



Πανεπιστήμιο Πειραιώς – Τμήμα Πληροφορικής

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών. Application of blockchain technology with traceability in the reverse supply chain for the reconstruction of electronic medical devices.
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Κωνσταντίνος Δουλαδής
Πατρώνυμο	Ηρακλής
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΣΠ / 17020
Επιβλέπων	Χρήστος Δουληγέρης, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης **Μάιος, 2020**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

(υπογραφή)

(υπογραφή)

(υπογραφή)

Χρήστος Δουληγέρης
Καθηγητής

Παναγιώτης Κοτζανικολάου
Αναπληρωτής Καθηγητής

Κωνσταντίνος Πατσάκης
Επίκουρος Καθηγητής

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την Μεταπτυχιακή μου Διατριβή ολοκληρώνονται οι σπουδές μου του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Προηγμένα Συστήματα Πληροφορικής» στην κατεύθυνση «Τεχνολογίες Ηλεκτρονικών και Κινητών Υπηρεσιών» του Πανεπιστημίου Πειραιώς. Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσοι συνέβαλαν στην εκπόνηση της εργασίας. Ευχαριστώ τον συνεπιβλέποντα Δρ. Θωμά Δασακλή για τη βοήθεια, καθοδήγηση και άμεση ανταπόκρισή του κατά τη διενέργεια αυτής, όπως επίσης και τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Χρήστο Δουληγέρη.

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ABSTRACT	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Αντικείμενο της εργασίας.....	8
1.2 Σύγχρονες προκλήσεις στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας	8
1.3 Μεθοδολογία.....	9
2 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....	10
2.1 Γενική Περιγραφή	10
2.2 Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας	10
2.3 Απαιτήσεις αγοράς και καταναλωτών	10
2.4 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ.....	12
2.4.1 Ψηφιοποίηση του μοντέλου της εφοδιαστικής αλυσίδας.....	12
2.4.2 Αυτοματοποιημένη καταγραφή και εισαγωγή δεδομένων	12
2.4.3 Αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων	13
2.4.4 Περιγραφή του Blockchain	13
2.4.5 Ενσωμάτωση του blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα	16
2.5 Reverse Logistics και Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας	16
2.5.1 Γενικά.....	16
2.5.2 Πράσινη και βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα	17
3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ 27	27
3.1 Αδυναμίες του παραδοσιακού μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας	27
3.2 Αντιμετώπιση των αδυναμιών του παραδοσιακού μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας	27
3.3 Η σημασία της ιχνηλασιμότητας στη συμβατική εφοδιαστική.....	27
3.4 Η σημασία της ιχνηλασιμότητας στην αντίστροφη εφοδιαστική	29
4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ (SMART CONTRACTS).....	32
4.1 Περιγραφή των “έξυπνων συμβολαίων”	32
4.2 Ενσωμάτωση των “έξυπνων συμβολαίων” στο blockchain.....	33
4.2.1 Το Ethereum Virtual Machine (EVM).....	33
4.2.2 Ψηφιακές μάρκες (tokens).....	34
5 ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ REVERSE LOGISTICS ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ	36
5.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	36
5.2 Σημασία της ανακατασκευής	37

5.3	Προϋποθέσεις και απαιτήσεις για την ανακατασκευή – Η σημασία της ιχνηλασιμότητας	38
5.3.1	Ιατρικές συσκευές μιας χρήσης	38
5.3.2	Συσκευές κατάλληλες για ανακατασκευή και επαναχρησιμοποίηση	40
5.4	Διαδικασία ανακατασκευής και καταγραφής όλων των σταδίων	43
5.4.1	Περιγραφή των λειτουργιών και των χαρακτηριστικών	43
6	ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
6.1	Σύνοψη	48
6.2	Συμπεράσματα	48
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	50
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ SOLIDITY	55

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί μια αναλυτική επισκόπηση και εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με χρήση ιχνηλασιμότητας σε περιβάλλον αντίστροφης εφοδιαστικής αλυσίδας του βιομηχανικού τομέα για θέματα ανακατασκευής ιατρικών ηλεκτρονικών συσκευών. Η διατριβή διαρθρώνεται από έξι επιμέρους ενότητες. Στην πρώτη ενότητα περιγράφεται το αντικείμενο που εξετάζεται σε συνδυασμό με τις σύγχρονες προκλήσεις στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διατριβής. Στη δεύτερη ενότητα γίνεται μια γενική περιγραφή της εφοδιαστικής αλυσίδας, τους σκοπούς που εξυπηρετεί καθώς και καινοτόμες τεχνολογίες που εφαρμόζονται ή βρίσκονται σε ερευνητικό στάδιο. Επίσης δίνεται έμφαση στην βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας και πώς αυτή μπορεί να επιτευχθεί σε συνδυασμό με διαδικασίες αντίστροφης εφοδιαστικής. Στη τρίτη ενότητα αναλύεται η σημασία της ιχνηλασιμότητας σε εφαρμογές συμβατικής και αντίστροφης εφοδιαστικής διαφόρων επιχειρήσεων, και πώς αυτή συμβάλλει στην αντιμετώπιση των αδυναμιών του παραδοσιακού μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας. Στην τέταρτη ενότητα περιγράφεται η αρχιτεκτονική που εφαρμόζουμε για τους σκοπούς ιχνηλασιμότητας με χρήση «έξυπνων συμβολαίων» και «ψηφιακών μαρκών» στο blockchain του Ethereum. Στην πέμπτη ενότητα αναλύεται η σημασία ανακατασκευής ιατρικών συσκευών προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθούν, οι απαιτήσεις που ακολουθούνται για την επίτευξη της ανακατασκευής και στη συνέχεια, εφαρμόζεται ιχνηλασιμότητα των εν λόγω απαιτήσεων σε διαδικασίες αντίστροφης εφοδιαστικής για τις συγκεκριμένες συσκευές. Περιγράφεται η δομή της εφαρμογής μας και το πλαίσιο λειτουργίας της. Στην έκτη ενότητα γίνεται μια σύνοψη των μεθόδων και τεχνολογιών που εφαρμόσαμε, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους, καθώς και μελλοντικές προτάσεις προς διερεύνηση και βελτίωση.

ABSTRACT

This master thesis provides a thorough review and application of blockchain technology using traceability in a reverse logistics supply chain industry environment for the refurbishment of medical electronic devices. The thesis is structured in six separate sections. The first section describes the subject matter under investigation in conjunction with the current challenges in supply chain management, as well as the methodology followed for the elaboration of this thesis. The second section provides a general description of the supply chain, the purposes it serves as well as innovative technologies that are applied or are in the research stage. Emphasis is also placed on the supply chain sustainability and how this can be achieved in conjunction with the reverse logistics processes. The third section analyzes the importance of traceability in straight and reverse logistics applications of various companies, and how this contributes to addressing the weaknesses of the traditional supply chain model. The fourth section describes the architecture we apply for traceability purposes using "smart contracts" and "tokens" in the Ethereum blockchain. The fifth section analyzes the importance of refurbishing medical devices in order to reuse them, the requirements followed to achieve the refurbishment, and then applies the traceability of these requirements to reverse logistics processes for these devices. The structure and framework of the application are also described. The sixth section summarizes the methods and the technologies we have applied, and highlights their advantages, their limitations and disadvantages, along with fruitful areas for future research and improvement.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο της εργασίας

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εξετάζεται η εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain στη διαχείριση της Εφοδιαστικής Αλυσίδας (ΕΑ), με έμφαση στην ιχνηλασιμότητα στην Αντίστροφη Εφοδιαστική Αλυσίδα (ΑΕΑ) για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται το blockchain, καθώς και αρχιτεκτονικές Αντίστροφης Εφοδιαστικής (ΑΕ) και αναλύονται συγκεκριμένες τεχνολογίες που βασίζονται σε αυτό, όπως η χρήση έξυπνων συμβολαίων καθώς επίσης και η συνεισφορά του στις επιχειρηματικές δραστηριότητες. Εξετάζεται ο τρόπος που μπορεί να εφαρμοστεί στην ΑΕΑ και πώς αυτό μπορεί να προσφέρει δυνατότητες αποτελεσματικότερης και αποδοτικότερης λειτουργίας των επιχειρήσεων. Προκειμένου να αναδειχθεί η σημαντικότητα της εφαρμογής αυτής στη διαχείριση της ΕΑ και την ανταγωνιστικότητα των επιχειρήσεων, επιλέχτηκαν μελέτες περίπτωσης στον κατασκευαστικό και στον ιατρικό τομέα. Τα προϊόντα του συγκεκριμένου τομέα χαρακτηρίζονται από την ανάγκη υψηλής τήρησης των προδιαγραφών τους και των διαδικασιών συντήρησης και λειτουργίας, παράγοντες οι οποίοι πρέπει να διατηρούνται στο ακέραιο και στις ανακατασκευασμένες συσκευές, καθώς υπάρχει άμεση επίπτωση στην υγεία αυτών που τις χρησιμοποιούν. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημαντικότητα της ιχνηλασιμότητας σε αυτό το είδος της ΕΑ. Ο συγκεκριμένος κλάδος είναι πολύ σημαντικός αναφορικά με το επίπεδο ποιότητας ζωής και ευημερίας της κοινωνίας.

1.2 Σύγχρονες προκλήσεις στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Στη σύγχρονη κοινωνία προκειμένου οι επιχειρήσεις να καθίστανται ανταγωνιστικές δεν πρέπει να δρουν ως ανεξάρτητες οντότητες αλλά ως ενεργά μέλη μιας ευρύτερης ΕΑ που περιλαμβάνει ένα δίκτυο πολλαπλών σχέσεων και διαφόρων ειδών επιχειρήσεων. Συνεπώς, οι ΕΑ λειτουργούν υπό ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον και είναι ευάλωτες σε μια πληθώρα μεταβολών και κινδύνων. Η επέκταση σε ευρείες γεωγραφικές περιοχές τις καθιστά ακόμη περισσότερο ευάλωτες σε εξωτερικούς κινδύνους. Οι πελάτες γίνονται πιο απαιτητικοί σχετικά με την προσαρμογή και την ποιότητα των προϊόντων, την τιμή και το επίπεδο εξυπηρέτησης. Οι αυξημένοι ρυθμοί λειτουργίας των περισσότερων βιομηχανιών, οι ραγδαίες εξελίξεις της τεχνολογίας και η συνεχής εισαγωγή νέων προϊόντων στην αγορά προκαλούν αύξηση της πολυπλοκότητας των προϊόντων. Επιπλέον, οικονομικοί παράγοντες όπως το ενεργειακό κόστος, οι τιμές, η διαθεσιμότητα πρώτων υλών και οι συναλλαγματικές ισοτιμίες, κοινωνικοί παράγοντες όπως κοινωνικοπολιτικές αναταραχές και απαιτητικοί πελάτες, καθώς και περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως ακραίες καιρικές συνθήκες, σεισμοί και κλιματική αλλαγή συνιστούν ένα αντίξοο και δυναμικό περιβάλλον για τις επιχειρήσεις [1], [2].

Για να επιβιώσουν οι επιχειρήσεις σε ένα τέτοιο περιβάλλον, πρέπει να είναι εξαιρετικά ευέλικτες και να αναπτύξουν ικανότητες μετριασμού του κινδύνου ώστε να μπορέσουν να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις άμεσα. Ωστόσο, η ευελιξία και η ανθεκτικότητα προσφέρονται με επιπλέον κόστος. Για το λόγο αυτόν απαιτούνται επιπλέον πόροι, όπως πρόσθετη αποθηκευτική χωρητικότητα και υψηλότερο κόστος συντονισμού. Προκειμένου να επιτευχθεί η ζητούμενη ευελιξία και ανθεκτικότητα οι επιχειρήσεις πρέπει να διαθέτουν δυνατότητα για εις βάθος παρακολούθηση ολόκληρης της ΕΑ, καθώς επίσης και κατάλληλων μηχανισμών ώστε να ανταποκρίνονται με ταχύτητα στις διάφορες μεταβολές [3].

Βασικός παράγοντας για την αποτελεσματική διαχείριση της ΕΑ καθίστανται οι τεχνολογίες πληροφορικής. Αυτές συμβάλλουν καθοριστικά και βοηθούν τις ΕΑ να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις του συνεχώς μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος σε όλα τα επίπεδα. Οι τεχνολογίες πληροφορικής έχουν ήδη επηρεάσει σημαντικά τη φύση και τη δομή των ΕΑ λόγω της ικανότητάς τους για ολοκλήρωση και αυτοματοποίηση των διαφόρων διαδικασιών, είτε αυτές είναι εσωτερικές διεργασίες, είτε είναι εξωτερικές συναλλαγές με προμηθευτές και πελάτες. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της βελτίωσης της επικοινωνίας, της συλλογής και της μετάδοσης δεδομένων, επιτρέποντας έτσι την αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων και την αποδοτικότερη λειτουργία

της ΕΑ. Το blockchain καθώς και οι συνεργαζόμενες με αυτό τεχνολογίες όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) συμβάλλουν σημαντικά στην εξέλιξη της επικοινωνίας και διασύνδεσης μεταξύ ανθρώπων, επιχειρήσεων, φυσικών αντικειμένων και ψηφιακών οντοτήτων προσφέροντας δυνατότητες αυτόματου και αυτόνομου συντονισμού μεταξύ των παραγόντων της ΕΑ, καθώς και αποθήκευση των συλλεγόμενων πληροφοριών για την περαιτέρω ανάλυσή τους. Αυτές οι νέες δυνατότητες προσφέρουν σημαντικές ευκαιρίες για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των προκλήσεων στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

1.3 Μεθοδολογία

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας αρχικά πραγματοποιήθηκε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Η αναζήτηση επιστημονικών άρθρων έγινε μέσω τις ιστοσελίδας Scopus όπου οι θεματικές ενότητες περιέλαβαν θέματα διοίκησης της ΕΑ με έμφαση στην ιχνηλασιμότητα, για διάφορους τομείς της βιομηχανίας, καθώς και τις επιπτώσεις της σε αυτή. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση σχετικά με την τεχνολογία blockchain και τα έξυπνα συμβόλαια, της εφαρμογής που έχουν υλοποιηθεί και τους τρόπους ενσωμάτωσής της σε θέματα διοίκησης / διαχείρισης της ΕΑ. Στη συνέχεια, η ανασκόπηση περιέλαβε και θέματα εφαρμογής ΑΕ για την ανακατασκευή και επαναχρησιμοποίηση προϊόντων σε τομείς ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών συσκευών καθώς στην φαρμακευτική και ιατρική βιομηχανία. Κατόπιν των ανωτέρω και προκειμένου να εξεταστεί η μελέτη περίπτωσης ΑΕ της συγκεκριμένης εργασίας, πραγματοποιήθηκε σύνθεση των μεθοδολογιών και των αρχιτεκτονικών που έχουν εφαρμοστεί σε σχετικούς τομείς της βιομηχανίας, καθώς δεν εντοπίστηκε καμία δημοσίευση σχετικά με την μελέτη περίπτωσης που εξετάζουμε.

2 ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

2.1 Γενική Περιγραφή

Η εφοδιαστική αλυσίδα (EA) είναι ένα σύνολο ανθρώπινων και υλικών πόρων, δραστηριοτήτων και πληροφοριών, μεταξύ των οποίων υπάρχει διασύνδεση, με σκοπό να παράγεται και να διακινείται ένα προϊόν ή μια υπηρεσία από τον κατασκευαστή / πάροχο στον πελάτη. Στις δραστηριότητες μιας EA περιλαμβάνονται η μετατροπή των φυσικών πόρων, των πρώτων υλών και των συστατικών τους σε τελικό προϊόν που παραδίδεται στον τελικό πελάτη.

Η διαχείριση της EA περιλαμβάνει τον προγραμματισμό και τη διαχείριση όλων των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την προμήθεια, την μετατροπή / μεταποίηση και τη διανομή. Επίσης, περιλαμβάνει τον συντονισμό και τη συνεργασία μεταξύ των μελών των καναλιών, οι οποίοι μπορεί να είναι προμηθευτές, μεσάζοντες, πάροχοι υπηρεσιών και πελάτες. Ουσιαστικά περιλαμβάνεται η διαχείριση προσφοράς και ζήτησης εντός μιας εταιρείας, καθώς και μεταξύ των εταιρειών. Η κυριότερη ευθύνη της διαχείρισης της EA αφορά τη σύνδεση σημαντικών επιχειρηματικών λειτουργιών και διαδικασιών, εντός και μεταξύ των εταιρειών, σε ένα συνεκτικό επιχειρηματικό μοντέλο υψηλής απόδοσης. Συμπεριλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες διαχείρισης μεταφορών και διανομών καθώς και τις δραστηριότητες κατασκευής. Ο συντονισμός των προαναφερθέντων διαδικασιών και δραστηριοτήτων πραγματοποιείται με βάση το μάρκετινγκ, τις πωλήσεις, τον σχεδιασμό προϊόντων, τη χρηματοδότηση και την τεχνολογία των πληροφοριών, με τρόπο ώστε να διατηρείται η ισορροπία μεταξύ ζήτησης και προσφοράς [4].

2.2 Διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας

Συνήθως, μια EA ξεκινά με την βιολογική και πολιτική διαχείριση των φυσικών πόρων, στη συνέχεια ακολουθεί η εξόρυξη πρώτων υλών και κατόπιν περιλαμβάνει τις φάσεις παραγωγής (π.χ. κατασκευή εξαρτημάτων, συναρμολόγηση και τελική υλοποίηση). Στη συνέχεια, τα προϊόντα διέρχονται από διάφορες εγκαταστάσεις αποθήκευσης και διανέμονται σε απομακρυσμένες γεωγραφικές τοποθεσίες όπου τελικά φθάνουν στον καταναλωτή.

Αναφερόμενοι σε ένα γενικότερο επίπεδο, η διαχείριση της EA αποτελείται από τις παρακάτω βασικές λειτουργίες και χαρακτηριστικά [5]:

Ενσωμάτωση (Integration): Αποτελεί τη βάση της EA και ο σκοπός του είναι ο συντονισμός των επικοινωνιών ώστε να παράγει αποτελεσματικά και έγκαιρα αποτελέσματα. Δύναται να ενσωματώνει καινοτομίες λογισμικού ή προηγμένες τεχνολογικές διαδικασίες για τη βελτίωση των επικοινωνιών.

Λειτουργίες (Operations): Περιλαμβάνει τη διαχείριση των καθημερινών εργασιών στο επιχειρησιακό μέρος του ηλεκτρονικού εμπορίου. Αυτές μπορεί να είναι η παρακολούθηση του αποθέματος ή το μάρκετινγκ.

Αγοραστική διαδικασία (Purchasing): Πρόκειται για τις αποφάσεις αγοράς πρώτων υλών, αρχικών υλικών κ.ο.κ. και τη διαχείριση τους.

Διανομή (Distribution): Αφορά τη διαχείριση εφοδιασμού και διανομής σε χονδρεμπόρους, λιανοπωλητές και πελάτες. Μπορεί να περιλαμβάνει την παρακολούθηση της αποστολής και άλλα στοιχεία.

Οι συναλλαγές που πραγματοποιούνται εντός της EA είναι, ως επί το πλείστον, μεταξύ διαφορετικών εταιρειών, με κύριο στόχο τη μεγιστοποίηση των κερδών τους στο πεδίο που τους αφορά και ενδέχεται να έχουν ελάχιστες, ή καθόλου γνώσεις, ή ενδιαφέρον για τους υπόλοιπους συμμετέχοντες στην εφοδιαστική αλυσίδα.

2.3 Απαιτήσεις αγοράς και καταναλωτών

Εδώ και πάνω από 20 χρόνια, όλο και περισσότεροι καταναλωτές και ευρωπαϊκοί οργανισμοί απαιτούν υψηλότερη ποιότητα, ασφάλεια και εμπιστοσύνη σε πολλά είδη προϊόντων, καθώς και αποτελεσματικότερη μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ των EA, ώστε να επιτυγχάνεται η

μικρότερη δυνατή κατασπατάληση ενέργειας, πόρων και προϊόντων, με μείωση της υπερπροσφοράς και επαρκούς κάλυψης της ζήτησης. Στις ανεπτυγμένες χώρες της Ευρώπης και της Αμερικής, αναφορικά με τα γεωργικά διατροφικά προϊόντα, έχει επιτευχθεί ένας ετήσιος λόγος απωλειών χαμηλότερος από 3% [6], γεγονός στο οποίο έχουν συμβάλλει τα εξελιγμένα συστήματα ΕΑ, όπου ελαχιστοποιούν τις απώλειες και μεγιστοποιούν τα κέρδη των συμβαλλόμενων μελών. Όμως η ποιότητα, η ασφάλεια και η ταυτότητα προέλευσης όλων των προϊόντων ακόμα δεν εξασφαλίζονται σε πλήρη βαθμό [7], [8].

Για την αντιμετώπιση της υψηλής ζήτησης, η διαχείριση της ΕΑ διαδραματίζει ζωτικό ρόλο. Για να είναι αποτελεσματικό και ισχυρό ένα δίκτυο ΕΑ πρέπει να έχει οικονομικά αποδοτικό σχεδιασμό που να βοηθάει στη λήψη στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων σχετικά με την τοποθεσία και την κατανομή των σχετικών εγκαταστάσεων στο δίκτυο, καθώς και τις βέλτιστες ποσότητες προϊόντων που μεταφέρονται σε κάθε κλιμάκιο του δικτύου [9]. Ο καθορισμός ενός επαρκούς επιπέδου δυνατοτήτων, βοηθά τους οργανισμούς να ικανοποιούν τη ζήτηση των πελατών με τη σωστή ποσότητα προϊόντος την κατάλληλη στιγμή [10]. Η μεγιστοποίηση της αξιοποίησης της παραγωγικής ικανότητας των εγκαταστάσεων, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που αυξάνει σημαντικά την αποδοτικότητα του εφοδιαστικού δικτύου, μειώνοντας ταυτόχρονα το συνολικό κόστος των εγκαταστάσεων [11].

Για να πραγματοποιηθούν τα ανωτέρω, η διαχείριση της ΕΑ γίνεται με τους παρακάτω τρόπους [5].

Παροχή βελτιωμένων υπηρεσιών στον τελικό καταναλωτή

Οι πελάτες αναμένουν να λάβουν τα σωστά προϊόντα στη σωστή ποσότητα, η οποία θα πρέπει να παραδοθεί στο σωστό προορισμό εγκαίρως. Αυτό συντελεί στη δημιουργία σχέσης εμπιστοσύνης η οποία μπορεί να μειωθεί όταν υπάρχει έλλειψη διαθεσιμότητας των προϊόντων. Επιπλέον, η παρακολούθηση υποστήριξης μετά από μια πώληση πρέπει να γίνεται άμεσα. Αν το τελικό προϊόν δεν ακολουθεί τις προδιαγραφές ποιότητας, αυτό θα πρέπει να αντικατασταθεί. Το ίδιο σημαντικό είναι να βρεθεί το σημείο, ή τα σημεία στην εφοδιαστική αλυσίδα όπου δημιουργήθηκε η εν λόγω αστοχία, ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθωτικές ενέργειες και να μην υπάρχει επανάληψη παρόμοιου συμβάντος.

Μείωση λειτουργικού κόστους

- Μείωση του κόστους αγοράς: Η φύλαξη των προϊόντων σε αποθήκες είναι δαπανηρή. Τα προϊόντα πρέπει να διανέμονται γρήγορα και να αποφεύγεται η παραμονή τους σε αυτές. Οι έμποροι εξαρτώνται άμεσα από τις ΕΑ ώστε να πραγματοποιείται ομαλά η ανωτέρω διαδικασία.
- Μείωση κόστους παραγωγής: Η σωστή και έγκαιρη παράδοση υλικών στις εγκαταστάσεις (π.χ. συναρμολόγησης) είναι πολύ σημαντική για τη διαχείριση της ΕΑ, καθώς συμβάλλει στην αποφυγή τυχόν καθυστερήσεων στην παραγωγή, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλο χρηματικό κόστος σε μια επιχείρηση.
- Μείωση του συνολικού κόστους της ΕΑ: Με καλή διαχείριση της ΕΑ μπορεί να σχεδιαστεί ένα δίκτυο που να ανταποκρίνεται στους στόχους εξυπηρέτησης πελατών. Αυτό κάνει τις επιχειρήσεις αρκετά πιο ανταγωνιστικές στην αγορά.

Βελτίωση της οικονομικής θέσης

- Μόχλευση κέρδους: Οι επιχειρήσεις βασίζονται αρκετά στους Διαχειριστές της ΕΑ, επειδή συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στον έλεγχο και τη μείωση των δαπανών της.
- Μείωση των παγίων / περιουσιακών στοιχείων: Οι Διαχειριστές της ΕΑ μειώνουν τη χρήση μεγάλων πάγιων στοιχείων ενεργητικού, όπως εγκαταστάσεων, μηχανημάτων, αποθηκών και οχημάτων μεταφοράς, με αποτέλεσμα να μειωθεί ουσιαστικά το κόστος.
- Αύξηση των ταμειακών ροών: Οι επιχειρήσεις αναγνωρίζουν και εκτιμούν κατάλληλα την προστιθέμενη αξία της Διαχείρισης της ΕΑ, η οποία συμβάλλει στην ταχύτητα ροής προϊόντων προς τους πελάτες [5].

2.4 ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗ ΑΛΥΣΙΔΑ

2.4.1 Ψηφιοποίηση του μοντέλου της εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι εξελίξεις στον τομέα των υπολογιστών, των δικτύων και της επεξεργασίας πληροφοριών, οι οποίες βαίνουν με ταχύτατους ρυθμούς, ενθαρρύνουν και δίνουν τα κατάλληλα εργαλεία στις επιχειρήσεις ώστε να αναπτύξουν καινοτόμες ψηφιακές τεχνολογίες. Οι καινοτόμες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των νέων αισθητήρων και της τεχνητής νοημοσύνης, κατέχουν βασικό ρόλο για την ανάλυση και τη μετατροπή από τον φυσικό στον ψηφιακό κόσμο, μετατρέποντας τις παραδοσιακές ΕΑ σε συνδεδεμένες, ευφείς, κλιμακούμενες και προσαρμόσιμες αλυσίδες. Πλέον, στη διαχείριση της ΕΑ περιλαμβάνεται η συλλογή πληροφοριών από κατανεμημένα δεδομένα και αισθητήρες, ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν βελτιώσεις και προσαρμογές μέσα στην ίδια την αλυσίδα, μέσω βελτιωμένων αναλυτικών και ψηφιακών λύσεων.

Οι «έξυπνες» ΕΑ επιτυγχάνουν τη διασύνδεση μεταξύ των φυσικών και ψηφιακών καναλιών, συνδέοντας πληροφορίες, αγαθά και υπηρεσίες με τους παρακάτω τρόπους [5]:

Φυσικό με Ψηφιακό (Physical to Digital): Καταγραφή σημάτων και δεδομένων από τον φυσικό κόσμο για τη δημιουργία ενός ψηφιακού αρχείου.

Ψηφιακό με Ψηφιακό (Digital to Digital): Ανταλλαγή και επεξεργασία των πληροφοριών χρησιμοποιώντας προηγμένες αναλύσεις, και / ή τεχνητή νοημοσύνη, ώστε η πληροφορία να αποκτήσει πρακτική αξία.

Ψηφιακό με Φυσικό (Digital to Physical): Παροχή πληροφοριών με αυτοματοποιημένους και αποτελεσματικούς τρόπους για τη δημιουργία ενεργειών και πράξεων, που επιφέρουν μεταβολές στον φυσικό κόσμο.

Αντίθετα από ένα παραδοσιακό μοντέλο ΕΑ, το ψηφιακό μοντέλο είναι δυναμικό και ολοκληρωμένο με συνεχή ροή πληροφοριών και αναλυτικών στοιχείων.

Για να επιτευχθεί η ιχνηλασιμότητα απαιτούνται η ενσωμάτωση μια σειράς ηλεκτρονικών συστημάτων, όπου θα καταγράφουν όλες τις συνθήκες των σταδίων, από τα οποία περνάει μια πρώτη ύλη, που πρόκειται να ενσωματωθεί σε ένα προϊόν, καθώς και η πρόσβαση στα εν λόγω δεδομένα από όλα τα εμπλεκόμενα μέλη της αλυσίδας. Οι συγκεκριμένες πληροφορίες θα πρέπει να διατηρούν την αξιοπιστία τους οποιαδήποτε στιγμή και να μην μπορεί να μεταβληθούν σύμφωνα με τις προτιμήσεις κάποιων από τα μέλη της ΕΑ.

2.4.2 Αυτοματοποιημένη καταγραφή και εισαγωγή δεδομένων

Τεχνολογίες που έχουν προταθεί για την αυτοματοποιημένη καταγραφή και εισαγωγή δεδομένων, είναι η εφαρμογή συστημάτων RFID (Radio Frequency Identification), τα οποία διαβάζουν ή λαμβάνουν δεδομένα των συνθηκών μιας πρώτης ύλης κάθε χρονική στιγμή και τα μεταδίδουν σε μια βάση δεδομένων. Τα συστήματα RFID αποτελούν μία ανέπαφη τεχνολογία αυτόματης αναγνώρισης και επικοινωνίας. Μπορούν να αναγνωρίσουν αυτόματα, πολλαπλά γρήγορα κινούμενα αντικείμενα ταυτόχρονα, σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες και χωρίς χειροκίνητη παρέμβαση. Επιπλέον, μπορούν να καταγράφουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται πληροφορίες ενός αντικείμενου, μέσω σήματος ραδιοσυχνότητας. Συγκρινόμενα με τα συστήματα bar-code, η τεχνολογία ετικετών RFID έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως η ευκολία λειτουργίας, η δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου πληροφορίας καθώς και η δυνατότητα ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης. Στην περιοχή των ΕΑ, η τεχνολογία RFID έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην επεξεργασία της παραγωγής, στη διαχείριση αποθήκης, στην ιχνηλασιμότητα της εφοδιαστικής διαδικασίας, την προστασία κατά των ψεύτικων προϊόντων κλπ. Με την εκτεταμένη εφαρμογή της τεχνολογίας RFID, το επίπεδο της διαχείρισης της ΕΑ έχει βελτιωθεί σημαντικά [7].

Η διαδικασία της συλλογής δεδομένων από διάφορες ανόμοιες αποθήκες, ώστε να διαμορφωθεί το ιστορικό ενός προϊόντος και να διασφαλιστεί ταυτόχρονα η ακεραιότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων, είναι μια από τις βασικές προκλήσεις που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί, ώστε να είναι αποτελεσματική η διαδικασία ιχνηλασιμότητας μιας εφοδιαστικής αλυσίδας, και ειδικότερα στο στάδιο της παραγωγής, όπου διαφορετικά ακατέργαστα υλικά

αφομοιώνονται στο τελικό προϊόν. Υπάρχει πιθανότητα να προκύψουν ανακρίβειες δεδομένων, είτε λόγω σφαλμάτων, είτε λόγω κακόβουλων προθέσεων. Παρόλο που υπάρχουν συστήματα ιχνηλασιμότητας βασισμένα σε κεντρικές αποθήκες, μπορεί πολλές φορές η συλλογή των δεδομένων παρακολούθησης της προέλευσης των υλικών, από διαφορετικές πηγές, να είναι περίπλοκη και γεμάτη καθυστερήσεις. Η πρόοδος στη ευρεία μετάδοση της πληροφορίας μέσω της τεχνολογίας Internet of Things (IoT), παρέχει τη δυνατότητα για αυτοματοποιημένο έλεγχο της προέλευσης των προϊόντων, ωστόσο η συγκεκριμένη τεχνολογία πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά στα διάφορα σενάρια της ΕΑ, καθώς υπάρχει αντίθεση μεταξύ της απαίτησης διαφάνειας από την πλευρά των καταναλωτών, και των εμπορικών αναγκών από την πλευρά των φορέων της εφοδιαστικής αλυσίδας, για απόκρυψη των εμπορικών τους πληροφοριών.

