



Π5. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΡΙΣΤΕΙΑ

SUB1.1: Συμπράξεις Ερευνητικής Αριστείας / Clusters of Research Excellence (CREs) - ΟΠΣ ΤΑ 5180519

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ

«Καινοτόμα Πλατφόρμα Ηλεκτρονικού Επανεμπορίου βασισμένη στην Τεχνολογία Blockchain για την Ενίσχυση του Κυκλικού και Βιώσιμου Μοντέλου Οικονομίας στη Βιομηχανία της Μόδας»

ΑΚΡΩΝΥΜΙΟ: REFASHION

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ ΣΤΟ ΠΣΚΕ: ΥΠ3ΤΑ-0560500



Cyclefi



E.K.A.N.
HELLENIC RECYCLING CENTER S.A.

NEO
TEXTILE

ΑΘΗΝΑ 2025

The present research is carried out within the framework of the National Recovery and Resilience Plan Greece 2.0, funded by the European Union – NextGenerationEU – Project Code: TAEDR-0560500 - Acronym: REFASHION).

Η παρούσα έρευνα υλοποιείται στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας «Ελλάδα 2.0», με χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση – NextGenerationEU – Κωδικός Έργου: TAEDR-0560500 – Ακρωνύμιο: REFASHION

Ελλάδα 2.0 ΕΘΝΙΚΟ ΕΘΝΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΑΝΑΚΑΜΨΗΣ και ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Συμπράξεις Ερευνητικής Αριστείας – ΣΕΑ

ΕΡΓΟ: «Καινοτόμα Πλατφόρμα Ηλεκτρονικού Επανεμπορίου βασισμένη στην Τεχνολογία Blockchain για την Ενίσχυση του Κυκλικού και Βιώσιμου Μοντέλου Οικονομίας στη Βιομηχανία της Μόδας»

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ: ΥΠ3ΤΑ-0560500

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π5: ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΡΙΣΤΕΙΑ

Διάρκεια Έργου:	15 μήνες
Ημερομηνία Παράδοσης:	30/09/2025
Υπεύθυνος Παραδοτέου:	ΕΜΠ - ΕΕΕΕ
Επίπεδο Διάχυσης:	Δημόσιο
Τρέχουσα Κατάσταση Παραδοτέου:	Τελικό
Έκδοση:	F
Ιστοσελίδα Έργου:	https://refashion.cyclefi.com/

ΦΟΡΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ:



E.K.A.N.
HELLENIC RECYCLING CENTER S.A.

NEO
TEXTILE

ΑΘΗΝΑ 2025

The present research is carried out within the framework of the National Recovery and Resilience Plan Greece 2.0, funded by the European Union – NextGenerationEU – Project Code: TAEDR-0560500 - Acronym: REFASHION).

Η παρούσα έρευνα υλοποιείται στο πλαίσιο του Εθνικού Σχεδίου Ανάκαμψης και Ανθεκτικότητας «Ελλάδα 2.0», με χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση – NextGenerationEU – Κωδικός Έργου: TAEDR-0560500 – Ακρωνύμιο: REFASHION

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	8
Κατάλογος Εικόνων	9
1. Εισαγωγή.....	10
2. Διαχείριση απορριμμάτων από τη βιομηχανία μόδας – Παγκόσμια επισκόπηση	12
2.1 Έκταση και χαρακτηριστικά του προβλήματος	12
2.2 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις.....	13
2.2.1 Κλιματικές επιπτώσεις	13
2.2.2 Επιπτώσεις σε νερό, ρύπανση και μικροπλαστικά.....	14
2.2.3 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στους φυσικούς πόρους	14
2.2.4 Κοινωνικές επιπτώσεις και περιβαλλοντική δικαιοσύνη	15
2.3 Στρατηγικές κυκλικής οικονομίας.....	15
2.4 Ρυθμιστικό πλαίσιο και διεθνή πρότυπα	18
2.5 Πρωτοβουλίες ιδιωτικών επιχειρήσεων.....	20
2.5.1 Ανακύκλωση και τεχνολογίες κυκλικών ινών	20
2.5.2 Διαφάνεια & ιχνηλασιμότητα (Blockchain & Digital Identity)	21
2.5.3 Επαναχρησιμοποίηση, επισκευή & recommerce	22
2.5.4 Βιώσιμες ύλες & υλικά νέας γενιάς.....	24
2.6 Παγκόσμιες συμμαχίες βιωσιμότητας	24
2.7 Η ελληνική πραγματικότητα	25
3. Τεχνολογικές λύσεις blockchain για marketplaces και κυκλική μόδα.....	28
3.1 Βασικές αρχές και μηχανισμοί λειτουργίας του blockchain	29
3.1.1 Μορφές και τομείς εφαρμογής.....	31
3.2 Tokens και smart contracts.....	32
3.2.1 Smart contracts	33
3.2.2 Tokenization.....	39

3.2.3 Συμπεράσματα	47
3.2.3 Web3 utilities: Expanding blockchain applications.....	47
3.3 Εφοδιαστική αλυσίδα μόδας και τεχνολογία Blockchain.....	49
3.3.1 Καινοτομίες και προκλήσεις	52
3.4 Blockchain σε ηλεκτρονικές αγορές και συστήματα επανεμπορίου – Case studies	54
3.4.1 Τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις	56
4. Ενσωμάτωση τεχνολογιών blockchain στη λειτουργία της πλατφόρμας REFASHION	61
4.1 Εξάλειψη κρίσιμων κενών διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας	61
4.2 Ο ρόλος των Tokens στη λειτουργία του REFASHION.....	62
4.2.1 Tokens ως μηχανισμός κινήτρων	62
4.2.2 Utility tokens και κυκλική οικονομία	63
4.2.3 Τα “ReFashion” Tokens	63
4.2.4 Σύνδεση REFASHION (RFT) Tokens με το Eco-Impact Score	64
4.2.5 Tokens, gamification και αλλαγή συμπεριφοράς χρηστών	64
4.3 Smart contracts στο Refashion	65
4.3.1 Ρόλος των smart contracts	65
4.3.2 Blockchain ως external subsystem.....	66
4.3.3 Event-driven ενεργοποίηση	67
4.3.4 Αμετάβλητη καταγραφή συναλλαγών	68
4.3.5 Σύνδεση με REFASHION (RFT) tokens και Eco-impact score	69
4.3.6 Δυνατότητες επέκτασης	70
4.4 Τεχνολογική Αρχιτεκτονική: Επιλογή Blockchain και Υβριδική Αποθήκευση Δεδομένων	71
4.4.1 Επιλογή του Ethereum.....	71
4.4.2 External blockchain subsystem.....	71
4.4.3 Υβριδική αποθήκευση δεδομένων (on-chain και off-chain)	72
4.4.4 Διαχείριση ψηφιακών πορτοφολιών και ασφάλεια	72

4.4.5 Αρχιτεκτονική ως βάση.....	72
4.5 Συνολική Αποτίμηση της Τεχνολογικής Καινοτομίας του REFASHION.....	73
5. Συμπεράσματα και Ερευνητικές Προεκτάσεις	75
5.1 Συνολική σύνθεση ευρημάτων από τη βιβλιογραφική επισκόπηση.....	75
5.2 Συμπεράσματα από τις τεχνολογικές λύσεις Blockchain σε ψηφιακές αγορές και συστήματα επανεμπορίου.....	76
5.3 Τεχνολογική καινοτομία και προστιθέμενη αξία της πλατφόρμας REFASHION	77
5.4 Περιορισμοί και τεχνολογικές προκλήσεις.....	78
5.5 Ερευνητικές και τεχνολογικές προεκτάσεις	80
6. Βιβλιογραφία.....	82

