



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Παρακολούθηση και Καταγραφή του κύκλου ζωής  
των προϊόντων με χρήση Blockchain**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του

**Στέφανου Τσώλου**

**Επιβλέπων :** Δημήτριος Ασκούνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023





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

## Παρακολούθηση και Καταγραφή του κύκλου ζωής των προϊόντων με χρήση Blockchain

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

**Στέφανου Τσώλου**

**Επιβλέπων :** Δημήτριος Ασκούνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>η</sup> Ιουλίου 2023.

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

.....  
Ιωάννης Ψαρράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Χρυσόστομος Δούκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023

.....

## **Στέφανος Τσώλος**

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

Copyright © Στέφανος Τσώλος, 2023

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

## Περίληψη

Οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι πολύπλοκα δίκτυα οντοτήτων που συνεργάζονται για την παραγωγή και την παροχή αγαθών και υπηρεσιών. Ωστόσο, η διαχείριση δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι συχνά δύσκολη λόγω των παλαιών συστημάτων που δεν έχουν σχεδιαστεί με βάση απαιτήσεις για διαλειτουργικότητα και ευελιξία. Τα συστήματα ERP χρησιμοποιούνται συνήθως για την επεξεργασία δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας, αλλά απαιτούν σημαντικές επενδύσεις και προσπάθειες προσαρμογής για την κάλυψη των ειδικών απαιτήσεων κάθε επιχείρησης. Επιπλέον, τα συστήματα ERP δεν παρέχουν ορατότητα σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση και τη θέση των προϊόντων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, από την προμήθεια πρώτων υλών έως την παράδοση στον τελικό χρήστη. Αυτή η έλλειψη διαφάνειας μπορεί να οδηγήσει σε αναποτελεσματικότητα, λάθη, διαφωνίες και απάτες στις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού.

Η τεχνολογία blockchain έχει αναδειχθεί ως πιθανή λύση για τη βελτίωση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας ένα κατακευματισμένο καθολικό που καταγράφει κάθε συναλλαγή με ασφαλή και αμετάβλητο τρόπο. Το blockchain μπορεί να παρέχει διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα για τα δεδομένα της εφοδιαστικής αλυσίδας επιτρέποντας στους εξουσιοδοτημένους συμμετέχοντες να έχουν πρόσβαση σε σχετικές πληροφορίες όπως τιμή, ημερομηνία, τοποθεσία, ποιότητα και πιστοποίηση. Το blockchain μπορεί επίσης να διευκολύνει έξυπνες συμβάσεις που αυτοματοποιούν τις επιχειρηματικές διαδικασίες και επιβάλλουν κανόνες μεταξύ των εταίρων της αλυσίδας εφοδιασμού. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι επιχειρήσεις μπορούν να μειώσουν το διοικητικό κόστος, να αυξήσουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, καθώς και να ενισχύσουν την ικανοποίηση των πελατών και την πρόωθηση της καινοτομίας.

Στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης δεδομένων εφοδιαστικής αλυσίδας βασισμένο στην τεχνολογία blockchain που θα αποθηκεύει και θα προβάλλει δεδομένα που σχετίζονται με τις οντότητες που εμπλέκονται σε ένα δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας. Το σύστημα θα παρέχει διαφάνεια, ασφάλεια και αδιαβλητότητα για τα δεδομένα της εφοδιαστικής αλυσίδας μέσω της αξιοποίησης χαρακτηριστικών blockchain όπως οι μηχανισμοί συναίνεσης, η κρυπτογραφία και η peer-to-peer επικοινωνία.

Το σύστημα θα υποστηρίζει επίσης έξυπνα συμβόλαια που θα επιτρέπουν την αυτοματοποίηση και το συντονισμό των δραστηριοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων. Το σύστημα θα σχεδιαστεί με γνώμονα την επεκτασιμότητα και τη χρηστικότητα, με σκοπό να μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους τύπους και μεγέθη αλυσίδων εφοδιασμού.

**Λέξεις Κλειδιά:** Blockchain, διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας, διαφάνεια δεδομένων, έξυπνα συμβόλαια

# Abstract

Supply chains are complex networks of entities that collaborate to produce and deliver goods and services. However, managing supply chain data is often challenging due to existing legacy systems that are not designed for interoperability and flexibility. ERP systems are commonly used for processing supply chain data, but they require significant investments and customisation efforts to meet the specific requirements of each business. Moreover, ERP systems do not provide real-time visibility into the status and location of products throughout their lifecycle, from raw materials sourcing to end-user delivery. This lack of transparency can lead to inefficiencies, errors, disputes, and frauds in supply chain operations.

Blockchain technology has emerged as a potential solution for improving supply chain management by enabling a distributed ledger that records every transaction in a secure and immutable way. Blockchain can provide transparency and traceability for supply chain data by allowing authorised participants to access relevant information such as price, date, location, quality, and certification. Blockchain can also facilitate smart contracts that automate business processes and enforce rules among supply chain partners. By using blockchain technology in supply chain management, businesses can reduce administrative costs, increase operational efficiency, enhance customer satisfaction, and foster innovation.

The aim of this thesis is to develop a supply chain data management system based on blockchain technology that will store and present data related to all entities involved in a supply chain network. The system will provide transparency, security and immutability for supply chain data by leveraging blockchain features such as consensus mechanisms, cryptography and peer-to-peer communication.

The system will also support smart contracts that will enable automation and coordination of supply chain activities among different stakeholders. The system will be designed with scalability and usability in mind, to accommodate various types and sizes of supply chains.

**Key Words:** Blockchain, supply chain management, data transparency, smart contracts

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους με στήριξαν με όλες τους τις δυνάμεις στην ολοκλήρωση των σπουδών μου και ιδιαιτέρως κατά την περίοδο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, κ. Δημήτριο Ασκούνη ευχαριστώ για την αρωγή και την καθοδήγησή του. Οι γνώσεις και ο ενθουσιασμός του κατά τη διάρκεια των διαλέξεων του ήταν καταλυτικές για την ακαδημαϊκή μου πορεία. Το ενδιαφέρον που επέδειξε ήταν σημαντικό για την εκπόνηση της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω βαθύτατα τους υποψήφιους διδάκτορες κ. Χρήστο Κοντζίνο και κ. Μιχαήλ Κοντούλη για τις συμβουλές που μου παρείχαν κατά την εκπόνηση της παρούσας έρευνας. Η καθοδήγηση, τεχνογνωσία και ενθάρρυνση τους με εμπλούτισαν ακαδημαϊκά και λειτούργησαν καθοριστικά σε αυτήν την έρευνα.

Θερμές ευχαριστίες ανήκουν στην οικογένεια μου για την αμέριστη στήριξη, παρότρυνση και συμπαράστασή τους σε όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας. Η στήριξη τους ήταν αξιοσημείωτη και οδήγησε στην ευόδωση των προσπαθειών μου.

# Περιεχόμενα

.....	3
Περίληψη.....	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες .....	7
Λίστα Γραφημάτων.....	10
Λίστα Εικόνων.....	11
Παράρτημα Τεχνικών Όρων.....	12
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	13
1.1 Αντικείμενο και σκοπός διπλωματικής .....	13
1.2 Μεθοδολογία διπλωματικής .....	13
1.3 Οργάνωση κειμένου .....	14
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	15
2.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία Blockchain .....	15
2.2 Κύκλος ζωής προϊόντος .....	33
2.3 Ο ρόλος του GDPR και άλλων νομικών υποχρεώσεων σε συστήματα κύκλου ζωής προϊόντος με blockchain .....	40
2.4 Τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών με βάση το blockchain .....	45
3. Ερευνητικές προσεγγίσεις σχετικές με εφαρμογή του blockchain στον κύκλο ζωής προϊόντος.....	54
4. Προτεινόμενη υλοποίηση blockchain για τον κύκλο ζωής προϊόντος .....	80
4.1 Βασικές έννοιες στο Hyperledger Fabric .....	80
4.2 Τεχνολογικές και μη απαιτήσεις του συστήματος.....	86
4.2.1 Τεχνολογικές απαιτήσεις.....	86
4.2.2 Μη-τεχνολογικές απαιτήσεις .....	86
4.3 Μεθοδολογία δόμησης του Blockchain .....	87
4.3.1 Δόμηση του blockchain block .....	87
4.3.2 Διαχείριση κλειδιών.....	88
4.3.3 Πολιτική πρόσβασης στο δίκτυο .....	88
4.4.4 Αλγόριθμος consensus .....	88
4.4.5 Smart contracts.....	88
4.4.6 Αρχιτεκτονική συστήματος.....	89
5. Υλοποίηση εφαρμογής και πιλοτική δοκιμή.....	93



5.1 Οδηγίες εγκατάστασης της εφαρμογής .....	93
5.2 Κώδικας και οδηγίες χρήσης .....	93
5.3 Λειτουργίες της εφαρμογής .....	95
6. Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές .....	100
Βιβλιογραφία .....	102

# Λίστα Γραφημάτων

Πίνακας 1 Τύποι Blockchain και χαρακτηριστικά τους.....	18
Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά κεφαλής block.....	19

## Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1 Τύποι αλγορίθμων συναίνεσης στο Blockchain – Πηγή [155].....	24
Εικόνα 2 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Orders.....	39
Εικόνα 3 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λεπτομέρειες Order .....	39
Εικόνα 4 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Inventory Items .....	40
Εικόνα 5 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Outgoing Shipments .....	40
Εικόνα 6 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής προτεινόμενου δικτύου blockchain .....	92
Εικόνα 7 Σύμβαση στην εφαρμογή ως admin .....	95
Εικόνα 8 Δημιουργία χρήστη της εφαρμογής .....	96
Εικόνα 9 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Products.....	96
Εικόνα 10 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λεπτομέρειες Product .....	97
Εικόνα 11 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Ιστορικό Product .....	97
Εικόνα 12 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Inventory Items .....	98
Εικόνα 13 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Shipments και λεπτομέρειες Shipment Items .....	98
Εικόνα 14 Προφίλ σύμβασης του Apache Ofbiz με το RazorSQL.....	99

## Παράρτημα Τεχνικών Όρων

<b>Πρωτότυπο</b>	<b>Μετάφραση</b>
Block	Μπλοκ
Blockchain	Αλυσίδα Κατανεμημένων Εγγραφών
Decentralized Autonomous Organizations	Αποκεντρωμένοι Αυτόνομοι Οργανισμοί
Ledger	Καθολικό
Mainnet	Κεντρικό δίκτυο
Peer-to-Peer Network	Διομότιμο/Ομότιμο δίκτυο
Smart contract	Έξυπνο συμβόλαιο
Staking	Στοιχηματισμός
State channel	Κανάλι κατάστασης
Token	Κρυπτοπαραστατικό
Validator	Επικυρωτής

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο και σκοπός διπλωματικής

Στόχος της διπλωματικής είναι να διερευνήσει τις δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain στη βελτίωση της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η οποία γίνεται ολοένα και πιο περίπλοκη και απαιτητική λόγω του παγκόσμιου εμπορίου και των προόδων της τεχνολογίας τις τελευταίες δεκαετίες. Τα υπάρχοντα συστήματα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως τα συστήματα ERP, αντιμετωπίζουν περιορισμούς στη διαχείριση των πολύπλοκων και δυναμικών αλυσίδων εφοδιασμού [1]. Ο στόχος της διατριβής είναι να παρέχει μια εις βάθος ανάλυση του τρόπου με τον οποίο η τεχνολογία blockchain μπορεί να αντιμετωπίσει αυτούς τους περιορισμούς και να προσφέρει πιθανά οφέλη, όπως ενισχυμένη διαφάνεια, ιχνηλασιμότητα και ασφάλεια των δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η διπλωματική στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση της τεχνολογίας blockchain και πώς μπορεί να εφαρμοστεί στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση των τεχνικών πτυχών του blockchain, όπως η αρχιτεκτονική του και οι μηχανισμοί συναίνεσης, καθώς και η διερεύνηση πιθανών περιπτώσεων χρήσης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διατριβή επιδιώκει επίσης να αξιολογήσει τη σκοπιμότητα ενός συστήματος διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας που βασίζεται σε blockchain και τα πιθανά οφέλη και προκλήσεις που μπορεί να φέρει. Το προτεινόμενο σύστημα αναμένεται να βελτιώσει την ανταλλαγή δεδομένων και τον συντονισμό μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων, να βελτιώσει την παρακολούθηση και τον εντοπισμό των προϊόντων και να παρέχει μεγαλύτερη διαφάνεια και ασφάλεια των δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Συνολικά, η διπλωματική επιδιώκει να συμβάλει στην ακαδημαϊκή και πρακτική κατανόηση του πώς η τεχνολογία blockchain μπορεί να φέρει επανάσταση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και να οδηγήσει σε μεγαλύτερη αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα.

## 1.2 Μεθοδολογία διπλωματικής

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διπλωματική περιλαμβάνει μια προσέγγιση μεικτών μεθόδων, που συνδυάζει τόσο ποιοτικές όσο και ποσοτικές μεθόδους έρευνας. Η ποιοτική μέθοδος έρευνας περιλαμβάνει μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τα συστήματα ERP, την τεχνολογία blockchain και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτό βοηθά στον καθορισμό της τρέχουσας κατάστασης της γνώσης και στον εντοπισμό των ερευνητικών κενών που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η ποσοτική μέθοδος έρευνας περιλαμβάνει ανάλυση περιπτώσεων μελέτης πραγματικών συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας. Η μελέτη περίπτωσης στοχεύει να εντοπίσει τις τρέχουσες προκλήσεις που αντιμετωπίζει το σύστημα και πώς ένα σύστημα που βασίζεται σε blockchain μπορεί να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις. Αυτό βοηθά

στην παροχή εμπειρικών στοιχείων για την υποστήριξη της σκοπιμότητας και των πιθανών πλεονεκτημάτων ενός συστήματος διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που βασίζεται σε blockchain.

Επιπλέον, η διπλωματική προτείνει ένα πρωτότυπο σύστημα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας που βασίζεται σε blockchain και το δοκιμάζει σε ένα πραγματικό σενάριο. Το πρωτότυπο σύστημα αναπτύσσεται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία που περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των απαιτήσεων του συστήματος, το σχεδιασμό, την υλοποίηση και τη δοκιμή. Στη συνέχεια, το σύστημα αξιολογείται για την απόδοση και την αποτελεσματικότητά του στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Αυτή η ερευνητική προσέγγιση βοηθά στην αντιμετώπιση των πρακτικών προκλήσεων της ανάπτυξης ενός συστήματος που βασίζεται σε blockchain, όπως ο εντοπισμός των απαιτήσεων των χρηστών, ο σχεδιασμός μιας κατάλληλης αρχιτεκτονικής και η αξιολόγηση της απόδοσής του. Ο συνδυασμός ποιοτικών και ποσοτικών μεθόδων έρευνας παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας blockchain στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και τη σκοπιμότητα εφαρμογής ενός συστήματος που βασίζεται σε blockchain σε ένα πραγματικό σενάριο.

### 1.3 Οργάνωση κειμένου

Η εργασία αυτή είναι χωρισμένη σε έξι κεφάλαια: Στο κεφάλαιο 2 δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των βασικών τεχνολογιών που σχετίζονται με τη διπλωματική εργασία. Αρχικά περιγράφεται η τεχνολογία blockchain δίνοντας τα βασικά χαρακτηριστικά της και το πεδίο εφαρμογής της, στη συνέχεια ο κύκλος ζωής προϊόντος και τέλος περιγράφεται ο ρόλος του GDPR σε συστήματα κύκλου ζωής προϊόντος με blockchain. Στο κεφάλαιο 3 περιγράφονται οι σχετικές με το θέμα υπάρχουσες ερευνητικές προσεγγίσεις. Περνώντας στο πρακτικό μέρος, στο κεφάλαιο 4 αναλύεται η προτεινόμενη υλοποίηση blockchain για τον κύκλο ζωής προϊόντος, παρουσιάζοντας τις τεχνολογικές και μη απαιτήσεις του συστήματος και τη μεθοδολογία δόμησης του blockchain. Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται ο έλεγχος καλής λειτουργίας της εφαρμογής, παρέχοντας οδηγίες εγκατάστασης και χρήσης. Τέλος, στο κεφάλαιο 6, παράγονται συμπεράσματα και αναφέρονται μελλοντικές προοπτικές.

# Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό Υπόβαθρο

## 2.1 Εισαγωγή στην τεχνολογία Blockchain

Από την εισαγωγή του Bitcoin το 2008 με το white paper "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System" [2], η υποκείμενη τεχνολογία πίσω από αυτό το δημοφιλές κρυπτονόμισμα, το blockchain, έχει εξελιχθεί για να προσφέρει τεχνολογικές λύσεις σε διάφορους κλάδους. Αρχικά σχεδιασμένη για την υποστήριξη αποκεντρωμένων ψηφιακών νομισμάτων, η τεχνολογία blockchain έχει πλέον βρει το δρόμο της σε πολυάριθμες εφαρμογές που εκτείνονται πέρα από τη σφαίρα της άμεσης χρηματοδότησης. Μία από τις πιο εξέχουσες εφαρμογές της τεχνολογίας blockchain είναι στον χρηματοοικονομικό τομέα, όπου έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο επεξεργασίας και καταγραφής των συναλλαγών. Τα συστήματα που βασίζονται σε blockchain παρέχουν μια διαφανή, ασφαλή και αποκεντρωμένη μέθοδο καταγραφής και επαλήθευσης οικονομικών συναλλαγών, η οποία έχει οδηγήσει σε αυξημένη αποτελεσματικότητα και μειωμένο κόστος σε τομείς όπως οι διασυνοριακές πληρωμές, τα εμβάσματα και η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων [3]. Εκτός από τα χρηματοοικονομικά, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας έχει ωφεληθεί πολύ από την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain. Επιτρέπει την καλύτερη παρακολούθηση των εμπορευμάτων, από το σημείο προέλευσής τους έως τον τελικό προορισμό τους, διασφαλίζοντας διαφάνεια και ιχνηλασιμότητα σε όλη τη διαδικασία. Αυτό το επίπεδο ορατότητας συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της απάτης, στη μείωση της αναποτελεσματικότητας και στη βελτιστοποίηση της συνολικής λειτουργίας της εφοδιαστικής αλυσίδας [4]. Επιπλέον, ο κλάδος της υγειονομικής περίθαλψης έχει αρχίσει να υιοθετεί τεχνολογία blockchain για διάφορες εφαρμογές, όπως ασφαλή κοινή χρήση δεδομένων, διαχείριση αρχείων ασθενών και ιχνηλασιμότητα φαρμάκων. Χρησιμοποιώντας blockchain, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να διασφαλίσουν το απόρρητο και την ασφάλεια των δεδομένων βελτιώνοντας παράλληλα τη διαλειτουργικότητα και μειώνοντας το διοικητικό κόστος [5]. Ένας άλλος τομέας που ενσωματώνει την τεχνολογία blockchain είναι η βιομηχανία ενέργειας. Οι λύσεις blockchain χρησιμοποιούνται για να επιτραπεί το peer-to-peer εμπόριο ενέργειας, η προώθηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η βελτίωση της διαχείρισης του δικτύου. Αυτό ενθαρρύνει ένα πιο αποδοτικό και βιώσιμο ενεργειακό σύστημα αποκεντρώνοντας τη διανομή και την κατανάλωση ενέργειας, που τελικά οδηγεί σε μειωμένο αποτύπωμα άνθρακα [6]. Συνοπτικά, η εμφάνιση του Bitcoin και η υποκείμενη τεχνολογία blockchain έχει οδηγήσει σε μια σειρά καινοτόμων εφαρμογών σε πολλούς κλάδους. Από τη διαχείριση των οικονομικών και της εφοδιαστικής αλυσίδας μέχρι την υγειονομική περίθαλψη και την ενέργεια, το blockchain φέρνει επανάσταση στα παραδοσιακά συστήματα, ανοίγοντας το δρόμο για αυξημένη διαφάνεια, ασφάλεια και αποτελεσματικότητα σε διάφορους τομείς. Καθώς το blockchain συνεχίζει να ωριμάζει και να εξελίσσεται, είναι πιθανό ότι ακόμη περισσότερες βιομηχανίες θα εξερευνήσουν και θα εφαρμόσουν αυτήν την τεχνολογία αιχμής στις δραστηριότητές τους.

Η τεχνολογία Blockchain βασίζεται σε μια μοναδική δομή για την αποθήκευση και τη διαχείριση πληροφοριών, η οποία περιλαμβάνει τη χρήση blocks για την καταγραφή συναλλαγών. Αυτά τα blocks στη συνέχεια συνδέονται με προϋπάρχοντα blocks, σχηματίζοντας μια συνεχή αλυσίδα διασυνδεδεμένων δεδομένων. Ανάλογα με το επίπεδο πρόσβασης και ορατότητας δεδομένων που απαιτείται, υπάρχουν τέσσερις κύριοι τύποι blockchains: δημόσιο, ιδιωτικό, υβριδικό και κοινοπραξίας [7].

**Δημόσιο Blockchain:** Σε ένα δημόσιο blockchain, τα δεδομένα συναλλαγών και το ιστορικό είναι ανοιχτά διαθέσιμα για έλεγχο και επικύρωση από οποιονδήποτε. Αυτό το επίπεδο διαφάνειας διασφαλίζει ότι το σύστημα παραμένει ασφαλές, καθώς πολλοί χρήστες εμπλέκονται στην επαλήθευση και την επιβεβαίωση των συναλλαγών. Η αποκεντρωμένη φύση των δημόσιων blockchains εξαλείφει την ανάγκη για μια κεντρική αρχή, καθώς η συναίνεση επιτυγχάνεται μέσω της συμμετοχής των χρηστών του δικτύου. Αυτός ο τύπος blockchain χρησιμοποιείται συνήθως από κρυπτονομίσματα όπως το Bitcoin και το Ethereum, τα οποία προσφέρουν υψηλή ασφάλεια και διατηρούν την ανωνυμία των χρηστών.

**Ιδιωτικό Blockchain:** Σε αντίθεση με τις δημόσιες αλυσίδες blocks, οι ιδιωτικές αλυσίδες blocks περιορίζουν την πρόσβαση σε δεδομένα σε μια συγκεκριμένη ομάδα συμμετεχόντων, οι οποίοι συχνά προεπιλέγονται και τους χορηγείται άδεια να ενταχθούν στο δίκτυο. Σε αυτόν τον τύπο blockchain, οι συμμετέχοντες είναι συνήθως εξοικειωμένοι μεταξύ τους, επιτρέποντας την ανάπτυξη εμπιστοσύνης εντός του δικτύου. Αυτό το σύστημα που βασίζεται στην εμπιστοσύνη επιτρέπει την ταχύτερη επεξεργασία των συναλλαγών, καθώς υπάρχει μειωμένη ανάγκη για εκτεταμένες διαδικασίες επαλήθευσης. Οι ιδιωτικές αλυσίδες blocks χρησιμοποιούνται συνήθως από οργανισμούς, κοινοπραξίες ή ομάδες που απαιτούν ένα ελεγχόμενο περιβάλλον για την κοινή χρήση και τη διαχείριση ευαίσθητων πληροφοριών.

**Hybrid Blockchain:** Ένα υβριδικό blockchain συνδυάζει στοιχεία τόσο των δημόσιων όσο και των ιδιωτικών blockchain, προσφέροντας μια προσαρμοσμένη λύση που καλύπτει συγκεκριμένες ανάγκες. Σε αυτό το μοντέλο, ορισμένες πτυχές του δικτύου, όπως η επικύρωση συναλλαγών ή η αποθήκευση δεδομένων, ενδέχεται να είναι δημόσιες, ενώ άλλα στοιχεία, όπως η πρόσβαση σε ευαίσθητες πληροφορίες, παραμένουν περιορισμένα σε εξουσιοδοτημένους συμμετέχοντες. Αυτή η επιλεκτική προσέγγιση για την κοινή χρήση και την προβολή δεδομένων παρέχει μια ισορροπία μεταξύ διαφάνειας και ασφάλειας, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν συνδυασμό δημόσιων και ιδιωτικών χαρακτηριστικών.

**Blockchain κοινοπραξίας:** Ένα blockchain κοινοπραξίας είναι παρόμοιο με ένα υβριδικό blockchain στο ότι έχει ιδιωτικά και δημόσια χαρακτηριστικά blockchain. Ωστόσο διαφέρει αφού πολλά μέλη του οργανισμού συνεργάζονται σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο. Ουσιαστικά, μια κοινοπραξία blockchain είναι ένα ιδιωτικό blockchain με περιορισμένη πρόσβαση σε μια συγκεκριμένη ομάδα, εξαλείφοντας τους κινδύνους που ενέχουν μόνο μια οντότητα που ελέγχει το δίκτυο σε ένα ιδιωτικό blockchain. Σε ένα blockchain κοινοπραξίας, οι διαδικασίες συναίνεσης ελέγχονται από προκαθορισμένους κόμβους.



Διαθέτει έναν κόμβο επικύρωσης που εκκινεί, λαμβάνει και επικυρώνει συναλλαγές. Οι κόμβοι μελών μπορούν να λαμβάνουν ή να ξεκινούν συναλλαγές.

Συνοπτικά, η επιλογή μεταξύ δημόσιων, ιδιωτικών, υβριδικών και κοινοπραξίας blockchain εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις μιας δεδομένης εφαρμογής ή περίπτωσης χρήσης. Τα δημόσια blockchain προσφέρουν υψηλά επίπεδα διαφάνειας και ασφάλειας, καθιστώντας τα ιδανικά για αποκεντρωμένα συστήματα όπως τα κρυπτονομίσματα. Αντίθετα, τα ιδιωτικά blockchain εστιάζουν στην εμπιστοσύνη και στην ελεγχόμενη πρόσβαση, καθιστώντας τις κατάλληλες για οργανισμούς ή ομάδες που πρέπει να μοιράζονται ευαίσθητες πληροφορίες. Τα υβριδικά blockchain παρέχουν μια προσαρμόσιμη λύση που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο των δημόσιων όσο και των ιδιωτικών μοντέλων, καλύπτοντας εφαρμογές που απαιτούν ισορροπία μεταξύ διαφάνειας και ελεγχόμενης πρόσβασης. Ένα blockchain κοινοπραξίας τείνει να είναι πιο ασφαλές, επεκτάσιμο και αποτελεσματικό από ένα δημόσιο δίκτυο blockchain. Όπως το ιδιωτικό και το υβριδικό blockchain, προσφέρει επίσης ελέγχους πρόσβασης.

	<b>Δημόσιο Blockchain</b>	<b>Υβριδικό Blockchain</b>	<b>Ιδιωτικό Blockchain</b>	<b>Blockchain Κοινοπραξίας</b>
<b>Σύνοψη</b>	Πλήρως αποκεντρωμένο χωρίς κεντρική αρχή. Ο αλγόριθμος "proof-of-work" ή "proof-of-ownership" χρησιμοποιείται για τη διασφάλιση της γνησιότητας των αρχείων	Συνδυάζει χαρακτηριστικά δημόσιων και ιδιωτικών blockchains, προσφέροντας ισορροπία μεταξύ διαφάνειας και ελέγχου	Μια κεντρική αρχή ενεργεί ως αξιόπιστος ενδιάμεσος για τον έλεγχο και τη διασφάλιση της αυθεντικότητας των αρχείων	Λειτουργεί από μια ομάδα οργανισμών, συνήθως με κοινά ενδιαφέροντα
<b>Άδειες</b>	Οποιοσδήποτε μπορεί να εγγραφεί στο δίκτυο, να στείλει συναλλαγές και να συμμετάσχει στη διαδικασία επικύρωσης	Ελεγχόμενο για εσωτερικές συναλλαγές, ανοιχτό για ορισμένες δημόσιες επαληθεύσεις	Αυστηρά ελεγχόμενο. Μόνο εξουσιοδοτημένα μέλη μπορούν να εγγραφούν, να στείλουν συναλλαγές και να τις επικυρώσουν	Περιορίζεται στα μέλη της κοινοπραξίας
<b>Επικύρωση συναλλαγών</b>	Τα αρχεία επαληθεύονται από την πλειοψηφία των «miners» επιτυγχάνοντας συναίνεση για την αυθεντικότητα	Μίγμα οργανωτικών ελέγχων και μηχανισμών συναίνεσης	Η κεντρική αρχή επαληθεύει τις συναλλαγές	Καθορίζεται με συμφωνία της κοινοπραξίας, συνήθως από ένα καθορισμένο σύνολο κόμβων

<b>Αποθήκευση δεδομένων</b>	Τα αρχεία διανέμονται. Ένα αντίγραφο ολόκληρης της εγγραφής είναι διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες του δικτύου peer-to-peer	Διαμερισμένη αποθήκευση: ορισμένα δεδομένα αποθηκεύονται ιδιωτικά, άλλα αποθηκεύονται στο δημόσιο δίκτυο	Τα αρχεία αποθηκεύονται από την κεντρική αρχή	Τα αρχεία κατανέμονται στους κόμβους της κοινοπραξίας
<b>Κόστος συναλλαγών</b>	Χαμηλό κόστος συναλλαγών	Μικτές: ορισμένες συναλλαγές μπορεί να είναι δωρεάν (εντός του ιδιωτικού μέρους), άλλες μπορεί να απαιτούν χρεώσεις (εντός του δημόσιου μέρους)	Κόστος συναλλαγής που υπαγορεύεται από μία οντότητα	Το κόστος των συναλλαγών απορροφάται συνήθως από τα μέλη της κοινοπραξίας και μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τη συμφωνημένη δομή

Πίνακας 1 Τύποι Blockchain και χαρακτηριστικά τους

Μια κρίσιμη πτυχή της δομής του blockchain είναι το block, το οποίο φιλοξενεί πολλές ξεχωριστές ομάδες δεδομένων που συνεργάζονται για να εξασφαλίσουν την ασφάλεια, την ακεραιότητα και τη χρονολογική σειρά ολόκληρου του blockchain. Τα κύρια στοιχεία ενός block [8] περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

Κρυπτογραφικό αποτύπωμα του προηγούμενου block: Κάθε block περιέχει το κρυπτογραφικό αποτύπωμα ή το hash του προηγούμενου block στην αλυσίδα, το οποίο καθορίζει τη μοναδική του ταυτότητα. Αυτή η σύνδεση μεταξύ των block βοηθά στη διατήρηση της ασφάλειας και της ακεραιότητας του blockchain, καθώς οποιοσδήποτε αλλαγές γίνονται στα δεδομένα ενός block θα ακύρωναν τα hashes όλων των επόμενων block.

Κρυπτογραφικό αποτύπωμα των συναλλαγών του block: Το block περιέχει επίσης ένα κρυπτογραφικό αποτύπωμα που δημιουργείται με την εφαρμογή μιας συνάρτησης κατακερματισμού στο σύνολο των συναλλαγών του. Αυτό το αποτύπωμα ή κατακερματισμός είναι μια συμβολοσειρά χαρακτήρων σταθερού μήκους που είναι μοναδική για τα συγκεκριμένα δεδομένα συναλλαγής.

Δομή Merkle Tree: Οι συναλλαγές σε ένα block οργανώνονται χρησιμοποιώντας μια δομή δεδομένων Merkle Tree, η οποία προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια. Ένα δέντρο Merkle οργανώνει τις συναλλαγές σε μια ιεραρχική μορφή, με κόμβους φύλλων που αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες συναλλαγές και κόμβους χωρίς φύλλα που περιέχουν τις τιμές κατακερματισμού που προέρχονται από τους αντίστοιχους θυγατρικούς κόμβους τους. Ως αποτέλεσμα, η ρίζα Merkle, που βρίσκεται στην κορυφή του δέντρου, είναι μια ενιαία τιμή κατακερματισμού που συνοψίζει όλες τις συναλλαγές εντός του block. Η δομή του δέντρου Merkle επιτρέπει

την αποτελεσματική επαλήθευση δεδομένων, καθώς μόνο ένα υποσύνολο του δέντρου χρειάζεται να εξεταστεί για την επικύρωση μιας συγκεκριμένης συναλλαγής. Επιπλέον, οποιαδήποτε τροποποίηση σε μια συναλλαγή θα είχε ως αποτέλεσμα αλλαγές στους αντίστοιχους κατακερματισμούς στο δέντρο Merkle, καθιστώντας την παραβίαση εμφανή και εύκολα ανιχνεύσιμη.

**Χρονική σήμανση:** Ένα block περιλαμβάνει μια χρονική σήμανση, η οποία είναι μια χρονική αναφορά που υποδεικνύει την κατά προσέγγιση στιγμή που δημιουργήθηκε το block. Αυτό βοηθά στη διατήρηση της χρονολογικής σειράς του blockchain και αποτρέπει πιθανές επιθέσεις διπλής δαπάνης.

**Proof of Work και Nonce:** Τέλος, το block ενσωματώνει μια απόδειξη εργασίας και ένα κρυπτογραφικό nonce, που είναι ένας μοναδικός αριθμός που δημιουργείται από τον κόμβο (miner) που λύνει με επιτυχία το κρυπτογραφικό παζλ που απαιτείται για την προσθήκη του block στο blockchain. Αυτό το nonce, σε συνδυασμό με τα άλλα στοιχεία δεδομένων στο block, παράγει μια τιμή κατακερματισμού που ικανοποιεί το προκαθορισμένο επίπεδο δυσκολίας του δικτύου, διασφαλίζοντας την ασφάλεια και την ακεραιότητα του blockchain.

<b>Χαρακτηριστικό</b>	<b>Περιγραφή</b>
Έκδοση	Ο αριθμός έκδοσης της μορφής του block
Κρυπτογραφικό αποτύπωμα προηγούμενου block	Το hash του προηγούμενου block στην αλυσίδα
Ρίζα Merkle	Το hash των δεδομένων συναλλαγών του block σε μορφή Merkle Tree
Χρονική σήμανση	Χρονική σήμανση δημιουργίας του block
Δυσκολία στόχου	Η δυσκολία δημιουργίας ενός block με βάση την ισχύ του δικτύου
Nonce	Μοναδικός αριθμός που δημιουργείται κατά την εξόρυξη για το hash που πληροί το στόχο δυσκολίας
Μέγεθος block	Μέγεθος block σε bytes

*Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά κεφαλής block*

Με την εφαρμογή μιας συνάρτησης κατακερματισμού στις παραπάνω ομάδες δεδομένων εντός του block, λαμβάνεται ένα κρυπτογραφικό αποτύπωμα ολόκληρου του block, το οποίο καθορίζει τη μοναδική του ταυτότητα. Αυτό το δακτυλικό αποτύπωμα χρησιμεύει ως κρίσιμο στοιχείο για τη διατήρηση της ακεραιότητας και της ασφάλειας του blockchain, καθώς συνδέει κάθε block με τον προκάτοχό του και διασφαλίζει ότι τυχόν αλλαγές στα δεδομένα ενός block θα καθιστούσαν ολόκληρη την αλυσίδα άκυρη. Η συνάρτηση κατακερματισμού είναι ένα κρίσιμο στοιχείο στην υποδομή της αλυσίδας block, καθώς δημιουργεί τα κρυπτογραφικά δακτυλικά αποτυπώματα ή κατακερματισμούς για block και τις συναλλαγές τους. Μια συνάρτηση κατακερματισμού είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που λαμβάνει μια είσοδο οποιουδήποτε μήκους και παράγει μια έξοδο σταθερού μήκους, συνήθως μια συμβολοσειρά χαρακτήρων. Στο πλαίσιο των blockchains, η συνάρτηση κατακερματισμού εφαρμόζεται σε διάφορα στοιχεία

δεδομένων, όπως συναλλαγές και κεφαλίδες block, δημιουργώντας μοναδικά αναγνωριστικά για το καθένα. Μερικές σημαντικές ιδιότητες των συναρτήσεων κατακερματισμού κρυπτογράφησης [9] περιλαμβάνουν:

- **Ντετερμινιστική:** Με δεδομένη την ίδια είσοδο, η συνάρτηση κατακερματισμού θα παράγει πάντα την ίδια έξοδο. Αυτή η συνέπεια διασφαλίζει ότι τα ίδια δεδομένα θα έχουν πάντα τον ίδιο κατακερματισμό.
- **Γρήγορος υπολογισμός:** Οι συναρτήσεις κατακερματισμού θα πρέπει να είναι υπολογιστικά αποδοτικές, που σημαίνει ότι μπορούν να δημιουργήσουν γρήγορα τιμές κατακερματισμού ακόμη και για μεγάλες εισόδους. Αυτό είναι απαραίτητο σε εφαρμογές blockchain, καθώς ο γρήγορος κατακερματισμός επιτρέπει την ταχεία επικύρωση και επαλήθευση των δεδομένων.
- **Preimage resistance:** Θα πρέπει να είναι υπολογιστικά μη εφικτός ο προσδιορισμός της αρχικής εισόδου με βάση αποκλειστικά την έξοδο κατακερματισμού. Αυτή η ιδιότητα ενισχύει την ασφάλεια της συνάρτησης κατακερματισμού, καθιστώντας δύσκολο για έναν εισβολέα να αναστρέψει τα αρχικά δεδομένα.
- **Collision resistance:** Θα πρέπει να είναι εξαιρετικά απίθανο δύο διαφορετικές εισοδοί να παράγουν την ίδια έξοδο κατακερματισμού. Αυτή η ιδιότητα ελαχιστοποιεί τις πιθανότητες συγκρούσεων κατακερματισμού, οι οποίες θα μπορούσαν να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια και την ακεραιότητα του blockchain.
- **Εφέ χιονοστιβάδας:** Μια μικρή αλλαγή στην είσοδο θα πρέπει να έχει ως αποτέλεσμα μια δραστικά διαφορετική έξοδο κατακερματισμού. Αυτή η ιδιότητα διασφαλίζει ότι ακόμη και μικρές τροποποιήσεις στα δεδομένα ενός block θα παράγουν έναν εντελώς διαφορετικό κατακερματισμό, καθιστώντας την παραβίαση εμφανή και εύκολα ανιχνεύσιμη.

Στο πλαίσιο δημοφιλών blockchains όπως το Bitcoin, ο ασφαλής αλγόριθμος κατακερματισμού 256-bit (SHA-256) χρησιμοποιείται ως συνάρτηση κατακερματισμού. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος δημιουργεί μια έξοδο κατακερματισμού 256-bit (64 χαρακτήρων), η οποία ικανοποιεί τις απαραίτητες ιδιότητες για μια ασφαλή και αποτελεσματική συνάρτηση κατακερματισμού κρυπτογράφησης. Συνοπτικά, η συνάρτηση κατακερματισμού είναι ένας μαθηματικός αλγόριθμος που διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην τεχνολογία blockchain δημιουργώντας μοναδικά αναγνωριστικά για block και τις συναλλαγές τους. Μια ασφαλής και αποτελεσματική λειτουργία κατακερματισμού, όπως το SHA-256, διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων, την ασφάλεια και την αντίσταση σε παραβιάσεις σε ολόκληρο το σύστημα blockchain.

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε ορισμένα χαρακτηριστικά του Blockchain, όπως οι αποκεντρωμένες βάσεις δεδομένων, η ασφάλεια των δεδομένων, η διαφάνεια της πληροφορίας, η αμεταβλητότητα της πληροφορίας και τα smart contracts.

## **Decentralized Database**

Ένα κύριο χαρακτηριστικό του blockchain είναι η αποκέντρωση. Αυτό σημαίνει ότι στις συναλλαγές δεν εμπλέκεται κάποιος κεντρικός οργανισμός, ελεγκτικός μηχανισμός, ή βάση δεδομένων.

Κάθε ενημέρωση του blockchain προϋποθέτει την αποδοχή των συμμετεχόντων στο δίκτυο. Η αποκεντρωμένη αποδοχή επιτυγχάνεται μέσω αλγορίθμων όπως ο proof-of-work ή ο proof-of-stake. Για να επιτευχθεί η αποδοχή, απαιτείται η έγκριση από την πλειοψηφία των συμμετεχόντων στο peer-to-peer δίκτυο. Η χρήση αλγορίθμων όπως ο proof-of-work απαιτεί τεράστιους πόρους ενέργειας, κάτι που πυροδοτεί συζητήσεις για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Σε ένα ιδιωτικό δίκτυο, η αποδοχή μπορεί να επιτευχθεί λόγω των προσυμφωνημένων κανόνων μεταξύ των συμμετεχόντων, κάτι που προσδίδει ευελιξία, αποφεύγοντας την ανάγκη για κοστοβόρους αλγορίθμους αποδοχής [10].

### Μηχανισμός Αποδοχής

Τα blockchain συστήματα, όντας αποκεντρωμένα, δεν χρειάζονται κάποια εξωτερική ελεγκτική αρχή. Προκειμένου να επιτευχθεί η αποδοχή των συναλλαγών, προς επίρρωση της ακρίβειας και σταθερότητας των δεδομένων, τα blockchain συστήματα χρησιμοποιούν κάποιον αλγόριθμο αποδοχής. Ορισμένοι γνωστοί αλγόριθμοι αποδοχής είναι οι PoW (Proof of Work), PoS (Proof of Stake), DPoS (Delegated Proof of Stake), PBFT (Practical Byzantine Fault Tolerance), PoB (Proof of Bandwidth), PoET (Proof of Elapsed Time), PoA (Proof of Authority). Οι πιο διαδεδομένοι αλγόριθμοι είναι οι Proof of Work και Proof of Stake, με τον πρώτο να χρησιμοποιείται από το Bitcoin, ενώ το Ethereum υλοποιεί τη μετάβαση από τον αλγόριθμο Proof of Work στον Proof of Stake. Όταν ένας κόμβος δημιουργεί ένα block, απαιτείται η επίλυση ενός προβλήματος Proof of Work, ύστερα από την οποία μεταδίδεται το πρόβλημα και στους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος. Ακολουθεί μια επισκόπηση ορισμένων δημοφιλών αλγορίθμων συναίνεσης:

Ο αλγόριθμος **Proof of Work** [11] απαιτεί την επίλυση ενός αλγοριθμικού προβλήματος ώστε να επιβεβαιωθεί η γνησιότητα των δεδομένων. Συνήθως το πρόβλημα αυτό είναι ένα δύσκολο από υπολογιστικής άποψης πρόβλημα, απαιτώντας ιδιαίτερη μεγάλη ποσότητα ενέργειας για να επιλυθεί, ωστόσο μπορεί να επικυρωθεί σχετικά εύκολα. Αναλύοντας παραπάνω τη δομή του block στο blockchain, αναφέραμε την απόδειξη μόχθου του block, το λεγόμενο cryptographic nonce. Η τιμή του nonce προκύπτει από την επίλυση του προβλήματος PoW. Μια σωστή τιμή του nonce πρέπει να επιβεβαιώνει ότι η παρακάτω σχέση ισχύει. Μεταβάλλοντας την τιμή Target μπορούμε να ρυθίσουμε την δυσκολία του προβλήματος Proof of Work.

$$\text{SHA256}(\text{PrevHash} \parallel \text{Tx1} \parallel \text{Tx2} \parallel \dots \parallel \text{nonce}) < \text{Target}$$

Η εξίσωση αντιπροσωπεύει τη συνθήκη που πρέπει να ικανοποιηθεί για να λυθεί το πρόβλημα Proof of Work (PoW) στο πλαίσιο ενός blockchain. Περιλαμβάνει την εύρεση ενός nonce (ένας μοναδικός αριθμός) που, όταν συνδυάζεται με τα άλλα δεδομένα στο

block, παράγει μια τιμή κατακερματισμού που είναι μικρότερη από έναν προκαθορισμένο στόχο. Ακολουθεί μια ανάλυση της εξίσωσης:

SHA256: Αυτή είναι η κρυπτογραφική συνάρτηση κατακερματισμού που χρησιμοποιείται, η οποία, σε αυτήν την περίπτωση, είναι ο αλγόριθμος ασφαλούς κατακερματισμού 256-bit (SHA-256).

PrevHash: Αντιπροσωπεύει τον κατακερματισμό του προηγούμενου block στο blockchain.

Tx1, Tx2, ...: Αυτά αντιπροσωπεύουν τις μεμονωμένες συναλλαγές εντός του block.

nonce: Είναι ένας μοναδικός αριθμός που πρέπει να βρουν οι miners για να λύσουν το πρόβλημα PoW. Το nonce, όταν συνδυάζεται με τα υπόλοιπα δεδομένα του block, θα πρέπει να παράγει μια τιμή κατακερματισμού που να ανταποκρίνεται στο προκαθορισμένο επίπεδο δυσκολίας.

Target: Είναι ένα προκαθορισμένο όριο που καθορίζει τη δυσκολία του προβλήματος PoW. Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή στόχου, τόσο πιο δύσκολο είναι να βρεθεί ένα έγκυρο nonce που να ικανοποιεί την εξίσωση, καθώς υπάρχουν λιγότερες τιμές κατακερματισμού που είναι μικρότερες από τον στόχο.

Τα σύμβολα διπλού σωλήνα (||) υποδεικνύουν συνένωση, που σημαίνει ότι τα στοιχεία δεδομένων (PrevHash, συναλλαγές και nonce) συνδυάζονται σε μια ενιαία συμβολοσειρά δεδομένων.

Στην ουσία, η εξίσωση δηλώνει ότι όταν η συμβολοσειρά δεδομένων που αποτελείται από τον κατακερματισμό του προηγούμενου block, τις συναλλαγές και το nonce κατακερματίζεται χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο SHA-256, η τιμή κατακερματισμού που προκύπτει πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή στόχο. Οι miners αναζητούν ένα nonce που πληροί αυτήν την προϋπόθεση και μόλις το βρουν, μπορούν να προσθέσουν το block στο blockchain. Προσαρμόζοντας την τιμή στόχο, μπορεί να ελεγχθεί η δυσκολία του προβλήματος PoW. Μια χαμηλότερη τιμή στόχου αυξάνει τη δυσκολία, καθώς μειώνει τον αριθμό των πιθανών τιμών κατακερματισμού που ικανοποιούν την εξίσωση, καθιστώντας πιο δύσκολο για τους miners να βρουν το σωστό nonce.

Ο αλγόριθμος **Proof of Stake** [12] απαιτεί την απόδειξη κατοχής ενός κρυπτονομίσματος για να αποδείξει την γνησιότητα των δεδομένων. Κατά τη δημιουργία ενός block ή μιας συναλλαγής, οι χρήστες είναι υποχρεωμένοι να πληρώσουν ένα ποσό κρυπτονομίσματος. Αν η δημιουργία του block ή της συναλλαγής μπορούν να επικυρωθούν, τότε το κρυπτονομίσμα θα επιστραφεί στον αρχικό κόμβο, διαφορετικά το δίκτυο το αντλεί ως πρόστιμο. Σε αντίθεση με τον αλγόριθμο Proof of Work, ο αλγόριθμος Proof of Stake δεν απαιτεί χρονοβόρους υπολογισμούς αποφεύγοντας την σπατάλη υπολογιστικών πόρων. Ο στόχος τόσο του PoS όσο και του PoW είναι να επιτευχθεί συναίνεση μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο σχετικά με την εγκυρότητα των συναλλαγών και την προσθήκη νέων block στο blockchain. Σε ένα blockchain που βασίζεται σε PoS, οι επικυρωτές (γνωστοί και ως stakers ή forgers) επιλέγονται για τη

δημιουργία νέων block και την επικύρωση συναλλαγών με βάση το ποσό του κρυπτονομίσματος που κατέχουν και είναι πρόθυμοι να «ποντάρουν» ως εγγύηση. Οι stakers κλειδώνουν τα tokens τους στο δίκτυο και οι πιθανότητες να επιλεγούν ως επικυρωτές είναι ανάλογες με τον αριθμό των tokens που πονταρίζονται. Όταν επιλέγεται ένας επικυρωτής, επικυρώνουν τις συναλλαγές, δημιουργούν ένα νέο block και λαμβάνουν μια ανταμοιβή με τη μορφή χρεώσεων συναλλαγών ή νέων tokens. Το PoS μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με το PoW και προσφέρει καλύτερη ασφάλεια έναντι της συγκέντρωσης.