2.4.3 Αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων

Απαιτούνται νέοι μηχανισμοί ιχνηλασιμότητας της ΕΑ, οι οποίοι να ενσωματώνουν δεδομένα αισθητήρων για να παρέχουν ένα λεπτομερές ιστορικό των προϊόντων, να διαχειρίζονται τα δεδομένα με αποκεντρωμένο τρόπο, και να διατηρούν την εμπιστευτικότητα στις εμπορικές ροές [12]. Τα υπάρχοντα συστήματα ιχνηλασιμότητας υιοθετούν δυο αρχιτεκτονικές: με κεντρική διαχείριση των δεδομένων, ή αποκεντρωμένα συστήματα. Τα συστήματα κεντρικής διαχείρισης λειτουργούν και συντηρούνται από ένα αξιόπιστο τρίτο μέρος (μια αξιόπιστη αρχή ή έναν οργανισμό). Τα συγκεκριμένα συστήματα μπορεί να υποστούν ευκολότερα επίθεση, αφού όλα τα δεδομένα βρίσκονται σε ένα κεντρικό σημείο το οποίο έχει υψηλότερο κίνδυνο παραβίασης δεδομένων και αποκάλυψης πληροφοριών. Τα κατακεντρωμένα συστήματα ιχνηλασιμότητας μπορεί να διευκολύνουν τη δημιουργία και την ανταλλαγή δεδομένων, με μεγαλύτερη ταχύτητα και αξιοπιστία, λόγω της φύσης της αρχιτεκτονικής, η οποία ευνοεί και την επεκτασιμότητα του συστήματος, όμως τα προβλήματα παραβίασης των δεδομένων και γνωστοποίησης των πληροφοριών παραμένουν υπαρκτά [13]. Το Blockchain είναι μια κατακεντρωμένη τεχνολογία «ημερολογίου συμβάντων», που έχει τη δυνατότητα να υποστηρίξει ένα ισχυρό σύστημα ιχνηλασιμότητας της ΕΑ, με την καταγραφή δεδομένων που παραμένουν αναλλοίωτα, ασφαλή και ευρέως διαθέσιμα. Σε περίπτωση εκδήλωσης μιας δυσλειτουργίας, ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας με βάση το blockchain, μας επιτρέπει να εντοπίζουμε τα ακόλουθα με ελάχιστη πολυπλοκότητα και καθυστερήσεις: 1) προέλευση 2) ταχύτερη ανάκληση και 3) μειωμένη απώλεια ενέργειας (εξασφαλίζοντας την ακεραιότητα των δεδομένων των αισθητήρων).

2.4.4 Περιγραφή του Blockchain

Η τεχνολογία Blockchain έγινε δημοφιλής μέσα από την εξέλιξη των κρυπτονομισμάτων και του bitcoin, μετά την οικονομική κρίση του 2008 [14]. Αν και η κύρια εστίαση ήταν στις χρηματοπιστωτικές εφαρμογές, τα μοναδικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain ενέπνευσαν την ευρύτερη χρήση αυτής της τεχνολογίας σε διαφορετικές αγορές, και ακόμη για μη οικονομικούς ή επιχειρηματικούς σκοπούς. Περιπτώσεις, όπως στους τομείς εφοδιαστικής αλυσίδας, αγοράς ακίνητων, της διακυβέρνησης, της υγειονομικής περίθαλψης και της ενέργειας, αποτελούν ορισμένες από τις αποτελεσματικές εφαρμογές [15].

Η τεχνολογία Blockchain έχει ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά. Η ενσωμάτωση αυτών των χαρακτηριστικών διαφοροποιούν το blockchain από άλλες παρόμοιες τεχνολογίες της πληροφορικής. Σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες επιχειρηματικών εφαρμογών, η τεχνολογία blockchain χρησιμοποιεί μια μοναδική δομή δεδομένων όπου αποθηκεύει δεδομένα σε μια αλυσίδα μπλοκ. Μόλις μια νέα συναλλαγή καταγραφεί στο σύστημα, κατασκευάζει ένα μπλοκ το οποίο συνδέεται στα προηγούμενα μπλοκ, δημιουργώντας μια αλυσίδα [14].

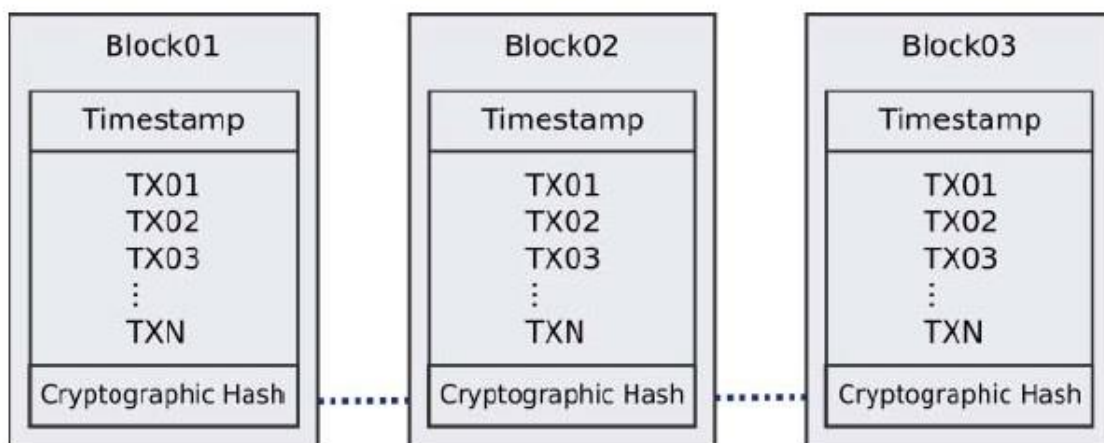
Το blockchain [14] είναι ένα αμετάβλητο ημερολόγιο συμβάντων, το οποίο διατηρείται από κατακεντρωμένους κόμβους. Αυτοί οι κόμβοι παράγουν συναλλαγές (καταγραφή δεδομένων) που μεταδίδονται στο δίκτυο, συλλέγονται σε μπλοκ και κάθε μπλοκ προστίθεται στο blockchain μετά από μια διεργασία εξόρυξης (επίλυση ενός κρυπτογραφικού αλγόριθμου όπως το Proof of Work, PoW). Ο κατακερματισμός του τρέχοντος μπλοκ καταγράφεται στο επόμενο μπλοκ, το οποίο παρέχει το χαρακτηριστικό μη μεταβολής των καταγεγραμμένων δεδομένων. Παρόλο που το blockchain διαθέτει ελκυστικά χαρακτηριστικά για την ιχνηλασιμότητα της εφοδιαστικής

αλυσίδας, η υιοθέτησή του σε αυτές τις εφαρμογές απαιτεί προσεκτική εξέταση της επεκτασιμότητας, των ρόλων και του ελέγχου πρόσβασης.

Όσον αφορά την προσβασιμότητα στα δεδομένα, υπάρχουν δύο δημοφιλείς τύποι blockchain: ο δημόσιος και ο ιδιωτικός. Στο δημόσιο blockchain, το οποίο γενικά δεν απαιτεί δικαιώματα χρηστών, το ιστορικό των συναλλαγών είναι δημόσια διαθέσιμο, και ο καθένας μπορεί να καταγράψει τις συναλλαγές και να παρακολουθεί το ιστορικό τους στα ημερολόγια. Δημοφιλή κρυπτονομίσματα, όπως το bitcoin και το ether του Ethereum, αναπτύχθηκαν σε δημόσια blockchain. Τα δημόσια blockchain απαιτούν ένα υψηλό επίπεδο ασφάλειας και αξιοπιστίας, λόγω της ύπαρξης ανώνυμων χρηστών και της έλλειψης εμπιστοσύνης μεταξύ τους [15].

Σε ένα ιδιωτικό blockchain, οι χρήστες είναι γνωστοί, και τα ημερολόγια μοιράζονται μεταξύ των συμμετεχόντων σε μια ιδιωτική ομάδα. Σε ένα ιδιωτικό, με απαίτηση δικαιωμάτων χρηστών, blockchain, η πρόσβαση περιορίζεται σε μια καθορισμένη ομάδα συμμετεχόντων. Ένα εργαλείο επικύρωσης επιτρέπει στους συμμετέχοντες να ενταχθούν στο σύστημα, τους παρέχει άδεια στο ημερολόγιο, και διατηρεί τις ανάγκες απορρήτου του δικτύου [16], [17]. Ανάλογα με τον τύπο του blockchain, τα χαρακτηριστικά αλλάζουν ελαφρώς.

Παρόλο που τα κύρια χαρακτηριστικά, και των δύο τύπων blockchain, μπορεί να αλληλεπικαλύπτονται και να διαφέρουν σε κάποιες περιπτώσεις της βιβλιογραφίας, παρουσιάζουμε μερικά από τα πιο δημοφιλή χαρακτηριστικά. Σε αυτά περιλαμβάνονται οι αποκεντρωμένες βάσεις δεδομένων, η ασφάλεια των δεδομένων, η διαφάνεια των πληροφοριών, η αμεταβλητότητα των πληροφοριών και τα έξυπνα συμβόλαια [15].



Εικόνα 1. Δομή των block στην αλυσίδα blockchain [18]

➤ Αποκεντρωμένες βάσεις δεδομένων

Η αποκεντρωση είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας blockchain. Στο blockchain συνήθως, δεν συμμετέχει στις συναλλαγές καμία κεντρική βάση δεδομένων, οργανισμός ή αρχή. Οι αποκεντρωμένες βάσεις δεδομένων των αρχείων επιτρέπουν στους συμμετέχοντες στο δίκτυο να αλληλοεπιδρούν απευθείας μεταξύ τους μέσω ενός ομότιμου (peer-to-peer) δικτύου. Κάθε συμμετέχων στο δίκτυο έχει το ίδιο αντίγραφο των ημερολογίων, τα οποία ενημερώνονται με νέες πληροφορίες, ή αλλαγές, στις καταχωρημένες τους πληροφορίες, με αποκεντρωμένο τρόπο [15].

Κάθε ενημέρωση σε ένα ημερολόγιο απαιτεί συναίνεση μεταξύ των εταίρων του δικτύου. Η αποκεντρωμένη συναίνεση είναι ο πυρήνας του blockchain, ο οποίος χρησιμοποιεί διάφορους αλγορίθμους, όπως τον proof-of-work και τον proof-of-stake για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας μιας καταγεγραμμένης συναλλαγής. Γενικά, η αποκεντρωμένη συναίνεση περιλαμβάνει ψήφους ή επικύρωση της πλειοψηφίας των συμμετεχόντων σε ένα δίκτυο, για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των συναλλαγών. Τα δημόσια blockchains απαιτούν βαριά χρήση αλγορίθμων συναίνεσης, οι οποίοι καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ισχύος και ενέργειας. Το χαρακτηριστικό αυτό συμβάλλει στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος, και επηρεάζει αρνητικά τα επίπεδα βιωσιμότητας [15].

Σε ένα ιδιωτικό blockchain, η απαίτηση συναίνεσης είναι ένα σύνολο κανόνων που ορίζεται από τους συμμετέχοντες στο δίκτυο, για την προσθήκη και την ενημέρωση των συναλλαγών σε ημερολόγια. Οι κανόνες συναίνεσης, σε ένα ιδιωτικό δίκτυο, παρέχουν ευελιξία και μετριάζουν τη χρήση περίπλοκων αλγορίθμων συναίνεσης.

➤ **Ασφάλεια**

Οι πληροφορίες διατηρούνται ως μπλοκ μέσα στην τεχνολογία blockchain. Κάθε μπλοκ έχει μια χρονική σήμανση και μια τιμή κατακερματισμού (hash value), που αναφέρεται σε προηγούμενα μπλοκ της αλυσίδας. Οι τιμές κατακερματισμού έχουν μοναδικές κρυπτογραφημένες δομές, που εμποδίζουν την παραβίαση και την αλλαγή των πληροφοριών στο blockchain. Η λογική της κρυπτογραφίας διευκολύνει την εξακρίβωση της γνησιότητας της συναλλαγής για τα ανώνυμα συμβαλλόμενα μέρη, γεγονός που αποτελεί αναγκαιότητα στα δημόσια blockchain, και βελτιώνει την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια του συστήματος [15].

Σε ένα ιδιωτικό / εξουσιοδοτημένο blockchain, η εμπιστοσύνη στον «επικυρωτή» (validator), ο οποίος δίνει δικαιώματα χρήσης στα συμβαλλόμενα μέρη, για την καταγραφή και την ιχνηλάτιση των πληροφοριών, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο [19]. Η ασφάλεια βελτιώνεται από την αποκεντρωμένη δομή του blockchain. Ως αποτέλεσμα της αποκέντρωσης, η εγκυρότητα των πληροφοριών εξετάζεται από τα μέλη του δικτύου βάσει των κανόνων συναίνεσης. Αυτό το χαρακτηριστικό περιορίζει την κακή χρήση των δεδομένων και τον χειρισμό του δικτύου. Η αποκέντρωση διασφαλίζει επίσης, ότι το δίκτυο είναι λιγότερο ευάλωτο στην παράνομη πρόσβαση ή την κατάρρευση. Η αποτυχία ενός μεμονωμένου σημείου είναι ένα κοινό πρόβλημα ασφάλειας των κεντρικών βάσεων δεδομένων, το οποίο έχει ελαττωθεί από τη χρήση τεχνολογίας blockchain [16].

Η χρονική σήμανση των διεργασιών, που καταγράφονται στο blockchain, διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ΕΑ, δεδομένων των διαφόρων ζητημάτων ανταγωνισμού βασισμένα στο χρόνο, όπως ο χρόνος παράδοσης και θέματα ευπάθειας, καθώς και ζητημάτων ιχνηλασιμότητας και διαφάνειας των πληροφοριών [15].

➤ **Διαφάνεια των πληροφοριών**

Οι εξουσιοδοτημένοι συμμετέχοντες του δικτύου blockchain διατηρούν το ίδιο αντίγραφο ενός ημερολογίου, το οποίο περιέχει τον κατάλογο των συναλλαγών. Τα ημερολόγια ενημερώνονται με τις πιο πρόσφατες εγκεκριμένες συναλλαγές. Ολόκληρο το ιστορικό των συναλλαγών είναι ορατό για τα μέλη του δικτύου, επιτρέποντας τον έλεγχο και την ιχνηλασιμότητα [20]. Το επίπεδο διαφάνειας που παρέχεται από το blockchain ενισχύει την αμεροληψία και την ευκολία πρόσβασης στα δεδομένα εντός του δικτύου. Η διαφάνεια των πληροφοριών αφαιρεί τη συμμετοχή μεσαζόντων στις διαδικασίες, αυξάνει την αποτελεσματικότητα, και μειώνει τους κινδύνους [15].

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών για τη διαφάνεια μιας ΕΑ παρακινούν την εφαρμογή του blockchain για τις διαδικασίες εφοδιασμού. Ο υψηλός βαθμός διαφάνειας παρέχει θεμελιώδη στοιχεία για την παρακολούθηση της προέλευσης και της ροής προϊόντων, καθώς και των διαδικασιών των μερών που συμμετέχουν στις συναλλαγές, και των πληροφοριών μεταφοράς. Οι προμηθευτές της ΕΑ, από τις πηγές στους τελικούς πελάτες, μπορούν να παρακολουθούν και να ελέγχουν το ιστορικό των καταγραφών. Δεδομένου ότι οι καταγραφές στο blockchain είναι χρονικά σφραγισμένες και ασφαλείς, η παραποίηση των δεδομένων και η απάτη είναι ανιχνεύσιμα και ιχνηλατημένα στο ημερολόγιο. Αυτό παρέχει εμπιστοσύνη και αξιοπιστία για τους εταίρους της ΕΑ. Οι τεχνολογίες παρακολούθησης, όπως το RFID, το IoT και οι έξυπνες συσκευές συνδέουν το φυσικό προϊόν με τις αντίστοιχες ηλεκτρονικές εγγραφές, δημιουργώντας εισακτέες τιμές για την τεχνολογία blockchain, που διατηρούνται σε διαφανή ημερολόγια συμβάντων [15].

➤ **Ακεραιότητα των δεδομένων**

Τα δεδομένα και οι πληροφορίες του blockchain είναι αμετάβλητες. Αμεταβλητότητα σημαίνει ότι τα αρχεία δεν μπορούν να τροποποιηθούν, ή να μεταβληθούν χωρίς τη συναίνεση των μελών του δικτύου. Οι συμμετέχοντες μπορούν να είναι σίγουροι ότι, το ιστορικό των καταγραφών είναι αξιόπιστο και αμετάβλητο. Θεωρητικά, αυτό το χαρακτηριστικό προέρχεται μόνο από την ενσωματωμένη έννοια του blockchain, πράγμα που σημαίνει ότι οι καταχωρήσεις μπορεί να προστεθούν μόνο σε ημερολόγια, και δεν μπορεί να τροποποιηθούν ή να αφαιρεθούν. Ωστόσο, σε ένα δημόσιο blockchain, όπου οι miners ψηφίζουν για τις συναλλαγές και ελέγχουν

το σύστημα, η συμπαιγνία είναι δυνατή, εάν η πλειοψηφία των miners αποφασίσει να αλλάξει ή να καταργήσει μια συναλλαγή. Εναλλακτικά, η αλλαγή και / ή η κατάργηση πληροφοριών σε ένα ιδιωτικό, ή με δικαιώματα χρήσης blockchain, απαιτεί κοινοποίηση στα μέλη του δικτύου, ακολουθώντας ορισμένες συμφωνίες και απαιτήσεις έγκρισης [16], [19].

2.4.5 Ενσωμάτωση του blockchain στην εφοδιαστική αλυσίδα

Στην ΕΑ οι οντότητες δεν μπορεί να είναι ανώνυμες, ή με ψευδώνυμο, και περιορίζονται στο να δημιουργούν έναν συγκεκριμένο τύπο εγγραφής, με βάση το ρόλο τους. Η διασφάλιση της ταυτότητας των εμπορικών μερών της ΕΑ, και ο έλεγχος για την ιδιωτικότητα των δεδομένων, κάνει αναγκαία τη χρήση ενός ιδιωτικού blockchain με χρήση αδειών, παρά ενός δημόσιου. Για λόγους ασφάλειας και ανταγωνιστικότητας, στοιχεία σχετικά με παραγγελίες, αποστολές, τιμολόγηση και συχνότητα πρέπει να παραμένουν αποκλειστικά στα εμπορικά συμβαλλόμενα μέρη. Εφόσον όλοι οι συμμετέχοντες κόμβοι στην εφοδιαστική αλυσίδα ελέγχονται, ο υπολογιστικός αλγόριθμος συναίνεσης PoW καθίσταται περιττός, και μπορεί να αντικατασταθεί από πρωτόκολλα που απαιτούν λιγότερους πόρους, όπως οι μέθοδοι που βασίζονται σε ψηφοφορία ή σε λαχεία [21], [22], [12].

2.5 Reverse Logistics και Βιωσιμότητα εφοδιαστικής αλυσίδας

2.5.1 Γενικά

Η ενσωμάτωση των προβληματισμών, σχετικά με την αειφορία της ΕΑ, στις επιχειρηματικές πρακτικές είναι σήμερα ένα από τα πιο δυναμικά ερευνητικά θέματα στον τομέα της διαχείρισης της ΕΑ. Αν και οι ρίζες του όρου «sustainable – μακροπρόθεσμα βιώσιμη» μπορεί να εντοπιστούν ήδη από τον 18ο αιώνα, σύμφωνα με τον [23], το προφίλ, του εν λόγω όρου, αυξήθηκε αξιοσημείωτα με την έκδοση της έκθεσης “Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future” το 1987, η οποία είναι ευρέως γνωστή ως αναφορά Brundtland. Η εν λόγω έκθεση όρισε τη βιωσιμότητα ως: «η ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακινδυνεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών, να αντιμετωπίσουν τις δικές τους ανάγκες». Αυτός ο ορισμός τονίζει την έννοια των «αναγκών» έναντι των «περιορισμών», ο οποίος είναι καθοριστικός στη συζήτηση για τη βιωσιμότητα. Παρόλο που είναι αναμφισβήτητο, αυτή η προοπτική της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων υπόκεινται σε αναγωγικές ερμηνείες με δύο τρόπους. Ο ένας τρόπος αφορά την αυστηρή αναγνώριση της βιωσιμότητας σε συνάρτηση με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από οικονομικές δραστηριότητες, ενώ ο άλλος τρόπος αφορά την ερμηνεία της ως «περιορισμό» για τις επιχειρήσεις.

Στην πραγματικότητα, η εναλλάξιμη χρήση των όρων «βιωσιμότητα» και «περιβαλλοντικός» ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένη, στις αρχές του σχεδιασμού της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων [24]. Η ενσωμάτωση των προβληματισμών βιωσιμότητας στη βιβλιογραφία «Διαχείρισης Εφοδιαστικής Αλυσίδας» δημιούργησε τον όρο «Πράσινη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας», ο οποίος προσδιορίστηκε από το [25] ως: «ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής σκέψης στη διαχείριση της ΕΑ, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού του προϊόντος, την προμήθεια και επιλογή του υλικού, τις διαδικασίες παραγωγής, την παράδοση του τελικού προϊόντος στους καταναλωτές, καθώς και τη διαχείριση στο τέλος του κύκλου ζωής του προϊόντος, μετά την ωφέλιμη ζωή του». Αν και αυτό έχει γίνει ο πιο συνηθισμένος ορισμός της «Πράσινης διαχείρισης ΕΑ», έχουν προταθεί πολλοί άλλοι [26], αντικατοπτρίζοντας διαφορετικές απόψεις, ως προς το τι σημαίνει η «ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής σκέψης στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας». Σε γενικές γραμμές, όλα αντικατοπτρίζουν την άποψη ότι, τα οικονομικά αποτελέσματα (οι «ανάγκες») περιορίζονται από τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο (οι «περιορισμοί»), ή τουλάχιστον πρέπει να τον λάβουν υπόψη. Παρόλο που πολλοί συντάκτες εξακολουθούν να ερμηνεύουν τη βιωσιμότητα των επιχειρήσεων, κυρίως στην αυστηρή έννοια της «Πράσινης διαχείρισης ΕΑ», η ωρίμανση της έρευνας για τη βιώσιμη διαχείριση της ΕΑ, έχει τονίσει τη σημασία να περιληφθεί επίσης η κοινωνική διάσταση.

Το 1994, μια πιο ολοκληρωμένη έννοια της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων εισήλθε "επίσημα" στο σύστημα διαχείρισης αποφάσεων, κάτω από τον όρο «τριπλή κατώτατη γραμμή». Στο "Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business", επικαλούμενο τον χαρακτηρισμό 3P (people, planet, profit – άνθρωπος, πλανήτη, κέρδη), ο Elkington θεώρησε ότι οι εταιρείες πρέπει να υπολογίζουν όχι μόνο τα παραδοσιακά οικονομικά μεγέθη κέρδους και ζημίας, αλλά και τον κοινωνικό και περιβαλλοντικό αντίκτυπο [27]. Η πρώτη – γραμμή των ανθρώπων – μετρά το επίπεδο κοινωνικής ευθύνης της εταιρείας, ενώ η δεύτερη – γραμμή του πλανήτη – καταγράφει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων της. Αυτή η προοπτική των τριών πυλώνων έγινε συνώνυμο μιας πιο ολοκληρωμένης προσέγγισης της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων.

Ορισμένοι συγγραφείς παρουσίασαν ορισμούς για τη βιώσιμη διαχείριση ΕΑ με βάση αυτή την προσέγγιση, όπως παρουσιάστηκε για παράδειγμα στο [26], όπου οι συγγραφείς προτείνουν τον ακόλουθο ορισμό: «Η δημιουργία συντονισμένων αλυσίδων εφοδιασμού, μέσω της εθελοντικής ενσωμάτωσης οικονομικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραμέτρων, με βασικά δια-οργανωτικά επιχειρηματικά συστήματα, που σχεδιάζονται ώστε να διαχειρίζονται αποδοτικά και αποτελεσματικά το υλικό, τις πληροφορίες, και τις κεφαλαιακές ροές που συνδέονται με την προμήθεια, την παραγωγή και την διανομή προϊόντων ή υπηρεσιών, προκειμένου να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των ενδιαφερόμενων μερών και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα, την ανταγωνιστικότητα και την ανθεκτικότητα του οργανισμού, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα». Πρέπει να σημειωθεί ότι, ενώ στους περισσότερους ορισμούς της βιώσιμης διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας, οι τρεις διαστάσεις είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους, τα Ηνωμένα Έθνη τονίζουν τον «ισορροπημένο και ολοκληρωμένο τρόπο» με τον οποίο αυτές θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στη βιώσιμη ανάπτυξη [28].

Ο άλλος τρόπος με τον οποίο μπορεί να ερμηνευτεί ο ορισμός της βιωσιμότητας του Brundtland, με έναν μινιμαλιστικό τρόπο, σχετίζεται άμεσα με το θέμα των «περιορισμών». Ενώ η παρουσία συμβίβασμων μεταξύ των τριών πυλώνων της βιωσιμότητας είναι αναμφισβήτητη, δεν σημαίνει αναγκαστικά ότι η ενσωμάτωση μέτρων βιωσιμότητας στις επιχειρηματικές δραστηριότητες, πρέπει να αποτελεί περιορισμό για τις επιχειρήσεις. Ωστόσο, για μια περίοδο, αυτή ήταν η σνήθης αντίληψη. Οι [29] περιγράφουν την εξέλιξη των κύριων θεμάτων στη βιβλιογραφία για τη βιωσιμότητα, από την πολιτική της απλής αντιδραστικής συμμόρφωσης μόνο, στη δεκαετία του 1960, έως στην εμφάνιση μιας περιβαλλοντικής προσέγγισης, στη δεκαετία του 1980, μέχρι να επιτύχει τελικά μια ολιστική και δυναμική στάση για τη βιωσιμότητα, ως στρατηγικό στόχο της διαχείρισης ΕΑ, στη δεκαετία του 2000.

Όπως υποστηρίζουν οι [25], μόνο σε σχέση με την περιβαλλοντική πτυχή, η βιωσιμότητα «είναι ένας επιχειρηματικός οδηγός και όχι ένα κέντρο κόστους». Τα ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα αναμένεται να προκύψουν από τη διαφοροποίηση των εταιρικών στρατηγικών, βασιζόμενων σε θέση δυναμικής βιωσιμότητας. Η βελτίωση της κατώτατης γραμμής της εταιρείας μέσω εξοικονόμησης κόστους, αυξημένου μεριδίου αγοράς και ισχυρότερης εικόνας στην αγορά, είναι μερικά από τα οφέλη που έχουν εντοπιστεί [30]. Το ίδιο ισχύει και για το κοινωνικό στοιχείο. Τα εσωτερικά και εξωτερικά συμβαλλόμενα μέρη μιας ΕΑ αναμένουν, ως προεπιλογή, μια κοινωνικά και περιβαλλοντικά προσανατολισμένη δομή και διαχείριση της αλυσίδας, μετατρέποντας την προσέγγιση της βιωσιμότητας των τριών γραμμών / πυλώνων, σε μια «άδεια άσκησης επιχειρηματικών δραστηριοτήτων στον εικοστό πρώτο αιώνα» [24].

2.5.2 Πράσινη και βιώσιμη εφοδιαστική αλυσίδα

Η ΕΑ περιλαμβάνει πολλές ενδο-εταιρικές και δια-εταιρικές δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν γενικά:

- 1) τη διαχείριση των προμηθευτών, όπως την επιλογή αυτών και την εξελικτική πορεία τους,
- 2) την εισερχόμενη εφοδιαστική διαδικασία, την αγορά πρώτων υλών, και τις δραστηριότητες διαχείρισης αποθεμάτων,
- 3) τις εσωτερικές διεργασίες και τις διαδικασίες παραγωγής,
- 4) τις εξερχόμενες δραστηριότητες, όπως τη διανομή, την πράσινη προώθηση και τον καταναλωτισμό, και

- 5) τις δραστηριότητες ολοκλήρωσης του κύκλου διεργασιών, όπως την αντίστροφη εφοδιαστική, την ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, ανακατασκευή και ανάκτηση.

Πολλές πρόσθετες δραστηριότητες και πόροι που απαιτούνται για την ΕΑ είναι πτυχές της διαχείρισης αποβλήτων, της αξιοποίησης της ενέργειας, και των προβληματισμών σχεδίασης αυτής. Με βάση τις παρατηρήσεις μας για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και επιχειρημάτων, που προωθήθηκαν από επαγγελματίες, καθώς και την πιο δημοφιλή επιχειρησιακή βιβλιογραφία, καταρτίστηκαν ορισμένες περιπτώσεις χρήσης επιχειρηματικών πρακτικών για την πράσινη ΕΑ, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

➤ **Επιλογή του προμηθευτή**

Η επιλογή των προμηθευτών θεωρείται από τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό χώρο, ως κρίσιμο ζήτημα για την μακροπρόθεσμη επιτυχία των αλυσίδων εφοδιασμού. Η προσεκτική επιλογή και αξιολόγηση των προμηθευτών αποτελούν τα απαραίτητα αρχικά βήματα για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των ΕΑ [31]. Αυτό, το αρχικό «εισερχόμενο» τμήμα της ΕΑ έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη συνολική βιωσιμότητά της. Διάφορα θέματα στο συγκεκριμένο τμήμα της ΕΑ, μπορεί να αποκρυφτούν εύκολα από τους αγοραστές, ενισχύοντας την έκθεσή τους σε κινδύνους και επηρεάζοντας την ελαστικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας [32].

Η επιλογή και η αξιολόγηση του προμηθευτή σε ένα περιβάλλον βιωσιμότητας είναι ένα πολυδιάστατο και πολύπλοκο πρόβλημα [33]. Συνήθως, η επιλογή και η αξιολόγηση προμηθευτών εξαρτώνται από τις πληροφορίες. Αυτές οι πληροφορίες δεν είναι εύκολα προσβάσιμες, ούτε πιστοποιημένες και ελεγχόμενες, ιδίως σε μη οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διαστάσεις βιωσιμότητας [34]. Αυτό το σημαντικό εμπόδιο περιορισμού των πληροφοριών για τη βιωσιμότητα μπορεί να ελαττωθεί αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain.

Οι ιστορικές αποδόσεις των προμηθευτών και τα δεδομένα βιωσιμότητας μπορεί να γίνουν διαθέσιμα στο blockchain. Αυτά τα ακριβή και ασφαλή δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιδόσεις των προμηθευτών βοηθούν τις εταιρείες να βελτιώσουν τις διαδικασίες επιλογής προμηθευτών, βασισμένοι σε πράσινες τιμές απόδοσης. Χρησιμοποιώντας το blockchain, δεν διευκολύνονται μόνο οι διαδικασίες επιλογής προμηθευτών, αλλά παρέχονται πληροφορίες σχετικά με ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ανάμεσα σε πολλαπλά επίπεδα και δευτερεύοντες προμηθευτές [35]. Οι κοινές πληροφορίες σχετικά με το blockchain παρέχουν στις εταιρείες τη δυνατότητα να βοηθήσουν τους προμηθευτές τους στην επιλογή των πελατών τους, σε διαφορετικές βαθμίδες στην εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτό θα συμβάλει στη μείωση του κινδύνου για τις κεντρικές εταιρείες. Η αφαίρεση των μεσαζόντων αποτελεί, επίσης, ένα σημαντικό αποτέλεσμα, το οποίο βελτιώνει τη διαδικασία επιλογής προμηθευτών στην ΕΑ και μειώνει το κόστος.

Υπάρχουν διάφορα τρέχοντα συστήματα βάσεων δεδομένων για την βιωσιμότητα της ΕΑ, όπως αυτά της Business Social Compliance Initiative (BSCI) για εθελοντικούς κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς ελέγχους προμηθευτών, στην ΕΑ της υφαντουργίας [36]. Αυτές οι βάσεις δεδομένων είναι διαθέσιμες, με κάποια μορφή, στους συμμετέχοντες του BSCI. Ένας από τους περιορισμούς του BSCI, όπως συμβαίνει και με άλλες εθελοντικές βάσεις δεδομένων, είναι η εγκυρότητα και η αξιοπιστία των δεδομένων και των ελέγχων τους. Η τεχνολογία και οι διεργασίες Blockchain μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση ορισμένων από αυτούς τους προβληματισμούς αξιοπιστίας και εγκυρότητας, και ενδεχομένως, να ικανοποιήσει και τρίτους μη κυβερνητικούς οργανισμούς (ΜΚΟ). Οι συγκεκριμένες βάσεις δεδομένων μπορεί να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση, την ανάπτυξη και την επιλογή του προμηθευτή, καθώς η αξιοπιστία και η προσβασιμότητά τους μπορούν να υποστηρίξουν μόνο αυτές τις πρωτοβουλίες.