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Εφαρμογές της Κυκλικής Οικονομίας στον τομέα της μόδας	18
Πίνακας 2: Οι βασικότερες τεχνολογίες ανακύκλωσης ινών.	21
Πίνακας 3: Εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain	32
Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Smart Contracts σε BPM Περιβάλλοντα	37
Πίνακας 5: Πλεονεκτήματα και εμπόδια των Smart Contracts	38
Πίνακας 6: Κύρια χαρακτηριστικά και εφαρμογές βασικών προτύπων tokenization.....	40
Πίνακας 7: Λειτουργίες Tokenization σε E-commerce Platforms	44
Πίνακας 8: Τεχνικές Προκλήσεις και Περιορισμοί του Tokenization.....	46
Πίνακας 9: Οφέλη της Τεχνολογίας Blockchain	50
Πίνακας 10: Προκλήσεις ενσωμάτωσης της τεχνολογίας blockchain στα marketplaces επανεμπορίου μόδας και ενδεικτικές στρατηγικές μετριασμού.	59

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Γραμμικό μοντέλο παραγωγής ρούχων	15
Εικόνα 2: Μοντέλο κυκλικής οικονομίας	15
Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Blockchain	28
Εικόνα 4: Ροή Εργασίας (Work Flow) BCT	30
Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα ροής πληροφοριών μιας αλυσίδας Blockchain στο επανεμπόριο .	31
Εικόνα 6: Πως λειτουργεί ένα smart contract (binariks.com, 2025).....	34
Εικόνα 7: Web2 --> Web3 (skiplevel, 2022).....	49
Εικόνα 8: Εφαρμογή της BCT στην εφοδιαστική αλυσίδα της Βιομηχανίας Ρουχισμού	50

1. Εισαγωγή

Η βιομηχανία της μόδας αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους και ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, με έσοδα 920,19 δισεκατομμύρια δολάρια το 2025 και με προβλέψεις που υπερβαίνουν τα 1.16 τρισεκατομμύρια έως το 2030 με CAGR 4.73% (statista, 2025). Ωστόσο, η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση και η επικράτηση του μοντέλου της «γρήγορης μόδας» έχουν οδηγήσει σε μια άνευ προηγουμένου περιβαλλοντική κρίση. Η παραγωγή ενδυμάτων έχει υπερδιπλασιαστεί μέσα σε δύο δεκαετίες, ενώ η μέση διάρκεια ζωής των προϊόντων έχει μειωθεί κατά 36% τα τελευταία 15 χρόνια, με την μέση διάρκεια ζωής ενός ενδύματος της κατηγορίας fast fashion να είναι μόνο 6 μήνες, εντείνοντας την παραγωγή απορριμμάτων κλωστοϋφαντουργίας και την καταπόνηση των φυσικών πόρων (businesswaste.co.uk, 2025).

Στο πλαίσιο αυτό, η αναζήτηση νέων πρακτικών διαχείρισης αποβλήτων και βιώσιμων επιχειρηματικών μοντέλων έχει αποκτήσει κρίσιμη σημασία. Η κυκλική οικονομία, η αντίστροφη εφοδιαστική και τα συστήματα επανεμπορίου ενδυμάτων συνιστούν πλέον βασικές στρατηγικές τόσο για την Ευρωπαϊκή Ένωση όσο και για διεθνείς οργανισμούς, με στόχο τη μείωση του όγκου των αποβλήτων και την ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης (European Commission, 2022, 2025). Η ανάγκη για αξιόπιστα συστήματα ιχνηλασιμότητας και αποτύπωσης κύκλου ζωής προϊόντων έχει οδηγήσει στην προώθηση διεθνών προτύπων όπως το ISO 14040/44 για τις μελέτες κύκλου ζωής (LCA) και τα ψηφιακά διαβατήρια προϊόντων (Digital Product Passports – DPP) (European Commission, n.d.).

Την ίδια στιγμή, η τεχνολογία Blockchain αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος λύση για τη διαχείριση και παρακολούθηση πολύπλοκων ροών δεδομένων κατά μήκος της εφοδιαστικής αλυσίδας, προσφέροντας ακεραιότητα, διαφάνεια και δυνατότητα αυτοματοποίησης διαδικασιών μέσω έξυπνων συμβολαίων (Queiroz & Fosso Wamba, 2019a). Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain στη βιομηχανία της μόδας έχει μελετηθεί σε πλήθος πρόσφατων ερευνητικών εργασιών, οι οποίες τεκμηριώνουν τη δυναμική της για την καταπολέμηση της παραποίησης προϊόντων, την ενίσχυση της βιωσιμότητας, την παροχή διαφανών πληροφοριών στους καταναλωτές και τη διευκόλυνση του επανεμπορίου (Goodlife et al., 2023).

Ιδιαίτερα σημαντική είναι η συμβολή της τεχνολογίας blockchain στην επαναπώληση φυσικών προϊόντων μέσω μηχανισμών tokenization, όπως αναδεικνύεται και στο σύστημα BlockPAT, όπου κάθε φυσικό αντικείμενο αποκτά ένα μοναδικό NFT ως ψηφιακό δίδυμο (Wu et al., 2023). Παράλληλα, προσεγγίσεις που συνδυάζουν NFTs, IPFS, και Self-Sovereign Identity (SSI), όπως προτείνεται στο έργο GREENTHREAD (Goodlife et al., 2023), αποδεικνύουν ότι τα blockchain-based marketplaces μπορούν να στηρίξουν τον σχεδιασμό ενός βιώσιμου οικοσυστήματος κυκλικής μόδας, όπου η πιστοποίηση των υλικών, η διαφάνεια και η αυθεντικότητα των προϊόντων αποτελούν δομικές λειτουργίες.

Το παρόν παραδοτέο Π5 έχει ως αντικείμενο:

α) τη βιβλιογραφική επισκόπηση της επιστημονικής περιοχής της διαχείρισης απορριμμάτων από τη βιομηχανία μόδας σε παγκόσμιο επίπεδο, με έμφαση σε:

- παγκόσμιες τάσεις παραγωγής αποβλήτων

- πρακτικές κυκλικής οικονομίας
- δημόσιες πολιτικές και διεθνή πρότυπα
- πρωτοβουλίες ιδιωτικών φορέων.

β) τη βιβλιογραφική επισκόπηση των διαθέσιμων τεχνολογικών λύσεων Blockchain σε ηλεκτρονικές αγορές – πλατφόρμες – ανταλλακτήρια σαν και αυτό που επιθυμεί να αναπτύξει το έργο REFASHION, με έμφαση σε:

- tokenization και NFT-based asset representation
- έξυπνα συμβόλαια για αυτοματοποίηση συναλλαγών
- συστήματα ιχνηλασιμότητας και ψηφιακών διαβατηρίων
- βέλτιστες πρακτικές και case studies

Η σύνθεση των δύο ερευνητικών αξόνων οδηγεί στη διατύπωση συγκεκριμένων συμπερασμάτων σχετικά με το πώς μπορούν οι τεχνολογίες blockchain και ειδικότερα τα tokens και τα smart contracts να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στη λειτουργία της πλατφόρμας **REFASHION**, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα, την ακεραιότητα των δεδομένων και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας.

2. Διαχείριση απορριμμάτων από τη βιομηχανία μόδας – Παγκόσμια επισκόπηση

Η βιομηχανία της μόδας αποτελεί έναν από τους πιο επιβαρυντικούς τομείς για το περιβάλλον και τις κοινωνικές δομές, καθώς τόσο τα πρότυπα παραγωγής όσο και τα πρότυπα κατανάλωσης συμβάλλουν άμεσα και σημαντικά στην επιδείνωση της τριπλής πλανητικής κρίσης: της κλιματικής αλλαγής, της ρύπανσης και της απώλειας βιοποικιλότητας. Σύμφωνα με το United Nations Environment Programme (UNEP), ο κλάδος της μόδας ευθύνεται για 2–8% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ δημιουργεί σημαντική ρύπανση, υπερκατανάλωση υδάτινων πόρων και σοβαρές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Παράλληλα, ο κλάδος είναι υπεύθυνος για περίπου 9% των ετήσιων απωλειών μικροπλαστικών στους ωκεανούς, αποτέλεσμα της εκτεταμένης χρήσης συνθετικών ινών, καθώς και για την κατανάλωση περίπου 215 τρισεκατομμυρίων λίτρων νερού ανά έτος από το σύνολο της αλυσίδας αξίας του (unfccc.int, 2023).