**Delegated Proof of Stake (DPoS):** Το DPoS [13] είναι μια παραλλαγή του PoS που εισάγει έναν μηχανισμό ψηφοφορίας για την εκλογή ενός σταθερού αριθμού αντιπροσώπων που είναι υπεύθυνοι για την επικύρωση συναλλαγών και τη δημιουργία νέων block. Σε αυτό το σύστημα, οι κάτοχοι tokens ψηφίζουν αντιπροσώπους με βάση το ποντάρισμά τους και οι εκπρόσωποι με τις περισσότερες ψήφους γίνονται επικυρωτές. Το DPoS έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει ταχύτερη επεξεργασία συναλλαγών και βελτιωμένη επεκτασιμότητα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά PoS.

**Proof of Authority (PoA):** Σε blockchains που βασίζονται σε PoA [14], μια προεπιλεγμένη ομάδα αξιόπιστων οντοτήτων (αρχών) είναι υπεύθυνη για την επικύρωση των συναλλαγών και τη δημιουργία νέων block. Το PoA προσφέρει ταχύτερη επεξεργασία συναλλαγών και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με το PoW. Ωστόσο, θυσιάζει την αποκέντρωση, καθώς η εμπιστοσύνη συγκεντρώνεται σε μια μικρή ομάδα επικυρωτών.

**Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT):** Ο PBFT [15] είναι ένας συναινετικός αλγόριθμος που έχει σχεδιαστεί για να ανέχεται έναν ορισμένο αριθμό κακόβουλων ή ελαττωματικών κόμβων εντός του δικτύου. Σε ένα blockchain που βασίζεται σε PBFT, οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους για να συμφωνήσουν σχετικά με την εγκυρότητα των συναλλαγών και των block. Μόλις μια υπερπλειοψηφία (συνήθως τα 2/3 ή περισσότεροι) κόμβων συμφωνήσουν σε ένα συγκεκριμένο block, προστίθεται στο blockchain. Το PBFT προσφέρει ισχυρές εγγυήσεις ασφαλείας και γρήγορη επεξεργασία συναλλαγών, αλλά ενδέχεται να αντιμετωπίσει προκλήσεις επεκτασιμότητας καθώς αυξάνεται ο αριθμός των κόμβων στο δίκτυο.

**Proof of Bandwidth (PoB):** Ο PoB είναι ένας αλγόριθμος συναίνεσης [16] που ανταμείβει τους συμμετέχοντες σε ένα δίκτυο με βάση τη συνεισφορά τους σε πόρους bandwidth. Σε μια αλυσίδα block που βασίζεται σε PoB, όσο περισσότερο εύρος ζώνης παρέχει ένας συμμετέχων, τόσο μεγαλύτερες είναι οι πιθανότητές του να επιλεγούν για την επικύρωση συναλλαγών και τη δημιουργία νέων block. Ο πρωταρχικός στόχος του PoB είναι να ενθαρρύνει την κοινή χρήση πόρων δικτύου και να δημιουργήσει ένα πιο αποτελεσματικό και ισχυρό σύστημα. Δίνοντας κίνητρα στους χρήστες να συνεισφέρουν το bandwidth τους, το PoB βοηθά στη διανομή του φόρτου του δικτύου και βελτιώνει τη συνολική απόδοση, οδηγώντας σε ταχύτερη επεξεργασία συναλλαγών και μειωμένη καθυστέρηση. Ο Proof of Bandwidth είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για αποκεντρωμένες εφαρμογές και δίκτυα που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην κοινή χρήση και ροή δεδομένων, όπως





ώστε να αποφεύγεται η αλλαγή πληροφορίας στο δίκτυο. Η τακτική αυτή βελτιώνει τόσο την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο, όσο και τη συνολική ασφάλεια. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της αποκεντροποίησης αποτελεί η άμυνα σε επιθέσεις hacking, αφού δεν υπάρχει μοναδικό σημείο αποτυχίας [18]. Η ύπαρξη χρονικής αναφοράς είναι ιδιαίτερη χρήσιμη τόσο σε περιβάλλον συναλλαγών, όσο και για συστήματα που αφορούν την εφοδιαστική αλυσίδα, προσδίδοντας διαφάνεια στη διαδικασία, καθώς οι κρίσιμες πληροφορίες περιέχουν αναφορά στον χρόνο.

### **Information Transparency**

Όπως είδαμε και παραπάνω, το δίκτυο blockchain είναι ένα σύστημα όπου πολλά μέρη μπορούν να μοιράζονται και να επαληθεύουν πληροφορίες χωρίς να βασίζονται σε μια κεντρική αρχή. Κάθε συμμετέχων σε αυτό το δίκτυο έχει ένα πανομοιότυπο αντίγραφο ενός ψηφιακού ledger που καταγράφει όλες τις συναλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί στο δίκτυο. Αυτό το ledger ενημερώνεται και συγχρονίζεται σε όλους τους κόμβους κάθε φορά που επικυρώνεται μια νέα συναλλαγή. Το πλήρες ιστορικό των συναλλαγών, μαζί με τα σχετικά δεδομένα τους, όπως χρονικές σημάνσεις, ποσά και υπογραφές, είναι διαθέσιμο σε κάθε μέλος του δικτύου. Αυτό σημαίνει ότι οποιοσδήποτε μπορεί να έχει πρόσβαση και να επιθεωρήσει τα δεδομένα του blockchain ανά πάσα στιγμή, διασφαλίζοντας ότι δεν υπάρχουν κρυφές ή παραποιημένες πληροφορίες. Η ίση και εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα blockchain ενισχύει τη διαφάνεια των πληροφοριών, επιτρέποντας την εξέταση και την ιχνηλασιμότητα των συναλλαγών. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την εμπιστοσύνη, την υπευθυνότητα και την αποτελεσματικότητα μεταξύ των συμμετεχόντων στο δίκτυο [19].

### **Data and Information Immutability**

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του blockchain είναι η σταθερότητα των δεδομένων, που σημαίνει ότι από τη στιγμή που εισάγουμε πληροφορίες στο ledger, δεν μπορούν να αλλάξουν ή να αφαιρεθούν από κανέναν. Αυτό διασφαλίζει την εμπιστοσύνη και τη διαφάνεια μεταξύ των συμμετεχόντων [20].

Ωστόσο, η σταθερότητα των δεδομένων μπορεί επίσης να δημιουργήσει ορισμένες προκλήσεις όσον αφορά τη συμμόρφωση με τον Γενικό Κανονισμό για την Προστασία Δεδομένων (GDPR), ο οποίος είναι ένας νόμος που προστατεύει τα δικαιώματα απορρήτου των ατόμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Ο GDPR δίνει στα άτομα το δικαίωμα πρόσβασης, διόρθωσης ή διαγραφής των προσωπικών τους δεδομένων που αποθηκεύονται από οποιονδήποτε οργανισμό. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει ένα παράδοξο ή μια σύγκρουση μεταξύ του blockchain και του GDPR, ειδικά όταν τα προσωπικά δεδομένα αποθηκεύονται σε ένα δημόσιο blockchain που είναι ανοιχτό και αμετάβλητο.

### **Fast data transfer and globality**

Οι χρόνοι επεξεργασίας συναλλαγών blockchain μπορεί να ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με το συγκεκριμένο σύστημα blockchain που χρησιμοποιείται. Αυτοί οι χρόνοι

μπορεί να κυμαίνονται από μερικά δευτερόλεπτα έως αρκετά λεπτά ή και περισσότερο, με κάθε δίκτυο blockchain να έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά και επιλογές σχεδιασμού που επηρεάζουν την ταχύτητα συναλλαγής. Τα δημόσια δίκτυα blockchain, όπως το Bitcoin και το Ethereum, είναι ανοιχτά σε όλους τους συμμετέχοντες, επιτρέποντας στους χρήστες από όλο τον κόσμο να συμμετέχουν σε συναλλαγές χωρίς γεωγραφικούς περιορισμούς. Αυτά τα ανοιχτά δίκτυα προωθούν την παγκόσμια συνεργασία και την οικονομική ένταξη, καθώς προσφέρουν μια αποκεντρωμένη και χωρίς σύνορα μέθοδο για τη μεταφορά αξίας και τη διεξαγωγή επιχειρήσεων. Μερικά ενδιαφέροντα στοιχεία σχετικά με την ταχύτητα των διαφόρων blockchains:

**Bitcoin:** Το δίκτυο Bitcoin επεξεργάζεται συναλλαγές με μέσο χρόνο block 10 λεπτών. Ωστόσο, λόγω της συμφόρησης του δικτύου και της ανάγκης για επιβεβαιώσεις συναλλαγών, μπορεί να χρειαστούν από 30 λεπτά έως αρκετές ώρες για να επιβεβαιωθεί πλήρως και να διευθετηθεί μια συναλλαγή Bitcoin [21].

**Ethereum:** Ο μέσος χρόνος block του Ethereum είναι περίπου 12 δευτερόλεπτα, γεγονός που επιτρέπει την ταχύτερη επεξεργασία συναλλαγών σε σύγκριση με το Bitcoin. Ωστόσο, σε περιόδους υψηλής χρήσης δικτύου, οι χρήστες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν καθυστερήσεις και υψηλότερες χρεώσεις συναλλαγών καθώς ανταγωνίζονται για περιορισμένο χώρο block [22].

**Ripple (XRP Ledger):** Το XRP Ledger, το οποίο τροφοδοτεί το πρωτόκολλο πληρωμής της Ripple, εμφανίζει σημαντικά ταχύτερους χρόνους συναλλαγών, με μέσο χρόνο επεξεργασίας μόλις 3-5 δευτερόλεπτα. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για διασυννοριακές πληρωμές και υπηρεσίες εμβασμάτων [23].

**Stellar:** Το Stellar είναι ένα δίκτυο blockchain που έχει σχεδιαστεί για γρήγορες και αποτελεσματικές διασυννοριακές συναλλαγές. Έχει μέσο χρόνο επεξεργασίας συναλλαγών 3-5 δευτερόλεπτα, παρόμοιο με το Ripple. Αυτή η ταχύτητα, σε συνδυασμό με τις χαμηλές χρεώσεις συναλλαγών, καθιστά το Stellar ελκυστική επιλογή για εμβάσματα και μικροπληρωμές [24].

**Cardano:** Το Cardano είναι ένα blockchain τρίτης γενιάς που στοχεύει να παρέχει μια πιο επεκτάσιμη και βιώσιμη πλατφόρμα για αποκεντρωμένες εφαρμογές και συναλλαγές. Ο μέσος χρόνος επεξεργασίας συναλλαγών του είναι επί του παρόντος περίπου 20 δευτερόλεπτα, αλλά εργάζεται συνεχώς για βελτιώσεις για να αυξήσει την ταχύτητα και την επεκτασιμότητα του μέσω ενημερώσεων όπως το πρωτόκολλο Hydra [25].

**Binance Smart Chain (BSC):** Το Binance Smart Chain, ένα blockchain με ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά με το Ethereum, είναι γνωστό για τους γρήγορους χρόνους επεξεργασίας συναλλαγών και τις χαμηλότερες χρεώσεις σε σύγκριση με το Ethereum. Με μέσο χρόνο block 3 δευτερολέπτων, το BSC επιτρέπει ταχύτερες συναλλαγές για αποκεντρωμένες εφαρμογές και μεταφορές tokens [26].

**Solana:** Το Solana είναι ένα blockchain υψηλής απόδοσης σχεδιασμένο για επεκτασιμότητα και ταχύτητα. Διαθέτει εντυπωσιακούς χρόνους επεξεργασίας

συναλλαγών, με δυνατότητα χειρισμού έως και 65.000 συναλλαγών ανά δευτερόλεπτο (tps) και μέσο χρόνο block 400 χιλιοστών του δευτερολέπτου [27].

Αυτά τα παραδείγματα υπογραμμίζουν τις ποικίλες ταχύτητες διαφορετικών δικτύων blockchain, το καθένα με τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά και περιπτώσεις χρήσης. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι βελτιώσεις στους χρόνους διεκπεραίωσης συναλλαγών, την επεκτασιμότητα και την αποτελεσματικότητα πιθανότατα θα γίνουν πιο συνηθισμένες, διευρύνοντας περαιτέρω τις δυνατότητες για εφαρμογές και συστήματα που βασίζονται σε blockchain.

## **Smart Contracts**

Ένα smart contract είναι ένα αυτοεκτελούμενο κομμάτι κώδικα που περιέχει προκαθορισμένους κανόνες συναλλαγής που έχουν συμφωνηθεί από έναν πωλητή και έναν αγοραστή. Αυτοί οι κανόνες επιβάλλονται αυτόματα όταν πληρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις, απλοποιώντας τη διαδικασία συναλλαγής. Τα smart contracts αποθηκεύονται σε ένα blockchain, το οποίο διασφαλίζει ότι όλα τα στοιχεία τους, καθώς και οι συναλλαγές που δημιουργούνται, είναι διαφανή και αδιάψευστα [28].

Χρησιμοποιώντας smart contracts, η εμπιστοσύνη στις συναλλαγές εδραιώνεται μέσω του ίδιου του κώδικα, ελαχιστοποιώντας ή εξαλείφοντας αποτελεσματικά την ανάγκη για παραδοσιακούς μεσάζοντες όπως τράπεζες, οικονομικούς συμβούλους, δικηγόρους και συμβολαιογράφους. Αυτή η μείωση της ανθρώπινης παρέμβασης όχι μόνο ενισχύει την αποτελεσματικότητα, αλλά μειώνει επίσης σημαντικά το κόστος και τον χρόνο που σχετίζονται με διάφορες επιχειρηματικές συναλλαγές.

Η ψηφιακή επικύρωση των συναλλαγών επιτυγχάνεται με την επαλήθευση της τήρησης των κανόνων που είναι ενσωματωμένοι στον κώδικα του smart contract. Για να καταχωρηθεί μια συναλλαγή στο blockchain, πρέπει να πληροί όλες τις καθορισμένες προϋποθέσεις. Το περιεχόμενο του κώδικα καθορίζεται από τα εμπλεκόμενα μέρη, τα οποία διαπραγματεύονται και συμφωνούν με τους όρους που επιθυμούν να καθορίσουν. Μόλις το smart contract αναπτυχθεί στο blockchain, λειτουργεί αυτόνομα, διασφαλίζοντας την ασφαλή και αξιόπιστη εκτέλεση των συμφωνημένων όρων.

Συνολικά, τα smart contracts προσφέρουν μια ευέλικτη και αποτελεσματική λύση για την αυτοματοποίηση των συναλλαγών και τη διασφάλιση της ακεραιότητάς τους. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain, τα smart contracts παρέχουν διαφάνεια, αμετάβλητο και ασφάλεια, μεταμορφώνοντας τον τρόπο διαχείρισης και εκτέλεσης των επιχειρηματικών συμφωνιών σε διάφορους κλάδους.

## **Πεδίο εφαρμογής Blockchain**

Η πρώτη εφαρμογή του blockchain συνέβη στον τομέα των ψηφιακών νομισμάτων και συγκεκριμένα με το Bitcoin. Το blockchain μπορεί να εφαρμοστεί σε μια πλειάδα τομέων, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την ασφάλεια των δεδομένων.

Για παράδειγμα, στον τομέα της υγείας, ένα αποκεντρωμένο σύστημα blockchain μπορεί να διασυνδέσει τα νοσοκομεία, τους προμηθευτές υγειονομικού εξοπλισμού, τα φαρμακεία και τα προφίλ των ασθενών. Έτσι μπορούν να εντοπιστούν και αντιμετωπιστούν οι όποιες πιθανές ελλείψεις και να μετακινηθούν αγαθά μεταξύ των εμπλεκόμενων πιο γρήγορα, καταγράφοντας τις ενδιάμεσες κινήσεις. Επιπλέον, αντιμετωπίζεται το πρόβλημα των παρανόμων εισαγωγών – εξαγωγών φαρμάκων αφού οι μεταφορές τους είναι εμφανείς και αποτυπωμένες στο blockchain. Τέλος, ο ασθενής διαθέτει το ιστορικό του στο δίκτυο, καθιστώντας ευκολότερη την μεταφορά των δεδομένων του μεταξύ των ιατρικών φορέων [29]. Ωστόσο, εγείρονται επίσης ανησυχίες σχετικά με τα ευαίσθητα δεδομένα, την αμεταβλητότητα του blockchain και το δικαίωμα διαγραφής δεδομένων του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων (GDPR). Τα δεδομένα υγειονομικής περίθαλψης συχνά περιλαμβάνουν ευαίσθητες και εμπιστευτικές πληροφορίες, όπως προσωπικά και ιατρικά αρχεία. Η αποθήκευση αυτών των δεδομένων σε ένα blockchain απαιτεί προσεκτική εξέταση των μέτρων απορρήτου και ασφάλειας, καθώς θα μπορούσε ενδεχομένως να εκθέσει τις προσωπικές πληροφορίες των ασθενών σε μη εξουσιοδοτημένα μέρη. Οι προηγμένες τεχνικές κρυπτογράφησης και τα εξουσιοδοτημένα blockchain μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτών των ανησυχιών περιορίζοντας την πρόσβαση σε δεδομένα μόνο σε εξουσιοδοτημένους χρήστες. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά ενός blockchain είναι η αμεταβλητότητα του, που σημαίνει ότι μόλις προστεθούν δεδομένα στην αλυσίδα, δεν μπορούν να τροποποιηθούν ή να αφαιρεθούν. Αν και αυτό το χαρακτηριστικό διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων, δημιουργεί προκλήσεις στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης, όπου ενδέχεται να απαιτούνται ενημερώσεις ή διορθώσεις στα αρχεία των ασθενών. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, ορισμένες λύσεις blockchain χρησιμοποιούν αποθήκευση εκτός αλυσίδας, η οποία επιτρέπει ενημερώσεις δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα αναφορά στα αρχικά δεδομένα του blockchain. Ο GDPR παρέχει στα άτομα το δικαίωμα να ζητήσουν τη διαγραφή των προσωπικών τους δεδομένων υπό συγκεκριμένες συνθήκες, γνωστές ως «δικαίωμα στη λήθη». Ωστόσο, αυτό το δικαίωμα έρχεται σε σύγκρουση με το αμετάβλητο της τεχνολογίας blockchain. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, ορισμένες λύσεις blockchain υγειονομικής περίθαλψης χρησιμοποιούν τεχνικές όπως κατακερματισμός ή tokenization για την αποθήκευση προσωπικών δεδομένων εκτός αλυσίδας ή με τρόπο που επιτρέπει τη διαγραφή τους, διατηρώντας παράλληλα τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις GDPR [30]. Συνοψίζοντας, ενώ η τεχνολογία blockchain προσφέρει σημαντικά οφέλη στον τομέα της υγείας, είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν οι ανησυχίες που σχετίζονται με ευαίσθητα δεδομένα, την αμεταβλητότητα του blockchain και το δικαίωμα διαγραφής δεδομένων GDPR για να διασφαλιστεί το απόρρητο, η ασφάλεια και η κανονιστική συμμόρφωση. Ένα παράδειγμα για τον τομέα της υγείας είναι το MedRec [31], ένα σύστημα που βασίζεται σε blockchain και έχει σχεδιαστεί για τη βελτίωση της διαχείρισης ηλεκτρονικών αρχείων υγείας. Παρέχει μια αποκεντρωμένη, ασφαλή και εύκολα προσβάσιμη πλατφόρμα για ασθενείς, παρόχους υγειονομικής περίθαλψης και ερευνητές. Το MedRec διευκολύνει την κοινή χρήση ιατρικών δεδομένων, διασφαλίζοντας παράλληλα το απόρρητο και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς προστασίας δεδομένων. Παρέχει

επίσης κίνητρα στους ιατρικούς ερευνητές να συμμετάσχουν στο δίκτυο, προσφέροντας πρόσβαση σε συγκεντρωτικά, ανώνυμα σύνολα δεδομένων.

Εφαρμογές μπορούμε να δούμε και στον τομέα της ενέργειας. Οι τιμές διάθεσης των διαφόρων μορφών ενέργειας (ηλεκτρικό ρεύμα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, μεταξύ άλλων) αποτελούν ένα φλέγον ζήτημα στις μέρες μας. Το υπάρχον σύστημα είναι κατά βάση κεντροποιημένο, οδηγώντας σε ανισότητες μεταξύ των κρατών. Το blockchain μπορεί να λύσει αρκετές από τις υφιστάμενες παθογένειες, βελτιώνοντας τη διαδικασία διανομής της ενέργειας, φανερώνοντας όλες τις ενδιάμεσες συναλλαγές, ενώ μπορεί να επιτρέψει τις συναλλαγές ενέργειας μεταξύ ιδιωτών παραγωγών [32]. Για παράδειγμα, μια μικρομεσαία μονάδα φωτοβολταϊκών μπορεί να συνδεθεί στο blockchain και να πουλήσει το παραγόμενο ρεύμα σε άλλους ιδιώτες ή φορείς. Τα ακριβή στατιστικά της παραγωγής μπορούν να συλλέγονται από IoT συσκευές και να καταχωρούνται στο δίκτυο, οι συναλλαγές του οποίου ρυθμίζονται από smart contracts. Ένα παράδειγμα αποτελεί το Power Ledger [33], μια πλατφόρμα που βασίζεται σε blockchain κι επιτρέπει την ανταλλαγή ενέργειας από peers. Επιτρέπει στους καταναλωτές να αγοράζουν και να πωλούν πλεονάζουσα ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές απευθείας ο ένας στον άλλο, εκδημοκρατίζοντας αποτελεσματικά την αγορά ενέργειας. Η πλατφόρμα του Power Ledger χρησιμοποιεί smart contracts για την αυτοματοποίηση και την ασφάλεια των συναλλαγών, παρέχοντας μια αποτελεσματική και διαφανή λύση για τον ενεργειακό τομέα.

Στον τομέα της κυβέρνησης και της διοίκησης, η υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain μπορεί να οδηγήσει σε πολυάριθμα οφέλη τόσο για τον δημόσιο όσο και για τον ιδιωτικό τομέα [34]. Οι κυβερνήσεις μπορούν να δημιουργήσουν ένα υποστηρικτικό περιβάλλον για οικονομικές δραστηριότητες που βασίζονται σε blockchain εφαρμόζοντας φορολογικά κίνητρα και ευνοϊκούς κανονισμούς. Αυτό, με τη σειρά του, μπορεί να προωθήσει την καινοτομία, να προσελκύσει επενδύσεις και να τονώσει την ανάπτυξη νεοφυών επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο του blockchain. Οι κυβερνήσεις μπορούν να αξιοποιήσουν την τεχνολογία blockchain για να αναπτύξουν ασφαλή και αποτελεσματικά συστήματα διαχείρισης ταυτότητας. Τέτοια συστήματα μπορούν να διευκολύνουν την απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ πολιτών και δημόσιων φορέων, διασφαλίζοντας παράλληλα την αυθεντικότητα και το απόρρητο των προσωπικών πληροφοριών. Επιπλέον, οι λύσεις ταυτότητας που βασίζονται σε blockchain μπορούν να βοηθήσουν στην πρόληψη της κλοπής ταυτότητας και της απάτης, ενισχύοντας τη συνολική ασφάλεια. Ασφαλής αποθήκευση πληροφοριών και ψηφιακών εγγράφων: Η τεχνολογία blockchain μπορεί να επιτρέψει στις κυβερνήσεις να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται ψηφιακά έγγραφα με διαφανή, αδιάβλητο και εύκολα προσβάσιμο τρόπο. Αυτό επιτρέπει αυξημένη αποτελεσματικότητα στην τήρηση αρχείων και μειώνει τον κίνδυνο απώλειας ή χειραγώγησης δεδομένων. Τα συστήματα διαχείρισης εγγράφων που βασίζονται σε blockchain μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα κυβερνητικά τμήματα, συμπεριλαμβανομένων των κτηματολογίων, των γραφείων πνευματικής ιδιοκτησίας και των αρχών αδειοδότησης. Η αποκεντρωμένη φύση και οι μηχανισμοί συναίνεσης του Blockchain μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επικύρωση

διαδικασιών και συναλλαγών στη δημόσια διοίκηση. Με την αυτοματοποίηση αυτών των διαδικασιών μέσω έξυπνων συμβάσεων, οι κυβερνήσεις μπορούν να μειώσουν τη γραφειοκρατία, να ελαχιστοποιήσουν το ανθρώπινο λάθος και να βελτιώσουν τη συνολική αποτελεσματικότητα των δημόσιων υπηρεσιών. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές κυβερνητικές λειτουργίες, όπως η διαχείριση συμβάσεων, τα συστήματα ψηφοφορίας και η διανομή επιδοτήσεων. Η εφαρμογή τεχνολογίας blockchain στην κυβέρνηση και τη διοίκηση μπορεί να αυξήσει τη διαφάνεια και τη λογοδοσία, καθώς όλες οι συναλλαγές και οι ανταλλαγές δεδομένων καταγράφονται με ασφάλεια και ελέγχονται εύκολα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην οικοδόμηση εμπιστοσύνης μεταξύ της κυβέρνησης και των πολιτών της, καθώς και στη μείωση της διαφθοράς και στην προώθηση πρακτικών καλής διακυβέρνησης. Οι λύσεις blockchain μπορούν να διευκολύνουν την απρόσκοπτη και ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών κρατικών υπηρεσιών, επιτρέποντας βελτιωμένη συνεργασία και λήψη αποφάσεων. Με τη σύνδεση διαφορετικών βάσεων δεδομένων και συστημάτων, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης και αποτελεσματικής υποδομής δημόσιας διοίκησης. Συνοπτικά, οι κυβερνήσεις μπορούν να ωφεληθούν σε μεγάλο βαθμό από την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain σε διάφορες πτυχές της δημόσιας διοίκησης. Εφαρμόζοντας φιλικές φορολογικές πολιτικές και κανονισμούς, οι κυβερνήσεις μπορούν να ενθαρρύνουν την ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων που βασίζονται σε blockchain και νεοφυών επιχειρήσεων στον κλάδο. Επιπλέον, η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain για αναγνώριση, επικοινωνία, διαχείριση εγγράφων, επικύρωση διαδικασιών και συνεργασία μεταξύ των υπηρεσιών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα, τη διαφάνεια και την ασφάλεια των κρατικών λειτουργιών. Η Εσθονία έχει εφαρμόσει τεχνολογία blockchain σε διάφορες πτυχές της δημόσιας διοίκησης [35], δημιουργώντας μια ασφαλή και διαφανή υποδομή ηλεκτρονικής διακυβέρνησης. Η χώρα χρησιμοποιεί blockchain για να διασφαλίσει την ακεραιότητα του συστήματος ψηφιακής ταυτότητάς της, του κτηματολογίου, των αρχείων υγείας και πολλά άλλα. Αξιοποιώντας την τεχνολογία blockchain, η Εσθονία έχει βελτιώσει σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των δημόσιων υπηρεσιών της.

Οφέλη μπορούμε να δούμε και στον τομέα της ασφάλισης. Το blockchain προσφέρει διαφάνεια και σταθερότητα των δεδομένων, διευκολύνοντας το έργο των ασφαλιστών. Μέσω της ενισχυμένης ασφάλειας που παρέχει, ο ασφαλισμένος μοιράζεται το ιστορικό ιατρικών ή άλλων συμβάντων, δεδομένα τα οποία αντλούν τα smart contracts για να αυτοματοποιήσουν απαιτούμενες διαδικασίες. Επιπλέον, μέσω των smart contracts μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματικός έλεγχος γνησιότητας των υποβληθέντων δικαιολογητικών, εξακριβώνοντας περιπτώσεις απάτης. Το Etherisc είναι μια αποκεντρωμένη ασφαλιστική πλατφόρμα που βασίζεται στο blockchain Ethereum [36]. Χρησιμοποιεί smart contracts για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών αναδοχής, διεκπεραίωσης αξιώσεων και πληρωμών, μειώνοντας την ανάγκη για μεσάζοντες και μειώνοντας το κόστος τόσο για τους ασφαλιστές όσο και για τους ασφαλισμένους. Το Etherisc προσφέρει διάφορα ασφαλιστικά προϊόντα, συμπεριλαμβανομένης της ασφάλισης καθυστέρησης πτήσης, καλλιέργειας και τυφώνων.

Στον τομέα των τραπεζικών οργανισμών και χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων, η χρήση του blockchain έχει αναδείξει ένα νέο κλάδο financing, το λεγόμενο Decentralised Finance (DeFi). Τα ιδρύματα που κάνουν χρήση του δικτύου blockchain απολαμβάνουν γρηγορότερες διαδικασίες Know Your Customer (KYC), ενώ μπορούν να προλάβουν και να αντιμετωπίσουν ευκολότερα φαινόμενα money laundering. Ακόμη, παρέχουν στους πελάτες τους γρηγορότερες συναλλαγές, καθώς και περισσότερες επιλογές για μεταφορά υπολοίπων και μετατροπή σε άλλα συναλλάγματα. Ένα παράδειγμα αποτελεί το Ripple, ένα δίκτυο πληρωμών που βασίζεται σε blockchain που έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει γρήγορες, ασφαλείς και χαμηλού κόστους διασυννοριακές συναλλαγές για τράπεζες και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Χρησιμοποιεί το εγγενές ψηφιακό στοιχείο του, το XRP, ως νόμισμα γέφυρας για να διευκολύνει τον διακανονισμό συναλλαγών σε πραγματικό χρόνο μεταξύ διαφορετικών νομισμάτων fiat. Το δίκτυο του Ripple έχει υιοθετηθεί από πολλές μεγάλες τράπεζες και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα παγκοσμίως, καθιστώντας το μια από τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές blockchain στον χρηματοοικονομικό τομέα.

Στον τομέα της δημοσιογραφίας, το blockchain μπορεί να διασφαλίσει την ακρίβεια σημαντικών μεταδεδομένων. Ο χρόνος που συνέβη ένα γεγονός, ο χρόνος ανάρτησης, ετικέτες που το αφορούν, μελλοντικές αναδημοσιεύσεις και άλλα δεδομένα αποθηκεύονται στο blockchain. Επιπλέον, μέσω της χρήσης smart contracts σε δημοσιογραφικά ή κυβερνητικά δίκτυα blockchain, ερευνητές δύνανται να αποκτούν πρόσβαση σε αρχεία που διευκολύνουν την έρευνα τους. Κρυπτονομίσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιβράβευση των δημοσιογράφων, ανταποκριτών, ακόμα και των αναγνωστών αφού εκπληρώσουν κάποιους στόχους. Για παράδειγμα, για όσους υποβάλλουν νέο υλικό στο δίκτυο, η αμοιβή μπορεί να εμπλέκει κρυπτονομίσματα, ως μέρος ενός ευέλικτου πακέτου παροχών. Αντίστοιχα, όσοι αναγνώστες κατέχουν εγγεγραμμένο λογαριασμό, μπορούν να εκφέρουν τη γνώμη τους για το περιεχόμενο και τις διαφημίσεις που βλέπουν, κερδίζοντας ένα ποσό κρυπτονομίσματος. Παράδειγμα είναι το Steem [37], μια πλατφόρμα κοινωνικής δικτύωσης και κοινής χρήσης περιεχομένου που βασίζεται σε blockchain που ανταμείβει τους δημιουργούς και τους επιμελητές περιεχομένου με το εγγενές κρυπτονόμισμα, τα Steem tokens. Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να ενθαρρύνει και να υποστηρίζει ποιοτικό περιεχόμενο και δημοσιογραφία, επιτρέποντας στους χρήστες να υπερψηφίζουν άρθρα και αναρτήσεις που θεωρούν πολύτιμες. Όσο περισσότερες θετικές ψήφους λαμβάνει ένα κομμάτι περιεχομένου, τόσο περισσότερες ανταμοιβές κρυπτονομισμάτων δίνονται στον δημιουργό περιεχομένου. Αυτό δίνει κίνητρα για την παραγωγή υψηλής ποιότητας δημοσιογραφίας και βοηθά στη δημιουργία ενός αποκεντρωμένου οικοσυστήματος με γνώμονα την κοινότητα για την ανταλλαγή ειδήσεων και πληροφοριών.

Κάθε κλάδος αντιμετωπίζει μοναδικές προκλήσεις και εμπόδια όταν πρόκειται για την ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain. Ακολουθούν μερικά από τα πιθανά εμπόδια στους τομείς της υγειονομικής περίθαλψης, της ενέργειας, της κυβέρνησης και της διοίκησης, των ασφαλίσεων, των οικονομικών και της δημοσιογραφίας:

### **Υγειονομική περίθαλψη:**

- Απόρρητο και ασφάλεια δεδομένων: Η διασφάλιση της εμπιστευτικότητας των ευαίσθητων δεδομένων ασθενών είναι ζωτικής σημασίας. Η συμμόρφωση με τους κανονισμούς προστασίας δεδομένων, όπως το GDPR, προσθέτει πολυπλοκότητα στην εφαρμογή λύσεων blockchain.
- Διαλειτουργικότητα: Η ενσωμάτωση του blockchain με τα υπάρχοντα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και η επίτευξη απρόσκοπτης ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών μπορεί να είναι προκλητική.
- Αντίσταση στην υιοθεσία τεχνολογιών: Ο τομέας της υγειονομικής περίθαλψης συχνά καθυστερεί να αγκαλιάσει τις νέες τεχνολογίες, γεγονός που καθιστά δύσκολο να πειστούν οι ενδιαφερόμενοι να υιοθετήσουν λύσεις blockchain.

### **Ενέργεια:**

- Ρυθμιστικά εμπόδια: Ο ενεργειακός τομέας υπόκειται σε αυστηρές ρυθμίσεις, γεγονός που μπορεί να επιβραδύνει την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain και να περιπλέξει την εφαρμογή της.
- Επεκτασιμότητα: Οι αγορές ενέργειας απαιτούν υψηλή απόδοση συναλλαγών και ορισμένα δίκτυα blockchain ενδέχεται να δυσκολεύονται να ανταποκριθούν σε αυτές τις απαιτήσεις.
- Επενδύσεις σε υποδομή: Η ανάπτυξη και η διατήρηση ενός ενεργειακού συστήματος που βασίζεται σε blockchain μπορεί να απαιτήσει σημαντικές επενδύσεις σε υποδομές και τεχνολογία.

### **Κυβέρνηση και διοίκηση:**

- Νομικές και ρυθμιστικές προκλήσεις: Οι κυβερνήσεις πρέπει να θεσπίσουν ένα σαφές νομικό πλαίσιο και ρυθμιστικές κατευθυντήριες γραμμές για να υποστηρίξουν την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain.
- Ανησυχίες για το απόρρητο των δεδομένων: Η διασφάλιση της προστασίας των προσωπικών δεδομένων των πολιτών με παράλληλη διατήρηση της διαφάνειας είναι ζωτικής σημασίας.
- Αντίσταση στην αλλαγή: Οι κυβερνητικές γραφειοκρατίες μπορεί να καθυστερήσουν να υιοθετήσουν νέες τεχνολογίες και διαδικασίες, εμποδίζοντας την ενοποίηση του blockchain.

### **Ασφάλιση:**

- Πολύπλοκα παλαιού τύπου συστήματα: Η ενσωμάτωση λύσεων blockchain με υπάρχοντα, συχνά απαρχαιωμένα, ασφαλιστικά συστήματα μπορεί να είναι μια δαπανηρή πρόκληση.
- Τυποποίηση: Η έλλειψη τυποποιημένων διαδικασιών και μορφών δεδομένων στον ασφαλιστικό κλάδο μπορεί να εμποδίσει την απρόσκοπτη εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain.



- Κανονιστική συμμόρφωση: Η διασφάλιση ότι οι λύσεις blockchain συμμορφώνονται με τους ειδικούς κανονισμούς του κλάδου είναι απαραίτητη, αλλά μπορεί να είναι περίπλοκη.

### **Χρηματοοικονομικά:**

- Ρυθμιστική αβεβαιότητα: Τα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα πρέπει να περιηγηθούν σε ένα περίπλοκο και εξελισσόμενο ρυθμιστικό τοπίο κατά την εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain.
- Επεκτασιμότητα και απόδοση: Τα δίκτυα blockchain πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζονται υψηλούς όγκους συναλλαγών και να προσφέρουν γρήγορους χρόνους επεξεργασίας για να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις του χρηματοπιστωτικού τομέα.
- Ασφάλεια: Η διασφάλιση της ασφάλειας των οικονομικών συναλλαγών και των δεδομένων στο blockchain είναι ζωτικής σημασίας για την αποτροπή απάτης και κυβερνοεπιθέσεων.

### **Δημοσιογραφία:**

- Υιοθέτηση και συνεργασία: Η επιτυχία των δημοσιογραφικών πλατφορμών που βασίζονται σε blockchain εξαρτάται από την ευρεία υιοθέτηση και τη συνεργασία μεταξύ διαφορετικών μέσων ενημέρωσης, κάτι που μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί.
- Δημιουργία εσόδων και κίνητρα: Η ανάπτυξη βιώσιμων μοντέλων δημιουργίας εσόδων και κινήτρων για δημοσιογράφους και δημιουργούς περιεχομένου είναι ζωτικής σημασίας για τη μακροπρόθεσμη επιτυχία των πλατφορμών που βασίζονται σε blockchain.
- Λογοκρισία και εποπτεία περιεχομένου: Η επίτευξη της σωστής ισορροπίας μεταξύ της ελευθερίας της έκφρασης και της υπεύθυνης εποπτείας περιεχομένου μπορεί να είναι δύσκολη σε αποκεντρωμένες πλατφόρμες.

Συμπερασματικά, ενώ η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain σε διάφορους τομείς έχει σημαντικές δυνατότητες, η αντιμετώπιση των μοναδικών προκλήσεων και εμποδίων που αντιμετωπίζει κάθε κλάδος είναι απαραίτητη για την επιτυχή εφαρμογή και υιοθέτηση.

## **2.2 Κύκλος ζωής προϊόντος**

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από τους εμπλεκόμενους φορείς στην διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς προϊόντων. Μέρος αυτής της αλυσίδας αποτελούν οι παραγωγοί των πρώτων υλών, οι κατασκευαστές των προϊόντων, οι μεταφορικές εταιρίες και οι μεταπωλητές. Ανάλογα τον τομέα προϊόντων, μπορούν να θεωρηθούν μέρος της αλυσίδας και τα κέντρα διανομής, οι επενδυτές, οργανισμοί αξιολόγησης ποιότητας, καθώς και ελεγκτικοί ή κυβερνητικοί φορείς. Η διαδικασία η οποία ενεργοποιείται όταν ο πελάτης παραγγείλει ένα προϊόν, πυροδοτεί μια σειρά ενεργειών

προκειμένου ο κατασκευαστής/επιχείρηση να ανταποκριθεί άμεσα στις απαιτήσεις του πελάτη. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό κάθε εμπλεκόμενος φορέας στην εφοδιαστική αλυσίδα να λειτουργεί ταχύτατα, με ακρίβεια και αποδοτικά. Για να το πετύχουν αυτό οι επιχειρήσεις, ώστε να κερδίσουν την εμπιστοσύνη των πελατών και να μεγιστοποιήσουν την κερδοφορία τους, ακολουθούν ένα μοντέλο εφοδιαστικής αλυσίδας που ταιριάζει στις ανάγκες τους και χρησιμοποιούν πολύπλοκα συστήματα διαχείρισής της.

Τα μοντέλα εφοδιαστικής αλυσίδας [38] που μια επιχείρηση έχει τη δυνατότητα να υιοθετήσει μπορούν να ομαδοποιηθούν στις εξής κατηγορίες:

- Μοντέλο συνεχούς ροής: Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για κλάδους με σταθερή ζήτηση. Όταν δηλαδή η επιχείρηση αναμένει συνεχώς μια σχεδόν σταθερή ζήτηση, για συγκεκριμένα σταθερά προϊόντα.
- Γρήγορο μοντέλο: Ίδανικό για επιχειρήσεις οι οποίες θέλουν να πουλήσουν προϊόντα που είναι περιζήτητα για ένα σύντομο χρονικό διάστημα, επιθυμώντας να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους για τον μικρό χρόνο ζωής των προϊόντων αυτών.
- Ευέλικτο μοντέλο: Το μοντέλο αυτό είναι ιδανικό για εταιρίες που βλέπουν εποχικότητα στη ζήτηση. Επιζητούν μια έντονη διαδικασία την περίοδο που η ζήτηση των προϊόντων τους βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, ρίχνοντας τον ρυθμό την περίοδο που η ζήτηση είναι χαμηλότερη.
- Ευκίνητο μοντέλο: Ίδανικό για εταιρίες που έχουν απρόβλεπτη ζήτηση ή προϊόντα και ενδέχεται να προβαίνουν σε αλλαγές συνεχώς για να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες.
- Αποδοτικό μοντέλο: Το μοντέλο αυτό βοηθάει επιχειρήσεις που έχουν σκληρό ανταγωνισμό σε κλάδους με μικρά περιθώρια κερδών, προκειμένου να διαχειρίζονται την εφοδιαστική τους αλυσίδα με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο.

Αντιλαμβανόμαστε ότι η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι σημαντική και πρέπει να προσαρμόζεται στους στόχους της κάθε επιχείρησης. Από την ποιότητα των πρώτων υλών, την ταχύτητα και ακρίβεια παραγωγής των προϊόντων, την άμεση μεταφορά στους καταναλωτές, στη μείωση των ακυρώσεων παραγγελιών και επιστροφών προϊόντων, τα οφέλη είναι πολλαπλά και μεταφράζονται σε μεγαλύτερο κέρδος για την επιχείρηση [39].

### **Enterprise Resource Planning (ERP) Systems**

Τα συστήματα Enterprise Resource Planning (ERP) αφορούν λογισμικό το οποίο οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν για τη λογιστική, την διαχείριση έργων και αποστολών, τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, τη διαχείριση ρίσκου καθώς και για πρόβλεψη οικονομικών δεικτών και απόδοσης.

Ιστορικά, τα συστήματα ERP αναπτύχθηκαν τη δεκαετία του 1990 [40], ως συνδυασμός των ήδη εδραιωμένων συστημάτων Material Requirements Planning και Manufacturing Resource Planning σε συνδυασμό με συστήματα Computer-Integrated Manufacturing. Τα ERP, βασιζόμενα στις δυνατότητες των προαναφερθέντων συστημάτων, σταδιακά αποκτούν λειτουργίες σχετικές με λογιστική και διοίκηση, ενώ δύνανται να

χρησιμοποιηθούν για την διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την διαχείριση της σχέσης με τον καταναλωτή και περιέχουν εργαλεία επιχειρηματικής ευφυΐας.

Η πιο συνηθισμένη τακτική για τις εταιρίες ήταν να εγκαθιστούν το λογισμικό ERP σε υπολογιστικά συστήματα που κατείχαν οι ίδιες. Κάτι τέτοιο προϋπόθετε έξοδα για απόκτηση των απαραίτητων υπολογιστικών συστημάτων, των αδειών για χρήση του ERP λογισμικού, ενώ καθιστούσε δύσκολη την παραμετροποίηση του, αφού απαιτούσε την εκπαίδευση προσωπικού στην χρήση των συστημάτων. Παράλληλα, με την εποχή του internet να φτάνει και στα ERP, διάφορες απαιτήσεις όπως συνεχείς ενημερώσεις και αντιμετώπιση παθογενειών ασφάλειας έκαναν δυσκολότερη την συντήρηση τέτοιων συστημάτων από τις ίδιες τις επιχειρήσεις.

Τα τελευταία χρόνια, αναπτύχθηκαν λύσεις ERP στο υπολογιστικό νέφος, με εταιρίες κολοσσούς να αναλαμβάνουν την εγκατάσταση, παραμετροποίηση, συντήρηση, παρακολούθηση και ασφάλιση των συστημάτων ERP. Η μετάβαση σε λύσεις υπολογιστικού νέφους παρέχει ποικίλα οφέλη, όπως πρόσβαση στις πιο πρόσφατες τεχνολογίες, απεξάρτηση από πολλαπλά πολύπλοκα συστήματα, άμεση αντιμετώπιση απειλών ασφαλείας, παροχή προτάσεων και επιχειρηματικής ευφυΐας, ενσωμάτωση υποστήριξης των νεότερων τεχνολογικών συσκευών όπως έξυπνα τηλέφωνα και αισθητήρες internet of things. Ορισμένες αξιοσημείωτες λύσεις ERP κλειστού κώδικα που παρέχονται από γιγαντιαίες εταιρείες περιλαμβάνουν:

Το SAP S/4HANA Cloud: Η SAP, μια κορυφαία εταιρεία λογισμικού, προσφέρει το SAP S/4HANA Cloud [41], μια λύση ERP που βασίζεται σε cloud, η οποία παρέχει δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων και ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η λύση βοηθά τους οργανισμούς να εξομαλύνουν τις επιχειρηματικές τους διαδικασίες, να ενισχύσουν τη λήψη αποφάσεων και να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς.

Oracle Cloud ERP: Η Oracle, ένας άλλος σημαντικός παίκτης στην αγορά ERP, προσφέρει το Oracle Cloud ERP [42], μια ολοκληρωμένη σειρά εφαρμογών που βασίζονται σε cloud και καλύπτουν χρηματοοικονομικά, προμηθευτές, διαχείριση projects και άλλες κρίσιμες επιχειρηματικές λειτουργίες. Η λύση έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να αυτοματοποιήσουν τις διαδικασίες, να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα και να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις στις δραστηριότητές τους.

Microsoft Dynamics 365: Το Microsoft Dynamics 365 είναι μια σουίτα επιχειρηματικών εφαρμογών που βασίζονται σε cloud, η οποία περιλαμβάνει δυνατότητες διαχείρισης σχέσεων ERP και πελατών (CRM) [43]. Η λύση επιτρέπει στις επιχειρήσεις να διαχειρίζονται τα οικονομικά τους, τις λειτουργίες, τις πωλήσεις και την εξυπηρέτηση πελατών σε μια ενοποιημένη πλατφόρμα, παρέχοντας μια ολιστική άποψη της οργάνωσής τους.

Infor Cloudsuite: Η Infor, μια παγκόσμια εταιρεία λογισμικού, προσφέρει το Infor Cloudsuite [44], ένα σύνολο λύσεων ERP που βασίζονται σε συγκεκριμένους κλάδους που έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσουν τις μοναδικές προκλήσεις και απαιτήσεις διαφόρων τομέων, όπως η κατασκευή, η υγειονομική περίθαλψη, το λιανικό εμπόριο και

πολλά άλλα. Αυτές οι λύσεις στοχεύουν να βοηθήσουν τους οργανισμούς να βελτιστοποιήσουν τις δραστηριότητές τους, να μειώσουν το κόστος και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση.

**Epicor ERP:** Η Epicor Software Corporation προσφέρει το Epicor ERP [45], μια λύση που βασίζεται σε cloud σχεδιασμένη για βιομηχανίες κατασκευής, διανομής, λιανικής και υπηρεσιών. Η πλατφόρμα βασίζεται στις σύγχρονες τεχνολογίες και επικεντρώνεται στην παροχή διαχείρισης, αναλύσεων επιχειρηματικών διαδικασιών από άκρο σε άκρο, αναλύσεις και εξειδικευμένες στη βιομηχανία. Το EPICOR ERP στοχεύει να βοηθήσει τους οργανισμούς να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα, να βελτιώσουν τη συνεργασία και να φέρουν ανάπτυξη.

**Sage Business Cloud X3:** Η Sage Group, μια πολυεθνική εταιρεία λογισμικού επιχειρήσεων, προσφέρει το Sage Business Cloud X3 (πρώην γνωστό ως SAGE X3) [46], μια λύση ERP που βασίζεται σε cloud που εξυπηρετεί τις ανάγκες των μεσαίων επιχειρήσεων. Το SAGE X3 παρέχει μια ολοκληρωμένη σουίτα, συμπεριλαμβανομένης της χρηματοδότησης, της διανομής, της κατασκευής και της διαχείρισης σχέσεων με τους πελάτες (CRM). Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να βοηθήσει τις εταιρείες να εξορθολογίσουν τις λειτουργίες, να μειώσουν την πολυπλοκότητα και να αποκτήσουν γνώσεις σε πραγματικό χρόνο για τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων.