➤ **Ανάπτυξη του προμηθευτή**

Η τεχνολογία blockchain μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση των προγραμμάτων ανάπτυξης προμηθευτών. Το ποσό της επένδυσης σε ένα πρόγραμμα ανάπτυξης προμηθευτή μπορεί να καταγραφεί στην πλατφόρμα blockchain. Ο τύπος των γνώσεων που ανταλλάσσονται, και ο τύπος της οργανωτικής υποστήριξης που δόθηκε στους προμηθευτές, μπορεί να ιχνηλατηθούν μέσω των έξυπνων συμβολαίων. Οι καταγεγραμμένες πληροφορίες παρέχουν τη βάση για την μέτρηση της απόδοσης των προγραμμάτων ανάπτυξης προμηθευτών. Η σύγκριση μεταξύ των επιδόσεων πριν και μετά την εφαρμογή ενός προγράμματος κατάρτισης, είναι δυνατή

στο blockchain. Μέσω των έξυπνων συμβολαίων, οι εταιρείες μπορούν να διασφαλίσουν ότι προβαίνουν σε συναλλαγές με προμηθευτές, οι οποίοι εμπλέκονται σε προγράμματα ανάπτυξης προμηθευτών. Αυτό μπορεί επίσης να αποτελέσει μια θεμελιώδη αρχή για την επιλογή προμηθευτών.

Η μέτρηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και τα συστήματα συγκριτικής αξιολόγησης, θα είναι πολύτιμα για τον προσδιορισμό δυνητικά προβληματικών προμηθευτών εντός της ΕΑ. Θα υπάρχουν θέματα άμεσων οικολογικών προβληματισμών για την εξέλιξη των προμηθευτών και υπό-προμηθευτών, καθώς κάποιοι εξ αυτών, ως παραδοσιακά αόρατες οντότητες στην ΕΑ, είναι αυτοί που μπορεί να είναι τα πιο περιβαλλοντικά επικίνδυνα και με χαμηλή απόδοση μέλη της αλυσίδας. Η διαφάνεια στην ΕΑ, μέσω της ιχνηλάτισης και του blockchain, μπορεί να εντοπίσει αποτελεσματικότερα τους πιθανούς υπό-προμηθευτές, που μπορεί να απαιτούν πράσινη ανάπτυξη και υποστήριξη [35].

Οργανισμοί όπως η Dell, η IBM, η Lucent και η Pepsico έχουν εκτεταμένα περιβαλλοντικά προγράμματα ανάπτυξης και κατάρτισης προμηθευτών. Οι οργανισμοί αυτοί καταγράφουν και παρακολουθούν τους προμηθευτές που περιλαμβάνονται στα προγράμματά τους, τα οποία μπορεί να μετρούν χιλιάδες προμηθευτές. Η τεκμηρίωση και η παρακολούθηση αυτών των προμηθευτών τους, επιτρέπει επίσης να αναπτύξουν τις δυνατότητες των προμηθευτών τους, και να τις μοιραστούν σε ένα ευρύτερο σύνολο πελατών. Δηλαδή, δεν γνωρίζουν την οικολογική ανάπτυξή τους μόνο οι άμεσοι προμηθευτές όπως η Dell, η IBM και η Lucent, αλλά ενδέχεται και άλλοι πελάτες να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες, μέσω των βιομηχανικών ενώσεων [15].

➤ **Οι διαδικασίες αγοράς**

Αντί για τα δεδομένα των προμηθευτών, μπορεί να διατηρηθούν στο blockchain τα δεδομένα και η κίνηση των προϊόντων και των υλικών. Κάθε προϊόν μπορεί να έχει αρκετά χαρακτηριστικά συναλλαγών που καταγράφονται στο blockchain, μαζί με τα ιστορικά δεδομένα του. Οι συναλλαγές αυτές μπορεί να δηλώνουν την προέλευση του προϊόντος, την ποιότητα, την ποσότητα, τους ιδιοκτήτες και τον χρόνο. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν τη δυνατότητα ανίχνευσης της οικολογικής ποιότητας, της ανακυκλωσιμότητας και το αποτύπωμα άνθρακα. Οι περιβαλλοντικές πληροφορίες διασφαλίζουν ότι οι πελάτες είναι ενήμεροι για την ασφαλή και βιώσιμη παραγωγή και μεταφορά αγαθών. Ως εκ τούτου, οι πελάτες, με τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε αυτές τις πληροφορίες, θα έχουν την ευκαιρία να επιλέξουν βιώσιμα προϊόντα [37].

Για να διασφαλιστεί η βιώσιμη αγορά, οι εταιρείες μπορούν να παρακολουθούν τη διαδρομή των πόρων για σπάνια και υψηλής αξίας προϊόντα. Η ικανότητα εντοπισμού της πηγής των προϊόντων για την αντιμετώπιση των προβλημάτων βιοποικιλότητας, και η συμβολή των προϊόντων στην εξάντληση των πόρων, είναι δύο περιπτώσεις που καταδεικνύουν το ρόλο του blockchain στην εξασφάλιση της βιωσιμότητας των προϊόντων. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain, η ανάλυση του κύκλου ζωής των προϊόντων μπορεί να ολοκληρωθεί χρησιμοποιώντας τα πραγματικά δεδομένα του προϊόντος, παρά την εκτίμηση τιμών, που χρησιμοποιούν οι τρέχοντες μέθοδοι ανάλυσης του κύκλου ζωής, όπως καταδεικνύεται από τους [38]. Αυτές οι ακριβείς και πραγματικές πληροφορίες είναι μια επαναστατική συμβολή της τεχνολογίας blockchain στον τομέα της ανάλυσης του κύκλου ζωής.

➤ **Διαχείριση υλικών και εισερχόμενη εφοδιαστική**

Η τοποθεσία και ο τύπος των εγκαταστάσεων, καθώς και ο σχεδιασμός των δικτύων εφοδιαστικής, ώστε να εξασφαλιστεί η βιωσιμότητα, μπορεί να υποστηριχθούν με δεδομένα blockchain. Ένα ιδιαίτερο ζήτημα είναι η διαχείριση αποθεμάτων στην ΕΑ, μέσω της αποθήκευσης. Ένα σημαντικό μέρος της αποθήκευσης ανατίθεται σε τρίτους προμηθευτές εφοδιαστικής. Επί του παρόντος, χρησιμοποιούνται διαφορετικά πληροφοριακά συστήματα για τη διαχείριση αυτής της διασύνδεσης των αποθηκών. Η μείωση των ελέγχων συμμόρφωσης για τις διασυνδεδεμένες αποθήκες, καθώς και η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων και υλικών, μπορεί να υποστηριχθούν μέσω του blockchain. Μια προοπτική παρακολούθησης, χρηματοδότησης και προγραμματισμού θα επηρεάσει το διασυνοριακό εμπόριο.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ιχνηλασιμότητα και ο έλεγχος αυξάνουν τη βιωσιμότητα των λειτουργιών της αποθήκης, μέσω της μείωσης των αποβλήτων από την απώλεια προϊόντος και υλικών. Επίσης, ο προγραμματισμός και ο σχεδιασμός μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικοί, διαθέτοντας πληροφορίες αξιοποίησης για ένα δίκτυο επιλογών αποθήκευσης. Εναλλακτικά, η

αυξημένη χρήση blockchain σε αυτό το περιβάλλον, όπως σε κάθε περιβάλλον, απαιτεί πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας.

Ένα άλλο αναδυόμενο ζήτημα αποθήκευσης και εφοδιαστικής είναι ο πληθοπορισμός (crowdsourcing). Ο πληθοπορισμός είναι μία στρατηγική εξωτερικής ανάθεσης, η οποία θέτει μια ανοικτή πρόσκληση σε μια ευρεία ομάδα συμμετεχόντων για να εκτελέσει ένα έργο. Αυτή η προσέγγιση είναι παρόμοια με την κατάσταση του καταμερισμού της οικονομίας, σε κάποιον που κατέχει διαθέσιμη χωρητικότητα αποθήκευσης, ή παράδοσης, και μπορεί να ανταποκριθεί στα αιτήματα αυτά. Η FLEXE είναι μια εταιρεία που επιτρέπει σε οποιονδήποτε, με προσωρινή χωρητικότητα αποθήκευσης, να την πουλήσει σε εκείνους που χρειάζονται τον χώρο. Εταιρείες όπως οι Rideship, Zirmets, και Deliv παρέχουν υπηρεσίες crowdshipping (πληθο-μεταφοράς). Το crowdshipping εκμεταλλεύεται τις κοντινές υπηρεσίες παράδοσης, για τη δυνατότητα εξυπηρέτησης τοπικών αναγκών. Μειώνει επίσης την ανάγκη κατασκευής πρόσθετων αποθηκών και οχημάτων, και αυξάνει την αποδοτικότητα που συνδέεται με την αναδιάρθρωση των υλικών. Όλα αυτά παρέχουν κοινά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, προσφέροντας ευκαιρίες για τους παρόχους εφοδιαστικής.

Μια δυσκολία αυτών των υφισταμένων συστημάτων κοινής χρήσης, είναι το κόστος των συναλλαγών, με τα περισσότερα από τα οφέλη να συγκεντρώνονται στους φορείς παροχής υπηρεσιών. Τα πιο δημοκρατικά συστήματα blockchain επιτρέπουν ένα ευρύτερο σύνολο συμμετεχόντων, ενδεχομένως βοηθώντας, από την προοπτική της κοινωνικής βιωσιμότητας, περιοχές και άτομα με χαμηλότερο εισόδημα. Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με τη χρήση κακόβουλων στοιχείων που σχετίζονται με τη χρήση του blockchain και τους πράκτορες πληθοπορισμού, σε όλους τους τομείς της επεξεργασίας και των δραστηριοτήτων του blockchain [39]. Επιπλέον, υπάρχουν πιο ασφαλείς δυνατότητες πληρωμής μέσω της χρήσης κρυπτονομισμάτων και μαρκών, οι οποίες διαδίδονται εξαιτίας της τεχνολογίας blockchain.

Η μεταφορά μεταξύ των εγκαταστάσεων είναι βασική για την εξερχόμενη καθώς και για την εισερχόμενη εφοδιαστική. Κατά τη σύναψη συμβάσεων με μια τρίτη μεταφορική εταιρεία, η παρακολούθηση και η καταγραφή της μεταφοράς μπορεί να επωφεληθούν από την τεχνολογία blockchain [37], [40]. Οι μεταφορές προκαλούν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις και είναι ένας από τους μεγαλύτερους εκπομπείς αερίων θερμοκηπίου, προκαλώντας τοπικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους και συμβάλλοντας στην εξάντληση των ενεργειακών πόρων. Στην πλευρά της εισερχόμενης εφοδιαστικής, η καταγραφή της απόδοσης των οχημάτων μεταφοράς, όπως συμβαίνει π.χ. με τα φορτηγά, χρησιμοποιεί ηλεκτρονικές συσκευές καταγραφής. Κακόβουλες πράξεις μπορεί να εμφανιστούν στα αρχεία καταγραφής των φορτηγών, όπου οι ιδιοκτήτες μπορεί να αγνοήσουν για λόγους σκοπιμότητας. Μερικές από αυτές τις συμπεριφορές ενδέχεται να προκαλέσουν περιβαλλοντικές βλάβες, όπως μεγαλύτερες εκπομπές και κατανάλωση καυσίμου.

Η αλλαγή της συμπεριφοράς των οδηγών είναι ένας σημαντικός τρόπος εξοικονόμησης ενέργειας και βελτίωσης της ασφαλούς οδήγησης. Η χρήση μαρκών κρυπτονομισμάτων θα μπορούσε πραγματικά να επιβραβεύει τους οδηγούς, όταν εφαρμόζουν ασφαλείς και πράσινες πρακτικές. Αυτές οι πρακτικές μπορεί να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία blockchain με κινητή τεχνολογία. Τα πιο πρόσφατα συστήματα κινήτρων έχουν την εντολή να παραδίδουν γρήγορα προϊόντα και να επιβραβεύονται, μόνο κατά την οδήγηση σε ορισμένες αποστάσεις. Τα συγκεκριμένα κίνητρα προκαλούν επικίνδυνες και μη βιώσιμες πρακτικές, όπως οι οδηγοί να επιταχύνουν πιο συχνά και να οδηγούν περισσότερο από τις προβλεπόμενες ώρες, δημιουργώντας επικίνδυνες συνθήκες.

Η οικοδόμηση εμπιστοσύνης στην τεχνολογία, η ευρεία υιοθέτησή της και οι συμφωνίες στα βιομηχανικά πρότυπα, είναι όλα θέματα που αντιμετωπίζει η υιοθέτηση του blockchain στις μεταφορές.

➤ Παραγωγή και εσωτερικές λειτουργίες

Η παραγωγή και οι διεργασίες είναι εσωτερικές δραστηριότητες εντός ενός οργανισμού. Είτε η παραγωγή βασίζεται στην παρασκευή αγαθών, είτε στην παροχή υπηρεσιών, ο μετασχηματισμός των εισροών σε προϊόντα είναι κεντρικές δραστηριότητες του σταδίου παραγωγής. Η παραδοσιακή παραγωγή προϊόντων περιλαμβάνει την κατασκευή ή τις δραστηριότητες συναρμολόγησης. Η εσωτερική παραγωγή και οι δραστηριότητες της ΕΑ απαιτούν πρακτικές περιβαλλοντικής διαχείρισης, συμπεριλαμβανομένων της διαχείρισης

παραγωγής, των συστημάτων περιβαλλοντικής διαχείρισης, του οικολογικού σχεδιασμού, της μέτρησης απόδοσης, της περιβαλλοντικής λογιστικής, της αναφοράς, της ανάλυσης κύκλου ζωής, της μείωσης προμηθειών, των εσωτερικών συστημάτων κλειστού βρόχου και μιας ποικιλίας παρόμοιων οικολογικών πρακτικών, που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα της κεντρικής οργάνωσης [15].

Η σύνδεση αυτών των πράσινων πρακτικών με τις εξωτερικές δραστηριότητες του blockchain, που προκύπτουν από τις δραστηριότητες του αρχικού σταδίου, του τελικού σταδίου, καθώς και τις δραστηριότητες κλειστού βρόχου, πρέπει να διερευνηθούν και να καθοριστούν. Κάθε μία από τις πρακτικές και τα συστήματα αυτά μπορεί να επηρεαστούν σημαντικά από τους πόρους και τη διαχείριση αποθεμάτων, τη ροή των υλικών στο κατάστημα, και τον οικολογικό σχεδιασμό των προϊόντων.

Τα πρότυπα ISO 14001 παρέχουν μια δημοφιλή πιστοποίηση του παγκόσμιου συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης (Environmental Management System – EMS). Τα πρότυπα EMS είναι κρίσιμα για την περιβαλλοντική διαχείριση των εσωτερικών λειτουργιών. Η εμπλοκή του blockchain σχετίζεται με την απόκτηση και τη διατήρηση της πιστοποίησης. Η χρήση ομάδων ελέγχου, για την πιστοποίηση οργανισμών με το ISO 14001, μπορεί να επηρεάζεται από την τεχνολογία. Το ISO 14001 εξαρτάται από την τεκμηρίωση για πλήρη πιστοποίηση. Αυτή η τεκμηρίωση στη συνέχεια ελέγχεται. Επιπλέον, η πιστοποίηση ISO 14001 μπορεί να συμβεί ταυτόχρονα για όλες τις τοποθεσίες μιας εταιρείας. Για τις πολυεθνικές εταιρίες που κατανέμονται ευρέως, τα συστήματα κατανεμημένου καθολικού (distributed ledger) και blockchain μπορούν να αποδειχθούν πολύτιμοι πόροι για τη συσσώρευση, τη συγκέντρωση και την πιστοποίηση διασκορπισμένων εγγράφων και τεκμηρίωσης. Ο έλεγχος για την αρχική πιστοποίηση, ή την επαναπιστοποίηση μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματικός και ίσως να μην χρειάζεται, δεδομένου ότι η τεκμηρίωση μπορεί να αξιολογείται και να ενημερώνεται συνεχώς [15].

Στα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης, υπάρχουν πολλά υποσυστήματα, ειδικά σε ό,τι αφορά τις ενότητες της σειράς πιστοποίησης ISO 14000. Αυτά τα πρότυπα υποσυστημάτων περιλαμβάνουν τις μετρήσεις επιδόσεων, την ανάλυση κύκλου ζωής, την κλιματική αλλαγή, τον οικολογικό σχεδιασμό και τις επικοινωνίες. Η παρακολούθηση των μετρήσεων της περιβαλλοντικής απόδοσης σε ολόκληρο τον οργανισμό και την αλυσίδα εφοδιασμού του, μέσω ενός κατανεμημένου και επαληθεύσιμου συστήματος, παρέχει ακριβέστερα δεδομένα για σκοπούς περιβαλλοντικής διαχείρισης. Το κεντρικό στοιχείο του EMS και των συστημάτων παραγωγής είναι η έννοια της συνεχούς βελτίωσης. Η συνεχής βελτίωση απαιτεί την αξιολόγηση της απόδοσης, για να διαπιστωθεί εάν πληρούνται οι στόχοι και αν υπάρχουν βελτιώσεις. Οι μόνιμες, διαφανείς και εξακριβωμένες αποδόσεις παρέχουν ένα πραγματικό μέτρο βελτίωσης. Συνδένοντας τη μέτρηση απόδοσης και τα περιβαλλοντικά συστήματα παγκοσμίως, μεταξύ των τοποθεσιών ενός οργανισμού, συμβάλλουμε στη δημιουργία ευρύτερων μέτρων περιβαλλοντικής βελτίωσης [15].

Πολλές άλλες εσωτερικές δραστηριότητες που σχετίζονται με την παραγωγή και τις διεργασίες, που ενδεχομένως επηρεάζονται από την τεχνολογία blockchain, σχετίζονται με άλλες δραστηριότητες της ΕΑ, συμπεριλαμβανομένων, π.χ., του οικολογικού σχεδιασμού, της διαχείρισης και ροής των υλικών και της διαχείρισης των προμηθευτών.

➤ **Οικολογικός Σχεδιασμός και Αξιολόγηση του Κύκλου Ζωής (Eco-design and Life Cycle Assessment – LCA)**

Ο οικολογικός σχεδιασμός είναι μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση χρήσης blockchain, που μπορεί να θεωρηθεί μέρος των σταδίων παραγωγής και λειτουργίας, ή εμπορίας της ΕΑ. Περιλαμβάνει πολλαπλούς συμμετέχοντες και λειτουργίες της ΕΑ εντός ενός οργανισμού. Ο οικολογικός σχεδιασμός, με έμφαση στην ανάπτυξη νέων προϊόντων με περιβαλλοντικά κριτήρια, διαδραματίζει έναν εξέχοντα ρόλο, και επηρεάζεται από το blockchain με πολλούς τρόπους. Το blockchain βοηθά στην εύκολη διάδοση πληροφοριών σε πολλά εμπλεκόμενα μέρη, συγκεντρώνοντας και επαληθεύοντας τις πληροφορίες, ελέγχοντας την περιβαλλοντική ποιότητα των υλικών, τη διαχείριση του χρόνου για το έργο ανάπτυξης νέων προϊόντων και το συντονισμό των εμπλεκόμενων.

Σε ορισμένα συστήματα οικολογικού σχεδιασμού, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των χρησιμοποιούμενων υλικών απαιτούν έναν έλεγχο εγκυρότητας. Σε ορισμένες από τις περιπτώσεις αυτές, πρέπει να πραγματοποιηθούν συγκεκριμένες δοκιμές. Για παράδειγμα, στο

μοντέλο σχεδίασης cradle-to-cradle (C2C), όπου οι φυσικές διεργασίες μοντελοποιούνται για τη σχεδίαση των υλικών, ώστε αυτά να ανακυκλώνονται και να χρησιμοποιούνται σε νέα προϊόντα, συστήματα στάθμισης επικίνδυνων υλικών χρησιμοποιούνται για διάφορα υλικά. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αποθηκεύονται εύκολα και να είναι προσβάσιμες σε πολλούς συνεργάτες και εμπλεκόμενους, μετά από μια διαδικασία επαλήθευσης. Αυτή η πρακτική είναι αρκετά κατάλληλη για την τεχνολογία blockchain, όπου οι προβληματισμοί επεκτασιμότητας σχετικά με μεγάλους όγκους συναλλαγών δεν είναι χαρακτηριστικοί της επικύρωσης των υλικών. Δηλαδή, αυτή η διαδικασία απαιτεί χρόνο και περιορισμένο αριθμό επαληθεύσεων. Μόλις τα υλικά αυτά επικυρωθούν, θα είναι διαθέσιμα για εμπόριο και προώθηση.

Τα υλικά απαιτούν επικύρωση και επεξεργασία. Ο σχεδιασμός της οικολογικής διαδικασίας είναι εξίσου σημαντικός όπως τα οικολογικά υλικά. Αυτές οι οικολογικές (πράσινες) διαδικασίες απαιτούν επικύρωση και βελτίωση. Οι εσωτερικές διαδικασίες, μέσω των πτυχών του ISO 14001, και της διαχείρισης του συστήματος EMS (Environmental Management System) μπορεί να βελτιωθούν, να αξιολογηθούν και να επικυρωθούν. Οι εξωτερικές διαδικασίες, ενδεχομένως μέσω της διασύνδεσης του blockchain της εφοδιαστικής αλυσίδας με τα περιβαλλοντικά συστήματα διαχείρισης, θα χρειαστούν επίσης επαλήθευση. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί ορθοί σχεδιασμοί των διαδικασιών κατασκευής και βελτιώσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τις προμήθειες, την ανάπτυξη και επιλογή προμηθευτή και τις δραστηριότητες διαχείρισης των λειτουργιών.

Τα συστήματα οικολογικού σχεδιασμού, που ενσωματώνουν το LCA επωφελούνται από την ακρίβεια των πληροφοριών. Το απόθεμα των υλικών LCA και οι επιπτώσεις μεταβάλλονται συνεχώς με πολλές αβεβαιότητες [41], [42]. Υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα στις περιβαλλοντικές πληροφορίες γι' αυτά τα συστήματα. Τα εργαλεία LCA ενδέχεται να έχουν διαφορετικές θεμελιώδεις πληροφορίες, διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών, ελλιπή δεδομένα, ακόμη και ανακριβείς πληροφορίες. Για να διευθετηθούν ορισμένες από αυτές τις αβεβαιότητες, έχουν προταθεί διάφορα εργαλεία προσομοίωσης για την ολοκλήρωση μιας ανάλυσης ευαισθησίας, όπως καταδεικνύεται από τους [42]. Η εγκυρότητα, η αξιοπιστία και η διαφάνεια του blockchain μπορούν να μειώσουν την αβεβαιότητα των πληροφοριών, παρέχοντας καλύτερες εισόδους και εξόδους μοντελοποίησης για τον οικολογικό σχεδιασμό και τα εργαλεία LCA.

Έχουν προταθεί διάφορα πρότυπα πληροφοριών που βασίζονται σε τεχνολογικά πρότυπα δεδομένων παραγωγής για δεδομένα LCA [43]. Η διεύρυνση αυτών των περιπτώσεων στο blockchain, ως μέσο διανομής πληροφοριών, με κατάλληλα αναπτυγμένα μοντέλα είναι ένα φυσικό επακόλουθο. Τα ίδια οφέλη προερχόμενα από τη χρήση αυτών των βιομηχανικών προτύπων και πρωτοκόλλων προκύπτουν μέσω της τεχνολογίας και των συστημάτων blockchain, ειδικά με έναν γενικευμένο στόχο αυτόν της μείωσης της αβεβαιότητας των πληροφοριών. Τα οφέλη από την υιοθέτηση του blockchain γι' αυτά τα συστήματα σχεδιασμού περιλαμβάνουν: λιγότερο χρόνο για τη συλλογή δεδομένων LCA, βελτίωση της ποιότητας των δεδομένων, ιχνηλασιμότητα της πηγής των δεδομένων, χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα από προμηθευτές όχι από γενικευμένες πηγές, και την αποθήκευση περιβαλλοντικών πληροφοριών για ένα προϊόν μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής του, για καλύτερη διαχείριση της ανακύκλωσης και της απόρριψής του [44], [45].

➤ **Εξερχόμενη εφοδιαστική και μάρκετινγκ**

Οι πράσινες δραστηριότητες του τελικού σταδίου της ΕΑ περιλαμβάνουν τη διανομή και τις δραστηριότητες διαχείρισης διαφόρων πελατών, όπως η πράσινη εμπορία και η συσκευασία. Η μεταφορά, παρόμοια με την εισερχόμενη εφοδιαστική, προκαλεί μεγάλη ανησυχία για τα κανάλια διανομής. Ο σχεδιασμός της μεταφοράς και διανομής πραγματοποιείται συνήθως από τα συστήματα εξερχόμενης εφοδιαστικής του οργανισμού. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει ή να μην περιλαμβάνει τρίτους φορείς παροχής υπηρεσιών εφοδιαστικής. Όπως αναφέρεται στον σχεδιασμό εισερχόμενης εφοδιαστικής, η πιστοποίηση και η επαλήθευση των ανησυχιών περιβαλλοντικής και κοινωνικής απόδοσης περιλαμβάνονται σε αυτή τη δραστηριότητα. Οι διαδικασίες blockchain μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτά τα ζητήματα. Η ανταλλαγή πληροφοριών στη τεχνολογία blockchain μειώνει την απαιτούμενη γραφειοκρατία, υποστηρίζοντας τις απαιτήσεις επικύρωσης, και εμποδίζει τη χειραγώγηση και παραποίηση των δεδομένων στο πλαίσιο των διαδικασιών της εφοδιαστικής και της μεταφοράς [37].

Παρομοίως, με το blockchain το οποίο συμβάλλει στον διαμοιρασμό της οικονομίας που σχετίζεται με την αποθήκευση με πληθοπορισμό, η οποία εφαρμόζεται για την εξερχόμενη Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών

εφοδιαστική, υπάρχουν δραστηριότητες διαμοιρασμού των μεταφορικών μέσων για τις εμπορικές μεταφορές. Είτε πρόκειται για σιδηρόδρομο, είτε για φορτηγό, είτε για ελαφρά οχήματα, το "Uberization" εμφανίζεται και στις εμπορικές μεταφορές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πλεονάζουσα χωρητικότητα των φορτηγών οχημάτων μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω δραστηριοτήτων blockchain, συμπεριλαμβανομένης της διακρίβωσης της ταυτότητας των οδηγών και των οχημάτων, για πληρωμή μέσω μαρκών. Ο διαμοιρασμός των μεταφορικών μέσων επιτυγχάνει αποδοτικότητα στη χρήση των οχημάτων, μειώνοντας τα απόβλητα. Η ταυτοποίηση οικολογικών πρακτικών και οχημάτων αυξάνει τη διαφάνεια στους πελάτες του διαμοιρασμού μεταφορών.

Η συσκευασία μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί και να ιχνηλατηθεί. Σε αυτό το παράδειγμα, η ιχνηλασιμότητα του blockchain μπορεί να επεκτείνει τη ζωή των υλικών συσκευασίας μέσω αποτελεσματικότερης διαχείρισης. Οι ανακυκλώσιμες συσκευασίες μπορούν να παρακολουθούνται και να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά. Με αυτή την παρακολούθηση, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια περαιτέρω επιβεβαίωση για την κοινωνικά υπεύθυνη συσκευασία. Σε μια εφαρμογή που εκδόθηκε από το Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας και Εμπορικών Σημάτων των ΗΠΑ (USPTO), η Walmart περιγράφει μια "έξυπνη συσκευασία" η οποία θα περιλαμβάνει μια συσκευή που καταγράφει πληροφορίες σε ένα blockchain όσον αφορά το περιεχόμενο της συσκευασίας, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την τοποθεσία του και πολλά άλλα. Επιπλέον, η πολυεθνική αλυσίδα σουπερμάρκετ Carrefour χρησιμοποιεί ήδη ένα παρόμοιο σύστημα, όπου οι πελάτες μπορούν να σαρώσουν τη συσκευασία για λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την πηγή ενός προϊόντος, τις διαδικασίες παραγωγής και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

Η κατασκευή της συσκευασίας με τη διαφάνεια των πληροφοριών μέσω blockchain, μπορεί να βελτιώσει τις προσπάθειες του πράσινου εμπορίου. Σύμφωνα με τη θεωρία της πράσινης εμπορίας, οι καταναλωτές είναι πιο πιθανό να αγοράζουν πιο οικολογικά προϊόντα εάν είναι σίγουροι ότι το προϊόν είναι πραγματικά οικολογικό [46], [47]. Αυτή η εμπιστοσύνη αυξάνεται με τις διαφανείς, διακριβωμένες και αμετάβλητες πληροφορίες από το blockchain. Συνολικά, οι ουσιαστικές οικολογικές επιπτώσεις των καταναλωτών οφείλονται στην τεχνολογία blockchain. Δύο παραδείγματα αυτών των δραστηριοτήτων blockchain είναι τα συστήματα ανταμοιβής των καταναλωτών με χρήση μαρκών για την αγορά οικολογικού προϊόντος, και η ιχνηλασιμότητα για την επιστροφή του από τους καταναλωτές στο τέλος ζωής του. Σημαντικές πράσινες καταναλωτικές θεωρίες, συμπεριλαμβανομένων των θεωριών κοινωνικής επιβεβαίωσης σε διακριτό έλεγχο συμπεριφοράς, μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν τα πλεονεκτήματα του blockchain για την πράσινη συμπεριφορά και δράση των καταναλωτών [47].

➤ Διαχείριση αποβλήτων

Η οργάνωση της διαχείρισης των αποβλήτων στην αλυσίδα εφοδιασμού είναι καθοριστικής σημασίας για πολλές βιώσιμες δραστηριότητες της ΕΑ. Η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων είναι ο απώτερος στόχος για τους οργανισμούς και τις ΕΑ. Ωστόσο, εάν δημιουργούνται απόβλητα, η παρακολούθηση είναι κρίσιμη για λόγους που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία και τη βιομηχανική συμβίωση. Μπορεί επίσης να είναι κρίσιμη από την άποψη της διάθεσης αποβλήτων και των δυνητικών υποχρεώσεων, που συνδέονται με τη διάθεση αυτή.

Για λόγους ελαχιστοποίησης των αποβλήτων, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα έξυπνα συμβόλαια, για να εξασφαλιστεί η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων σε όλη την ΕΑ. Μπορεί να συμπεριληφθούν στις συνθήκες εκτέλεσης των έξυπνων συμβολαίων κριτήρια απόδοσης για προμηθευτές, σχετικά με μετρήσεις μείωσης των αποβλήτων. Μπορούν να εντοπιστούν οι μετρήσεις και η διαχείριση γύρω από επικίνδυνα απόβλητα, όπως αυτά που αναγνωρίζονται από τον κατάλογο απελευθέρωσης τοξικών ουσιών (TRI). Για μια αποδεκτή απόδοση, μπορούν να καθοριστούν συγκεκριμένα επίπεδα στα έξυπνα συμβόλαια. Η γωνία ελαχιστοποίησης των αποβλήτων μπορεί να προσαρμόσει και να επικαιροποιήσει τα έξυπνα συμβόλαια, στο πλαίσιο μιας διαδικασίας συνεχούς βελτίωσης για τις ΕΑ. Ομοίως με την εμπορική διαχείριση του άνθρακα, μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί η εμπορική διαχείριση των αποβλήτων [15].

Όταν η ελαχιστοποίηση των αποβλήτων δεν είναι δυνατή, τότε υπάρχουν ευκαιρίες για περιβαλλοντική και βιώσιμη διαχείριση αυτών των αποβλήτων. Μια μέθοδος για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι να προσδιοριστεί πώς και πού τα απόβλητα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν, για να αποτελέσουν υποπροϊόν ή για να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Έχουν αξιοποιηθεί διάφορες ανταλλαγές αποβλήτων για την αποτελεσματική

υλοποίηση της βιομηχανικής συμβίωσης, επεκτείνοντας το πεδίο εφαρμογής τοπικά σε εθνικό επίπεδο [48]. Μία ιδιαίτερα συνηθισμένη εφαρμογή, συνήθως όχι ιδιαίτερα μελετημένη, είναι η ανταλλαγή των οικοδομικών αποβλήτων από την αλυσίδα εφοδιασμού των κατασκευών. Στην περίπτωση του κατασκευαστικού τομέα, υπάρχει ένα ισχυρό επιχείρημα για τα «κτίρια ως τράπεζες υλικών», τα οποία μπορούν να τα διαχειριστούν αποτελεσματικά μέσω του blockchain και του Διαδικτύου [49], [50].