Παράλληλα, η άνοδος του μοντέλου fast fashion έχει επιταχύνει την παραγωγή χαμηλής ποιότητας ενδυμάτων, τα οποία απορρίπτονται γρήγορα, εντείνοντας τη συσσώρευση αποβλήτων και επιβαρύνοντας χώρες με ανεπαρκείς υποδομές διαχείρισης, ειδικά στον Παγκόσμιο Νότο (Guo et al., 2020).

Η συσσωρευμένη αυτή περιβαλλοντική και κοινωνική επιβάρυνση καθιστά τη διαχείριση των αποβλήτων μόδας ένα από τα κρίσιμα ζητήματα της παγκόσμιας βιωσιμότητας. Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων απαιτεί ταυτόχρονες παρεμβάσεις στην παραγωγή, στην κατανάλωση, στη δομή των αγορών μεταχειρισμένων ενδυμάτων, αλλά και στη θέσπιση νέων μηχανισμών ιχνηλασιμότητας και ευθύνης κατά μήκος ολόκληρης της αλυσίδας αξίας (Porter's Value Chain).

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα ενότητα εξετάζει τη σύγχρονη κατάσταση της διαχείρισης κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων μέσα από έξι βασικούς άξονες:

- την έκταση και τα χαρακτηριστικά του προβλήματος,
- τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις,
- τις στρατηγικές κυκλικής οικονομίας,
- το διεθνές και ευρωπαϊκό ρυθμιστικό πλαίσιο,
- τις πρωτοβουλίες και τεχνολογικές λύσεις του ιδιωτικού τομέα, και
- την ελληνική πραγματικότητα και το βαθμό ωριμότητας των εθνικών συστημάτων.

2.1 Έκταση και χαρακτηριστικά του προβλήματος

Η παγκόσμια παραγωγή ενδυμάτων αυξήθηκε κατά περίπου 60% την τελευταία εικοσαετία, ενώ η μέση διάρκεια χρήσης τους μειώθηκε σχεδόν στο μισό (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Η κυριαρχία της «γρήγορης μόδας» οδηγεί σε εξαιρετικά υψηλούς ρυθμούς κατανάλωσης: εκτιμάται ότι κάθε δευτερόλεπτο απορρίπτεται ή καίγεται ποσότητα ρούχων ισοδύναμη με ένα φορτηγό (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Παρά τον όγκο παραγωγής, λιγότερο από 1% των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων

ανακυκλώνεται σε ίνες ικανές για παραγωγή νέων ενδυμάτων (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Sandberg & Pal, 2024).

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, παράχθηκαν περίπου 6,94 εκατ. τόνοι κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων το 2022, δηλαδή γύρω στα 16 κιλά ανά κάτοικο, ενώ η κατανάλωση αυξήθηκε από 17 kg/κάτοικο το 2019 σε 19 kg/κάτοικο το 2022 (EEA, 2025). Από αυτά τα απόβλητα, μόλις 15–22% συλλέγονται χωριστά, ενώ το υπόλοιπο 80% καταλήγει στα γενικά απόβλητα, καθιστώντας την ανακύκλωση των ενδυμάτων δύσκολη (EEA, 2025).

Παράλληλα, η εξαγωγή ενδυμάτων από την ΕΕ σχεδόν τριπλασιάστηκε μεταξύ 2000 και 2019, αγγίζοντας το 1,4 εκατ. τόνους το 2023 (EEA, 2023; Mortensen, 2023). Χώρες όπως η Γκάνα δέχονται τεράστιους όγκους χαμηλής ποιότητας ενδυμάτων. Η αγορά Kantamanto λαμβάνει περίπου 15 εκατ. τεμάχια την εβδομάδα, πολλά από τα οποία είναι μη επαναχρησιμοποιήσιμα και καταλήγουν σε ανεξέλεγκτες χωματερές (Azfar Khan, 2025). Στη Χιλή, αντίστοιχα, πάνω από 39.000 τόνοι απορριμμάτων fast fashion απορρίπτονται ετησίως στην έρημο Atacama (Reuters, 2023). Αυτές οι ροές δείχνουν ότι η κρίση των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων δεν αφορά μόνο την παραγωγή και κατανάλωση, αλλά και τη διεθνή ανακατανομή του περιβαλλοντικού φορτίου.

Στις ΗΠΑ παράγονται πάνω από 17 εκατ. τόνοι κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων ετησίως (EPA, 2025), ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο ο εκτιμάται ότι το μέσο άτομο απορρίπτει περίπου 35 τεμάχια ενδυμάτων ετησίως στους γενικούς κάδους αποβλήτων (WRAP, 2025).

Η κρίση των αποβλήτων μόδας είναι, συνεπώς, βαθιά συστημική και πηγάζει από την υπερκατανάλωση, την έναρξη νέων κύκλων προϊόντων υψηλής συχνότητας, την περιορισμένη ποιότητα υφασμάτων και την έλλειψη αποτελεσματικών συστημάτων συλλογής και ανακύκλωσης.

2.2 Περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις της βιομηχανίας ένδυσης διατρέχουν όλο τον κύκλο ζωής των προϊόντων και επηρεάζουν το κλίμα, τους υδάτινους και χερσαίους πόρους, τη βιοποικιλότητα και σημαντικές κοινωνικές δομές. Ακολουθεί μια λεπτομερής ανάλυση αυτών των επιπτώσεων, οργανωμένη σε τέσσερις κατηγορίες.

2.2.1 Κλιματικές επιπτώσεις

Ο κλάδος της μόδας ευθύνεται για 2–8% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂, αποτελώντας έναν από τους πιο ενεργοβόρους κλάδους παραγωγής (unfccc.int, 2023). Στην ΕΕ, η κατανάλωση κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων συνδέεται με 159–160 εκατ. τόνους CO₂ ετησίως, δηλαδή περίπου 355 kg CO₂ ανά άτομο (EEA, 2025).

Η παραγωγή συνθετικών ινών, ειδικά του πολυεστέρα, στηρίζεται στη χρήση πετρελαίου, ενώ το μεγαλύτερο μέρος των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας στις χώρες παραγωγής βασίζεται ακόμη στον άνθρακα. Αυτό δημιουργεί ένα βαθιά «κλειδωμένο» ανθρακικό αποτύπωμα, καθώς κάθε νέο ένδυμα ενσωματώνει σημαντικό ενεργειακό κόστος (EEA, 2024).

Ακόμη, παρά τις βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση, η συνολική περιβαλλοντική πίεση αυξάνεται λόγω της υπερκατανάλωσης. Μεταξύ 2010 και 2022, η κατανάλωση υφασμάτων αυξήθηκε κατά 15%, αντισταθμίζοντας μεγάλο μέρος των μειώσεων εκπομπών ανά μονάδα προϊόντος (EEA, 2024).

2.2.2 Επιπτώσεις σε νερό, ρύπανση και μικροπλαστικά

Η βιομηχανία της μόδας ανήκει στους τομείς υψηλής εκμετάλλευσης των υδάτων, με συνολική κατανάλωση 215 τρισεκατομμυρίων λίτρων νερού ετησίως (unfccc.int, 2023). Η παραγωγή μιας βαμβακερής μπλούζας απαιτεί έως 2.700 λίτρα νερού, ενώ ενός τζιν έως 10.000 λίτρα, ανάλογα με την προέλευση του βαμβακιού και τις τεχνικές βαφής (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Η διαδικασία βαφής και φινιρίσματος ευθύνεται για 20% της παγκόσμιας βιομηχανικής ρύπανσης υδάτων, με χιλιάδες χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων καρκινογόνων και ενδοκρινικών διαταραχών, να εκλύονται στο περιβάλλον (Publishing, 2024).

Εξίσου σημαντική είναι η ρύπανση από τα μικροπλαστικά: περίπου 500.000 τόνοι μικροϊνών απελευθερώνονται στους ωκεανούς κάθε χρόνο από το πλύσιμο συνθετικών υφασμάτων (unfccc.int, 2023). Οι συνθετικές ίνες αποτελούν πλέον το 60% των παγκόσμιων ινών, μια τάση που επιτείνει το πρόβλημα (European Commission, 2022; Publishing, 2024).