Αυτές οι λύσεις ERP κλειστού κώδικα από γιγαντιαίες εταιρείες επιτρέπουν στις επιχειρήσεις να αξιοποιήσουν τη δύναμη του cloud computing και να έχουν πρόσβαση σε προηγμένα χαρακτηριστικά και δυνατότητες, βοηθώντας τους να παραμείνουν ανταγωνιστικοί και να ανταποκρίνονται στο ταχέως εξελισσόμενο επιχειρηματικό τοπίο.

Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων ERP έγκεινται στο γεγονός ότι συνδυάζουν πολλαπλές λειτουργίες για θεμελιώδεις λειτουργίες της επιχείρησης, γλυτώνοντας χρόνο αφού αυτοματοποιούνται διαδικασίες και κόστη μιας και ελαχιστοποιούνται τα λάθη. Η συλλογή των δεδομένων σε ένα κεντρικό σύστημα αφαιρεί την ανάγκη για συγχρονισμό μεταβολών μεταξύ των συστημάτων των διαφόρων τμημάτων της επιχείρησης, προστατεύοντας κεντρικά σε ένα σημείο τα δεδομένα. Παράλληλα, η ακρίβεια και διαφάνεια των δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα για ποιοτικότερες προβλέψεις, διευκολύνει την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθιστά δυνατή την παρακολούθηση της πορείας των παραγγελιών και διευκολύνει την βελτιστοποίηση διαδικασιών όπως οι παραγγελίες, η αποθήκευση και οι μεταφορές [47].

Από την άλλη πλευρά, τα συστήματα ERP παρουσιάζουν και ορισμένα μειονεκτήματα. Ένα από αυτά, είναι η δυσκολία για παραμετροποίηση στις ανάγκες της εκάστοτε επιχείρησης, ειδικότερα όταν πρόκειται για μια τοπική λύση κι όχι λύση υπολογιστικού νέφους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να χρειάζεται να τροποποιούνται οι εσωτερικές διαδικασίες της επιχείρησης ώστε να προσαρμοστούν στο ERP, κάτι που ενδεχομένως μειώνει την απόδοση και ανταγωνιστικότητα κάποιων τμημάτων της. Επιπρόσθετα, οι τοπικές λύσεις ERP απαιτούν εκτενή εκπαίδευση του προσωπικού, ενώ η συντήρηση και αναβάθμιση τέτοιων λύσεων είναι μια κοστοβόρα και όχι συχνή διαδικασία, κάτι που

εγείρει ερωτήματα για την ασφάλεια των συστημάτων. Επιπλέον, καθώς τα συστήματα ERP περιέχουν μια πληθώρα λειτουργιών για τα περισσότερα τμήματα μιας εταιρίας, ο εναρμονισμός τους αποτελεί μια επίπονη διαδικασία, με τις μεγάλες εταιρίες να ξοδεύουν μεγάλα ποσά και χρόνο για την επίτευξή του. Ένα ακόμη σημαντικό μειονέκτημα, που σχετίζεται με την εφοδιαστική αλυσίδα, είναι ότι ένα σύστημα ERP ενώ παρέχει πληθώρα πληροφοριών στην εταιρία που το διαχειρίζεται, δεν δίνει την ίδια δυνατότητα και στους υπόλοιπους εμπλεκόμενους φορείς της αλυσίδας, οι οποίοι μπορεί να αμφισβητήσουν τη γνησιότητα και την ακρίβεια διαφόρων δεδομένων [48]. Στο κεφάλαιο 3 της διπλωματικής εργασίας θα εξετάσουμε πως το blockchain μπορεί να δράσει επικουρικά στα ERP συστήματα και να λύσει διάφορα ζητήματα γύρω από τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### **Open-Source ERP Systems**

Στη συνέχεια θα αναφερθούν ορισμένα ERP συστήματα ανοιχτού κώδικα. Τα συστήματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες επιχειρηματικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα από αυτά, το Apache Ofbiz, δοκιμάστηκε εκτενώς κατά τη διάρκεια ενασχόλησης με τη διπλωματική εργασία.

- 1) Το ADempiere [49] είναι ένα ERP σύστημα ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε το 2006 ως παρακλάδι του ERP συστήματος Compiere. Το σύστημα παρέχει λύσεις για τους εξής τομείς της επιχειρηματικής δραστηριότητας: Enterprise Resource Planning (ERP), Supply Chain Management (SCM), Customer Relationship Management (CRM), Financial Performance Analysis, Integrated Point of sale (POS) solution, Cost Engine για διαφορετικούς τύπους κόστους, δύο διαφορετικούς τύπους παραγωγής (απλή και σύνθετη) που περιέχουν Order batch και Material Requirements Planning (ή Manufacturing Resource Planning).
- 2) Το Dolibarr [50] είναι μια σουίτα εργαλείων ERP ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε το 2003. Προορίζεται για μικρομεσαίες ή μεγάλες επιχειρήσεις και καλύπτει λειτουργίες Customer Relationship Management, Sales, Human Resources, Logistics, Stock, Invoicing, Accounting, Manufacturing, Marketing, Foundation Management, Surveys. Το αποθετήριο ανοιχτού κώδικα βρίσκεται στο GitHub [51].
- 3) Το ERPNext [52] είναι ένα ERP σύστημα ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε το 2008 από τη Frappe Technologies. Το σύστημα καλύπτει λειτουργίες Accounting, Asset management, Customer relationship management (CRM), Human resource management (HRM), Payroll, Project management, Purchasing, Sales management, Warehouse management system. Το αποθετήριο ανοιχτού κώδικα βρίσκεται στο GitHub [53].
- 4) Το metasfresh [54] είναι ένα λογισμικό ERP ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε το 2015 ως παρακλάδι του ADempiere. Το σύστημα καλύπτει λειτουργίες Enterprise Resource Planning, Contract management, CRM, Supply chain

management, Distribution resource planning, Document automation, Manufacturing resource planning, Accounts payable, Accounts receivable, General ledger, Sales, Purchase, Inventory, Bank account management, Payments management, Shipping management, Multi-Tenants, Multi-Organizations, Multi-Language, Multi-Currency, Multi-Account Schema. Το αποθετήριο ανοικτού κώδικα βρίσκεται στο GitHub [55].

- 5) Το Odoo [56] είναι μια σουίτα εργαλείων λογισμικού διαχείρισης επιχείρησης. Το 2005 ιδρύθηκε ως TinyERP, έως ότου μετονομαστεί σε OpenERP το 2008. Το 2014 μετονομάστηκε σε Odoo κι έκτοτε η ανάπτυξη του είναι συνεχής, με το σύνολο των παρεχόμενων λογισμικών εργαλείων να εδραιώνεται στον κλάδο των επιχειρήσεων. Το αποθετήριο ανοικτού κώδικα βρίσκεται στο GitHub [57].
- 6) Το Tryton [58] είναι ένα ERP σύστημα βασισμένο σε μια αρχιτεκτονική τριών επιπέδων που αποτελείται από το Tryton client, το Tryton server και το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων. Δημιουργήθηκε το 2008 ως παρακλάδι της έκδοσης 4.2 του τότε TinyERP. Το σύνολο του λογισμικού καλύπτει λειτουργίες Accounting, Invoicing, Sale Management, Purchase Management, Analytic Accounting, Inventory management, Manufacturing Resource Planning, Project management, Lead and Opportunity Management. Το αποθετήριο ανοικτού κώδικα βρίσκεται στην ιστοσελίδα του Tryton [59].
- 7) Το Apache OFBiz [60] είναι ένα ERP σύστημα ανοικτού κώδικα από το Apache Software Foundation. Δημιουργήθηκε το 2001 κι έκτοτε η ανάπτυξη του είναι συνεχής, με το υπάρχον framework να βρίσκεται στο GitHub [61]. Παρέχει μια πληθώρα δυνατοτήτων γύρω από το μοντέλο κοινών δεδομένων και τις επιχειρηματικές διαδικασίες, όπως Accounting (agreements, invoicing, vendor management, general ledger), Asset maintenance, Catalogue and product management, Facility and warehouse management system (WMS), Manufacturing execution / manufacturing operations management (MES/MOM), Order processing, Inventory management, automated stock replenishment etc., Content management system (CMS), Human resources (HR), People and group management, Project management, Sales force automation, Work effort management, Electronic Point Of Sale (ePOS), Electronic commerce (eCommerce), Scrum (development) (Scrum software development support).  
Η λειτουργία του μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στα ακόλουθα τρία επίπεδα:
  - 1) Το επίπεδο παρουσίασης
  - 2) Το επίπεδο εφαρμογών
  - 3) Το επίπεδο δεδομένων

Παρακάτω παραθέτουμε ορισμένα στιγμιότυπα από τη χρήση του λογισμικού Apache Ofbiz για τη διαχείριση των διαφόρων λειτουργιών μιας επιχείρησης.

Date	Order Nbr	Order Name	Order Type	Bill From Party	Bill To Party	Product Store	Amount	Tracking Code	Status
8/17/09 11:23:49 AM	<b>DEMO1002</b>	Demo Sales Order	Sales Order	Your Company Name Here	Demo Customer	OFBiz E-Commerce Store	\$127.09		Completed
8/13/09 2:45:50 PM	<b>DEMO1001</b>	Demo Purchase Order	Purchase Order	Demo Supplier	Your Company Name Here		\$48.00		Completed
6/10/08 10:27:07 AM	<b>DEMO10091</b>	New Purchase Order	Purchase Order	Demo Supplier	Your Company Name Here	OFBiz E-Commerce Store	\$108.00		Created
4/23/08 1:49:27 PM	<b>DEMO10090</b>		Sales Order	Your Company Name Here	Demo Customer	OFBiz E-Commerce Store	\$50.85		Approved

Εικόνα 2 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Orders

Product	Status	Quantity	Unit / List	Adjustments	Sub Total																																				
GZ-2644 - GZ-2644-0 Round Gizmo	Completed	2			\$48.00																																				
<table border="1"> <tr> <td>Ordered</td> <td>2</td> <td>Ship Request</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cancelled</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Remaining</td> <td>0</td> <td>Received quantity</td> <td>2</td> <td>\$24.00 / \$0.00</td> <td>\$0.00</td> </tr> <tr> <td>Shortfilled</td> <td>0</td> <td>Outstanding</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Invoiced</td> <td>2</td> <td>Returned</td> <td>0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Ordered	2	Ship Request	0			Cancelled	0					Remaining	0	Received quantity	2	\$24.00 / \$0.00	\$0.00	Shortfilled	0	Outstanding	0			Invoiced	2	Returned	0								
Ordered	2	Ship Request	0																																						
Cancelled	0																																								
Remaining	0	Received quantity	2	\$24.00 / \$0.00	\$0.00																																				
Shortfilled	0	Outstanding	0																																						
Invoiced	2	Returned	0																																						
<table border="1"> <tr> <td>Price Rule Name [ID]</td> <td>[1] SupplierProduct [minimumOrderQuantity:0.000000, lastPrice: 24.0000]</td> <td></td> <td></td> <td>\$0.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Estimated Delivery Date</td> <td>8/13/09</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ship Group</td> <td>[00001] 2003 Open Blvd</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Issued to Shipment Item</td> <td>9997 : 00001</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Shipment Received</td> <td>9997 : 8/13/09 2:47:31 PM Inventory</td> <td>9025</td> <td>2 / 0</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Price Rule Name [ID]	[1] SupplierProduct [minimumOrderQuantity:0.000000, lastPrice: 24.0000]			\$0.00		Estimated Delivery Date	8/13/09					Ship Group	[00001] 2003 Open Blvd	2				Issued to Shipment Item	9997 : 00001	2						2				Shipment Received	9997 : 8/13/09 2:47:31 PM Inventory	9025	2 / 0		
Price Rule Name [ID]	[1] SupplierProduct [minimumOrderQuantity:0.000000, lastPrice: 24.0000]			\$0.00																																					
Estimated Delivery Date	8/13/09																																								
Ship Group	[00001] 2003 Open Blvd	2																																							
Issued to Shipment Item	9997 : 00001	2																																							
		2																																							
Shipment Received	9997 : 8/13/09 2:47:31 PM Inventory	9025	2 / 0																																						
Items SubTotal					\$48.00																																				
Total Other Order Adjustments					\$0.00																																				
Total Shipping and Handling					\$0.00																																				
Total Sales Tax					\$0.00																																				
Total Due					\$48.00																																				

Εικόνα 3 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λεπτομέρειες Order

Inventory Item ID	InventoryItem Type ID	Status ID	Date Time Received	Expire Date	Product ID	Internal Name	Party ID	Location Seq ID	Type	Lot ID	Bin Number	Serial Number	Soft Identifier	Quantity On Hand Total	Transfer
9003	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-8544	Big Gizmo		TL:TL-TL:LL-02 [TL:TL:LL02]	Pick/Primary					3 / 3	Transfer
9025	Non-Serialized		2009-08-13 14:47:31.095		GZ-2644	Round Gizmo		TL:TL-TL:LL-01 [TL:TL:LL01]	Pick/Primary					4 / 4	Transfer
9005	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-1111	Micro Chrome Widget		TL:TL-TL:LL-03 [TL:TL:LL03]	Pick/Primary					5 / 5	Transfer
9001	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-2644	Round Gizmo		TL:TL-TL:LL-01 [TL:TL:LL01]	Pick/Primary					5 / 5	Transfer
9028	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1004	Rainbow Gizmo								8 / 8	Transfer
9027	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1001	Nan Gizmo								8 / 8	Transfer
9026	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1000	Tiny Gizmo								8 / 8	Transfer
9031	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1006-5	Open Gizmo (ASL)								8 / 8	Transfer
9024	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1006-4	Open Gizmo (MIT)								8 / 8	Transfer
9023	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1006-3	Open Gizmo (B50)								8 / 8	Transfer
9022	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1006-2	Open Gizmo (GPL)								8 / 8	Transfer
9021	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-1006-1	Open Gizmo (LGPL)								8 / 8	Transfer
InventoryRentalShip	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		RentalShip	Rental Shipping								10 / 10	Transfer
9013	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-9943-54	Giant Widget 54								10 / 10	Transfer
9012	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-9943-53	Giant Widget 53								10 / 10	Transfer
9011	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-9943-84	Giant Widget 84								10 / 10	Transfer
9010	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-9943-83	Giant Widget 83								10 / 10	Transfer
9006	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		WG-5569	Tiny Chrome Widget		TL:TL-TL:UL-04 [TL:TL:UL04]	Bulk					10 / 10	Transfer
9002	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		GZ-8544	Big Gizmo		TL:TL-TL:UL-02 [TL:TL:UL02]	Bulk					15 / 15	Transfer
9030	Non-Serialized		2008-08-01 05:00:00.000		MAT_B_COST	Demo Material B for Costing		TL:TL-TL:UL-01 [TL:TL:UL01]	Bulk					20 / 20	Transfer

Εικόνα 4 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Inventory Items

Shipment ID	Shipment Type	Status	Origin Facility	Destination Facility	Estimated Ship Date	Entry Date
9998	Outgoing - Sales Shipment	Input	Web Store Warehouse			
9996	Outgoing - Sales Shipment	Shipped	Web Store Warehouse			

Εικόνα 5 Στιγμιότυπο χρήσης Apache OFBiz - Λίστα Outgoing Shipments

## 2.3 Ο ρόλος του GDPR και άλλων νομικών υποχρεώσεων σε συστήματα κύκλου ζωής προϊόντος με blockchain

Ο GDPR είναι ένας κανονισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης που τέθηκε σε εφαρμογή στις 25 Μαΐου 2018 και επιδιώκει να προστατεύσει τα προσωπικά δεδομένα των πολιτών στις ψηφιακές πλατφόρμες, δίνοντας τους περισσότερο έλεγχο πάνω σε αυτά [62]. Σε θεωρητικό πεδίο, τόσο το GDPR όσο και το blockchain αποσκοπούν στην προστασία των ατομικών δικαιωμάτων που αφορούν τα δεδομένα. Επιπλέον εστιάζουν και τα δύο στην ασφάλεια και τη διαφάνεια των δεδομένων. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διαφορές στον τρόπο εφαρμογής τους. Για παράδειγμα, το βασικό συστατικό του GDPR είναι το δικαίωμα που δίνει στον πολίτη να αφαιρέσει, προσθέσει ή επεξεργαστεί πληροφορία



που σχετίζεται με τον ίδιο, διατηρώντας το δικαίωμα της παντελούς διαγραφής του ψηφιακού αποτυπώματος. Αντιθέτως, σε ένα σύστημα Blockchain τα δεδομένα που προστίθενται παραμένουν αμετάβλητα και δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας τους. Επιπρόσθετα, το GDPR προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιας ονομαστικής ταυτότητας του πολίτη στο σύστημα, ενώ το blockchain είναι ανώνυμο. Εδώ δημιουργείται το εξής ερώτημα, θα βάλει το GDPR φρένο στην εδραίωση του blockchain λόγω των διαφορών τους; Είναι ένα ζήτημα που απασχολεί αρκετούς ειδικούς τόσο στο νομικό όσο και στον τεχνολογικό χώρο, ωστόσο φαίνεται να υπάρχουν δυνατότητες προσαρμογής του blockchain στον GDPR. Ένας τρόπος να “διαγραφούν” δεδομένα στο blockchain, είναι στην περίπτωση που τα δεδομένα που αποθηκεύονται είναι κρυπτογραφημένα, να διαγραφεί το κλειδί κρυπτογράφησης, καθιστώντας τα μη προσβάσιμα. Φυσικά, αυτή η τακτική ελλοχεύει τον κίνδυνο μελλοντικής αποκρυπτογράφησης από έναν ισχυρό αλγόριθμο. Άλλος ένας τρόπος είναι η μεταφορά του blockchain σε μια νεότερη έκδοση, με την τακτική αυτή να είναι γνωστή ως forking. Η αλλαγή δεδομένων επιφέρει διαφορετική δεικτοδότηση μεταξύ των blocks. Μια τέτοια τακτική είναι προτιμότερη σε μικρά και ιδιωτικά δίκτυα blockchain. Μέχρι να αναπτυχθούν λύσεις που να συνδυάζουν το blockchain με τις απαιτήσεις του GDPR, η αποθήκευση κρίσιμων προσωπικών δεδομένων προτιμάται να συμβαίνει off-chain, ενώ τα on-chain δεδομένα να αποθηκεύονται κρυπτογραφημένα, με τη διαγραφή τους να προκύπτει από τη διαγραφή του κρυπτογραφικού κλειδιού. Μια πιθανή λύση σε αυτό το παράδοξο είναι η χρήση ιδιωτικών blockchains, τα οποία ελέγχονται από περιορισμένο αριθμό συμμετεχόντων που μπορούν να συμφωνήσουν σε ορισμένους κανόνες και πρωτόκολλα. Για παράδειγμα, μπορούν να συμφωνήσουν να διαγράψουν ή να τροποποιήσουν ορισμένα δεδομένα από το ledger εάν παραβαίνουν τις απαιτήσεις του GDPR. Μια άλλη πιθανή λύση είναι να αποφευχθεί η απευθείας αποθήκευση προσωπικών δεδομένων στο blockchain, αλλά αντίθετα να χρησιμοποιηθούν τεχνικές κρυπτογράφησης ή μέθοδοι αποθήκευσης εκτός αλυσίδας [63]. Φυσικά, αυτές οι λύσεις δεν είναι τέλειες και μπορεί να έχουν κάποια μειονεκτήματα ή περιορισμούς. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό για όποιον θέλει να χρησιμοποιήσει το blockchain ως μέρος των εργασιών επεξεργασίας προσωπικών του δεδομένων να αξιολογήσει προσεκτικά τους κινδύνους και τα οφέλη και να συμβουλευτεί νομικούς εμπειρογνώμονες εάν χρειάζεται.

Τα συστήματα Enterprise Resource Planning (ERP) αποθηκεύουν και επεξεργάζονται ένα ευρύ φάσμα δεδομένων που σχετίζονται με τις λειτουργίες ενός οργανισμού, συμπεριλαμβανομένων των προσωπικών δεδομένων διαφόρων ενδιαφερόμενων μερών. Μερικά παραδείγματα προσωπικών δεδομένων που μπορούν να βρεθούν σε ένα σύστημα ERP περιλαμβάνουν:

- **Πληροφορίες εργαζομένων:** Τα συστήματα ERP συχνά περιέχουν δεδομένα εργαζομένων όπως ονόματα, διευθύνσεις, αριθμούς τηλεφώνου, διευθύνσεις email, αριθμούς κοινωνικής ασφάλισης, αριθμούς φορολογικού μητρώου, στοιχεία διαβατηρίου, ημερομηνίες γέννησης, ιστορικό απασχόλησης, τίτλους εργασίας, πληροφορίες μισθού, στοιχεία τραπεζικού λογαριασμού, αξιολογήσεις απόδοσης και στοιχεία επικοινωνίας έκτακτης ανάγκης.

- **Πληροφορίες πελάτη:** Τα δεδομένα πελατών που είναι αποθηκευμένα σε ένα σύστημα ERP μπορεί να περιλαμβάνουν ονόματα, διευθύνσεις, αριθμούς τηλεφώνου, διευθύνσεις email, στοιχεία χρέωσης και αποστολής, πληροφορίες πληρωμής, ιστορικό παραγγελιών, προτιμήσεις και οποιαδήποτε άλλα δεδομένα που σχετίζονται με τη σχέση πελατών.
- **Πληροφορίες προμηθευτών:** Τα συστήματα ERP ενδέχεται επίσης να αποθηκεύουν προσωπικά δεδομένα που σχετίζονται με προμηθευτές, όπως ονόματα επαφών, διευθύνσεις, αριθμούς τηλεφώνου, διευθύνσεις email, στοιχεία τραπεζικού λογαριασμού και οποιαδήποτε άλλα δεδομένα απαιτούνται για τη διαχείριση των σχέσεων προμηθευτών.
- **Πληροφορίες λογαριασμού χρήστη:** Οι λογαριασμοί χρηστών για την πρόσβαση και τη διαχείριση του συστήματος ERP αποθηκεύουν συνήθως προσωπικά δεδομένα όπως ονόματα, διευθύνσεις email, αριθμούς τηλεφώνου και άλλες πληροφορίες επικοινωνίας. Αυτοί οι λογαριασμοί μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν αρχεία καταγραφής πρόσβασης, ιστορικό χρήσης και ρυθμίσεις ασφαλείας.
- **Δεδομένα Ανθρώπινου Δυναμικού:** Εκτός από τις βασικές πληροφορίες εργαζομένων, τα συστήματα ERP ενδέχεται να αποθηκεύουν πιο ευαίσθητα δεδομένα ανθρώπινου δυναμικού, όπως πληροφορίες υγείας και ιατρικές πληροφορίες, αποτελέσματα ελέγχου ιστορικού, στοιχεία για παροχές και ασφάλιση, πληροφορίες για την οικογένεια και τα εξαρτώμενα άτομα και άλλα προσωπικά δεδομένα που απαιτούνται για τη διαχείριση παροχών εργαζομένων και τις πολιτικές ανθρώπινου δυναμικού.
- **Δεδομένα επικοινωνίας:** Τα συστήματα ERP συχνά περιλαμβάνουν λειτουργίες ανταλλαγής μηνυμάτων ή επικοινωνίας, οι οποίες ενδέχεται να αποθηκεύουν προσωπικά δεδομένα με τη μορφή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, αρχείων καταγραφής συνομιλιών ή άλλων αρχείων επικοινωνίας που αφορούν υπαλλήλους, πελάτες, προμηθευτές ή άλλους ενδιαφερόμενους [64].

Είναι σημαντικό για τους οργανισμούς να προστατεύουν τα προσωπικά δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στα συστήματα ERP τους εφαρμόζοντας ισχυρά μέτρα ασφαλείας, ελέγχους πρόσβασης και πολιτικές διαχείρισης δεδομένων, καθώς και διασφαλίζοντας τη συμμόρφωση με τους σχετικούς κανονισμούς προστασίας δεδομένων όπως ο GDPR. Ο ρόλος του GDPR στα συστήματα ERP μπορεί να συνοψιστεί στις ακόλουθες βασικές πτυχές:

- **Προστασία δεδομένων από σχεδιασμό και προεπιλογή:** Ο GDPR απαιτεί από τους οργανισμούς να εφαρμόζουν μέτρα προστασίας δεδομένων στα συστήματά τους από την αρχή. Τα συστήματα ERP πρέπει να σχεδιάζονται και να διαμορφώνονται έχοντας κατά νου τις αρχές προστασίας δεδομένων, όπως η ελαχιστοποίηση δεδομένων, η περιορισμένη πρόσβαση δεδομένων και η ασφαλής αποθήκευση δεδομένων.
- **Πρόσβαση και έλεγχος δεδομένων:** Ο GDPR παραχωρεί σε άτομα πολλά δικαιώματα σχετικά με τα προσωπικά τους δεδομένα, συμπεριλαμβανομένου του

δικαιώματος πρόσβασης, διόρθωσης, διαγραφής και περιορισμού της επεξεργασίας των δεδομένων τους. Τα συστήματα ERP πρέπει να παρέχουν μηχανισμούς για τη διευκόλυνση αυτών των δικαιωμάτων, διασφαλίζοντας ότι τα άτομα μπορούν να ασκούν εύκολα τον έλεγχο των προσωπικών τους πληροφοριών.

- **Επεξεργασία και Ασφάλεια Δεδομένων:** Οι οργανισμοί πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα προσωπικά δεδομένα που υποβάλλονται σε επεξεργασία μέσω συστημάτων ERP γίνονται νόμιμα, δίκαια και με διαφάνεια. Επίσης απαιτείται να εφαρμόζουν κατάλληλα τεχνικά και οργανωτικά μέτρα για την προστασία των προσωπικών δεδομένων από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, τυχαία απώλεια ή ζημιά.
- **Ειδοποίηση παραβίασης δεδομένων:** Σε περίπτωση παραβίασης δεδομένων, οι οργανισμοί υποχρεούνται να αναφέρουν το περιστατικό στην αρμόδια αρχή προστασίας δεδομένων εντός 72 ωρών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, να ειδοποιούν τα επηρεαζόμενα άτομα. Τα συστήματα ERP θα πρέπει να διαθέτουν μηχανισμούς για τον εντοπισμό, την αναφορά και την αντιμετώπιση των παραβιάσεων δεδομένων αποτελεσματικά και αποδοτικά.
- **Διαχείριση τρίτων προμηθευτών:** Πολλοί οργανισμοί βασίζονται σε τρίτους προμηθευτές για την παροχή λύσεων ERP και ο GDPR απαιτεί από αυτούς τους προμηθευτές να συμμορφώνονται με τα ίδια πρότυπα προστασίας δεδομένων. Οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογήσουν τους προμηθευτές ERP τους ως προς τη συμμόρφωση με τον GDPR και να συνάψουν συμφωνίες επεξεργασίας δεδομένων για να διασφαλίσουν τον σωστό χειρισμό των προσωπικών δεδομένων.
- **Τήρηση αρχείων και συμμόρφωση:** Ο GDPR επιβάλλει στους οργανισμούς να διατηρούν αρχεία των δραστηριοτήτων επεξεργασίας δεδομένων τους, συμπεριλαμβανομένων των τύπων προσωπικών δεδομένων που υποβάλλονται σε επεξεργασία, του σκοπού της επεξεργασίας και τυχόν διαβιβάσεων δεδομένων σε τρίτους. Τα συστήματα ERP μπορούν να βοηθήσουν τους οργανισμούς να διατηρούν ακριβή αρχεία και να δημιουργούν αναφορές για να αποδεικνύουν τη συμμόρφωση με τις απαιτήσεις του GDPR [65].

Συνοπτικά, ο GDPR διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαμόρφωση του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα ERP χειρίζονται προσωπικά δεδομένα, διασφαλίζοντας το απόρρητο και την προστασία των πληροφοριών των ατόμων. Οι οργανισμοί που χρησιμοποιούν συστήματα ERP πρέπει να διασφαλίζουν ότι συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του GDPR για να αποφύγουν πιθανά πρόστιμα και ζημιά στη φήμη.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain με συστήματα ERP μπορεί να οδηγήσει σε διάφορες επιπτώσεις στη διαχείριση προσωπικών δεδομένων. Ας δούμε πώς το blockchain μπορεί να επηρεάσει τα προσωπικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ERP [66]:

- **Βελτιωμένη ασφάλεια δεδομένων:** Αξιοποιώντας την αποκεντρωμένη και κρυπτογραφική φύση του blockchain, τα προσωπικά δεδομένα που

αποθηκεύονται σε ένα σύστημα ERP μπορούν να προστατεύονται από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση, παραβιάσεις δεδομένων και μοναδικά σημεία αποτυχίας. Το blockchain μπορεί να προσφέρει ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας για τα προσωπικά δεδομένα, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα και την εμπιστευτικότητά τους.

- **Ενισχυμένη ακεραιότητα δεδομένων:** Η αμετάβλητη αλυσίδα blockchain διασφαλίζει ότι από τη στιγμή που τα δεδομένα καταγράφονται στο blockchain, δεν μπορούν να αλλοιωθούν ή να παραβιαστούν. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία των προσωπικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ERP, καθώς εγγυάται ότι τα δεδομένα παραμένουν συνεπή και ακριβή καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους.
- **Διαφανής προέλευση δεδομένων:** Η διαφανής φύση του blockchain επιτρέπει την εύκολη παρακολούθηση και επαλήθευση των συναλλαγών προσωπικών δεδομένων εντός του συστήματος ERP. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό σαφούς προέλευσης των δεδομένων, στον εξορθολογισμό των ελέγχων και στην πρόληψη κακόβουλων δραστηριοτήτων.
- **Αποκεντρωμένη διαχείριση ταυτότητας:** Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain με συστήματα ERP μπορεί να επιτρέψει λύσεις αποκεντρωμένης ψηφιακής ταυτότητας ή αυτοκυριαρχίας ταυτότητας (SSI) για υπαλλήλους, πελάτες και προμηθευτές. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να διαχειρίζονται και να ελέγχουν τα προσωπικά τους δεδομένα, βελτιώνοντας το απόρρητο των δεδομένων και δίνοντάς τους τη δυνατότητα να μοιράζονται επιλεκτικά τα δεδομένα τους όπως απαιτείται.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση blockchain με συστήματα ERP παρουσιάζει επίσης προκλήσεις και πιθανά μειονεκτήματα [67]:

- **Ανησυχίες για το απόρρητο:** Καθώς η τεχνολογία blockchain δίνει συχνά έμφαση στη διαφάνεια, η ενσωμάτωσή της σε ένα σύστημα ERP μπορεί να οδηγήσει σε ανησυχίες σχετικά με το απόρρητο. Για να μετριάσουν αυτό το ζήτημα, οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τεχνολογίες που βελτιώνουν το απόρρητο, όπως αποδείξεις μηδενικής γνώσης ή εμπιστευτικές συναλλαγές, για την προστασία των προσωπικών δεδομένων που είναι αποθηκευμένα στο blockchain.
- **Immutability έναντι δικαιωμάτων διαγραφής δεδομένων:** Η αμετάβλητη αλυσίδα blockchain μπορεί να έρχεται σε σύγκρουση με κανονισμούς προστασίας δεδομένων όπως ο GDPR, ο οποίος παρέχει στα άτομα το δικαίωμα να ζητήσουν τη διαγραφή ή την τροποποίηση των προσωπικών τους δεδομένων. Οι οργανισμοί θα πρέπει να διερευνήσουν λύσεις που επιτυγχάνουν μια ισορροπία μεταξύ των εγγενών χαρακτηριστικών του blockchain και της ανάγκης συμμόρφωσης με τους κανονισμούς προστασίας δεδομένων.
- **Επεκτασιμότητα και απόδοση:** Ορισμένες υλοποιήσεις blockchain ενδέχεται να αντιμετωπίζουν προβλήματα επεκτασιμότητας και απόδοσης, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα των συστημάτων ERP. Οι

οργανισμοί πρέπει να εξετάσουν προσεκτικά την επιλογή της τεχνολογίας blockchain και να σχεδιάσουν τις λύσεις τους για να διασφαλίσουν ότι μπορούν να χειριστούν τον όγκο δεδομένων και τη διεκπεραίωση συναλλαγών των συστημάτων ERP.

Συνοπτικά, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain με συστήματα ERP μπορεί να προσφέρει βελτιωμένη ασφάλεια, ακεραιότητα δεδομένων και αποκεντρωμένη διαχείριση ταυτότητας. Ωστόσο, οι οργανισμοί πρέπει να εξετάσουν προσεκτικά το απόρρητο, τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς και τις προκλήσεις επεκτασιμότητας για να μεγιστοποιήσουν τα οφέλη αυτής της ενοποίησης.

## 2.4 Τεχνολογίες ανάπτυξης εφαρμογών με βάση το blockchain

Η εξάπλωση του blockchain έφερε στο προσκήνιο την ανάγκη για δημιουργία frameworks που θα επιτρέπουν την ανάπτυξη εφαρμογών βασισμένων σε blockchain. Ανεξάρτητα από τον κλάδο για τον οποίο προορίζεται η εφαρμογή, η επιλογή ενός κατάλληλου framework για την ανάπτυξη της διευκολύνει την υλοποίηση, εξέλιξη, κλιμάκωση και συντήρησή της. Παρακάτω θα αναλυθούν ορισμένα blockchain frameworks, εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα και use cases για το καθένα.

### **Ethereum**

Το Ethereum [68] είναι ένα blockchain με έναν υπολογιστή ενσωματωμένο σε αυτό. Αποτελεί τη βάση για σχεδιασμό εφαρμογών με αποκεντρωμένο, χωρίς άδειες, χωρίς λογοκρισία τρόπο. Ο υπολογιστής αυτός είναι το Ethereum Virtual Machine ή EVM, στου οποίου την κατάσταση συμφωνούν όλοι οι συμμετέχοντες στο δίκτυο Ethereum. Κάθε κόμβος του δικτύου κρατά ένα αντίγραφο της κατάστασης του EVM. Ακόμη, οποιοσδήποτε συμμετέχων δύναται να μεταδώσει ένα αίτημα στο EVM να εκτελέσει κάποιους υπολογισμούς. Κάθε φορά που μεταδίδεται ένα τέτοιο αίτημα, οι υπόλοιποι συμμετέχοντες στο δίκτυο επαληθεύουν, επικυρώνουν και πραγματοποιούν τον υπολογισμό. Αυτή η εκτέλεση προκαλεί μια αλλαγή κατάστασης στο EVM, η οποία καταχωρείται και διαδίδεται σε ολόκληρο το δίκτυο. Το νόμισμα του Ethereum είναι ο Ether (ETH), ένα κρυπτονόμισμα που χρησιμοποιείται για τους υπολογισμούς εντός του δικτύου, την επικύρωση και πραγματοποίηση συναλλαγών. Το ETH χρησιμοποιείται ως παράγοντας ασφάλειας στο δίκτυο, αφού χρησιμοποιείται ως επιβράβευση των επικυρωτών που προτείνουν blocks ή εντοπίζουν ανήθικη συμπεριφορά από άλλους επικυρωτές, χρησιμοποιείται για τη στάθμιση ψήφων για προτεινόμενα blocks μέσω του μηχανισμού συναίνεσης. Για τη δημιουργία εφαρμογών στο Ethereum, οι σχεδιαστές λογισμικού καλούνται να εργαστούν με το Ethereum stack. Το stack, δηλαδή τα διάφορα μέρη λογισμικού, αποτελείται από πέντε επίπεδα: το Ethereum Virtual Machine (EVM), τα smart contracts, τα Ethereum nodes, τα Ethereum Client APIs και τις εφαρμογές τελικού χρήστη. Η χρήση του δημόσιου δικτύου blockchain του Ethereum εμφανίζει σημαντικά πλεονεκτήματα. Στο κομμάτι της ασφάλειας και ακεραιότητας των δεδομένων, το Ethereum ασφαλίζεται μέσω των χιλιάδων ανεξάρτητων κόμβων που γεωγραφικά τοποθετούνται σε όλο τον κόσμο, σε αντίθεση με ιδιωτικά blockchain όπου ο μικρός

αριθμός κόμβων ελέγχεται από ελάχιστους οργανισμούς και μπορούν να παραβιαστούν επηρεάζοντας τις συναλλαγές. Στο κομμάτι της επίδοσης, τα ιδιωτικά δίκτυα Ethereum παρουσιάζουν υψηλότερο ρυθμό απόδοσης συναλλαγών στο βασικό επίπεδο (Layer 1), αφού ακολουθούν συγκεκριμένα πρότυπα υψηλής απόδοσης στα μηχανήματα των κόμβων και χρησιμοποιούν αλγόριθμους συναίνεσης όπως ο Proof of Authority, ενώ στο κύριο δίκτυο Ethereum υψηλός ρυθμός απόδοσης κατορθώνεται με την χρήση τεχνικών κλιμακωσιμότητας του δεύτερου επιπέδου (Layer 2). Σχετικά με το κόστος, σε σύγκριση με τη χρήση ιδιωτικών blockchain όπου η δημιουργία, συντήρηση και οι εξυπηρετητές του δικτύου κοστίζουν, στο Ethereum το κόστος εντοπίζεται μόνο κατά τις συναλλαγές. Όσον αφορά την ιδιωτικότητα των δεδομένων, η πρόσβαση στα δεδομένα ιδιωτικών δικτύων μπορεί να καθοριστεί επιτρέποντας ελεγχόμενη πρόσβαση και ιδιωτικές συναλλαγές. Στο δημόσιο δίκτυο Ethereum όλες οι συναλλαγές είναι φανερές, επομένως κρίσιμες πληροφορίες πρέπει να αποθηκεύονται είτε εκτός δικτύου, είτε κρυπτογραφημένες, είτε χρησιμοποιώντας λύσεις για το Layer 2. Το Layer 2 είναι μια ομπρέλα τεχνολογιών που τρέχουν με βάση το Ethereum (Layer 1), αντλώντας τις ιδιότητες ασφαλείας από το Layer 1 και παρέχουν μεγαλύτερη ικανότητα επεξεργασίας συναλλαγών, χαμηλότερα τέλη συναλλαγών και ταχύτερες επιβεβαιώσεις συναλλαγών από το Layer 1 [69]. Οι λύσεις κλιμάκωσης του Layer 2 προστατεύονται από το Layer 1, αλλά επιτρέπουν στις εφαρμογές blockchain να χειρίζονται αρκετά περισσότερους χρήστες, ενέργειες ή δεδομένα από ό,τι θα μπορούσε να φιλοξενήσει το Layer 1. Οι λύσεις αυτές αξιοποιούν τις πρόσφατες εξελίξεις στην κρυπτογραφία και τις αποδείξεις μηδενικής γνώσης (Zero Knowledge) για να μεγιστοποιήσουν την απόδοση και την ασφάλεια. Η δημιουργία μιας εφαρμογής με βάση μια λύση επεκτασιμότητας Layer 2 μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση πολλών από τις ανησυχίες που προηγουμένως οδήγησαν τις εταιρείες να αναπτύξουν εφαρμογές σε ιδιωτικά blockchain, διατηρώντας τα οφέλη της δημιουργίας στο κύριο δημόσιο δίκτυο. Το Ethereum έχει να επιδείξει μια σειρά από επιτυχημένες εφαρμογές από επιχειρήσεις στους κλάδους των πληρωμών (Brave Browser, hCaptcha, Audius, EthereumAds), των χρηματοοικονομικών (Santander Bank, Societe Generale, Cadence, Sila, Kratos, Taurus), του tokenization περιουσιακών στοιχείων (Tinlake, RealT, AgroToken, Fasset), της πιστοποίησης δεδομένων (BBVA, Splunk, ANSA, Verizon, Breitling, EthSign), της εφοδιαστικής αλυσίδας (CargoX, Morpheus.network, Minespider, Follow Our Fibre, EY OpsChain Contract Manager, Treum, TradeTrust, Birra Peroni), της ασφάλισης (Arbol, Etherisc), των διαπιστευτηρίων και πιστοποίησης (OpenCerts, BlockCerts, SkillTree).

### **Hyperledger Fabric**

Το Hyperledger Fabric είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης λύσεων blockchain ανοικτού κώδικα, σχεδιασμένη για να προσφέρει μια παραμετροποιήσιμη και επεκτάσιμη αρχιτεκτονική. Όντας μια τεχνολογία κατανεμημένου ledger, προσφέρει αμετάβλητη και ασφαλή καταγραφή συναλλαγών και δεδομένων, με ελεγχόμενη πρόσβαση. Το Hyperledger Fabric αποτελεί ένα ελεγχόμενο blockchain, κάτι που σημαίνει ότι η πρόσβαση στο δίκτυο είναι περιορισμένη σε αυθεντικοποιημένα μέλη κι ότι όλοι οι συμμετέχοντες μπορούν να αναγνωριστούν, με τις ενέργειες τους να είναι φανερές στα

υπόλοιπα μέλη [70]. Επιτρέπει στους χρήστες να διαλέξουν έναν μηχανισμό αποδοχής, με προεπιλεγμένη επιλογή για αλγόριθμο αποδοχής να αποτελεί ο Crash Fault-Tolerant (CFT) [71], για την επιβεβαίωση των συναλλαγών. Η πλατφόρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχεδιαστούν εφαρμογές blockchain σε μια πληθώρα κλάδων, όπως τα χρηματοοικονομικά και οι τράπεζες, η γραμμή παραγωγής, τα logistics και η ιατρική. Επίσης προσφέρει μια πλειάδα υπηρεσιών σχετικά με την διαχείριση ταυτότητας, την αποθήκευση δεδομένων, τη διαχείριση κρυπτογραφικών κλειδιών και τον έλεγχο της πρόσβασης. Συνολικά παρέχει στους σχεδιαστές λογισμικού και στις επιχειρήσεις ένα ασφαλές υψηλής απόδοσης και ευέλικτο περιβάλλον για να δημιουργήσουν και να ξεδιπλώσουν τις εφαρμογές blockchain τους. Ένα βασικό σημείο διαφοροποίησης είναι ότι το Hyperledger εδραιώθηκε από το Linux Foundation [72], το οποίο έχει μια μακρά και επιτυχημένη ιστορία στην ανάπτυξη εφαρμογών ανοιχτού κώδικα υπό ανοιχτή διακυβέρνηση, οι οποίες αναπτύσσουν ενεργές κοινότητες και ολοκληρωμένα οικοσυστήματα. Το Hyperledger διοικείται από μια τεχνική συντονιστική επιτροπή και το Hyperledger Fabric από ένα σύνολο συντηρητών και συνεισφερόντων από διάφορους οργανισμούς. Έχει μια κοινότητα ανάπτυξης που έχει αριθμεί περισσότερους από 35 οργανισμούς και σχεδόν 200 προγραμματιστές. Το Fabric είναι η πρώτη πλατφόρμα καταμεμημένης λογιστικής που υποστηρίζει smart contracts που έχουν συνταχθεί σε γλώσσες προγραμματισμού γενικού σκοπού όπως Java, Go και Node.js, αντί για γλώσσες περιορισμένου τομέα (Domain-Specific Language - DSL). Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες επιχειρήσεις διαθέτουν ήδη σχεδιαστές λογισμικού με το σύνολο δεξιοτήτων που απαιτούνται για την ανάπτυξη smart contracts και δεν απαιτείται περαιτέρω εκπαίδευση για την εκμάθηση μιας νέας γλώσσας προγραμματισμού. Το Hyperledger Fabric εμφανίζει συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων πλατφορμών, όπως για παράδειγμα η κλιμακωσιμότητα και η απόδοση. Εστιάζει σε ορισμένα χαρακτηριστικά όπως η γνώση των συμμετεχόντων στο δίκτυο, το δίκτυο να λειτουργεί με άδειες δικαιωμάτων, η υψηλή απόδοση και ταχύτητα των συναλλαγών, η μικρή καθυστέρηση στην επιβεβαίωση της συναλλαγής, καθώς και το απόρρητο συναλλαγών και δεδομένων που αφορούν επιχειρηματικές συναλλαγές. Ενώ πολλές πρώιμες πλατφόρμες blockchain προσαρμόζονται τώρα για εταιρική χρήση, το Hyperledger Fabric έχει σχεδιαστεί για εταιρική χρήση από την αρχή. Η πλατφόρμα έχει να επιδείξει μια σειρά από επιτυχημένα παραδείγματα και εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο. Μια εφαρμογή χρήσης του Hyperledger Fabric αποτελεί η διαχείριση ταυτοτήτων, αφού η πλατφόρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να αποθηκεύσει ασφαλώς και να διαχειριστεί ταυτότητες χρηστών και τον έλεγχο της πρόσβασης σε αυτές τις πληροφορίες. Η Walmart σε συνεργασία με την IBM, δημιούργησαν ένα σύστημα εντοπισμού φαγητού, με σκοπό να είναι εφικτός ο εντοπισμός των υλικών από τη στιγμή που παράγονται, μέχρι τη στιγμή της πώλησης, ενισχύοντας την ασφάλεια και την ποιότητα του τελικού προϊόντος [73]. Ακόμη, στον τομέα της υγείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύσει και να διαμοιράσει δεδομένα των ασθενών ασφαλώς και με αποδοτικό τρόπο. Κάτι τέτοιο κατάφερε μια ομάδα ερευνητών χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα [74]. Στον τομέα των υπηρεσιών διακυβέρνησης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Hyperledger Fabric για να διευκολύνει τη λειτουργία ασφαλών και αποδοτικών κυβερνητικών διαδικασιών, όπως οι

εκλογές, η φορολόγηση και η καταχώρηση εκτάσεων γης. Ορισμένες λειτουργίες έχει ενσωματώσει στο Hyperledger Fabric και η κυβέρνηση της Εσθονίας. Σχετικά με τη γραμμή παραγωγής, αρκετές πτυχές της θα εξετάσουμε παρακάτω στο πρακτικό κομμάτι. Πιο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας θα αναλυθούν περαιτέρω επίσης στη συνέχεια στο πρακτικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας.

## **Hyperledger Sawtooth**

Το Hyperledger Sawtooth είναι μια πλατφόρμα blockchain ανοιχτού κώδικα, εξαιρετικά διαμορφώσιμη, που αναπτύχθηκε από το project Hyperledger του Linux Foundation. Έχει σχεδιαστεί για να είναι προσαρμόσιμο για διάφορες περιπτώσεις χρήσης και βιομηχανίες, όπως χρηματοοικονομικά, εφοδιαστική αλυσίδα, IoT και άλλα [75]. Το Sawtooth διακρίνεται από άλλες πλατφόρμες blockchain μέσω του μοναδικού αλγόριθμου συναίνεσης και της υποστήριξης για smart contracts γραμμένα σε πολλές γλώσσες. Τα βασικά χαρακτηριστικά του Hyperledger Sawtooth περιλαμβάνουν:

**Pluggable Consensus Algorithms:** Το Sawtooth υποστηρίζει pluggable συναινετικούς μηχανισμούς, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέξουν τον καταλληλότερο αλγόριθμο συναίνεσης για τη συγκεκριμένη περίπτωση χρήσης τους ή να αλλάξουν σε διαφορετικό καθώς εξελίσσονται οι απαιτήσεις. Από προεπιλογή, το Sawtooth χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο συναίνεσης Proof of Elapsed Time (PoET), ο οποίος έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ενεργειακά αποδοτική και επεκτάσιμη συναίνεση χωρίς να απαιτείται εξειδικευμένο υλικό.

**Οικογένειες συναλλαγών:** Το Sawtooth χρησιμοποιεί μια έννοια που ονομάζεται "οικογένειες συναλλαγών" για να ορίσει ένα σύνολο κανόνων και μοντέλων δεδομένων για συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης. Αυτή η αρθρωτή προσέγγιση επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν προσαρμοσμένες οικογένειες συναλλαγών για τις εφαρμογές τους, καθιστώντας εύκολη την εφαρμογή μοντέλων λογικής και δεδομένων για συγκεκριμένο τομέα εντός του blockchain.

**Υποστήριξη Smart Contract:** Το Sawtooth υποστηρίζει έξυπνες συμβάσεις γραμμένες σε πολλές γλώσσες, συμπεριλαμβανομένων των Python, JavaScript, Rust και άλλων. Υποστηρίζει επίσης smart contracts Ethereum γραμμένα σε Solidity, μέσω της ενσωμάτωσης της εικονικής μηχανής Hyperledger Burrow Ethereum (EVM).