Πολλές φορές, η εξάλειψη των απορριμμάτων από την ΕΑ είναι αδύνατη. Όταν συμβαίνει αυτό, απαιτείται η βιώσιμη διαχείριση των αποβλήτων. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να διευθετηθούν διαδικασίες διαχείρισης των αποβλήτων, καθώς ο κίνδυνος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Ο κίνδυνος είναι ιδιαίτερα σημαντικός κατά τη διαχείριση επικίνδυνων αποβλήτων, το οποίο είναι επίσης ένα δαπανηρό εγχείρημα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η παρακολούθηση των επικίνδυνων αποβλήτων είναι κρίσιμη, λόγω της μακροπρόθεσμης πιθανότητας δυνητικά, να καταστεί μια επιχείρηση υπεύθυνη για την επιβάρυνση μιας περιοχής. Αυτό σημαίνει ότι οι εταιρείες, ή ακόμα και οι εταίροι της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να καταστούν υπεύθυνοι για σημαντικά κόστη καθαρισμού πολλών εκατομμυρίων δολαρίων, που συνδέονται με την κακή διαχείριση χώρων υγειονομικής ταφής και εταιρικών τοποθεσιών. Η διενέργεια μιας μόνιμης καταγραφής και παρακολούθησης της διάθεσης απορριμμάτων, μπορεί να βοηθήσει στη διαχείριση αυτών των υποχρεώσεων. Για τις κρατικές υπηρεσίες είναι σημαντική η παρακολούθηση της ευθύνης των αποβλήτων. Υπάρχουν ορισμένες διαστάσεις και περιορισμοί των δυνατοτήτων διαχείρισης αποβλήτων του blockchain που έχουν εξεταστεί [43]. Απάτη και χειραγώγηση, λάθος ή απώλεια πληροφοριών, χειροκίνητη επεξεργασία, η έλλειψη γνώσεων σχετικά με την τεχνολογία και έλλειψη ελέγχου, όλα αποτελούν ανησυχίες για τη διαχείριση των αποβλήτων σε αυτό το περιβάλλον.

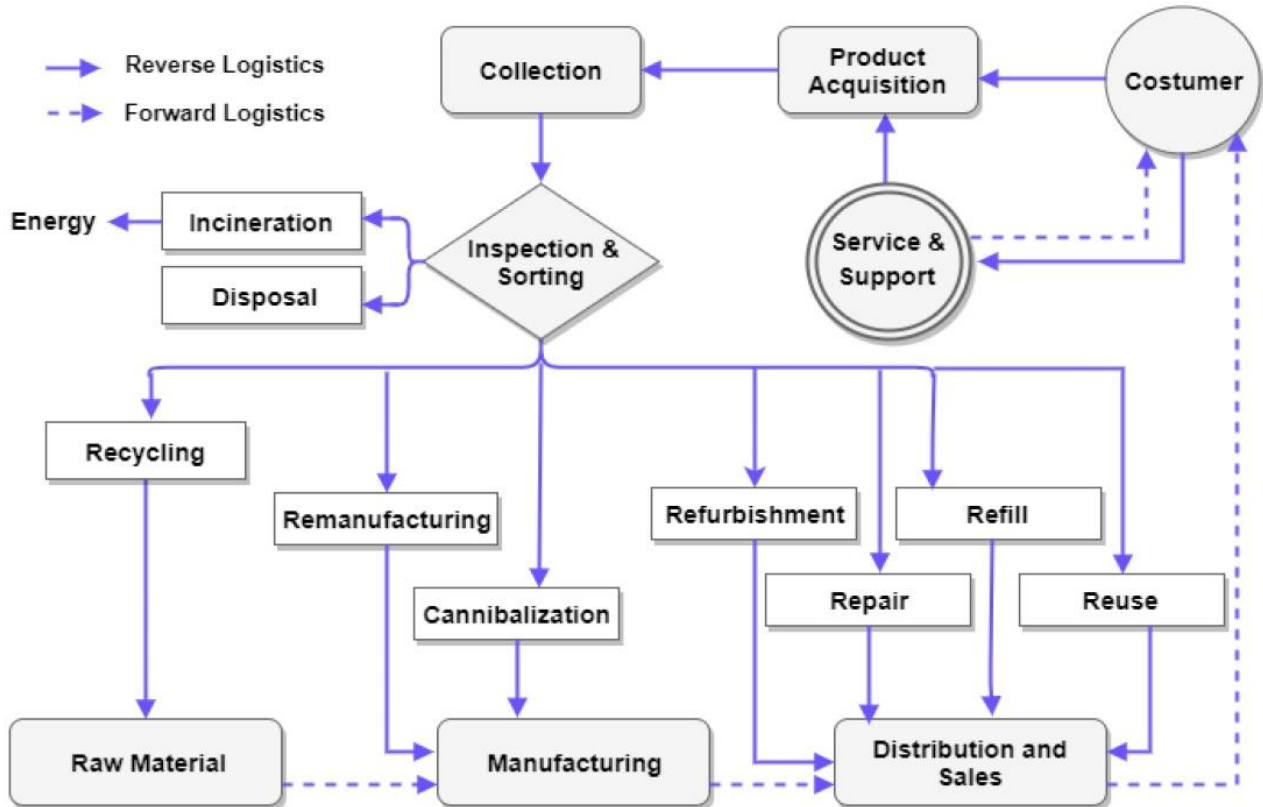
➤ **Αντίστροφη εφοδιαστική – Reverse Logistics**

Η αντίστροφη εφοδιαστική (ΑΕ) είναι απαραίτητη για έναν αριθμό κανονισμών ανάκτησης/επιστροφής και ανάπτυξης ικανοτήτων ανακατασκευής. Μία από τις μεγαλύτερες ανησυχίες σχετικά με τον σχεδιασμό της ανακατασκευής και την αντίστροφης εφοδιαστικής είναι η αβεβαιότητα, όσον αφορά τη θέση και την προμήθεια υλικού στο τέλος της ζωής του. Γνωρίζοντας την τοποθεσία ενός υλικού (δηλαδή με ιχνηλασιμότητα), που πρόκειται να επιστραφεί ή να ανακατασκευαστεί, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της αβεβαιότητας στα υλικά. Οι κανονιστικές πολιτικές, όπως οι απαιτήσεις των αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Waste Electrical & Electronic Equipment – WEEE), δηλώνουν ότι οι κατασκευαστές πρωτότυπου εξοπλισμού (Original Equipment Manufacturers – OEMs) είναι υπεύθυνοι για τα προϊόντα τους. Έτσι η ιχνηλασιμότητα των υλικών στην ΕΑ, καθώς και η ταυτοποίηση ότι το υλικό ανήκει σε έναν συγκεκριμένο κατασκευαστή OEM, βελτιώνει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαχείρισης των ροών επιστροφής. Η υποχρεωτική ευθύνη του κατασκευαστή μέσω κανονισμών είναι η μία πτυχή, η εθελοντική διευρυμένη ευθύνη του κατασκευαστή και η ανάκτηση των προϊόντων μπορεί να επωφεληθούν από τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και τον έλεγχο ταυτότητας.

Ομοίως, οι πρακτικές της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν τουλάχιστον τέσσερα επίπεδα ανάκτησης αξίας, περιλαμβάνοντας την επέκταση ζωής του προϊόντος, την επαναχρησιμοποίηση, την ανακατασκευή και την ανακύκλωση [51]. Εκτός από την ιχνηλασιμότητα των υλικών, όπως προσδιορίστηκε παραπάνω, μια πτυχή του blockchain, που μπορεί να είναι σημαντική, είναι οι όροι ανταλλαγής. Μπορεί να δημιουργηθούν έξυπνα συμβόλαια όταν η χρηματοδότηση των αποδόσεων μπορεί να ολοκληρωθεί ηλεκτρονικά. Σε αυτή την περίπτωση, που αντί της μεταφοράς προϊόντων και υλικών, απαιτείται κάποιος τρόπος πληρωμής, δεν είναι δυνατή η διαχείριση των πραγματικών οικονομικών. Η πληρωμή μπορεί να βασίζεται στην ποιότητα του υλικού, που μπορεί να ιχνηλατηθεί επί τη βάση διαφόρων δεδομένων, αλλά και το ιστορικό του κόστους του προϊόντος ή του υλικού. Μαζί, όλα αυτά τα στοιχεία μπορούν να αξιολογηθούν, και η πληρωμή μπορεί να ολοκληρωθεί μέσω συστημάτων πληρωμής με blockchain.

Το καθεστώς πληρωμών είναι κρίσιμο για την προσέλκυση αρκετών προϊόντων ή υλικών, και για τη διακίνηση του προϊόντος μέσω του συστήματος. Ορισμένες αρχές κυκλικής οικονομίας δεν απαιτούν απαραίτητα ότι ένα προϊόν ή υλικό να είναι στο τέλος της ζωής του, αλλά ότι επιστρέφεται σε κάποιο επίπεδο συγκεκριμένης κατάστασης. Οι πληροφορίες αυτές, όπως ο αριθμός κύκλων ανακύκλωσης, ή η ημερομηνία αγοράς ενός προϊόντος, βοηθούν στον

καθορισμό των τιμών. Μόλις καθοριστεί η τιμή, η πληρωμή μπορεί να ολοκληρωθεί. Η τοποθεσία πληρωμής μπορεί επίσης να είναι κρίσιμη. Δεδομένου ότι η παγκοσμιοποίηση των ΕΑ θα συνεχιστεί, η πληρωμή για το προϊόν ή το υλικό, χωρίς να έχει σημασία πού υπάρχει αυτό, μπορεί να ολοκληρωθεί πιο εύκολα χρησιμοποιώντας κρυπτονομίσματα, των οποίων οι τιμές μπορούν να βασιστούν σε τοπικά νομίσματα. Αυτή η χρηματοοικονομική εφαρμογή της εφοδιαστικής αλυσίδας με blockchain, μαζί με τη διαφάνεια, μπορεί να επιτρέψει πρακτικές κυκλικής οικονομίας [15].



Εικόνα 2. Διάγραμμα ροής αντίστροφης εφοδιαστικής [52]

➤ Ενέργεια

Η ενέργεια αποτελεί σημαντικό πόρο για όλες τις δραστηριότητες της ΕΑ, και η διαχείριση της ενέργειας είναι κεντρικός παράγοντας για την οικολογική ΕΑ. Η βιώσιμη διαχείριση της ενέργειας έχει συνήθως περιβαλλοντικές προεκτάσεις, που σχετίζονται με τις ατμοσφαιρικές εκπομπές, τη χρήση των καυσίμων και ζητήματα όπως, η βιοποικιλότητα και οι εκπομπές επικίνδυνων υλικών. Η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την εκτέλεση της τεχνολογίας blockchain μπορεί να γίνει πολύ υψηλή, ειδικά αν υπάρχει ανάγκη για την επίλυση αλγορίθμων των συναρτήσεων κατακερματισμού (hashes), ως μέρος των έξυπνων συμβολαίων. Δεν είναι σαφές εάν η εξόρυξη θα είναι απαραίτητη για δραστηριότητες ΕΑ και blockchain. Η κατανομημένη αποθήκευση και οι λειτουργίες απαιτούν σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις για τις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, καθώς οι εφεδρείες στην αποθήκευση δεδομένων ενδέχεται να προκαλέσουν εκθετικά μεγαλύτερες ενεργειακές ανάγκες [15].

Οι δραστηριότητες blockchain σχετικά με την ενέργεια μπορούν να υποστηρίξουν τη βιωσιμότητα της ΕΑ. Ορισμένοι οργανισμοί και ΕΑ, προκειμένου να επιτύχουν μηδενικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, χρησιμοποιούν αγορές πιστώσεων άνθρακα για την αντιστάθμιση του αποτυπώματος άνθρακα. Αυτές οι αγορές υπήρξαν αμφιλεγόμενες, λόγω των δυσκολιών εντοπισμού της θέσης και της εγκυρότητας των εκπομπών προς αντιστάθμιση. Ο υπολογισμός και οι απαιτήσεις προσθετικότητας, τις έχουν κάνει αμφιλεγόμενες [53]. Η βελτίωση

της διαφάνειας και της σαφήνειας, μιας πίστωσης άνθρακα, μπορεί να είναι αποτελεσματική με τη χρήση μηχανισμών διαπίστευσης στην τεχνολογία blockchain. Επίσης, όλες οι πιστώσεις άνθρακα δεν δημιουργούνται ισότιμα. Για παράδειγμα, μια πιστωτική αντιστάθμιση του άνθρακα που παράγεται από ένα ηλιακό αγρόκτημα σε μια αναπτυσσόμενη χώρα, μπορεί να μην έχει το ίδιο συνολικά περιβαλλοντικό αντίκτυπο και βιωσιμότητα μιας πίστωσης αντιστάθμισης εκπομπών άνθρακα από ένα περιβαλλοντικά ευαίσθητο και φτωχότερο έθνος. Στην τελευταία αυτή κατάσταση, μπορεί να υπάρχουν περισσότερα περιβαλλοντικά οφέλη, όπως η διαχείριση βιοποικιλότητας και η προσφορά ευκαιριών για τη μείωση της φτώχειας.

Οι μηχανισμοί εμπορίου εσωτερικών εκπομπών για τις ΕΑ μπορεί επίσης να υποστηριχθούν καλύτερα, μέσω της διαφάνειας και της ανταλλαγής πληροφοριών, από την τεχνολογία blockchain. Αυτό το είδος συναλλαγών μπορεί να προσφέρει οικονομικά οφέλη για τη μείωση της χρήσης ενέργειας από εμπορικές πιστώσεις. Μέρος των μηχανισμών συναλλαγών και ανταμοιβών μπορούν να υποστηριχθούν οικονομικά μέσω συναλλαγών με κρυπτονομίσματα [54].

Ένα άλλο παράδειγμα της βελτίωσης της ΕΑ που σχετίζεται με την ενέργεια αφορά στην αποκεντρωμένη διαχείριση ενέργειας, εντός και μεταξύ των εταίρων ή των κοινοτήτων της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ηλιακή ενέργεια στις οροφές μπορεί να είναι πιο προσιτή και οικονομικά εφικτή, υποστηρίζοντας περαιτέρω τη χρήση ανανεώσιμης ενέργειας. Τα ψηφιακά πορτοφόλια ως ανταμοιβές μπορεί να είναι ένας τρόπος για την παροχή κινήτρων για τους εργαζομένους, και τους οργανισμούς να υιοθετήσουν περισσότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο blockchain. Η διεύρυνση του εμπορίου της ηλιακής ενέργειας με blockchain στην ΕΑ, όπως αυτή υποστηρίζεται από την εταιρεία παροχής υπηρεσιών ενέργειας, LO3 Energy, μπορεί να παρέχει πιστοποιημένη και πιο πράσινη ενέργεια.

3 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΤΗΣ ΕΦΟΔΙΑΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

3.1 Αδυναμίες του παραδοσιακού μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας

Τα αδύναμα σημεία σε μια εφοδιαστική αλυσίδα είναι τα κάτωθι:

- Προσαρμοστικότητα: Διαχείριση απότομων μεταβολών στη ζήτηση.
- Ορατότητα: Δύσκολο να αποκτηθεί η σωστή προβολή των απαιτήσεων της αγοράς.
- Ευκινησία: Αναπόκριση στις απαιτήσεις των πελατών.
- Ανάλυση (Analytics): Δεν είναι αρκετά αποτελεσματική για να αναπτυχθεί σε ολόκληρη την αλυσίδα.

Η υφιστάμενη αγορά απαιτεί από τις εταιρείες να υπάρχει διαφάνεια, και να αποκαλύπτουν τις πληροφορίες της ΕΑ και τις βιώσιμες επιχειρηματικές πρακτικές για λόγους κοινωνικής, οικολογικής και υγιούς επιχειρηματικότητας. Η εν λόγω πρακτική εξετάστηκε από τα μεγάλα εμπορικά ονόματα, όπου και υιοθέτησαν τις αναδυόμενες τεχνολογίες, για να επωφεληθούν από την ανοικτή και διαφανή αλυσίδα εφοδιασμού μέσα σε μία ανταγωνιστική αγορά. Η επίτευξη της διαφάνειας και των συναφών διαδικασιών στην ΕΑ είναι μια κρίσιμη ανάγκη των σημερινών επιχειρήσεων, λόγω των αυξημένων ρυθμιστικών δυνάμεων και κανονισμών στον τομέα της μεταποίησης, για τη διασφάλιση της ποιότητας των τελικών προϊόντων και την καλύτερη κατανόηση της πηγής προέλευσής τους [55]. Η διαφάνεια της ΕΑ είναι μια χαρτογράφηση του δικτύου εφοδιασμού, που επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους σε κάθε στάδιο, να εντοπίζουν, να χαρτογραφούν, ή να παρέχουν διαφάνεια και ακρίβεια, ώστε να μπορούν να εξασφαλίσουν τη συμμόρφωση, την ασφάλεια, την ακρίβεια, τη βιωσιμότητα και τις απαιτήσεις κοινωνικής ευθύνης [56]. Στο [57] υποστήριξαν ότι η διαφάνεια και η ιχνηλασιμότητα της ΕΑ καθίσταται σημαντική για τις βιομηχανίες μεταποίησης, λόγω της πολυπλοκότητας των ιδίων των βιομηχανιών και των εφοδιαστικών τους αλυσίδων σε παγκόσμιο επίπεδο. Μια σημαντική πρόκληση που προκύπτει για τα παραγόμενα προϊόντα, αφορά στην πνευματική ιδιοκτησία των διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας, η οποία αν δεν καθορίζεται σαφώς, θα μπορούσε να προκαλέσει ζήτημα ασφάλειας, σε συνδυασμό με την έλλειψη βιομηχανικών προτύπων. Η [58] διερεύνησε την ανάγκη για μια σαφώς καθορισμένη μεθοδολογία για την εξακρίβωση της γνησιότητας, κατά τη φάση των μετασχηματισμών και των μεταποιήσεων στην ΕΑ, καθώς και την αντικατάσταση του υφιστάμενου συστήματος πιστοποιητικών σε τυπωμένη μορφή με ένα ψηφιακό βελτιωμένο σύστημα [59].

3.2 Αντιμετώπιση των αδυναμιών του παραδοσιακού μοντέλου εφοδιαστικής αλυσίδας

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι προαναφερθείσες αδυναμίες της εφοδιαστικής αλυσίδας, απαιτείται να δοθούν γρήγορες και άμεσες λύσεις στις προκλήσεις μιας παραδοσιακής εφοδιαστικής αλυσίδας οι οποίες είναι:

- Παρακολούθηση των προϊόντων
- Βελτίωση της απόδοσης των συναλλαγών.

Ειδικότερα για κάποιες κατηγορίες προϊόντων ή πρώτων υλών οι οποίες ανήκουν είτε στις ευπαθείς κατηγορίες είτε είναι μεγάλης οικονομικής αξίας η αντιμετώπιση των ανωτέρω θεμάτων αποτελεί μονόδρομο για τη βιωσιμότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας.

3.3 Η σημασία της ιχνηλασιμότητας στη συμβατική εφοδιαστική

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, μια σειρά διατροφικών σκανδάλων στην Ευρώπη έχει επισημάνει τη σημασία θέσπισης κανονισμών για την ασφάλεια και την ποιότητα του φαγητού. Η

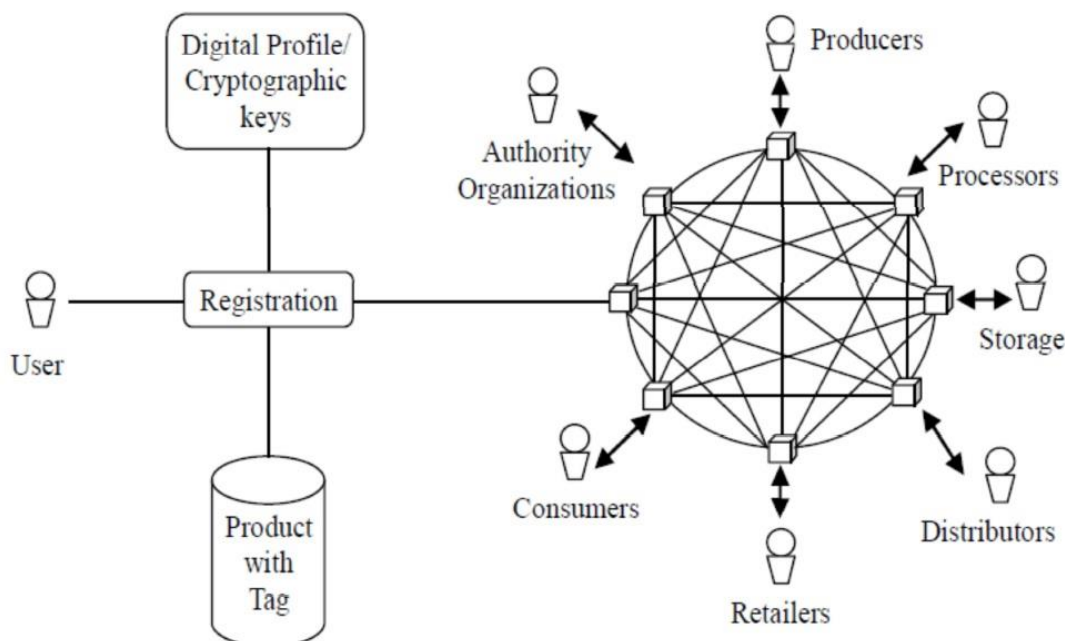
διασφάλιση της ποιότητας των τροφίμων είναι απαραίτητη για την προστασία της υγείας και της ασφάλειας των καταναλωτών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς πολλά τρόφιμα αποστέλλονται σε ολόκληρο τον πλανήτη, γεγονός που συνεπάγεται τη φυσική κυκλοφορία αγαθών μέσω σύνθετων ΕΑ τροφίμων. Περιστατικά όπως η εσφαλμένη σήμανση του είδους του κρέατος [60] καταδεικνύουν το πώς γίνεται η διαχείριση των προϊόντων διατροφής. Οι καταναλωτές έχουν αναμφισβήτητο ενδιαφέρον για τον τρόπο παραγωγής, επεξεργασίας και χειρισμού των τροφίμων και θέλουν να γνωρίζουν την προέλευσή τους, ή εάν τα έχουν διαχειριστεί κατάλληλα (π.χ., αν τα προϊόντα ψυγείου διατηρούνται στη σωστή θερμοκρασία). Δυστυχώς, η εύρεση πληροφοριών προέλευσης δεν είναι άμεση λόγω των διαφορετικών αποθηκευτικών χώρων και της πολυπλοκότητας της συγκέντρωσης δεδομένων. Επιπλέον ένα διατροφικό προϊόν κινείται σε μια σύνθετη ΕΑ, που περιλαμβάνει πολλές οντότητες, με ξεχωριστές επιχειρησιακές πρακτικές και διαδικασίες [12]. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ένας από τους σημαντικότερους στόχους σε μια ΕΑ τροφίμων, είναι η ικανότητα ανίχνευσης και παρακολούθησης των τροφίμων, μιας ζωοτροφής, ενός ζώου που παράγει τρόφιμα ή μιας ουσίας που πρόκειται να αποτελέσει, ή αναμένεται να ενσωματωθεί σε τρόφιμα ή ζωοτροφές μέσω όλων των σταδίων παραγωγής, μεταποίησης και διανομής. Η καθιέρωση ενός ακριβούς και αποτελεσματικού συστήματος ανίχνευσης της ασφάλειας των τροφίμων, θεωρείται βασική λύση στα θέματα ασφάλειας των τροφίμων [13]. Ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας επιτρέπει την παρακολούθηση προϊόντων με την παροχή πληροφοριών σχετικά με αυτά (π.χ., προέλευση, συστατικά ή τοποθεσίες), κατά τη διάρκεια της παραγωγής και της διανομής. Οι προμηθευτές προϊόντων και οι έμποροι λιανικής, συνήθως, απαιτούν ανεξάρτητους παρόχους υπηρεσιών ιχνηλασιμότητας, οι οποίοι διαθέτουν κρατική πιστοποίηση για την επιθεώρηση των προϊόντων, σε όλη την ΕΑ. Εάν πληρούνται οι αναγκαίες απαιτήσεις, οι φορείς παροχής υπηρεσιών ιχνηλασιμότητας εκδίδουν πιστοποιητικά ελέγχου, που επαληθεύουν την ποιότητα και την προέλευση των προϊόντων. Οι συγκεκριμένοι φορείς παροχής υπηρεσιών, προκειμένου να γνωστοποιήσουν τις πληροφορίες και να εκδώσουν πιστοποιητικά, χρησιμοποιούν σύστημα ιχνηλασιμότητας [61].

Ένας άλλος τομέας, όπου η ιχνηλασιμότητα μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά, είναι η μεταλλευτική βιομηχανία και η βιομηχανία μετάλλων. Η συγκεκριμένη βιομηχανία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα της παγκόσμιας οικονομίας. Ωστόσο, πολλές επιχειρησιακές και εμπορικές πρακτικές παραμένουν αναποτελεσματικές και απαρχαιωμένες, οδηγώντας σε κρίσιμες παραλείψεις δεδομένων, ευπάθειες ασφαλείας, ακόμη και διαφθορά. Τα παραδοσιακά συστήματα είναι αναποτελεσματικά, π.χ., η ΕΑ μεταλλευμάτων αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις, όπως τη διαφάνεια, τη διαλειτουργικότητα μεταξύ προμηθευτών και ούτω καθεξής [59].

Τον τελευταίο καιρό, σε όλες τις δραστηριότητες της ΕΑ, οι απαιτήσεις προέλευσης των δεδομένων και των υλικών / στοιχείων αυξήθηκαν ραγδαία, λόγω επιχειρηματικών πρακτικών και μεγαλύτερη ιχνηλασιμότητα των πηγών. Ειδικότερα, στη μεταλλευτική βιομηχανία, όπου η προέλευση των πρώτων υλών θεωρείται ως πρωταρχικός παράγοντας για την ιχνηλασιμότητα των υλικών, καταγράφοντας δεδομένα και ασυμφωνίες προέλευσης, και ως εκ τούτου, προκύπτει η ανάγκη εφαρμογής νέων τεχνολογιών. Το άλλο πρόβλημα που έχει ως στόχο την παρακολούθηση της προέλευσης ενός κομματιού κοσμήματος χρυσού, καθώς ο χρυσός είναι το απόλυτο ανακυκλώσιμο προϊόν και μπορεί να λιώσει, να αναδιαμορφωθεί και να επανασχεδιαστεί, ξανά και ξανά, ως εκ τούτου, είναι η άλλη μεγάλη πρόκληση στην προέλευση της ΕΑ, εξ' αιτίας της απarέγκλιτης ανάγκης της δέουσας επιμέλειας σε όλα τα σημεία. Η επίλυση αυτού του ζητήματος δεν ωφελεί μόνο σε θέματα σχετικά με την προέλευση και τη διαφάνεια, αλλά και διασφαλίζει τις ηθικές επιχειρηματικές πρακτικές, τη βιωσιμότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας, επιπλέον των πολύ ανταγωνιστικών απαιτήσεων της αγοράς και της υψηλής παραγωγικότητας. Η ιχνηλασιμότητα είναι απαραίτητη για την οικολογικά ορθή επιχειρηματική προοπτική και τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών αποτυπωμάτων των προϊόντων [62]. Μια έκθεση που δημοσιεύθηκε στο PR Newswire [63] διερεύνησε το εγχείρημα της εταιρείας εξόρυξης χρυσού Yamana, να παρακολουθεί τον χρυσό από τα ορυχεία έως τα σημεία επεξεργασίας, χρησιμοποιώντας τεχνολογία blockchain. Η διαχείριση των διεργασιών αυτών γίνεται με χρήση blockchain για τον έλεγχο των έξυπνων συμβολαίων, με όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη που εμπλέκονται με την παράδοση του χρυσού.

Η υπάρχουσα αγορά απαιτεί από τις εταιρείες να παρουσιάζουν με διαφάνεια τις πληροφορίες της ΕΑ, και τις βιώσιμες επιχειρηματικές πρακτικές για κοινωνικές και οικολογικές επιχειρήσεις. Οι μεγάλες εταιρείες εξέτασαν αυτήν την πρακτική και υιοθέτησαν τις αναδυόμενες Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών

τεχνολογίες, για να επωφεληθούν από την ανοικτή και διαφανή ΕΑ σε σχέση με την ανταγωνιστική αγορά. Η διαδικασία διαφάνειας της ΕΑ αποτελεί κρίσιμη ανάγκη των σημερινών επιχειρήσεων, λόγω των αυξημένων ρυθμιστικών δυνάμεων στην κατασκευή, για τη διασφάλιση της ποιότητας των τελικών προϊόντων και για την καλύτερη κατανόηση της πηγής εφοδιασμού τους [55]. Η διαφάνεια της εφοδιαστικής αλυσίδας παρέχει μια χαρτογράφηση του δικτύου ΕΑ, που επιτρέπει στους ενδιαφερόμενους σε κάθε στάδιο την αναγνώριση, χαρτογράφηση ή παροχή διαφανών και ακριβών πληροφοριών, για να διασφαλιστούν η συμμόρφωση, η ασφάλεια, η ακρίβεια, η βιωσιμότητα και οι απαιτήσεις κοινωνικής ευθύνης [56].



Εικόνα 3. Το σύστημα ιχνηλασιμότητας στο blockchain [64]

3.4 Η σημασία της ιχνηλασιμότητας στην αντίστροφη εφοδιαστική

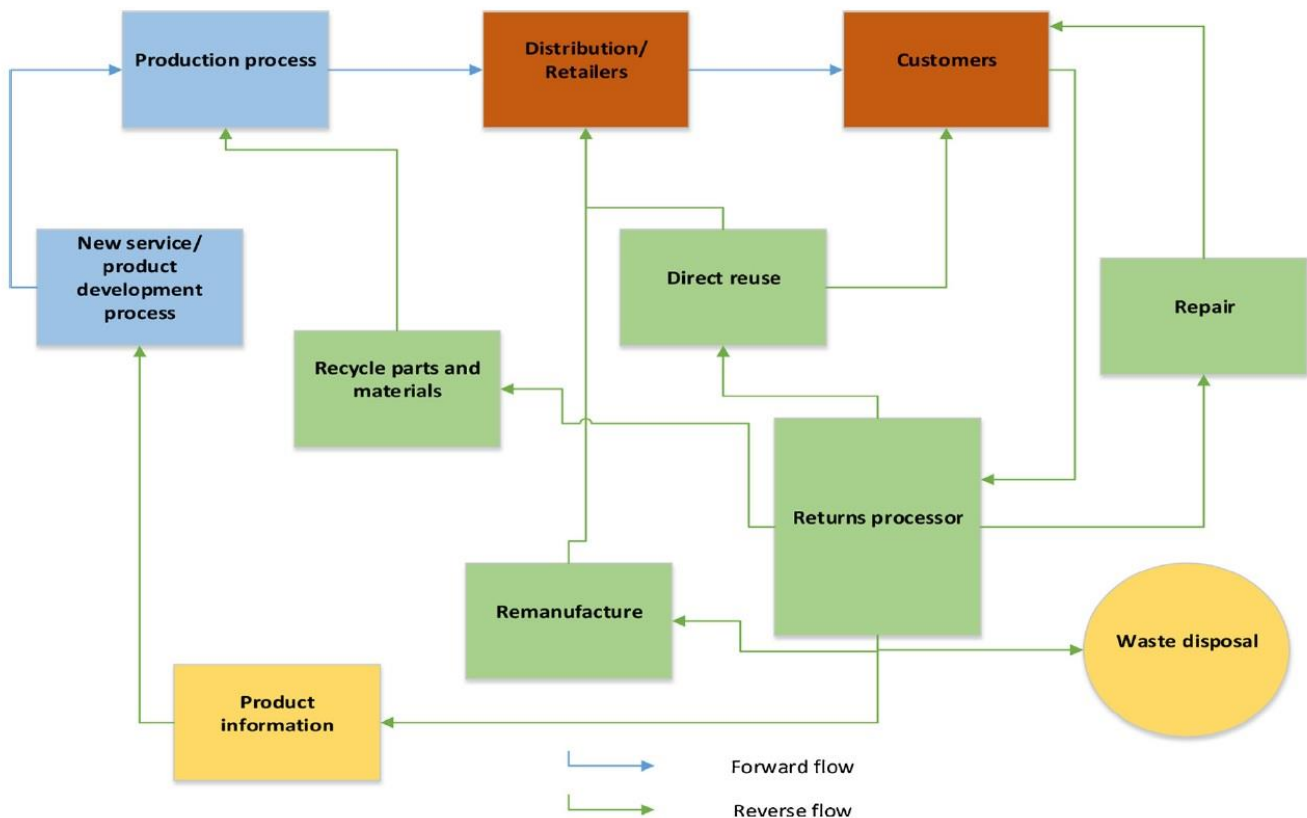
Λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών κανονισμών, μιας πιθανής ανάκτησης πολύτιμων υλικών πόρων για τη δευτερογενή αγορά, και των βιώσιμων επιχειρηματικών πρακτικών, τα τελευταία είκοσι χρόνια, η έννοια της αντίστροφης εφοδιαστικής (ΑΕ) (Reverse Logistics – RL) έχει γίνει αποδεκτή και εφαρμόζεται ευρέως στις βιομηχανίες σε όλο τον κόσμο. Καθώς η παραγωγή αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες αυξάνεται με ταχύτατο ρυθμό, πολλές κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο υποχρεώνουν τους παραγωγούς / κατασκευαστές να εφαρμόσουν την αρχή της εκτεταμένης ευθύνης παραγωγού (Extended Producer Responsibility – EPR). Σύμφωνα με τον Οργανισμό Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), «Η EPR είναι μια πολιτική προσέγγιση, σύμφωνα με την οποία οι παραγωγοί έχουν σημαντική ευθύνη - οικονομική και / ή φυσική - για τη μεταχείριση ή τη διάθεση προϊόντων μετά την κατανάλωση» (ΟΟΣΑ, 2017). Με αυτό το όργανο, οι κατασκευαστές πρέπει τώρα να αναπτύξουν μια βιώσιμη αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα (ΑΕΑ) (Reverse Supply Chain – RSC), εκτός από το συμβατικό σύστημα εφοδιαστικής (Forward Logistics – FL). Σύμφωνα με τον [65], μια συμβατική εφοδιαστική αλυσίδα (Forward Supply Chain – FSC) είναι ένα σύστημα που αποτελείται από προμηθευτές υλικών, εγκαταστάσεις παραγωγής, υπηρεσίες διανομής και πελάτες, που συνδέονται όλοι μαζί μέσω της ροής πρώτων υλών τροφοδοσίας (παραδόσεις), και της ανάντη ροής πληροφοριών (παραγγελίες). Από την άλλη πλευρά, όταν τα συστήματα FSC και RSC εξετάζονται με ενιαίο τρόπο, εξελίσσεται η έννοια της εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου (Closed Loop Supply Chain – CLSC). Η εν λόγω έννοια εξετάζει την αποτελεσματική διαχείριση επιστροφής προϊόντων, και διεξάγει δραστηριότητες ανάκτησης της αξίας τους, έτσι ώστε τα δευτερεύοντα υλικά να μπορεί να χρησιμοποιηθούν για ένα «νέο» προϊόν για τον πελάτη [66].

