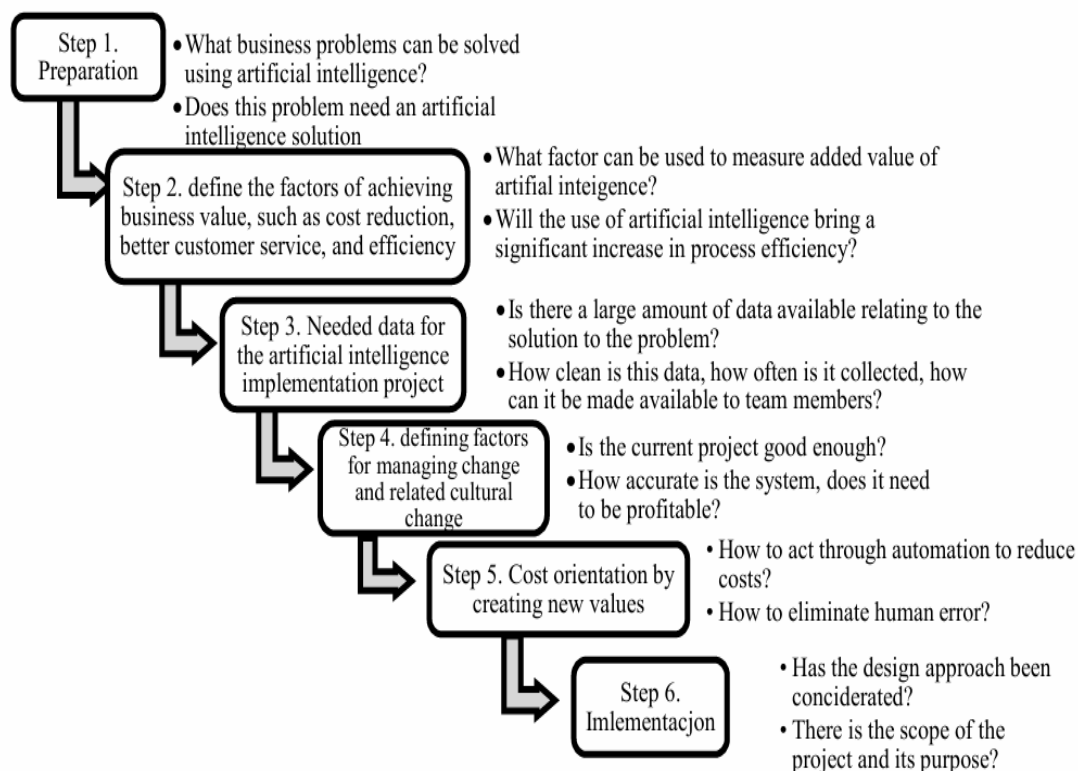
Εικόνα 8 – Η Αρχιτεκτονική των Νευρωνικών Δικτύων Γραφημάτων

Mastoor M. Abushaega, Osamah Y. Moshebah, Ahmed Hamzi, Saleh Y. Alghamdi, 2024
 “Multi-objective sustainability optimization in modern supply chain networks: A hybrid approach with federated learning and graph neural networks”