**Εκτέλεση παράλληλης συναλλαγής:** Το Sawtooth έχει σχεδιαστεί για να επιτρέπει την εκτέλεση παράλληλων συναλλαγών, η οποία μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την απόδοση των συναλλαγών και τη συνολική απόδοση. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας δυνατότητας που ονομάζεται «χρονοδιαγράμματα εκτέλεσης συναλλαγών», η οποία επιτρέπει στην πλατφόρμα να επεξεργάζεται πολλές συναλλαγές ταυτόχρονα.

**Ιδιωτικά κανάλια δεδομένων:** Το Sawtooth υποστηρίζει ιδιωτικά κανάλια δεδομένων χρησιμοποιώντας μια δυνατότητα που ονομάζεται "ιδιωτικές συναλλαγές", η οποία επιτρέπει την ασφαλή κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ μιας συγκεκριμένης ομάδας συμμετεχόντων χωρίς να εκτίθενται τα δεδομένα σε ολόκληρο το δίκτυο. Αυτή η



δυνατότητα βοηθά στην αντιμετώπιση προβλημάτων απορρήτου και διασφαλίζει την εμπιστευτικότητα των δεδομένων.

**Διακυβέρνηση On-Chain:** Το Sawtooth υποστηρίζει τη διακυβέρνηση on-chain, επιτρέποντας στους συμμετέχοντες να προτείνουν και να ψηφίσουν αλλαγές στη διαμόρφωση και τους κανόνες του blockchain απευθείας εντός του δικτύου. Αυτή η δυνατότητα ενισχύει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων διασφαλίζοντας ότι όλες οι αλλαγές καταγράφονται στο blockchain.

Συνοπτικά, το Hyperledger Sawtooth είναι μια ευέλικτη και ευέλικτη πλατφόρμα blockchain κατάλληλη για ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης και βιομηχανιών. Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του, όπως αλγόριθμοι συναίνεσης με δυνατότητα σύνδεσης, οικογένειες συναλλαγών και υποστήριξη για πολλαπλές γλώσσες έξυπνων συμβολαίων, το καθιστούν μια ισχυρή και προσαρμόσιμη λύση για τη δημιουργία εφαρμογών blockchain εταιρικής ποιότητας.

## **Corda**

Το Corda είναι ένα framework ανοικτού κώδικα που αφορά τον σχεδιασμό εφαρμογών blockchain και δημιουργήθηκε από την R3 [76]. Προορίζεται για επιχειρήσεις, χρηματοπιστωτικά ιδρύματα, ασφαλιστικούς φορείς, εστιάζοντας στην ανάπτυξη λύσεων σε ρυθμισμένους και ελεγχόμενους κλάδους. Το Corda έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με ένα κοινό δημόσιο δίκτυο blockchain. Αρχικά, τα δεδομένα των συναλλαγών μοιράζονται μόνο μεταξύ των εμπλεκόμενων σε αυτήν, με το πρωτόκολλο επικοινωνίας να είναι κρυφό από τα υπόλοιπα μέλη του δικτύου. Τα smart contracts μπορούν να γραφούν σε οποιαδήποτε συμβατή με το JVM γλώσσα προγραμματισμού όπως Java και Kotlin, δίνοντας στους προγραμματιστές πρόσβαση σε πληθώρα εργαλείων και βοηθητικού υλικού. Επιπλέον, το Corda έχει σχεδιαστεί με γνώμονα όλους τους υπάρχοντες και ανερχόμενους κανονισμούς, βασίζοντας τις δυνατότητες του στο νομικό πλαίσιο. Οι συναλλαγές μπορούν να πραγματοποιούνται σε ιδιωτικά, κλιμακώσιμα και κατανομημένα Peer To Peer (P2P) δίκτυα και δεν χρειάζεται να είναι διαδοχικές, κατορθώνοντας υψηλά επίπεδα κλιμακωσιμότητας, ρυθμού διακίνησης δεδομένων και αποδοτικότητας, έχοντας ένα πολύ μικρό ενεργειακό κόστος σε σχέση με το Ethereum. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην ασφάλεια, αφού για να συμμετάσχει κάποιος σε μια εφαρμογή του Corda πρέπει να γίνει αποδεκτός και να αντιστοιχεί σε μια νομική οντότητα. Η εταιρία ανάπτυξης του Corda, η R3, παρέχει υποστήριξη για υλοποίηση λύσεων σε ελεγχόμενες αγορές, όπου διαθέτει εξειδίκευση, προσφέροντας υπηρεσίες επίσπευσης της διαδικασίας από την αρχική ιδέα μέχρι την παραγωγή. Δίνει επίσης στους πελάτες της πρόσβαση σε ένα οικοσύστημα ποικίλων συμμετεχόντων, όπως οικονομικά ινστιτούτα, ρυθμιστικές αρχές, πωλητές λογισμικού και εταιρίες τεχνολογίας. Το Corda εμφανίζει εντυπωσιακά απτά αποτελέσματα από τη χρήση του στον χρηματοπιστωτικό τομέα. Στον τομέα των Capital Markets, με πελάτες όπως οι Nasdaq, DTCC, Six Digital Exchange, agora, Archax, HQLAX, VALK, GROW και Invo, το Corda τροφοδότησε το πρώτο ρυθμιζόμενο από τον FCA ανταλλακτήριο για κλασματικά και tokenized ψηφιακά περιουσιακά στοιχεία [77]. Κατόρθωσε επίσης 40% μείωση του κόστους διοίκησης και

80% μείωση του συνολικού χρόνου επεξεργασίας των συναλλαγών. Στον τομέα των τραπεζών, με πελάτες όπως οι ING, Italian Banking Association, Wells Fargo, HSBC και CoreChain, το Corda κατέστησε εφικτές ψηφιακές συναλλαγές Business to Business αξίας άνω των 225 εκατομμυρίων δολαρίων, κατήργησε χιλιάδες ωρών ενεργειών back-office, μείωσε σε κάτω από μια ημέρα τον χρόνο διαπραγματευτικής συμφωνίας, από 30-50 ημέρες [78]. Στον τομέα των εμπορικών συναλλαγών, με πελάτες όπως οι Contour, DLT Ledgers, Siam Commercial Bank, Infosys, Marco Polo, Mphasis και Gavea, το Corda επέφερε 75% μείωση του χρόνου του κύκλου πίστωσης, 90% μείωση του χρόνου επεξεργασίας από άκρο σε άκρο και 70% μείωση των διαδικασιών προμηθειών προς πληρωμή.

## **EOSIO**

Το EOSIO είναι μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που σχετίζεται με τον σχεδιασμό εφαρμογών blockchain και δημιουργήθηκε από την Block.one [79]. Επιχειρήσεις και σχεδιαστές λογισμικού παγκοσμίως εμπιστεύονται το EOSIO για να δημιουργήσουν ασφαλείς, διαφανείς και αποδοτικές ψηφιακές υποδομές. Υπόσχεται γρήγορη, ευέλικτη και προς τα μπροστά ανάπτυξη εφαρμογών, κορυφαία απόδοση και κλιμακωσιμότητα, υψηλή παραμετροποίηση, ευρεία γκάμα εργαλείων και βοηθητικού υλικού για τους σχεδιαστές λογισμικού, καθώς και ευέλικτη αυθεντικοποίηση και ακεραιότητα των δεδομένων. Η Block.one δηλώνει ότι το EOSIO προσφέρει κορυφαίες ταχύτητες συναλλαγών, με το block time να έχει καθυστέρηση μικρότερη του δευτερολέπτου, μειώνοντας το κόστος των συναλλαγών. Δίνει επίσης μεγάλη ελευθερία στην παραμετροποίηση, επιτρέποντας στους σχεδιαστές λογισμικού να διαλέξουν τον τρόπο διακυβέρνησης του δημοσίου ή ιδιωτικού τους blockchain μέσω smart contracts. Τα smart contracts δημιουργούνται σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και σε αντίθεση με άλλες πλατφόρμες μπορούν να αναβαθμίζονται χωρίς να επηρεάζουν τη λειτουργία του δικτύου. Η Block.one σε συνεργασία με την κοινότητα έχουν δημιουργήσει ένα δημόσιο blockchain, το EOS Public Network, βασισμένο στην πλατφόρμα ανοικτού κώδικα EOSIO και τον αλγόριθμο αποδοχής Delegated Proof of Stake. Το EOSIO έχει να επιδείξει μια σειρά από επιτυχημένα use cases χρήσης της πλατφόρμας από επιχειρήσεις. Μια εφαρμογή αποτελεί η συνεργασία με την Upland για ένα διαδικτυακό παιχνίδι συλλογής ψηφιακών ιδιοκτησιών σε ένα δυναμικό και διαδραστικό ψηφιακό περιβάλλον [80]. Η Upland ξεκίνησε την προσπάθεια να δημιουργήσει το παιχνίδι βασισμένο σε blockchain στην πλατφόρμα του Ethereum, ωστόσο είχε να αντιμετωπίσει δυσκολίες σχετικά με τις χρεώσεις ανά συναλλαγή, με τα δικαιώματα των πορτοφολιών, με την κατοχή tokens, καθώς κι άλλα προβλήματα που απέτρεπαν την εξέλιξη του παιχνιδιού και αύξησης της βάσης χρηστών του. Έτσι, η Upland αποφάσισε να επιλέξει την πλατφόρμα EOSIO για να αναπτύξει το βασισμένο σε blockchain παιχνίδι της. Χωρίς να υστερεί στις βασικές αρχές του blockchain, όπως η κατοχή των ιδιωτικών κλειδιών και η αυθεντικοποίηση, κατόρθωσε να σχεδιάσει μια πολύ απλή εμπειρία χρήσης. Το EOSIO περιλαμβάνει ένα σύστημα διαχείρισης δικαιωμάτων πρόσβασης που επιτρέπει στους διαχειριστές του παιχνιδιού να εκτελέσουν ορισμένες ενέργειες εκ μέρους του παίκτη, χωρίς να παραβιάζεται η ασφάλεια των ιδιωτικών του κλειδιών. Η προσαρμοστικότητα του EOSIO

εγγυάται ότι η Upland μπορεί να συνεχίσει να προσθέτει νέες λειτουργίες στο παιχνίδι της. Ένα άλλο use case είναι η συνεργασία με την OmniOne για μια λύση προσωπικής επικύρωσης ταυτότητας [81]. Σε αντίθεση με το συνηθισμένο μοντέλο αυθεντικοποίησης με single sign-on (SSO) που γίνεται δεκτό σε διάφορες πλατφόρμες αφήνοντας κενά ασφαλείας και ιδιωτικότητας, η OmniOne χρησιμοποιεί Decentralized Identifiers (DIDs) απολαμβάνοντας τα πλεονεκτήματα του blockchain για βιομετρική αυθεντικοποίηση. Η λύση της OmniOne είναι έτοιμη να υιοθετηθεί από οικονομικούς οργανισμούς, κυβερνητικούς φορείς, ιατρικά κέντρα και εκπαιδευτικά ινστιτούτα. Παρέχει ιδιωτικότητα των δεδομένων των χρηστών, μιας κι αυτοί επιλέγουν πότε, πού και από ποιούς θα προσπελαστούν τα δεδομένα τους. Ένα ακόμη παράδειγμα χρήσης του EOSIO είναι η συνεργασία με την Chainflux, όπου δημιουργήθηκε μια πλατφόρμα ιχνηλασιμότητας για προϊόντα σε διάφορους τομείς παραγωγής [82]. Πιο συγκεκριμένα, η Chainflux εστιάζει σε τρεις σημαντικούς κλάδους: σημαντικά μέταλλα, γεωργία και βιωσιμότητα. Η ανάγκη για ιχνηλασιμότητα και ασφαλή μετάδοση δεδομένων ενέπνευσε για χρήση του EOSIO blockchain. Το ιδιωτικό blockchain που δημιούργησε η Chainflux επιτρέπει την ασφαλή εμφάνιση ορισμένων δεδομένων ως δημοσίων, διατηρώντας την ιδιωτικότητα σε άλλα. Ο προκαθορισμένος αλγόριθμος αποδοχής αναδιαμορφώθηκε σε Proof of Authority (PoA) από Delegated Proof of Stake (DPoS). Έτσι οι ελεγκτικοί μηχανισμοί του δικτύου μπορούν να εγκρίνουν ή ακυρώσουν συναλλαγές κρίνοντας αν αυτές αφορούν αυθεντικά ή όχι προϊόντα. Εγκαθιστώντας ένα δίκτυο από σένσορες Internet of Things και συνδυάζοντας με το ιδιωτικό blockchain στο EOSIO, κάθε βήμα της εφοδιαστικής αλυσίδας καταγράφεται και εγγράφεται στο αμετάβλητο blockchain.

## **Exonum**

Το Exonum είναι ένα framework ανοικτού κώδικα που προορίζεται για σχεδιασμό εφαρμογών blockchain και δημιουργήθηκε από την Bitfury [83]. Είναι δυνατόν να δημιουργήσει κρυπτογραφικά καταμεμημένα ledgers για πρακτικά κάθε τομέα, με υπάρχοντα σημαντικά use cases στους τομείς Fintech, Govtech και Legaltech. Αντλώντας την ονομασία του από τη λέξη exonumia, που δηλώνει αντικείμενα διαφορετικά από νομίσματα ή χρήματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπόριο και ανταλλαγές, η πλατφόρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκευτεί, απεικονισθεί, ανταλλαχθεί και φυλαχθεί οποιοδήποτε ψηφιακό αντικείμενο αξίας. Το Exonum ειδικεύεται στην διαχείριση αντικειμένων, στην διαχείριση ταυτοτήτων και στην εφοδιαστική αλυσίδα. Το Exonum εγγυάται ποικίλα πλεονεκτήματα στην διαχείριση αντικειμένων, όπως διαφανείς και υψηλής απόδοσης ροές εργασίας, αδυναμία κακόβουλης τροποποίησης των δεδομένων, σταθερότητα των ψηφιακών αντικειμένων, γρήγορη κι εύκολη πρόσβαση στα αρχεία συναλλαγών, συνεχή ασφάλεια των αρχείων συναλλαγών, απλή εποπτεία κι έλεγχο, εύκολη διασύνδεση με άλλες υπηρεσίες και συμμόρφωση με νόμους και κανονισμούς. Το framework αυτό εμφανίζει ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά όσον αφορά την διαχείριση ταυτοτήτων, όπως απλοποιημένη διαδικασία πιστοποίησης ταυτότητας, προστασία από την πλαστοπροσωπία και ψευδαντίγραφα ταυτότητας, αποκεντρωμένες διαδικασίες που απαλλάσσουν από ενδιάμεσους εμπλεκόμενους, ενισχυμένη ασφάλεια στην πρόσβαση και μεταφορά σημαντικής

πληροφορίας, απευθείας πρόσβαση στην πληροφορία σε ζωντανό χρόνο, μείωση των κοστών διοίκησης, απλή εποπτεία και έλεγχο, διασύνδεση με άλλες υπηρεσίες και συμμόρφωση με τα κανονιστικά πλαίσια που αφορούν τη διαχείριση ταυτοτήτων. Όσον αφορά την εφοδιαστική αλυσίδα, το Exonum προσφέρει μια ποικιλία χαρακτηριστικών, όπως πρόληψη παράνομης και μη εγκεκριμένης επεξεργασίας δεδομένων, ιχνηλασιμότητα και έλεγχο δεδομένων και αντικειμένων, διαφάνεια στην παρακολούθηση και τον έλεγχο, εξάλειψη των πλαστών αντικειμένων, μείωση κόστους για ασφαλιστικές υπηρεσίες αφού τα δεδομένα έχουν πλήρη διαφάνεια, απλή εποπτεία και συμμόρφωση με νόμους και κανονισμούς.

Το Exonum έχει μια σειρά από επιτυχημένες εφαρμογές τόσο σε κυβερνητικό όσο και επιχειρηματικό επίπεδο. Σε κυβερνητικό επίπεδο, η Bitfury δημιούργησε το πρώτο σύστημα δήλωσης εκτάσεων γης με χρήση blockchain σε συνεργασία με την Εθνική Υπηρεσία Δημοσίου Μητρώου της Δημοκρατίας της Γεωργίας και τον οικονομολόγο Hernando de Soto [84]. Το δίκτυο ξεκίνησε τη λειτουργία το 2016, με σκοπό να ενισχύσει τα δικαιώματα των κατόχων ιδιοκτησιών, να ενδυναμώσει την ασφάλεια των δεδομένων και να βελτιώσει την εμπιστοσύνη των πολιτών στους κυβερνητικούς θεσμούς. Συμπεριλαμβάνοντας την δυνατότητα χρονοσφραγίδας του Exonum, η Εθνική Υπηρεσία Δημοσίου Μητρώου έχει την δυνατότητα να παρέχει στους Γεωργιανούς πολίτες ψηφιακά πιστοποιητικά των ιδιοκτησιών τους, συνοδευόμενα με μια κρυπτογραφική απόδειξη, το hash. Η απόδειξη αυτή καταχωρείται στο blockchain του Bitcoin, δίνοντας τη δυνατότητα στον κάτοχο των εγγράφων για τις ιδιοκτησίες να δείξει ότι πραγματικά του αυτές του ανήκουν, δείχνοντας την χρονοσφραγίδα που καταχωρήθηκε. Άπαξ και καταχωρηθεί η πληροφορία, αυτή δεν μπορεί να τροποποιηθεί ούτε από την Εθνική Υπηρεσία Δημοσίου Μητρώου. Η υλοποίηση έφερε ως αποτέλεσμα πάνω από 1,5 εκατομμύριο ιδιοκτησίες εγγεγραμμένες στο blockchain, με τη διαδικασία δημιουργίας hash και αποθήκευσης του στο blockchain να πραγματοποιείται σε λιγότερο από 3 λεπτά. Μια άλλη εφαρμογή του Exonum, αφορά την χρήση του Exonum blockchain στις δημοπρασίες κρατικών εκτάσεων και ιδιοκτησιών της Ουκρανίας [85]. Το σύστημα λειτουργούσε ηλεκτρονικά, ωστόσο μεταφέρθηκε στο blockchain προκειμένου να διασφαλίσει τη σταθερότητα των δεδομένων, να εξαλείψει τη διαφθορά και την κακόβουλη μεταβολή των δεδομένων των δημοπρασιών, να αυξήσει τη διαφάνεια και να μειώσει τα κόστη για νομικές υπηρεσίες. Με το σύστημα αυτό κάθε δημοπρασία και συναλλαγή καθίσταται δημόσια για έλεγχο από τρίτες υπηρεσίες, όπως το East European Foundation που τέθηκε ως ελεγκτικός μηχανισμός, συνεπώς μπορεί να εντοπιστεί και αντιμετωπιστεί άμεσα οποιαδήποτε ύποπτη πράξη. Επιπλέον, η διαδικασία της δημοπρασίας γίνεται πιο αποτελεσματική αφού λειτουργεί πλέον με πολύ λιγότερους ενδιάμεσους εμπλεκόμενους, εξαλείφοντας πιθανή διαφθορά. Στους πρώτους πέντε μήνες λειτουργίας της υλοποίησης με το Exonum πραγματοποιήθηκαν 4000 δημοπρασίες με συνολικό κύκλο πωλήσεων 24,5 εκατομμύρια δολάρια, ενώ εκτιμάται ότι οι συνεργαζόμενοι φορείς διπλασιάστηκαν. Μια ακόμη εφαρμογή του Exonum αφορά την εξάλειψη της διαφθοράς στην αναγνώριση ακαδημαϊκών διπλωμάτων στο Synergy University της Ρωσίας [86]. Ένα ζήτημα που αντιμετωπίζουν παγκόσμια οι εργοδότες είναι τα ψευδή πιστοποιητικά ικανοτήτων ή πτυχίων σπουδών. Το πρόβλημα είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί, καθώς τα

περισσότερα εκπαιδευτικά ιδρύματα αποθηκεύουν τα στοιχεία των σπουδαστών, όπως τους βαθμούς και αν είναι πτυχιούχοι, σε κλειστές εσωτερικές βάσεις δεδομένων. Έτσι, το Synergy University, ένα από τα πρωτοπόρα πανεπιστήμια της Ρωσίας, αποτέλεσε το πρώτο εκπαιδευτικό ίδρυμα που χρησιμοποίησε μια λύση blockchain προκειμένου να καταπολεμήσει αυτό το πρόβλημα. Σκοπός της εφαρμογής ήταν να βελτιωθεί η αξιοπιστία της αποθήκευσης και εξακρίβωσης των στοιχείων των φοιτητών προκειμένου να εξαλειφθούν φαινόμενα αγοράς πλαστών πτυχίων και αλλαγών βαθμών μαθημάτων. Από τη στιγμή που τα δεδομένα που εισάγονται στο Exonum blockchain δε μπορούν να αλλαχθούν, είναι εγγυημένη η αυθεντικότητα των πτυχίων, καθώς τα αποτελέσματα των κατατακτήριων εξετάσεων, οι βαθμοί των φοιτητών και άλλα επιτεύγματα αποθηκεύονται στο blockchain. Με παραπάνω από 60000 διπλώματα να έχουν καταχωρηθεί στο blockchain, το Synergy University κατάφερε να μειώσει το κόστος για την πιστοποίηση, αρχειοθέτηση και παράδοση των διπλωμάτων. Οι σπουδαστές λαμβάνουν πλέον και ψηφιακά τον τίτλο σπουδών τους, διευκολύνοντας τους εργοδότες να διακρίνουν τα επιτεύγματα του κάθε υποψηφίου εργαζομένου. Στον τομέα των επιχειρήσεων, η Bitfury συνεργάστηκε με το Ινστιτούτο Ψηφιακής Εφοδιαστικής Αλυσίδας για τη δημιουργία μιας εφοδιαστικής αλυσίδας βασισμένης σε blockchain για την εταιρία σχεδιασμού και μηχανικής Aricent [87]. Σκοπός της συνεργασίας ήταν η δημιουργία μιας λύσης blockchain για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών DevOps και ανάπτυξης λογισμικού. Η δοκιμή της λύσης blockchain απέδειξε ότι η παρακολούθηση με blockchain της ανάπτυξης λογισμικού βελτίωσε την απόδοση των μηχανικών λογισμικού, μείωσε τον χρόνο κύκλου προϊόντος και μείωσε αισθητά τον χρόνο που απαιτείται για τη διόρθωση σφαλμάτων. Χρησιμοποιώντας τα smart contracts του Exonum αυτοματοποιήθηκε η έναρξη των DevOps, μειώνοντας τις καθυστερήσεις, ενώ όλα τα δεδομένα αποθηκεύονταν και συγχρονίζονταν σε όλους τους συνδεδεμένους χρήστες του δικτύου. Τα συμπεράσματα της συνεργασίας βοήθησαν το Ινστιτούτο Ψηφιακής Εφοδιαστικής Αλυσίδας να δημιουργήσει τον δείκτη Blockchain Return Index (BRI), με σκοπό να βοηθήσει επιχειρήσεις να κατανοήσουν την επίδραση του blockchain στην εφοδιαστική τους αλυσίδα. Η υλοποίηση του Exonum για την Aricent επέφερε 34% βελτίωση του χρόνου κύκλου, 29% αύξηση της παραγωγικότητας και 11% βελτίωση ποιότητας. Το Exonum διαθέτει smart contracts που εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλή απόδοση στην επεξεργασία συναλλαγών, αφού δύνανται να εξυπηρετήσουν μέχρι 5000 συναλλαγές το δευτερόλεπτο. Για τη σχεδίαση των smart contracts μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι γλώσσες προγραμματισμού Rust και Java. Όσον αφορά την κρυπτογράφηση, το Exonum εφαρμόζει κρυπτογραφικά hashes SHA-256 και ψηφιακές υπογραφές Ed25519 κατά τη δυαδική σειριοποίηση των συναλλαγών. Συνολικά, το Exonum εμφανίζει ορισμένα πλεονεκτήματα συγκριτικά με άλλες πλατφόρμες ανάπτυξης εφαρμογών blockchain, όπως η χρήση δομών δεδομένων κατάλληλων για έλεγχο από τον χρήστη, η υπηρεσία περιοδικής αντιγραφής των δεδομένων του δικτύου Exodus στο Bitcoin blockchain, η χρήση του BFT ως αλγόριθμου αποδοχής που δεν απαιτεί mining ή ανταλλαγή κρυπτονομίσματος για τη λειτουργία του, η υλοποίηση σε Rust για λιγότερα σφάλματα και καλύτερη απόδοση, η τροποποίηση διαφόρων κανόνων του συστήματος για περαιτέρω παραμετροποίηση και κάλυψη των αναγκών των χρηστών.

### 3. Ερευνητικές προσεγγίσεις σχετικές με εφαρμογή του blockchain στον κύκλο ζωής προϊόντος

Η επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης παρουσιάζει προκλήσεις που απαιτούν συλλογικές προσπάθειες τόσο από τον δημόσιο όσο και από τον ιδιωτικό τομέα, συμπεριλαμβανομένων των επιχειρήσεων και των ιδιωτών. Είναι ζωτικής σημασίας για τις επιχειρήσεις να ευθυγραμμίσουν τις επιχειρησιακές τους στρατηγικές με τους Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης του ΟΗΕ (SDGs). Αυτοί οι τρεις πυλώνες βιωσιμότητας μεταφράζονται σε δέσμευση και απόδοση μιας εταιρείας σε θέματα Περιβαλλοντικής, Κοινωνικής και Διακυβέρνησης (ESG).

Η περιβαλλοντική δέσμευση σχετίζεται με τον εξωτερικό αντίκτυπο που έχει μια εταιρεία στο περιβάλλον λόγω των δραστηριοτήτων της. Τα βασικά κριτήρια για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα περιλαμβάνουν τη χρήση πόρων, την ενεργειακή απόδοση, την παραγωγή αποβλήτων και τις εκπομπές από επιχειρηματικές δραστηριότητες [88]. Η κοινωνική ισότητα περιλαμβάνει θέματα όπως η υγεία και η ασφάλεια στο χώρο εργασίας, η διαφορετικότητα και οι ίσες ευκαιρίες, οι μισθολογικές διαφορές με βάση το φύλο ή την καταγωγή και η παιδική εργασία [89]. Οι επιδόσεις διακυβέρνησης σχετίζονται με τη μακροπρόθεσμη κερδοφορία και επιτυχία μιας εταιρείας, καλύπτοντας εσωτερικές υποθέσεις όπως η επικοινωνία με τα ενδιαφερόμενα μέρη, όπως περιγράφεται στην έκθεση μεθοδολογίας αξιολόγησης ESG 2019 που παρέχεται από τη Morgan Stanley Capital International [90]. Αυτό το πλαίσιο αξιολόγησης ESG είναι ευρέως αποδεκτό και χρησιμοποιείται από τις εταιρείες για τη μέτρηση της δέσμευσης και της απόδοσής τους στη βιωσιμότητα [91]. Οι Saberi et al. [92] υπογραμμίζουν την αυξανόμενη τάση εφαρμογής της τεχνολογίας blockchain στις αλυσίδες εφοδιασμού. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται εμβάθυνση σε κάθε δείκτη στο πλαίσιο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και διερευνάται πώς τα μοναδικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain μπορούν δυνητικά να ενισχύσουν την απόδοση ESG σε όλες τις αλυσίδες εφοδιασμού.

Η περιβαλλοντική βιωσιμότητα αντιμετωπίζει τη δίκαιη κατανομή των οφελών από τους φυσικούς πόρους και τις περιβαλλοντικές ανέσεις μεταξύ των γενεών. Αυτό το θέμα έχει προσελκύσει εκτεταμένο ενδιαφέρον και πυροδότησε συζητήσεις μεταξύ ακαδημαϊκών, βιομηχανικών και κυβερνητικών φορέων [93]. Στο πλαίσιο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι ανησυχίες για την περιβαλλοντική βιωσιμότητα προκύπτουν σε δύο βασικά στάδια: πρώτον, στο σημείο όπου οι πρώτες ύλες λαμβάνονται από το περιβάλλον για παραγωγή και κατανάλωση, και δεύτερον, όπου η ρύπανση που προκύπτει από οικονομικές δραστηριότητες απορρίπτεται στο περιβάλλον.

Κατά την αρχική αλληλεπίδραση φύσης και οικονομίας, οι οικονομικές δραστηριότητες μπορούν να οδηγήσουν στην εξάντληση και την υποβάθμιση των φυσικών πόρων, θέτοντας σε κίνδυνο τις μελλοντικές γενιές. Η επακόλουθη αλληλεπίδραση οικονομίας και φύσης συνδέεται συχνά με την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, περιλαμβάνοντας ζητήματα όπως η λειψυδρία, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η διάβρωση του εδάφους, τα

οποία επηρεάζουν την ανθρώπινη ευημερία από γενιά σε γενιά. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (EPA), οι αλυσίδες εφοδιασμού έχουν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας εταιρείας, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 40-60% του αποτυπώματος άνθρακα μιας κατασκευαστικής εταιρείας και το 80% του αποτυπώματος άνθρακα μιας μη κατασκευαστικής εταιρείας [94].

Οι βέλτιστες πρακτικές διαχείρισης και οι πολιτικές προστασίας του περιβάλλοντος είναι ζωτικής σημασίας για την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας εντός των αλυσίδων εφοδιασμού [93]. Ο Sarkis [88] προτείνει ένα στρατηγικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων για τη διαχείριση της πράσινης εφοδιαστικής αλυσίδας που δίνει έμφαση στη δυναμική σχέση μεταξύ των επιχειρήσεων και του φυσικού περιβάλλοντος. Αυτός ο δυναμισμός απαιτεί ένα σύστημα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο για την παροχή ενημερωμένων πληροφοριών ταυτόχρονα σε όλους τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η τεχνολογία blockchain -με τα εγγενή της χαρακτηριστικά ιχνηλασιμότητας, αξιοπιστίας, συγχρονισμένης διαδικασίας συναλλαγών και αποδοτικότητας κόστους-παρουσιάζει μια αποτελεσματική εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές εταιρικές πολιτικές και πρακτικές για την προώθηση της περιβαλλοντικής βιωσιμότητας [4].

Συγκεκριμένα, η τεχνολογία blockchain μπορεί να ενισχύσει ορισμένους βασικούς δείκτες:

(i) Περιβαλλοντική μείωση εκπομπών: Το blockchain επιτρέπει στους συμμετέχοντες στην εφοδιαστική αλυσίδα να εντοπίζουν τη θέση και την ποσότητα των εκπομπών, όπως εκπομπές άνθρακα, λύματα ή τοξικούς ρύπους, σε κάθε βήμα. Κατά συνέπεια, μπορούν να αναλάβουν δράση για να ευθυγραμμιστούν με τις περιβαλλοντικές πολιτικές. Επιπλέον, κάθε συμμετέχων μπορεί να διασφαλίσει ότι οι εταίροι του συμμορφώνονται με όλους τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Τέτοιοι έλεγχοι και ισορροπίες ενθαρρύνουν ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού να μειώσει ενεργά τις περιβαλλοντικές της εκπομπές.

(ii) Διαχείριση πόρων: Το blockchain επιτρέπει την παρακολούθηση της προέλευσης των πρώτων υλών, βοηθώντας στην αποφυγή της υπερεξόρυξης και της υπερχρησιμοποίησης των φυσικών πόρων, αποτρέποντας έτσι ζητήματα όπως η αποψίλωση των δασών.

(iii) Διαχείριση απορριμμάτων: Το blockchain επιτρέπει στις επιχειρήσεις να παρακολουθούν τα απόβλητά τους [95], επιτρέποντας την ανακύκλωση, την επαναχρησιμοποίηση ή την κατάλληλη διάθεση. Για παράδειγμα, το IBM Food Trust επιτρέπει στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων να παρακολουθεί τα απόβλητα τροφίμων [96], ελαχιστοποιώντας το κόστος για τους χρήστες blockchain και προστατεύοντας το περιβάλλον.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ η ενεργειακή απόδοση μπορεί επίσης να επωφεληθεί από την τεχνολογία blockchain, αυτός ο τομέας συνήθως δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας και αφήνεται για μελλοντική έρευνα. Ωστόσο, οι εμπειρικές μελέτες που καταδεικνύουν σε ποιο βαθμό η τεχνολογία

blockchain μπορεί να εξασφαλίσει ένα βιώσιμο ποσοστό χρήσης πόρων εξακολουθούν να απουσιάζουν.

Η κοινωνική βιωσιμότητα αφορά τον αντίκτυπο μιας επιχείρησης στους εργαζόμενους, τους πελάτες και τις τοπικές κοινότητες, με στόχο την προώθηση μιας υγιούς κοινωνίας [97]. Παρά την αυξανόμενη συνειδητοποίηση της κοινωνικής βιωσιμότητας, παραμένει μια σχετικά ανεξερεύνητη πτυχή στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας [89]. Στο πλαίσιο των αλυσίδων εφοδιασμού, η κοινωνική βιωσιμότητα περιλαμβάνει την εξέταση των κοινωνικοοικονομικών συνθηκών που επηρεάζουν τους εμπλεκόμενους εργαζόμενους (όπως κατασκευαστές και προμηθευτές), με έμφαση σε πτυχές όπως η ασφάλεια και τα ανθρώπινα δικαιώματα [98].

Η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στις αλυσίδες εφοδιασμού μπορεί να συμβάλει θετικά στην κοινωνική βιωσιμότητα. Το Blockchain επιτρέπει στις αλυσίδες εφοδιασμού να διατηρούν ασφαλείς πληροφορίες, προστατεύοντας όλους τους ενδιαφερόμενους από τη διαφθορά - είτε πρόκειται για άτομα, κυβερνήσεις ή οργανισμούς. Το μοναδικό χαρακτηριστικό του blockchain που επιτρέπει μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα να αλλάζουν τις πληροφορίες ενισχύει τη διαφάνεια και την υπευθυνότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτή η διαφάνεια προωθεί τις προμήθειες από ηθικά συνεπείς προμηθευτές, καθώς τα αρχεία συναλλαγών για ολόκληρη τη διαδικασία είναι ανοιχτά προσβάσιμα και ελεγχόμενα. Οι Cartier et al. [99] ερευνούν πώς το blockchain μπορεί να αντιμετωπίσει κοινωνικά ζητήματα εντός της αλυσίδας εφοδιασμού της βιομηχανίας πολύτιμων λίθων, ιδιαίτερα όσον αφορά την προμήθεια. Οι ανήθικες διαδικασίες προμήθειας, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε παραβιάσεις των ανθρωπίνων δικαιωμάτων, αποτελούν σημαντική ανησυχία στη βιομηχανία διαμαντιών. Μια αλυσίδα εφοδιασμού που βασίζεται σε blockchain μπορεί να εξασφαλίσει διαφανείς διαδικασίες επαληθεύοντας τις λειτουργίες των προμηθευτών και αποτρέποντας πιθανά ανήθικα ζητήματα προμήθειας, όπως η παιδική εργασία και η εμπορία ανθρώπων. Ομοίως, η βιομηχανία της μόδας έχει πολλαπλά επίπεδα προμηθευτών, ορισμένοι από τους οποίους μπορεί να μην δίνουν προτεραιότητα στην κοινωνική βιωσιμότητα, οδηγώντας σε πιθανά ηθικά ζητήματα. Αυτές οι ανήθικες πρακτικές μπορούν να προκαλέσουν ζημιά στη φήμη και οικονομική απώλεια για όλους τους συνδεδεμένους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού [100]. Η τεχνολογία blockchain αυξάνει την ορατότητα και αποτρέπει τέτοιες ανήθικες προμήθειες ενισχύοντας τη διαφάνεια.

Οι Hastig και Sodhi [101] προτείνουν τη χρήση δεικτών όπως η παιδική εργασία, η αγροτική φτώχεια και ο δείκτης βιοτικού επιπέδου για την αξιολόγηση της κοινωνικής βιωσιμότητας μιας αλυσίδας εφοδιασμού που βασίζεται σε blockchain. Για παράδειγμα, οι Heo και Hao [102] συζητούν πώς το blockchain της Walmart με το σύστημα εμπιστοσύνης τροφίμων της IBM αποτελεί παράδειγμα ασφάλειας, μια βασική πτυχή της κοινωνικής βιωσιμότητας. Αυτό το σύστημα επιτρέπει σε όλους τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού να έχουν πρόσβαση σε ζωτικά δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων προέλευσης του αγροκτήματος, εργοστασίων και δεδομένων επεξεργασίας, ημερομηνίες λήξης και λεπτομέρειες παράδοσης. Οι Li et al. [103]



προτείνουν κριτήρια αξιολόγησης από κοινωνική άποψη με βάση μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, προτείνοντας την αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την υγεία στην εργασία ως πιθανούς δείκτες. Συμπερασματικά, η τεχνολογία blockchain παρέχει ασφαλείς και αμετάβλητες πληροφορίες εντός των αλυσίδων εφοδιασμού, ενισχύοντας την κοινωνική βιωσιμότητα και τις σχετικές διαστάσεις της. Η διαφάνειά του αποτρέπει τη διαφθορά και την εξαπάτηση από τους συμμετέχοντες και υποστηρίζει την ηθική διαδικασία προμηθειών, προσφέροντας σαφές ιστορικό προϊόντων. Ως εκ τούτου, η τεχνολογία blockchain συμβάλλει στην προστασία των ανθρωπίνων και εργασιακών δικαιωμάτων και στην προώθηση ασφαλών και υγιών επιχειρηματικών περιβαλλόντων εντός των αλυσίδων εφοδιασμού.

Η οικονομική βιωσιμότητα χαρακτηρίζεται από την ικανότητα μιας οικονομίας να επιτύχει σταθερή ανάπτυξη χωρίς να διακυβεύεται η κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Στο πλαίσιο της εταιρικής διαχείρισης και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, η πτυχή της οικονομικής βιωσιμότητας συνδέεται συχνά με τη διακυβέρνηση. Αυτό απαιτεί τη δημιουργία ενός ισχυρού πλαισίου διαχείρισης που προάγει τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και τη λογοδοσία, ενισχύοντας έτσι τις σχέσεις με εξωτερικούς ενδιαφερόμενους και προσελκύοντας πιθανούς επενδυτές. Η αποτελεσματική βιώσιμη διακυβέρνηση συμβάλλει στη μακροπρόθεσμη επιτυχία των αλυσίδων εφοδιασμού καθώς ενισχύει την ανταγωνιστικότητα, προωθεί την υγιή και διαφανή εταιρική διαχείριση, αυξάνει την κερδοφορία και υποστηρίζει την ανάπτυξη των άλλων δύο πυλώνων βιωσιμότητας [104]. Ωστόσο, η βιώσιμη διακυβέρνηση αντιμετωπίζει πολλές πρακτικές προκλήσεις. Πρώτον, η ασυμμετρία πληροφοριών μεταξύ των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να υπονομεύσει τη διαφάνεια της δομής διαχείρισης. Αυτό το ζήτημα είναι ιδιαίτερα εμφανές στις παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού, εν μέρει λόγω της αυξημένης εξωτερικής ανάθεσης. Δεύτερον, η αξιοπιστία αποτελεί σημαντική ανησυχία για τις επιδόσεις διακυβέρνησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, με πιθανότητα σφαλμάτων ή διαφθοράς λόγω των συστημάτων συναλλαγών. Τέλος, η επίτευξη ιχνηλασιμότητας και αξιοπιστίας με ελάχιστο κόστος αποτελεί πρόκληση στην παραδοσιακή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς απαιτεί σημαντικές επενδύσεις και προσπάθεια για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό ολόκληρης της αλυσίδας εφοδιασμού. Ενώ ορισμένες αλυσίδες εφοδιασμού υιοθετούν εθελοντικά συστήματα αυτορρύθμισης, όπως το παγκόσμιο σύστημα διαχείρισης (ISO 14000), αυτή η προσέγγιση δεν επιλύει πλήρως αυτές τις προκλήσεις.

Οι βασικοί μοχλοί της βιώσιμης διακυβέρνησης εμπίπτουν γενικά σε δύο κατηγορίες: την εταιρική διακυβέρνηση και την εταιρική συμπεριφορά. Σύμφωνα με την MSCI ESG Research του 2019, οι δραστηριότητες του διοικητικού συμβουλίου, η ιδιοκτησία και η λογοδοσία μπορούν να χρησιμεύσουν ως δείκτες για την πρώτη, ενώ η ηθική της ηγεσίας, η διαφθορά, οι αντιανταγωνιστικές πρακτικές, η αστάθεια του χρηματοπιστωτικού συστήματος και η φορολογική διαφάνεια μπορούν να υποδεικνύουν τη δεύτερη κατηγορία. Αυτοί οι δείκτες ευθυγραμμίζονται με τους Hastig και Sodhi [101], οι οποίοι τονίζουν ότι οι δυνατότητες, οι συνεργασίες, η τεχνολογική ετοιμότητα, οι πρακτικές της

εφοδιαστικής αλυσίδας, η ηγεσία και η ιχνηλασιμότητα μπορούν να συμβάλουν στην επιτυχή διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες, η τεχνολογία blockchain μπορεί δυνητικά να βελτιώσει την απόδοση διακυβέρνησης της εφοδιαστικής αλυσίδας, με τρεις κύριους τρόπους. Πρώτον, παρέχει στους συμμετέχοντες άμεση πρόσβαση σε ακριβείς και αξιόπιστες πληροφορίες, επιτρέποντας μια διαφανή και ταχεία διαδικασία συναλλαγής. Δεύτερον, προσφέρει μια λύση στην ασυμμετρία πληροφοριών μέσω της χρήσης έξυπνων συμβολαίων. Αυτές οι συμβάσεις εκτελούν συναλλαγές μόνο όταν συμφωνούν όλοι οι συμμετέχοντες, διασφαλίζοντας τη συμμετρία πληροφοριών μεταξύ των υπαρχόντων και των μεταγενέστερων εταίρων και μειώνοντας έτσι πιθανή διαφθορά ή σφάλματα [89]. Τέλος, το blockchain μπορεί να αποθηκεύσει τα ιστορικά δεδομένα απόδοσης ενός συμμετέχοντος στην αλυσίδα εφοδιασμού (π.χ. έγκαιρες παραδόσεις ή πληρωμές), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της εμπιστοσύνης και της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων.

Βασιζόμενοι σε όσα ήδη αναφέρθηκαν, εξετάζονται δύο περιπτώσιολογικές μελέτες για να προσδιοριστεί εάν η τεχνολογία blockchain μπορεί να βελτιώσει έμμεσα τους τρεις δείκτες βιωσιμότητας στις αλυσίδες εφοδιασμού. Η αξιολόγησή βασίζεται στα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain και στον τρόπο με τον οποίο συνδέονται με τους τρεις πυλώνες της βιωσιμότητας.

### **Σκέψεις για την Εφοδιαστική Αλυσίδα της Walmart που βασίζεται σε blockchain**

Οι παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού εξαρτώνται από χειροκίνητες λειτουργίες, προκαλώντας μια μακρά διαδικασία εντοπισμού της προέλευσης και των οδών των μη ασφαλών τροφίμων. Διάφορες ασθένειες (π.χ. Escherichia coli) έχουν εμφανιστεί από επικίνδυνα τρόφιμα με την πάροδο των ετών. Η Walmart έχει αντιμετωπίσει εκτεταμένα διατροφικά σκάνδαλα σχετικά με το γάλα και το βρεφικό γάλα στην Κίνα, με πάνω από 300.000 άτομα να επηρεάζονται αρνητικά [105]. Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια, οι αλυσίδες εφοδιασμού χρειάζονται επαλήθευση με την παρακολούθηση της πηγής πιθανής μόλυνσης των τροφίμων, κάτι που απαιτεί ταχεία και ακριβή αναγνώριση. Ωστόσο, οι εταιρείες συχνά συναλλάσσονται με πολλούς προμηθευτές και πελάτες, με αποτέλεσμα υπερφόρτωση πληροφοριών σχετικά με προϊόντα, τιμές, εργατικό δυναμικό και τεκμηρίωση. Η Walmart διαπίστωσε ότι μπορεί να χρειαστούν αρκετές ημέρες για να εντοπιστεί η προέλευση ενός προϊόντος, υποδεικνύοντας την ανάγκη για βελτιωμένη ιχνηλασιμότητα στις αλυσίδες εφοδιασμού τους. Σε απάντηση, τον Οκτώβριο του 2016, η Walmart ξεκίνησε ένα έργο που χρησιμοποιεί τεχνολογία blockchain με το πρόγραμμα IBM Food Trust για τον εξορθολογισμό της διαδικασίας διανομής τροφίμων.

### **Πιλοτικό έργο της Walmart που βασίζεται σε αλυσίδα εφοδιασμού**

Συγκεκριμένα, η Walmart υλοποίησε δύο πιλοτικά έργα με στόχο την ενίσχυση της ασφάλειας των τροφίμων στις αλυσίδες εφοδιασμού προϊόντων χοιρινού κρέατος και μάνγκο χρησιμοποιώντας τεχνολογία blockchain. Εντόπισαν τα προϊόντα χοιρινού κρέατος στην Κίνα από την προέλευσή τους (π.χ. φάρμες) έως τους τελικούς

προορισμούς τους (π.χ. Walmart στην Κίνα), ενισχύοντας την ασφάλεια των τροφίμων. Άρχισαν επίσης να παρακολουθούν μάνγκο από τη Λατινική Αμερική στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπως περιγράφεται λεπτομερώς στην Έκθεση Παγκόσμιας Υπευθυνότητας Walmart του 2017. Όλες οι σχετικές πληροφορίες σε κάθε στάδιο της παράδοσης τροφίμων - από τον προμηθευτή στον καταναλωτή - όπως η προέλευση, ο αριθμός παρτίδας, το εργοστάσιο, τα δεδομένα επεξεργασίας και οι λεπτομέρειες μεταφοράς, καταγράφηκαν στο blockchain σε πραγματικό χρόνο. Κατά συνέπεια, η Walmart βελτίωσε σημαντικά το σύστημα εφοδιαστικής της αλυσίδας με τεχνολογία blockchain, μειώνοντας τον χρόνο παρακολούθησης για ένα πακέτο μάνγκο σε φέτες από έξι ημέρες σε μόλις 2,2 δευτερόλεπτα.

### **Ο αντίκτυπος των Εφοδιαστικών Αλυσίδων που βασίζονται σε Blockchain**

Μετά από επιτυχημένους πιλότους με προϊόντα χοιρινού και μάνγκο, η Walmart έδωσε εντολή σε όλους τους προμηθευτές φρέσκων φυλλωδών λαχανικών να χρησιμοποιήσουν το σύστημα blockchain τους. Επιπλέον, η Walmart επέκτεινε τη χρήση της τεχνολογίας blockchain για να εντοπίσει την προέλευση διαφόρων τροφίμων όπως οι φράουλες, το κοτόπουλο, το γιαούρτι και οι παιδικές τροφές χρησιμοποιώντας το Hyperledger Fabric το 2018 [106]. Αυτή η εξέλιξη δείχνει ότι το σύστημα αλυσίδας εφοδιασμού που βασίζεται σε blockchain βοηθά στην παρακολούθηση προϊόντων και ενισχύει την εμπιστοσύνη μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (π.χ. προμηθευτές και πελάτες) παρέχοντας ακριβείς και διαφανείς πληροφορίες σχετικά με την προέλευση και τις διαδικασίες του προϊόντος. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει την πιο αποτελεσματική συνεργασία στις αλυσίδες εφοδιασμού για ανταλλαγή πληροφοριών, με τους προμηθευτές που απαιτείται να ανεβάζουν δεδομένα μέσω του συστήματος blockchain [107]. Τελικά, αυτή η βελτιωμένη ιχνηλασιμότητα έχει επιπτώσεις στους περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και πυλώνες διακυβέρνησης των αλυσίδων εφοδιασμού τους.