Μεταξύ των διαφόρων προϊόντων που αναγνωρίζονται στην έρευνα για τα RL και τα CLSC, τα ηλεκτρονικά απόβλητα θεωρούνται ως σημαντικά. Τα ηλεκτρονικά απόβλητα διαθέτουν ορισμένα ειδικά χαρακτηριστικά, τα οποία μετατρέπουν τα συστήματα RL και CLSC, που επεξεργάζονται τα εν λόγω απόβλητα, σε πιο ειδικά. Τα ηλεκτρονικά απόβλητα είναι μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες ροές προς το παρόν, λόγω ενός βραχύτερου κύκλου ζωής προϊόντων, και της ταχέως μεταβαλλόμενης στάσης των πελατών απέναντι στην απόρριψή τους [67] και [68]. Για να δεσμευτούν νομικά όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη στη διαχείριση των ηλεκτρονικών αποβλήτων, η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) βρίσκεται στην πρώτη γραμμή. Στις 13 Αυγούστου 2012, τέθηκε σε ισχύ η ΟΔΗΓΙΑ WEEE 2012/19/ΕΕ από την οποία, οι χώρες μέλη της ΕΕ υποχρεούνται να ακολουθήσουν τον στόχο ανάκτησης και ανακύκλωσης, εφαρμόζοντας την πολιτική ΕΡΡ [66].

Αρχικά, οι πολύπλοκες διαδικασίες RL και CLSC ξεκινούν με την απόρριψη του ηλεκτρικού και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού, φτάνοντας στο τέλος του κύκλου ζωής του. Ωστόσο, στη διαχείριση επιστροφής αυτού του εξοπλισμού, εμπλέκονται πολλοί παράγοντες με υψηλό βαθμό αβεβαιότητας, όπως η ποιότητα, η ποσότητα και ο χρόνος [69]. Πρώτον, η τεράστια ποσότητα παραγωγής προέρχεται από τρεις διαφορετικές πηγές: νοικοκυριά, κυβερνητικούς οργανισμούς, ιδρύματα και επιχειρήσεις [70]. Τα νοικοκυριά διαθέτουν μια σειρά εξοπλισμού που ξεκινά από μεγάλο οικιακό εξοπλισμό, όπως ψυγεία, πλυντήρια ρούχων έως μικρά καταναλωτικά ηλεκτρονικά είδη, όπως τα κινητά τηλέφωνα, ενώ ο εξοπλισμός πληροφορικής και επικοινωνιών απορρίπτεται σε μεγάλο βαθμό από οργανισμούς. Από την άλλη πλευρά, για τον ίδιο εξοπλισμό, η μέση διάρκεια ζωής ποικίλλει σημαντικά. Δεύτερον, η μέθοδος συλλογής αποβλήτων από τις πηγές ποικίλλει σημαντικά, από την άποψη των σημείων συλλογής (π.χ. σημεία συλλογής δήμων, λιανοπωλητές, κατασκευαστές προϊόντων, επισκευαστές, εταιρείες παροχής υπηρεσιών ανακύκλωσης τρίτων κ.λπ.), που συμμετέχουν σε μια διαδικασία ανάκτησης τέτοιων συσκευών [71]. Για παράδειγμα, τα νοικοκυριά μπορεί να απορρίψουν τα ηλεκτρονικά τους απόβλητα με διάφορους τρόπους: 1) σε σημεία συλλογής του δήμου, 2) αφήνοντάς τα στην άκρη του δρόμου, 3) αφήνοντάς τα σε ειδικές εκδηλώσεις, 4) με επιστροφή στους λιανοπωλητές / σημείο αγοράς, και 5) με επιστροφή στους κατασκευαστές, ή ανακυκλωτές, που ορίζονται από τον κατασκευαστή. Για επιχειρήσεις και άλλους οργανισμούς, η μίσθωση γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής και σε αυτή τη διαδικασία, καθώς εταιρείες χρηματοδοτικής μίσθωσης είναι υπεύθυνες για την απόρριψη τέτοιων συσκευών. Οι εταιρείες αυτές περιλαμβάνουν περαιτέρω παρόχους υπηρεσιών RL για μεταφορές, τοπικούς ανακυκλωτές και μικρές επιχειρήσεις, που ασχολούνται με την επαναχρησιμοποίηση αντικειμένων από ηλεκτρικές / ηλεκτρονικές συσκευές. Η απόρριψη ηλεκτρονικών αποβλήτων, σε μόνιμες τοποθεσίες απόρριψης, πραγματοποιείται επίσης από ιδρύματα. Τρίτον, οι συλλεγόμενες ποσότητες μεταφέρονται στη συνέχεια σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας, όπου διέρχονται από δοκιμές, επιθεωρήσεις και διαλογή, και αποσυναρμολογούνται αναλόγως της κατηγορίας των προϊόντων, πριν μεταφερθούν για επεξεργασία [66]. Ο βελτιστοποιημένος σχεδιασμός του δικτύου αυτού παίζει καθοριστικό ρόλο σε αποτελεσματικές και επιτυχημένες διαδικασίες RL, και σε αυτό μπορεί να συμβάλει η ιχνηλασιμότητα, επιτρέποντας και διευκολύνοντας την παρακολούθηση εφαρμογής όλων των απαιτούμενων διαδικασιών και σταδίων των απορριπτέων υλικών, ώστε να εισαχθούν στη γραμμή για την παραγωγή ενός νέου τελικού προϊόντος [66].

Ένας άλλος τομέας, όπου εφαρμόζονται πρακτικές διαχείρισης ανακύκλωσης / επαναχρησιμοποίησης, είναι τα φαρμακευτικά προϊόντα. Τα συγκεκριμένα προϊόντα περιλαμβάνουν μια ομάδα χημικών που χρησιμοποιούνται για τη διάγνωση, τη θεραπεία ή την πρόληψη ασθενειών ή / και καταστάσεων υγείας. Συνήθως, βασικά υπολείμματα από φαρμακευτικά προϊόντα που βρίσκονται στο έδαφος, ή στο νερό είναι όξινα φάρμακα, όπως υδροχλωρικό οξύ, σαλικυλικό οξύ, δικλοφενάκη, ιβουπροφαίνη, και ξενοβιοτικά. Η παρουσία αυτών των υπολειμμάτων βρίσκεται σε λύματα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων, που διατίθενται στον κύκλο νερού μέσω οικιακών πηγών. Τα κατάλοιπα φαρμάκων μπορεί επίσης να καταναλωθούν από τον άνθρωπο, μέσω της από του στόματος κατάποσης επεξεργασμένου νερού. Οι [73] εξετάζουν τη συνάφεια ορισμένων βασικών ζητημάτων σχετικά με τη διαχείριση της αντίστροφης ροής σε ινδικές φαρμακευτικές εταιρείες, από την άποψη των πελατών. Οι ερευνητές μέτρησαν την απόδοση RL χρησιμοποιώντας δύο παραμέτρους. Την «ευκολία της διαδικασίας επιστροφής» και την «έγκαιρη διευθέτηση των επιστρεφόμενων φαρμάκων». Διαπίστωσαν ότι οι περισσότεροι πελάτες επιθυμούν να επιστρέψουν τα ανεπιθύμητα φάρμακά τους, σε αντάλλαγμα την επιστροφή χρημάτων, ή ένα άλλο χρήσιμο φάρμακο. Ωστόσο, το Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών

ποσοστό επιστροφής των φαρμάκων ήταν συνήθως πολύ χαμηλότερο, σε σύγκριση με τη μέση αγορά τους. Οι [74] δηλώνουν ότι, μια αποκεντρωμένη διαδικασία διαπραγμάτευσης είναι πραγματικότητα στον φαρμακευτικό τομέα, για τον συντονισμό της συλλογής ανεπιθύμητων φαρμάκων από ομάδες πελατών. Παρά το ότι η διαχείριση των αποβλήτων και η πρόληψη της ρύπανσης είναι ουσιαστικής σημασίας για τον φαρμακευτικό τομέα, οι μελέτες που σχετίζονται με την ΑΕ είναι σπάνιες [75]. Δεδομένου του υψηλού ανταγωνισμού και των προκλήσεων που αντιμετωπίζει η φαρμακευτική βιομηχανία, στην προσπάθεια συνεχούς βελτίωσης των συμβατικών συστημάτων εφοδιαστικής και της ΑΕ, υπάρχει ανάγκη ανάπτυξης δράσεων και υιοθέτησης στρατηγικών για την αντίστροφη ροή φαρμάκων. Συχνά, οι αυστηροί κανονισμοί μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας, αν δεν επαρκούν για να καλύψουν τη ζήτηση της συμβατικής ή της αντίστροφης εφοδιαστικής. Οι βιομηχανίες χρειάζονται αυτή την αλυσίδα εφοδιασμού να λειτουργεί σε πολύ εξελιγμένα κυκλώματα για να παραμείνει ανταγωνιστική και, κυρίως, με επίκεντρο τα μέτρα, να διασφαλιστεί ότι τα φάρμακα δεν θα απορρίπτονται λανθασμένα στο περιβάλλον. Για να επιτευχθεί αυτό, απαιτούνται συστήματα όπου θα παρακολουθούνται και θα καταγράφονται οι επιμέρους διαδικασίες απόρριψης ή επαναπρώθησης στην αγορά [76].



Εικόνα 4. Διάγραμμα εφοδιαστικής αλυσίδας κλειστού βρόχου – CLSC [72]

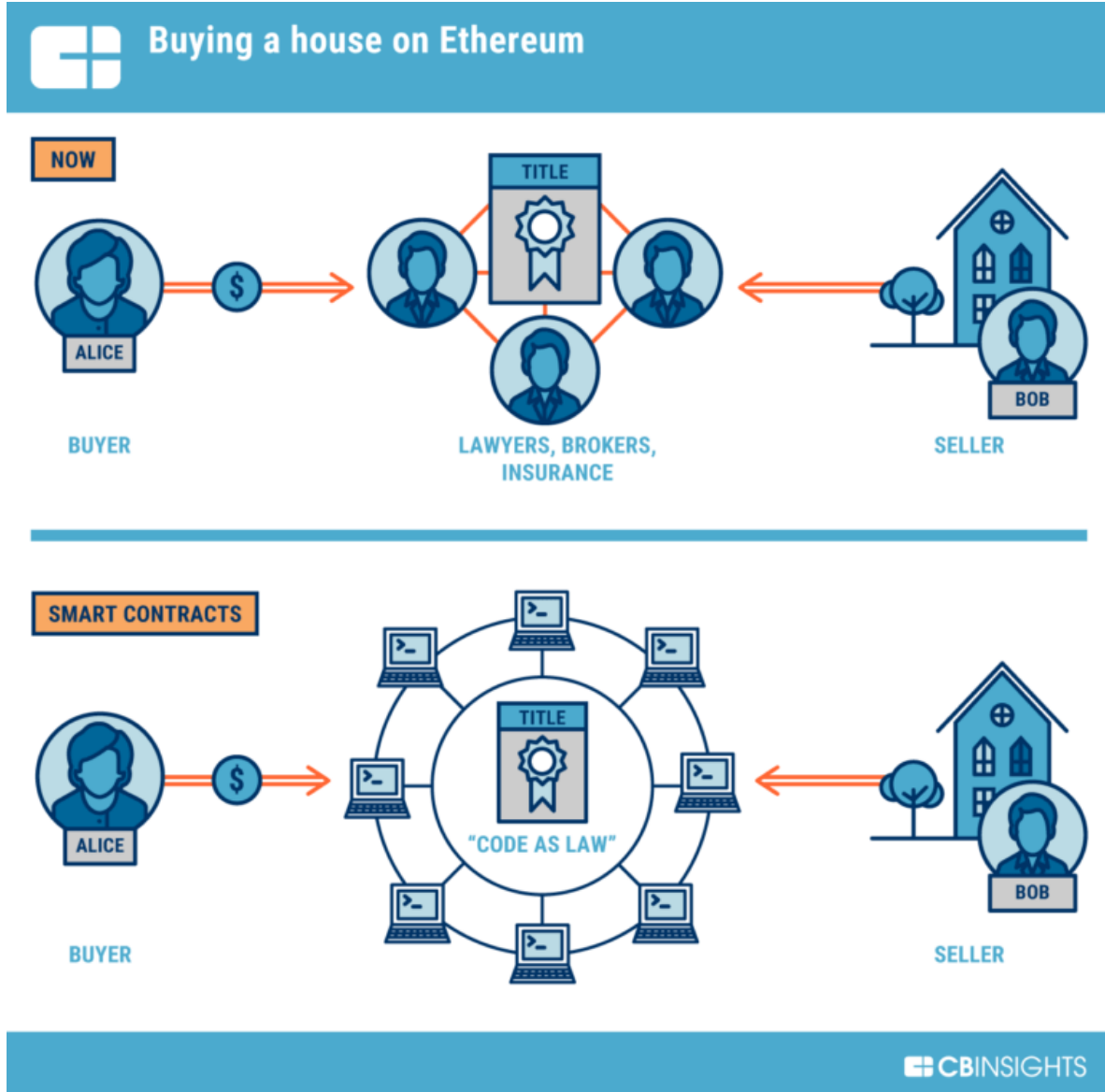
4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΒΑΣΙΖΟΜΕΝΟΣ ΣΕ ΕΞΥΠΝΑ ΣΥΜΒΟΛΑΙΑ (SMART CONTRACTS)

4.1 Περιγραφή των “έξυπνων συμβολαίων”

Προκειμένου να εφαρμοστεί η επιχειρηματική λογική στο blockchain, έχουν εισαχθεί τα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts), τα οποία αρχικά προτάθηκαν από τον [77]. Τα έξυπνα συμβόλαια είναι προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, με σενάρια που επιβάλλουν κανόνες, χωρίς να απαιτούν τρίτους. Στο blockchain του Bitcoin, υλοποιείται μια βασική έκδοση των έξυπνων συμβολαίων μέσω ενός συστήματος δέσμης ενεργειών, που διευκολύνει περιπτώσεις χρήσης όπως λογαριασμούς πολλών χρηστών (πορτοφόλια πολλαπλών υπογραφών), και υπηρεσίες χρηματικής εγγύησης. Τα έξυπνα συμβόλαια εκτελούν αυτόματα τους όρους των συμφωνιών. Ελέγχουν τους προκαθορισμένους όρους, συμπεριλαμβανομένων των κανόνων και των κυρώσεων που έχουν συμφωνηθεί από τα μέρη, και ενεργοποιούν τη σχετική δράση με αυτούς τους όρους [15].

Οι προϋποθέσεις και οι όροι των συμβολαίων επικυρώνονται από τα μέλη του δικτύου. Οι εν λόγω κώδικες υπολογιστών είναι αυτοτελή στελέχη που επιδιώκουν να εξαλείψουν την ανθρώπινη παρέμβαση στα συμβόλαια. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συμβόλαια, όπου η εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών παίζει σημαντικό ρόλο, τα έξυπνα συμβόλαια αφαιρούν την ανάγκη εμπιστοσύνης. Οι όροι των συμβολαίων και οι σχετικές νομικές ενέργειες γράφονται ψηφιακά ως προγράμματα υπολογιστών και αποθηκεύονται στην πλατφόρμα blockchain. Τα ψηφιακά συμβόλαια αφαιρούν την ανθρώπινη κρίση από τις συναλλαγές. Ο ρόλος των διαμεσολαβητών, όπως επαγγελματίες του χρηματοοικονομικού τομέα και νομικά πρόσωπα που εμπλέκονται σε παραδοσιακά συμβόλαια, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί μέσω της χρήσης των έξυπνων συμβολαίων. Η προκύπτουσα διαμεσολάβηση βελτιώνει την αποδοτικότητα και μειώνει το κόστος των επιχειρηματικών δραστηριοτήτων [15].

Ένα παράδειγμα έξυπνων συμβολαίων είναι μια αυτόματη πληρωμή, που πραγματοποιείται όταν πληρείται ένας συγκεκριμένος κανονισμός, ή προστίθεται μια συγκεκριμένη αξία σε ένα προϊόν. Οι συναλλαγές πρέπει να επαληθευτούν για να προστεθούν στα καθολικά ημερολόγια του blockchain. Η διαδικασία επικύρωσης συναλλαγών από συμμετέχοντες στο δίκτυο μπορεί να διευκολυνθεί μέσω των έξυπνων συμβολαίων. Οι απαιτήσεις επικύρωσης και οι κανόνες συναίνεσης μπορούν να ρυθμιστούν από τα μέλη του δικτύου, και να διατηρηθούν ως ψηφιακά συμβόλαια. Τα έξυπνα συμβόλαια μπορούν να ελέγξουν τους προκαθορισμένους όρους για την έγκριση συναλλαγών και να τις προσθέσουν στα καθολικά. Ομοίως, μια αλλαγή στις εγκεκριμένες συναλλαγές μπορεί να ακολουθεί συγκεκριμένους κανονισμούς που αποθηκεύονται σε έξυπνα συμβόλαια. Αυτή η έγκριση ψηφιακής συναλλαγής μπορεί να απλοποιήσει τη χρήση της τεχνολογίας blockchain σε πολύπλοκα και ιδιωτικά δίκτυα επιχειρήσεων [15].



Εικόνα 5. Εισαγωγή των smart contracts στο blockchain [78]

4.2 Ενσωμάτωση των “έξυπνων συμβολαίων” στο blockchain

4.2.1 Το Ethereum Virtual Machine (EVM)

Η κύρια εξέλιξη της τεχνολογίας του Ethereum blockchain [79] είναι η καθιέρωση ενός ολοκληρωμένου συστήματος έξυπνων συμβολαίων γενικής χρήσης, που εμφανίζεται στην εικονική μηχανή του Ethereum (Ethereum Virtual Machine – EVM) [80]. Το Ethereum blockchain [81] είναι διαφορετικό από άλλα πρωτόκολλα blockchain, όπως το Bitcoin, το οποίο υποστηρίζει μόνο λογαριασμούς χρηστών. Το δίκτυο Ethereum λειτουργεί με δύο τύπους λογαριασμών: Έναν λογαριασμό χρήστη, ο οποίος ελέγχεται με ιδιωτικό κλειδί και διεύθυνση, και έναν λογαριασμό *έξυπνου συμβολαίου* [82]. Οι λογαριασμοί έξυπνων συμβολαίων είναι αυτόνομοι παράγοντες χωρίς ιδιωτικό κλειδί, ο οποίοι ελέγχονται από έναν ενσωματωμένο στο συμβόλαιο κώδικα – γι’ αυτό και το όνομά του “έξυπνο συμβόλαιο”. Ο ενσωματωμένος κώδικας επιτρέπει στα έξυπνα συμβόλαια να ενεργούν αυτόνομα και να καλούνται εξ’ αποστάσεως, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ο κώδικας έχει αναλυθεί, καταρτιστεί και εκτελεστεί χρησιμοποιώντας το Ethereum Virtual Machine (EVM), το οποίο λειτουργεί σε χιλιάδες μεμονωμένους κόμβους. Τα μεμονωμένα

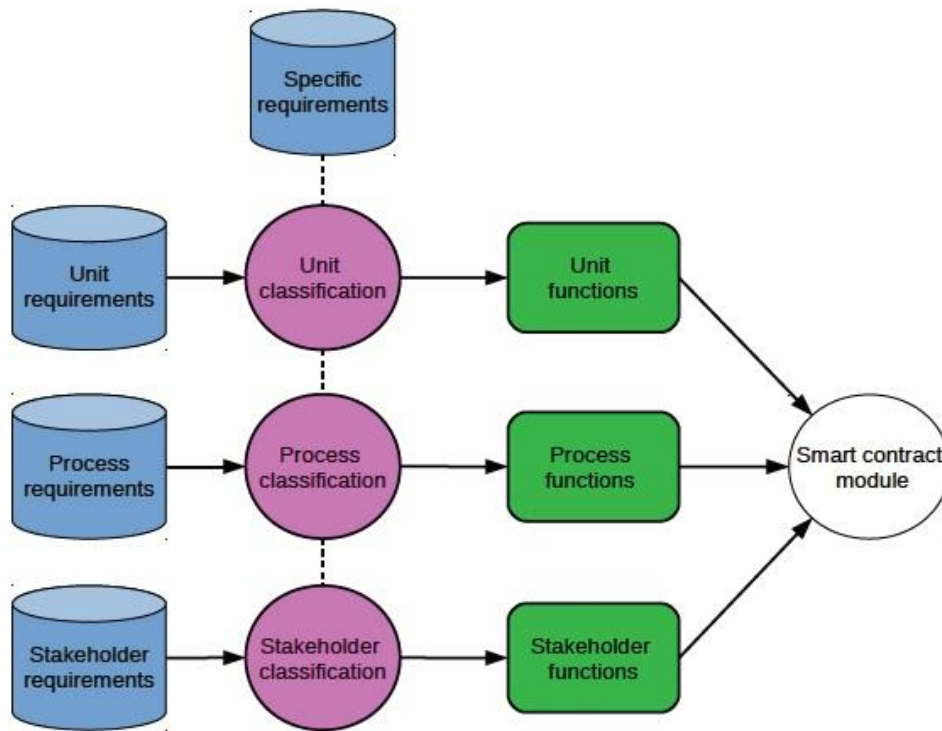
Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών

συμβόλαια μπορούν να αποθηκεύσουν μια κατάσταση μέσα στο συμβόλαιο. Οποιαδήποτε αλληλεπίδραση μεταξύ συμβολαίων ονομάζεται συναλλαγή. Οι συναλλαγές μπορούν να στείλουν δεδομένα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την ενημέρωση της κατάστασης των έξυπνων συμβολαίων, επιτρέποντας την αλλαγή της κατάστασης από την αλληλεπίδραση με μεμονωμένα έξυπνα συμβόλαια και την προβολή της καθολικά. Χρησιμοποιώντας την κατάσταση εντός των μεμονωμένων ψηφιακών στοιχείων, επιτρέπεται η δημιουργία στιγμιότυπων φυσικών στοιχείων σε ένα αποκεντρωμένο μητρώο. Σε αυτό το οικοσύστημα, η κατάσταση του στοιχείου αποθηκεύεται μέσα στο δικό του έξυπνο συμβόλαιο και ενημερώνεται όταν επιβεβαιωθεί μια συναλλαγή. Ταυτόχρονα, όλοι οι κόμβοι του δικτύου Ethereum ενημερώνονται για τις αλλαγές της κατάστασης.

4.2.2 Ψηφιακές μάρκες (tokens)

Θεωρητικά, μια ψηφιακή μάρκα (token) ψηφιοποιεί ένα στοιχείο και καταγράφει τις σχετικές πληροφορίες του σε ένα blockchain. Το Tokenization είναι η διαδικασία δημιουργίας μιας ψηφιακής αναπαράστασης ενός στοιχείου και η παρακολούθηση της ιδιοκτησίας του, χρησιμοποιώντας ψηφιακές μάρκες (tokens). Η ιδιοκτησία ενός token αντιπροσωπεύει τη φυσική ιδιοκτησία ενός συγκεκριμένου περιουσιακού στοιχείου. Δεδομένου ότι το token είναι ψηφιακό, η κυριότητα και η μεταβίβαση περιουσιακών στοιχείων μπορεί να εντοπιστεί στο δίκτυο blockchain. Τα tokens μπορεί να μεταφερθούν και να μετακινηθούν κατά μήκος της ψηφιακής τους ΕΑ, επιτρέποντας στους κόμβους σε όλα τα σημεία της ΕΑ, να δουν και να αλληλοεπιδρούν με το συγκεκριμένο περιουσιακό στοιχείο. Η μεταφορά ενεργοποιεί μια σειρά συμβάντων που ενημερώνουν την κατάσταση αυτού του περιουσιακού στοιχείου, εντός του οικοσυστήματος του έξυπνου συμβολαίου. Έτσι, όταν ένα περιουσιακό στοιχείο μεταφέρεται στον πραγματικό κόσμο, τα tokens καταγράφουν το ιστορικό της πορείας της ιδιοκτησίας και άλλα σχετικά δεδομένα. Καθώς μετακινείται ένα περιουσιακό στοιχείο μεταξύ των φορέων και των εγκαταστάσεων επεξεργασίας, το δίκτυο έξυπνων συμβολαίων διαχειρίζεται και αποθηκεύει ολόκληρο το ιστορικό του περιουσιακού στοιχείου παρακολουθώντας τις μεταφορές μεταξύ των φορέων. Για να εκτελέσει οποιαδήποτε συναλλαγή στο Ethereum, ο ιδιοκτήτης του λογαριασμού χρειάζεται να υπογράψει ψηφιακά μια συναλλαγή με ένα ιδιωτικό κλειδί. Οι μεγάλες εταιρείες, με πολλούς κατόχους λογαριασμών, αντιμετωπίζουν την πρόκληση του να αποθηκεύουν με ασφάλεια τα ιδιωτικά κλειδιά στις συσκευές τους [83].

Στο EVM ο κώδικας του προγράμματος εκτελείται από τους miners και άλλους συμμετέχοντες στο δίκτυο, οι οποίοι επαληθεύουν τις αλλαγές της κατάστασης. Ένα έξυπνο συμβόλαιο στο Ethereum τυπικά γράφεται σε μια γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου, όπως η Solidity ή η Viper, που μεταγλωττίζεται σε κώδικα μηχανής και στη συνέχεια αναπτύσσεται στο blockchain. Η εκτέλεση απαιτεί την αποστολή μιας συναλλαγής στη διεύθυνση του συμβολαίου, ενώ καθορίζεται ποια λειτουργία θα καλείται δεδομένης μια σειράς παραμέτρων. Αυτές οι λειτουργίες με τη σειρά τους μπορούν να καλούν άλλα έξυπνα συμβόλαια, εάν έχουν προγραμματιστεί να το κάνουν. Ωστόσο, οι υπολογιστικά απαιτητικές ρουτίνες δεν είναι κατάλληλες, καθώς η εκτέλεσή τους έχει ένα κόστος που συνδέεται με αυτό. Για κάθε ενέργεια που υποστηρίζεται από το EVM, υπάρχει ένα ορισμένο κόστος καυσίμου του Ethereum [81], το οποίο καθορίζεται από τις λειτουργίες που αποθηκεύουν ή αλλάζουν τις τιμές στην αλυσίδα των μπλοκ. Συνεπώς, μια συναλλαγή πρέπει να περιέχει επαρκή ποσότητα καυσίμου, για να εξασφαλιστεί η επιτυχής εκτέλεση. Το πραγματικό κόστος μιας συναλλαγής εξαρτάται από το πόσο καύσιμο χρειάζεται και από μια τιμή καυσίμου, που ο χρήστης είναι διατεθειμένος να δαπανήσει για κάθε μονάδα καυσίμου. Το κόστος συναλλαγής που δαπανάται από ένα χρήστη, αποδίδεται στον miner που εισάγει τη συναλλαγή σε ένα νέο μπλοκ, καθώς πρέπει να επαληθεύσει και να εκτελέσει αυτή τη συναλλαγή [80].



Εικόνα 6. Διάγραμμα ροής του μηχανισμού αξιολόγησης και κατάταξης των έξυπνων συμβολαίων [84]

5 ΙΧΝΗΛΑΣΙΜΟΤΗΤΑ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ REVERSE LOGISTICS ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

5.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη αναζήτηση σχετικά με εφαρμογές ανακατασκευής ιατρικών συσκευών, όπου εφαρμόζεται η τεχνολογία blockchain με ιχνηλασιμότητα, χωρίς να εντοπιστεί τέτοιου είδους εργασία από την βιβλιογραφία. Ωστόσο υπάρχουν αρκετές δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες, που έχουν εξετάσει εφαρμογές ιχνηλασιμότητας στη διαχείριση της ΕΑ σε άλλους τομείς της βιομηχανίας, όπου υπάρχει διαχείριση ευπαθών ή άλλων προϊόντων [85]. Οι αρχές λειτουργίας τους μπορεί να εξεταστούν, να αξιολογηθούν και να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα για την παρούσα μελέτη περίπτωσης.

Οι [86] προτείνουν ένα νέο μοντέλο παρακολούθησης που περιλαμβάνει blockchain, έξυπνα συμβόλαια και ένα σύστημα συντονισμού της παρακολούθησης των τροφίμων στην ΕΑ γεωργικών προϊόντων. Ο [87] ανέπτυξε ένα σύστημα ιχνηλασιμότητας στην ΕΑ τροφίμων χρησιμοποιώντας τεχνολογίες IoT και blockchain, και έγινε σύγκριση με το γραμμικό κεντρικό σύστημα που χρησιμοποιείται ευρέως στην ΕΑ τροφίμων. Το νέο σύστημα χρησιμοποιεί blockchain για να εγγραφεί ότι, οι πληροφορίες που διαμοιράζονται και δημοσιεύονται σε αυτό το σύστημα ιχνηλασιμότητας είναι αξιόπιστες και αυθεντικές. Οι [88] ενσωματώνουν το blockchain στην αλυσίδα εφοδιασμού της βιομηχανίας τροφίμων, για να επιτρέπουν την ιχνηλασιμότητα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, και παρέχουν στον τελικό πελάτη επαρκείς πληροφορίες σχετικά με την προέλευση του προϊόντος, ώστε να λάβει μια τεκμηριωμένη απόφαση αγοράς. Οι [89] παρουσίασαν μια πλήρως αποκεντρωμένη λύση ιχνηλασιμότητας βασισμένη σε blockchain για τη διαχείριση της ΕΑ σε γεωργικά προϊόντα, η οποία ενσωματώνει IoT και blockchain σε μια προσέγγιση «από το αγρόκτημα στο πιρούνι». Ένα αποτελεσματικό σύστημα ιχνηλασιμότητας θα πρέπει να βελτιώνει τη συλλογή και τον χειρισμό των σχετικών πληροφοριών και να προωθεί την ανταλλαγή τους, μεταξύ όλων των μελών της ΕΑ, όπως οι αγρότες, οι παραγωγοί, οι διανομείς και οι καταναλωτές, σύμφωνα με τους [90]. Οι [85] παρουσίασαν ένα καινοτόμο σύστημα, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο τήρησης ζωτικών καταγραφών για κάθε μέλος της ΕΑ. Συγκεκριμένα, οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε έναν πίνακα περιεχομένων (Table of Contents – TOC) χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IoT, σχετικά με τα βασικά χαρακτηριστικά των προϊόντων. Επομένως, οι καταγραφές για κάθε μέλος της ΕΑ αποθηκεύονται τοπικά (χρησιμοποιώντας αποκεντρωμένες προσεγγίσεις αποθήκευσης όπως το IPFS 2). Αυτή η μέθοδος αποφεύγει την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων σε κεντρικά σημεία αποθήκευσης και συνεπώς, η διαδικασία συναλλαγής είναι ταχύτερη λόγω του μικρού όγκου δεδομένων. Επιπλέον, η ιχνηλασιμότητα προς την αρχή της ΕΑ θα είναι ευκολότερη, καθώς οι μόνες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την παρακολούθηση ενός προϊόντος, είναι το αντίστοιχο TOC από κάθε μέλος της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι [13] ανέπτυξαν ένα πρωτότυπο σύστημα ιχνηλασιμότητας για την ασφάλεια των τροφίμων, που βασίζεται στο blockchain και τις υπηρεσίες πληροφοριών EPC. Επίσης πρότειναν την αρχιτεκτονική διαχείρισης των δεδομένων επί του blockchain και εκτός αυτού, μέσω της οποίας το σύστημα ιχνηλασιμότητας μπορεί να αποφορτίζει το blockchain από το μεγάλο όγκο δεδομένων για το IoT. Επιπλέον, τα έξυπνα συμβόλαια, σε επίπεδο επιχείρησης, έχουν σχεδιαστεί για να αποτρέψουν την παραβίαση δεδομένων και την αποκάλυψη ευαίσθητων πληροφοριών, κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ των συμμετεχόντων. Οι [83] πρότειναν μια θεωρητική εφαρμογή «από το αγρόκτημα στο πιρούνι», η οποία επιτρέπει την ιχνηλασιμότητα των τροφίμων, ενσωματώνοντας τις συσκευές IoT στο Ethereum blockchain οι οποίες ανταλλάσσουν μηνύματα σύμφωνα με το πρότυπο GS1. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα καταναλωμένο «ημερολόγιο συμβάντων», που θα είναι προσβάσιμο για όλους τους ενδιαφερόμενους στην ΕΑ.