2.2.3 Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα και στους φυσικούς πόρους

Η παραγωγή ινών έχει σημαντικό περιβαλλοντικό «αποτύπωμα γης». Η βαμβακοκαλλιέργεια καταλαμβάνει 2,5% της παγκόσμιας αγροτικής γης, αλλά ευθύνεται για 16% των εντομοκτόνων και 7% των φυτοφαρμάκων που χρησιμοποιούνται παγκοσμίως. Η υπερβολική χρήση χημικών υποβαθμίζει τα εδάφη και οδηγεί σε απώλεια οικοσυστημάτων (*Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain*, 2023).

Η παραγωγή ινών από τεχνητή κυτταρίνη όπως: βισκόζη, ρεγιόν, modal, lyocell και acetate, συνδέεται άμεσα με την εκτεταμένη υλοτομία δασών υψηλής οικολογικής αξίας, καθώς οι ίνες αυτές παράγονται από ξυλεία (canopy, 2023). Κάθε χρόνο, εκτιμάται ότι πάνω από 300 εκατομμύρια δέντρα κόβονται για την παραγωγή υφασμάτων και ενδυμάτων, συχνά προερχόμενα από αρχέγονα και απειλούμενα δάση, τα οποία αποτελούν κρίσιμα οικοσυστήματα για τη ρύθμιση του κλίματος και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας (canopy, 2023).

Η εξαγωγή ξυλείας για τη δημιουργία man-made cellulosic fibers (MMCFs) ενισχύει την αποψίλωση σε ευαίσθητες περιοχές παγκοσμίως, επιδεινώνει την απώλεια βιοτόπων για χιλιάδες είδη και συμβάλλει στην εδαφική υποβάθμιση και την αποσταθεροποίηση σημαντικών δασικών οικοσυστημάτων. Η πίεση αυτή είναι ιδιαίτερα έντονη στις τροπικές περιοχές, όπου τα δάση αποτελούν «αποθήκες άνθρακα» και βασικούς ρυθμιστές του παγκόσμιου κλίματος (canopy, 2023).

Τέλος, η ανεξέλεγκτη διάθεση μεταχειρισμένων ενδυμάτων σε χώρες όπως η Γκάνα και η Χιλή επιβαρύνει τα οικοσυστήματα με πλαστικά, βαρέα μέταλλα και τοξικές βαφές, επηρεάζοντας άμεσα χερσαία και θαλάσσια είδη (Azfar Khan, 2025; Reuters, 2023).

2.2.4 Κοινωνικές επιπτώσεις και περιβαλλοντική δικαιοσύνη

Η βιομηχανία της μόδας χαρακτηρίζεται από σημαντικές κοινωνικές ανισότητες. Η παραγωγή ενδυμάτων σε χώρες χαμηλού εισοδήματος βασίζεται συχνά σε χαμηλές αμοιβές, επισφαλείς συνθήκες εργασίας και περιορισμένα δικαιώματα. Το πιο emblematic παράδειγμα αποτελεί η κατάρρευση του Rana Plaza το 2013 στο Μπαγκλαντές, όπου έχασαν τη ζωή τους πάνω από 1.100 εργαζόμενοι (cleanclothes.org, 2014).

Η μεταφορά κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων από την Ευρώπη και τις ΗΠΑ προς χώρες της Αφρικής και της Λατινικής Αμερικής αποτελεί σύγχρονη μορφή περιβαλλοντικής αδικίας: οι κοινωνίες αυτές επωμίζονται τις συνέπειες της παγκόσμιας υπερκατανάλωσης χωρίς να ωφελούνται από αυτήν οικονομικά (unfccc.int, 2023). Η υπερχειλίση μεταχειρισμένων ενδυμάτων αποδυναμώνει τις τοπικές βιομηχανίες, κατακλύζει τις τοπικές αγορές και επιτείνει την περιβαλλοντική ρύπανση (ΕΕΑ, 2024).

2.3 Στρατηγικές κυκλικής οικονομίας

Η κυκλική οικονομία είναι μια αναδυόμενη έννοια που επιδιώκει να αποσυνδέσει την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση πόρων και τη δημιουργία αποβλήτων. Βασίζεται στις αρχές των συστημάτων κλειστού βρόχου, όπου τα υλικά ανακυκλώνονται συνεχώς, μειώνοντας την ανάγκη για νέους πόρους και ελαχιστοποιώντας τη δημιουργία αποβλήτων. Η κυκλική οικονομία (Εικόνα 2) στοχεύει να αντικαταστήσει το παραδοσιακό γραμμικό μοντέλο παραγωγής (Εικόνα 1), το οποίο ακολουθεί το μοτίβο «take-make-use-dispose», με ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μοντέλο που δίνει προτεραιότητα στην προσέγγιση “reduce-reuse-recycle” «μείωση-επαναχρησιμοποίηση-ανακύκλωση».



Εικόνα 1: Γραμμικό μοντέλο παραγωγής ρούχων



Εικόνα 2: Μοντέλο κυκλικής οικονομίας

Η ιδέα της τριπλής κατώτατης γραμμής προτείνει ότι η επιτυχία μιας εταιρείας πρέπει να μετριέται όχι μόνο από την οικονομική της απόδοση, αλλά και από τον αντίκτυπό της στο περιβάλλον και την κοινωνία. Οι τρεις συνιστώσες της τριπλής κατώτατης γραμμής αναφέρονται συχνά ως *three Ps*: *people, planet, and profit* (άνθρωποι, πλανήτης και κέρδος (Bocken et al., 2021). Αρκετές μελέτες δείχνουν ότι η αποτελεσματικότητα της τρέχουσας χρήσης των πόρων πρέπει να αυξηθεί σημαντικά για να μειωθεί η απώλεια περιβαλλοντικής και κοινωνικής αξίας. Αυτό ονομάζεται οικολογική απόδοση και αφορά την αναλογία μεταξύ της αξίας που δημιουργείται και των πόρων που χρησιμοποιούνται. Ονομάζεται επάρκεια όταν συνδυάζεται με ταυτόχρονη συνολική απόλυτη μείωση του καταναλωτή (Bocken et al., 2021).

Η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας στον κλωστοϋφαντουργικό κλάδο αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς η βιομηχανία ενδυμάτων χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση φυσικών πόρων (νερό, ενέργεια, έδαφος), εξάρτηση από μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες (συνθετικές ίνες) και παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων σε όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας (ΕΕΑ, 2024; unfccc.int, 2023). Η κυκλική οικονομία προσφέρει ένα συνεκτικό πλαίσιο αντιμετώπισης αυτών των πιέσεων, εστιάζοντας σε μια σειρά στρατηγικών που έχουν καταγραφεί διεθνώς στη βιβλιογραφία:

(α) Σχεδιασμός προϊόντων για ανθεκτικότητα και μακροβιότητα

Η αύξηση της διάρκειας ζωής των ενδυμάτων αποτελεί μια από τις αποτελεσματικότερες στρατηγικές αποφυγής δημιουργίας αποβλήτων. Ο σχεδιασμός υψηλής ποιότητας, η επιλογή ανθεκτικών υλικών, η δυνατότητα επιδιόρθωσης και η αποφυγή σύνθετων μιγμάτων ινών συμβάλλουν σημαντικά στην επιμήκυνση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

(β) Επιμήκυνση του κύκλου ζωής μέσω επαναχρησιμοποίησης και επιδιόρθωσης

Σύμφωνα με μελέτες για τη βιομηχανία ένδυσης, η επαναχρησιμοποίηση ενός ενδύματος έχει πολλαπλάσια αποτελέσματα στη μείωση εκπομπών από οποιαδήποτε μορφή ανακύκλωσης, καθώς αποφεύγει πλήρως την παραγωγή ενός νέου (Paras et al., 2018). Η επιδιόρθωση, η ανακατασκευή (*refurbishment*) και η αναβάθμιση (*upcycling*) επιτρέπουν την περαιτέρω αξιοποίηση υφασμάτων που διαφορετικά θα κατέληγαν σε απορρίμματα.