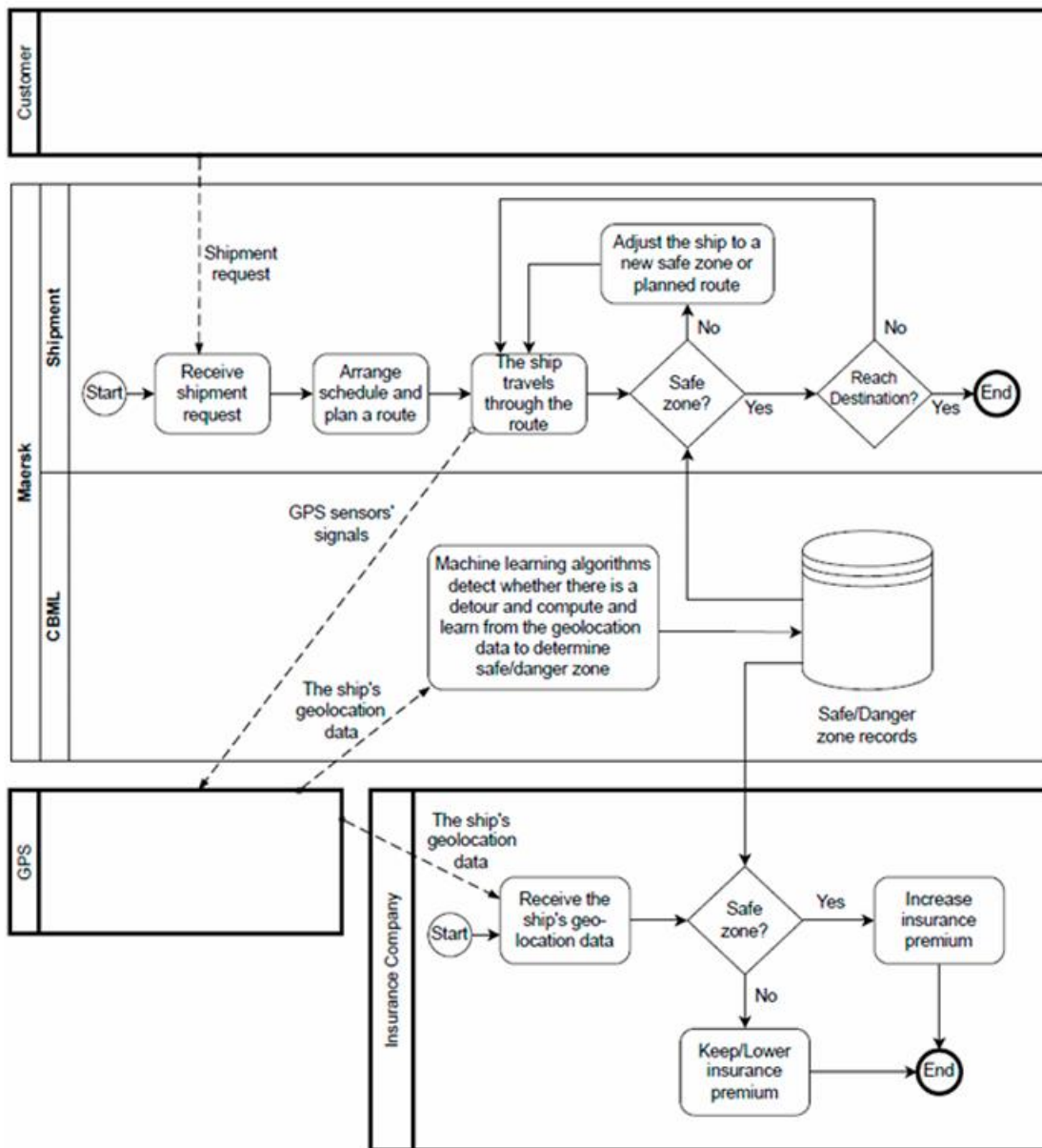
Εικόνα 9. Η Αρχιτεκτονική των Ομοσπονδιακών Νευρωνικών Δικτύων Μάθησης και Γραφημάτων

Mastoor M. Abushaega, Osamah Y. Moshebah, Ahmed Hamzi, Saleh Y. Alghamdi, 2024
“Multi-objective sustainability optimization in modern supply chain networks: A hybrid approach with federated learning and graph neural networks”



Εικόνα 10. Διαδικασία εφαρμογής της τεχνητής νοημοσύνης σαν διαδικασία αποφάσεων μέσα σε μία επιχείρηση

Krzysztof Nowacki, Arkadiusz Wierzbic (2024) “Utilizing artificial intelligence in transport demand planning for a company providing logistics services in the trade industry”



Εικόνα 11. Περίπτωση χρήσης CBML της Maersk για έλεγχο θαλάσσιων κινδύνων σε πραγματικό χρόνο και ασφάλιση θαλάσσιου κύτους.

Simon Wong, John Kun-Woon Yeung, Yui-Yip Lau, Tomoya Kawasaki (2023) “A Case Study of How Maersk Adopts Cloud-Based Blockchain Integrated with Machine Learning for Sustainable Practices”

Βιβλιογραφία

Βιβλία

Γεώργιος Μαλινδρέτος “Εφοδιαστική αλυσίδα, logistics και εξυπηρέτηση πελατών” 2015

Muller Martin, Seuring Stefan “From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management”, 2008

Άρθρα

Deepti Chhabra , S.K. Garg , Rajesh K. Singh (2017) “Analyzing alternatives for green logistics in an Indian automotive organization: A case study”

Haoyu Cheng, Hassan Rauf Chaudhry, Irfan Kazi, Muhammad Umar (2024) “Unlocking greener supply chains: A global innovative perspective on the role of logistics performance in reducing ecological footprints.”

Paula Bajdor, Jakub Białas, Marta Starostka-Patyk (2023) “Green logistics performance Index as a benchmarking tool for EU countries environmental sustainability”

Kwame Owusu Kwateng, John Mensah, Francis Kamewor Tetteh (2024) “Green logistics practices: A bibliometric and systematic methodological review and future research opportunities”

Hasan Agan Karaduman, Arzu Karaman, Mehmet Çağlar, Halil Emre (2020) “The relationship between logistics performance and carbon emissions: an empirical investigation on Balkan countries Logistics performance and carbon emissions 449.

Ilsuk Kim, Hokey Min (2011) “Measuring supply chain efficiency from a green perspective”

Simão, L. E., Gonçalves, M. B., and Taboada Rodriguez, C. M. (2016). An approach to assess logistics and ecological supply chain performance using postponement strategies

Geng, R., Mansouri, S. A., and Aktas, E. (2017). The relationship between green supply chain management and performance: A meta-analysis of empirical evidence in Asian emerging economies

Ahmed, Z., Caglar, A. E., and Murshed, M., (2022). A path towards environmental sustainability: The role of clean energy and democracy in ecological footprint of Pakistan

Zahoor Ahmed , Nadia Hanif , Bin Wan , Weiqing Wan (2022)“Logistics performance and environmental sustainability: Do green innovation, renewable energy, and economic globalization matter?”