### **Ο αντίκτυπος του Food Trust στη βιωσιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων της Walmart**

Σύμφωνα με τη συζήτησή μας, ο πρωταρχικός στόχος της αξιολόγησής μας είναι να εξακριβώσουμε εάν και σε ποιο βαθμό το πρόγραμμα Food Trust της IBM, που υποστηρίζεται από την τεχνολογία blockchain, ενισχύει τη βιωσιμότητα στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων της Walmart. Με αυτόν τον τρόπο, εστιάζουμε σε τρεις βασικούς δείκτες απόδοσης: διαχείριση απορριμμάτων τροφίμων, ασφάλεια τροφίμων και υγεία και διατροφή των προϊόντων. Αυτοί οι δείκτες αποτελούν τον ακρογωνιαίο λίθο οποιασδήποτε αλυσίδας εφοδιασμού τροφίμων, δεδομένης της ισχυρής σύνδεσής τους με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα μέσω της διαχείρισης των απορριμμάτων, την κοινωνική βιωσιμότητα μέσω της προστασίας της ευημερίας των καταναλωτών και τη βιωσιμότητα της διακυβέρνησης με μείωση του κόστους.

### **Ο ρόλος του Blockchain στη διαχείριση των απορριμμάτων τροφίμων**

Το 2005, η Walmart ξεκίνησε μια πρωτοβουλία μείωσης απορριμμάτων με την ονομασία Zero Waste, με στόχο να μειώσει τα απορρίμματα καταστημάτων κατά 25% έως το 2008,

περιλαμβάνοντας διάφορες κατηγορίες απορριμμάτων όπως χαρτόνι, πλαστικά, μέταλλα, απορρίματα τροφίμων, γυαλί και ξύλο (σύμφωνα με την Walmart Sustainability Report, η επίτευξη του στόχου του 5% θα ισοδυναμούσε με την αφαίρεση 213.000 φορτηγών από το δρόμο ετησίως και την εξοικονόμηση 323.800 τόνων άνθρακα και 66,7 εκατομμυρίων γαλονιών καυσίμου ντίζελ). Σύμφωνα με την ετήσια έκθεσή της για τη βιωσιμότητα, η Walmart έχει μειώσει επιτυχώς τα απόβλητα με την πάροδο του χρόνου, κυρίως μέσω της μείωσης του χαρτονιού, με λιγότερη έμφαση σε άλλους τύπους απορριμμάτων, ιδίως στα απόβλητα τροφίμων. Το 2014, η Walmart ξεκίνησε μια εκστρατεία με στόχο τη μείωση της σπατάλης τροφίμων, αλλά ο στόχος του 2015 δεν επιτεύχθηκε λόγω ανεπαρκών δυνατοτήτων μέτρησης και διαχείρισης του συστήματος παρακολούθησης απορριμμάτων τροφίμων.

Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, η Walmart έθεσε έναν νέο στόχο το 2016, το Zero Waste Future, που εξετάζει ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων από τη γεωργία έως την παραγωγή και τους καταναλωτές. Ταυτόχρονα, το σύστημα παρακολούθησης απορριμμάτων τροφίμων βελτιώθηκε με την ενσωμάτωση του IBM Food Trust στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Αυτή η πλατφόρμα αναπτύσσει ένα έξυπνο σύστημα για την παρακολούθηση των απορριμμάτων σε κάθε στάδιο της τροφικής αλυσίδας, επιτρέποντας έτσι στη Walmart να αξιολογεί με ακρίβεια τη διάρκεια ζωής του προϊόντος και να αναπτύσσει επαρκή σχέδια φρεσκάδας. Αυτό οδηγεί σε πιο αποτελεσματική και αποδοτική διαχείριση των απορριμμάτων κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας. Επιπλέον, ενισχύει την περιβαλλοντική βιωσιμότητα παρακολουθώντας και ανακυκλώνοντας τις συσκευασίες τροφίμων, μια σημαντική πηγή απορριμμάτων [95]. Μέχρι το τέλος του 2016, η Walmart είχε μειώσει επιτυχώς τη σπατάλη τροφίμων κατά 15,3% (Walmart Global Responsibility Report, 2016), εκτρέποντας πάνω από 1,6 δισεκατομμύρια δολάρια απορριμμάτων τροφίμων από χωματερές παγκοσμίως έως το 2018 (πάνω από 1,4 δισεκατομμύρια το 2019) (Η μέτρηση στις μειώσεις στα απορρίματα τροφίμων πραγματοποιείται ως εξής: μετρική μέτρησης = συνολικό βάρος τρόφιμου που δεν εκτρέπεται σε λίβρες/συνολικό βάρος όλων των τροφίμων που πωλούνται σε λίβρες). Αυτό το επίτευγμα επέφερε στη Walmart την υψηλότερη βαθμολογία μεταξύ των αξιολογηθέντων σουπερμάρκετ σε εθνικό επίπεδο στη μελέτη απορριμμάτων τροφίμων του Κέντρου Βιολογικής Ποικιλότητας, σύμφωνα με την Παγκόσμια Έκθεση Υπευθυνότητας Walmart για το 2019 και το 2020.

### **Ο αντίκτυπος του Blockchain στην ασφάλεια των τροφίμων, την υγεία και τη διατροφή**

Η IBM Food Trust αξιοποιεί την τεχνολογία blockchain για να διασφαλίσει την ασφάλεια των τροφίμων. Όλοι οι συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού και οι καταναλωτές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε αξιόπιστες, διαφανείς πληροφορίες σχετικά με την προμήθεια συστατικών και την ιχνηλάτηση της προέλευσης και της διασποράς σε περίπτωση μόλυνσης και τροφιμογενούς ασθένειας [96]. Αυτή η διαφάνεια ενισχύει την ευημερία των καταναλωτών και βοηθά στην αποφυγή πρόσθετου κόστους για την κοινωνία και τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού. Στην πράξη, η Walmart

συνεργάζεται με αναγνωρισμένους εταίρους για τη διατήρηση της λογοδοσίας, η οποία βασίζεται στην αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ των εταιρών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Συγκεκριμένα, το 2017, η Walmart συνεργάστηκε με την IBM και το Πανεπιστήμιο Tsinghua για να βελτιώσει την ασφάλεια των τροφίμων χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας με τεχνολογία blockchain στην Κίνα, μετά από παρόμοια εφαρμογή στις ΗΠΑ το 2018 για φυλλώδη προϊόντα. Σύμφωνα με την Παγκόσμια Έκθεση Αειφορίας της Walmart, αυτές οι πρωτοβουλίες βελτίωσαν σημαντικά τα θέματα ασφάλειας των τροφίμων.

Η τεχνολογία Blockchain παρέχει ορατότητα και διαφάνεια στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, εκθέτοντας ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος από το αγρόκτημα στο τραπέζι. Οι καταναλωτές μπορούν να έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τα συστατικά και την προέλευση οποιουδήποτε προϊόντος σε λίγα δευτερόλεπτα, προωθώντας τη γνώση για την υγεία και τη διατροφή.

### **Αντίκτυπος στη συνολική βιωσιμότητα της Walmart**

Ερευνούμε περαιτέρω εάν το πρόγραμμα IBM Food Trust ενισχύει τη συνολική βιώσιμη απόδοση της Walmart. Η Walmart αναφέρει τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και διοικητικές επιδόσεις της από το 2005, καλύπτοντας μια σειρά θεμάτων όπως στόχους, δεσμεύσεις, πρωτοβουλίες, προσεγγίσεις και πρόοδο ESG. Η απόδοση του ESG έχει βελτιωθεί σταθερά, ειδικά μετά το 2016, όταν το πρόγραμμα IBM Food Trust εισήχθη για πρώτη φορά στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων της. Για να μετριάσουν οι προκαταλήψεις, συλλέχθηκαν επίσης βαθμολογίες ESG μεταξύ 2014 και 2020 από τις αξιολογήσεις CSRHub [108]. Αυτά τα δεδομένα, που συλλέγονται από διάφορες πηγές, όπως εταιρείες ανάλυσης ESG, ΜΚΟ, κυβερνητικές βάσεις δεδομένων, δημοσιεύσεις και ερευνητικές εκθέσεις, στη συνέχεια μετατρέπονται σε μια κλίμακα από το 1 έως το 100, με το 100 να είναι η καλύτερη βαθμολογία. Γενικά, οι αυτοαξιολογήσεις που αναφέρονται στην ετήσια έκθεση ευθύνης της Walmart ευθυγραμμίζονται με αυτές τις αξιολογήσεις. Οι συνολικές αξιολογήσεις ESG αυξήθηκαν μετά το δεύτερο τρίμηνο του 2016 και σταδιακά ανέβηκαν μέχρι το 2019, όταν σημειώθηκε μια άλλη ελαφρά αύξηση.

Ως συμπληρωματική απόδειξη για την περιβαλλοντική απόδοση της Walmart, εφαρμόστηκε το πλαίσιο μέτρησης του αντίκτυπου προϊόντος της Πρωτοβουλίας Impact-Weighted Accounts Initiative (IWAI) που παρέχεται από το Harvard Business School [109]. Μπορούμε να εξάγουμε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα, σχεδιάζοντας τη νομισματική περιβαλλοντική ένταση της Walmart από το 2010 έως το 2018 χρησιμοποιώντας δύο μετρήσεις: "Συνολική Περιβαλλοντική Επίπτωση (Έσοδα)", που αντικατοπτρίζει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της εταιρείας των εκπομπών νερού και αέρα ανά μονάδα πωλήσεων και "Συνολική Περιβαλλοντική Επίπτωση (Λειτουργικά Έσοδα)", που αντιπροσωπεύει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ανά μονάδα λειτουργικού εισοδήματος. Αυτό μας επιτρέπει να παρακολουθούμε τη χρηματική αξία των περιβαλλοντικών επιπτώσεων τους με την πάροδο του χρόνου, συμπεριλαμβανομένης της πριν και μετά την υιοθέτηση του προγράμματος IBM Food Trust το 2016. Η περιβαλλοντική ζημιά ανά μονάδα πωλήσεων μειώθηκε σταθερά με την πάροδο του

χρόνου, ιδιαίτερα μετά το 2016, ενώ η περιβαλλοντική ζημία ανά λειτουργικό εισόδημα αυξήθηκε ελαφρά μετά το 2016 αλλά άρχισε να μειώνεται από το 2017 και μετά. Αν και η περιβαλλοντική ένταση όσον αφορά τα λειτουργικά έσοδα παρουσίασε υστέρηση στην επίδειξη των επιπτώσεων, συνολικά, οι περιβαλλοντικές επιδόσεις σημείωσαν σημαντική βελτίωση μετά το 2016. Αυτό είναι σύμφωνο με το συμπέρασμα που εξάχθηκε χρησιμοποιώντας τη βαθμολογία ESG και την αναφορά Walmart Sustainable, όπως συζητήθηκε προηγουμένως.

### **Εισαγωγή στο TradeLens: Πλατφόρμα Εφοδιαστικής Αλυσίδας Βασισμένη σε Blockchain της Maersk και της IBM**

Τον Δεκέμβριο του 2018, η Maersk, ένας ναυτιλιακός οργανισμός all-in-one, ξεκίνησε ένα πείραμα με την τεχνολογία blockchain για να βελτιώσει τη διαφάνεια των δραστηριοτήτων της παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού. Σε συνεργασία με την IBM, αποκάλυψαν μια πλατφόρμα που βασίζεται σε blockchain, γνωστή ως "TradeLens", σχεδιασμένη για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών logistics [110]. Η ναυτιλιακή βιομηχανία αποτελείται από διάφορους μεσάζοντες, οδηγώντας σε μια μακρά αλυσίδα αξίας που περιλαμβάνει χειροκίνητες διαδικασίες στις αλυσίδες εφοδιασμού της. Η Maersk είχε ως στόχο να αυξήσει τη διαφάνεια της παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού της και να επιταχύνει το παγκόσμιο εμπόριο μέσω της πλατφόρμας "TradeLens", παρέχοντας στους χρήστες ένα "απλό, ασφαλές και σε πραγματικό χρόνο περιβάλλον" για τις συναλλαγές [111].

Μέχρι το 2019, η πλατφόρμα TradeLens χρησιμοποιήθηκε από περισσότερα από 60 μέλη εντός του δικτύου, συμπεριλαμβανομένων των αερομεταφορέων ωκεανού και εσωτερικού, παγκόσμιων λιμένων, τερματικών σταθμών και τελωνειακών αρχών. Σύμφωνα με την έκθεση βιωσιμότητας της Maersk 2019, μια μελέτη των τάσεων του εμπορίου στο τερματικό της στην Ινδία αποκάλυψε ότι οι απλουστευμένες διαδικασίες συναλλαγών του συστήματος που βασίζεται σε blockchain είχαν μειώσει το συνολικό λειτουργικό κόστος. Συγκεκριμένα, τόσο οι εξαγωγείς όσο και οι εισαγωγείς στη Βομβάη παρουσίασαν μείωση του συνολικού κόστους κατά 15% μετά την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain. Σύμφωνα με τον Westergaard-Kabelmann (2019), ο μέσος χρόνος για εργασίες που σχετίζονται με την τεκμηρίωση μειώθηκε σημαντικά λόγω του ασφαλούς, απλού συστήματος ανταλλαγής με αμετάβλητες ψηφιακές ροές εργασίας μεταξύ όλων των συνεργατών μέσω του συστήματος αλυσίδας εφοδιασμού που βασίζεται σε blockchain.

Η έρευνα δείχνει ότι η τεχνολογία blockchain μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την απόδοση βιωσιμότητας της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Για παράδειγμα, οι Jovic et al. [112] πραγματοποίησαν μια ολοκληρωμένη ανασκόπηση του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα που βασίζονται σε blockchain ενισχύουν τη βιωσιμότητα των θαλάσσιων μεταφορών. Η υιοθέτηση ενός ηλεκτρονικού συστήματος γραφειοκρατίας μέσω blockchain μειώνει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση του περιβάλλοντος. Επιπλέον, μια βιώσιμη αλυσίδα εφοδιασμού ενισχύει τις επιδόσεις της εφοδιαστικής, μειώνοντας τελικά τις εκπομπές και παρέχοντας οφέλη για τη δημόσια υγεία και την εθνική φήμη [113]. Επιπλέον, προωθεί την οικονομική ανάπτυξη μειώνοντας

το κόστος αποστολής και βελτιώνοντας την προβολή. Οι άμεσες συναλλαγές σε ένα σύστημα που βασίζεται σε blockchain βελτιώνουν τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας αφαιρώντας τους μεσίτες, οι οποίοι παραδοσιακά συμμετείχαν στις μη αυτόματες διαδικασίες της ναυτιλιακής βιομηχανίας. Από την άποψη της κοινωνικής βιωσιμότητας, τα συστήματα blockchain μπορούν να ενισχύσουν τα ανθρώπινα δικαιώματα και να προωθήσουν δίκαια εργασιακά περιβάλλοντα διατηρώντας ένα διαφανές, αμετάβλητο σύστημα αρχείων [92].

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι σαφές ότι υπάρχουν πολλά πιθανά πλεονεκτήματα στη βιωσιμότητα από το σύστημα που βασίζεται σε blockchain στον τομέα της εφοδιαστικής. Στην επόμενη ενότητα, θα εμβαθύνουμε στο πώς θα μπορούσε να ενισχυθεί η απόδοση βιωσιμότητας της Maersk με την υιοθέτηση του TradeLens.

### **Ο αντίκτυπος του TradeLens στη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας της Maersk**

Παρόλο που η Maersk ξεκίνησε ένα πιλοτικό πρόγραμμα χρησιμοποιώντας το TradeLens το 2018, δεν υπάρχουν άμεσες ενδείξεις που να δείχνουν βελτίωση της απόδοσης βιωσιμότητας στις ετήσιες εκθέσεις της. Δυστυχώς, δεν είμαστε σε θέση να πραγματοποιήσουμε μια ανεξάρτητη αξιολόγηση της απόδοσης βιωσιμότητας της Maersk χρησιμοποιώντας το CSRHub ή το IWAI, όπως κάναμε για τη Walmart. Ωστόσο, έμμεσα στοιχεία στην ετήσια έκθεση της Maersk υποδηλώνουν ότι το σύστημα που βασίζεται σε blockchain έχει επηρεάσει τη συνολική τους απόδοση βιωσιμότητας. Στην Έκθεση Βιωσιμότητας 2018 της Maersk, η Διευθύνουσα Σύμβουλος κα Skou δήλωσε ότι η Maersk συνεχίζει να αναπτύσσει τη λύση τεκμηρίωσης blockchain, TradeLens, για να βελτιώσει την εμπειρία των πελατών της και να δημιουργήσει πρόσβαση στο εμπόριο, καθώς η ψηφιοποίηση πληροφοριών μπορεί να μειώσει το κόστος του εμπορίου, να μειώσει την εμφάνιση τη διαφθορά και τη στήριξη της δημιουργίας θέσεων εργασίας. Αυτή η δήλωση δείχνει ότι η Maersk αναμένει να βελτιώσει οικονομικές πτυχές όπως το κόστος του εμπορίου και την κοινωνική βιωσιμότητα (π.χ. μείωση της διαφθοράς και προώθηση της δημιουργίας θέσεων εργασίας) με την εφαρμογή του TradeLens. Η Έκθεση Βιωσιμότητας 2019 εξετάζει επίσης πώς οι απλουστευμένες συναλλαγές της TradeLens θα μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση του κόστους. Αν και οι αναφορές δεν συνδέουν άμεσα την τεχνολογία blockchain με βελτιώσεις βιωσιμότητας, δείχνουν ξεκάθαρα τις δυνατότητες για σημαντικές βελτιώσεις στο μέλλον.

### **Η τεχνολογία blockchain στον κατασκευαστικό κλάδο**

Η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των εμπλεκόμενων και αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις ευθύνης σε πολύπλοκα κατασκευαστικά προγράμματα [114]. Με την αυτοματοποίηση της εκτέλεσης κρίσιμων δραστηριοτήτων, η παραγωγικότητα μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπλέον, η υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain μπορεί να ενισχύσει τις ψηφιακές δυνατότητες σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ειδικά για τις μικρομεσαίες

επιχειρήσεις, παρέχοντας εύκολη πρόσβαση σε δεδομένα μέσω εφαρμογών και ιστοτόπων για κινητά. Εκτός από αυτά τα οφέλη, η τεχνολογία blockchain προωθεί την ενοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτώντας από όλους τους συμμετέχοντες να διατηρούν ενεργά αρχεία συναλλαγών. Αυτή η συλλογική προσέγγιση βοηθά στη μείωση του φαινομένου του σιλό που παρατηρείται σε αρκετούς κλάδους. Μια μελέτη περίπτωσης σε μια κοινοπραξία σε επίπεδο δικτύου εφοδιασμού καταδεικνύει τις πρακτικές επιπτώσεις της εφαρμογής της τεχνολογίας blockchain. Χρησιμοποιώντας ένα σύστημα με δυνατότητα blockchain, η κοινοπραξία μπόρεσε να οικοδομήσει εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών, να αυτοματοποιήσει τις διαδικασίες για την αύξηση της παραγωγικότητας και να ενισχύσει τις ψηφιακές δυνατότητες σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού.

Ο κατασκευαστικός κλάδος του Ηνωμένου Βασιλείου, ένας σημαντικός κλάδος που συνεισφέρει στην οικονομία, αντιμετωπίζει προκλήσεις λόγω κατακερματισμού, χαμηλής ψηφιακής ικανότητας και ζητημάτων παραγωγικότητας [115]. Για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις, μια ομάδα άνω των 100 οργανισμών, με επικεφαλής έναν εξειδικευμένο πάροχο υπηρεσιών, διερεύνησε τις δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain και των έξυπνων συμβάσεων στις αλυσίδες εφοδιασμού κατασκευών. Μέσα από μια σειρά εργαστηρίων από τον Ιούνιο του 2017 έως τον Μάιο του 2018, εμπειρογνώμονες του κλάδου από διάφορους οργανισμούς αξιολόγησαν συλλογικά τις δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της δημιουργίας αξίας του κλάδου. Τον Ιούλιο του 2018, μια μικρότερη ομάδα μελών σχημάτισε μια κοινοπραξία για να συνδημιουργήσει και να πιλοτάρει μια πρωτοβουλία smart contracts σε ένα εξουσιοδοτημένο blockchain. Η εστίαση ήταν να αντιμετωπιστεί η έλλειψη ορατότητας και διαφάνειας στις αλυσίδες εφοδιασμού, κάτι που είναι συνηθισμένο λόγω της πολύπλοκης και εξαιρετικά κατακερματισμένης φύσης των αλυσίδων εφοδιασμού κατασκευών. Ο στόχος ήταν να ολοκληρωθεί μια πιλοτική απόδειξη της ιδέας σε ένα μεγάλο έργο υποδομής με κρατική προμήθεια, με στόχο ένα υποσύνολο υλικών και εγκαταστάσεων, για την παρακολούθηση της παράδοσης και της ποιότητας σε σχέση με τους όρους και τις προϋποθέσεις της σύμβασης. Η κοινοπραξία περίμενε ότι η διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας και η διαδρομή ελέγχου των γεγονότων που παρέχονται από το σύστημα blockchain θα βελτιώσει την εμπιστοσύνη μεταξύ όλων των μερών, θα διευκολύνει και θα προωθήσει τις πληρωμές στους προμηθευτές και θα επιτρέψει στη διαχείριση έργου του προγράμματος να είναι προορατική και ευέλικτη στη διαχείριση και τον μετριασμό κινδύνου. Το πιλοτικό smart contract ξεκίνησε επίσημα τον Σεπτέμβριο του 2018 και ολοκληρώθηκε στα τέλη Δεκεμβρίου 2019. Αφού έλαβε πλήρες buy-in από τον πελάτη-στόχο στις αρχές του 2020, η πιλοτική προσέγγιση κρίθηκε επιτυχημένη, αποδεικνύοντας τη θετική επίδραση της τεχνολογίας blockchain στον κατασκευαστικό κλάδο [116].

Η έμφαση στη σημασία της συλλογικής κατανόησης μεταξύ των παραγόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή υιοθέτηση του blockchain σε πολύπλοκα κατασκευαστικά προγράμματα. Αυτή η διαδικασία βοηθά στη διαχείριση της ασάφειας και της αβεβαιότητας, ενώ επηρεάζει στρατηγικές επιλογές για μελλοντικές



ενέργειες και συναίνεση σε πιλοτικούς τομείς blockchain. Επιπλέον, είναι σημαντικό για ένα σύστημα blockchain να προσφέρει πολλαπλά οφέλη και να δημιουργεί αξία για όλους τους παράγοντες της εφοδιαστικής αλυσίδας στο οικοσύστημα. Μια σαφώς καθορισμένη, χωρίς αποκλεισμούς πρόταση αξίας πιθανότατα θα προσελκύσει περισσότερους συμμετέχοντες και θα επιτρέψει την κλιμάκωση ενός δικτύου αλυσίδας εφοδιασμού blockchain. Η πρόταση αξίας καθορίζει επίσης τη χρηματοδότηση, το μοντέλο λειτουργίας του δικτύου και τις βασικές δραστηριότητες. Επομένως, το blockchain θα πρέπει να αναπτυχθεί σε τομείς όπου προσθέτει αξία σε όλους τους παράγοντες του οικοσυστήματος της εφοδιαστικής αλυσίδας και η πρόταση αξίας του πρέπει να διατυπωθεί με σαφήνεια. Στη διαδικασία δημιουργίας μιας κοινοπραξίας για την εξερεύνηση της τεχνολογίας blockchain, μερικές εταιρείες συχνά συγκεντρώνονται οργανικά σε μια ομάδα εργασίας. Όταν αποφασιστεί να πιλοτάρουν την τεχνολογία για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα της εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι απαραίτητη μια πιο επίσημη σχέση. Είναι σημαντικό να σκιαγραφηθεί ο ελάχιστος αριθμός μελών που απαιτείται για τη δημιουργία ενός βιώσιμου οικοσυστήματος που υποστηρίζει και καθοδηγεί τις μελλοντικές δραστηριότητες. Μια βασική ιδέα είναι ότι η ύπαρξη μεγαλύτερων εταιρειών ως βασικών συμμετεχόντων μπορεί να χρησιμεύσει ως εφελκυστικό, παρέχοντας μεγαλύτερη εμπιστοσύνη και ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή επιπλέον βασικών μελών. Αυτές οι εταιρείες συνεισφέρουν την αξιοπιστία του κλάδου, τους οικονομικούς πόρους, τους ανθρώπινους πόρους και τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία. Το ιδρυτικό δίκτυο μπορεί να εξελιχθεί και να επεκταθεί, επιτρέποντας σε άλλους οργανισμούς να ενταχθούν μόλις η πλατφόρμα blockchain τεθεί σε παραγωγή και υιοθετηθεί ευρέως. Η ιδιοκτησία μπορεί επίσης να αλλάξει. Ανεξάρτητα από το πώς εξελίσσεται το δίκτυο, η οικοδόμηση της νομιμότητας του δικτύου είναι ζωτικής σημασίας σε διάφορα στάδια ανάπτυξης του δικτύου, από την ανακάλυψη και το σχεδιασμό μέχρι την πιλοτική εφαρμογή και την εκβιομηχάνιση. Η συνεχής ενίσχυση του σκεπτικού και των στόχων είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της συμμετοχής των εμπλεκόμενων και τη διασφάλιση της λειτουργίας του δικτύου εντός των ορίων των δηλωθέντων στόχων. Έτσι, ένα βιώσιμο οικοσύστημα blockchain χρειάζεται έναν ελάχιστο αριθμό παραγόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας ως βασικά μέλη για να εδραιώσει τη νομιμότητα και τη χρησιμότητά του [117].

Ένας εννοηστροπής εφοδιαστικής αλυσίδας διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο από τα πρώτα στάδια της ίδρυσης μιας κοινοπραξίας blockchain. Είναι υπεύθυνος για τη ομαδοποίηση και την κινητοποίηση πόρων, τη διαμόρφωση και τη νομιμοποίηση των συμμετεχόντων στο δίκτυο και την παροχή ενός ουδέτερου χώρου για συνεργασία. Ένα δίκτυο αλυσίδας εφοδιασμού blockchain δεν μπορεί να λειτουργήσει μόνο του και απαιτεί ενεργή διαχείριση για να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Χωρίς εννοηστροπή, η διαχείριση και η εξισορρόπηση αντικρουόμενων και ανταγωνιστικών συμφερόντων από διάφορα μέλη καθίσταται δύσκολη, με αποτέλεσμα την απώλεια μοναδικών οφελών ή την αποτυχία επίτευξης των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Ο στρατηγικός ρόλος ενός εννοηστροπής περιλαμβάνει τη διαχείριση της κινητικότητας της γνώσης, της καταλληλότητας της καινοτομίας και της σταθερότητας του δικτύου σε ένα δίκτυο καινοτομίας. Ως εκ τούτου, ένας εννοηστροπής δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας είναι απαραίτητος για τον

συντονισμό του σχηματισμού μιας κοινοπραξίας blockchain, τη δομή και τη μόχλευση των πόρων του δικτύου και τη συγκέντρωση πολλών παραγόντων της αλυσίδας εφοδιασμού για τη συνδημιουργία αξίας. Η διακυβέρνηση του blockchain είναι ένα κρίσιμο στοιχείο σχεδιασμού και βασικός δείκτης μιας κοινοπραξίας που λειτουργεί ορθά. Ένα οικοσύστημα blockchain, από τη σχεδίασή του, είναι ένα κατανεμημένο δίκτυο, το οποίο προσθέτει πολυπλοκότητα στην παραδοσιακή διακυβέρνηση του δικτύου όσον αφορά τα δικαιώματα λήψης αποφάσεων, τη λογοδοσία και τα κίνητρα [118].

Με βάση τις επιχειρηματικές και κανονιστικές απαιτήσεις, ένα δίκτυο blockchain κοινοπραξίας μπορεί να διοικείται με δύο τρόπους: (α) διακυβέρνηση εκτός αλυσίδας χρησιμοποιώντας μια προσυμφωνημένη πολιτική και (β) διακυβέρνηση εντός αλυσίδας, όπως μέσω ενός αλγορίθμου ή ενός συνόλου tokens. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε πολιτικές απαιτούν ένα σύνολο κανόνων που έχουν συμφωνηθεί εκ των προτέρων από βασικά ενδιαφερόμενα μέρη, όπως τα μέλη της κοινοπραξίας και οι ρυθμιστικές αρχές. Οι οργανώσεις διακυβέρνησης κοινοπραξιών συχνά κλίνουν προς διακυβέρνηση εκτός αλυσίδας, βασιζόμενες σε τυπικές επιχειρηματικές πρακτικές και συμφωνίες. Οι κανόνες μπορεί να είναι ευρείας εμβέλειας, καλύπτοντας τομείς όπως η στρατηγική, τα κίνητρα για συνεργασία, η διαχείριση της πνευματικής ιδιοκτησίας, η διαχείριση μελών, οι υποχρεώσεις και οι ευθύνες. Η διακυβέρνηση εντός της αλυσίδας ασχολείται με τη διακυβέρνηση σε επιχειρησιακό επίπεδο, που συχνά περιλαμβάνει την ενσωμάτωση συμμετεχόντων, τους μηχανισμούς συναίνεσης και την κοινή χρήση και αποθήκευση δεδομένων. Καθώς το δίκτυο μεγαλώνει, το μοντέλο διακυβέρνησης μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστεί ανάλογα. Συμπερασματικά, ένα μοντέλο διακυβέρνησης blockchain θα πρέπει να καθιερωθεί τόσο σε επίπεδο εκτός αλυσίδας όσο και σε επίπεδο αλυσίδας. Μια καλά σχεδιασμένη, προσαρμόσιμη και δίκαιη διακυβέρνηση μιας κοινοπραξίας αποτελεί προϋπόθεση για την επιτυχή λειτουργία και συντήρηση μιας λύσης blockchain [119].

Μια σημαντική απόφαση σχεδιασμού που σχετίζεται στενά με τη διακυβέρνηση είναι το επίπεδο αδειοδότησης ενός συστήματος blockchain. Τα περισσότερα δεδομένα στις συναλλαγές της εφοδιαστικής αλυσίδας σήμερα είναι εμπορικά ευαίσθητα, επομένως οι λύσεις blockchain για τις αλυσίδες εφοδιασμού συχνά ευνοούν ένα εξουσιοδοτημένο ή ιδιωτικό blockchain. Αυτή η προσέγγιση περιορίζει την πρόσβαση μόνο σε αυτούς τους οργανισμούς που είναι δεκτοί στο δίκτυο. Μέσα σε ένα ιδιωτικό blockchain, η πρόσβαση μπορεί να διαφέρει μεταξύ των παραγόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μπορούν να παραχωρηθούν διαφορετικοί τύποι αδειών με βάση τρεις παραμέτρους:

**Read:** Ποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στο ledger και να δει συναλλαγές.

**Write:** Ποιος μπορεί να δημιουργήσει συναλλαγές και να τις στείλει στο δίκτυο.

**Commit:** Ποιος μπορεί να ενημερώσει την κατάσταση του ledger.

Ωστόσο, τα ιδιωτικά blockchain δεν είναι η μόνη επιλογή. Ακόμη και με μια δημόσια αλυσίδα, υπάρχουν τρόποι προστασίας κρίσιμων δεδομένων. Για παράδειγμα, η αποθήκευση του hash των δεδομένων στην αλυσίδα και των αρχικών δεδομένων εκτός αλυσίδας σε ιδιότητα συστήματα πληροφοριών μπορεί να είναι μια λύση. Η αποθήκευση

μόνο των πληροφοριών hash μπορεί να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος. Η επιλογή μεταξύ ιδιωτικού, δημοσίου ή υβριδικού blockchain θα πρέπει να καθορίζεται από τους στρατηγικούς στόχους των περιπτώσεων χρήσης της εφοδιαστικής αλυσίδας και να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η απόδοση του συστήματος, η διαλειτουργικότητα, το κόστος, η προστασία προσωπικών δεδομένων και το μοντέλο διακυβέρνησης. Συμπερασματικά, τα ευαίσθητα δεδομένα για τους βασικούς παράγοντες και τα προϊόντα τους θα πρέπει πάντα να προστατεύονται. Απαιτείται ένας βαθμός αδειοδότησης σε μια αλυσίδα εφοδιασμού με δυνατότητα blockchain, ανάλογα με τις συγκεκριμένες περιπτώσεις χρήσης.

Η φύση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί συνεπή δεδομένα σχετικά με την ταυτότητα των ειδών που παρακολουθούνται. Σε ένα σύνθετο δίκτυο εφοδιαστικής αλυσίδας, διαφορετικοί παράγοντες μπορεί να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σχετικά με τα δεδομένα που πρέπει να προσαρτηθούν στο blockchain και ποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά χρειάζονται για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση των στοιχείων που παρακολουθούνται. Η απόφαση για το ποια δεδομένα θα πρέπει να είναι εντός αλυσίδας έναντι εκτός αλυσίδας χρειάζεται προσεκτική εξέταση λόγω πιθανών ακούσιων συνεπειών και κινδύνων. Κανονισμοί όπως ο Γενικός Κανονισμός για την Προστασία Δεδομένων (GDPR) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το «δικαίωμα στη λήθη» επιβάλλουν την αποφυγή αποθήκευσης προσωπικών δεδομένων σε ένα blockchain για λόγους νομικής συμμόρφωσης. Δεδομένου ότι ένα blockchain είναι ένα δίκτυο peer-to-peer, τα δεδομένα με τη μορφή συναλλαγών μοιράζονται και αναπαράγονται σε όλο το δίκτυο. Ακόμα κι αν το όριο του δικτύου είναι εγχώριο, είναι σημαντικό να εξεταστεί ποια δεδομένα αποθηκεύονται και πού, καθώς το δίκτυο μπορεί να εκτείνεται σε πολλαπλές δικαιοδοσίες όταν οι αλυσίδες εφοδιασμού είναι παγκόσμιες. Η κοινή χρήση δεδομένων προϊόντων στο blockchain είναι ζωτικής σημασίας για τη διαφάνεια και την παρακολούθηση της προέλευσης. Ωστόσο, ο καθορισμός των δεδομένων που θα πρέπει να είναι στην αλυσίδα απαιτεί προσεκτική εξέταση.

Η τεχνολογία blockchain χρησιμοποιεί συχνά smart contracts για την κωδικοποίηση και την αυτοματοποίηση των επιχειρηματικών διαδικασιών που μοιράζονται και εκτελούνται μεταξύ πολλών παραγόντων της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτή η αυτόματη εκτέλεση αυξάνει την εμπιστοσύνη και την αξιοπιστία στη διαδικασία, οδηγώντας σε σημαντικά κέρδη στην αποτελεσματικότητα και τη μείωση του κόστους. Τα smart contracts μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συμφωνίες σκληρού κώδικα μεταξύ των μερών που περιλαμβάνουν μεταβιβάσεις αξίας και άλλων τύπων περιουσιακών στοιχείων και ακόμη και να δημιουργήσουν αποκεντρωμένους αυτόνομους οργανισμούς (DAO) και asset tokens ή άυλων περιουσιακών στοιχείων [120]. Παρά τον καινοτόμο αντίκτυπο του blockchain και των smart contracts, τα μοναδικά χαρακτηριστικά τους, όπως η αποκέντρωση, η ψευδωνυμία/ανωνυμία, η αμεταβλητότητα και η αυτοματοποίηση ενδέχεται να εκθέσουν τους συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού σε νομικές και ρυθμιστικές αβεβαιότητες, καθιστώντας δύσκολη τη συμφιλίωση με τους υπάρχοντες νομικούς και ρυθμιστικούς κανόνες. Μπορεί να είναι δύσκολη η ανάθεση ευθύνης ή ο καθορισμός της δικαιοδοσίας σε περίπτωση διαφωνιών και η νομοθεσία που εφαρμόζεται

σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Επιπλέον, είναι εξίσου δύσκολο να εξακριβωθεί ποιος «κατέχει» το δίκτυο και τα δεδομένα του και ως εκ τούτου είναι νομικά υπεύθυνος για αυτό σε ένα αποκεντρωμένο ψηφιακό περιβάλλον. Κατά τη δημιουργία και την κατασκευή ενός δικτύου blockchain, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι νομικές ανησυχίες κάθε συμμετέχοντα. Διαφορετικοί φορείς σε ένα δίκτυο blockchain θα έχουν ποικίλες νομικές ανησυχίες σχετικά με θέματα όπως ο περιορισμός των υποχρεώσεων, η ιδιοκτησία και η χρήση της IP. Είναι σημαντικό να δημιουργηθεί σαφής νομική και κανονιστική τεκμηρίωση κατά τη δημιουργία ενός δικτύου blockchain για να διασφαλιστεί ότι οι συμμετέχοντες στην αλυσίδα εφοδιασμού έχουν σαφήνεια σχετικά με τη λειτουργία του δικτύου blockchain.

Συμπερασματικά, η βαθύτερη κατανόηση τόσο των θεωρητικών θεμελίων όσο και των πρακτικών εφαρμογών της τεχνολογίας blockchain είναι απαραίτητη για το σχεδιασμό και την εφαρμογή αποτελεσματικών αλυσίδων εφοδιασμού με δυνατότητα blockchain. Αξιοποιώντας τα μοναδικά χαρακτηριστικά του blockchain, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να μεταμορφωθεί, με αποτέλεσμα βελτιωμένη εμπιστοσύνη, αυξημένη παραγωγικότητα και βελτιωμένες ψηφιακές δυνατότητες για όλους τους συμμετέχοντες [121].

### **Διαφάνεια και βιωσιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα**

Η ενσωμάτωση συστημάτων ERP και τεχνολογίας blockchain μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αυτές οι τεχνολογίες συνεργάζονται για να ενισχύσουν τη διαφάνεια, την αποτελεσματικότητα και τη μείωση του κόστους σε διάφορες λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, συμπεριλαμβανομένων των βασικών δεδομένων, του μηχανικού σχεδιασμού, των διαδικασιών πωλήσεων, των διαδικασιών προμηθειών, των διαδικασιών σχεδιασμού ζήτησης και προσφοράς, διαδικασιών παραγωγής και διαδικασιών διαχείρισης logistics. Εξετάζοντας τις περιπτώσεις χρήσης και κατανοώντας την τεχνολογία πίσω από την προέλευση του προϊόντος, γίνεται σαφές πώς το blockchain μπορεί να αυξήσει τη διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Θεωρητικά και εννοιολογικά μοντέλα καταδεικνύουν την εφαρμογή ανοιχτών και ελεγχόμενων blockchains σε διαφορετικά σενάρια εφοδιαστικής αλυσίδας, που υποστηρίζονται από παραδείγματα πραγματικής ζωής που αναπτύσσονται και αναπτύσσονται σε διαφορετικούς κλάδους και επιχειρηματικές λειτουργίες.

Εστιάζοντας στη βιομηχανία διανομής, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση κρίσιμων προβλημάτων στις αλυσίδες εφοδιασμού διανομής. Κοιτάζοντας το μέλλον, το μέλλον της τεχνολογίας blockchain πιθανότατα θα περιλαμβάνει την υπέρβαση νέων προκλήσεων και τη διαμόρφωση του τρόπου λειτουργίας των επιχειρήσεων. Η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (SCM) είναι μια κρίσιμη επιχειρηματική διαδικασία που έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων. Τα συστήματα ERP, ειδικότερα, είχαν σημαντικό αντίκτυπο στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας βελτιώνοντας τις λειτουργίες και αυξάνοντας το ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Ωστόσο, τα συστήματα ERP ενισχύουν κυρίως τις εσωτερικές λειτουργίες του οργανισμού και δεν συνδέουν αποτελεσματικά τους οργανισμούς μεταξύ τους ούτε δημιουργούν ένα δίκτυο μεταξύ των ενδιαφερομένων. Παρά τον μετασχηματισμό των

εσωτερικών λειτουργιών από τα συστήματα ERP, παραμένει ένα κενό στη σύνδεση διαφορετικών ERP μεταξύ των οργανισμών, που οδηγεί σε κατακερματισμένες πληροφορίες. Αυτό υπογραμμίζει την ανάγκη για ένα ανοιχτό σύστημα για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των εμπορικών εταιρών της αλυσίδας εφοδιασμού. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη γεφύρωση αυτού του χάσματος συνδέοντας συστήματα ERP, ανεξάρτητα από τους αρχικούς προγραμματιστές τους και την υποκείμενη τεχνολογία. Η εστίαση εδώ είναι στην ενσωμάτωση διαδικασιών εφοδιαστικής αλυσίδας σε συστήματα ERP σε βιομηχανίες και τομείς με blockchain. Αυτή η ενοποίηση στοχεύει να βοηθήσει τους επαγγελματίες να επιτύχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και οφέλη κόστους στην τελική παράδοση των προϊόντων, διαμορφώνοντας μια διασυνδεδεμένη πλατφόρμα μεταξύ συνεργατών/ενδιαφερομένων, παρέχοντας αληθινά αρχεία και μια διαδρομή ελέγχου για συναλλαγές εντός του εκτεταμένου δικτύου ERP. Τα συστήματα ERP μεταμορφώνουν τις εσωτερικές λειτουργίες και τις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, αλλά η ενσωμάτωσή τους με ένα κεντρικό blockchain μπορεί να οδηγήσει σε ακόμη μεγαλύτερες βελτιώσεις. Οι εταιρείες πρέπει να αναπτύξουν βασικές δυνατότητες ολοκλήρωσης για την αποτελεσματική ενσωμάτωση του blockchain με τα εταιρικά συστήματα. Συνδέοντας συστήματα ERP συνεργατών σε ένα δίκτυο blockchain, είτε σε ανοιχτό είτε σε ιδιωτικό δίκτυο με άδεια, το ERP και το blockchain μπορούν να συμπληρώσουν το ένα τις δυνατότητες του άλλου και να παρέχουν απρόσκοπτες συναλλαγές αλυσίδας εφοδιασμού μεταξύ των συνεργατών [122].

Τόσο στα ανοιχτά όσο και στα ιδιωτικά δίκτυα blockchain με άδεια, τα smart contracts διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό κανόνων, επικυρώσεων και αλληλεπιδράσεων. Το blockchain, με το κατανεμημένο ledger του, μπορεί να λειτουργήσει ως κεντρικός κορμός για όλα τα συνεργαζόμενα συστήματα ERP ή ως κεντρικός χώρος αποθήκευσης για όλους τους συνεργάτες. Αυτή η εκτεταμένη εταιρική πλατφόρμα μπορεί να οδηγήσει σε περιπτώσεις πολλαπλών χρήσεων, να βελτιώσει τις λειτουργίες και να επιτρέψει τη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων. Οι κοινοπραξίες ειδικών για τον κλάδο συχνά συγκεντρώνουν δεδομένα, προμηθευτές, πελάτες, κυβερνήσεις και αλυσίδες εφοδιασμού σε μια ενιαία πλατφόρμα. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain, αυτές οι κοινοπραξίες μπορούν να διατηρήσουν την τυποποίηση, τη διαφάνεια, την αντικειμενικότητα και την ουδετερότητα. Το blockchain γεφυρώνει τα κενά στην τεχνολογία, τη διαφάνεια και το συγχρονισμό μεταξύ των διαφόρων συστημάτων ERP, βελτιώνοντας τις σχέσεις με τους προμηθευτές, τη διαχείριση πελατών και τα περιθώρια κέρδους, ενώ προσφέρει εξοικονόμηση κόστους και δημιουργία αξίας για όλα τα μέλη. Η απόδοση των εταιρικών συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των δεδομένων, τα οποία πρέπει να είναι ενημερωμένα, ακριβή και πλήρη. Τα κακής ποιότητας δεδομένα πελατών μπορεί να κοστίζουν στις επιχειρήσεις δισεκατομμύρια δολάρια κάθε χρόνο. Τα περισσότερα δεδομένα βρίσκονται σε ιδιωτικά σιλό μιας εταιρείας και δεν είναι ευρέως διαθέσιμα, συμπεριλαμβανομένων των κρατικών δεδομένων που θα πρέπει να είναι προσβάσιμα σε όλους. Στο πλαίσιο της αλυσίδας εφοδιασμού, τα εταιρικά συστήματα έχουν τρία σύνολα βασικών δεδομένων: πληροφορίες προϊόντος, όνομα πελάτη και όνομα προμηθευτή. Κάθε ένα από αυτά τα

σύνολα μπορεί να έχει διαφορετικά ονόματα ή προσδιορισμούς σε διαφορετικά εταιρικά συστήματα. Όλες οι συναλλαγές της εφοδιαστικής αλυσίδας που πραγματοποιούνται μεταξύ των επιχειρήσεων πρέπει να φέρουν αυτές τις παραπομπές. Τα κορυφαία συστήματα ERP όπως αυτά που διαθέτουν η Oracle, η JD Edwards και το SAP έχουν τη δυνατότητα να διατηρούν διασταυρούμενες αναφορές στοιχείων πελάτη και προμηθευτή με τη σύμβαση ονομασίας της δικής τους επιχείρησης, πράγμα που σημαίνει ότι τα δεδομένα υπάρχουν ανεξάρτητα σε κάθε σύστημα ERP της επιχείρησης. Η τρέχουσα προσέγγιση για τη διαχείριση δεδομένων σε όλες τις επιχειρήσεις αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, όπως η ρύθμιση δεδομένων, η συντήρηση, η τυποποίηση και η αρχιτεκτονική πολυσυστημάτων. Αυτά τα ζητήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για ένα κεντρικό σύστημα, όπως το blockchain, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ως ένα καθολικό αποθετήριο δεδομένων και να αλληλεπιδρά με πολλές επιχειρήσεις. Το blockchain επιτρέπει την κεντρική πρόσβαση στα δεδομένα και διασφαλίζει την ασφάλεια των δεδομένων και τις ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο. Με τη σύνδεση των συνεργαζόμενων συστημάτων ERP σε ένα κεντροποιημένο blockchain, τα μοναδικά αναγνωριστικά αριθμού ανταλλακτικών μπορούν να προσπελαστούν και να μετατραπούν για χρήση σε διαφορετικά συστήματα. Το blockchain μπορεί επίσης να χρησιμεύσει ως αγορά προϊόντων, διευκολύνοντας ομαλότερες συναλλαγές και τυποποιώντας δεδομένα μεταξύ των συνεργατών της αλυσίδας εφοδιασμού. Επιπλέον, μπορεί να εξομαλύνει τις αξιώσεις και τις επιστροφές και να μειώσει τον χρόνο για ανακλήσεις προϊόντων.