(γ) Κυκλική κατανάλωση και νέα επιχειρηματικά μοντέλα

Βιβλιογραφικές αναφορές στον τομέα του *design* και της βιώσιμης μόδας υπογραμμίζουν την αναδυόμενη σημασία μοντέλων όπως η ενοικίαση ενδυμάτων, οι πλατφόρμες μεταπώλησης (*recommerce*) και οι υπηρεσίες κοινής χρήσης (*sharing schemes*) ως εργαλεία που μειώνουν τη ζήτηση για νέα προϊόντα και προάγουν την αξιοποίηση των υφιστάμενων (Pandey et al., 2024).

(δ) Ανάκτηση υλικών μέσω ανακύκλωσης

Η ανακύκλωση αποτελεί μια από τις πιο κρίσιμες στρατηγικές στα κλωστοϋφαντουργικά, δεδομένου ότι λιγότερο από το 1% των υφασμάτων ανακυκλώνεται σήμερα σε νέα υλικά ισοδύναμης ποιότητας (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Η ανακύκλωση «ινών σε ίνες» (*textile-to-textile*) είναι η μόνη πραγματικά κυκλική λύση, η οποία στοχεύει στη μετατροπή μεταχειρισμένων υφασμάτων σε νέες πρώτες ύλες χωρίς απώλεια ποιότητας (Rajkishore Nayak et al., 2024).

(ε) Μείωση εξάρτησης από παρθένες πρώτες ύλες

Η κυκλική οικονομία συμβάλλει στην αντιμετώπιση παγκόσμιων περιβαλλοντικών πιέσεων, μειώνοντας τη ζήτηση για βαμβάκι, του οποίου η καλλιέργεια απαιτεί μεγάλη κατανάλωση νερού, καθώς και για συνθετικές ίνες που βασίζονται σε πετροχημικά, ή για MMCFs που συχνά οδηγούν σε αποψύλωση (canopy, 2023; unfccc.int, 2023).

Στο πλαίσιο της διαχείρισης κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων, οι στρατηγικές αυτές επιτρέπουν τη μείωση του όγκου απορριπτόμενων ενδυμάτων, τον περιορισμό των ανεξέλεγκτων εξαγωγών χαμηλής ποιότητας ρούχων σε χώρες χαμηλού εισοδήματος, και τη μετάβαση σε ένα σύστημα που αντιμετωπίζει τα χρησιμοποιημένα υφάσματα ως πόρο και όχι ως απόβλητο (EEA, 2024). Παράλληλα, η κυκλική οικονομία ενισχύει την αναγκαιότητα συστημάτων διαλογής, καθαρής συλλογής και ταξινόμησης που αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία των νέων ευρωπαϊκών ρυθμίσεων για τα κλωστοϋφαντουργικά απορρίμματα.

Συνολικά, η κυκλική οικονομία παρέχει το θεωρητικό και πρακτικό υπόβαθρο για τον μετασχηματισμό της βιομηχανίας μόδας σε ένα σύστημα υψηλής αποδοτικότητας, χαμηλής περιβαλλοντικής πίεσης και βελτιστοποιημένης διαχείρισης απορριμμάτων, αποτελώντας τη βάση για τις τεχνολογικές και θεσμικές παρεμβάσεις που αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

Στη βιομηχανία της μόδας, το επανεμπόριο κερδίζει έδαφος καθώς οι καταναλωτές αποκτούν μεγαλύτερη περιβαλλοντική συνείδηση. Οι επωνυμίες αρχίζουν να υιοθετούν αρχές κυκλικής οικονομίας, εστιάζοντας σε προϊόντα μακράς διάρκειας, επαναχρησιμοποίηση υλικών και ευαισθητοποιούνται σε ζητήματα προϊόντος στο τέλος του κύκλου ζωής τους (Earley & Goldsworthy, 2015). Το επαναεμπόριο στη μόδα περιλαμβάνει πρακτικές όπως η πώληση μεταχειρισμένων ενδυμάτων, οι υπηρεσίες ενοικίασης ρούχων και η ανακύκλωση παλαιών ενδυμάτων σε νέα προϊόντα.

Η άνοδος διαδικτυακών πλατφορμών όπως οι ThredUp, Poshmark, Vinted και Depop και άλλες εφαρμογές που αποτελούν “marketplace” έχουν διευκολύνει την ανάπτυξη της αγοράς μεταχειρισμένων ενδυμάτων, δίνοντας εύκολη πρόσβαση στους καταναλωτές να αγοράζουν και να πουλούν μεταχειρισμένα είδη μόδας. Αυτές οι πλατφόρμες προσφέρουν έναν βολικό και προσιτό τρόπο συμμετοχής στην κυκλική οικονομία, απευθυνόμενοι σε καταναλωτές με περιβαλλοντική συνείδηση που θέλουν να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα (Farooque et al., 2019).

Γνωστές επωνυμίες ξεκινούν επίσης τις δικές τους πρωτοβουλίες στην ανακύκλωση και το επανεμπόριο. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα Zara Pre-owned ή το λιγότερο γνωστό πρόγραμμα Worn Wear της Patagonia που ενθαρρύνει τους πελάτες να ανταλλάσσουν τα χρησιμοποιημένα τους προϊόντα Patagonia για πίστωση στο κατάστημα, τα οποία στη συνέχεια μεταπωλούνται μέσω του ισότοπου Worn Wear. Ομοίως, το πρόγραμμα Levi's Second Hand επιτρέπει στους πελάτες να αγοράζουν και να πουλούν μεταχειρισμένα προϊόντα Levi's. Αυτές οι πρωτοβουλίες όχι μόνο προάγουν τη βιωσιμότητα αλλά και ενισχύουν την αφοσίωση των πελατών και τη δέσμευση της επωνυμίας (Farooque et al., 2019).

Η έννοια της κυκλικής οικονομίας στον τομέα της μόδας εκτείνεται πέρα από το επαναεμπόριο για να συμπεριλάβει βιώσιμες πρακτικές σχεδιασμού. Αυτό περιλαμβάνει το σχεδιασμό ενδυμάτων με γνώμονα τη μακροζωία και την δυνατότητα ανακύκλωσης, τη χρήση βιώσιμων υλικών και την εφαρμογή

προγραμμάτων επιστροφής όπου οι καταναλωτές μπορούν να επιστρέψουν τα χρησιμοποιημένα ρούχα τους για ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση. Υιοθετώντας τις αρχές της κυκλικής οικονομίας, οι επωνυμίες μπορούν να μειώσουν τον περιβαλλοντικό αντίκτυπό τους και να συμβάλουν σε μια πιο βιώσιμη βιομηχανία μόδας (Earley & Goldsworthy, 2015).

Στον Πίνακα 1 καταγράφονται συνολικά οι διαφορετικές εφαρμογές που μπορεί να έχει η κυκλική οικονομία στον τομέα της μόδας.

Πίνακας 1: Εφαρμογές της Κυκλικής Οικονομίας στον τομέα της μόδας

Εφαρμογές	Περιγραφή
Μεταπώληση ρούχων	Οι διαδικτυακές πλατφόρμες του Second-Hand Marketplaces διευκολύνουν την αγορά και την πώληση μεταχειρισμένων ειδών μόδας (Earley & Goldsworthy, 2015).
Πρωτοβουλίες εταιριών	Προγράμματα Brand Initiatives προωθούν τη βιωσιμότητα και την αφοσίωση των πελατών (Farooque et al., 2019).
Βιώσιμος Σχεδιασμός	Περιλαμβάνει το σχεδιασμό ενδυμάτων με γνώμονα τη μακροζωία και την δυνατότητα ανακύκλωσης (Earley & Goldsworthy, 2015).
Δέσμευση Καταναλωτή	Αλλαγή συμπεριφοράς προς πιο βιώσιμα καταναλωτικά πρότυπα (Farooque et al., 2019).