Taknaz Alsadat Banihashemi, Jiangang Fei, Peggy Shu-Ling Chen (2019) “Exploring the relationship between reverse logistics and sustainability performance, A literature review”

Kannan Govindan, Devika Kannan, Hamed Soleimani (2015) “Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future”

Xu Sun, Hao Yu, Wei Deng Solvang (2022) “Towards the smart and sustainable transformation of Reverse Logistics 4.0: a conceptualization and research agenda”

Jack, E.P., Powers, T.L. and Skinner, L. (2010), “Reverse logistics capabilities: antecedents and cost savings”

Mollenkopf, D.A. and Closs, D.J. (2005), “The hidden value in reverse logistics”

Glenn Richey, R., Genchev, S.E. and Daugherty, P.J. (2005), “The role of resource commitment and innovation in reverse logistics performance”

Aitken, J. and Harrison, A. (2013), “Supply governance structures for reverse logistics systems”

Yongxi Yi, Xianwen He, Yuqiong Li, Chao Li (2024) “Decision-making in a green trade-ins closed-loop supply chain under financial constraints and corporate social responsibility (CSR)”

Kianmehr Shirooyehpoor, Parvaneh Samouei (2025) “Virtual Closed-Loop Supply Chain Considering Secondary Markets, Internet of Things and Reliability”

Elfarouk, O., Wong, K. Y., & Wong, W. P. (2022) “multi-objective optimization for multi echelon, multi-product, stochastic sustainable closed-loop supply chain”

Guo, H., Li, C., Zhang, Y., Zhang, C., & Lu, M. (2018) “A location-inventory problem in a closed-loop supply chain with secondary market consideration”

Taleizadeh, A. A., Moshtagh, M. S., Vahedi-Nouri, B., & Sarkar, B. (2023) “New products or remanufactured products: Which is consumer-friendly under a closed-loop multi-level supply chain?”

Beheshteh Moghadaspoor, Reza Tavakkoli-Moghaddam, Ali Bozorgi-Amiri, Tofigh Allahviranloo (2025) “Energy-resilient closed-loop supply chain design managed by the 3PL provider: A pick-up strategy and data envelopment analysis”

Bazan E, Jaber MY, Zaroni S. (2016) “A review of mathematical inventory models for reverse logistics and the future of its modeling: an environmental perspective”

Anindya Rachma Dwicahyani, I Nyoman Pujawan, Erwin Widodo (2024) “Optimizing a closed-loop supply chain inventory system with product, material, and energy recoveries under different coordination structures”

Jin-Xiao Chen, Jian Chen (2016) “Supply chain carbon footprinting and responsibility allocation under emission regulations “

Manuel Felder, Ali Asghar Bataleblu, Georg Grünbacher, Erwin Rauch (2025) “Development of an ERP-Integrated Direct Routing and Way-Point Routing for Increasing Automation of LCAs in Supply Chains”

Guo Chen, Ming K. Lim, WeeMeng Yeo & Ming-Lang Tseng (2024) “Net zero vs. carbon neutrality: supply chain management challenges and future research agenda”

Laharish Guntuka, Prabhjot S. Mukandwal, Emel Aktas, Vamsi Sai Krishna Paluvadi (2023) “From carbon-neutral to climate-neutral supply chains: a multidisciplinary review and research agenda”

Dhooma, J. and Baker, P. (2012), “An exploratory framework for energy conservation in existing warehouses”

Liu, X., McKinnon, A.C., Grant, D.B. and Feng, Y. (2010), “Sources of competitiveness for logistics service providers: a UK industry perspective”

Sara Perotti, Claudia Colicchia (2023) “Greening warehouses through energy efficiency and environmental impact reduction: a conceptual framework based on a systematic literature review”

Rajput, S. and Singh, S.P. (2020), “Industry 4.0 model for circular economy and cleaner production”

Samira Sheibani, Shima Jafarzadeh, Zeinab Qazanfarzadeh, M.M. Jeevani Osadee Wijekoon, Norazatul Hanim Mohd Rozalli, Abdorreza Mohammadi Nafchi (2024) “Sustainable strategies for using natural extracts in smart food packaging

H. Saygin, A. Baysal (2020) “Similarities and discrepancies between bio-based and conventional submicron-sized plastics: in relation to clinically important bacteria”

S. Jafarzadeh, M. Zargar, M. Forough (2022) “Renewable and recyclable polymeric materials for food packaging: a new open special issue in materials”

S. Jafarzadeh, M. Golgoli, M. Azizi-Lalabadi, J. Farahbakhsh, M. Forough, N. Rabiee, M. Zargar (2024) “Enhanced carbohydrate-based plastic performance by incorporating cerium-based metal-organic framework for food packaging application”

W. Zhang, M. Azizi-Lalabadi, S. Jafarzadeh, S.M. Jafari (2023) “Starch-gelatin blend films: a promising approach for high-performance degradable food packaging”