Για τα δεδομένα πελατών και προμηθευτών, η χρήση blockchain σε συνδυασμό με το Data Universal Numbering System (DUNS) μπορεί να βοηθήσει στην τυποποίηση και τον προσδιορισμό των επιχειρήσεων. Αυτό μπορεί να επιτρέψει την αυτόματη επαλήθευση και τον έλεγχο ταυτότητας των εμπορικών εταίρων μέσω ασφαλών και αμετάβλητων ψηφιακών αρχείων. Συνολικά, η τεχνολογία blockchain μπορεί να φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι εταιρείες λειτουργούν και διατηρούν κύρια δεδομένα, προάγοντας την τυποποίηση δεδομένων, τη διαφάνεια, το συγχρονισμό και την ασφάλεια σε όλες τις επιχειρηματικές οντότητες, ενώ εξαλείφει τον κίνδυνο διπλασιασμού δεδομένων. Το Procure-to-Pay, ή το Source-to-dettle, είναι μια βασική διαδικασία προμήθειας που περιλαμβάνει αποφάσεις προμήθειας, επιλογή προμηθευτή, αγορά και πολλά άλλα. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να μεταμορφώσει σημαντικά αυτές τις συναλλαγές, αντιμετωπίζοντας κοινές προκλήσεις προμηθειών. Το blockchain μπορεί να αποθηκεύσει πληροφορίες προϊόντων σε όλο τον κύκλο ζωής των προμηθειών, προσφέροντας δυνατότητες παρακολούθησης και ανίχνευσης, καλύτερη ορατότητα, μεγαλύτερο έλεγχο, χαμηλότερο κίνδυνο και βελτιωμένη κανονιστική συμμόρφωση. Μπορεί επίσης να τυποποιεί τους όρους πληρωμής, ναύλους και όρους έκπτωσης, διατηρώντας smart contracts για ένα κεντρικό αποθετήριο δεδομένων όρων και προϋποθέσεων. Επιπλέον, το blockchain μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις διαφορές τιμολογίων φιλοξενώντας αποδεικτικά προέλευσης και παράδοσης σε ένα αμετάβλητο ledger, επαληθεύοντας τη ζήτηση και τις συναλλαγές. Μπορεί επίσης να παρέχει ένα ενοποιημένο σύστημα ανταλλαγής επιχειρηματικών μηνυμάτων, αντικαθιστώντας συστήματα μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, μηνυμάτων EDI ή B2B. Τέλος, το blockchain επιτρέπει τη συγκριτική αξιολόγηση προμηθευτών, δημιουργώντας κοινοπραξίες σε σενάρια ειδικά για

επιχειρήσεις, επιτρέποντας στους οργανισμούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με πιθανούς προμηθευτές και μελλοντικές αποφάσεις προμήθειας. Ως συμπληρωματικό επίπεδο μεταξύ των εμπορικών εταιρών και των ERP τους, το blockchain μπορεί να βελτιώσει την εμπιστοσύνη και την ευελιξία στις συναλλαγές, ελαχιστοποιώντας τις διαφορές και επιτρέποντας συγκριτική αξιολόγηση προμηθευτών βάσει κοινοπραξιών. Ο συνεργατικός σχεδιασμός, η πρόβλεψη και η αναπλήρωση έχουν οδηγήσει σε ολοκληρωμένα και αλληλεξαρτώμενα κλιμάκια της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επί του παρόντος, η κοινή χρήση δεδομένων περιορίζεται σε συναλλαγές αρχείων, κοινή χρήση δεδομένων Excel ή άμεση συντήρηση στο σύστημα προέλευσης, με αποτέλεσμα την έλλειψη ενοποίησης σε πραγματικό χρόνο και ορατότητας της ζήτησης. Αυτό οδηγεί σε σύγχυση και στην ανάγκη για πρόσθετες διαδικασίες όπως η έγκριση προβλέψεων. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να φέρει αληθινό μετασχηματισμό σε αυτές τις συναλλαγές παρέχοντας κοινή χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και βελτιώνοντας την εμπιστοσύνη μεταξύ των συνεργατών. Το επιτρεπόμενο blockchain είναι ιδανικό για τέτοιες περιπτώσεις, καθώς μοιράζεται δεδομένα σε περιορισμένο αριθμό αξιόπιστων συνεργατών. Τα smart contracts μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία κανόνων συνεργασίας και την κοινή χρήση αξιόπιστων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την αιτιώδη πρόβλεψη βάσει συναίνεσης, το blockchain μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια των προβλέψεων, να εξαλείψει την ανάγκη για εγκρίσεις και συμφωνίες προβλέψεων και να επιτρέψει στους οργανισμούς να ανταποκρίνονται διαισθητικά και γρήγορα στις δυναμικές απαιτήσεις της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαδικασία εφοδιασμού σήμερα περιλαμβάνει πολλαπλά επίπεδα προμηθευτών, κατασκευαστών, κέντρων διανομής και αποθέματος διάσπαρτα σε τρίτους παρόχους logistics, με αποτέλεσμα την κακή ορατότητα του εφοδιασμού. Η υιοθέτηση λιτών φιλοσοφιών απαιτεί βαθιά εμπιστοσύνη μεταξύ των συνεργατών και διασφάλιση διαθεσιμότητας προϊόντων.

Η τεχνολογία blockchain, ιδιαίτερα το blockchain με άδεια, μπορεί να επιτρέψει υψηλό επίπεδο ορατότητας της προσφοράς συνδέοντας συστήματα ERP συναλλαγών. Αυτή η προσέγγιση προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως μειωμένη παραχάραξη, τήρηση ψηφιακών αρχείων, βελτιωμένη προμήθεια, ταχύτερες λειτουργίες, υψηλότερη ανάπτυξη και ταχύτερη διαθεσιμότητα προμήθειας. Παρέχοντας μακροοικονομική και μικροορατότητα σε διάφορους προμηθευτές και ενσωματώνοντας συστήματα ERP, το blockchain μπορεί να επιτρέψει την απρόσκοπτη ανταλλαγή δεδομένων και τις αλληλεπιδράσεις με τους ενδιαφερόμενους φορείς, οδηγώντας τελικά στη διαφάνεια, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τις πιο αποτελεσματικές λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το blockchain θεωρείται τεχνολογία Industry 4.0, με πιθανές εφαρμογές στην κατασκευή για την αντιμετώπιση βασικών προκλήσεων όπως η ποιότητα των προϊόντων, τα πλαστά εξαρτήματα, η τήρηση των κυβερνητικών κανονισμών, η διατήρηση της ανταγωνιστικότητας και η διαφάνεια της αλυσίδας εφοδιασμού [123] [124]. Ένα επιτρεπόμενο blockchain είναι πιο κατάλληλο για τον κατασκευαστικό τομέα, καθώς επιτρέπει στους κατασκευαστές να ελέγχουν ποιοι συνεργάτες της αλυσίδας εφοδιασμού μπορούν να έχουν πρόσβαση στο σύστημα. Λειτουργώντας ως ένα κεντρικό καταμεμημένο ledger, το blockchain μπορεί να συγκεντρώνει απρόσκοπτα δεδομένα από

πολλαπλά ERP που ανήκουν σε πελάτες, προμηθευτές, διανομείς και δημιουργούς συμβάσεων. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων, τη διαφάνεια και τις ενημερώσεις κατάστασης, για την αντιμετώπιση της πρόκλησης των κατακερματισμένων αλυσίδων εφοδιασμού. Το Blockchain μπορεί επίσης να απλοποιήσει τον έλεγχο και να βοηθήσει τους κατασκευαστές να αποκτήσουν καλύτερο έλεγχο επί των κυβερνητικών κανονισμών. Τα αμετάβλητα δεδομένα που αποθηκεύονται στο blockchain μειώνουν το κόστος και την πολυπλοκότητα της συμμόρφωσης. Επιπλέον, το blockchain μπορεί να υποστηρίξει την ασφαλή κοινή χρήση εγγράφων σχεδιασμού μεταξύ των συνεργατών, επιτρέποντας την ορατότητα της κατάστασης πρωτοτύπων και προμήθειας και επιτρέποντας τη συχνή αναθεώρηση του κόστους. Αυτό προάγει την εμπιστοσύνη και την ασφαλή κοινή χρήση, επιταχύνοντας την καινοτομία και οδηγώντας την οικονομική ανάπτυξη στις αναδυόμενες αγορές. Η τεχνολογία αυτή μπορεί επίσης να παρακολουθεί το κόστος των προϊόντων από πολλές πηγές, βοηθώντας στον έλεγχο του κόστους του τελικού προϊόντος και δημιουργώντας νέες αγορές και ευκαιρίες.

Ο κλάδος των logistics υφίσταται μετασχηματιστικές αλλαγές, αλλά οι εταιρικές λειτουργίες logistics εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως η διαφάνεια, το υψηλό κόστος, η μη αυτόματη προσπάθεια, η έλλειψη εμπιστοσύνης και η διαθεσιμότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο [125]. Ο κλάδος χρειάζεται καλύτερη τεχνολογία, αποτελεσματικό σχεδιασμό διαδρομής και ισχυρότερη ενοποίηση με συστήματα ERP. Το blockchain μπορεί να βελτιώσει τη βιομηχανία logistics διασφαλίζοντας διαφάνεια, μειώνοντας τις εξαρτήσεις από μεσάζοντες, επιτρέποντας την ορατότητα του αποθέματος σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού και οδηγώντας στην αποτελεσματική παρακολούθηση και επικοινωνία. Παραδείγματα πρωτοβουλιών blockchain στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν την πλατφόρμα ψηφιοποίησης παγκόσμιου εμπορίου της Maersk και της IBM, την κοινοπραξία blockchain της Samsung και την είσοδο της UPS στη Blockchain in Transport Alliance (BiTA) [126]. Η σύνδεση των συνεργατών logistics και των συστημάτων ERP των κατασκευαστών με το δίκτυο blockchain επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή πληροφοριών και προσφέρει διαφάνεια για τους πελάτες και απλοποιημένη παρακολούθηση προέλευσης προϊόντων. Η ψηφιοποίηση του ERP που συνδέεται με logistics θα αντικαταστήσει τη μεταφορά πληροφοριών που βασίζεται σε χαρτί, βοηθώντας στην παρακολούθηση και μείωση των κλοπών και των πλαστών προϊόντων. Το blockchain εξομαλύνει και επιταχύνει τον εκτελωνισμό, τον χρόνο διεκπεραίωσης της μεταφοράς και τον έλεγχο. Βελτιώνει την ορατότητα σε όλους τους συνεργάτες της αλυσίδας εφοδιασμού, επιτρέποντας την παρακολούθηση σχεδόν σε πραγματικό χρόνο και τις ενημερώσεις σε περίπτωση διακοπών. Επιπλέον, το blockchain μπορεί να διευκολύνει την κοινή χρήση της χωρητικότητας εμπορευματοκιβωτίων, της χωρητικότητας των λιμένων, της χωρητικότητας διαδρομής και της χωρητικότητας της αποθήκης, ενώ μειώνει τη χρήση χαρτιού, υποστηρίζοντας πράσινες πρωτοβουλίες.

Η προέλευση του προϊόντος ή ο εντοπισμός του κύκλου ζωής ενός προϊόντος από την πηγή στον καταναλωτή, είναι ζωτικής σημασίας για τις εταιρείες να προστατεύουν τη φήμη τους, να διασφαλίζουν την ποιότητα των εξαρτημάτων και να ενημερώνουν τους



πελάτες για την ποιότητα και τη γνησιότητα των τελικών προϊόντων τους. Καθώς οι σύγχρονες αλυσίδες εφοδιασμού γίνονται όλο και πιο περίπλοκες, είναι απαραίτητη μια κεντρική πλατφόρμα λογισμικού που αξιοποιεί μια αποκεντρωμένη προσέγγιση. Η τεχνολογία Blockchain προσφέρει τη λειτουργικότητα που απαιτείται για την προέλευση του προϊόντος. Υιοθετείται γρήγορα μέσω ανεξάρτητων λύσεων παρακολούθησης όπως το Provenance [127], το Sourcemap [128] και το Owlchain [129] ή προσαρμοσμένες λύσεις προέλευσης που αναπτύχθηκαν από παρόχους υπηρεσιών λογισμικού. Ο εντοπισμός προέλευσης μπορεί να λειτουργήσει μόνο όταν όλοι οι ενδιαφερόμενοι της αλυσίδας εφοδιασμού αποτελούν μέρος του δικτύου blockchain. Η αρχιτεκτονική Blockchain παρακολουθεί εγγενώς τα προϊόντα καθώς περνούν από τη μια οντότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας στην άλλη, αποθηκεύοντας τις συναλλαγές ως χρονολογικά συνδεδεμένα block. Παραδείγματα προέλευσης και προβολής της εφοδιαστικής αλυσίδας περιλαμβάνουν τη λύση ηθικής ιχνηλασιμότητας θαλασσινών που παρέχεται από το Hyperledger Sawtooth και το Everledger Blockchain για την προέλευση διαμαντιών [130]. Αυτές οι λύσεις στοχεύουν να παρέχουν στους καταναλωτές άμεσες πληροφορίες σχετικά με την πηγή και τη διαδρομή των προϊόντων. Καθώς η ζήτηση των πελατών για τη διαφάνεια της αλυσίδας εφοδιασμού και την προέλευση των προϊόντων αυξάνεται, οι κατασκευαστές θα πρέπει να υιοθετήσουν τέτοιες λύσεις. Το Blockchain είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για να επιτευχθεί αυτό και η σύνδεση ERP σε ένα κεντρικό σύστημα blockchain θα διευκολύνει τη ροή και την προέλευση των πληροφοριών.

Ο κλάδος της διανομής υφίσταται σημαντικό μετασχηματισμό λόγω των αναδυόμενων τεχνολογιών, με το blockchain να διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση των προκλήσεων του. Ο κλάδος είναι δυναμικός και περιλαμβάνει πολλά ενδιαφερόμενα μέρη, όπως πελάτες, προμηθευτές, κατασκευαστές και τρίτους παρόχους υπηρεσιών. Το Blockchain μπορεί να βελτιώσει τις λειτουργίες, τις επικοινωνίες, τη διαφάνεια και την ορατότητα του κλάδου διανομής. Οι κύριες προκλήσεις στον παγκόσμιο κλάδο διανομής περιλαμβάνουν τον συγχρονισμό της ζήτησης πελατών και του αποθέματος προμηθευτών, τη διαφάνεια των πωλήσεων, την καταπολέμηση των παραποιημένων προϊόντων, την παροχή λεπτομερών πληροφοριών για τα είδη και τη μετάβαση σε ένα μοντέλο αλυσίδας εφοδιασμού διανομής παντός καναλιού [131]. Το Blockchain μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση αυτών των προβλημάτων προσφέροντας ένα σύστημα κεντρικής ιδιοκτησίας και διαχείρισης που προάγει τη διαφάνεια μεταξύ των προμηθευτών, των πελατών και των διανομέων. Η προέλευση του προϊόντος και η ορατότητα προσφοράς/ζήτησης μπορούν να επιλύσουν ζητήματα που σχετίζονται με πλαστά προϊόντα, πληροφορίες χαρακτηριστικών αντικειμένων και συγχρονισμό της ζήτησης πελατών και της προσφοράς προμηθευτή. Ένα blockchain συγχρονισμένο και ενσωματωμένο με τα συστήματα ERP των διανομέων, των προμηθευτών και των πελατών μπορεί να παρέχει ορατότητα στην κατάσταση παραγγελίας και αποθέματος και να βοηθά στη διαχείριση αξιώσεων αποστολής και χρέωσης. Τα επιτρεπόμενα δίκτυα blockchain είναι τα βέλτιστα για τη σύνδεση των ενδιαφερόμενων μερών και την παροχή ορατότητας σε πραγματικό χρόνο της τιμής και της διαθεσιμότητας. Το blockchain μπορεί να συγχρονίσει δεδομένα μεταξύ κατασκευαστών, διανομέων και προμηθευτών, επιταχύνοντας την επεξεργασία των παραγγελιών, επιτρέποντας ακριβείς τιμές και

εκπτώσεις, προσδιορίζοντας την προέλευση του προϊόντος και προσδιορίζοντας το σωστό στοιχείο μέσω τεχνικών χαρακτηριστικών. Το Blockchain είναι επίσης χρήσιμο για εγγυήσεις, καθώς οι αμετάβλητες συναλλαγές παρέχουν λεπτομέρειες αγοράς και διαθέσιμη εγγύηση για το προϊόν. Για παράδειγμα, η συνεργασία της Microsoft με τη Mojix αξιοποιεί το Azure για να παρέχει λύσεις blockchain ως υπηρεσία για εμπόρους λιανικής και διανομείς. Αυτή η συνεργασία προσφέρει λεπτομέρειες σχετικά με την τοποθεσία και δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την κατάσταση του αποθέματος, ακόμη και κατά τη μεταφορά, βοηθώντας τους διανομείς να παρακολουθούν τις παραγγελίες και να λαμβάνουν ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο [132].

Η υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain έχει τη δυνατότητα να συνδέσει μεμονωμένα συστήματα ERP και να παρακολουθεί δραστηριότητες πέρα από τα όρια μιας επιχείρησης, μεταμορφώνοντας τις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις στην υιοθέτηση του blockchain για τις αλυσίδες εφοδιασμού, οι οποίες μπορεί να εξελιχθούν καθώς προχωρά η ίδια η τεχνολογία.

Οι τρέχουσες βασικές προκλήσεις περιλαμβάνουν [133]:

- **Υποδομή και δίκτυο:** Το blockchain απαιτεί σημαντικό bandwidth διαδικτύου και ισχύ CPU, κάτι που μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στις αναπτυσσόμενες και υπανάπτυκτες οικονομίες.
- **Διαλειτουργικότητα:** Τα blockchain πρέπει να λειτουργούν απρόσκοπτα στο ERP και σε άλλα συστήματα blockchain για να αξιοποιήσουν πλήρως τις δυνατότητες της τεχνολογίας.
- **Κόστος ενσωμάτωσης και συντήρησης:** Η ενσωμάτωση και η συντήρηση κόμβων σε μια αλυσίδα εφοδιασμού με δυνατότητα blockchain μπορεί να είναι ακριβή, ειδικά για συναλλαγές μεγάλου όγκου.
- **Κόστος αποθήκευσης δεδομένων:** Η επ' αόριστον αποθήκευση δεδομένων σε ένα blockchain συνεπάγεται υψηλό κόστος, που απαιτεί διαφορετικό μοντέλο αποθήκευσης.
- **Καθυστερήση επικύρωσης δεδομένων:** Τα blockchain ανοιχτού δικτύου αντιμετωπίζουν καθυστέρηση στην επαλήθευση block, η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά ανάλογα την τεχνολογία blockchain που επιλέχθηκε, καθιστώντας την λιγότερο βιώσιμη για συναλλαγές με αλυσίδα εφοδιασμού σε πραγματικό χρόνο.
- **Περιορισμός μεγέθους ωφέλιμου φορτίου:** Τα δίκτυα blockchain έχουν περιορισμούς μεγέθους ωφέλιμου φορτίου, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει την ακύρωση ορισμένων συναλλαγών λόγω περιορισμών μεγέθους.
- **Ρυθμιστική και νομική αποδοχή:** Η έλλειψη παγκόσμιου ρυθμιστικού πλαισίου για το blockchain θέτει προκλήσεις για την παγκόσμια αποδοχή και υιοθέτηση.
- **Εμπιστοσύνη:** Για να ενσωματωθεί το blockchain στις συναλλαγές της εφοδιαστικής αλυσίδας, κάθε κόμβος (προμηθευτές, πελάτες, διανομείς και κατασκευαστές) πρέπει να είναι ανοιχτός στην κοινή χρήση των δεδομένων του.

Αυτές οι προκλήσεις, οι οποίες περιστρέφονται γύρω από το κόστος, την υποδομή δικτύου και τις νομικές πτυχές, ενδέχεται να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου καθώς η τεχνολογία προχωρά και οι νόμοι προσαρμόζονται στην τεχνολογία blockchain. Μπορεί επίσης να προκύψουν νέες προκλήσεις, όπως η ασφάλεια δεδομένων σε αλυσίδες εφοδιασμού με δυνατότητα blockchain. Αν και το blockchain έχει σχεδιαστεί για να είναι ισχυρό, ασφαλές και ανώνυμο, υπήρξαν περιστατικά κακής χρήσης από hackers. Η συνεχής καινοτομία στα δίκτυα blockchain πιθανότατα θα αντιμετωπίσει αυτές τις ανησυχίες για την ασφάλεια.

Οι σύγχρονες αλυσίδες εφοδιασμού είναι πολύπλοκες, πολυεπίπεδες και γεωγραφικά ασύνδετες οντότητες [134]. Η παγκοσμιοποίηση, οι διαφορετικές ρυθμιστικές πολιτικές και οι πολιτισμικές διαφορές καθιστούν δύσκολη την αξιολόγηση των πληροφοριών και τη διαχείριση του κινδύνου σε αυτά τα δίκτυα. Η αναποτελεσματικότητα, η απάτη και η κακή απόδοση οδηγούν σε ελλείψεις εμπιστοσύνης, οδηγώντας την ανάγκη για καλύτερη ανταλλαγή πληροφοριών και επαληθευσιμότητα [135]. Η έλλειψη διαφάνειας στην αξία προσφοράς των ειδών εμποδίζει την επαλήθευση και την επικύρωση της πραγματικής τους αξίας. Ο χειρισμός των διαμεσολαβητών και η διασφάλιση της αξιοπιστίας και της διαφάνειάς τους περιπλέκει περαιτέρω τη διαχείριση της ιχνηλασιμότητας. Αυτοί οι κίνδυνοι και η έλλειψη διαφάνειας έχουν ως αποτέλεσμα στρατηγικά και ανταγωνιστικά ζητήματα φήμης. Οι τρέχουσες αλυσίδες εφοδιασμού βασίζονται σε κεντρικά συστήματα διαχείρισης πληροφοριών, τα οποία έχουν τα δικά τους μειονεκτήματα, όπως αποτυχία ενός σημείου και ευπάθεια σε σφάλματα, παραβίαση ή διαφθορά. Επιπλέον, οι αλυσίδες εφοδιασμού αντιμετωπίζουν πιέσεις για την πιστοποίηση της βιωσιμότητας, η οποία περιλαμβάνει εξισορρόπηση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και επιχειρηματικών διαστάσεων. Αυτά τα ζητήματα εγείρουν ερωτήματα σχετικά με την ικανότητα των σημερινών συστημάτων πληροφοριών να υποστηρίζουν την έγκαιρη και ασφαλή προέλευση των αγαθών και των υπηρεσιών. Η λύση έγκειται στη βελτίωση της διαφάνειας, της ασφάλειας, της ανθεκτικότητας και της ακεραιότητας της αλυσίδας εφοδιασμού. Η τεχνολογία Blockchain έχει τη δυνατότητα να επιτύχει αυτές τις βελτιώσεις, καθιστώντας τις οργανωτικά, τεχνολογικά και οικονομικά εφικτές. Οι περιπτώσεις πρώιμης χρήσης έχουν επιδείξει τις δυνατότητες και τις ανησυχίες της τεχνολογίας blockchain, όπως η συνεργασία της Maersk με την IBM για τη διαχείριση θαλάσσιων εμπορευματοκιβωτίων και η ενσωμάτωση της αλυσίδας blockchain από την Provenance στην αλυσίδα εφοδιασμού θαλασσινών [136].

Η τεχνολογία blockchain είναι ένα νέο παράδειγμα υπολογιστικής και ροής πληροφοριών με επιπτώσεις για μελλοντική ανάπτυξη στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και την εφοδιαστική. Τα blockchain έχουν τη δυνατότητα να διαταράξουν το σχεδιασμό, την οργάνωση, τις λειτουργίες και τη γενική διαχείριση των αλυσίδων εφοδιασμού. Μπορούν να εγγυηθούν την αξιοπιστία, την ιχνηλασιμότητα και την αυθεντικότητα των πληροφοριών, μαζί με έξυπνες συμβατικές σχέσεις για ένα περιβάλλον χωρίς εμπιστοσύνη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική επανεξέταση των αλυσίδων εφοδιασμού και της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Στο πλαίσιο των αλυσίδων εφοδιασμού, οι λειτουργίες blockchain μπορεί να είναι δημόσιες ή ιδιωτικές, με άδεια ή

χωρίς άδεια, ανάλογα με την εφαρμογή. Ο προσδιορισμός του επιπέδου απορρήτου είναι μια αρχική απόφαση και ο μετασχηματισμός από τις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού σε αλυσίδες εφοδιασμού που βασίζονται σε blockchain περιλαμβάνει τέσσερις κύριες οντότητες: καταχωρητές, οργανισμούς τυποποίησης, πιστοποιητές και φορείς. Αυτές οι οντότητες παίζουν ρόλους που δεν εμφανίζονται στις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να επηρεάσει τις ροές προϊόντων και υλικών, επιτρέποντας σε κάθε προϊόν να έχει ψηφιακή παρουσία. Μπορούν να τεθούν μέτρα ασφαλείας για τον περιορισμό της πρόσβασης στις πληροφορίες του προϊόντος. Μπορεί να συλλεχθεί μια σειρά δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης, του τύπου και των προτύπων του προϊόντος. Η διαχείριση της ιδιοκτησίας και της μεταφοράς προϊόντος μπορεί να γίνει μέσω συμφωνιών έξυπνων συμβολαίων και συναίνεσης [137].

Το blockchain μπορεί να καταγράψει πληροφορίες για ορισμένες βασικές διαστάσεις του προϊόντος: φύση, ποιότητα, ποσότητα, τοποθεσία και ιδιοκτησία. Αυτό καταργεί την ανάγκη για έναν αξιόπιστο κεντρικό οργανισμό και επιτρέπει στους πελάτες να επιθεωρούν την αδιάλειπτη αλυσίδα φύλαξης και συναλλαγών από τις πρώτες ύλες μέχρι την τελική πώληση. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να διευκολύνει τη ροή υλικού και δεδομένων μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού και να οδηγήσει σε μια στροφή από μια βιομηχανική και δυσκίνητη οικονομία προϊόντων σε μια προσαρμόσιμη οικονομία πληροφοριών, που θα βασίζεται στη γνώση, την επικοινωνία, τις πληροφορίες και όχι τα υλικά χαρακτηριστικά [138]. Τα smart contracts ορίζουν την αλληλεπίδραση των φορέων του δικτύου και επηρεάζουν την κοινή χρήση δεδομένων δικτύου μεταξύ των συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού. Πιστοποιητές και ελεγκτικοί φορείς μπορούν να διαχειρίζονται την πιστοποίηση και την έγκριση συμμετεχόντων, καθώς και να ορίζουν διαδικασίες και δικαιώματα πρόσβασης. Τα smart contracts μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε συνεχή βελτίωση στις διαδικασίες της αλυσίδας εφοδιασμού και να επηρεάσουν τόσο τη διαχείριση προϊόντων της εφοδιαστικής αλυσίδας όσο και τις οικονομικές συναλλαγές μεταξύ των μερών του δικτύου [139]. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να διαμεσολαβήσει στους χρηματοοικονομικούς ενδιάμεσους, καθιστώντας τις διαδικασίες συναλλαγών μεταξύ των εταίρων πιο αποτελεσματικές. Η αναποτελεσματικότητα στις χρηματοοικονομικές ροές της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να μειωθεί μέσω χρηματοοικονομικών μέσων και τεχνικών της εφοδιαστικής αλυσίδας, εξοικονομώντας δυνητικά εκατομμύρια δολάρια στα δίκτυα.

Μια πρακτική εφαρμογή αλυσίδας εφοδιασμού blockchain θα μπορούσε να είναι βιώσιμες αλυσίδες εφοδιασμού. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να υποστηρίξει τις επιχειρήσεις στη βελτίωση της βιωσιμότητας των αλυσίδων εφοδιασμού και των προϊόντων τους, οδηγώντας σε πιο περιβαλλοντικά και κοινωνικά υπεύθυνες πρακτικές. Η τεχνολογία Blockchain έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στα βιώσιμα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας, προσφέροντας κατανεμημένες, αμετάβλητες, διαφανείς και αξιόπιστες βάσεις δεδομένων που μοιράζονται μια κοινότητα. Παρακολουθώντας κοινωνικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, τα blockchain μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση ανησυχιών που σχετίζονται με θέματα περιβάλλοντος, υγείας και ασφάλειας [140]. Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τις αγορές περιουσιακών στοιχείων άνθρακα της Κίνας και

τη διασφάλιση των ανθρωπίνων δικαιωμάτων και τις δίκαιες πρακτικές εργασίας στις αλυσίδες εφοδιασμού. Η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών και κοινωνικών διαστάσεων στην εφοδιαστική αλυσίδα δημιουργεί μια πιο ολιστική προοπτική. Η τεχνολογία Blockchain μπορεί να υποστηρίξει τη συλλογή, αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων, παρέχοντας διαφάνεια, ουδετερότητα, αξιοπιστία και ασφάλεια για όλους τους πράκτορες και τα ενδιαφερόμενα μέρη της αλυσίδας εφοδιασμού. Η βιομηχανία τροφίμων και ποτών μπορεί να επωφεληθεί από τον συνδυασμό της τεχνολογίας RFID και blockchain, επιτρέποντας συστήματα ιχνηλασιμότητας για εντοπισμό τροφίμων σε πραγματικό χρόνο με βάση τους κανόνες HACCP [141]. Αυτό μπορεί να καταγράψει γεγονότα της εφοδιαστικής αλυσίδας στον αγροτικό τομέα και να εντοπίσει ανήθικους προμηθευτές και προϊόντα απομίμησης. Από οικονομική άποψη, η τεχνολογία blockchain μπορεί να βελτιώσει την αλυσίδα εφοδιασμού μιας επιχείρησης μέσω της αποδιαμεσολάβησης, της μείωσης του κόστους και του χρόνου των συναλλαγών και της αύξησης της εμπιστοσύνης των πελατών. Αυτό οδηγεί σε οικονομικά οφέλη για την επιχείρηση. Η τεχνολογία Blockchain συμβάλλει στη κοινωνική βιωσιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού αποτρέποντας τη διαφθορά και διασφαλίζοντας τη διαφάνεια στις διαδικασίες της εφοδιαστικής αλυσίδας. Υποστηρίζει επίσης την περιβαλλοντική βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας παρακολουθώντας προϊόντα που δεν πληρούν τα πρότυπα, μειώνοντας τις εκπομπές αποβλήτων και αερίων θερμοκηπίου και διασφαλίζοντας ότι τα πράσινα προϊόντα είναι πραγματικά φιλικά προς το περιβάλλον. Παραδείγματα βιωσιμότητας της περιβαλλοντικής αλυσίδας εφοδιασμού περιλαμβάνουν την εκτίμηση του φόρου άνθρακα, τις πρωτοβουλίες ανακύκλωσης και τα συστήματα εμπορίας εκπομπών. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να διευκολύνει την εμπορία περιουσιακών στοιχείων άνθρακα και να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα των συστημάτων εμπορίας εκπομπών μειώνοντας την απάτη και αυξάνοντας τη διαφάνεια [142]. Συνολικά, η τεχνολογία blockchain έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τις αλυσίδες εφοδιασμού όσον αφορά την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Ωστόσο, οι συμμετέχοντες στην εφοδιαστική αλυσίδα πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή αυτής της αποδιοργανωτικής τεχνολογίας, προκειμένου να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες της.

Τα εσωτερικά εμπόδια εντός των οργανισμών μπορούν να εμποδίσουν την επιτυχή εφαρμογή πρακτικών βιώσιμης αλυσίδας εφοδιασμού και την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain. Η υποστήριξη της ανώτατης διοίκησης εντός του οργανισμού είναι κρίσιμης σημασίας, αλλά ορισμένοι υπεύθυνοι μπορεί να μην δείξουν μακροπρόθεσμη δέσμευση και υποστήριξη για την υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας και την τήρηση των αξιών βιωσιμότητας. Η περιορισμένη ευαισθητοποίηση και δέσμευση από τη διοίκηση μπορεί να δυσκολέψει την κατανομή των πόρων και τη λήψη οικονομικών αποφάσεων [143]. Παράλληλα, η υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain απαιτεί επενδύσεις σε νέο υλικό και λογισμικό, το οποίο μπορεί να είναι δαπανηρό για τους οργανισμούς και τους συνεργάτες τους [144]. Οι οργανωτικές πολιτικές μπορεί να χρειαστεί να ενημερωθούν για να αποσαφηνιστεί η χρήση της τεχνολογίας blockchain και η υιοθέτησή της μπορεί να αλλάξει ή να μεταμορφώσει τις υπάρχουσες οργανωτικές κουλτούρες. Απαιτούνται νέοι ρόλοι, ευθύνες και τεχνογνωσία για την υποστήριξη διαφορετικών πτυχών της υιοθέτησης

αυτής της τεχνολογίας. Η έλλειψη τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης και γνώσης χρήσης της τεχνολογίας blockchain μπορεί να λειτουργήσει ως εμπόδιο. Ο περιορισμένος αριθμός εφαρμογών και τεχνικών προγραμματιστών παρουσιάζει προκλήσεις. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να προκαλέσει αναστάτωση, αφού η μετάβαση σε νέα συστήματα μπορεί να οδηγήσει σε δισταγμό από άτομα και οργανισμούς. Για την επιτυχή εφαρμογή βιώσιμων αλυσίδων εφοδιασμού με την υποστήριξη της νέας τεχνολογίας πληροφοριών, οι οργανισμοί πρέπει να ενσωματώσουν πρακτικές βιωσιμότητας στο όραμα και την αποστολή τους και να αναπτύξουν προληπτικά σχέδια για εφαρμογή σε όλα τα επίπεδα. Η έλλειψη τυπικών εργαλείων, μεθόδων και δεικτών μπορεί να εμποδίσει την επιτυχή εφαρμογή και μέτρηση των πρακτικών βιωσιμότητας σε ένα περιβάλλον blockchain [145].

Οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί και κανόνες αποτελούν σημαντικούς μοχλούς για την υιοθέτηση βιώσιμων πρακτικών. Ωστόσο, η εστίαση αποκλειστικά στην εκπλήρωση ελάχιστων κριτηρίων βιωσιμότητας μπορεί να εμποδίσει τη δημιουργικότητα και την καινοτομία των οργανισμών [146]. Οι απαιτήσεις των πελατών για βιώσιμα προϊόντα και διαδικασίες μπορούν να βελτιώσουν τη δημιουργικότητα, αλλά η έλλειψη ευαισθητοποίησης και προθυμίας των πελατών να συνεισφέρουν στη βιώσιμη ανάπτυξη μπορεί να λειτουργήσει ως εμπόδιο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι πελάτες μπορεί να μην κατανοούν τα πράσινα συστήματα πιστοποίησης ή να είναι πρόθυμοι να συμμετάσχουν σε διαδικασίες ανακύκλωσης ή να πληρώσουν περισσότερο για βιώσιμα προϊόντα.

Μπορούν επίσης να αναγνωριστούν εμπόδια που σχετίζονται με τις σχέσεις των εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η διαχείριση αυτών των σχέσεων είναι απαραίτητη για τη δημιουργία αξίας για τα ενδιαφερόμενα μέρη, αλλά η ενσωμάτωση της τεχνολογίας των πληροφοριών και των πρακτικών βιωσιμότητας μπορεί να είναι πρόκληση [147]. Η τεχνολογία blockchain μπορεί να διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών, αλλά ορισμένοι οργανισμοί μπορεί να θεωρούν τις πληροφορίες ως ανταγωνιστικό πλεονέκτημα και να είναι απρόθυμοι να μοιραστούν κρίσιμα δεδομένα, περιορίζοντας τα πλήρη οφέλη της υιοθέτησης του blockchain [148].

Οι διαφορετικές πολιτικές απορρήτου που σχετίζονται με τη χρήση πληροφοριών και δεδομένων μπορεί να οδηγήσουν σε προκλήσεις στην κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ συνεργατών. Με τη διαφάνεια των πληροφοριών στην τεχνολογία blockchain, οι κανόνες και οι πολιτικές ανταλλαγής πληροφοριών πρέπει να ορίζονται και να διαχειρίζονται εντός του δικτύου της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η έλλειψη σταθερών κανόνων για την ανταλλαγή πληροφοριών μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη συνεργασία μεταξύ των εταίρων [149]. Η κακή συνεργασία και επικοινωνία μεταξύ εταίρων της εφοδιαστικής αλυσίδας με διαφορετικούς στόχους και προτεραιότητες μπορεί να διαταράξει τη βιωσιμότητα και τις λειτουργίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενώ οι επικοινωνιακές προκλήσεις μπορεί να επιδεινωθούν όταν οι εταίροι είναι γεωγραφικά διάσπαρτοι και έχουν διαφορετική κουλτούρα. Η ενσωμάτωση συμβατικών διαδικασιών εφοδιαστικής αλυσίδας με πρακτικές βιωσιμότητας δεν είναι εύκολη υπόθεση. Οι τρέχουσες τεχνολογίες, τα σχέδια, τα υλικά και οι διαδικασίες πρέπει να βελτιωθούν για να υποστηριχθούν βιώσιμες πρακτικές, όπως η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, των αποτυπωμάτων

άνθρακα, της ρύπανσης του νερού, της κατανάλωσης ενέργειας και των αποβλήτων. Αυτό μπορεί να επιβάλει κόστος στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Η συλλογή πληροφοριών για σκοπούς τεχνολογίας blockchain ενδέχεται να απαιτεί εξειδικευμένες εγκαταστάσεις και συσκευές. Η RFID και το Internet of Things είναι δύο πιθανές λύσεις για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος. Η εφαρμογή τεχνολογίας blockchain για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί νέα εργαλεία πληροφορικής, τα οποία μπορεί να είναι προκλητικά για ορισμένους συμμετέχοντες. Η περιορισμένη πρόσβαση στην τεχνολογία και τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο στην υιοθέτηση του blockchain. Ως τεχνολογία πρώιμου σταδίου, το blockchain αντιμετωπίζει προβλήματα επεκτασιμότητας και αγωνίζεται να διαχειριστεί μεγάλο αριθμό συναλλαγών [150]. Αυτό απαιτεί βελτιώσεις στη διαχείριση αποθήκευσης και στην υποδομή υπολογιστικού νέφους. Η χειραγώγηση δεδομένων αποτελεί σημαντική ανησυχία στα δίκτυα της εφοδιαστικής αλυσίδας και ενώ το blockchain επιτρέπει την επαλήθευση συναλλαγών, η συμπαιγνία εξακολουθεί να είναι δυνατή [151]. Οι ανησυχίες για την ασφάλεια και το απόρρητο είναι επίσης προκλήσεις που σχετίζονται με την τεχνολογία blockchain. Αν και έχουν προταθεί λύσεις για τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων, η αποτελεσματικότητά τους δεν έχει αξιολογηθεί πλήρως. Το αμετάβλητο των πληροφοριών στο blockchain αποτρέπει την παραποίηση δεδομένων, αλλά μπορεί να παρουσιαστεί ανθρώπινο λάθος στην εισαγωγή δεδομένων. Οι προκλήσεις από εξωτερικούς ενδιαφερόμενους φορείς, όπως βιομηχανίες, ιδρύματα και κυβερνήσεις, μπορούν να επηρεάσουν την ενοποίηση της βιωσιμότητας και της τεχνολογίας blockchain. Η έλλειψη κυβερνητικής και βιομηχανικής υποστήριξης, καθώς και οι ασαφείς κανονισμοί, μπορούν να εμποδίσουν την πρόοδο. Οι κυβερνήσεις, οι ΜΚΟ και οι επαγγελματικές οργανώσεις θα πρέπει να προωθούν την τεχνολογία blockchain για να δημιουργήσουν αξία βιωσιμότητας. Η αβεβαιότητα ζήτησης για βιώσιμα προϊόντα και η ασάφεια της συμπεριφοράς των πελατών μπορούν επίσης να επηρεάσουν τον ανταγωνισμό της αγοράς και να εμποδίσουν την ολοκλήρωση.

## 4. Προτεινόμενη υλοποίηση blockchain για τον κύκλο ζωής προϊόντος

### 4.1 Βασικές έννοιες στο Hyperledger Fabric

Οι διαφορετικοί παράγοντες σε ένα δίκτυο blockchain περιλαμβάνουν peers, orderers, εφαρμογές clients, διαχειριστές και άλλους. Καθένας από αυτούς τους φορείς έχει μια ψηφιακή ταυτότητα ενσωματωμένη σε ένα ψηφιακό πιστοποιητικό X.509. Αυτές οι ταυτότητες είναι σημαντικές καθώς καθορίζουν τα ακριβή δικαιώματα για τους πόρους και την πρόσβαση σε πληροφορίες που έχουν οι φορείς σε ένα δίκτυο blockchain [152].

Επιπλέον, μια ψηφιακή ταυτότητα έχει ορισμένα πρόσθετα χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιεί το Fabric για να καθορίσει δικαιώματα και δίνει στην ένωση μιας ταυτότητας και των συσχετιζόμενων χαρακτηριστικών το όνομα principal. Τα principals είναι ακριβώς όπως τα userID ή τα groupID, αλλά πιο ευέλικτα επειδή μπορούν να περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα ιδιοτήτων της ταυτότητας ενός συμμετέχοντα, όπως ο οργανισμός, ο ρόλος ή η συγκεκριμένη ταυτότητα του συμμετέχοντα. Τα principals, είναι οι ιδιότητες που καθορίζουν τις άδειες των συμμετεχόντων.

Για να είναι επαληθεύσιμη μια ταυτότητα, πρέπει να προέρχεται από μια αξιόπιστη αρχή. Ένας Membership Service Provider (MSP) είναι αυτή η αξιόπιστη αρχή στο Fabric. Πιο συγκεκριμένα, ένας MSP είναι ένα στοιχείο που ορίζει τους κανόνες που διέπουν τις έγκυρες ταυτότητες για αυτόν τον οργανισμό. Η προεπιλεγμένη υλοποίηση MSP στο Fabric χρησιμοποιεί πιστοποιητικά X.509 ως ταυτότητες, υιοθετώντας ένα παραδοσιακό ιεραρχικό μοντέλο Public Key Infrastructure (PKI). Με λίγα λόγια, οι αρχές πιστοποιητικών PKI και οι MSP παρέχουν παρόμοιο συνδυασμό λειτουργιών. Ένα PKI διανέμει πολλούς διαφορετικούς τύπους επαληθεύσιμων ταυτοτήτων. Ένας MSP, από την άλλη πλευρά, καθορίζει ποιες ταυτότητες είναι τα έμπιστα μέλη (οι ηθοποιοί) του δικτύου πληρωμών του καταστήματος. Τα MSP μετατρέπουν επαληθεύσιμες ταυτότητες σε μέλη ενός δικτύου blockchain [153].

Ένα Public Key Infrastructure (PKI) είναι μια συλλογή τεχνολογιών διαδικτύου που παρέχει ασφαλείς επικοινωνίες σε ένα δίκτυο. Αν και ένα δίκτυο blockchain είναι κάτι περισσότερο από ένα δίκτυο επικοινωνιών, βασίζεται στο πρότυπο PKI για να διασφαλίσει την ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων συμμετεχόντων στο δίκτυο, εγγυώντας ότι τα μηνύματα που δημοσιεύονται στο blockchain ελέγχονται σωστά. Διακρίνουμε τέσσερα βασικά στοιχεία για το PKI: Digital Certificates, Public and Private Keys, Certificate Authorities, Certificate Revocation Lists [154].

Το ψηφιακό πιστοποιητικό είναι ένα έγγραφο που περιέχει ένα σύνολο χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τον κάτοχο του πιστοποιητικού. Ο πιο συνηθισμένος τύπος πιστοποιητικού είναι αυτό που συμμορφώνεται με το πρότυπο X.509, το οποίο επιτρέπει στη δομή του την κωδικοποίηση των στοιχείων αναγνώρισης ενός συμμετέχοντα. Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι όλα τα χαρακτηριστικά του συμμετέχοντα μπορούν να καταγραφούν χρησιμοποιώντας μια μαθηματική τεχνική που ονομάζεται κρυπτογραφία,



έτσι ώστε η παραβίαση να ακυρώνει το πιστοποιητικό. Η κρυπτογραφία επιτρέπει στο συμμετέχοντα να παρουσιάσει το πιστοποιητικό του σε άλλους για να αποδείξει την ταυτότητά της, εφόσον το άλλο μέρος εμπιστεύεται τον εκδότη του πιστοποιητικού, γνωστό ως Certificate Authority (CA). Εφόσον το CA διατηρεί ορισμένες κρυπτογραφικές πληροφορίες με ασφάλεια (δηλαδή το δικό της ιδιωτικό κλειδί υπογραφής), οποιοσδήποτε διαβάζει το πιστοποιητικό μπορεί να είναι σίγουρος ότι οι πληροφορίες σχετικά με το συμμετέχοντα δεν έχουν παραποιηθεί. Δηλαδή το πιστοποιητικό X.509 του συμμετέχοντα αποτελεί μια ψηφιακή ταυτότητα που είναι αδύνατο να αλλάξει.

Ο έλεγχος ταυτότητας και η ακεραιότητα του μηνύματος είναι σημαντικές έννοιες στις ασφαλείς επικοινωνίες. Ο έλεγχος ταυτότητας απαιτεί τα μέρη που ανταλλάσσουν μηνύματα να έχουν διαβεβαιωθεί για την ταυτότητα εκείνου που δημιουργήσε ένα μήνυμα Ένα μήνυμα έχει «ακεραιότητα» όταν δεν μπορεί να τροποποιηθεί κατά τη μετάδοσή του. Θέλουμε να είμαστε σίγουροι ότι επικοινωνούμε με τον πραγματικό συμμετέχοντα και όχι με μια μίμηση, κι αν ο συμμετέχων μας έχει στείλει ένα μήνυμα, θέλουμε να βεβαιωθούμε ότι δεν έχει παραβιαστεί από κανέναν άλλον κατά τη μετάδοση. Οι παραδοσιακοί μηχανισμοί ελέγχου ταυτότητας βασίζονται σε ψηφιακές υπογραφές που, επιτρέπουν σε έναν συμμετέχοντα να υπογράψει ψηφιακά τα μηνύματά του. Οι ψηφιακές υπογραφές παρέχουν επίσης εγγυήσεις για την ακεραιότητα του υπογεγραμμένου μηνύματος.

Από τεχνική άποψη, οι μηχανισμοί ψηφιακής υπογραφής απαιτούν από κάθε συμμετέχοντα στο δίκτυο να κρατά δύο κρυπτογραφικά συνδεδεμένα κλειδιά: ένα δημόσιο κλειδί που είναι ευρέως διαθέσιμο και λειτουργεί ως κλειδί ελέγχου ταυτότητας και ένα ιδιωτικό κλειδί που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ψηφιακών υπογραφών σε μηνύματα. Οι παραλήπτες ψηφιακά υπογεγραμμένων μηνυμάτων μπορούν να επαληθεύσουν την προέλευση και την ακεραιότητα ενός ληφθέντος μηνύματος ελέγχοντας ότι η συνημμένη υπογραφή είναι έγκυρη για το δημόσιο κλειδί του αναμενόμενου αποστολέα. Η μοναδική σχέση μεταξύ ενός ιδιωτικού κλειδιού και του αντίστοιχου δημόσιου κλειδιού είναι η κρυπτογραφική σχέση που καθιστά δυνατή την ασφαλή επικοινωνία. Η μοναδική μαθηματική σχέση μεταξύ των κλειδιών είναι τέτοια που το ιδιωτικό κλειδί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μιας υπογραφής σε ένα μήνυμα που μόνο το αντίστοιχο δημόσιο κλειδί μπορεί να ταιριάζει, μόνο στο ίδιο μήνυμα.