Στο [84] προτείνεται ένα γενικό πλαίσιο για τον καθορισμό των επιπέδου των καταγεγραμμένων λεπτομερειών, με βάση τα μοναδικά χαρακτηριστικά του προϊόντος, τις διαδικασίες της ΕΑ, και την εμπλοκή των ενδιαφερομένων μερών. Προσδιορίζονται διαφορετικά επίπεδα λεπτομερειών καταγραφής, χρησιμοποιώντας έξυπνα συμβόλαια, μέσα σε μια

αρχιτεκτονική ιχνηλασιμότητας της ΕΑ με χρήση blockchain. Το επίπεδο της λεπτομέρειας σχετίζεται με διαφορετικά επίπεδα, ανάλογα με την εφαρμογή πληροφοριών εντός μιας επιχείρησης και μεταξύ των εταιρειών, σε σύνθετα δίκτυα ΕΑ. Στο [91] προτείνεται μια πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική ικανή να στηριχθεί στις τεχνολογίες Blockchain και IoT για την επίτευξη διαφάνειας, ελεγκσιμότητας και αμετάβλητης αποθήκευσης των καταγραφών, σε ένα περιβάλλον με έλλειψη εμπιστοσύνης. Θεωρείται το blockchain ως ένα επίπεδο του συστήματός τους, επιτρέποντας στην εφαρμογή τους να είναι ανεξάρτητη από το μπλοκ, ενώ μπορεί να ενσωματωθεί στα υπάρχοντα παραδοσιακά συστήματα λογισμικού (ERP, CRM, κλπ.). Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική εκμεταλλεύεται τις αυξανόμενες δυνατότητες που προσφέρουν οι σύγχρονες συσκευές (π.χ. δρομολογητές/πύλες, μίνι-PC κ.λπ.), οι οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν άμεσα ως πλήρεις κόμβοι της πολυεπίπεδης υλοποίησης blockchain, διευρύνοντας έτσι την ασφάλεια, την αποκέντρωση και την εμπιστοσύνη ολόκληρου του δικτύου. Μια άλλη ομάδα εργασίας στο [80] προτείνει ένα αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης ΕΑ, βασισμένο στα έξυπνα συμβόλαια. Προκειμένου να παρέχουν ολοκληρωμένες πληροφορίες προέλευσης στους καταναλωτές και τους παραγωγούς, διατηρούν τη σχέση μεταξύ πόρων και προϊόντων στις διαδικασίες παραγωγής. Η πρόταση στηρίζεται σε δύο βασικές ιδέες: την απεικόνιση υλικών αγαθών με τη μορφή ψηφιακών μαρκών (digital tokens) και μεθόδων που επιτρέπουν τη μετατροπή τους. Επιπλέον λειτουργίες όπως η πιστοποίηση αγαθών, η μεταφορά, ο διαχωρισμός και ο συνδυασμός των tokens διευκολύνουν την ιχνηλασιμότητα μεταξύ των επιχειρήσεων.

Επιπλέον, υπάρχουν δημοσιευμένες ερευνητικές εργασίες όπου αφορούν τομείς σχετικούς με το θέμα που επεξεργαζόμαστε, και εξετάζονται επιμέρους είτε η σημασία, οι απαιτήσεις και τα στάδια ανακατασκευής / αντίστροφης εφοδιαστικής ηλεκτρικών – ηλεκτρονικών συσκευών, ιατρικών συσκευών ή φαρμακευτικών προϊόντων, είτε η εφαρμογή ανακατασκευής / ΑΕ με χρήση blockchain και ιχνηλασιμότητας σε ηλεκτρονικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης και χρήσης. Στο [66] πραγματοποιήθηκε μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, σχετικά με την ΑΕ και την αλυσίδα εφοδιασμού κλειστού βρόχου (CLSC), τα οποία αποτελούν αναπόσπαστα μέρη της ολιστικής διαδικασίας διαχείρισης των ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών αποβλήτων. Εξετάστηκαν ο σχεδιασμός και ο προγραμματισμός της αντίστροφης διανομής, η λήψη αποφάσεων και η αξιολόγηση της απόδοσης, το εννοιολογικό πλαίσιο καθώς και η αναθεώρηση ποιοτικών μελετών. Στο [92] προτείνεται ένα καταμετρημένο αξιόπιστο και ασφαλές πλαίσιο για δραστηριότητες ΑΕ ηλεκτρονικού εξοπλισμού, με βάση την τεχνολογία blockchain. Λαμβάνεται υπόψη η επιλογή ανακατασκευής για κινητά τηλέφωνα, και αναπτύσσεται μια αυτόνομη και αποτελεσματική αρχιτεκτονική ανταλλαγής δεδομένων, με βάση τα έξυπνα συμβόλαια και την τεχνολογία blockchain, για παρακολούθηση όλων των διαδικασιών ανακατασκευής. Επιπλέον αναπτύσσεται ένα λειτουργικό σύνολο έξυπνων συμβολαίων και ένα τοπικό ιδιωτικό blockchain. Στο [76] αναπτύσσεται μια συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, με στόχο τον εντοπισμό της έννοιας και των πρακτικών ΑΕ που εφαρμόζονται στο τέλος της ζωής (End Of Life – EOL) και στο τέλος της χρήσης (End Of Use – EOU) των φαρμακευτικών προϊόντων. Πραγματοποιήθηκε συλλογή αποδεικτικών στοιχείων στις κατηγορίες του περιβαλλοντικού κίνδυνου, της εξέλιξης και των κανονιστικών διατάξεων της ΑΕ, καθώς και των εκπαιδευτικών προοπτικών των ενδιαφερομένων μερών. Η συγκεκριμένη μελέτη παρέχει μια επισκόπηση της εξέλιξης της ΑΕ στη φαρμακευτική βιομηχανία, διευκρινίζει επίσης έννοιες και πρακτικές EOL / EOU, που απευθύνονται ιδιαίτερα στην εν λόγω εφαρμογή.

5.2 Σημασία της ανακατασκευής

Η ραγδαία ανάπτυξη των ελάχιστα επεμβατικών πράξεων στη διάγνωση και τη θεραπεία έχει οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του κόστους του ιατρικού εξοπλισμού. Πολλές ιατρικές συσκευές και ιδιαίτερα συσκευές της επεμβατικής καρδιολογίας και της ηλεκτροφυσιολογίας, κυκλοφορούν στην αγορά ως συσκευές μίας χρήσης (ΣΜΧ). Παρόλο που υπάρχουν αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα της επανεπεξεργασίας και επαναχρησιμοποίησης των ΣΜΧ, η επεμβατική ηλεκτροφυσιολογία είναι ένας τομέας στον οποίο η εν λόγω πολιτική φαίνεται εφικτή. Οι οικονομικοί λόγοι είναι πιθανώς ο κύριος λόγος επαναχρησιμοποίησης των ΣΜΧ. Το κόστος με το οποίο επιβαρύνεται ένα νοσοκομείο για μια συσκευή που επανεπεξεργάζεται εσωτερικά είναι μικρότερο από το 10% μιας νέας συσκευής και, κατά μέσο όρο, οι επανεπεξεργασμένες ιατρικές συσκευές είναι 50% φθηνότερες από τις

καινούριες. Υπάρχουν συσκευές, ΣΜΧ αλλά και καινούριες συσκευές που χαρακτηρίζονται ως πολλαπλών χρήσεων, που υφίστανται επανεπεξεργασία εσωτερικά σε νοσοκομεία από τα τέλη της δεκαετίας του 1970.

5.3 Προϋποθέσεις και απαιτήσεις για την ανακατασκευή – Η σημασία της ιχνηλασιμότητας

Οι συστάσεις της Επιστημονικής Επιτροπής για τους Ανακύπτοντες και τους Πρόσφατα Εντοπιζόμενους Κινδύνους για την Υγεία (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIHR) θεωρούν την επαναχρησιμοποίηση εφικτή υπό προϋποθέσεις: «Δεν είναι όλες οι ΣΜΧ κατάλληλες για ανακατασκευή, ή επανεπεξεργασία, βάσει των χαρακτηριστικών ή της πολυπλοκότητας ορισμένων από αυτών. Το ενδεχόμενο επανεπεξεργασίας εξαρτάται από το υλικό και από τη γεωμετρία της ιατρικής συσκευής. Προκειμένου να εντοπιστούν και να μειωθούν οι πιθανοί κίνδυνοι που συνδέονται με την επανεπεξεργασία των ιατρικών συσκευών μίας χρήσης, πρέπει να αξιολογηθεί και να εγκριθεί ολόκληρος ο κύκλος επανεπεξεργασίας, ξεκινώντας από τη συλλογή των ΣΜΧ ύστερα από την (πρώτη) χρήση, έως το τελικό στάδιο αποστείρωσης και χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργικής απόδοσης». Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχουν δεσμευτεί να ενημερώνουν ανάλογα τις τρέχουσες Οδηγίες για τη χρήση ιατρικών συσκευών, προκειμένου να ρυθμίζεται η επανεπεξεργασία ΣΜΧ σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι συστάσεις της SCENIHR ισχύουν προφανώς για τις ΣΜΧ που χρησιμοποιούνται στην επεμβατική καρδιολογία και στην ηλεκτροφυσιολογία. Συνεπώς, οι ΣΜΧ που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες διαδικασίες είναι δυνητικά κατάλληλες για επαναχρησιμοποίηση, με την προϋπόθεση ότι είναι κατασκευασμένες από κατάλληλα υλικά, έχουν κατάλληλη γεωμετρία και ότι ο κύκλος επανεπεξεργασίας και η λειτουργική τους απόδοση έχουν αξιολογηθεί και εγκριθεί επαρκώς. Στην συγκεκριμένη εργασία θα εξετάσουμε την περίπτωση ανακατασκευής για Βηματοδότες και εμφυτεύσιμους καρδιομετατροπείς – απινιδωτές. Οι συγκεκριμένες συσκευές μπορεί να θεωρηθούν κατάλληλες για τέτοια επεξεργασία, καθώς η κατασκευή τους, λόγω των απλών γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών και του υλικού τους, επιτρέπει τον εύκολο καθαρισμό και την αποστείρωση. Επιπλέον μπορεί να γίνει έλεγχος της επιφάνειας της συσκευής και τυχόν ρωγμές και αστοχίες, οι οποίες δύνανται να καταστήσουν τη συσκευή μη λειτουργική, λόγω υποβάθμισης των μηχανικών της ιδιοτήτων και των προδιαγραφών της. Σχετικά με το ηλεκτρονικό τους μέρος, ένας χρησιμοποιημένος βηματοδότης με δυνατότητα προγραμματισμού τάσης και ρυθμού, που έχει ένα προσδόκιμο ζωής 19 ετών, θα υπερβεί εύκολα τη διάρκεια ζωής ενός νέου μη προγραμματιζόμενου βηματοδότη, που έχει μέσο προσδόκιμο ζωής 8 ετών. Η διαδικασία επεξεργασίας των εν λόγω συσκευών μπορεί να εφαρμοστεί και σε οποιαδήποτε άλλη ιατρική ηλεκτρονική συσκευή, καθώς τα στάδια για την ανακατασκευή είναι κοινά [93].

Στη συνέχεια παρατίθενται όλα τα στάδια, καθώς και οι προϋποθέσεις και απαιτήσεις που πρέπει να εφαρμοστούν για την επιτυχή ολοκλήρωση της ανακατασκευής μιας ιατρικής συσκευής, αναλόγως του είδους της, και αναδεικνύεται η ανάγκη μιας τεκμηριωμένης εφαρμογής και καταγραφής όλων των απαιτούμενων σταδίων και διαδικασιών, προκειμένου να εξασφαλιστεί η υγεία και η ασφάλεια, όσων χρησιμοποιούν τις συγκεκριμένες συσκευές, αλλά και να διασφαλιστεί η ικανοποιητική λειτουργικότητά τους.

5.3.1 Ιατρικές συσκευές μίας χρήσης

Ιατρικές συσκευές μίας χρήσης (ΙΣΜΧ), που αναφέρονται επίσης ως συσκευές μίας χρήσης (ΣΜΧ) σύμφωνα με την Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων, προορίζονται για να χρησιμοποιηθούν σε έναν ασθενή κατά τη διάρκεια μίας μόνο διαδικασίας. Δεν προορίζονται για επανεπεξεργασία (καθαρισμός, απολύμανση ή αποστείρωση) ή για χρήση σε άλλο ασθενή. Η επισήμανση μπορεί να περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό σύμβολο για προϊόντα μίας χρήσης και καμία οδηγία για επανεπεξεργασία. Η απόρριψη ιατρικών συσκευών περιλαμβάνει σκόπιμη ταφή, εναπόθεση, απόρριψη, τοποθέτηση ή απελευθέρωση οποιουδήποτε απόβλητου υλικού στον αέρα, στη γη ή στο νερό. Για τα ραδιενεργά απόβλητα, η διάθεση είναι η τοποθέτηση αποβλήτων σε εγκεκριμένη, καθορισμένη εγκατάσταση (π.χ. κοντά στην επιφάνεια ή σε γεωλογικό αποθετήριο), ή εγκεκριμένη άμεση απόρριψη στο περιβάλλον. Η απόρριψη πραγματοποιείται χωρίς την πρόθεση ανάκτησης.

Περιλαμβάνει τα προ-στάδια της αποσυναρμολόγησης ιατρικών συσκευών για ανακύκλωση. Οι συσκευές μίας χρήσης πρέπει να απορρίπτονται κατά τρόπο ώστε να διασφαλίζεται το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας του ασθενούς [94].

Η επανεπεξεργασία ιατρικών συσκευών περιλαμβάνει όλα τα βήματα για την επαναχρησιμοποίηση μιας μολυσμένης συσκευής, ή μιας συσκευής μίας χρήσης «έτοιμη για ασθενείς». Τα βήματα είναι η απολύμανση, ο καθαρισμός, η ξήρανση, οι λειτουργικές δοκιμές, η επανασυσκευασία, η επισήμανση, η απολύμανση και η αποστείρωση.

Καθώς οι ΣΜΧ έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε έναν μεμονωμένο ασθενή κατά τη διάρκεια μίας μόνο διαδικασίας, δεν συνοδεύονται από κατάλληλες οδηγίες για τον καθαρισμό, την απολύμανση ή την αποστείρωση μετά τη χρήση, και ο κατασκευαστής δεν έχει διερευνήσει εάν η ασφάλεια και η απόδοσή τους υποβαθμίζεται εάν επανεπεξεργαστούν. Επομένως, οι ΣΜΧ που έχουν υποστεί επανεπεξεργασία και έχουν χρησιμοποιηθεί περισσότερες από μία φορές ενδέχεται να είναι επικίνδυνες για τους ασθενείς, καθώς δεν είναι δυνατή η διασφάλιση της συμμόρφωσης με τα αρχικά πρότυπα για την ασφάλεια, την ποιότητα και την απόδοσή τους. Οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση των ΣΜΧ είναι:

- πιθανή διασταυρούμενη μόλυνση, λόγω της αδυναμίας διασφάλισης της πλήρους απομάκρυνσης βιώσιμων μικροοργανισμών, χωρίς επικυρωμένες οδηγίες για τον καθαρισμό και την αποστείρωση.
- ανεπαρκής καθαρισμός, απολύμανση και απομάκρυνση πυρογόνων, και αλλοίωση υλικών.
- αλλαγές στις ιδιότητες ή την υποβάθμιση του υλικού της συσκευής, λόγω επαναλαμβανόμενης αποστείρωσης.
- απορρόφηση υπολειμμάτων χημικών καθαριστικών παραγόντων από το υλικό της συσκευής, που διαρρέει από αυτή με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα την έκθεση ασθενών ή χρηστών.
- διάβρωση ή αλλαγές στα υλικά της συσκευής λόγω έκθεσης σε χημικά καθαριστικά.
- εξασθένηση της ποιότητας των συσκευών από τις υψηλές θερμοκρασίες και τις σκληρές χημικές ουσίες, που μερικές φορές χρησιμοποιούνται κατά την επανεπεξεργασία.

Οι ηθικές εκτιμήσεις σχετίζονται επίσης με τη χρήση επανεπεξεργασμένων ΣΜΧ, εκτός από τους πιθανούς κινδύνους για την υγεία. Περιλαμβάνουν, εάν είναι δικαιολογημένη, την θεραπεία ενός ασθενή με επανεπεξεργασμένη ΣΜΧ που μπορεί να είναι χαμηλότερης ποιότητας, απόδοσης, ασφάλειας ή καθαριότητας από ό, τι όταν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, ακόμη και με ενημερωμένη συγκατάθεση. Άλλες εκτιμήσεις περιλαμβάνουν την ευθύνη, καθώς η οντότητα που επανεπεξεργάζεται μια ιατρική συσκευή γίνεται ο νέος «κατασκευαστής», με τις σχετικές ευθύνες. Περιλαμβάνουν επίσης οικονομικά ζητήματα, καθώς η επανεπεξεργασία μιας ΣΜΧ με επικυρωμένη διαδικασία αυξάνει το κόστος. Επιπλέον, για ορισμένα ιατροτεχνολογικά προϊόντα, ένα σχετικό ποσοστό μονάδων που υποβάλλονται σε διαδικασία επανεπεξεργασίας, ενδέχεται να μην φτάσει στην κατάσταση στην οποία πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις για ασφαλή και επαρκή επαναχρησιμοποίηση, χάνοντας στη διαδικασία επανεπεξεργασίας. Επομένως, η αναμενόμενη εξοικονόμηση ενδέχεται να μην επιτευχθεί. Κατά συνέπεια, δεν συνιστάται η επανεπεξεργασία και η επαναχρησιμοποίηση των ΣΜΧ [94].

Απαιτείται πρόσθετη έρευνα για τη διερεύνηση της ασφάλειας για την επαναχρησιμοποίηση των ΣΜΧ. Όπως αναφέρεται στο παγκόσμιο κανονιστικό πλαίσιο του ΠΟΥ για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα, ο ΠΟΥ συνιστά στις ρυθμιστικές αρχές σε εθνικό, δικαιοδοτικό επίπεδο και επίπεδο εγκαταστάσεων, να υιοθετήσουν μια πολιτική για την επανεπεξεργασία και την επαναχρησιμοποίηση των ΣΜΧ. Με αυτόν τον τρόπο, θα πρέπει να θεωρήσουν ότι μια επανεπεξεργασμένη ΣΜΧ δεν μπορεί να επισημανθεί με την αρχική της ονομασία, εκτός εάν πληροί τα ίδια πρότυπα με αυτά του αρχικού κατασκευαστή. Για την επαναχρησιμοποίηση συσκευών, η οντότητα που επανεπεξεργάζεται και διανέμει εκείνες που έχουν επισημανθεί από τον αρχικό τους κατασκευαστή μόνο για μία χρήση, θα υπόκειται στις ίδιες απαιτήσεις ασφάλειας, ποιότητας και απόδοσης με τους κατασκευαστές νέων συσκευών. Αυτό ισχύει επίσης για τις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης που επανεπεξεργάζονται πλήρως ΣΜΧ για εσωτερική επαναχρησιμοποίηση.

Η Αυστραλία, ο Καναδάς, το Ισραήλ, η Κορέα, η Σαουδική Αραβία και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχουν συμβουλευτεί κατά, ή απαγορεύουν την επανεπεξεργασία των ΣΜΧ ή έχουν συστήσει την τήρηση των κανονισμών για τους κατασκευαστές ιατρικών συσκευών ως ελάχιστο

πρότυπο. Πολλές χώρες, ωστόσο, έχουν ελάχιστη ή καθόλου κανονιστική, ιατρική, νομική, οικονομική ή ηθική καθοδήγηση σχετικά με την συγκεκριμένη πρακτική [94].

Παρά τις εκτιμήσεις αυτές, η επαναχρησιμοποίηση των ΣΜΧ αυξήθηκε ως μέτρο εξοικονόμησης κόστους. Για την αντιμετώπιση αυτής της πρακτικής, η Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων των ΗΠΑ εξέδωσε οδηγίες για εγκαταστάσεις που επιλέγουν να επανεπεξεργαστούν συσκευές μίας χρήσης, στις οποίες τα Κέντρα Ελέγχου και Πρόληψης Νοσημάτων των ΗΠΑ και η Διεθνής Ένωση Υγειονομικής Υπηρεσίας Διαχείρισης Υλικών παρέχουν αναφορά και υποστήριξη. Αυτές οι συστάσεις δεν καλύπτουν εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, εκτός από νοσοκομεία, εμφυτεύσιμες συσκευές, αιμοδιαλυτές, ή ανοιγμένες αλλά αχρησιμοποίητες ΣΜΧ [94].

Η διαδικασία που χρησιμοποιείται από την Αμερικανική Υπηρεσία Τροφίμων και Φαρμάκων έχει ως εξής.

- Η συσκευή ταξινομείται σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση κινδύνου.
- Ο επανεπεξεργαστής μπορεί να αποδείξει ότι η ΣΜΧ μπορεί να καθαριστεί επαρκώς και να απολυμανθεί ή να αποστειρωθεί, και ότι τα χαρακτηριστικά ή η ποιότητα της συσκευής δεν θα επηρεαστούν δυσμενώς από αυτές τις διαδικασίες.
- Το συμβαλλόμενο μέρος ή η εγκατάσταση, που επανεπεξεργάζεται μια συσκευή μίας χρήσης, γίνεται ο κατασκευαστής της συσκευής και είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση ότι είναι ασφαλής και αποτελεσματική για επαναχρησιμοποίηση μετά την επανεπεξεργασία. Ως κατασκευαστής της επανεπεξεργασμένης συσκευής μίας χρήσης, το συμβαλλόμενο μέρος ή η εγκατάσταση, συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις και τους κανονισμούς της προ-αγοράς.
- Πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα παρακολούθησης που να επιτρέπει την έγκαιρη θέση των συσκευών για ανάκληση, σε περίπτωση που απαιτείται διορθωτική ενέργεια ή ειδοποιήσεις στη συσκευή.
- Η διόρθωση ή η αφαίρεση μιας συσκευής πρέπει να αναφέρεται στον ρυθμιστικό φορέα. Μπορεί να αφαιρεθεί για επισκευή, τροποποίηση, προσαρμογή, επαναπροσδιορισμό, καταστροφή ή επιθεώρηση.

Τα συμβαλλόμενα μέρη (όπως μια μονάδα υγειονομικής περίθαλψης ή ένας τρίτος επεξεργαστής) υπόκεινται στα ίδια κανονιστικά μέτρα και μέτρα αναφοράς με τον αρχικό κατασκευαστή των ΣΜΧ που επανεπεξεργάζονται. Καθώς η έκθεση σε επαναχρησιμοποιούμενες ΣΜΧ μπορεί να μην είναι ασφαλής για τους ασθενείς, οι ευθύνες που σχετίζονται με τις ΣΜΧ βαρύνουν το μέρος που επανεπεξεργάζεται την συγκεκριμένη συσκευή. Η αμερικανική FDA δημοσίευσε μια λίστα με ΣΜΧ που είναι γνωστό ότι επανεπεξεργάζονται.

Η κατηγορία κινδύνου μιας ιατρικής συσκευής καθορίζεται από παράγοντες όπως ο βαθμός εισβολής, η ανατομική θέση καθώς και η διάρκεια χρήσης στο σώμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, προϊόντα όπως συσκευές ιικής απενεργοποίησης, που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή φαρμάκων ή βιολογικών προϊόντων, θεωρούνται ιατροτεχνολογικά προϊόντα υψηλότερου κινδύνου και ρυθμίζονται ανάλογα. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα μπορούν να χωριστούν σε ομάδες ή τάξεις, συχνά με την ένδειξη Α, Β, C και D. Η ακριβής ταξινόμηση των συσκευών είναι κρίσιμη για την ασφάλεια των ασθενών και των χρηστών, όπως και οι οδηγίες χρήσης για την προβλεπόμενη χρήση της συσκευής.

5.3.2 Συσκευές κατάλληλες για ανακατασκευή και επαναχρησιμοποίηση

Μια επαναχρησιμοποιήσιμη ιατρική συσκευή έχει σχεδιαστεί για χρήση σε περισσότερους από έναν ασθενείς. Η τελική κατάσταση των παροπλισμένων επαναχρησιμοποιήσιμων ιατρικών συσκευών μπορεί να είναι η διάθεση, η δωρεά, η πώληση, η ανταλλαγή, η εσωτερική ανάθεση, η ανακαίνιση / ανακατασκευή ή η αναβάθμιση. Όλες οι συσκευές πρέπει να απολυμανθούν πριν από οποιαδήποτε από αυτές τις ενέργειες [94].

➤ Επανατοποθέτηση

Η εκ νέου ανάθεση ιατρικής συσκευής είναι η μεταφορά της εσωτερικά ή εξωτερικά σε άλλη μονάδα ή εγκατάσταση που την απαιτεί. Η εσωτερική επανατοποθέτηση ιατρικής συσκευής αναφέρεται στη μεταφορά της στο σύστημα υγειονομικής περίθαλψης.

Όταν η απόδοση της συσκευής είναι ακόμη αποδεκτή και αξιόπιστη, μπορεί να εξεταστεί η μετεγκατάστασή της σε άλλο τμήμα που τη χρειάζεται. Είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί εάν η συσκευή πληροί τις προϋποθέσεις για επαναχρησιμοποίηση, επί τη βάση εφαρμογής χαμηλότερης οξύνοιας, διαθεσιμότητας εκπαίδευσης, συντήρησης και άλλων πόρων.

Παραδείγματα επανατοποθέτησης είναι:

- μετεγκατάσταση ενός οργάνου παρακολούθησης ασθενούς από το τμήμα έκτακτης ανάγκης σε γενικό θάλαμο.
- μετεγκατάσταση συσκευών σε βιοϊατρικό τμήμα για επαναχρησιμοποίηση ως υποκατάστατων ή ανταλλακτικών.
- ανακύκλωση ανταλλακτικών και μονάδων που λειτουργούν σωστά και έχουν βιώσιμη εφαρμογή σε υπάρχοντα συστήματα. Αυτό μερικές φορές ονομάζεται «κανιβαλισμός» και γίνεται συχνά από τεχνικούς βιοϊατρικής για να εξασφαλιστεί μια πηγή ανταλλακτικών και μονάδων, η οποία είναι πολύτιμη σε τοποθεσίες όπου η προμήθεια των ανταλλακτικών είναι δύσκολη και δαπανηρή. Στην περίπτωση πλακετών κυκλωμάτων, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στους αριθμούς παρτίδων και στην αναθεώρηση λογισμικού, για να διασφαλιστεί η συμβατότητα με τα υπάρχοντα συστήματα.

Η επικοινωνία μεταξύ του δότη και του παραλήπτη είναι ζωτικής σημασίας για να διασφαλιστεί ότι ικανοποιούνται οι απαραίτητες ανάγκες, δηλαδή, έχει δημιουργηθεί η κατάλληλη υποδομή, υπάρχουν ιατρικοί και βιοϊατρικοί ανθρώπινοι πόροι, υλικοί πόροι, διαθεσιμότητα οικονομικών πόρων και πόρων της ιατρικής αγοράς καθώς και ο συντονισμός της μεταφοράς.

Για μερικά ιατροτεχνολογικά προϊόντα, ο μερικός παροπλισμός ενός σημαντικού εξαρτήματος θα μπορούσε να οδηγήσει σε επανατοποθέτηση. Τέτοιες καταστάσεις προκύπτουν όταν:

- το μέρος που πρέπει να παροπλιστεί αποτελεί σημαντικό μέρος του κόστους της συσκευής.
- έχει διάρκεια ζωής πολύ διαφορετική από τη διάρκεια ζωής της συσκευής, ή
- το εξάρτημα από μόνο του είναι ανεπανόρθωτο αλλά αντικαθίσταται.

➤ Ανακατασκευή

Η ανακατασκευή θεωρείται ένας αποτελεσματικός τρόπος πρόληψης των αποβλήτων και εξοικονόμησης πόρων και ενέργειας, καθώς μπορεί να παρατείνει την πραγματική διάρκεια ζωής των ιατρικών συσκευών. Όταν μια συσκευή μπορεί να ανακατασκευαστεί, αποτελεί μια πιο οικονομική εναλλακτική λύση από την αγορά μιας νέας. Η ανακατασκευή συνίσταται στην αποκατάσταση χρησιμοποιημένων ιατρικών συσκευών, χωρίς σημαντική αλλαγή στην απόδοσή τους, στις προδιαγραφές ασφάλειας ή στις διαδικασίες συντήρησης, όπως ορίζονται από τον κατασκευαστή και την αρχική προβλεπόμενη χρήση τους. Τα ανακαινισμένα ιατροτεχνολογικά προϊόντα πρέπει να φέρουν την ίδια ετικέτα. Σε μια πολιτική για την ανακατασκευή, η ρυθμιστική αρχή πρέπει να δηλώνει σαφώς ότι ο φορέας που είναι υπεύθυνος για την ανακαίνιση, ή το τρίτο μέρος, πρέπει να πληροί τις ίδιες κανονιστικές απαιτήσεις, με εκείνες που ισχύουν για το αρχικό ιατροτεχνολογικό προϊόν. Ένα συμβαλλόμενο μέρος, που ανακατασκευάζει ιατρικές συσκευές, θα υπόκειται στις ίδιες απαιτήσεις ασφάλειας, ποιότητας και απόδοσης με τους κατασκευαστές νέων συσκευών.

Όσον αφορά οποιαδήποτε ιατρική συσκευή, πρέπει να ακολουθούνται οι οδηγίες χρήσης του κατασκευαστή. Εάν δεν υπάρχουν επικυρωμένες οδηγίες, πρέπει να ληφθούν από τον προμηθευτή ή τον κατασκευαστή. Αντίγραφα των εγχειριδίων χρήσης και συντήρησης πρέπει να είναι διαθέσιμα και προσβάσιμα από το προσωπικό και να ενημερώνονται όπως απαιτείται. Θα πρέπει επίσης να ανατρέχουμε στους εθνικούς κανονισμούς για τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα, καθώς ορισμένες χώρες περιορίζουν τη χρήση ανακατασκευασμένων ιατρικών συσκευών.