- S. Jafarzadeh, J. Rhim, A. Abd Karim, F. Ariffin, S. Mahmud (2018) “Application of antimicrobial active packaging film made of semolina flour, nano zinc oxide and nano-kaolin to maintain the quality of low-moisture mozzarella cheese during low-temperature storage”
- J. Alves, P.D. Gaspar, T.M. Lima, P.D. Silva (2023) “What is the role of active packaging in the future of food sustainability? A systematic review”
- S. Jafarzadeh, Z. Yildiz, P. Yildiz, P. Strachowski, M. Forough, Y. Esmaeili, M. Naebe, M. Abdollahi (2024) “Advanced Technologies in Biodegradable Packaging Using Intelligent Sensing to Fight Food Waste”
- T. Mohammadi-Moghaddam, M. Kariminejad, S. Hadad, S. Jafarzadeh, D. Shahrapour (2023) “Physical properties, antioxidant activity, and antimicrobial properties of edible film prepared from black plum peel extract as a valuable by- product of plum processing”
- Zeng, T., Durif, F., & Robinot, E. (2021) “Can eco-design packaging reduce consumer food waste? an experimental study”
- Sidique Gawusu, Xiaobing Zhang, SeiduAbdulai Jamatutu, Abubakari Ahmed, Ayesha Algade Amadu, Elvis Djam Miensah (2021) “The dynamics of green supply chain management within the framework of renewable energy”
- Chu WL, Phang SM. (2019) “Biosorption of heavy metals and dyes from industrial effluents by microalgae. Microalgae Biotechnology for Development of Biofuel and Wastewater Treatment”
- Banja M, Sikkema R, Jégard M, Motola V, Dallemand J-F. (2019) “Biomass for energy in the EU– the support framework.”
- Mandley SJ, Daioglou V, Junginger HM, van Vuuren DP, Wicke B(2020) “EU bioenergy development to 2050.”
- Panoutsou C. (2011) “Supply of solid biofuels: potential feedstocks, cost and sustainability issues in EU27. Solid Biofuels for Energy”
- dos Santos IFS, Braz Vieira ND, de Nobrega LGB, Barros RM, Tiago Filho GL. (2018) “Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: impact on energy generation, use, and emissions abatement.”
- Long H, Li X, Wang H, Jia J. (2013) “Biomass resources and their bio energy potential estimation: a review.”
- Kumar A, Kumar N, Baredar P, Shukla A. (2015) “A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India.”
- Al Seadi T, Drosch B, Fuchs W, Rutz D, Janssen R. (2013) “Biogas digestate quality and utilization. The Biogas Handbook.”

Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, (2011) “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation.”

Sobri S, Koohi-Kamali S, Rahim NA. (2018) “Solar photovoltaic generation forecasting methods: a review.”

Ghiani E, Pisano G. (2018) “Impact of renewable energy sources and energy storage technologies on the operation and planning of smart distribution networks.”

Zafirakis DP. (2010) “Overview of energy storage technologies for renewable energy systems.”

Owusu PA, Asumadu-Sarkodie S. (2016) “A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation.”

Asumadu-Sarkodie S, Owusu PA. (2016) “The potential and economic viability of wind farms in Ghana.”

Dai K, Bergot A, Liang C, Xiang W-N, Huang Z. (2015) “Environmental issues associated with wind energy– A review.”

Stober I, Bucher K. (2013) “Geothermal Energy.”

Amponsah NY, Trolldborg M, Kington B, Aalders I, Hough RL. (2014) “Greenhouse gas emissions from renewable energy sources: a review of lifecycle considerations.”

Zhu J, Hu K, Lu X, Huang X, Liu K, Wu X. (2015) “A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: current status and prospects.”

Li K, Bian H, Liu C, Zhang D, Yang Y. (2015) “Comparison of geothermal with solar and wind power generation systems.”

Saw MMM, Ji-Qing L. (2019) “Review on hydropower in Myanmar.”

Hamann (2015) “A Coordinated Predictive Control of a Hydropower Cascade.”

Saumyaranjan Sahoo, Satish Kumar, Uthayasankar Sivarajah, Weng Marc Lim, J. Christopher Westland, Ashwani Kumar (2022) “Blockchain for sustainable supply chain management: trends and ways forward “

Grover, P., Kar, A. K., & Janssen, M. (2019). “Diffusion of blockchain technology”

Ali, M. H., Chung, L., Kumar, A., Zailani, S., & Tan, K. H. (2021). “A sustainable Blockchain framework for the halal food supply chain: Lessons from Malaysia.”

Benzidia, S., Makaoui, N., & Subramanian, N. (2021). “Impact of ambidexterity of blockchain technology and social factors on new product development: A supply chain and Industry 4.0 perspective.”