2.4 Ρυθμιστικό πλαίσιο και διεθνή πρότυπα

Το ρυθμιστικό πλαίσιο για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, καθώς η Ευρωπαϊκή Ένωση και διεθνείς οργανισμοί αναγνωρίζουν την ανάγκη για συστηματική αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων της βιομηχανίας μόδας. Οι νομοθετικές παρεμβάσεις επικεντρώνονται στην ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας, στη μείωση των αποβλήτων, στη διασφάλιση της ιχνηλασιμότητας και στη θέσπιση κοινών προτύπων βιωσιμότητας τόσο για τις παραγωγικές διαδικασίες όσο και για τα τελικά προϊόντα.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η **EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles** (European Commission, 2022) αποτελεί τη βασική πολιτική πρωτοβουλία που καθοδηγεί τον μετασχηματισμό του κλάδου. Η στρατηγική αυτή στοχεύει ώστε έως το 2030 όλα τα προϊόντα που κυκλοφορούν στην ενιαία αγορά να είναι ανθεκτικά, επισκευάσιμα, ανακυκλώσιμα, απαλλαγμένα από επικίνδυνες ουσίες και κατασκευασμένα στο πλαίσιο βιώσιμων επιχειρηματικών μοντέλων. Η στρατηγική προβλέπει επίσης την καταπολέμηση της γρήγορης μόδας, την ενίσχυση της διαφάνειας στην αλυσίδα αξίας και την προώθηση πιο υπεύθυνων καταναλωτικών προτύπων (European Commission, 2022).

Ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία της νέας ευρωπαϊκής πολιτικής είναι το **Digital Product Passport (DPP)**, το οποίο θα καταστεί υποχρεωτικό για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα στο πλαίσιο του Κανονισμού Οικολογικού Σχεδιασμού (Ecodesign for Sustainable Products Regulation – ESPR) (European Commission, 2024). Το DPP θα επιτρέπει την καταγραφή και ιχνηλασιμότητα στοιχείων όπως η προέλευση των ινών, οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται, οι περιβαλλοντικές επιδόσεις, οι επισκευές και η

διαδικασία ανακύκλωσης. Με αυτόν τον τρόπο, ενισχύεται η διαφάνεια και υποστηρίζεται η κυκλικότητα σε όλα τα στάδια της αλυσίδας αξίας (European Union, 2024).

Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η **Οδηγία Πλαισίου για τα Απόβλητα (Waste Framework Directive)**, η οποία με τις αναθεωρήσεις του 2018 και 2023 καθιστά υποχρεωτική την εφαρμογή της **Διευρυμένης Ευθύνης Παραγωγού (Extended Producer Responsibility – EPR)** για τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα (European Commission, 2025). Η EPR μεταφέρει την ευθύνη διαχείρισης των αποβλήτων στους παραγωγούς, που καλούνται να χρηματοδοτούν και να οργανώνουν τη συλλογή, ταξινόμηση, επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των προϊόντων τους μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους. Η Γαλλία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής EPR, με σύστημα που λειτουργεί ήδη από το 2007, ενώ από την 1^η Ιανουαρίου 2025 απαιτήθηκε από όλα τα κράτη μέλη της ΕΕ να έχουν θεσπίσει χωριστή συλλογή για τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα (Ellen MacArthur Foundation, 2024).

Πέρα από το ευρωπαϊκό πλαίσιο, διεθνή πρότυπα και συστήματα πιστοποίησης διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη βιώσιμη μετάβαση του κλάδου. Σημαντικά πρότυπα περιλαμβάνουν:

- **ISO 14040/44:** πρότυπα για τη μεθοδολογία Αποτίμησης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment – LCA), που επιτρέπουν τη συγκριτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων υλικών και διεργασιών (Kun-Mo Lee & Atsushi Inaba, 2004).
- **OEKO-TEX Standard 100:** πιστοποίηση ασφάλειας υφασμάτων ως προς την παρουσία επιβλαβών ουσιών, ιδιαίτερα κρίσιμη για τη μείωση χημικής ρύπανσης (OEKO - TEX, 2025).
- **Global Recycled Standard (GRS):** πρότυπο που επαληθεύει το ποσοστό ανακυκλωμένου περιεχομένου στα προϊόντα και παρακολουθεί τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές πρακτικές κατά την παραγωγή (Textile Exchange, 2017b).
- **Recycled Claim Standard (RCS):** Πρότυπο που εστιάζει στην αλυσίδα φύλαξης (chain of custody) και πιστοποιεί ότι τα υλικά που δηλώνονται ως «ανακυκλωμένα» προέρχονται πράγματι από πιστοποιημένες πηγές. Το RCS εφαρμόζεται κυρίως σε προϊόντα με χαμηλότερα ποσοστά ανακυκλωμένου περιεχομένου και συχνά χρησιμοποιείται ως πρώτο στάδιο πριν από την εφαρμογή του GRS (Textile Exchange, 2017a).
- **Higg Index – MSI και FEM:** Εργαλεία μέτρησης περιβαλλοντικών επιδόσεων υλικών (Material Sustainability Index – MSI) και εγκαταστάσεων (Facility Environmental Module – FEM), αναπτυγμένα από τη Sustainable Apparel Coalition (SAC, 2022).
- **SA8000:** πρότυπο για κοινωνική υπευθυνότητα και εργασιακές πρακτικές, που επιδιώκει τη μείωση παραβιάσεων στα στάδια παραγωγής (SAI, 2024).
- **Bluesign® Standard:** Ένα από τα αυστηρότερα διεθνή πρότυπα για ασφαλή και καθαρή παραγωγή υφασμάτων, εστιάζοντας στην εξάλειψη επικίνδυνων χημικών, στην ασφάλεια των εργαζομένων και στη μείωση της ρύπανσης υδάτων (bluesign, n.d.).

- **Cradle to Cradle (C2C)**: Πρότυπο κυκλικού σχεδιασμού που αξιολογεί προϊόντα ως προς υγεία υλικών, δυνατότητα επανακυκλοφορίας, χρήση ανανεώσιμων πόρων, υδάτινο αποτύπωμα και κοινωνική δικαιοσύνη (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2025).
- **FSC® & PEFC®** (για MMCFs): Πρότυπα πιστοποίησης δασών, απαραίτητα για ίνες όπως βισκόζη, μοντάλ και lyocell, καθώς διασφαλίζουν ότι η ξυλεία προέρχεται από αειφόρες δασικές πηγές και όχι από απειλούμενα οικοσυστήματα ή περιοχές αποψίλωσης.

Επιπλέον, το **REACH Regulation (EC 1907/2006)** αποτελεί το βασικό ευρωπαϊκό νομοθέτημα για τον περιορισμό επικίνδυνων χημικών ουσιών στα υφάσματα, επιβάλλοντας αυστηρούς κανόνες για τις βαφές, τους διαλύτες και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται στην κλωστοϋφαντουργία. Οι περιορισμοί αυτοί συνδέονται άμεσα με τους στόχους για καθαρότερη παραγωγή και μείωση της ρύπανσης υδάτων σε παγκόσμιο επίπεδο (European Commission, 2006).

Τέλος, διεθνείς πολιτικές πρωτοβουλίες εντός του πλαισίου του UNEP, όπως το Textiles Flagship Initiative και το Global Roadmap for Sustainable Textiles, προωθούν παγκόσμιες κατευθυντήριες γραμμές για βιώσιμες πρώτες ύλες, υπεύθυνες χημικές πρακτικές και μείωση απορριμμάτων (UNEP, 2023). Οι πρωτοβουλίες αυτές επιδιώκουν τη σύγκλιση των εθνικών προτύπων και την ενίσχυση της διαφάνειας σε μια παγκοσμιοποιημένη βιομηχανία με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Συνολικά, το ρυθμιστικό πλαίσιο και τα διεθνή πρότυπα αποτελούν κρίσιμους πυλώνες για τη μετάβαση της βιομηχανίας μόδας σε ένα πιο βιώσιμο και κυκλικό μοντέλο λειτουργίας. Με την ενίσχυση της ιχνηλασιμότητας, τη μείωση των χημικών ουσιών, την υιοθέτηση υποχρεωτικών συστημάτων χωριστής συλλογής και την ενσωμάτωση κυκλικού σχεδιασμού, το πλαίσιο αυτό προετοιμάζει την αγορά για την εφαρμογή τεχνολογικών λύσεων που ενισχύουν τη διαφάνεια και την υπευθυνότητα.