Εάν το ιατροτεχνολογικό προϊόν έχει κριθεί ασφαλές για επαναχρησιμοποίηση από την εθνική ρυθμιστική αρχή, πρέπει να απολυμανθεί, να καθαριστεί, να στεγνώσει, να ελεγχθεί για τη λειτουργικότητά του, να συσκευαστεί εκ νέου, να επανασημανθεί, να απολυμανθεί ή να αποστειρωθεί πριν επιστραφεί σε λειτουργία. Τα βήματα για την ανακατασκευή εξαρτώνται από τις επικυρωμένες οδηγίες που παρέχονται από τον κατασκευαστή και τον κίνδυνο μόλυνσης που προκαλούν οι συσκευές. Για παράδειγμα, οι συσκευές κινδύνου «κατηγορίας Β» θα πρέπει ιδανικά να καθαρίζονται καλά και να απολυμαίνονται, και στη συνέχεια να αποστειρώνονται

θερμικά, ενώ οι «κρίσιμες συσκευές» πρέπει να απολυμανθούν σχολαστικά, να καθαριστούν, να στεγνώσουν, να επανασυσκευαστούν και να επανασημανθούν πριν από την αποστείρωση. Η αποστείρωση με ατμό είναι η προτιμώμενη μέθοδος λόγω της αποδοτικότητας και της διαθεσιμότητάς του. Συσκευές που δεν αντέχουν στη θερμότητα μπορεί να αποστειρωθούν χημικά με υπεροξειδίο του υδρογόνου, οξειδίο του αιθυλενίου, υπεροξικό οξύ ή όζον σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες του κατασκευαστή. Για να ελαχιστοποιηθεί και να αποφευχθεί ζημιά σε συσκευές, πρέπει να τύχουν επεξεργασίας σε μικρές παρτίδες. Τα αντικείμενα με αιχμηρές άκρες πρέπει να προστατεύονται για την αποφυγή ζημιών και βλαβών στον χρήστη, ενώ τα ευαίσθητα αντικείμενα πρέπει να διαχωρίζονται από τα βαριά αντικείμενα και να προστατεύονται για την πρόληψη ζημιών.

Για την επαναχρησιμοποίηση μιας ιατρικής συσκευής, μετά από επίσημη έγκριση, συνιστώνται τα ακόλουθα βήματα για την ανακατασκευή:

- 1) Επιβεβαίωση ότι οι επικυρωμένες οδηγίες καθαρισμού και αποστείρωσης του κατασκευαστή περιλαμβάνονται μαζί με τις επαναχρησιμοποιήσιμες ιατρικές συσκευές.
- 2) Εφαρμογή της επικυρωμένης διαδικασίας καθαρισμού.
- 3) Πραγματοποίηση τακτικής συντήρησης και επιθεώρησης στο εσωτερικό για θέματα λειτουργικότητας, βλάβης και καθαριότητας.
- 4) Διατήρηση ενός τρέχοντος αρχείου για τη συντήρηση και τον έλεγχο των επανεπεξεργασμένων συσκευών.
- 5) Πραγματοποίηση των διαδικασιών απολύμανσης ή αποστείρωσης σύμφωνα με τις οδηγίες.
- 6) Μόλις η συσκευή απολυμανθεί ή / και αποστειρωθεί και ακολουθηθούν όλες οι υπόλοιπες οδηγίες, μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.

Εάν η συσκευή δεν απαιτείται να χρησιμοποιηθεί αμέσως, πρέπει να φυλάσσεται σε καθαρή, στεγνή και προστατευμένη περιοχή. Οι συσκευές πρέπει να διατίθενται κυκλικά σύμφωνα με την αρχή της πρώτης εισόδου, της πρώτης εξόδου και να διαχωρίζονται από άλλα αντικείμενα με εμπόδια ή / και απόσταση.

Για την ανακατασκευή μιας ιατρικής συσκευής πρέπει να χρησιμοποιηθούν προσεκτικά κριτήρια αξιολόγησης και επιλογής, καθώς δεν μπορεί να ανακατασκευαστεί κάθε ιατρική συσκευή. Η διαδικασία ανακατασκευής πέντε βημάτων που συνιστά η Παγκόσμια Βιομηχανία Ιατρικής Απεικόνισης φαίνεται παρακάτω:

- 1) Επιλογή εξοπλισμού για ανακατασκευή
 - Οι συσκευές επιλέγονται για ανακατασκευή με βάση την αρχή ότι, τουλάχιστον, θα έχουν την ίδια ποιότητα, απόδοση, ασφάλεια και προβλεπόμενη χρήση όπως όταν ήταν καινούριες.
 - Οι συνηθισμένοι λόγοι αποκλεισμού από την ανακατασκευή περιλαμβάνουν τη μη τήρηση επαρκών προτύπων ασφάλειας ή επιδόσεων, αφού έχουν φτάσει στη διάρκεια ζωής τους, είναι συσκευές μίας χρήσης ή δεν προοριζόταν για ανακατασκευή.
 - Άλλες εκτιμήσεις περιλαμβάνουν τη συμβατότητα, τη δυνατότητα αναβάθμισης, τη διάρκεια ζωής, τη διαθεσιμότητα ανταλλακτικών ή εξαρτημάτων, την εξυπηρέτηση μετά την πώληση, τη συντήρηση και τη δυνατότητα επισκευής.
- 2) Αποσυναρμολόγηση, συσκευασία και αποστολή
 - Το προσωπικό με καθορισμένη ευθύνη πρέπει να εκτελεί διαδικασίες όπως αφαίρεση δεδομένων ασθενούς, καθαρισμός και απολύμανση και αφαίρεση της συσκευής από το σύστημα παρακολούθησης ή το απόθεμα.
 - Πρέπει να τεκμηριώνονται σαφείς οδηγίες αποστολής, πριν από την αποστολή της ιατρικής συσκευής για επεξεργασία.
- 3) Ανακατασκευή
 - Τα ιατροτεχνολογικά προϊόντα πρέπει να ανακατασκευάζονται από ένα εξουσιοδοτημένο μέρος, όπως ο αρχικός κατασκευαστής της συσκευής, ή μια εγκατάσταση τρίτων με την απαιτούμενη τεχνική εμπειρία και τεχνογνωσία.
- 4) Επανεγκατάσταση εξοπλισμού

- Οι εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης πρέπει να καθιερώσουν σαφή επικοινωνία με το συμβαλλόμενο μέρος που εξυπηρετεί τις ιατρικές τους συσκευές.
- 5) Επαγγελματικές υπηρεσίες
- Πρέπει να καθοριστούν η εξυπηρέτηση μετά την πώληση και η υποστήριξη που πρέπει να παρέχονται από τον ανακατασκευαστή.
 - Οι υπηρεσίες πρέπει να περιλαμβάνουν εγγύηση, ανταλλακτικά, συμβόλαια συντήρησης, ενημερωμένη διαχείριση, εκπαίδευση χρηστών, συμβόλαια υπηρεσιών και υποστήριξη προϊόντων.

5.4 Διαδικασία ανακατασκευής και καταγραφής όλων των σταδίων

Στη συγκεκριμένη ενότητα θα περιγράψουμε την αρχιτεκτονική της εφαρμογής μας, όπου θα περιλαμβάνει τις προϋποθέσεις και τα στάδια της διαδικασίας ανακατασκευής, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο [95] και στην προηγούμενη ενότητα, και πώς αυτά μπορεί να καταγραφούν αυτόματα ή χειροκίνητα και να καταχωρηθούν στο blockchain.

5.4.1 Περιγραφή των λειτουργιών και των χαρακτηριστικών

- i. Αρχικά θα πρέπει να ελέγχεται αν η συσκευή προς ανακατασκευή είναι κατάλληλη γι' αυτό. Μπορεί να υπάρχει καταχωρημένος ο τύπος της συσκευής στο σύστημα και να γίνεται έλεγχος ταυτοποίησης κατά τη στιγμή παραλαβής από το σημείο που χρησιμοποιείται ήδη. Αν η ταυτοποίηση της συσκευής δεν είναι επιτυχής η παραλαβή δεν θα καθίσταται εφικτή. Εφόσον η συσκευή είναι κατάλληλη γίνεται προσθήκη στο σύστημα με καταχώρηση του σειριακού αριθμού της και του αύξοντος αριθμού της. Ταυτόχρονα ορίζονται οι απαιτούμενες διαδικασίες που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη συσκευή. Η διεύθυνση (address) του καταχωρούντα είναι γνωστή. Αυτός μπορεί να είναι ο παραλαβών η ο μεταφορέας.
- ii. Ο παραλαβών εξασφαλίζει τη σωστή συσκευασία για την πραγματοποίηση της μεταφοράς από το σημείο που χρησιμοποιείται, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Επίσης διενεργεί έναν πρώτο μακροσκοπικό έλεγχο για την κατάσταση της συσκευής και έναν πρώτο καθαρισμό εάν απαιτείται. Εφόσον ολοκληρωθούν όλα τα βήματα καταχωρείται χειροκίνητα μια επιβεβαίωση στο σύστημα και η συσκευή καθίσταται έτοιμη για μεταφορά στο σημείο επεξεργασίας.
- iii. Κατά την είσοδο στο σημείο επεξεργασίας η συσκευή λαμβάνει νέο στοιχείο ιχνηλασιμότητας. Στη συνέχεια, η συσκευή προχωράει στο στάδιο επεξεργασίας. Αρχικά πραγματοποιείται καθαρισμός και αποστείρωση. Οι ειδικές συσκευές και εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αυτό μπορούν να καταγράφουν αυτόματα τη χρονική στιγμή (timestamp) ολοκλήρωσης της διαδικασίας. Η καταχώριση στο blockchain γίνεται με την αλλαγή κατάστασης της διαδικασίας σαν ολοκληρωμένη, μαζί με την διεύθυνση του χειριστή. Κάθε διαδικασία αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη συσκευή προς ανακατασκευή.
- iv. Ακολούθως πραγματοποιείται οπτικός έλεγχος της συσκευής για τυχόν αλλοιώσεις στα χαρακτηριστικά της με χρήση ειδικών οργάνων ή εργαλείων. Και εδώ γίνεται καταγραφή και καταχώριση της χρονικής στιγμής ολοκλήρωσης του ελέγχου με καταχώριση της διεύθυνσης του χειριστή. Εάν δεν έχει ολοκληρωθεί το προηγούμενο στάδιο δεν καθίσταται δυνατή η αλλαγή κατάστασης της συγκεκριμένης διαδικασίας.
- v. Στη συνέχεια πραγματοποιείται έλεγχος για τυχόν διαθέσιμες αναβαθμίσεις του κατασκευαστή για τα ηλεκτρονικά μέρη και το λογισμικό της συσκευής καθώς και έλεγχοι λειτουργίας και απόδοσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές με αντίστοιχη καταγραφή των χρονικής στιγμής ολοκλήρωσης της διαδικασίας και της ταυτότητας του χειριστή. Και εδώ αν δεν έχει ολοκληρωθεί το προηγούμενο στάδιο δεν καθίσταται δυνατή η αλλαγή κατάστασης της συγκεκριμένης διαδικασίας.
- vi. Στη συνέχεια η συσκευή συσκευάζεται κατάλληλα σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή λαμβάνει καταχώριση στα χαρακτηριστικά της ως «έτοιμη προς αποστολή» και είναι έτοιμη προς αποστολή. Και εδώ απαιτείται η ολοκλήρωση του

προηγούμενου σταδίου προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη καταχώριση. Η εν λόγω καταχώριση ουσιαστικά υποδηλώνει τη δήλωση συμμόρφωσης ότι ακολουθηθήκαν όλες οι προβλεπόμενες διαδικασίες ανακατασκευής για τη συγκεκριμένη συσκευή.

Στη συνέχεια, περιγράφουμε τα χαρακτηριστικά των κύριων παραγόντων / πόρων της αρχιτεκτονικής, δηλαδή τις διαδικασίες, τα προϊόντα και τα ενδιαφερόμενα μέρη. Υποθέτουμε ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη είναι καταχωρημένα στο blockchain και έχουν έγκυρη διεύθυνση με το αντίστοιχο ζεύγος δημόσιων / ιδιωτικών κλειδιών. Αναπτύξαμε τρία έξυπνα συμβόλαια (δηλαδή διαδικασίες, προϊόντα και ενδιαφερόμενα μέρη) που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες των οποίων περιγράφονται παρακάτω:

Διαδικασίες: Στο συγκεκριμένο Έξυπνο Συμβόλαιο καταχωρούνται οι απαραίτητες διαδικασίες για την ανακατασκευή με τα χαρακτηριστικά τους, όπως αυτές περιγράφηκαν προηγουμένως, καθώς και οποιαδήποτε άλλη διαδικασία αναγκαία για την καταγραφή, ιχνηλασιμότητα και τον έλεγχο ολοκλήρωσης της διεργασίας ανακατασκευής. Αυτές οι διαδικασίες περιλαμβάνουν τον έλεγχο των συσκευών, την ανάλυση, τη φυσική κατάσταση, τον καθαρισμό, την αποστείρωση, τις ρυθμίσεις, τις λειτουργικές δοκιμές και την συσκευασία. Η κάθε διαδικασία διαθέτει τα χαρακτηριστικά της (μεταβλητές) και αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο προϊόν προς ανακατασκευή.

Ορίζουμε τις παρακάτω λειτουργίες:

- ❖ **AddProcess()** : Με αυτή τη λειτουργία εισάγουμε διαδικασίες οι οποίες δύναται να εφαρμοστούν προκειμένου να ολοκληρωθεί η ανακατασκευή ενός προϊόντος. Μπορούμε να εισάγουμε περιορισμούς ώστε αυτές να εισάγονται μόνο από τον κατασκευαστή ή από το κράτος.
- ❖ **AddProcessProduct()** : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία προσθέτουμε ένα προϊόν σε μια συγκεκριμένη διαδικασία. Πλέον η συγκεκριμένη διαδικασία καθίσταται προαπαιτούμενη για την ολοκλήρωση της ανακατασκευής του συγκεκριμένου προϊόντος.
- ❖ **GetProcess()** : Εδώ λαμβάνουμε το σύνολο των καταχωρημένων διαδικασιών που υπάρχουν στο σύστημα.
- ❖ **GetProcessProduct()** : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία λαμβάνουμε το σύνολο των αντιστοιχισμένων διαδικασιών για ένα συγκεκριμένο προϊόν για μια καθορισμένη συναλλαγή.

Προϊόν: Στην περίπτωση που εξετάζουμε το προϊόν είναι ο βηματοδότης. Η συγκεκριμένη συσκευή δεν διαθέτει αποσπώμενα μέρη αλλά διαθέτει σειριακό αριθμό και πληροφορίες χαρακτηριστικών που μπορούν να ληφθούν υπόψη για την αξιολόγηση της ποιότητας και της προέλευσής της.

Ορίζουμε τις παρακάτω λειτουργίες για το Έξυπνο Συμβόλαιο που λέγεται «Προϊόν».

- ❖ **AddProduct()** : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα ένα προϊόν με δυνατότητα ανακατασκευής και καταγράφονται όλα τα χαρακτηριστικά του. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περιορισμούς ώστε να μπορεί να εισαχθούν συγκεκριμένοι τύποι προϊόντων, οι οποίοι θα καθορίζονται από το κράτος.
- ❖ **AddTrace()** : Εδώ εισάγουμε στοιχεία ιχνηλασιμότητας (π.χ. τοποθεσία, χρόνος, διαδρομή) τα οποία αντιστοιχούν σε ένα προϊόν. Ο συνδυασμός των στοιχείων ιχνηλασιμότητας και προϊόντος αποτελεί μια συναλλαγή όπου μπορούμε να εισάγουμε περιορισμούς ώστε να δημιουργείται από συγκεκριμένους χρήστες / ενδιαφερόμενα μέρη.
- ❖ **GetTracesProduct()** : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία λαμβάνουμε τα στοιχεία ιχνηλασιμότητας που αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο προϊόν.
- ❖ **GetHashProduct()** : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία λαμβάνουμε τον αριθμό κατακερματισμού που παράγεται από μια συναλλαγή με βάση τα μοναδικά της χαρακτηριστικά.

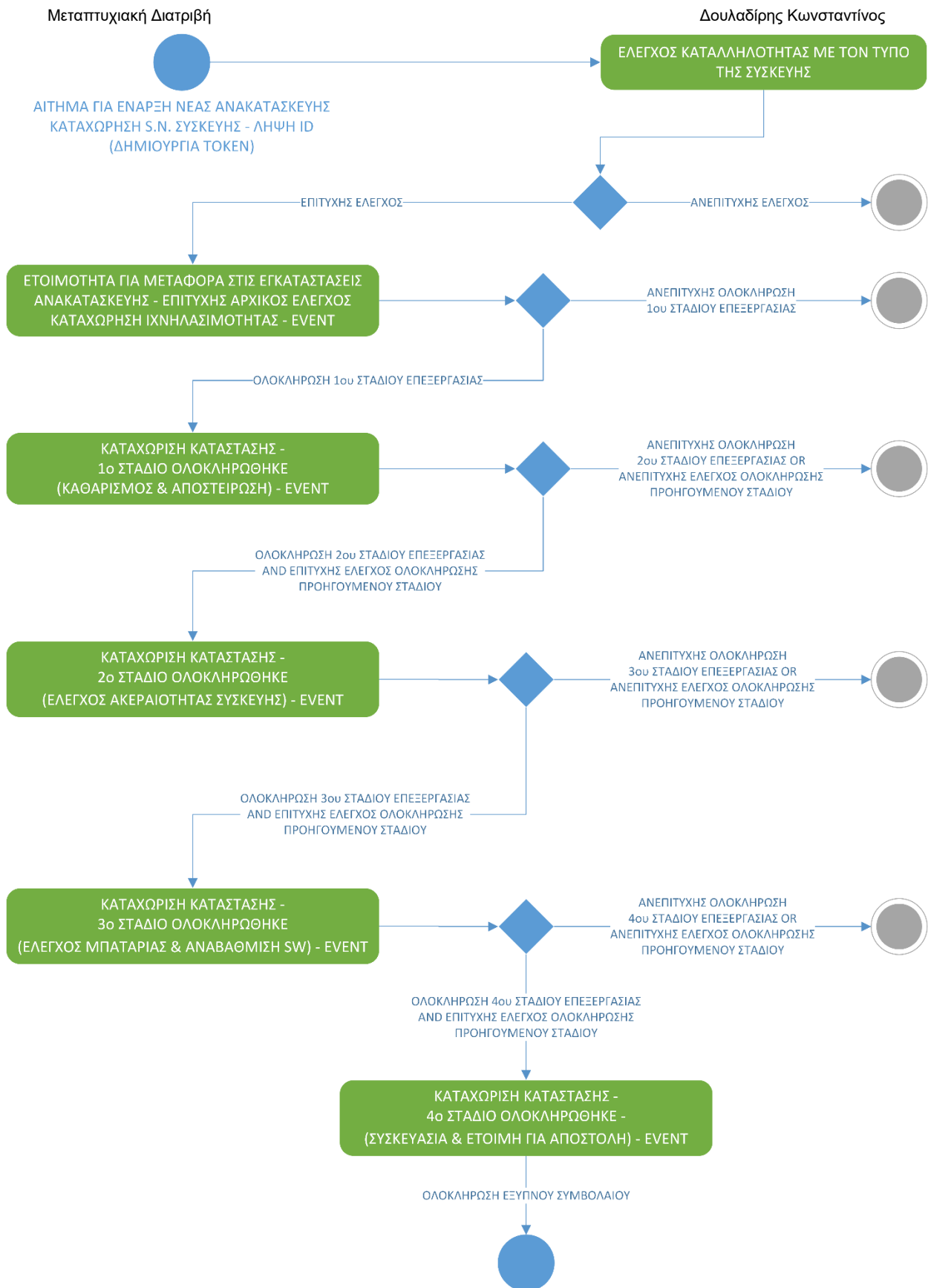
Ενδιαφερόμενα μέρη: Τα ενδιαφερόμενα μέρη και οι ρόλοι του καθενός στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για τους βηματοδότες μπορεί να διαφέρουν. Στο εν λόγω Έξυπνο Συμβόλαιο της περίπτωσης που εξετάζουμε μπορούμε να θεωρήσουμε τους εξής ενδιαφερόμενους: τους πελάτες, τους εμπόρους λιανικής πώλησης, τους κατασκευαστές, τις εταιρείες ανακατασκευής και το κράτος. Ένας βηματοδότης μπορεί να ανακατασκευαστεί μόνο από μια εταιρεία ανακατασκευής. Ο ρόλος που παίζει κάθε ενδιαφερόμενος είναι διαφορετικός. Για παράδειγμα, το κράτος ενεργεί ως ελεγκτής και μπορεί να ελέγξει για τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, τη διαδικασία ανακατασκευής. Τα εγγενή χαρακτηριστικά της τεχνολογίας blockchain δίνουν τη δυνατότητα στους προαναφερθέντες φορείς της ΑΕΑ να διατηρούν μία ασφαλή, μόνιμη και ψηφιακή καταγραφή των συναλλαγών χωρίς αλλοιώσεις και χωρίς την παρέμβαση μιας κεντρικής αξιόπιστης αρχής. Εξάλλου, λόγω του κατακεκομένου χαρακτήρα του, το blockchain μπορεί ταυτόχρονα να εξασφαλίζει τη διαθεσιμότητα και την ανθεκτικότητα του συστήματος διαχείρισης της ΑΕΑ αποτελεσματικά. Αυτό έχει μεγάλη σημασία διότι παρέχεται μια ισχυρή εγγύηση της ακεραιότητας της διαδικασίας για όλες τις διεργασίες ανακατασκευής που πραγματοποιούνται από τρίτους. Επιπλέον κάποια ενδιαφερόμενα μέρη που κατέχουν ρόλο ρυθμιστή, μπορούν να οριστούν απευθείας με τις διευθύνσεις τους και τα ιδιωτικά / δημόσια κλειδιά τους χωρίς να διαθέτουν τα χαρακτηριστικά των υπολοίπων μερών.

Ορίζουμε τις παρακάτω λειτουργίες:

- ❖ AddStakeholder() : Με αυτή τη λειτουργία προσθέτουμε τα ενδιαφερόμενα μέρη (συναλλασσόμενους / χρήστες) στο σύστημα με τα χαρακτηριστικά τους.
- ❖ AddStakeholderProduct() : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία προσθέτουμε ένα συγκεκριμένο προϊόν σε ένα ενδιαφερόμενο μέρος. Γίνεται αντιστοίχιση ενδιαφερομένων μερών και προϊόντων αναλόγως της συναλλαγής που έχει δημιουργηθεί.
- ❖ GetStakeholder() : Με τη συγκεκριμένη λειτουργία λαμβάνουμε το σύνολο των συναλλασσόμενων που είναι καταχωρημένοι στο σύστημα.
- ❖ GetStakeholderProduct() : Με αυτή τη λειτουργία λαμβάνουμε το σύνολο των συναλλασσόμενων που έχουν αντιστοιχηθεί σε ένα προϊόν για μια συγκεκριμένη συναλλαγή.

Χρησιμοποιώντας το Ganache δημιουργήσαμε ένα τοπικό blockchain του Ethereum με κόμβους. Για την μεταγλώττιση και ανάπτυξη των έξυπνων συμβολαίων χρησιμοποιήθηκε το truffle. Μια επισκόπηση των κύριων χαρακτηριστικών τους με τις αλληλεπιδράσεις είναι οι εξής:

Τα έξυπνα συμβόλαια ενσωματώνουν περιορισμούς ελέγχου πρόσβασης, καθώς και λειτουργίες χωρίς περιορισμούς για την ανάκτηση στατιστικών στοιχείων και hashes, που δείχνουν διευρυμένες πληροφορίες για κάθε ενδιαφερόμενο μέρος, διαδικασία και προϊόν. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στο τοπικό blockchain έδειξε ότι ο μέσος χρόνος συναλλαγής είναι τάξης μεγέθους χιλιοστών του δευτερολέπτου, επιτρέποντας την ιχνηλασιμότητα της αντίστροφης εφοδιαστικής σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 7. Διάγραμμα ροής των διαδικασιών

Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών



Εικόνα 8. Διάγραμμα κατασκευής των έξυπνων συμβολαίων

Εφαρμογή της τεχνολογίας blockchain με ιχνηλασιμότητα στην αντίστροφη εφοδιαστική αλυσίδα για την ανακατασκευή ηλεκτρονικών ιατρικών συσκευών

6 ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη

Στη συγκεκριμένη εργασία εξετάσαμε τη λειτουργία ενός πλαισίου εργασίας, βασισμένο σε blockchain, για την ιχνηλασιμότητα ΑΕΑ ηλεκτρονικού ιατρικού εξοπλισμού με δυνατότητα ελέγχου αυτής. Για να δείξουμε ότι η προτεινόμενη αρχιτεκτονική είναι αρκετά ευέλικτη για να φιλοξενήσει σενάρια πολλαπλών περιπτώσεων χρήσης, δημιουργήσαμε μια ψηφιακή αναπαράσταση όλων των απαιτούμενων εργασιών και σταδίων, ώστε να καταστεί εφικτή η επιτυχής ολοκλήρωση της διαδικασίας ανακατασκευής. Για να επιτύχουμε τους στόχους μας, χρησιμοποιήσαμε το blockchain και τα έξυπνα συμβόλαια, ως τα δομικά στοιχεία της αρχιτεκτονικής μας. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε το blockchain ως έναν απαραβίαστο καταναμεμημένο μηχανισμό αλυσίδας καταγραφών, και τα έξυπνα συμβόλαια ως ένα μηχανισμό αυτοματοποιημένης διαχείρισης των ενδιαφερομένων μερών και των διαδικασιών. Το προτεινόμενο πλαίσιο προσφέρει πολλά οφέλη από την άποψη της βελτιωμένης διαχείρισης διεργασιών ΑΕ, της ασφάλειας και της ανθεκτικότητας. Η αποκεντρωμένη και ασφαλής φύση του blockchain διασφαλίζει την ακρίβεια, την αξιοπιστία, την επικαιρότητα και τη χρηστικότητα των ανταλλασσόμενων πληροφοριών της ΕΑ, μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών. Επίσης, δεδομένου ότι βασίζεται σε έξυπνα συμβόλαια, προσφέρει πλήρη αυτοματοποίηση για τη συλλογή, το χειρισμό και την ανάλυση δεδομένων και συμβάντων που σχετίζονται με την ιχνηλασιμότητα για τις διάφορες λειτουργίες και διαδικασίες της ΑΕ. Επιπλέον, το πλαίσιο πληροί τις προϋποθέσεις για την ατομική παρακολούθηση κάθε ανακατασκευασμένης συσκευής (ως διακριτό στοιχείο), σε αντίθεση με την συμβατική εφοδιαστική όπου η ιχνηλασιμότητα πραγματοποιείται με φυσική εξέταση της συσκευασίας του προϊόντος. Επιπλέον, η προσέγγισή μας παρέχει άλλα ποιοτικά οφέλη που ενισχύουν την υιοθέτησή της. Πιο συγκεκριμένα, επιτρέπουμε την καλύτερη δυνατότητα ελέγχου (όσον αφορά τον έλεγχο από εξωτερικούς φορείς), τη μείωση του κόστους και την αυξημένη εμπιστοσύνη. Σε αυτό το πλαίσιο, εντοπίζουμε επίσης οφέλη, όπως χαμηλότερο γενικό κόστος για τη διαχείριση συναλλαγών και βελτιωμένη εκτέλεση παραγγελιών. Ο έλεγχος της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, από εξωτερικούς ενδιαφερόμενους, ενισχύεται περαιτέρω με τη χρήση των έξυπνων συμβολαίων τα οποία συμβάλουν στη δημιουργία ισχυρών δυνατοτήτων ελέγχου. Όσον αφορά τη διαφάνεια, το συγκεκριμένο πλαίσιο βελτιώνει και ενισχύει την ΑΕΑ συνολικά, καθιστώντας τα δεδομένα άμεσα διαθέσιμα σε όλους τους ενδιαφερόμενους. Επιπλέον, παρουσιάζει και άλλα οφέλη, όπως αποτελεσματική διαχείριση αποθήκευσης, δυνατότητα επαλήθευσης και μειωμένη αλληλεπίδραση και επικοινωνία μεταξύ ενδιαφερομένων, χαρακτηριστικά που μεταφράζονται σε αξιοσημείωτη μείωση κόστους και κατανάλωσης ενέργειας. Επιπρόσθετα, προσφέρει νέες ευκαιρίες στα ψηφιακά και φυσικά συστήματα να αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν πληροφορίες με ασφάλεια. Επομένως, μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί και να επεκταθεί σε άλλες δραστηριότητες ΑΕ ηλεκτρονικού ή ιατρικού εξοπλισμού, επιτρέποντας παρόμοιες διαδικασίες.

6.2 Συμπεράσματα

Αν και ο προτεινόμενος μηχανισμός ιχνηλασιμότητας παρουσιάζει πολλά οφέλη για την εφαρμογή της αντίστροφης εφοδιαστικής, πρέπει να επισημανθούν ορισμένοι περιορισμοί. Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά το ότι είναι δημοφιλές, το blockchain είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία με αρκετούς περιορισμούς και τεχνικές λειτουργίες, που δεν είναι καλά κατανοητές σε ολόκληρο τον κλάδο και τον ακαδημαϊκό χώρο. Μεταξύ αυτών, η επεκτασιμότητα είναι μία από τις κύριες προκλήσεις που πρέπει να επιλυθούν. Τα ζητήματα επεκτασιμότητας οφείλονται κυρίως στον χρόνο που απαιτείται για την επιβεβαίωση / επαλήθευση συναλλαγών, η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά για δημοφιλή κρυπτονομίσματα. Επομένως, πρέπει να χρησιμοποιηθούν ιδιωτικά blockchain με δικαιώματα χρήσης, έτσι ώστε να ξεπεραστούν τα ζητήματα επεκτασιμότητας των δημόσιων blockchain. Επιπλέον, στο συγκεκριμένο πλαίσιο, έχουμε εστιάσει στους θεωρητικούς πειραματισμούς της λύσης blockchain, χωρίς να έχουμε αξιολογήσει τη δυνατότητά της να δημιουργήσει αξία σε πραγματικές λειτουργίες ΑΕ. Επομένως, ένα πραγματικό σενάριο θα παρείχε συγκεκριμένα αποδεικτικά στοιχεία σχετικά με την καταλληλότητα

της τεχνολογίας blockchain, στον τομέα της ΑΕ, για να δημιουργήσει αξία και συνεπώς θα αξιολογούνται περαιτέρω αρκετοί από τους τεχνολογικούς της περιορισμούς (επεκτασιμότητα και απόδοση, αποτελεσματικότητα αποθήκευσης εκτός αλυσίδας, εφαρμοσιμότητα σε επιχειρηματικό σενάριο όσον αφορά το κόστος και τα οφέλη, κ.λπ.). Τελευταίο αλλά εξίσου σημαντικό, τα μόνιμα αρχεία ιχνηλασιμότητας στο blockchain δημιουργούν μια αναμφισβήτητη (και πιθανώς αναπόφευκτη) διαφάνεια των διαδικασιών αντίστροφης εφοδιαστικής, οι οποίες μπορεί να μην λειτουργούν πάντα θετικά, ειδικά για τη διαχείριση των προσωπικών δεδομένων που ενδεχομένως περιέχονται στις επιστρεφόμενες ιατρικές συσκευές. Η εγγενής ασφάλεια του blockchain και η σωστή διαχείριση των δικαιωμάτων (σε συνδυασμό με αποθήκευση εκτός αλυσίδας και με κρυπτογραφημένα δεδομένα συναλλαγών), ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο αποκάλυψης δεδομένων και οικονομικών απωλειών, ωστόσο αυτή η αμεταβλητότητα μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο, εάν τα δεδομένα δεν διαχειρίζονται και δεν αποθηκεύονται σωστά. Επομένως, τα εγγενή χαρακτηριστικά του blockchain επιτρέπουν πολλές ευκαιρίες και λειτουργίες του, για τις οποίες πρέπει να γίνει προσεχτική διαχείριση. Επομένως, για μελλοντική εργασία προτείνεται η επέκταση του προτεινόμενου πλαισίου σε πραγματική εφαρμογή, καθώς και στη χρήση των blockchain tokens [96], [97] για τη δημιουργία ενός πιο λεπτομερούς πλαισίου ΑΕ, με λεπτομερέστερη περιγραφή διαδικασιών, απαιτήσεων και προϊόντων καθώς και ενδεχόμενη χρήση μέσων RFID για πλήρως αυτοματοποιημένες λειτουργίες. Επιπλέον, θα πρέπει να μελετηθούν μηχανισμοί για τη διασφάλιση της σωστής διαχείρισης δεδομένων και των επιπτώσεών τους συνολικά στην ΑΕΑ.