- Olsen, T. L., & Tomlin, B. (2020). "Industry 4.0: opportunities and challenges for operations management. Manufacturing & Service Operations Management"
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Kumar, V., Belhadi, A., & Foropon, C. (2021). "A machine learning based approach for predicting blockchain adoption in supply Chain"
- Y., Palensky, P., & Epema, D. (2021). "A novel decentralized platform for peer-to-peer energy trading market with blockchain technology."
- Epiphaniou, G., Pillai, P., Bottarelli, M., Al-Khateeb, H., Hammoudesh, M., & Maple, C. (2020). "Electronic regulation of data sharing and processing using smart ledger technologies for supply chain security"
- Castka, P., Searcy, C., & Mohr, J. (2020). "Technology-enhanced auditing: Improving veracity and timeliness in social and environmental audits of supply chains."
- Dolgui, A., Ivanov, D., Potryasaev, S., Sokolov, B., Ivanova, M., & Werner, F. (2020). "Blockchain oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain."
- Rahmanzadeh, S., Pishvae, M. S., & Rasouli, M. R. (2020). "Integrated innovative product design and supply chain tactical planning within a blockchain platform."
- Treiblmaier, H. (2018). "The impact of the blockchain on the supply chain: A theory-based research framework and a call for action."
- Ghode, D., Yadav, V., Jain, R., & Soni, G. (2020). "Adoption of blockchain in supply chain: An analysis of influencing factors."
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management."
- Chod, J., Trichakis, N., Tsoukalas, G., Aspegren, H., & Weber, M. (2020). "On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption"
- Lim M., K., Li, Y., Wang, C., & Tseng, M.-L. (2021). "A literature review of blockchain technology applications in supply chains: A comprehensive analysis of themes, methodologies and industries."
- Köhler, S., & Pizzol, M. (2020). "Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain."
- Qian, X., & Papadonikolaki, E. (2020). "Shifting trust in construction supply chains through blockchain technology."
- Jabbar, A., & Dani, S. (2020). "Investigating the link between transaction and computational costs in a blockchain environment"

- Wamba, S. F., Kamdjoug, J. R. K., Bawack, R. E., & Keogh, J. G. (2020). "Bitcoin, Blockchain and fintech: A systematic review and case studies in the supply chain."
- Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. C. L. (2020). "Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: A systematic review of the literature"
- Musigmann, B., von der Gracht, H., & Hartmann, E. (2020). "Blockchain technology in logistics and supply chain management—a bibliometric literature review from 2016 to January 2020."
- Li, Z., Guo, H., Barenji, A. V., Wang, W. M., Guan, Y., & Huang, G. Q. (2020). "A sustainable production capability evaluation mechanism based on blockchain, LSTM, analytic hierarchy process for supply chain network."
- Govindan, K., Shaw, M., & Majumdar, A. (2021). "Social sustainability tensions in multi-tier supply chain: A systematic literature review towards conceptual framework development."
- Bai, C., & Sarkis, J. (2020). "A supply chain transparency and sustainability technology appraisal model for blockchain technology"
- Liu, H., Zhang, P., Pu, G., Yang, T., Maharjan, S., & Zhang, Y. (2020). "Blockchain empowered cooperative authentication with data traceability in vehicular edge computing."
- Queiroz, M. M., Fosso Wamba, S., De Bourmont, M., & Telles, R. (2020). "Blockchain adoption in operations and supply chain management: Empirical evidence from an emerging economy."
- Venkatesh, V. G., Kang, K., Wang, B., Zhong, R. Y., & Zhang, A. (2020). "System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability"
- Saurabh, S., & Dey, K. (2021). "Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains."
- Di Vaio, A., & Varriale, L. (2020). "Blockchain technology in supply chain management for sustainable performance: Evidence from the airport industry."
- Tsolakis, N., Niedenzu, D., Simonetto, M., Dora, M., & Kumar, M. (2020). "Supply network design to address United Nations Sustainable Development Goals: A case study of blockchain implementation in Thai fish industry."
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management."
- Gurtu, A., & Johny, J. (2019). "Potential of blockchain technology in supply chain management: A literature review"
- Dutta, P., Choi, T.-M., Somani, S., & Butala, R. (2020). "Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities."

Yu Guoqing, Yang Caijuan, Chen Yushi, Zhang Bing. (2024) “Application of supply chain optimization model in optimization of synthetic resin supply chain.”

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Vaisanen, J.-M. (2021) “Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study.”

Yilmaz Balaman, S ., Wright, D.G., Scott, J., Matopoulos, A. (2018) “Network design and technology management for waste to energy production: an integrated optimization framework under the principles of circular economy.”

Mastoor M. Abushaega, Osamah Y. Moshebah, Ahmed Hamzi, Saleh Y. Alghamdi (2024) “multi-objective sustainability optimization in modern supply chain networks: A hybrid approach with federated learning and graph neural networks”

S. Zhong, et al., (2021) “Machine learning: new ideas and tools in environmental science and engineering”

W. Xia, Y. Jiang, X. Chen, R. Zhao (2022) “Application of machine learning algorithms in municipal solid waste management: a mini review”

A. Ishizaka, B. Lokman, M. Tasiou, (2021) “A stochastic multi-criteria divisive hierarchical clustering algorithm”

M. Hassan, A. Kowalska, H. Ashraf (2023) “Advances in deep learning algorithms for agricultural monitoring and management”

M. Akbari, T.N.A. Do, (2021) “A systematic review of machine learning in logistics and supply chain management: current trends and future directions”

Sripavathi Shaji Bhattathiri, Anton Bogovik, Masoud Abdollahi, Clark Hochgraf, Michael E. Kuhl, Amlan Ganguly, Andres Kwasinski, Ehsan Rashedi (2024) “Unlocking human-robot synergy: The power of intent communication in warehouse robotics”

Granlund A, Wiktorsson M. (2014) “Automation in internal logistics: strategic and operational challenges.”

Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2022). “Job satisfaction: An explorative study on work characteristics changes of employees in Intralogistics 4.0”

Custodio, L., & Machado, R. (2020). “Flexible automated warehouse: A literature review and an innovative framework.”

Maderna, R., Poggiali, M., Zanchettin, A. M., & Rocco, P. (2020). “An online scheduling algorithm for human-robot collaborative kitting.”

Azadeh, K., De Koster, R., & Roy, D. (2019). “Robotized and automated warehouse systems: Review and recent developments.”

- Zhen, L., Li, H. (2022). "A literature review of smart warehouse operations management."
- Fireescu, V., Gaspar, M.-L., Crucianu, I., & Rotariu, E. (2022). "Collaboration between humans and robots in organizations: A macroergonomic, emotional, and spiritual approach."
- Ivsic, B., Sipus, Z., Bartoli, J., & Babic, J. (2020,) "Analysis of Safe Ultrawideband Human-Robot Communication in Automated Collaborative Warehouse."
- Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Morana, S. (2021). "Towards a conceptualisation of Order Picking 4.0."
- Moussa, F. Z. B., De Guio, R., Dubois, S., Rasovska, I., & Benmoussa, R. (2019). "Study of an innovative method based on complementarity between ARIZ, lean management and discrete event simulation for solving warehousing problems."
- Singh, R. K., Chaudhary, N., & Saxena, N. (2018). "Selection of warehouse location for a global supply chain: A case study."
- Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. A. (2009). "A survey of literature on automated storage and retrieval systems."
- Edouard, A., Sallez, Y., Fortineau, V., Lamouri, S., & Berger, A. (2022). "Automated Storage and Retrieval Systems: An Attractive Solution for an Urban Warehouse's Sustainable Development."
- Fenercioglu, A., Soyaslan, M., & Kozkurt, C. (2011). "Automatic storage and retrieval system (AS/RS) based on Cartesian robot for liquid food industry"
- Zakka Ugih Rizqi, Shuo-Yan Chou, Adinda Khairunisa (2023) "multi-objective simulation-optimization for integrated automated storage and retrieval systems planning considering energy consumption"
- Wenquan Dong, Mingzhou Jin (2023) "Automated storage and retrieval system design with variant lane depths"
- Ries, J.M., Grosse, E.H., Fichtinger, J., (2017) "Environmental impact of warehousing: a scenario analysis for the United States."
- De Koster, R.B.M., Johnson, A.L., Roy, D., (2017) "Warehouse design and management."
- Roodbergen, K.J., Vis, I.F.A., (2009) "A survey of literature on automated storage and retrieval systems."
- Bartolini, M., Bottani, E., Grosse, E.H., (2019) "Green warehousing: systematic literature review and bibliometric analysis."
- Hameed, H.M., Al Amry, K.A., Rashid, A.T., (2019). "The automatic storage and retrieval system: an overview."

Zakka Ugih Rizqi, Shuo-Yan Chou, Adinda Khairunisa (2024) “Energy harvesting for automated storage and retrieval system with sustainable configuration of storage assignment and input/ output point”

Lu, Y., Liu, C., Wang, K.I.K., Huang, H., Xu, X., (2020) “Digital Twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues.”

Zhao, Z., Zhong, R.Y., Kuo, Y.H., Fu, Y., Huang, G.Q., (2021) “Cyber-physical spatial temporal analytics for digital twin-enabled smart contact tracing.”

Leng, J., Zhang, H., Yan, D., Liu, Q., Chen, X., Zhang, D., (2019) “Digital twin-driven manufacturing cyber-physical system for parallel controlling of smart workshop.”

Uhlemann, T.H., Lehmann, C., Steinhilper, R., (2017) “The digital twin: realizing the cyber-physical production system for industry 4.0.”

White, G., Zink, A., Codec' a, L., Clerke, S., (2021) “A digital twin smart city for citizen feedback.”

K. Schweichhart, (2016) “Reference architectural model industry 4.0 (RAMI 4.0)- An introduction, in: Platform Industrie 4.0”

A. Seif, C. Toro, H. Akhtar, (2019) “Implementing industry 4.0 asset administrative shells in mini factories”

H.M. Muctadir, D.A. Manrique Negrin, R. Gunasekaran, L. Cleophas, M. van den Brand, B.R. Haverkort, (2024) “Current trends in digital twin development, maintenance, and operation: an interview study”

Zakka Ugih Rizqia, Shuo-Yan Choua, Winda Nur Cahyo (2024) “A simulation-based Digital Twin for smart warehouse: Towards standardization”

M. Grieves (2006) “Product Lifecycle Management: Driving the Next Generation of Lean Thinking”

I.I. Krasikov, A.N. Kulemin, (2020) “Analysis of digital twin definition and its difference from simulation modelling in practical application”

S. Muralidharan, B. Yoo, H. Ko, (2020) “Designing a semantic digital twin model for IoT”

Industrial Internet Consortium (IIC), Digital Twins for Industrial Applications, 2020.