Ένας συμμετέχων ή ένας κόμβος μπορεί να συμμετέχει στο δίκτυο blockchain, μέσω μιας ψηφιακής ταυτότητας που εκδίδεται για εκείνον από μια αρχή που το σύστημα εμπιστεύεται. Συνήθως, οι ψηφιακές ταυτότητες έχουν τη μορφή κρυπτογραφικά επικυρωμένων ψηφιακών πιστοποιητικών που συμμορφώνονται με το πρότυπο X.509 και εκδίδονται από ένα Certificate Authority (CA). Τα CA είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι των πρωτοκόλλων ασφαλείας στο Διαδίκτυο, με μερικά από τα πιο δημοφιλή να είναι: Symantec, GeoTrust, DigiCert, GoDaddy, Comodo και άλλα. Μια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών χορηγεί πιστοποιητικά σε διαφορετικούς συμμετέχοντες. Αυτά τα πιστοποιητικά υπογράφονται ψηφιακά από το CA και συνδέουν τον συμμετέχοντα με το δημόσιο κλειδί του, ενώ προαιρετικά τον συνδέουν με μια ολοκληρωμένη λίστα ιδιοτήτων. Ως αποτέλεσμα, εάν κάποιος εμπιστεύεται το CA (και γνωρίζει το δημόσιο κλειδί της),

μπορεί να εμπιστευτεί ότι ο συγκεκριμένος παράγοντας είναι συνδεδεμένος με το δημόσιο κλειδί που περιλαμβάνεται στο πιστοποιητικό και κατέχει τα συμπεριλαμβανόμενα χαρακτηριστικά, επικυρώνοντας την υπογραφή της CA στο πιστοποιητικό του συμμετέχοντα. Τα πιστοποιητικά μπορούν να διαδοθούν ευρέως, καθώς δεν περιλαμβάνουν τα ιδιωτικά κλειδιά ούτε των συμμετεχόντων ούτε του CA. Ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέσω εμπιστοσύνης για τον έλεγχο ταυτότητας μηνυμάτων που προέρχονται από διαφορετικούς συμμετέχοντες. Τα CA διαθέτουν επίσης πιστοποιητικό, το οποίο καθιστούν ευρέως διαθέσιμο. Αυτό επιτρέπει στους καταναλωτές ταυτοτήτων που εκδίδονται από ένα δεδομένο CA να τις επαληθεύουν ελέγχοντας ότι το πιστοποιητικό θα μπορούσε να έχει δημιουργηθεί μόνο από τον κάτοχο του αντίστοιχου ιδιωτικού κλειδιού (το CA). Σε ένα περιβάλλον blockchain, κάθε παράγοντας που επιθυμεί να αλληλεπιδράσει με το δίκτυο χρειάζεται μια ταυτότητα. Σε αυτό το σενάριο, ουσιαστικά ένα ή περισσότερα CA μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό των μελών ενός οργανισμού στο ψηφιακό δίκτυο. Το CA παρέχει τη βάση ώστε οι φορείς ενός οργανισμού να έχουν επαληθεύσιμη ψηφιακή ταυτότητα. Τα CA μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: Root CA και Intermediate CA. Επειδή τα Root CA (Symantec, GeoTrust, και άλλα) πρέπει να διανέμουν με ασφάλεια εκατοντάδες εκατομμύρια πιστοποιητικά στους χρήστες του διαδικτύου, είναι λογικό να μετατεθεί αυτή η διαδικασία σε αυτά που ονομάζονται Intermediate CA. Αυτά τα Intermediate CA έχουν τα πιστοποιητικά τους να εκδίδονται από το Root CA ή άλλη ενδιάμεση αρχή, επιτρέποντας τη δημιουργία μιας «αλυσίδας εμπιστοσύνης» για κάθε πιστοποιητικό που εκδίδεται από οποιοδήποτε CA στην αλυσίδα. Αυτή η δυνατότητα παρακολούθησης μέχρι το Root CA, επιτρέπει την κλιμάκωση της λειτουργίας των CA, παρέχει ασφάλεια, επιτρέποντας στους οργανισμούς που καταναλώνουν πιστοποιητικά να χρησιμοποιούν τις ενδιάμεσες CA με σιγουριά, περιορίζει την έκθεση του Root CA, το οποίο, εάν τεθεί σε κίνδυνο, θα θέσει σε κίνδυνο ολόκληρη την αλυσίδα εμπιστοσύνης. Εάν ένα Intermediate CA παραβιαστεί, από την άλλη πλευρά, θα υπάρξει πολύ μικρότερη έκθεση. Δημιουργείται μια αλυσίδα εμπιστοσύνης μεταξύ ενός Root CA και ενός συνόλου Intermediate CA, εφόσον το CA έκδοσης για το πιστοποιητικό καθενός από αυτά των Intermediate CA είναι είτε το ίδιο το Root CA είτε έχει μια αλυσίδα αξιοπιστίας στο Root CA. Τα Intermediate CA παρέχουν τεράστια ευελιξία όσον αφορά την έκδοση πιστοποιητικών σε πολλούς οργανισμούς και αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε ένα σύστημα blockchain με έλεγχο (όπως το Hyperledger Fabric). Για παράδειγμα, διαφορετικοί οργανισμοί ενδέχεται να χρησιμοποιούν διαφορετικά Root CA ή το ίδιο Root CA με διαφορετικά Intermediate CA, ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου.

Το Fabric παρέχει ένα ενσωματωμένο CA που επιτρέπει να δημιουργηθεί CA στα δίκτυα blockchain που σχηματίζονται μέσω του Fabric. Αυτό το στοιχείο, το Fabric CA, είναι ένας ιδιωτικός πάροχος Root CA που μπορεί να διαχειρίζεται ψηφιακές ταυτότητες συμμετεχόντων στο Fabric που έχουν τη μορφή πιστοποιητικών X.509. Επειδή το Fabric CA είναι ένα προσαρμοσμένο CA που στοχεύει τις ανάγκες του Root CA του Fabric, δεν είναι στοχευμένο στο να παρέχει πιστοποιητικά SSL για γενική/αυτόματη χρήση σε προγράμματα περιήγησης. Ωστόσο, επειδή ορισμένα CA πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση της ταυτότητας, το Fabric CA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή και

τη διαχείριση πιστοποιητικών. Είναι επίσης δυνατή και κατάλληλη η χρήση δημόσιου/εμπορικού Root ή Intermediate CA για την παροχή αναγνώρισης.

Μια Certificate Revocation List (CRL) είναι μια λίστα αναφορών σε πιστοποιητικά που ένα CA γνωρίζει ότι ανακαλούνται για κάποιον λόγο. Όταν ένας τρίτος εμπλεκόμενος θέλει να επαληθεύσει την ταυτότητα ενός άλλου συμμετέχοντα, ελέγχει πρώτα το CRL του εκδότη του CA για να βεβαιωθεί ότι το πιστοποιητικό δεν έχει ανακληθεί. Ένας επαληθευτής δεν χρειάζεται να ελέγξει το CRL, αλλά αν δεν το κάνει, διατρέχει τον κίνδυνο να αποδεχτεί μια παραβιασμένη ταυτότητα.

Επειδή το Fabric είναι ένα δίκτυο με έλεγχο, οι συμμετέχοντες στο blockchain χρειάζονται έναν τρόπο να αποδείξουν την ταυτότητά τους στο υπόλοιπο δίκτυο προκειμένου να πραγματοποιήσουν συναλλαγές στο δίκτυο. Ένα Public Key Infrastructure (PKI) μπορεί να παρέχει επαληθεύσιμες ταυτότητες μέσω μιας αλυσίδας εμπιστοσύνης.

Τα Certificate Authorities εκδίδουν ταυτότητες δημιουργώντας ένα δημόσιο και ιδιωτικό κλειδί που σχηματίζει ένα ζεύγος κλειδιών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απόδειξη της ταυτότητας. Αυτή η ταυτότητα χρειάζεται έναν τρόπο για να αναγνωρισθεί από το δίκτυο, κι εδώ είναι χρήσιμο το MSP. Για παράδειγμα, ένας peer χρησιμοποιεί το ιδιωτικό του κλειδί για να υπογράψει ψηφιακά ή να εγκρίνει μια συναλλαγή. Το MSP χρησιμοποιείται για να ελέγξει ότι ο peer δικαιούται να εγκρίνει τη συναλλαγή. Στη συνέχεια, το δημόσιο κλειδί από το πιστοποιητικό του peer χρησιμοποιείται για να επαληθευτεί ότι η υπογραφή που επισυνάπτεται στη συναλλαγή είναι έγκυρη. Έτσι, το MSP είναι ο μηχανισμός που επιτρέπει σε αυτήν την ταυτότητα να είναι αξιόπιστη και να αναγνωρίζεται από το υπόλοιπο δίκτυο.

Αυτή η ικανότητα μετατροπής επαληθεύσιμων ταυτοτήτων σε ρόλους είναι θεμελιώδης για τον τρόπο λειτουργίας των δικτύων Fabric, καθώς επιτρέπει σε οργανισμούς, κόμβους και κανάλια τη δυνατότητα δημιουργίας MSP που καθορίζουν ποιος επιτρέπεται να κάνει τι σε επίπεδο οργανισμού, κόμβου και καναλιού.

Έστω ότι θέλουμε να εγγραφούμε σε ένα υπάρχον δίκτυο, πρέπει να μετατρέψουμε την ταυτότητά μας σε κάτι που αναγνωρίζεται από το δίκτυο. Το MSP είναι ο μηχανισμός που επιτρέπει να συμμετέχουμε σε ένα εξουσιοδοτημένο δίκτυο blockchain. Για να πραγματοποιήσει συναλλαγές σε ένα δίκτυο Fabric, ένα μέλος πρέπει να:

- Έχει ταυτότητα που έχει εκδοθεί από CA που το εμπιστεύεται ένας οργανισμός. Ο οργανισμός MSP καθορίζει ποιά CA είναι αξιόπιστα για τον οργανισμό.
- Ελέγξει ότι ο οργανισμός MSP έχει προστεθεί στο κανάλι. Αυτό σημαίνει ότι ο οργανισμός αναγνωρίζεται και εγκρίνεται από τα μέλη του δικτύου.
- Βεβαιωθεί ότι το MSP περιλαμβάνεται στους ορισμούς πολιτικών στο δίκτυο.

Παρά το όνομά του, ο Membership Service Provider δεν παρέχει στην πραγματικότητα τίποτα. Αντίθετα, η υλοποίηση της απαίτησης MSP είναι ένα σύνολο φακέλων που προστίθενται στη διαμόρφωση του δικτύου και χρησιμοποιούνται για τον ορισμό ενός οργανισμού τόσο εσωτερικά (οι οργανισμοί αποφασίζουν ποιοι είναι οι διαχειριστές του)

όσο και εξωτερικά (επιτρέποντας σε άλλους οργανισμούς να επικυρώσουν αυτές τις οντότητες έχουν την εξουσία να κάνουν αυτό που προσπαθούν να κάνουν). Ενώ τα Certificate Authorities δημιουργούν τα πιστοποιητικά που αντιπροσωπεύουν ταυτότητες, το MSP περιέχει μια λίστα με επιτρεπόμενες ταυτότητες.

Το MSP προσδιορίζει ποια Root CA και Intermediate CA είναι αποδεκτά για τον ορισμό των μελών ενός τομέα εμπιστοσύνης, παραθέτοντας τις ταυτότητες των μελών τους ή προσδιορίζοντας ποιά CA είναι εξουσιοδοτημένα να εκδίδουν έγκυρες ταυτότητες για τα μέλη τους.

Αλλά η ισχύς ενός MSP υπερβαίνει την απλή καταχώριση του ποιος είναι συμμετέχων στο δίκτυο ή μέλος ενός καναλιού. Είναι το MSP που μετατρέπει μια ταυτότητα σε ρόλο προσδιορίζοντας συγκεκριμένα προνόμια που έχει ένας συμμετέχων σε έναν κόμβο ή ένα κανάλι. Όταν ένας χρήστης είναι εγγεγραμμένος σε ένα Fabric CA, ένας ρόλος διαχειριστή, peer, client, ordered ή μέλους πρέπει να συσχετιστεί με τον χρήστη. Για παράδειγμα, οι ταυτότητες που έχουν καταχωρηθεί με τον ρόλο «peer» θα πρέπει, να δοθούν σε έναν peer. Ομοίως, οι ταυτότητες που έχουν καταχωρηθεί με τον ρόλο «διαχειριστή» θα πρέπει να δίνονται στους διαχειριστές οργανισμών. Επιπλέον, ένα MSP μπορεί να επιτρέψει την αναγνώριση μιας λίστας ταυτοτήτων που έχουν ανακληθεί.

Τα MSP εμφανίζονται σε δύο τομείς σε ένα δίκτυο blockchain:

- Τοπικά στον κόμβο ενός συμμετέχοντα (τοπικό MSP)
- Στη διαμόρφωση καναλιού (MSP καναλιού)

Η βασική διαφορά μεταξύ τοπικών MSP και MSP καναλιών δεν είναι ο τρόπος λειτουργίας τους –και τα δύο μετατρέπουν τις ταυτότητες σε ρόλους– αλλά το εύρος τους. Κάθε MSP παραθέτει ρόλους και δικαιώματα σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο διαχείρισης.

**Τα τοπικά MSP** ορίζονται για πελάτες και για κόμβους (peers και orderers). Τα τοπικά MSP ορίζουν τα δικαιώματα για έναν κόμβο (ποιοι είναι οι peer διαχειριστές που μπορούν να χειριστούν τον κόμβο, για παράδειγμα). Οι τοπικοί MSP των clients, επιτρέπουν στον χρήστη να πιστοποιεί τον εαυτό του στις συναλλαγές του ως μέλος ενός καναλιού (π.χ. σε συναλλαγές με αλυσιδωτό κώδικα) ή ως κάτοχος ενός συγκεκριμένου ρόλου στο σύστημα. Ως διαχειριστής οργανισμού, για παράδειγμα, στις συναλλαγές διαμόρφωσης.

Κάθε κόμβος πρέπει να έχει ορισμένο τοπικό MSP, όπως ορίζει ποιος έχει δικαιώματα διαχείρισης ή συμμετοχής σε αυτό το επίπεδο (οι peer διαχειριστές δεν θα είναι απαραίτητα διαχειριστές καναλιού και το αντίστροφο). Αυτό επιτρέπει τον έλεγχο ταυτότητας μηνυμάτων μελών εκτός του περιβάλλοντος ενός καναλιού και τον καθορισμό των δικαιωμάτων σε έναν συγκεκριμένο κόμβο (που έχει τη δυνατότητα να εγκαταστήσει chaincode σε έναν peer, για παράδειγμα). Σημειώστε ότι ένας ή περισσότεροι κόμβοι μπορούν να ανήκουν σε έναν οργανισμό. Ένας MSP ορίζει τους διαχειριστές του οργανισμού. Και ο οργανισμός, ο διαχειριστής του οργανισμού, ο διαχειριστής του κόμβου και ο ίδιος ο κόμβος θα πρέπει όλοι να έχουν την ίδια ρίζα εμπιστοσύνης.

Ένα τοπικό orderer MSP ορίζεται επίσης στο σύστημα αρχείων του κόμβου και ισχύει μόνο για αυτόν τον κόμβο. Όπως και οι peers κόμβοι, οι παραγγελίες ανήκουν επίσης σε έναν μεμονωμένο οργανισμό και επομένως έχουν ένα μοναδικό MSP για να απαριθμήσει τους φορείς ή τους κόμβους που εμπιστεύεται.

Αντίθετα, τα **MSP καναλιών** ορίζουν δικαιώματα διαχείρισης και συμμετοχής σε επίπεδο καναλιού. Οι peers και οι ordering κόμβοι σε ένα κανάλι εφαρμογής μοιράζονται την ίδια όψη των MSP καναλιών και επομένως θα μπορούν να ελέγχουν σωστά την ταυτότητα των συμμετεχόντων καναλιού. Αυτό σημαίνει ότι εάν ένας οργανισμός επιθυμεί να συμμετάσχει στο κανάλι, ένας MSP που ενσωματώνει την αλυσίδα εμπιστοσύνης για τα μέλη του οργανισμού θα πρέπει να συμπεριληφθεί στη διαμόρφωση του καναλιού. Διαφορετικά οι συναλλαγές που προέρχονται από την ταυτότητα αυτού του οργανισμού θα απορρίπτονται. Ενώ τα τοπικά MSP εμφανίζονται ως δομή φακέλου στο σύστημα αρχείων, τα MSP καναλιών περιγράφονται σε μια διαμόρφωση καναλιού.

Οι MSP καναλιών προσδιορίζουν ποιος έχει εξουσιοδότηση σε επίπεδο καναλιού. Το MSP καναλιού καθορίζει τη σχέση μεταξύ των ταυτοτήτων των μελών του καναλιού (τα οποία τα ίδια είναι MSP) και την επιβολή των πολιτικών σε επίπεδο καναλιού. Τα MSP καναλιών περιέχουν τα MSP των οργανισμών των μελών του καναλιού.

Κάθε οργανισμός που συμμετέχει σε ένα κανάλι πρέπει να έχει ορισμένο MSP για αυτό. Μάλιστα, **συνιστάται να υπάρχει μια αντιστοίχιση ένας προς έναν μεταξύ των οργανισμών και των MSP**. Το MSP ορίζει ποια μέλη έχουν την εξουσία να ενεργούν για λογαριασμό του οργανισμού. Αυτό περιλαμβάνει τη διαμόρφωση του ίδιου του MSP καθώς και την έγκριση διοικητικών εργασιών στις οποίες έχει ρόλο ο οργανισμός, όπως η προσθήκη νέων μελών σε ένα κανάλι. Εάν όλα τα μέλη του δικτύου ήταν μέρος ενός μόνο οργανισμού ή MSP, το απόρρητο των δεδομένων θυσιάζεται. Πολλοί οργανισμοί διευκολύνουν το απόρρητο διαχωρίζοντας τα δεδομένα του καθολικού μόνο στα μέλη του καναλιού. Εάν απαιτείται περισσότερη παραμετροποίηση σε έναν οργανισμό, ο οργανισμός μπορεί να χωριστεί περαιτέρω σε οργανωτικές μονάδες (Organizational Units - OUs).

Το κανάλι MSP περιλαμβάνει τα MSP όλων των οργανισμών σε ένα κανάλι. Αυτό περιλαμβάνει όχι μόνο «peer οργανισμούς», που περιέχουν peers και επικαλούνται αλυσιδωτούς κώδικες, αλλά τους οργανισμούς που κατέχουν και διαχειρίζονται την υπηρεσία παραγγελιών.

Τα τοπικά MSP ορίζονται μόνο στο σύστημα αρχείων του κόμβου ή του χρήστη στον οποίο εφαρμόζονται. Επομένως, υπάρχει μόνο ένα τοπικό MSP ανά κόμβο. Ωστόσο, καθώς τα MSP καναλιών είναι διαθέσιμα σε όλους τους κόμβους του καναλιού, λογικά ορίζονται μία φορά στη διαμόρφωση του καναλιού. Ωστόσο, ένα MSP καναλιού εγκαθίσταται επίσης στο σύστημα αρχείων κάθε κόμβου στο κανάλι και διατηρείται συγχρονισμένο μέσω συναίνεσης. Έτσι, ενώ υπάρχει ένα αντίγραφο κάθε MSP καναλιού στο τοπικό σύστημα αρχείων κάθε κόμβου, λογικά ένα κανάλι MSP βρίσκεται και διατηρείται από το κανάλι ή το δίκτυο.

## 4.2 Τεχνολογικές και μη απαιτήσεις του συστήματος

### 4.2.1 Τεχνολογικές απαιτήσεις

#### **Απαιτήσεις Hardware**

Το σύστημα blockchain Hyperledger Fabric απαιτεί στιβαρό και αξιόπιστο υλικό για να ανταποκριθεί στις υπολογιστικές απαιτήσεις του δικτύου. Για τη λειτουργία του δικτύου Fabric και τη διατήρηση του όγκου συναλλαγών του συστήματος, απαιτούνται συχνά διακομιστές υψηλής απόδοσης. Η ακριβής ανάγκη σε απαραίτητο υλικό απαιτεί διεξοδική εξέταση του όγκου των δεδομένων και της συχνότητας συναλλαγών.

#### **Απαιτήσεις Software**

Το blockchain framework Hyperledger Fabric είναι το βασικό κομμάτι λογισμικού που απαιτείται για αυτό το έργο. Για τον έλεγχο του δικτύου, τη δημιουργία, τη δοκιμή του chaincode, καθώς και την ανάπτυξη μιας δικτυακής εφαρμογής, απαιτούνται κι άλλα εργαλεία λογισμικού. Επιπλέον, απαιτείται είτε το κατάλληλο ενδιάμεσο λογισμικό ή API για την ενσωμάτωση του συστήματος Blockchain με το λογισμικό ERP, είτε η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων από το ERP.

#### **Απαιτήσεις Δικτύου**

Για να διευκολυνθεί η απρόσκοπτη επικοινωνία μεταξύ των χρηστών του δικτύου Blockchain, είναι απαραίτητη μια ασφαλής και στιβαρή αρχιτεκτονική δικτύου. Η ιεράρχηση του πλεονασμού, της ευρωστίας και της ασφάλειας στην αρχιτεκτονική του δικτύου θα βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι το σύστημα θα λειτουργεί ακόμη και κάτω από δύσκολες συνθήκες.

#### **Απαιτήσεις Ασφάλειας**

Πρέπει να ληφθούν ισχυρά μέτρα ασφαλείας λόγω της ευαισθησίας των δεδομένων που χειρίζεται το σύστημα. Αυτό περιλαμβάνει ασφαλή συστήματα διαχείρισης κλειδιών, τακτικούς ελέγχους ασφαλείας, μικρή χρονική διάρκεια πρόσβασης σε κάθε σύνδεση και κρυπτογράφηση δεδομένων τόσο σε κατάσταση ηρεμίας όσο και κατά τη μεταφορά. Στο δίκτυο μας τηρείται η λογική δημόσιου/ιδιωτικού κλειδιού, κάτι που σέβεται και η δικτυακή μας εφαρμογή.

#### **Απαιτήσεις Δεδομένων**

Η επιτυχία του συστήματος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απρόσκοπτη ενσωμάτωσή του στο υπάρχον σύστημα ERP. Επομένως, απαιτεί βαθιά κατανόηση των δομών δεδομένων και των ροών εργασίας του τρέχοντος συστήματος. Τα δεδομένα που θα επιλεγθούν για το σύστημα blockchain πρέπει να είναι σχετικά με το use case που θέλουμε να υλοποιήσουμε, όπου σε αυτήν την εργασία αφορά την παραγγελία και επεξεργασία προϊόντων από τον Manufacturer-Owner της αλυσίδας.

### 4.2.2 Μη-τεχνολογικές απαιτήσεις

#### **Απαιτήσεις Προσωπικού**

Η ανάπτυξη και η διατήρηση ενός συστήματος blockchain Hyperledger Fabric απαιτεί μια ομάδα εξειδικευμένου προσωπικού. Αυτό περιλαμβάνει διαχειριστές συστημάτων που διαχειρίζονται το δίκτυο, προγραμματιστές λογισμικού που δημιουργούν και δοκιμάζουν τον chaincode και ειδικούς ενοποίησης που συνδέουν τη λύση blockchain με τα υπάρχοντα συστήματα. Για το use case μας, μπορεί κάποιο άτομο μόνο του να εκτελέσει όλη τη διαδικασία εγκατάστασης και χρήσης του συστήματος, ωστόσο για πιθανή επέκταση θα ήταν χρήσιμη η συνεργασία μεταξύ ατόμων/οργανισμών.

### **Απαιτήσεις Εκπαίδευσης**

Απαιτείται ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα κατάρτισης για να μπορέσουν όλοι οι εμπλεκόμενοι εργαζόμενοι ή χρήστες της εφαρμογής να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά το νέο σύστημα. Αυτό το πρόγραμμα μπορεί να περιλαμβάνει πρακτική εκπαίδευση, οδηγούς χρήσης και συνεχή υποστήριξη για γρήγορη επίλυση προβλημάτων χρήσης του συστήματος. Για το σύστημά μας θεωρούμε ότι οι οδηγίες εγκατάστασης και οι οδηγίες χρήσης, μαζί με την ανάγνωση του παρόντος, είναι επαρκείς για την ορθή χρήση του.

### **Απαιτήσεις Πολιτικών**

Υπάρχει ανάγκη για σαφείς πολιτικές σχετικά με τη χρήση του συστήματος, τη διαχείριση δεδομένων και τις διαδικασίες για την επίλυση διαφορών και παραβιάσεων ασφάλειας. Οι πολιτικές πρέπει να είναι συνεπείς με την προβλεπόμενη χρήση του συστήματος και να τηρούν τις βέλτιστες πρακτικές για τη διαχείριση δεδομένων και την επίλυση διαφορών.

### **Απαιτήσεις Κανονιστικής Συμμόρφωσης**

Η συμμόρφωση με τους τοπικούς κανονισμούς και τους ειδικούς για τον κλάδο κανονισμούς είναι μια σημαντική μη τεχνική απαίτηση. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει κανονισμούς προστασίας δεδομένων, ειδικές οδηγίες σχετικά με τη χρήση της τεχνολογίας blockchain και νομικούς κανονισμούς που αφορούν τον κλάδο.

## **4.3 Μεθοδολογία δόμησης του Blockchain**

### **4.3.1 Δόμηση του blockchain block**

Η κατασκευή block στο blockchain είναι αναπόσπαστο μέρος του συστήματος blockchain Hyperledger Fabric. Κάθε block περιέχει μεταδεδομένα σχετικά με το σύνολο των συναλλαγών και το ίδιο το block και κάθε συναλλαγή εντός του block περιλαμβάνει τις ψηφιακές υπογραφές των εμπλεκόμενων μερών, μια χρονική σήμανση και την κατάσταση της συναλλαγής. Η ακεραιότητα των block και των συναλλαγών τους είναι εγγυημένη από κρυπτογραφικούς κατακερματισμούς. Κάθε block περιέχει τον κατακερματισμό του προηγούμενου block, δημιουργώντας μια αμετάβλητη αλυσίδα. Σε αυτό το σύστημα, η δομή του blockchain ακολουθεί αυτές τις βασικές αρχές, διασφαλίζοντας τη συνέπεια και την ασφάλεια των δεδομένων του συστήματος.

#### 4.3.2 Διαχείριση κλειδιών

Η διαχείριση κλειδιών είναι μια ουσιαστική πτυχή της ασφάλειας ενός συστήματος blockchain Hyperledger Fabric. Το σύστημα χρησιμοποιεί ζεύγη δημόσιων/ιδιωτικών κλειδιών για την αναγνώριση συμμετεχόντων και την επαλήθευση συναλλαγής. Κάθε συμμετέχων έχει ένα μοναδικό ζεύγος κλειδιών.

Το δημόσιο κλειδί είναι γνωστό σε όλους στο δίκτυο, αλλά το ιδιωτικό κλειδί παραμένει μυστικό. Το ιδιωτικό κλειδί χρησιμοποιείται για την υπογραφή συναλλαγών και το δημόσιο κλειδί για την επαλήθευση υπογραφών. Ένα ισχυρό σύστημα διαχείρισης κλειδιών είναι απαραίτητο για τη διασφάλιση της ασφαλούς δημιουργίας, αποθήκευσης, διανομής και ανάκλησης κλειδιού. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση ασφαλών μηχανισμών αποθήκευσης κλειδιών, τακτική εναλλαγή κλειδιών και αποτελεσματικούς μηχανισμούς ανάκτησης κλειδιών. Κατά τη διάρκεια δημιουργίας του δικτύου δημιουργούνται νέα κλειδιά, ενώ και η δικτυακή εφαρμογή έχει περιορισμούς στην επαναχρησιμοποίηση κλειδιών.

#### 4.3.3 Πολιτική πρόσβασης στο δίκτυο

Η πρόσβαση στο δίκτυο διέπεται από ένα σύνολο πολιτικών που ορίζονται από τους διαχειριστές του δικτύου. Στο πλαίσιο του συστήματος blockchain Hyperledger Fabric, η πολιτική πρόσβασης στο δίκτυο μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε δύο βασικούς τύπους: (1) Συμμετέχοντες Φορείς, (2) Διαχειριστές Δικτύου. Οι συμμετέχουσες εταιρείες έχουν περιορισμένη πρόσβαση για τη διεξαγωγή συναλλαγών που σχετίζονται κυρίως με τον ρόλο τους στη διαδικασία της αλυσίδας εφοδιασμού. Οι διαχειριστές δικτύου, από την άλλη πλευρά, έχουν ευρύτερα δικαιώματα πρόσβασης. Φυσικά το σύστημα ελέγχου πρόσβασης μπορεί να τροποποιηθεί με γνώμονα τη διασφάλιση της ασφάλειας και της ακεραιότητας του δικτύου.

#### 4.4.4 Αλγόριθμος consensus

Οι αλγόριθμοι συναίνεσης αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του συστήματος blockchain Hyperledger Fabric, υπεύθυνο για τη διατήρηση της συνέπειας και της αξιοπιστίας του δικτύου. Το Hyperledger Fabric χρησιμοποιεί έναν pluggable μηχανισμό συναίνεσης που επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών μεθόδων συναίνεσης με βάση τις ανάγκες του δικτύου. Το σύστημα χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο συναίνεσης για την αλυσίδα εφοδιασμού με έμφαση στην ανοχή σφαλμάτων (Crash Fault Tolerance), την επεκτασιμότητα και την απόδοση των συναλλαγών.

#### 4.4.5 Smart contracts

Ένα έξυπνο συμβόλαιο, ή ένα chaincode, στο πλαίσιο του Hyperledger Fabric, είναι ένα αυτόνομο πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο στο blockchain και εκτελεί αυτόματα συναλλαγές όταν πληρούνται προκαθορισμένες προϋποθέσεις. Στο σύστημα που αναπτύσσουμε, το έξυπνο συμβόλαιο διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το έξυπνο συμβόλαιο έχει σχεδιαστεί προσεκτικά για να καταγράφει ακριβώς την επιθυμητή ροή εργασιών στην αλυσίδα εφοδιασμού. Επιπλέον, ελέγχεται διεξοδικά για λογική ορθότητα και ευπάθειες ασφαλείας προτού αναπτυχθεί σε ένα ζωντανό σύστημα.



#### 4.4.6 Αρχιτεκτονική συστήματος **Stakeholders**

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι ενδιαφερόμενοι στην αλυσίδα εφοδιασμού κατά τη διαχείριση των δεδομένων τους, όπως οι ακόλουθες:

- **Σιλό δεδομένων:** Κάθε συμμετέχων στην αλυσίδα εφοδιασμού έχει συχνά τα δικά του συστήματα και διαδικασίες διαχείρισης δεδομένων, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία σιλό δεδομένων. Αυτό καθιστά δύσκολη την πρόσβαση και την κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών ενδιαφερομένων, οδηγώντας σε αναποτελεσματικότητα και πιθανά σφάλματα.
- **Ποιότητα δεδομένων:** Η ποιότητα των δεδομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι συχνά κακή, με ασυνέπειες, λάθη και πληροφορίες που λείπουν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ανακριβή λήψη αποφάσεων και μπορεί να επηρεάσει την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- **Ασφάλεια δεδομένων:** Η αλυσίδα εφοδιασμού είναι ένα σύνθετο δίκτυο πολλαπλών ενδιαφερομένων, γεγονός που την καθιστά ευάλωτη σε απειλές ασφαλείας, όπως παραβιάσεις δεδομένων, πειρατεία και απάτη. Η προστασία των δεδομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι μια σημαντική πρόκληση για τα ενδιαφερόμενα μέρη.
- **Ενοποίηση δεδομένων:** Η ενοποίηση δεδομένων από διαφορετικούς ενδιαφερόμενους φορείς στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι συχνά μια πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και πρόσθετο κόστος, μειώνοντας την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.
- **Διακυβέρνηση δεδομένων:** Η διακυβέρνηση των δεδομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι συχνά αποκεντρωμένη, με διαφορετικούς ενδιαφερόμενους φορείς να έχουν διαφορετικές πολιτικές και πρακτικές για τη διαχείριση δεδομένων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σύγχυση και συγκρούσεις, εμποδίζοντας την αποτελεσματική χρήση των δεδομένων στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Επιθυμώντας να δώσουμε μια αίσθηση αληθοφάνειας στο σύστημα και με γνώμονα την επεκτασιμότητα, ορίζουμε ως συμμετέχοντες του συστήματος τους εξής: Producer, Manufacturer-Owner, Distributor, Retailer, Consumer.

Για να υλοποιήσουμε το blockchain σύστημα μιας αλυσίδας παραγωγής με βάση το Hyperledger Fabric, ορισμένα δεδομένα που θα ωφελούσαν το σύστημα θα μπορούσαν να αποτελούν:

- Η προέλευση και το ιστορικό των αγαθών, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών για τους παραγωγούς, τους κατασκευαστές και τυχόν μεσάζοντες που εμπλέκονται στην αλυσίδα εφοδιασμού.
- Η τοποθεσία και η κατάσταση των αγαθών σε κάθε στάδιο της αλυσίδας εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών για τη μετακίνησή τους από το σημείο παραγωγής στο σημείο πώλησης.
- Τυχόν πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά, όπως πιστοποιήσεις ασφαλείας και ποιότητας προϊόντων.

- Δεδομένα σχετικά με την απόδοση και την αποδοτικότητα της αλυσίδας εφοδιασμού, όπως πληροφορίες σχετικά με τους χρόνους παράδοσης, την εξοικονόμηση κόστους και άλλες μετρήσεις.
- Οποιοσδήποτε συμβάσεις ή συμφωνίες που σχετίζονται με τη διακίνηση αγαθών στην αλυσίδα εφοδιασμού, όπως συμβάσεις μεταφοράς και εφοδιαστικής.

#### Producer

- Προέλευση και ιστορία των εμπορευμάτων
- Θέση και κατάσταση των αγαθών σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά
- Δεδομένα απόδοσης και αποδοτικότητας για την εφοδιαστική αλυσίδα
- Συμβάσεις ή συμφωνίες που σχετίζονται με τη διακίνηση εμπορευμάτων
- Δεδομένα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την αλυσίδα εφοδιασμού

#### Manufacturer – Owner

- Θέση και κατάσταση των αγαθών σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά
- Δεδομένα απόδοσης και αποδοτικότητας για την εφοδιαστική αλυσίδα
- Συμβάσεις ή συμφωνίες που σχετίζονται με τη διακίνηση εμπορευμάτων
- Δεδομένα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την αλυσίδα εφοδιασμού

#### Distributor

- Θέση και κατάσταση των αγαθών σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά
- Δεδομένα απόδοσης και αποδοτικότητας για την εφοδιαστική αλυσίδα
- Συμβάσεις ή συμφωνίες που σχετίζονται με τη διακίνηση εμπορευμάτων

#### Retailer

- Θέση και κατάσταση των αγαθών σε κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας
- Πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά
- Δεδομένα απόδοσης και αποδοτικότητας για την εφοδιαστική αλυσίδα

#### Consumer

- Προέλευση και ιστορία των εμπορευμάτων
- Πιστοποιήσεις ή πληροφορίες συμμόρφωσης που σχετίζονται με τα αγαθά
- Δεδομένα περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την αλυσίδα εφοδιασμού

Να σημειωθεί εδώ ότι **τα δεδομένα που αναφέρονται είναι ενδεικτικά** με βάση τις συνολικές ανάγκες ενός ERP συστήματος. Στο σύστημα που αναπτύσσουμε, **έχουμε επιλέξει ένα μέρος αυτών, με βάση την ανάγκη του use case που αφορά την παραγγελία και επεξεργασία προϊόντων από τον Manufacturer-Owner της αλυσίδας**. Ωστόσο, όπως θα δούμε και στα συμπεράσματα της εργασίας, η υλοποίηση έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να προστεθούν εύκολα νέες λειτουργίες

**σχετικές με νέα δεδομένα.** Επομένως, λόγω της επεκτασιμότητας του συστήματός μας, το σύστημα μπορεί δυνητικά να περιέχει σχεδόν το σύνολο των δεδομένων ενός ERP συστήματος.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα περισσότερα από τα δεδομένα όπως αναφέρονται στο chaincode:

**Product:** Product\_ID, Initial\_Product\_ID, Product\_Name\_ID, Product\_Type\_ID, Internal\_Name, Description, Status, Quantity, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp, PreviousVersionID, NextVersionID

**InventoryItem:** Inventory\_Item\_ID, Initial\_Inventory\_Item\_ID, Inventory\_Item\_Num\_ID, Inventory\_Item\_Type\_ID, Product\_Name\_ID, Owner\_Party\_ID, Facility\_ID, Quantity\_On\_Hand\_Total, Unit\_Cost, Status, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp, PreviousVersionID, NextVersionID

**Shipment:** Shipment\_ID, Shipment\_Name, Shipment\_Type\_ID, Status\_ID, Primary\_Order\_ID, Estimated\_Ship\_Cost, Party\_ID\_To, Party\_ID\_From, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp

ShipmentItem: Shipment\_Item\_ID, Shipment\_Name, Product\_Name\_ID, Quantity, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp

**Order:** Order\_ID, Order\_Name\_ID, Order\_Type\_ID, Order\_Name, Order\_Date, Order\_Status\_ID, Grand\_Total, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp

**OrderItem:** Order\_Item\_ID, Order\_Name\_ID, Order\_Item\_Type\_ID, Product\_Name\_ID, Quantity, Unit\_Price, Item\_Description, Status\_ID, Last\_Updated\_Stamp, Created\_Stamp, Inventory\_Item\_Num\_ID

### **Δόμηση των συμμετεχόντων στο δίκτυο**

**O1** – Orderer

**C1** – Channel1

**L1** – Ledger

**P1** – peer0.producer

**P2** – peer1.producer

**P3** – peer0.manufacturer

**P4** – peer0.distributor

**P5** – peer0.retailer

**P6** – peer1.retailer

**P7** – peer0.consumer

**P8** – peer1.consumer

**MSPs** – 1 για κάθε Org

**NC1** – Network Config

**CC1** – Channel Config

**S1, S2, S3, S4, S5** – Chaincode

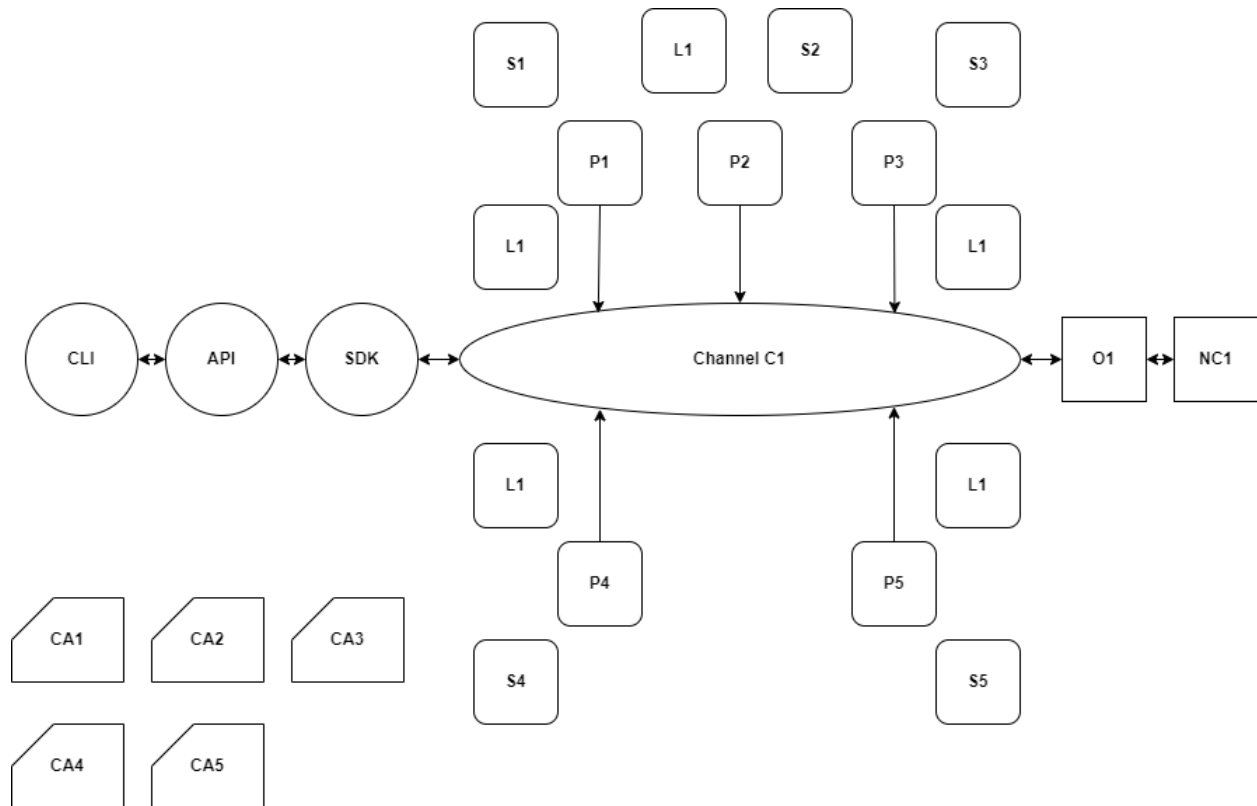
**CA1** – Certificate Authority Producer

**CA2** – Certificate Authority Manufacturer

**CA3** – Certificate Authority Distributor

**CA4** – Certificate Authority Retailer

**CA5** – Certificate Authority Consumer



Εικόνα 6 Διάγραμμα αρχιτεκτονικής προτεινόμενου δικτύου blockchain

## 5. Υλοποίηση εφαρμογής και πιλοτική δοκιμή

### 5.1 Οδηγίες εγκατάστασης της εφαρμογής

Η εφαρμογή υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Ubuntu 23.04. Το blockchain υλοποιήθηκε με το Hyperledger Fabric, στην έκδοση 1.4.12. Ως ERP σύστημα χρησιμοποιήθηκε το Apache Ofbiz, στην έκδοση 18.12.06. Το Apache Ofbiz παρέχει δοκιμαστικό dataset, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση. Για την εξερεύνηση της βάσης δεδομένων του Apache Ofbiz, η οποία είναι μια Derby database, χρησιμοποιήθηκε το RazorSQL. Η εξερεύνηση της βάσης δεδομένων δεν είναι απαραίτητη για την χρήση της εφαρμογής, αφού τα απαραίτητα δεδομένα παρέχονται ως JSON αρχεία στο αποθετήριο της εφαρμογής μας, ωστόσο μπορεί να προσφέρει μια ποιοτική εικόνα για τα δεδομένα, επομένως συνιστάται για μελλοντικές επεκτάσεις. Από εκεί μπορούμε να κάνουμε export επιλεγμένα tables του database, αποθηκεύοντας τα σε JSON αρχεία. Για την υλοποίηση του chaincode χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού Go, στην έκδοση 1.14.15. Η δικτυακή εφαρμογή αναπτύχθηκε σε NodeJS, στην έκδοση 18.13.0.

Οι οδηγίες εγκατάστασης της εφαρμογής βρίσκονται στο αποθετήριο κώδικα της εργασίας ([stefanostsolos/blockchain-supplychain: A Hyperledger Fabric blockchain system supporting Apache's Ofbiz ERP functionality. \(github.com\)](https://github.com/stefanostsolos/blockchain-supplychain)), εναλλακτικά [Blockchain Supplychain installation - Pastebin.com](https://pastebin.com/Blockchain-Supplychain-installation).

### 5.2 Κώδικας και οδηγίες χρήσης

Ο κώδικας της εφαρμογής αποτελείται από τα αρχεία που ρυθμίζουν το δίκτυο Hyperledger Fabric, από το chaincode που είναι υπεύθυνο για την αλληλεπίδραση με το δίκτυο Hyperledger Fabric και την εκτέλεση λειτουργιών, τον server της δικτυακής εφαρμογής που αλληλεπιδράει με το chaincode, τον client της δικτυακής εφαρμογής που αλληλεπιδράει με τον server προκειμένου ο χρήστης να έχει πρόσβαση σε μια εύχρηστη ιστοσελίδα, καθώς και ορισμένα βοηθητικά αρχεία όπως τα JSON δεδομένων και scripts.

Αφού έχει ολοκληρωθεί η εγκατάσταση όλων των απαραίτητων packages μπορούμε να προχωρήσουμε με την χρήση της εφαρμογής. Για να εκκινήσουμε το δίκτυο Hyperledger Fabric, σε ένα terminal στο directory ~/src/github.com μπαίνουμε σε λειτουργία root, γράφοντας και εκτελώντας: `sudo su`

Πληκτρολογούμε τον κωδικό χρήστη μας και στη συνέχεια γράφουμε και εκτελούμε: `./stopNetwork.sh && ./teardown.sh`

Αφού ολοκληρωθούν τα παραπάνω scripts, γράφουμε και εκτελούμε: `export CHANNEL_NAME=supplychainchannel ; export $(xargs <.env) ; export DOCKER_CLIENT_TIMEOUT=120 ; export COMPOSE_HTTP_TIMEOUT=120 ; source ~/.bashrc ; ./operate.sh up`

Στη συνέχεια, για επιβεβαίωση ότι θέλουμε να εκκινήσουμε το δίκτυο, γράφουμε και εκτελούμε: `y`

Έτσι το δίκτυο ξεκινά να δημιουργείται. Αν η δημιουργία του ήταν επιτυχής θα δούμε στο terminal το μήνυμα «All good, execution completed».

Στη συνέχεια, σε ένα νέο terminal μπορούμε να μεταβούμε στο directory `~/src/github.com/web-app/servers` και μπαίνουμε σε λειτουργία root, γράφοντας και εκτελώντας: `sudo su`

Για να ξεκινήσουμε τον server πληκτρολογούμε και εκτελούμε: `node app.js`

Αν η εκκίνηση του server ήταν επιτυχής, θα δούμε ένα μήνυμα για κάθε organization, πως ήταν επιτυχής η δημιουργία του admin user identity του.

Έπειτα, σε ένα νέο terminal μπορούμε να μεταβούμε στο directory `~/src/github.com/web-app/client` και μπαίνουμε σε λειτουργία root, γράφοντας και εκτελώντας: `sudo su`

Για να ξεκινήσουμε τη διεπαφή client πληκτρολογούμε και εκτελούμε: `npm start`

Αν όλα ολοκληρώθηκαν επιτυχώς, σε έναν browser, π.χ. τον Firefox, μεταβαίνουμε στη διεύθυνση <http://localhost:3000/> όπου βρίσκεται διαθέσιμη η δικτυακή εφαρμογή μας. Κατευθείαν παρατηρούμε τη δυνατότητα login, και συνδεόμαστε ως admin, πληκτρολογώντας admin στο πεδίο UserID και adminpw στο πεδίο Password. Στη συνέχεια μεταβαίνουμε στη σελίδα <http://localhost:3000/createUser>, είτε με αυτή τη διεύθυνση, είτε πατώντας Create User από τη μπάρα πλοήγησης. Εκεί μπορούμε να δημιουργήσουμε τους χρήστες της δικτυακής εφαρμογής μας. Για τις ανάγκες του use case, αρκεί η δημιουργία ενός χρήστη με Usertype Manufacturer, ενδεικτικά με User001 ως Name, pwd ως Password, kk@asdf.asdf ως Email, Athens ως Address. Έπειτα, για να συνδεθούμε με τα στοιχεία του νέου χρήστη, μεταβαίνουμε στη σελίδα <http://localhost:3000/>, είτε με αυτή τη διεύθυνση, είτε πατώντας Logout από τη μπάρα πλοήγησης. Επιλέγοντας Manufacturer στο Usertype και συμπληρώνοντας User001 (ή το αντίστοιχο αν δημιουργήσαμε παραπάνω χρήστες) ως UserID και pwd ως Password, κάνουμε click στο Sign In και συνδεόμαστε στην εφαρμογή.

Πλέον είμαστε σε θέση να εισάγουμε τα δεδομένα του Apache Ofbiz που επιθυμούμε μέσω των διαθέσιμων Import που βρίσκονται στη μπάρα πλοήγησης. Για παράδειγμα για να εισάγουμε Products, επιλέγουμε το Import Products, έπειτα στη σελίδα που μεταβαίνουμε επιλέγουμε Browse, διαλέγουμε το αρχείο OFBIZ.PRODUCT.json και επιλέγουμε Upload. Αναμένουμε μέχρι να ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων. Αντίστοιχα, εισάγουμε δεδομένα και για τις υπόλοιπες διαθέσιμες λειτουργίες. Από τη μπάρα πλοήγησης μπορούμε να επιλέξουμε για παράδειγμα το Products προκειμένου να δούμε περαιτέρω πληροφορίες για τα δεδομένα που φορτώσαμε.

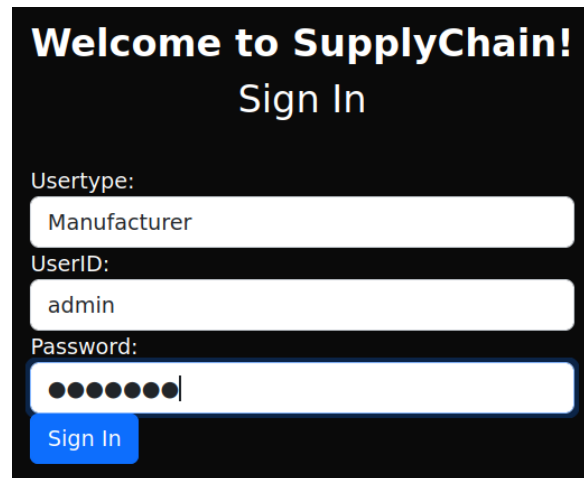
Αν παράλληλα θέλουμε να εργαζόμαστε και στο περιβάλλον του Apache Ofbiz, αρχικά σε ένα νέο terminal μπορούμε να μεταβούμε στο directory `~/apache-ofbiz-18.12.06` και μπαίνουμε σε λειτουργία root, γράφοντας και εκτελώντας: `sudo su`

Έπειτα για να ξεκινήσουμε το Apache Ofbiz πληκτρολογούμε και εκτελούμε: `./gradlew ofbiz`

Τέλος, για να συνδεθούμε μεταβαίνουμε στον browser στη διεύθυνση <https://localhost:8443/accounting/control/main> και εισάγουμε admin ως Username και ofbiz ως Password.