2.5 Πρωτοβουλίες ιδιωτικών επιχειρήσεων

Ο ιδιωτικός τομέας διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μετάβαση της βιομηχανίας της μόδας σε πιο βιώσιμα και κυκλικά μοντέλα παραγωγής, διαχείρισης και κατανάλωσης. Οι διεθνείς επιχειρήσεις, τα brands, οι τεχνολογικοί πάροχοι και τα δίκτυα καινοτομίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη λύσεων που αντιμετωπίζουν κρίσιμα ζητήματα: ανακύκλωση κλωστοϋφαντουργικών, ιχνηλασιμότητα, νέες πρώτες ύλες, επαναχρησιμοποίηση και διαφάνεια στην αλυσίδα εφοδιασμού.

Οι σημαντικότερες πρωτοβουλίες οργανώνονται παρακάτω σε θεματικές ενότητες, ώστε να αποτυπώνουν τη συνολική εικόνα της παγκόσμιας ιδιωτικής δράσης.

2.5.1 Ανακύκλωση και τεχνολογίες κυκλικών ινών

Οι καινοτομίες στον τομέα της ανακύκλωσης ινών στοχεύουν στην επίλυση του μεγαλύτερου τεχνικού εμποδίου της κλωστοϋφαντουργίας: την ανακύκλωση σύμμεικτων υφασμάτων και την παραγωγή νέων ινών υψηλής ποιότητας από μεταχειρισμένα υλικά. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι βασικότερες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί διεθνώς:

Πίνακας 2: Οι βασικότερες τεχνολογίες ανακύκλωσης ινών.

Τεχνολογία/ Εταιρεία	Τύπος τεχνολογίας	Πρώτη ύλη	Τελικό προϊόν / αποτέλεσμα	Σημειώσεις – Χρήση
Renewcell CIRCULOSE®	Πατενταρισμένη χημική ανακύκλωση κυτταρινικών υφασμάτων	Φθαρμένα βαμβακερά ρούχα, κυτταρινικά απόβλητα, υφασμάτινα αποκόμματα παραγωγής	Νέο υλικό CIRCULOSE®: κυτταρίνη υψηλής καθαρότητας για παραγωγή νέων ινών	Πρωτοποριακή τεχνολογία “ίνα-σε- ίνα”, βραβευμένη διεθνώς (circulose.com, 2022).
Infinited Fiber – Infinna™	Μοριακή αναγέννηση κυτταρίνης (cellulose carbamate process)	Κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα πλούσια σε βαμβάκι (≈88%), ακόμη και σύμμεικτα με πολυεστέρα ή ελασάνη	Νέα ίνα Infinna™: κυτταρίνη καρβαμιδίου υψηλής ποιότητας, κατάλληλη για νέα νήματα και υφάσματα	Χρησιμοποιείται ήδη πιλοτικά από H&M, Patagonia (Infinited Fiber, 2025)
Carbios	Ενζυμική αποπολυμεροποίηση & επαναπολυμερισμός	Πολυεστέρας (PET) από υφάσματα και συσκευασίες	Νέο παρθένο PET μέσω ανακύκλωσης μονομερών	Κατάλληλο και για σύμμεικτα υφάσματα λόγω ενζυμικής τεχνολογίας (CARBIOS, 2023).
Circ	Υδροθερμική επεξεργασία & χημικός διαχωρισμός ινών	Σύμμεικτα υφάσματα πολυεστέρα– βαμβακιού (polycotton blends)	Ανάκτηση υψηλής ποιότητας πολυεστέρα & κυτταρινικών ινών (βαμβάκι)	Επιτρέπει την ανακύκλωση υφασμάτων παλαιότερα θεωρούνταν «μη ανακυκλώσιμα» (Circ, 2025)

2.5.2 Διαφάνεια & Ιχνηλασιμότητα (Blockchain & Digital Identity)

Η τεχνολογία blockchain και τα ψηφιακά διαβατήρια/ταυτότητες προϊόντων αξιοποιούνται ήδη διεθνώς για τη διαφάνεια, την ιχνηλασιμότητα και τον έλεγχο αυθεντικότητας σε εφοδιαστικές αλυσίδες υψηλής αξίας, από διαμάντια και κρασί μέχρι είδη πολυτελείας και μόδα. Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικές εφαρμογές.

- **LUXARITY (Hong Kong):** POP-UP παζάρι μεταχειρισμένων ρούχων όπου κάθε αγορά συνδέεται με έναν μοναδικό PIN· ο πελάτης επιλέγει τον φιλανθρωπικό σκοπό και η διαδρομή της δωρεάς καταγράφεται σε blockchain (Ethereum Rinkeby + MetaMask), ενισχύοντας τη διαφάνεια στη διάθεση εσόδων (consensus, 2025)

- **Everledger – IDENTIFY:** Έξυπνες ετικέτες και IoT/sensor layers (π.χ. συνθετικό DNA, μηχανική όραση) που «δένονται» με blockchain για έλεγχο ταυτότητας, προέλευσης και ιδιοκτησίας προϊόντων υψηλής αξίας (διαμάντια, κρασί, πολυτελή αγαθά, αυτοκίνητα), σε συνεργασία με ομίλους όπως De Beers, LVMH, Chanel, Volvo κ.ά. (Everledger, 2025).
- **Provenance Blockchain:** Δημόσια blockchain ανοιχτού κώδικα, σχεδιασμένη για τον χρηματοοικονομικό τομέα (μέρος του οικοσυστήματος Cosmos), που επιτρέπει την έκδοση, διαχείριση και διαπραγμάτευση φυσικών και ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων· πάνω από 16 δισ. \$ σε συναλλαγές έως το 2023 (Provenance Blockchain, 2025).
- **Aura Blockchain Consortium:** Μη κερδοσκοπικό consortium πολυτελείας (LVMH, Prada Group, OTB, Cartier/Richemont) που αναπτύσσει το Aura DPP (Digital Product Passport) και λύσεις σε δημόσια ή ιδιωτικά blockchains για αυθεντικότητα, ιστορία προϊόντος, NFTs/SBTs και ενίσχυση της σχέσης πολυτελών brands–πελάτη (auraconsortium.com, 2025)
- **Circularise:** Παρέχει DPP (Digital Product Passport) και το εργαλείο MassBalancer για ιχνηλασιμότητα υλικών και τήρηση ισοζυγίων μάζας σε βιομηχανίες που στοχεύουν σε πιστοποιήσεις βιωσιμότητας (π.χ. ISCC). Έχει υλοποιήσει έργα με Porsche, ISCC PLUS, πόλη Άμστερνταμ, EuReComp, Circular Foam κ.ά., παρακολουθώντας υλικά και υποστηρίζοντας κυκλικά οικοσυστήματα (circularise.com, 2025) .
- **VeChain x H&M (ARKET, COS):** Χρήση της πλατφόρμας VeChain για ιχνηλασιμότητα στην εφοδιαστική αλυσίδα της H&M· πιλοτικά projects με ARKET και COS για επαλήθευση βιολογικής παραγωγής και διαφανή πληροφόρηση προς τον καταναλωτή σχετικά με την προέλευση και τις διαδικασίες παραγωγής (thenextweb, 2025; vechain101.com, 2025).
- **Fashion for Good:** Παγκόσμια πλατφόρμα συνεργασίας για καινοτομία στη μόδα· συνδυάζει ψηφιακές πλατφόρμες ιχνηλασιμότητας (blockchain / cloud) με physical tracers (forensic & additive) για επαλήθευση προέλευσης, συμμόρφωση με κανονισμούς (UFLPA, CSDDD) και πιλοτικά προγράμματα με πάνω από 65.000 προμηθευτές (fashionforgood.com, 2025).
- **Arianee:** Δημιουργεί ψηφιακές ταυτότητες/NFTs για φυσικά προϊόντα (ιδίως είδη πολυτελείας), πάνω σε δημόσιο, EVM-compatible πρωτόκολλο. Κάθε προϊόν διαθέτει ψηφιακό διαβατήριο (QR/app) με προέλευση, ιστορικό ιδιοκτησίας και αυθεντικότητα· διευκολύνει την αγορά μεταχειρισμένων, προγράμματα loyalty και δράσεις βιωσιμότητας, με έμφαση σε αποκεντρωμένη ταυτότητα (DID) και ιδιωτικότητα (Arianee.Com, 2025).