X. Hu, G. Olgun, R.H. Assaad, (2024) “An intelligent BIM-enabled digital twin framework for real-time structural health monitoring using wireless IoT sensing, digital signal processing, and structural analysis”

H. Yang, Z. Jiang, (2024) “Decision support for personalized therapy in implantable medical devices: A digital twin approach”

S. Selvarajan, H. Manoharan, A. Shankar, A.O. Khadidos, A.O. Khadidos, A. galletta, (2024): “Plummeting uncertainties in digital twins for aerospace applications using deep learning algorithms”

M.D. Alam, G. Kabir, S. Mirmohammadsadeghi, (2023) “A digital twin framework development for apparel manufacturing industry”

W. Huang, Y. Zhang, W. Zeng, (2022) “Development and application of digital twin technology for integrated regional energy systems in smart cities”

L. Barth, L. Schweiger, R. Benedech, M. Ehrat (2023) “From data to value in smart waste management: Optimizing solid waste collection with a digital twin-based decision support system”

A. Belfadel, S. Hörl, R.J. Tapia, D. Politaki, I. Kureshi, L. Tavasszy, J. Puchinger, (2023) “A conceptual digital twin framework for city logistics”

H. Baziyad, V. Kayvanfar, A. Kinra, (2024) “A bibliometric analysis of data-driven technologies in digital supply chains”

Florides, G.A., Christodoulides, P., (2009) “Global warming and carbon dioxide through sciences”

Dong, Z., Chen, W., Wang, S., (2020) “Emission reduction target, complexity and industrial performance”

Ritchie, H., (2020) “Cars, planes, trains: where do CO2 emissions from transport come from?”

Li, K., Acha, S., Sunny, N., Shah, N., (2022) “Strategic transport fleet analysis of heavy goods vehicle technology for net-zero targets.”

Zhao, Y., Onat, N.C., Kucukvar, M., Tatari, O., (2016) “Carbon and energy footprints of electric delivery trucks: a hybrid multi-regional input-output life cycle assessment”

Liao, W., Liu, L., Fu, J., (2019) “A comparative study on the routing problem of electric and fuel vehicles considering carbon trading.”

Wen Yang, Jianhua Ma, Ao Fan, Jinyi Zhang, Yanchun Pan (2024) “Effectiveness of policies for electric commercial vehicle adoption and emission reduction in the logistics industry”

Rami Zaino, Vian Ahmed, Ahmed Mohamed Alhammadi, Mohamad Alghoush (2024) “Electric Vehicle Adoption: A Comprehensive Systematic Review of Technological, Environmental, Organizational and Policy Impacts”

Yang Shi, Zhehao Qiu, Seth W. Snyder, Yixiao Wang (2024) “A perspective on broad deployment of hydrogen-fueled vehicles for ground freight transportation with a comparison to electric vehicles”

Omer Faruk Günaydın, Salih Topçu, Aslı Aksoy (2025) “Hydrogen fuel cell vehicles: Overview and current status of hydrogen mobility”

Aminudin MA, Kamarudin SK, Lim BH (2023) “An overview: current progress on hydrogen fuel cell vehicles”

Wang W, Li J, Li Y. (2024) “Consumer willingness to purchase hydrogen fuel cell vehicles: a meta-analysis of the literature”

Zhao M. (2023) “The current status of hydrogen energy industry and application of hydrogen fuel cell vehicles”

Maarten van Geest, Bedir Tekinerdogan, Cagatay Catal (2020) “Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0”

Hong-Ying S, (2009) “The application of barcode technology in logistics and warehouse management”

Yongsheng L., Wenling Z., (2004). “Warehousing and Distribution Management”

Kamali A., (2019) “Smart warehouse vs. traditional warehouse–review”

Tekinerdogan B., (2017) “Engineering Connected Intelligence: A Socio-Technical Perspective”

Liu X., Cao J., Yang Y., Jiang S. (2018) “CPS-based smart warehouse for industry 4.0: a survey of the underlying technologies”

Januario F., Cardoso A, Gil, P. (2019). “A distributed multi-agent framework for resilience enhancement in cyber-physical systems.”