### 5.3 Λειτουργίες της εφαρμογής

Αρχικά συνδεόμαστε στην εφαρμογή μας ως admin, με admin ως UserID και adminpw ως password.



**Welcome to SupplyChain!**  
**Sign In**

Usertype:

UserID:

Password:

*Εικόνα 7 Σύνδεση στην εφαρμογή ως admin*

Έπειτα από το Create User μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν χρήστη Manufacturer από τον οποίο θα πραγματοποιηθούν οι λειτουργίες του use case.

## Create New User

Name:

Password:

Email:

Usertype:

Address:

Εικόνα 8 Δημιουργία χρήστη της εφαρμογής

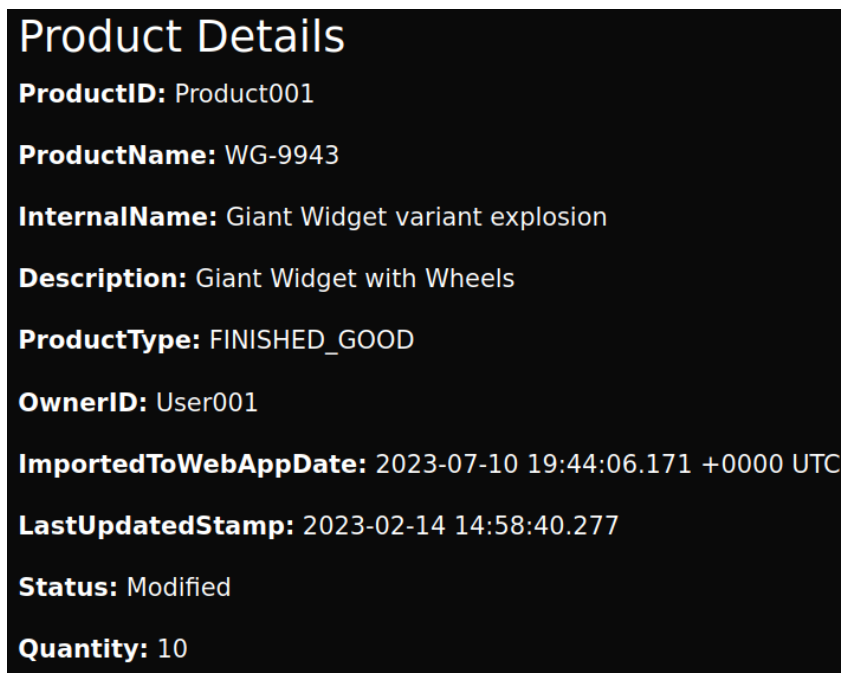
Στη συνέχεια πατάμε Logout και εισάγουμε το Username και το Password του χρήστη που μόλις δημιουργήσαμε. Αφού εισάγουμε προϊόντα στην εφαρμογή μέσω του Import Products, μπορούμε να μεταβούμε στο Products όπου βλέπουμε μια λίστα με τα προϊόντα, καθώς τα κουμπιά Details και Edit.

Products List									
ProductID	ProductName	ProductTypeID	InternalName	Description	OwnerID	LastUpdatedStamp	Status	Quantity	Actions
Product001	WG-9943	FINISHED_GOOD	Giant Widget variant explosion	Giant Widget with Wheels	User001	2023-02-14 14:58:40.277	Modified	10	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product002	WG-9943-B3	FINISHED_GOOD	Giant Widget B3	Black Giant Widget with 3 Wheels	User001	2023-02-14 14:58:29.416	Available	10	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product003	GZ-2644	FINISHED_GOOD	Round Gizmo		User001	2023-02-14 14:58:36.715	Available	100	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product004	FORKLIFT_PROPANE	ASSET_USAGE	Forklift - Propane	Forklift - Propane Powered.	User001	2023-02-14 14:58:25.276	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product005	FORKLIFT_BATTERY	ASSET_USAGE	Forklift - Battery	Forklift - Battery Powered.	User001	2023-02-14 14:58:25.304	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product006	COMPANY_VEHICLE	ASSET_USAGE	Company Vehicle	Company Vehicle.	User001	2023-02-14 14:58:25.312	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product007	HVAC_UNIT	ASSET_USAGE	Heating/Cooling Unit	Heating/Cooling Unit.	User001	2023-02-14 14:58:25.316	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product008	PROD_MANUF	FINISHED_GOOD	Demo Product for Costing	Demo Product for Standard Costing	User001	2023-02-14 14:58:25.592	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product009	MAT_A_COST	RAW_MATERIAL	Demo Material A for Costing	Demo Material A for Standard Costing	User001	2023-02-14 14:58:25.604	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>
Product010	MAT_B_COST	RAW_MATERIAL	Demo Material B for Costing	Demo Material B for Standard Costing	User001	2023-02-14 14:58:25.61	Available	0	<a href="#">Details</a> <a href="#">Edit</a>

Εικόνα 9 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Products



Πατώντας το κουμπί Details, βλέπουμε λεπτομέρειες για το προϊόν που επιλέξαμε.



**Product Details**

**ProductID:** Product001

**ProductName:** WG-9943

**InternalName:** Giant Widget variant explosion

**Description:** Giant Widget with Wheels

**ProductType:** FINISHED\_GOOD

**OwnerID:** User001

**ImportedToWebAppDate:** 2023-07-10 19:44:06.171 +0000 UTC

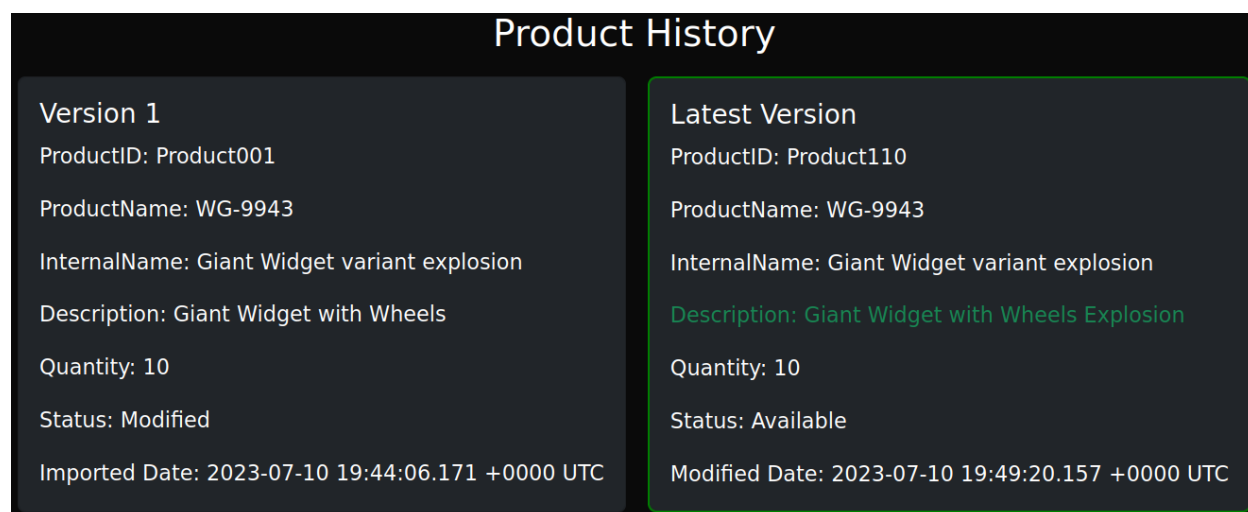
**LastUpdatedStamp:** 2023-02-14 14:58:40.277

**Status:** Modified

**Quantity:** 10

Εικόνα 10 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λεπτομέρειες Product

Πατώντας το κουμπί Edit, μπορούμε να δούμε μια σύγκριση των εκδόσεων του προϊόντος, εφόσον το έχουμε ενημερώσει, βλέποντας τις διαφορές μεταξύ όλων των εκδόσεων. Παρακάτω εμφανίζεται η τελευταία έκδοση αφού ενημερώσουμε το Description του προϊόντος.



**Product History**

<b>Version 1</b> ProductID: Product001 ProductName: WG-9943 InternalName: Giant Widget variant explosion Description: Giant Widget with Wheels Quantity: 10 Status: Modified Imported Date: 2023-07-10 19:44:06.171 +0000 UTC	<b>Latest Version</b> ProductID: Product110 ProductName: WG-9943 InternalName: Giant Widget variant explosion <b>Description: Giant Widget with Wheels Explosion</b> Quantity: 10 Status: Available Modified Date: 2023-07-10 19:49:20.157 +0000 UTC
--	---

Εικόνα 11 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Ιστορικό Product

Αντίστοιχα, αφού κάνουμε Import Inventory Items μπορούμε πατώντας στο Inventory Items να δούμε μια λίστα με τα inventory items μας, έχοντας πάλι διαθέσιμες τις επιλογές Details και Edit.

InventoryItemID	InventoryItemNumID	InventoryItemTypeID	ProductNameID	OwnerID	Status	OwnerPartyID	FacilityID	UnitCost	QuantityOnHandTotal	LastUpdatedStamp	CreatedStamp	Actions
InventoryItem001	9029	NON_SERIAL_INV_ITEM	MAT_A_COST	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	9	20	2023-02-14 14:58:26.137	2023-02-14 14:58:26.017	Details Edit
InventoryItem002	9030	NON_SERIAL_INV_ITEM	MAT_B_COST	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	7	20	2023-02-14 14:58:26.337	2023-02-14 14:58:26.323	Details Edit
InventoryItem003	9000	NON_SERIAL_INV_ITEM	GZ-2644	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	2.5	500	2023-02-14 14:58:31.741	2023-02-14 14:58:31.67	Details Edit
InventoryItem004	9001	NON_SERIAL_INV_ITEM	GZ-2644	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	2.5	5	2023-02-14 14:58:31.807	2023-02-14 14:58:31.781	Details Edit
InventoryItem005	9002	NON_SERIAL_INV_ITEM	GZ-8544	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3	15	2023-02-14 14:58:31.814	2023-02-14 14:58:31.812	Details Edit
InventoryItem006	9003	NON_SERIAL_INV_ITEM	GZ-8544	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3	3	2023-02-14 14:58:31.822	2023-02-14 14:58:31.818	Details Edit
InventoryItem007	9004	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-1111	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	4.5	50	2023-02-14 14:58:31.829	2023-02-14 14:58:31.827	Details Edit
InventoryItem008	9005	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-1111	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	4.5	5	2023-02-14 14:58:31.836	2023-02-14 14:58:31.833	Details Edit
InventoryItem009	9006	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-5569	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	5	10	2023-02-14 14:58:31.843	2023-02-14 14:58:31.84	Details Edit
InventoryItem010	9010	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-9943-B3	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3.5	10	2023-02-14 14:58:31.851	2023-02-14 14:58:31.848	Details Edit
InventoryItem011	9011	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-9943-B4	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3.5	10	2023-02-14 14:58:31.86	2023-02-14 14:58:31.858	Details Edit
InventoryItem012	9012	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-9943-S3	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3.5	10	2023-02-14 14:58:31.874	2023-02-14 14:58:31.872	Details Edit
InventoryItem013	9013	NON_SERIAL_INV_ITEM	WG-9943-S4	User001	Available	Company	WebStoreWarehouse	3.5	10	2023-02-14 14:58:31.884	2023-02-14 14:58:31.881	Details Edit

Εικόνα 12 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Inventory Items

Αφού κάνουμε Import Shipments, μπορούμε να μεταβούμε στο Shipments, όπου βλέπουμε μια λίστα με τα διαθέσιμα Shipments και πατώντας Details εμφανίζονται τα διαθέσιμα Shipment Items για το Shipment που επιλέξαμε.

Shipment ID	Shipment Name	Shipment Type ID	Shipment Cost	Party ID To	Party ID From	Last Updated Timestamp	Action
Shipment001	9998	SALES_SHIPMENT	12.45	DemoCustomer		2023-02-14 14:58:34.765	Details
Shipment002	9999	PURCHASE_SHIPMENT	0			2023-02-14 14:58:34.865	Details
Shipment003	9997	PURCHASE_SHIPMENT	0		DemoSupplier	2023-02-14 14:58:34.917	Details
Shipment004	9996	SALES_SHIPMENT	12.1	DemoCustomer	Company	2023-02-14 14:58:35.298	Details

Shipment Name	Product Name ID	Quantity	Last Updated Timestamp	Created Stamp
9999	GZ-2644	5	2023-02-14 14:58:34.869	2023-02-14 14:58:34.869

Εικόνα 13 Στιγμιότυπο της εφαρμογής - Λίστα Shipments και λεπτομέρειες Shipment Items

Παραθέτουμε επίσης ένα στιγμιότυπο από το περιβάλλον χρήσης του προγράμματος RazorSQL που χρησιμεύει για τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων του Apache OFBiz. Ως login ορίζουμε ofbiz και ως password ορίζουμε derby-ofbiz με βάση το αρχείο entityengine.xml του Apache OFBiz για τη σύνδεση μέσω JDBC Driver.

<b>Profile Name:</b>	<input type="text" value="localderby"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Profile Folder</b>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Authentication Type</b>	<input type="text" value="Login / Password"/>	
<b>Login:</b>	<input type="text" value="ofbiz"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Password:</b>	<input type="password" value="....."/>	<input type="button" value="Edit"/> <input checked="" type="checkbox"/> Save Password
<b>Password File</b>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Browse"/>
<b>Driver Class:</b>	<input type="text" value="org.apache.derby.jdbc.EmbeddedDriver"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Driver Location:</b>	<input type="text" value="/home/stef/apache-ofbiz-18.12.06/lib/derby.jar"/>	<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Browse"/>
<b>JDBC URL:</b>	<input type="text" value="derby:/home/stef/apache-ofbiz-18.12.06/runtime/data/derby/ofbiz"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Max Results per Query</b>	<input type="text" value="Unlimited"/>	<input type="button" value="Edit"/>
<b>Auto Commit:</b>	<input checked="" type="radio"/> On <input type="radio"/> Off <input type="radio"/> Smart Commit	
<b>SQL Restrictions:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> None <input type="checkbox"/> Read Only <input type="checkbox"/> Read / Write <input type="checkbox"/> Read / Write / Delete	
<b>Transaction Isolation:</b>	<input type="text" value="Default"/>	
<b>Connect at Startup:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Add to Favorites:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Associate File:</b>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Browse"/>
<b>SSH Tunnel:</b>	<input type="button" value="Configure"/>	

*Εικόνα 14 Προφίλ σύνδεσης του Apache Ofbiz με το RazorSQL*

## 6. Συμπεράσματα και μελλοντικές προοπτικές

### Συμπεράσματα

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή αποτελούμενη από το δίκτυο blockchain στο Hyperledger Fabric, ένα smart contract, τον server για την επικοινωνία με το chaincode και τη διεπαφή χρήστη μέσω της δικτυακής εφαρμογής, με σκοπό την επικουρική χρήση για την παρακολούθηση προϊόντων σε ένα σύστημα ERP. Χρησιμοποιήθηκε μια πλειάδα σημαντικών τεχνολογιών όπως το Hyperledger Fabric, το Apache Ofbiz, το Node.js, οι γλώσσες Go και React, καθώς και σχετικά εργαλεία. Το σύστημα που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει βασικά χαρακτηριστικά, όπως η σύνδεση χρηστών διαφορετικών οργανισμών της εφοδιαστικής αλυσίδας, η εισαγωγή δεδομένων από το επιλεγμένο πρόγραμμα ERP, η προβολή λεπτομερειών για αυτά και ενδεχόμενες αλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί, επιτρέποντας στους χρήστες να εξετάσουν την ακρίβεια των δεδομένων, την ημερομηνία αλλαγών αυτών καθώς και να έχουν μια ξεκάθαρη εικόνα για τις αλλαγές αυτές. Η παρούσα εργασία ξεκίνησε με στόχο την ανάπτυξη μιας λύσης που βασίζεται σε blockchain για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αδιαφάνειας των δεδομένων στην εφοδιαστική αλυσίδα και πιστεύουμε ότι το τελικό σύστημα επιτυγχάνει το σκοπό αυτό. Μέσα από δοκιμές, διαπιστώσαμε ότι το σύστημα εμφανίζει σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με το επιλεγμένο σύστημα ERP όσον αφορά την ταχύτητα εμφάνισης πολλών δεδομένων ταυτόχρονα καθώς και την λεπτομερή εμφάνιση όλων των εκδόσεων ενός προϊόντος ή κάποιου άλλου δεδομένου. Κατορθώσαμε επίσης το στόχο της ελεγχόμενης πρόσβασης, διασφαλίζοντας ότι το σύστημά μας είναι ασφαλές, καθώς και το στόχο της απλότητας της εφαρμογής, καθιστώντας τη χρήση της φιλική για τον χρήστη. Το σύστημα καλείται όχι να αντικαταστήσει, αλλά να δράσει επικουρικά σε ένα σύστημα ERP, βελτιώνοντας κάποιες συγκεκριμένες πτυχές του. Η μεγαλύτερη ενσωμάτωση ή και αντικατάσταση ενός μεγάλου μέρους λειτουργιών των συστημάτων ERP από ένα σύστημα blockchain μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

Η σημασία και η συνεισφορά της διπλωματικής εκτείνεται πέρα από την εφαρμογή της στον τομέα της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Πιστεύουμε πως η αναπτυχθείσα εφαρμογή συνεισφέρει ουσιαστικά στην υπάρχουσα έρευνα για την τεχνολογία blockchain παρουσιάζοντας μια λύση για την επίτευξη διαφάνειας στον χειρισμό ευαίσθητων δεδομένων. Το έργο καταδεικνύει τη δυνατότητα της τεχνολογίας blockchain να οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο στον τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

### Μελλοντικές Προοπτικές

Η ολοκληρωμένη εφαρμογή που δημιουργήθηκε, αποτελούμενη από το δίκτυο blockchain στο Hyperledger Fabric και τη διεπαφή χρήστη μέσω της δικτυακής εφαρμογής, παρά το πολύ συγκεκριμένο use case που καλείται να αντιμετωπίσει, είναι σχεδιασμένη με γνώμονα την κλιμακωσιμότητα και την περαιτέρω διεύρυνση των

δυνατοτήτων της. Ας δούμε μερικούς τομείς που θα αποτελούσαν ενδιαφέρουσες επεκτάσεις του συστήματος:

**Επέκταση λειτουργιών:** Το σύστημα μπορεί να επεκταθεί προκειμένου να περιέχει περισσότερες λειτουργίες του ERP, ενισχύοντας το αίσθημα διαφάνειας. Επιπλέον, προτείνεται τυχόν επέκταση να δημιουργηθεί σε μεταγενέστερες εκδόσεις του Hyperledger Fabric και των υπόλοιπων προαπαιτούμενων, προκειμένου να επιτευχθεί ακόμα ισχυρότερη ασφάλεια στο σύστημα.

**Ενσωμάτωση με Internet of Things (IoT):** Το blockchain και το IoT μπορούν να συνδυαστούν μαζί για προηγμένη ιχνηλασιμότητα εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι συσκευές IoT όπως αισθητήρες ή ετικέτες RFID μπορούν να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (π.χ. τρέχουσα τοποθεσία, περιβαλλοντικές συνθήκες κ.λπ.) και να τα καταγράφουν απευθείας στο blockchain. Αυτό θα παρείχε ένα επιπλέον επίπεδο ορατότητας και παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού.

**Τεχνητή Νοημοσύνη (AI):** Η εφαρμογή τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τις προγνωστικές δυνατότητες του συστήματος. Αναλύοντας δεδομένα που έχουν καταγραφεί στο blockchain για τάσεις και μοτίβα, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της εφοδιαστικής αλυσίδας, ενισχύοντας τη διαχείριση αποθεμάτων, παρέχοντας ακριβή πρόβλεψη ζήτησης και εντοπίζοντας πιθανές δυσκολίες εκ των προτέρων.

**Αύξηση βιωσιμότητας:** Πέρα από την απλή παρακολούθηση της προέλευσης των πρώτων υλών, το blockchain μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών αποτυπωμάτων των διαδικασιών προμήθειας και μεταφοράς. Αυτά τα δεδομένα θα μπορούσαν να μεταφραστούν σε έναν «δείκτη βιωσιμότητας» για κάθε προϊόν, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στους καταναλωτές να λαμβάνουν πιο οικολογικές αποφάσεις αγοράς.

**Διαλειτουργικότητα:** Καθώς η υιοθέτηση του blockchain επεκτείνεται σε άλλες επιχειρήσεις και ενδιαφερόμενα μέρη στη βιομηχανία υφασμάτων, η ανάπτυξη ενός συστήματος ικανού να αλληλεπιδρά με άλλα blockchain αποτελεί ένα σημαντικό επόμενο βήμα. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια ακόμη πιο ολοκληρωμένη εποπτεία στην ευρύτερη αλυσίδα εφοδιασμού, αντλώντας δηλαδή δεδομένα και για άλλες επιχειρήσεις και προμηθευτές.

**Διεύρυνση δυνατοτήτων διεπαφής χρήστη:** Καθώς το σύστημα εξελίσσεται και η διαθεσιμότητα των δεδομένων αυξάνεται, θα είναι απαραίτητη η βελτίωση της διεπαφής χρήστη. Η παροχή στους χρήστες μιας φιλικής προς το χρήστη, καλαίσθητης πλατφόρμας για την πλοήγηση και την ερμηνεία των δεδομένων blockchain μπορεί να ενισχύσει την αποδοχή του συστήματος και την ικανοποίηση των χρηστών.

Να σημειωθεί ότι αυτές οι πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις προσφέρουν νέες δυνατότητες, αλλά καθεμία χρειάζεται μια ενδελεχή ανάλυση κόστους-οφέλους, έλεγχο σκοπιμότητας και ευθυγράμμιση με τους πρωταρχικούς στόχους του έργου πριν επιδιωχθεί.

# Βιβλιογραφία

- [1] M. Themistocleous, Z. Irani, R. M. O'Keefe and R. Paul, "ERP problems and application integration issues: an empirical survey," in *34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2001.
- [2] S. Nakamoto, *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, 2008.
- [3] S. Huckle, R. Bhattacharya, M. White and N. Beloff, "Internet of Things, Blockchain and Shared Economy Applications," in *Procedia Computer Science*, 2016.
- [4] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis and L. Shen, "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management," *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 7, pp. 2117-2135, 2019.
- [5] A. C, M. Q and E. J, "Blockchain technology in healthcare: A systematic review," *Healthcare*, 2019.
- [6] R. Alt and E. Wende, "Blockchain technology in energy markets – An interview with the European Energy Exchange," *Electronic Markets*, 2020.
- [7] Binance, "Private, Public, and Consortium Blockchains - What's the Difference?," 6 January 2020. [Online]. Available: <https://academy.binance.com/en/articles/private-public-and-consortium-blockchains-whats-the-difference>.
- [8] H. Poston, "Blockchain structure," 29 September 2020. [Online]. Available: <https://resources.infosecinstitute.com/topic/blockchain-structure/>.
- [9] J. Lloyd, "What is Hashing in Blockchain? The Basics Covered," 8 January 2020. [Online]. Available: <https://beincrypto.com/learn/what-is-hashing/>.
- [10] Z. J, W. P. H, B. S. L and Z. B, "Blockchain for decentralization of internet: prospects, trends, and challenges," *Cluster Computing*, vol. 24, pp. 2841-2866, 2021.
- [11] D. Karaivanov, "Proof of Work Explained in Simple Terms," 27 October 2019. [Online]. Available: <https://chainbulletin.com/proof-of-work-explained-in-simple-terms>.
- [12] F. Saleh, "Blockchain without Waste: Proof-of-Stake," *The Review of Financial Studies*, vol. 34, no. 3, p. 1156–1190, March 2021.
- [13] I. Bashir, "Blockchain Age Protocols," in *Blockchain Consensus*, 2022, p. 331–376.
- [14] Binance, "Proof of Authority Explained," 8 December 2018. [Online]. Available: <https://academy.binance.com/en/articles/proof-of-authority-explained>.
- [15] M. Castro and B. Liskov, "Practical Byzantine Fault Tolerance," in *Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, New Orleans, 1999.
- [16] I. E. Abid, Y. Benkaouz and A. Khoumsi, "LighTx: A Lightweight Proof-of-Bandwidth Transactions Transfer System," in *International Conference on Networked Systems*, 2021.

- [17] J. Frankenfield, "Proof of Elapsed Time (PoET) Definition, Purposes, Vs. PoW," 13 January 2022. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/p/proof-elased-time-cryptocurrency.asp>.
- [18] S. S, S. H. A and Y. B, "Blockchain Security Attacks, Challenges, and Solutions for the Future Distributed IoT Network," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 13938-13959, 2021.
- [19] T. Jung, "How transparency through blockchain helps the cybersecurity community," 15 April 2019. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/blog/how-transparency-through-blockchain-helps-the-cybersecurity-community/>.
- [20] T. Aggarwal, "Data Immutability and Interoperability in Blockchain Network," 25 February 2023. [Online]. Available: <https://www.ejable.com/tech-corner/blockchain/blockchain-network-data-immutability-and-interoperability>.
- [21] CoinMarketCap, "How Long Does a Bitcoin Transaction Take?," 2022. [Online]. Available: <https://coinmarketcap.com/alexandria/article/how-long-does-a-bitcoin-transaction-take>.
- [22] Ethereum, "Blocks," [Online]. Available: <https://ethereum.org/en/developers/docs/blocks/>.
- [23] Ripple, "XRP Utility for the new global economy," [Online]. Available: <https://ripple.com/xrp/>.
- [24] D. Dixon, "Stellar (XLM): Powering Borderless Financial Systems," 4 February 2022. [Online]. Available: <https://www.gemini.com/cryptopedia/stellar-blockchain-payments-xlm-coin>.
- [25] Cardano, "Time handling on Cardano," [Online]. Available: <https://docs.cardano.org/explore-cardano/time/>.
- [26] M. Bilušić, "Binance Smart Chain vs Polygon," 9 July 2021. [Online]. Available: <https://www.altcoinbuzz.io/reviews/altcoin-projects/binance-smart-chain-vs-polygon/>.
- [27] Solana, "Solana," [Online]. Available: <https://solana.com/>.
- [28] K. Christidis and M. Devetsikiotis, "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 2292-2303, 2016.
- [29] I. Yaqoob, K. Salah, R. Jayaraman and Y. Al-Hammadi, "Blockchain for healthcare data management: opportunities, challenges, and future recommendations," *Neural Computing and Applications*, vol. 34, p. 11475–11490, 2022.
- [30] S. O and M. L, "New era for technology in healthcare powered by GDPR and blockchain," in *IFMBE Proceedings*, 2019.
- [31] A. A, E. A, V. T and L. A, "MedRec: Using blockchain for medical data access and permission management," in *2016 2nd International Conference on Open and Big Data*, 2016.
- [32] A. M, R. V, F. D, A. S, G. D, J. D, M. P and P. A, "Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 100, pp. 143-174, February 2019.
- [33] Powerledger, "The power behind new energy," [Online]. Available: <https://www.powerledger.io/>.

- [34] A. A, N. Q and A. T. M, "Novel blockchain reference model for government services: Dubai government case study," *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, vol. 11, p. 1170–1191, 3 April 2020.
- [35] PricewaterhouseCoopers, "Estonia – the Digital Republic Secured by Blockchain," 2019. [Online]. Available: <https://www.pwc.com/gx/en/services/legal/tech/assets/estonia-the-digital-republic-secured-by-blockchain.pdf>.
- [36] S. A and S. H, "Blockchain and contract theory: modeling smart contracts using insurance markets," *Managerial Finance*, vol. 46, no. 6, pp. 803-814, 2020.
- [37] G. B, M. A and R. L, "Steem Blockchain: Mining the Inner Structure of the Graph," *IEEE Access*, vol. 8, p. 210251–210266.
- [38] Vector, "Types of Supply Chain Management," [Online]. Available: <https://www.withvector.com/types-of-supply-chain-management-6-models-to-know/>.
- [39] IBM, "What is supply chain management?," [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/supply-chain-management>.
- [40] Oracle, "What is ERP?," [Online]. Available: <https://www.oracle.com/erp/what-is-erp/>.
- [41] SAP, "SAP S/4HANA Cloud," [Online]. Available: <https://www.sap.com/products/erp/s4hana.html>.
- [42] Oracle, "Oracle Enterprise Resource Planning (ERP)," [Online]. Available: <https://www.oracle.com/erp/>.
- [43] Microsoft, "Microsoft Dynamics 365," [Online]. Available: <https://dynamics.microsoft.com/en-us/>.
- [44] Infor, "Industry cloud solutions," [Online]. Available: <https://www.infor.com/products/cloud-strategy>.
- [45] Epicor, "Make, Move, Sell," [Online]. Available: <https://www.epicor.com/en/>.
- [46] Sage, "The new era of ERP," [Online]. Available: <https://www.sage.com/en-us/sage-business-cloud/sage-x3/>.
- [47] C. S and C. Y, "The implementation factors that influence the ERP (enterprise resource planning) benefits," *Decision Support Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 149-157, 1 July 2008.
- [48] F.-H. N. F, L.-S. L. J and K. J, "Critical factors for successful implementation of enterprise systems," *Business Process Management Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 285-296, 1 August 2001.
- [49] ADempiere, "ADempiere," [Online]. Available: <https://www.adempiere.io/>.
- [50] Dolibarr, "Dolibarr," [Online]. Available: <https://www.dolibarr.org/>.
- [51] Dolibarr, "Dolibarr," [Online]. Available: <https://github.com/Dolibarr/dolibarr>.
- [52] ERPNext, "ERPNext," [Online]. Available: <https://erpnext.com/>.
- [53] ERPNext, "ERPNext," [Online]. Available: <https://github.com/frappe/erpnext>.
- [54] metasfresh, "metasfresh," [Online]. Available: <https://metasfresh.com/en/>.



- [55] metasfresh, "metasfresh," [Online]. Available: <https://github.com/metasfresh>.
- [56] Odoo, "Odoo," [Online]. Available: <https://www.odoo.com/>.
- [57] Odoo, "Odoo," [Online]. Available: <https://github.com/odoo/odoo>.
- [58] Tryton, "Tryton," [Online]. Available: <https://www.tryton.org/>.
- [59] Tryton, "Tryton," [Online]. Available: <https://hg.tryton.org/>.
- [60] Apache, "Apache OFBiz," [Online]. Available: <https://ofbiz.apache.org/>.
- [61] Apache, "Apache OFBiz," [Online]. Available: <https://github.com/apache/ofbiz-framework>.
- [62] European Parliament; Council of the European Union, "General Data Protection Regulation," 14 April 2016. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02016R0679-20160504>.
- [63] "Nguyen Binh Truong; Kai Sun; Gyu Myoung Lee; Yike Guo," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 15, pp. 1746-1761, 2020.
- [64] Panorama Consulting Group, "What Should An ERP System Include?," 13 October 2022. [Online]. Available: <https://www.panorama-consulting.com/what-should-an-erp-system-include/>.
- [65] T. Miller, "How GDPR compliance will affect your ERP system," 1 October 2018. [Online]. Available: <https://www.erpfocus.com/gdpr-compliance-erp-system.html>.
- [66] H. Anwar, "Blockchain And ERP: Streamlining Your Business," 28 November 2021. [Online]. Available: <https://101blockchains.com/blockchain-and-erp/>.
- [67] M. Imran, "Disadvantages of Blockchain Technology: 10 Weakness and Limitations Uncovered," 17 November 2021. [Online]. Available: <https://www.folio3.ai/blog/disadvantages-of-blockchain/>.
- [68] Ethereum, "Ethereum," [Online]. Available: <https://ethereum.org/en/>.
- [69] Ethereum, "Ethereum Scaling," [Online]. Available: <https://ethereum.org/en/developers/docs/scaling/>.
- [70] Hyperledger Foundation, "Hyperledger Fabric," [Online]. Available: <https://www.hyperledger.org/use/fabric>.
- [71] Hyperledger Foundation, "The Ordering Service," [Online]. Available: [https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/orderer/ordering\\_service.html](https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/orderer/ordering_service.html).
- [72] Linux Foundation, "The Linux Foundation Builds the Global Foundation for Open Source Enterprise Blockchain Technologies," [Online]. Available: <https://www.linuxfoundation.org/resources/case-studies/hyperledger>.
- [73] K. R., "Food Traceability on Blockchain: Walmart's Pork and Mango Pilots with IBM," *The Journal of the British Blockchain Association*, vol. 1, no. 1, 2018.
- [74] C. Stamatellis, P. Papadopoulos, N. Pitropakis, S. Katsikas and W. Buchanan, "A Privacy-Preserving Healthcare Framework Using Hyperledger Fabric," *Sensors*, vol. 20, no. 22, 2020.

- [75] Hyperledger Foundation, "Hyperledger Sawtooth," [Online]. Available: <https://sawtooth.hyperledger.org/>.
- [76] R3, "Corda," [Online]. Available: <https://r3.com/products/corda/>.
- [77] R3, "R3 Unlocks Regulatory Reporting on Corda with Financial Conduct Authority and Two Global Banks," [Online]. Available: <https://r3.com/press-media/r3-unlocks-regulatory-reporting-on-corda-with-financial-conduct-authority-and-two-global-banks/>.
- [78] R3, "R3 and 22 Banks Build Real-time International Payments Solution on Corda DLT Platform," 31 October 2017. [Online]. Available: <https://r3.com/press-media/r3-and-22-banks-build-real-time-international-payments-solution-on-corda-dlt-platform/>.
- [79] eosio, "eosio," [Online]. Available: <https://eos.io/>.
- [80] eosio, "Case Study: Upland," [Online]. Available: <https://eos.io/resources/case-study-upland/>.
- [81] eosio, "Case Study: OmniOne," [Online]. Available: <https://eos.io/resources/omnione-case-study/>.
- [82] eosio, "Case Study: Chainflux," [Online]. Available: <https://eos.io/resources/chainflux-case-study/>.
- [83] Exonum, "Build trust into your organization," [Online]. Available: <https://exonum.com/index>.
- [84] Exonum, "Improving the security of a government land registry," [Online]. Available: <https://exonum.com/story-georgia>.
- [85] Exonum, "Rebuilding citizen trust in government e-auctions," [Online]. Available: <https://exonum.com/story-ukraine>.
- [86] Exonum, "Eliminating fraud in the verification of academic certificates," [Online]. Available: <https://exonum.com/story-russia>.
- [87] Exonum, "Enhancing product development operations," [Online]. Available: <https://exonum.com/story-usa>.
- [88] J. Sarkis, "A strategic decision framework for green supply chain management," *Journal of Cleaner Production*, vol. 11, no. 4, pp. 397-409, 2003.
- [89] V. Venkatesh, K. Kang, B. Wang, R. Y. Zhong and A. Zhang, "System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 63, June 2020.
- [90] Morgan Stanley Capital International, "MSCI ESG Methodologies," [Online]. Available: <https://www.msci.com/esg-and-climate-methodologies>.
- [91] T. I. Tanin, M. A. Mobin, A. Ng, G. Dewandaru, K. Salim, M. A. Nkoba and L. A. Razak, "How does microfinance prosper? An analysis of environmental, social, and governance context," *Sustainable Development*, vol. 27, no. 6, pp. 1001-1022, 2019.
- [92] S. Saberi, M. Kouhizadeh, J. Sarkis and L. Shen, "Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management," *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 7, pp. 2117-2135, 2019.

- [93] A. Qorri, S. Gashi and A. Kraslawski, "Performance outcomes of supply chain practices for sustainable development: A meta-analysis of moderators," *Sustainable Development*, vol. 29, pp. 194-216, 2021.
- [94] U.S. Environmental Protection Agency, "Improving Environmental Sustainability in Supply Chains: Best Practices Webinar," 9 September 2016. [Online]. Available: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/improving\\_sustainability\\_in\\_supply\\_chains\\_091516.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/improving_sustainability_in_supply_chains_091516.pdf).
- [95] M. Kouhizadeh and J. Sarkis, "Blockchain Practices, Potentials, and Perspectives in Greening Supply Chains," *Sustainable Industrial Engineering along Product-Service Life Cycle/Supply Chain*, vol. 10, no. 10, 12 October 2018.
- [96] S. Köhler and M. Pizzol, "Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain," *Journal of Cleaner Production*, vol. 269, 1 October 2020.
- [97] M. J. Hutchins and J. W. Sutherland, "An exploration of measures of social sustainability and their application to supply chain decisions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 15, pp. 1688-1698, October 2008.
- [98] M. D'Eusano, A. Zamagni and L. Petti, "Social sustainability and supply chain management: Methods and tools," *Journal of Cleaner Production*, vol. 235, pp. 178-189, 20 October 2019.
- [99] L. Cartier, S. Ali and M. Krzemnicki, "Blockchain, Chain of Custody and Trace Elements: An Overview of Tracking and Traceability Opportunities in the Gem Industry," *The Journal of Gemmology*, vol. 36, pp. 212-227, 2018.
- [100] M. Czinkota, H. R. Kaufmann and G. Basile, "The relationship between legitimacy, reputation, sustainability and branding for companies and their supply chains," *Industrial Marketing Management*, vol. 43, no. 1, pp. 91-101, January 2014.
- [101] G. M. Hastig and M. S. Sodhi, "Blockchain for Supply Chain Traceability: Business Requirements and Critical Success Factors," *Production and Operations Management*, vol. 29, no. 4, pp. 935-954, April 2020.
- [102] P. Helo and Y. Hao, "Blockchains in operations and supply chains: A model and reference implementation," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 136, pp. 242-251, October 2019.
- [103] Z. Li, H. Guo, A. V. Barenji, W. M. Wang, Y. Guan and G. Q. Huang, "A sustainable production capability evaluation mechanism based on blockchain, LSTM, analytic hierarchy process for supply chain network," *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 24, pp. 7399-7419, 19 March 2020.
- [104] S. S. Müller, "From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management," *Journal of Cleaner Production*, vol. 16, no. 15, pp. 1699-1710, October 2008.
- [105] S. Jagati, "Walmart's Foray Into Blockchain, How Is the Technology Used?," [Online]. Available: <https://cointelegraph.com/news/walmarts-foray-into-blockchain-how-is-the-technology-used>.
- [106] L. Mearian, "IBM launches blockchain-based, global food tracking network," 8 October 2018. [Online]. Available: <https://www.computerworld.com/article/3311464/ibm-launches-blockchain-based-global-food-tracking-network.html>.

- [107] Gemba, "How Walmart used blockchain to increase supply chain transparency," 22 January 2020. [Online]. Available: <https://thegemba.com/article/how-walmart-used-blockchain-to-increase-supply-chain-transparency>.
- [108] CSRHub, "Consensus ESG Ratings," [Online]. Available: <https://www.csrhub.com/>.
- [109] "Corporate Environmental Impact: Measurement, Data and Information," Harvard Business School Accounting & Management Unit Working Paper No. 20-098.
- [110] Insureblocks, "Ep.12 – Insurwave – A Maersk pilot for marine blockchain insurance," 5 June 2018. [Online]. Available: <https://insureblocks.com/?p=2118>.
- [111] Maersk, "Multiplying the benefits of trade," 4 April 2019. [Online]. Available: <https://www.maersk.com/news/articles/2019/04/04/multiplying-the-benefits-of-trade>.
- [112] M. Jović, E. Tijan, D. Žgaljić and S. Aksentijević, "Improving Maritime Transport Sustainability Using Blockchain-Based Information Exchange," *Methods for Improving Sustainability of Passenger and Freight Transport*, vol. 12, no. 21, 26 October 2020.
- [113] S. A. R. Khan, Y. Zhang, A. Kumar, E. Zavadskas and D. Streimikiene, "Measuring the impact of renewable energy, public health expenditure, logistics, and environmental performance on sustainable economic growth," *Sustainable Development*, vol. 28, no. 4, 2020.
- [114] D. Tapscott and A. Tapscott, "How Blockchain Will Change Organizations," 7 December 2016. [Online]. Available: <https://sloanreview.mit.edu/article/how-blockchain-will-change-organizations/>.
- [115] HM Government, "Digital Built Britain - Level 3 Building Information Modelling - Strategic Plan," [Online]. Available: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/410096/bis-15-155-digital-built-britain-level-3-strategy.pdf).
- [116] Y. Wang, C. H. Chen and A. Zghari-Sales, "Designing a blockchain enabled supply chain," *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 5, 2021.
- [117] Y. Wang, M. Singgih, J. Wang and M. Rit, "Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains?," *International Journal of Production Economics*, vol. 211, pp. 221-236, May 2019.
- [118] R. Beck, C. Müller-Bloch and J. King, "Governance in the Blockchain Economy: A Framework and Research Agenda," *Journal of the Association for Information Systems*, vol. 19, no. 10, 2018.
- [119] The European Union Blockchain Observatory and Forum, "Governance of and with Blockchain," [Online]. Available: [https://www.blockchain4europe.eu/wp-content/uploads/2021/05/report\\_governance\\_v1.0\\_0.pdf](https://www.blockchain4europe.eu/wp-content/uploads/2021/05/report_governance_v1.0_0.pdf).
- [120] A. Dolgui, D. Ivanov, S. Potryasaev, B. Sokolov, M. Ivanova and F. Werner, "Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain," *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 7, pp. 2184-2199, 2020.
- [121] Y. Wang, C. H. Chen and A. Zghari-Sales, "Designing a blockchain enabled supply chain," *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 5, pp. 1450-1475, 20 September 2020.

- [122] A. Banerjee, "Chapter Three - Blockchain Technology: Supply Chain Insights from ERP," *Advances in Computers*, vol. 111, pp. 69-98, 2018.
- [123] S. Neil, "Blockchain Meets the Manufacturing Supply Chain," 25 October 2017. [Online]. Available: <https://www.automationworld.com/factory/supply-chain-management/blog/13317960/blockchain-meets-the-manufacturing-supply-chain>.
- [124] R. B. Handfield and W. Steininger, "An Assessment of Manufacturing Customer Pain Points: Challenges for Researchers," *Supply Chain Forum: An International Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 6-15, 9 November 2015.
- [125] J. D. Morales, "Logistics & transportation executives facing today's challenges, seek solutions well into the future," [Online]. Available: <https://www.stantonchase.com/wp-content/uploads/2015/07/Logistics-transportation-executives-facing-today-challenges-look-solutions-well-into-the-future.pdf>.
- [126] D. Patel, "UPS bets on blockchain as the future of the trillion-dollar shipping industry," 15 December 2017. [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2017/12/15/ups-bets-on-blockchain-as-the-future-of-the-trillion-dollar-shipping-industry/>.
- [127] Provenance, "Blockchain: the solution for transparency in product supply chains," 21 November 2015. [Online]. Available: <https://www.provenance.org/whitepaper>.
- [128] Sourcemap, "Sourcemap - The Supply Chain Due Diligence Solution," [Online]. Available: <https://sourcemap.com/>.
- [129] EconoTimes, "OwlTing launches first blockchain food provenance system 'OwlChain'," 29 May 2017. [Online]. Available: <https://econotimes.com/OwlTing-launches-first-blockchain-food-provenance-system-OwlChain-728721#:~:text=OwlTing%20launches%20first%20blockchain%20food%20provenance%20system%20%E2%80%98OwlChain%E2%80%99,OwlChain%2C%20the%20world%27s%20first%20Ethe%20reum-base>.
- [130] J. J. ROBERTS, "The Diamond Industry Is Obsessed With the Blockchain," 12 September 2017. [Online]. Available: <https://fortune.com/crypto/2017/09/12/diamond-blockchain-everledger/>.
- [131] A. G. Mulky, "Distribution challenges and workable solutions," *IIMB Management Review*, vol. 25, no. 3, pp. 179-195, September 2013.
- [132] J. Schwartz, "Microsoft Pitches Blockchain To Help Troubled Retail Supply Chains," 18 January 2017. [Online]. Available: <https://redmondmag.com/blogs/the-schwartz-report/2017/01/microsoft-pitches-blockchain-to-retailers.aspx>.
- [133] A. Banerjee, "Integrating blockchain with ERP for a transparent supply chain," 27 November 2018. [Online]. Available: <https://www.infosys.com/Oracle/white-papers/Documents/integrating-blockchain-erp.pdf>.
- [134] D. M. Lambert and M. G. Enz, "Issues in Supply Chain Management: Progress and potential," *Industrial Marketing Management*, vol. 62, pp. 1-16, April 2017.
- [135] S. Sarpong, "Traceability and supply chain complexity: Confronting the issues and concerns," *European Business Review*, vol. 26, no. 3, May 2014.

- [136] T. Groenfeldt, "IBM And Maersk Apply Blockchain To Container Shipping," 5 May 2017. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/tomgroenfeldt/2017/03/05/ibm-and-maersk-apply-blockchain-to-container-shipping/>.
- [137] S. A. Abeyratne and R. Monfared, "Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 9, September 2016.
- [138] A. Pazaitis, P. D. Filippi and V. Kostakis, "Blockchain and value systems in the sharing economy: The illustrative case of Backfeed," vol. 125, pp. 105-115, December 2017.
- [139] F. Tian, "A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things," in *14th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 2017.
- [140] R. Adams, B. Kewell and G. Parry, "Blockchain for Good? Digital Ledger Technology and Sustainable Development Goals," in *Handbook of Sustainability and Social Science Research*, 2017, pp. 127-140.
- [141] F. Tian, "A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things," in *14th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)*, 2017.
- [142] V. Theodosiadis, J. Röling and N. Krishnan, "Revolutionizing renewable energy certificate markets with tokenization," 3 August 2021. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/blog/revolutionizing-renewable-energy-certificate-markets-with-tokenization/>.
- [143] S. Fawcett, J. A. Ogden, G. Magnan and M. B. Cooper, "Organizational commitment and governance for supply chain success," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 36, no. 1, pp. 22-35, 2006.
- [144] W. Mougayar, *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*, Wiley, 2016.
- [145] S. K. Mangla, K. Govindan and S. Luthra, "Prioritizing the barriers to achieve sustainable consumption and production trends in supply chains using fuzzy Analytical Hierarchy Process," *Journal of Cleaner Production*, vol. 151, pp. 509-525, 10 May 2017.
- [146] A. Sajjad, G. Eweje and D. Tappin, "Sustainable Supply Chain Management: Motivators and Barriers," *Business Strategy and The Environment*, vol. 24, no. 7, pp. 643-655, 1 November 2015.
- [147] D. M. Lambert and M. G. Enz, "Issues in Supply Chain Management: Progress and potential," *Industrial Marketing Management*, vol. 62, pp. 1-16, April 2017.
- [148] D. S. Sayogo, J. Zhang, L. Luna-Reyes, H. Jarman, G. Tayi, D. L. Andersen, T. A. Pardo and D. F. Andersen, "Challenges and requirements for developing data architecture supporting integration of sustainable supply chains," *Information Technology and Management*, vol. 16, pp. 5-18, 2015.
- [149] S. J. Gorane and R. Kant, "Modelling the SCM implementation barriers: An integrated ISM-fuzzy MICMAC approach," *Journal of Modelling in Management*, vol. 10, no. 2, 20 July 2015.

- [150] J. Yli-Huumo, D. Ko, S. Choi, S. Park and K. Smolander, "Where Is Current Research on Blockchain Technology?—A Systematic Review," *PLoS ONE*, 3 October 2016.
- [151] B. K. Mishra, S. Raghunathan and X. Yue, "Information sharing in supply chains: Incentives for information distortion," *IIE Transactions*, vol. 39, pp. 863-877, 2007.
- [152] SSL.com, "What Is an X.509 Certificate?," 23 September 2019. [Online]. Available: <https://www.ssl.com/faqs/what-is-an-x-509-certificate/>.
- [153] Hyperledger Foundation, "Membership Service Providers (MSP)," [Online]. Available: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/msp.html>.
- [154] Hyperledger Foundation, "Identity," [Online]. Available: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/latest/identity/identity.html>.
- [155] C. Walter, "Major blockchain consensus algorithms as an infographic," 24 February 2019. [Online]. Available: <https://www.tokens-economy.com/wp-content/uploads/2019/02/Major-Blockchain-consensus-Infographics.png>.
- [156] B. Levine, "Dun & Bradstreet is testing blockchain as a way to securely distribute its content," 15 August 2017. [Online]. Available: <https://martech.org/dun-bradstreet-testing-blockchain-way-securely-distribute-content/>.