7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] D. M. Lambert and M. C. Cooper, "Issues in supply chain management," *Ind. Mark. Manag.*, vol. 29, no. 1, pp. 65–83, 2000.
- [2] K. Butner, "The smarter supply chain of the future," *Strateg. Leadersh.*, vol. 38, no. 1, pp. 22–31, Jan. 2010.
- [3] M. Christopher and M. Holweg, "'Supply Chain 2.0': Managing supply chains in the era of turbulence," *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.*, vol. 41, no. 1, pp. 63–82, Feb. 2011.
- [4] CSCMP, "SUPPLY CHAIN MANAGEMENT TERMS and GLOSSARY," *Transfus. Med. Hemotherapy*, vol. 3, no. 6, pp. 346–352, 2013.
- [5] Πολυχρόπουλος Αναστάσιος, "Επισκόπηση εφαρμογών Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things) στην περίπτωση της διαχείρισης της Εφοδιαστικής Αλυσίδας Αγροτικών Προϊόντων," Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2019.
- [6] H. Zhang, "Research overview of optimization in the process of agricultural products green logistics," *Chinese Bus. Trade*, no. 33, pp. 126–127, 2011.
- [7] F. Tian, "An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology," *2016 13th Int. Conf. Serv. Syst. Serv. Manag. ICSSSM 2016*, pp. 1–6, 2016.
- [8] F. Marinello, M. Atzori, L. Lisi, D. Boscaro, and A. Pezzuolo, "Development of a traceability system for the animal product supply chain based on blockchain technology," *Precis. Livest. Farming 2017 - Pap. Present. 8th Eur. Conf. Precis. Livest. Farming, ECPLF 2017*, no. September, pp. 258–268, 2017.
- [9] F. Mohebalizadehgashti, H. Zolfagharinia, and S. H. Amin, "Designing a green meat supply chain network: A multi-objective approach," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 219, pp. 312–327, Jan. 2020.
- [10] R. Adland, H. Jia, and S. P. Strandenes, "The determinants of vessel capacity utilization: The case of Brazilian iron ore exports," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 110, pp. 191–201, Apr. 2018.
- [11] A. Jakubovskis, "Flexible production resources and capacity utilization rates: A robust optimization perspective," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 189, pp. 77–85, Jul. 2017.
- [12] S. Malik, S. S. Kanhere, and R. Jurdak, "ProductChain: Scalable blockchain framework to support provenance in supply chains," in *NCA 2018 - 2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications*, 2018.
- [13] Q. Lin, H. Wang, X. Pei, and J. Wang, "Food Safety Traceability System Based on Blockchain and EPCIS," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 20698–20707, 2019.
- [14] S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System," 2008. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [15] M. Kouhizadeh and J. Sarkis, "Blockchain practices, potentials, and perspectives in greening supply chains," *Sustain.*, vol. 10, no. 10, 2018.
- [16] S. Ølnes, J. Ubacht, and M. Janssen, "Blockchain in government: Benefits and implications of distributed ledger technology for information sharing," *Government Information Quarterly*, vol. 34, no. 3. Elsevier Ltd, pp. 355–364, 01-Sep-2017.
- [17] A. J. Sulkowski, "Blockchain, Law, and Business Supply Chains: The Need for Governance and Legal Frameworks to Achieve Sustainability," *SSRN Electron. J.*, Jul. 2018.
- [18] J. A. F. Castellanos, D. Coll-Mayor, and J. A. Notholt, "Cryptocurrency as guarantees of origin: Simulating a green certificate market with the Ethereum Blockchain," in *2017 5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering, SEGE 2017*, 2017, pp. 367–372.
- [19] G. Hileman and M. Rauchs, "2017 Global Blockchain Benchmarking Study," *SSRN Electron. J.*, Apr. 2018.

- [20] S. Underwood, "Blockchain beyond bitcoin," *Commun. ACM*, vol. 59, no. 11, pp. 15–17, Oct. 2016.
- [21] M. Vukolić, "The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. bft replication," in *Open Problems in Network Security*, J. Camenisch and D. Kesdoğan, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 112–125.
- [22] M. del Castillo, "Walmart, kroger & nestle team with ibm blockchain to fight food poisoning." 2017.
- [23] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken, and E. J. Hultink, "The Circular Economy – A new sustainability paradigm?," *Journal of Cleaner Production*, vol. 143. Elsevier Ltd, pp. 757–768, 01-Feb-2017.
- [24] C. R. Carter and P. L. Easton, "Sustainable supply chain management: Evolution and future directions," *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 41, no. 1. Emerald Group Publishing Limited, pp. 46–62, Feb-2011.
- [25] S. K. Srivastava, "Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review," *Int. J. Manag. Rev.*, vol. 9, no. 1, pp. 53–80, Mar. 2007.
- [26] P. Ahi and C. Searcy, "A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management," *J. Clean. Prod.*, vol. 52, pp. 329–341, Aug. 2013.
- [27] J. Elkington, "Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business," *Environ. Qual. Manag.*, vol. 8, no. 1, pp. 37–51, 1998.
- [28] T. Voituriez, K. Morita, T. Giordano, N. Bakkour, and N. Shimizu, "Financing the 2030 agenda for sustainable development," *Governing Through Goals: Sustainable Development Goals as Governance Innovation*, vol. 16301, no. October. United Nations, pp. 259–273, 2017.
- [29] L. C. Giunipero, R. E. Hooker, and D. Denslow, "Purchasing and supply management sustainability: Drivers and barriers," *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 18, no. 4, pp. 258–269, Dec. 2012.
- [30] H. Min and I. Kim, "Green supply chain research: Past, present, and future," *Logistics Research*, vol. 4, no. 1–2. Springer, pp. 39–47, 18-Mar-2012.
- [31] W. Song, Z. Xu, and H. C. Liu, "Developing sustainable supplier selection criteria for solar air-conditioner manufacturer: An integrated approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 79. Elsevier Ltd, pp. 1461–1471, 01-Nov-2017.
- [32] D. Reinert, C. Busse, and S. M. Wagner, "Using Country Sustainability Risk to Inform Sustainable Supply Chain Management: A Design Science Study," *J. Bus. Logist.*, vol. 40, no. 3, pp. 241–264, Sep. 2019.
- [33] K. Govindan, S. Rajendran, J. Sarkis, and P. Murugesan, "Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: A literature review," *J. Clean. Prod.*, vol. 98, pp. 66–83, Jul. 2015.
- [34] K. Foerstl, J. Meinel, and C. Busse, "It's a match! Choosing information processing mechanisms to address sustainability-related uncertainty in sustainable supply management," *J. Purch. Supply Manag.*, vol. 24, no. 3, pp. 204–217, Jun. 2018.
- [35] J. H. Grimm, J. S. Hofstetter, and J. Sarkis, "Exploring sub-suppliers' compliance with corporate sustainability standards," *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 1971–1984, Jan. 2016.
- [36] N. Egels-Zandén and E. Wahlqvist, "Post-partnership strategies for defining corporate responsibility: The business social compliance initiative," *J. Bus. Ethics*, vol. 70, no. 2, pp. 175–189, Jan. 2007.
- [37] M. Dobrovnik, D. Herold, E. Fürst, and S. Kummer, "Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start," *Logistics*, vol. 2, no. 3, p. 18, Sep. 2018.
- [38] C. Favi, M. Germani, M. Mandolini, and M. Marconi, "Implementation of a software platform to support an eco-design methodology within a manufacturing firm," *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 79–96, Mar. 2018.
- [39] X. Li, P. Jiang, T. Chen, X. Luo, and Q. Wen, "A survey on the security of blockchain

- systems,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 107, pp. 841–853, Jun. 2020.
- [40] A. Chaudhuri, I. Dukovska-Popovska, N. Subramanian, H. K. Chan, and R. Bai, “Decision-making in cold chain logistics using data analytics: a literature review,” *International Journal of Logistics Management*, vol. 29, no. 3. Emerald Group Publishing Ltd., pp. 839–861, 13-Aug-2018.
- [41] M. A. J. Huijbregts *et al.*, “Framework for modelling data uncertainty in life cycle inventories,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 6, no. 3, pp. 127–132, 2001.
- [42] S. Muller, C. Mutel, P. Lesage, and R. Samson, “Effects of Distribution Choice on the Modeling of Life Cycle Inventory Uncertainty: An Assessment on the Ecoinvent v2.2 Database,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 22, no. 2, pp. 300–313, Apr. 2018.
- [43] A. Moreno, F. Cappellaro, P. Masoni, and A. Amato, “Application of Product Data Technology Standards to LCA Data,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 15, no. 4, pp. 483–495, Aug. 2011.
- [44] K. Francisco and D. Swanson, “The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency,” *Logistics*, vol. 2, no. 1, p. 2, Jan. 2018.
- [45] J. Steiner and J. Baker, “Blockchain: the solution for supply chain transparency | Provenance,” 2015. [Online]. Available: <https://www.provenance.org/whitepaper>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [46] K. Peattie, “Towards Sustainability: The Third Age of Green Marketing,” *Mark. Rev.*, vol. 2, no. 2, pp. 129–146, Nov. 2004.
- [47] C. Groening, J. Sarkis, and Q. Zhu, “Green marketing consumer-level theory review: A compendium of applied theories and further research directions,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 172. Elsevier Ltd, pp. 1848–1866, 20-Jan-2018.
- [48] P.-C. Chen and H. Ma, “Using an Industrial Waste Account to Facilitate National Level Industrial Symbioses by Uncovering the Waste Exchange Potential,” *J. Ind. Ecol.*, vol. 19, no. 6, pp. 950–962, Dec. 2015.
- [49] A. Heiskanen, “The technology of trust: How the Internet of Things and blockchain could usher in a new era of construction productivity,” *Constr. Res. Innov.*, vol. 8, no. 2, pp. 66–70, Apr. 2017.
- [50] C. M. Rose and J. A. Stegemann, “Characterising existing buildings as material banks (E-BAMB) to enable component reuse,” *Proc. Inst. Civ. Eng. - Eng. Sustain.*, vol. 172, no. 3, pp. 129–140, May 2019.
- [51] A. Urbinati, D. Chiaroni, and V. Chiesa, “Towards a new taxonomy of circular economy business models,” *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 487–498, Dec. 2017.
- [52] H. El Hachimi, M. Oubrich, and O. Souissi, “The optimization of Reverse Logistics activities: A Literature Review and Future Directions,” in *2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions, ICTMOD 2018*, 2018, pp. 18–24.
- [53] A. G. Bumpus and D. M. Liverman, “Accumulation by Decarbonization and the Governance of Carbon Offsets,” *Econ. Geogr.*, vol. 84, no. 2, pp. 127–155, Apr. 2008.
- [54] B. Fu, Z. Shu, and X. Liu, “Blockchain Enhanced Emission Trading Framework in Fashion Apparel Manufacturing Industry,” *Sustainability*, vol. 10, no. 4, p. 1105, Apr. 2018.
- [55] C. A. Challener, “Need for Supply Chain Transparency is Acute.”
- [56] I. Madanhire and C. Mbohwa, “Enterprise Resource Planning (ERP) in Improving Operational Efficiency: Case Study,” in *Procedia CIRP*, 2016, vol. 40, pp. 225–229.
- [57] S. A. Abeyratne and R. P. Monfared, “BLOCKCHAIN READY MANUFACTURING SUPPLY CHAIN USING DISTRIBUTED LEDGER,” *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 05, no. 09, pp. 1–10, Sep. 2016.
- [58] C. C. Y. Chow, “Blockchain for Good? Improving supply chain transparency and human rights management.” 2018.
- [59] S. Mann, V. Potdar, R. S. Gajavilli, and A. Chandan, “Blockchain technology for supply

- chain traceability, transparency and data provenance,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, 2018, pp. 22–25.
- [60] J. Premanandh, “Horse meat scandal—a wake-up call for regulatory authorities,” *Food Control*, vol. 34, no. 2, pp. 568–569, 2013.
- [61] Q. Lu and X. Xu, “Adaptable Blockchain-Based Systems: A Case Study for Product Traceability,” *IEEE Softw.*, vol. 34, no. 6, pp. 21–27, 2017.
- [62] “The challenges of global gold across the supply chain - in pictures | Guardian Sustainable Business | The Guardian,” 2013. [Online]. Available: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/gallery/challenges-global-gold-supply-chain-pictures>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [63] “Emergent Technology™ And Yamana Gold To Improve Gold Supply Chain,” 2018. [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/emergent-technology-and-yamana-gold-to-improve-gold-supply-chain-300596816.html>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [64] J. F. Galvez, J. C. Mejuto, and J. Simal-Gandara, “Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis,” *TrAC - Trends Anal. Chem.*, vol. 107, pp. 222–232, 2018.
- [65] S. G. C., “Integrating the Supply Chain,” *Int. J. Phys. Distrib. & Mater. Manag.*, vol. 19, no. 8, pp. 3–8, Jan. 1989.
- [66] M. T. Islam and N. Huda, “Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 137, pp. 48–75, 2018.
- [67] M. T. Islam *et al.*, “A public survey on knowledge, awareness, attitude and willingness to pay for WEEE management: Case study in Bangladesh,” *J. Clean. Prod.*, vol. 137, pp. 728–740, Nov. 2016.
- [68] I. C. Nnorom and O. Osibanjo, “Electronic waste (e-waste): Material flows and management practices in Nigeria,” *Waste Management*, vol. 28, no. 8. Pergamon, pp. 1472–1479, 01-Jan-2008.
- [69] H. Chen and H. He, “Reverse Logistics Demand Forecasting under Demand Uncertainty,” in *ICLEM 2010*, 2010, vol. 387, pp. 343–348.
- [70] J. Li, B. Tian, T. Liu, H. Liu, X. Wen, and S. Honda, “Status quo of e-waste management in mainland China,” *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–20, Mar. 2006.
- [71] E. Iacovidou *et al.*, “A pathway to circular economy: Developing a conceptual framework for complex value assessment of resources recovered from waste,” *J. Clean. Prod.*, vol. 168, pp. 1279–1288, Dec. 2017.
- [72] S. Chopra and P. Meindl, “Supply Chain Management. Strategy, Planning & Operation,” in *Das Summa Summarum des Management*, Gabler, 2007, pp. 265–275.
- [73] H. Abbas and J. Farooque, *Return and Disposal of Unused Medicines: A Customer Perspective of Reverse Logistics*. 2018.
- [74] D. Weraikat, M. K. Zanjani, and N. Lehoux, “Coordinating a green reverse supply chain in pharmaceutical sector by negotiation,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 93, pp. 67–77, Mar. 2016.
- [75] S. A. Narayana, A. A. Elias, and R. K. Pati, “Reverse logistics in the pharmaceuticals industry: A systemic analysis,” in *International Journal of Logistics Management*, 2014, vol. 25, no. 2, pp. 379–398.
- [76] E. A. R. de Campos, I. C. de Paula, R. N. Pagani, and P. Guarnieri, “Reverse logistics for the end-of-life and end-of-use products in the pharmaceutical industry: a systematic literature review,” *Supply Chain Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 375–392, 2017.
- [77] Nick Szabo, “Smart Contracts,” 1994. .
- [78] “What Is Ethereum?” [Online]. Available: <https://www.cbinsights.com/research/what-is-ethereum/>. [Accessed: 28-Apr-2020].
- [79] V. Buterin, “A NEXT GENERATION SMART CONTRACT & DECENTRALIZED

- APPLICATION PLATFORM,” *Ethereum Proj. White Pap.*, pp. 1–36, 2014.
- [80] M. Westerkamp, V. Friedhelm, and A. Kupper, “Blockchain-based Supply Chain Traceability: Token Recipes model Manufacturing Processes,” in *2018 IEEE International Conference on Blockchain, At Halifax, Canada*, 2018.
- [81] G. Wood, “ETHEREUM: A SECURE DECENTRALISED GENERALISED TRANSACTION LEDGER.” 2014.
- [82] Nick Szabo, “Formalizing and Securing Relationships on Public Networks,” *First Monday*, vol. 2, no. 9, 1997.
- [83] M. Kim, B. Hilton, Z. Burks, and J. Reyes, “Integrating Blockchain, Smart Contract-Tokens, and IoT to Design a Food Traceability Solution,” *2018 IEEE 9th Annu. Inf. Technol. Electron. Mob. Commun. Conf. IEMCON 2018*, no. Figure 1, pp. 335–340, 2019.
- [84] T. K. Dasaklis, F. Casino, and C. Patsakis, “Defining granularity levels for supply chain traceability based on IoT and blockchain,” in *International conference on omni-layer intelligent systems (COINS), May 5--7, 2019, Crete, Greece. Article in press.*
- [85] F. Casino, V. Kanakaris, T. K. Dasaklis, S. Moschouris, and N. Rachaniotis, “Modelling food supply chain traceability based on blockchain technology,” *9th IFAC Conf. Manuf. Model. Manag. Control. Berlin, Ger. 28-30, August, 2019. Artic. Press.*, 2018.
- [86] R. Casado-Vara, J. Prieto, F. De la Prieta, and J. M. Corchado, “How blockchain improves the supply chain: case study alimentary supply chain,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 134, pp. 393–398, 2018.
- [87] F. Tian, “An information System for Food Safety Monitoring in Supply Chains based on HACCP, Blockchain and Internet of Things,” *Ph.D. thesis*, Feb. 2018.
- [88] R. Bettín-Díaz, A. E. Rojas, and C. Mejía-Moncayo, *Methodological approach to the definition of a blockchain system for the food industry supply chain traceability*, vol. 10961 LNCS. 2018.
- [89] M. P. Caro, M. S. Ali, M. Vecchio, and R. Giaffreda, “Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation,” *2018 IoT Vert. Top. Summit Agric. - Tuscany, IOT Tuscany 2018*, pp. 1–4, 2018.
- [90] M. M. Aung and Y. S. Chang, “Traceability in a food supply chain: Safety and quality perspectives,” *Food Control*, vol. 39, pp. 172–184, May 2014.
- [91] M. P. Caro, M. S. Ali, M. Vecchio, and R. Giaffreda, “Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation,” in *2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany, IOT Tuscany 2018*, 2018, pp. 1–4.
- [92] T. K. Dasaklis, F. Casino, and C. Patsakis, “A traceability and auditing framework for electronic equipment reverse logistics based on blockchain : the case of mobile phones,” Piraeus, Greece, 2019.
- [93] Ι. Παντος, Ε. Π. Ευσταθοπουλος, and Δ. Γ. Κατρισης, “Άρθρο Ανασκόπησης Επαναχρησιμοποίηση Συσκευών Στην Καρδιολογία: Ανάγκη Για Επανεκτίμηση,” *Ελληνική Καρδιολογική Επιθεώρηση*, no. 54, pp. 165–171, 2013.
- [94] WHO, “Decommissioning Medical Devices,” World Health Organization, Geneva, 2019.
- [95] COCIR, “Medical Electrical Equipment : Good Refurbishment Practice (GRP),” 2009.
- [96] M. Westerkamp, F. Victor, and A. Kupper, “Tracing manufacturing processes using blockchain-based token compositions,” *Digit. Commun. Networks*, 2019.
- [97] T. K. Dasaklis, F. Casino, C. Patsakis, and C. Douligeris, “A Framework for Supply Chain Traceability Based on Blockchain Tokens,” in *International Conference on Business Process Management*, 2019.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΚΩΔΙΚΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΕ SOLIDITY

```

pragma solidity ^0.5.0;
pragma experimental ABIEncoderV2;

import "./Processes_medicine.sol";
import "./Stakeholders.sol";

contract Reverse_Logistics_Medicine{

    struct Product {
        uint id;
        string name;
        uint quantity;
        string others;
        uint numberoftraces;
        uint numberofcomponents;
        uint [] tracesProduct; // το ID της ιχνηλάτισης
        uint [] componentsProduct;
        address maker; // αυτός που ενημερώνει το σύστημα
        string globalId;
        bytes32 hashIPFS; // περιγραφή κατασκευής (σειριακός αριθμός)
        bool ship_ready; // ένδειξη ολοκλήρωσης και ετοιμότητας προς αποστολή
    }

    mapping(uint => Product) private products;

    struct Trace {
        uint id;
        uint id_product;
        string location;
        string temp_owner; // ο διανομέας ή το εργαστήριο ανακατασκευής
        uint timestamp;
        address maker; // αυτός που ενημερώνει το σύστημα
    }

    mapping(uint => Trace) private traces;

    uint private productsCount;
    uint private tracesCount;

    //καθορισμός των διευθύνσεων των εμπλεκόμενων μερών
    address constant public customer = 0xE0f5206BBD039e7b0592d8918820024e2a7437b9;

```

```

address constant public wholesaler = 0xE0F5206bbd039E7B0592D8918820024E2a743445;
address constant public distributor = 0xE0F5206bbd039e7b0592d8918820024E2A743222;
address constant public manufacturer = 0x50e00dE2c5cC4e456Cf234FCb1A0eFA367ED016
E;
address constant public government = 0x1533234Bd32f59909E1D471CF0C9BC80C92c97d
2;
address constant public refurbisher = 0x395BE1C1Eb316f82781462C4C028893e51d8b2a5;

bool private triggered;
bool private delivery;
bool private received;

event triggeredEvent (); // Αποδοχή νέας παραγγελίας
event deliveryEvent ();
event receivedEvent ();
event updateEvent ();

constructor () public { // Δημιουργούμε μια παραγγελία. Ο αύξων αριθμός ξεκινάει με id=1
    addProduct("Example",200, "Delivey in 3 days","5400AA","ADDeFFtt45045594xxE3948");
    addTrace(1,"some coordinates", "name or address of actual owner",1573564413);
    triggered=false;
    delivery=false;
    received=false;
}

// ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΪΟΝ

function addProduct (string memory _name, uint _quantity, string memory _others, string me
mory _globalID, bytes32 _hashIpfs) private {
    //require(msg.sender==vendor);
    require(keccak256(abi.encodePacked((_name))) == keccak256(abi.encodePacked(("Type-
A"))) ||
        keccak256(abi.encodePacked((_name))) == keccak256(abi.encodePacked(("Type-
B"))) ||
        keccak256(abi.encodePacked((_name))) == keccak256(abi.encodePacked(("Type-
C"))));

    productsCount ++; // Προσθέτει τον αύξοντα αριθμό όπου αντιπροσωπεί το ID
    products[productsCount].id = productsCount;
    products[productsCount].name = _name;
    products[productsCount].quantity = _quantity;
    products[productsCount].others = _others;
    products[productsCount].numberoftraces = 0;
    products[productsCount].numberofcomponents = 0;
    products[productsCount].maker = msg.sender;
    products[productsCount].globalId = _globalID;
    products[productsCount].hashIPFS = _hashIpfs;

```



```

}

function getNumberOfProducts () public view returns (uint){
    //require(msg.sender==customer || msg.sender==wholesaler || msg.sender==distributor);

    return productsCount;
}

function UpdateProduct (uint _productId, string memory _others) public {
    //require(msg.sender==wholesaler || msg.sender==distributor);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);

    products[_productId].others = _others; // αλλαγή κατάστασης
    emit updateEvent();
}

// Έλεγχος για το περιεχόμενο του συμβολαίου
function getProduct (uint _productId) public view returns (Product memory) {
    //require(msg.sender==wholesaler || msg.sender==customer);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);

    return products[_productId];
}

function getProductGlobalID (uint _productId) public view returns (string memory) {
    //require(msg.sender==customer);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);

    return products[_productId].globalId;
}

function getProductHistoric (uint _productId) public view returns (bytes32) {
    //require(msg.sender==customer);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);

    return products[_productId].hashIPFS;
}

// ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΙΧΝΗΛΑΤΙΣΗ

function addTrace (uint _productId, string memory _location, string memory _temp_owner, ui
nt _timestamp) public {
    //require(msg.sender==wholesaler || msg.sender==distributor);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);

```

```

    tracesCount++; // Προσθέτει τον αύξοντα αριθμό όπου αντιπροσωπεί το ID
    traces[tracesCount] = Trace(tracesCount, _productId, _location, _temp_owner, _timestamp,
msg.sender);
    products[_productId].tracesProduct.push(tracesCount);
    products[_productId].numberoftraces++;
    emit updateEvent();
}

function getNumberOfTraces () public view returns (uint) {
    //require(msg.sender==customer || msg.sender==wholesaler || msg.sender==distributor);

    return tracesCount;
}

function getTrace (uint _traceld) public view returns (Trace memory) {
    //require(msg.sender==customer );
    require(_traceld > 0 && _traceld <= tracesCount);
    return traces[_traceld];
}

function getNumberOfTracesProduct (uint _productId) public view returns (uint) {
    //require(msg.sender==customer || msg.sender==wholesaler || msg.sender==distributor);
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);
    return products[_productId].numberoftraces;
}

function getTracesProduct (uint _productId) public view returns (uint [] memory) {
    //require(msg.sender==customer );
    require(_productId > 0 && _productId <= productsCount);
    return products[_productId].tracesProduct;
}

function retrieveHashProduct (uint _productId) public view returns (bytes32){
    //computehash according to unique characteristics
    // hash has to identify a unique transaction so timestamp and locations and products shoul
d be used.
    // this example hashes a transaction as a whole.
    return keccak256(abi.encodePacked(block.number,msg.data, products[_productId].id, prod
ucts[_productId].name, products[_productId].quantity, products[_productId].others, products[_pr
oductId].numberoftraces, products[_productId].numberofcomponents, products[_productId].mak
er));
}

function triggerContract () public {
    //require(msg.sender==customer);
    triggered=true;
    emit triggeredEvent();
}

```

```

}

function deliverOrder () public {
    //require(msg.sender==wholesaler);
    delivery=true;
    emit deliveryEvent();
}

function receivedOrder () public {
    //require(msg.sender==customer);
    received=true;
    emit receivedEvent();
}

function updateNumberOfProcesses (address addr) public view returns (uint){

    Processes_medicine p = Processes_medicine(addr);
    return p.getNumberOfProcesses();
}

function updateNumberOfStakeholders (address addr) public view returns (uint){

    Stakeholders s = Stakeholders(addr);
    return s.getNumberOfStakeholders();
}

// Καθιστά το προϊόν έτοιμο προς αποστολή ως ένδειξη ολοκλήρωσης της ανακατασκευής
Processes_medicine public ps;
function setReadyForShipment (uint _productId) public { //view returns (uint){
    uint temp_index;
    //Ελέγχουμε αν η λειτουργία "getComplete" του άλλου συμβολαίου επιστρέφει το id της τελ
    ευταίας διαδικασίας για το συγκεκριμένο productId εφόσον σε αυτή έχει δηλωθεί η ένδειξη "ολοκ
    ληρωμένη"
    temp_index = ps.getComplete(_productId);
    require (temp_index > 0 && _productId > 0 && _productId <= productsCount);
    products[_productId].ship_ready = true;
    emit updateEvent();
    // return temp_index;
}

}

-----
pragma solidity ^0.5.0;
pragma experimental ABIEncoderV2;

```

```

contract Processes_medicine{

    struct Process {
        uint id; //
        string name;
        uint timestamp;
        string description;
        bool active;
        bool complete;
        address maker;
        string hashIPFS;
        uint involvedproduct;
    }

    mapping(uint => Process) private processChanges; //

    uint private productsCount;
    uint private pedigreeCount;
    uint private processCount;
    uint private stakeholdersCount;

    event updateEvent ();

    event changeStatusEvent ();

    event changeStateEvent ();

    address constant public stakeholder = 0xE0f5206BBD039e7b0592d8918820024e2a7437b9;
    address constant public stakeholder2 = 0xE0F5206bbd039e7b0592d8918820024E2A743222
;

    constructor (uint _time_stamp, uint _involved_product) public { // Εισαγωγή νέων διαδικασιών
στο σύστημα. Μετράμε άυξοντα αριθμό από το id=1.
        addProcess("1st_check",_time_stamp,"first check and estimation before sent to refurbish c
enter",_involved_product);
        addProcess("Cleaning",_time_stamp,"cleaning and sterilizing in refurbish center",_involved
_product);
        addProcess("Integrity_check",_time_stamp,"device optical check for structural integrity",_in
volved_product);
        addProcess("SW_update_check",_time_stamp,"software updates and battery check",_invo
lved_product);
        addProcess("Packaging",_time_stamp,"device packaging ready for shipment",_involved_pr
oduct);
    }

    function addProcess (string memory _name, uint _timestamp, string memory _description, uin
t _involvedproduct) public {

```

```

    processCount++;
    processChanges[processCount].id = processCount;
    processChanges[processCount].name = _name;
    processChanges[processCount].timestamp = _timestamp;
    processChanges[processCount].description = _description;
    processChanges[processCount].active = false;
    processChanges[processCount].complete = false;
    processChanges[processCount].maker = msg.sender;
    processChanges[processCount].involvedproduct = _involvedproduct;
    emit updateEvent();
}

function changeStatus (uint _id, bool _active) public {
    require(_id > 0 && _id <= processCount);
    processChanges[processCount].active = _active;
    emit changeStatusEvent();
}

function changeState (uint _id, bool _complete) public {
    require(_id > 0 && _id <= processCount);

    // Ελέγχουμε αν πληρούνται οι προϋποθέσεις για να δηλωθεί ως ολοκληρωμένη μια διαδικ
    // ασία
    require(processChanges[_id-
1].complete == true || keccak256(abi.encodePacked((processChanges[_id].name))) == keccak
256(abi.encodePacked("1st_check"))) );
    processChanges[processCount].complete = _complete;
    emit changeStateEvent(); // trigger event
}

function getProcessProduct (uint _id) public view returns (uint) {
    require(_id > 0 && _id <= processCount);
    require(msg.sender == processChanges[_id].maker);
    return processChanges[_id].involvedproduct;
}

function getProcess (uint _processId) public view returns (Process memory) {
    require(_processId > 0 && _processId <= processCount);
    require(msg.sender==processChanges[_processId].maker);
    return processChanges[_processId];
}

function getNumberOfProcesses () public view returns (uint){
    return processCount;
}

```

```

function getComplete (uint _productId) public view returns (uint) {
    // Η διαδικασία ανακατασκευής έχει ολοκληρωθεί μόνο αν η τελευταία διαδικασία ονόματι "
    packaging" έχει ολοκληρωθεί
    uint index;
    for (index = 1; index <= processCount; index++) {
        if ( keccak256(abi.encodePacked((processChanges[index].name))) == keccak256(abi.enc
odePacked("Packaging"))) && processChanges[index].complete == true && processChanges[i
ndex].involvedproduct == _productId && processChanges[index].maker == msg.sender) {
            return index; // Λαμβάνουμε το process id της διαδικασίας "packaging" για το συγκεκρι
μένο productid
        }
    }
}
}

```

```

pragma solidity ^0.5.0;

```

```

pragma experimental ABIEncoderV2;

```

```

contract Stakeholders{

```

```

    struct Stakeholder{
        uint id;
        string name;
        uint timestamp;
        uint [] involvedproducts;
        string description;
        address maker;
        bool active;
        string hashIPFS;
    }

```

```

    mapping(uint => Stakeholder) private stakeholderChanges;

```

```

    uint private productsCount;
    uint private stakeholderCount;

```

```

    event updateEvent ();

```

```

    event changeStatusEvent ();

```

```

    address constant public stakeholder = 0xE0f5206BBD039e7b0592d8918820024e2a7437b9;
    address constant public stakeholder2 = 0xE0F5206bbd039e7b0592d8918820024E2A743222

```

```

;

```

```

constructor () public {
    addStakeholder("Manufacturer",1573564413,"Manufactures medical devices. ");
}

function addStakeholder (string memory _name, uint _timestamp, string memory _description
) public {

    stakeholderCount++;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].id = stakeholderCount;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].name = _name;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].timestamp = _timestamp;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].description = _description;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].active = true;
    stakeholderChanges[stakeholderCount].maker = msg.sender;
    emit updateEvent();
}

function addStakeholderProduct(uint _id) public {
    stakeholderChanges[stakeholderCount].involvedproducts.push(_id);
    emit updateEvent();
}

function getStakeholdersProduct (uint _id) public view returns (uint [] memory) {
    require(_id > 0 && _id <= stakeholderCount);
    require(msg.sender == stakeholderChanges[_id].maker);
    return stakeholderChanges[_id].involvedproducts;
}

function changeStatus (uint _id, bool _active) public {
    require(_id > 0 && _id <= stakeholderCount);
    stakeholderChanges[stakeholderCount].active = _active;
    emit changeStatusEvent();
}

function getStakeholder (uint _id) public view returns (Stakeholder memory) {
    require(_id > 0 && _id <= stakeholderCount);
    require(msg.sender == stakeholderChanges[_id].maker);
    return stakeholderChanges[_id];
}

function getNumberOfStakeholders () public view returns (uint){
    return stakeholderCount;
}
}

```