Krzysztof Nowacki, Arkadiusz Wierzbic (2024) “Utilizing artificial intelligence in transport demand planning for a company providing logistics services in the trade industry”

Barbara Bigliardi, Virginia Dolci , Emilio Gianatti , Alberto Petroni , Benedetta Pini , Azio Barani (2025) “ Taking a snapshot of artificial intelligence in supply chain management: A bibliometric study”

Rodrigo Gonçalves , Luísa Domingues (2024) “Artificial Intelligence Driving Intelligent Logistics: Benefits, Challenges, and Drawbacks”

Maersk Annual Report 2024

Simon Wong, John Kun-Woon Yeung, Yui-Yip Lau, Tomoya Kawasaki (2023) “A Case Study of How Maersk Adopts Cloud-Based Blockchain Integrated with Machine Learning for Sustainable Practices”

Ιστότοποι

[The Paris Agreement | UNFCCC](#)

Τελευταία Προσπέλαση 04/01/2025

<https://www.kodiko.gr/nomothesia/document/93185/nomos-4302-2014>

Τελευταία Προσπέλαση 01/02/2025

<https://ypen.gov.gr/diacheirisi-apovlition/astika-lymata/ethniki-vasi-dedomenon-egkatastaseon/>

Τελευταία προσπέλαση 01/02/2025

<https://www.grant-thornton.gr/insights/article/anaptyksiakos-nomos-metapoiisi-efodiastiki-alytida/>

Τελευταία Προσπέλαση 01/02/2025

[https://www.enterprisegreece.gov.gr/el/nea/%ce%b4%ce%b5%ce%bb%cf%84%ce%af%ce%b1-%cf%84%cf%8d%cf%80%ce%bf%cf%85/%ce%b7-%cf%80%cf%81%ce%bf%ce%b2%ce%bf%ce%bb%ce%ae-%cf%84%ce%b7%cf%82-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b5%cf%86%ce%bf%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%83%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b1%ce%bb%cf%85%cf%83%ce%af%ce%b4%ce%b1%cf%82-%cf%83%cf%84%cf%8c%cf%87%ce%bf%cf%82-%cf%84%ce%bf%cf%85-%ce%bc%ce%bd%ce%b7%ce%bc%ce%bf%ce%bd%ce%af%ce%bf%cf%85-%cf%83%cf%85%ce%bd%ce%b5%cf%81%ce%b3%ce%b1%cf%83%ce%af%ce%b1%cf%82-mou-%cf%80%ce%bf%cf%85-%cf%85%cf%80%ce%ad%ce%b3%cf%81%ce%b1%cf%88%ce%b1%ce%bd-enterprise-greece-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%b5%cf%84%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b5%ce%af%ce%b1-logistics\)\(https://www.powergame.gr/synteyxeis/48305/elliniki-etaireia-logistics-pos-tha-anaptychthei-i-efodiastiki-alytida-stin-ellada/](https://www.enterprisegreece.gov.gr/el/nea/%ce%b4%ce%b5%ce%bb%cf%84%ce%af%ce%b1-%cf%84%cf%8d%cf%80%ce%bf%cf%85/%ce%b7-%cf%80%cf%81%ce%bf%ce%b2%ce%bf%ce%bb%ce%ae-%cf%84%ce%b7%cf%82-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b5%cf%86%ce%bf%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%83%cf%84%ce%b9%ce%ba%ce%ae%cf%82-%ce%b1%ce%bb%cf%85%cf%83%ce%af%ce%b4%ce%b1%cf%82-%cf%83%cf%84%cf%8c%cf%87%ce%bf%cf%82-%cf%84%ce%bf%cf%85-%ce%bc%ce%bd%ce%b7%ce%bc%ce%bf%ce%bd%ce%af%ce%bf%cf%85-%cf%83%cf%85%ce%bd%ce%b5%cf%81%ce%b3%ce%b1%cf%83%ce%af%ce%b1%cf%82-mou-%cf%80%ce%bf%cf%85-%cf%85%cf%80%ce%ad%ce%b3%cf%81%ce%b1%cf%88%ce%b1%ce%bd-enterprise-greece-%ce%ba%ce%b1%ce%b9-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%b5%cf%84%ce%b1%ce%b9%cf%81%ce%b5%ce%af%ce%b1-logistics)(https://www.powergame.gr/synteyxeis/48305/elliniki-etaireia-logistics-pos-tha-anaptychthei-i-efodiastiki-alytida-stin-ellada/)

Τελευταία Προσπέλαση 01/02/2025

<https://lpi.worldbank.org/about>

Τελευταία προσπέλαση 01/02/2025

<https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099042123145531599/p17146804a6a570ac0a4f80895e320dda1e>

Τελευταία προσπέλαση 01/02/2025

<https://epi.yale.edu/>

Τελευταία προσπέλαση 19/02/2025

https://en.wikipedia.org/wiki/Gradient_boosting

Τελευταία προσπέλαση 06/04/2025

<https://research.ibm.com/blog/what-is-federated-learning>

Τελευταία προσπέλαση 06/04/2025

<https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/epixeiriseis/tesla-rompot-epitethike-se-ergazomeno-pos-egine-to-atichima/>

Τελευταία προσπέλαση 25/05/2025

<https://www.maersk.com/sustainability/our-solutions>

Τελευταία προσπέλαση 17/06/2025

<https://www.climatepartner.com/en/knowledge/insights/five-key-steps-for-your-companys-net-zero-journey>

Τελευταία προσπέλαση 17/06/2025

<https://www.maersk.com/news/articles/2021/07/27/how-blockchain-technology-is-beefing-up>

Τελευταία προσπέλαση 17/06/2025