Συνολικά, οι λύσεις αυτές δείχνουν τη δυναμική του blockchain και των ψηφιακών ταυτοτήτων για έλεγχο αυθεντικότητας, ιχνηλασιμότητα και συμμόρφωση με κανονισμούς. Ωστόσο, λειτουργούν συχνά αποσπασματικά, σε σιλό και με περιορισμένη διαλειτουργικότητα και φιλικότητα προς τον τελικό χρήστη, γεγονός που δημιουργεί χώρο για πιο ολοκληρωμένες, user-centric πλατφόρμες που ενσωματώνουν ενιαία έλεγχο ταυτότητας, ιχνηλασιμότητα και βιωσιμότητα σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.

2.5.3 Επαναχρησιμοποίηση, επισκευή & recommerce

Η επαναχρησιμοποίηση και το recommerce αποτελούν θεμελιώδη στοιχεία της κυκλικής οικονομίας της μόδας, επιτρέποντας την παράταση της διάρκειας ζωής των προϊόντων μέσω επισκευής, επαναπώλησης

και ανακύκλωσης. Πλατφόρμες επανεμπορίου και πρωτοβουλίες επισκευής ενισχύουν σημαντικά την κυκλικότητα, μειώνοντας τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα και την ανάγκη για νέα παραγωγή.

- **Patagonia – Worn Wear:** Η Patagonia πρωτοπορεί με το *Worn Wear*, μια υπηρεσία που προωθεί την επιδιόρθωση και επαναχρησιμοποίηση ρούχων, ενθαρρύνοντας την παράταση του κύκλου ζωής των προϊόντων μέσω επισκευών, ανταλλαγών και resale (Farooque et al., 2019).
- **Vinted:** Το Vinted, μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες πλατφόρμες επαναπώλησης διεθνώς, στηρίζει peer-to-peer μεταπώληση ενδυμάτων χωρίς προμήθειες για τους πωλητές, διευκολύνοντας τη μαζική επανακυκλοφορία ρούχων χαμηλού και μεσαίου κόστους (Madison Holt, 2024).
- **Vestiaire Collective:** Μια από τις βασικότερες luxury resale πλατφόρμες, προσφέροντας έλεγχο γνησιότητας και προωθώντας το μοντέλο "responsible luxury", συμβάλλοντας σε υψηλής ποιότητας recommerce (Vestiaire Collective, 2024).
- **ThredUp:** Ένα από τα μεγαλύτερα thrift marketplaces παγκοσμίως, λειτουργεί με consignment μοντέλο, διευκολύνοντας την πώληση μεγάλων όγκων μεταχειρισμένων ειδών με αυτοματοποιημένες διαδικασίες αξιολόγησης και τιμολόγησης (ThredUp, 2025).
- **The RealReal:** Ειδικεύεται σε μεταπώληση luxury ειδών με πλήρη πιστοποίηση γνησιότητας από ειδικούς, υποστηρίζοντας ένα αξιόπιστο, premium οικοσύστημα recommerce (TheRealReal, 2023).
- **Facebook-Marketplace:** Ένα από τα πιο διαδεδομένα marketplace για peer-to-peer πωλήσεις ενδυμάτων στην Ελλάδα, με τοπική παράδοση και άμεση επικοινωνία αγοραστή-πωλητή. Το 16% των ενεργών χρηστών στις ΗΠΑ πραγματοποιεί αγορές μέσω Marketplace, δείχνοντας τη δυναμική του (Capital One Shopping, 2025).
- **Vendora:** Η δημοφιλέστερη ελληνική πλατφόρμα αγγελιών, με ισχυρή παρουσία και στη μεταπώληση ενδυμάτων, χάρη στη δωρεάν ανάρτηση αγγελιών και την τοπική στόχευση (Vendora, 2025).
- **Skoop by Skrutz:** Η νέα υπηρεσία recommerce του Skrutz επιτρέπει την ασφαλή πώληση/αγορά νέων και μεταχειρισμένων προϊόντων, με έλεγχο συναλλαγών από το Skrutz και αξιόπιστο σύστημα πληρωμών (skrutz.gr, 2025).
- **Bazaraki:** Παρότι επικεντρώνεται στην Κύπρο, χρησιμοποιείται και στην Ελλάδα για απλές αγγελίες μεταχειρισμένων ρούχων και αξεσουάρ, παρέχοντας ένα ακόμη κανάλι τοπικού recommerce (Bazaraki.gr, 2025).
- **eBay:** Παραμένει σημαντική διεθνής πλατφόρμα για επαναπώληση ενδυμάτων, επιτρέποντας πρόσβαση σε παγκόσμια αγορά και συστήματα προστασίας συναλλαγών (eBay, 2025).

Οι παραπάνω πλατφόρμες, διεθνείς και ελληνικές, συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάπτυξη της κυκλικής οικονομίας της μόδας. Προσφέρουν λύσεις που μειώνουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ενισχύουν τη διαφάνεια, προωθούν την επαναχρησιμοποίηση και δίνουν στους καταναλωτές πρακτικές, οικονομικές και βιώσιμες επιλογές.

2.5.4 Βιώσιμες ύλες & υλικά νέας γενιάς

Στο πλαίσιο της κυκλικής και βιώσιμης μόδας, πολλές εταιρείες αναπτύσσουν καινοτόμα υλικά νέας γενιάς που αντικαθιστούν το ζωικό δέρμα και τα συνθετικά υλικά, μειώνοντας το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της παραγωγής. Τα βιοϋλικά αυτά αξιοποιούν φυσικές, ανακυκλώσιμες ή φυτικής προέλευσης πρώτες ύλες, προωθώντας ένα μοντέλο μόδας με χαμηλότερη χρήση πόρων.

- **Bolt Threads – Mylo (μυκήλιο)**

Το *Mylo* είναι ένα vegan leather κατασκευασμένο από μυκήλιο (ρίζωμα μανιταριών), με διαδικασία χαμηλής ενεργειακής έντασης σε σύγκριση με το ζωικό δέρμα. Προσφέρει ελαστικότητα, αντοχή και υφή παρόμοια με το δέρμα, αποτελώντας βιώσιμη εναλλακτική χωρίς ζωικές πρώτες ύλες (Bolt Threads, 2025).

- **Piñatex (Ananas Anam)**

Το *Piñatex* παράγεται από ίνες φύλλων ανανά, αξιοποιώντας γεωργικά απόβλητα που διαφορετικά θα καίγονταν. Το υλικό έχει δερματίνη-like υφή και χρησιμοποιείται ευρέως σε μόδα, αξεσουάρ και υποδήματα, μειώνοντας την εξάρτηση από PVC και συνθετικές δέρμα (Ananas Anam, 2025; Senthilkannan and Ramchandani, 2024).

- **Alt Leather Innovators – Desserto & Mirum**

- **Desserto:** vegan δέρμα από κάκτο, με χαμηλές απαιτήσεις σε νερό και χωρίς φυτοφάρμακα, που συνδυάζει φυτικές ίνες και οργανικά πολυμερή. Έχει ήδη εμπορική εφαρμογή από μεγάλες εταιρείες (π.χ. Adidas, Mercedes-Benz), αποτελώντας μια διαθέσιμη και σημαντικά πιο βιώσιμη εναλλακτική στο ζωικό δέρμα (Desserto, 2025; Senthilkannan & Ramchandani, 2024).

- **MIRUM®:** πλήρως plastic-free, bio-based υλικό από φυσικές ίνες, έλαια και ορυκτά. Παρουσιάζεται στη βιβλιογραφία ως ιδανική λύση χωρίς πετροχημικά, αλλά η παραγωγή του παραμένει περιορισμένη και δεν έχει φτάσει σε βιομηχανική κλίμακα. Αυτό έχει οδηγήσει σε συζητήσεις σχετικά με το κατά πόσο η αναζήτηση του “τέλειου” υλικού ενδέχεται να υπονομεύει την υιοθέτηση ήδη βιώσιμων, εμπορικά διαθέσιμων λύσεων όπως το cactus leather (Desserto, 2025; Senthilkannan & Ramchandani, 2024).

2.6 Παγκόσμιες συμμαχίες βιωσιμότητας

Η παγκόσμια βιομηχανία της μόδας χαρακτηρίζεται από αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση και σύνθετες κοινωνικές προκλήσεις, γεγονός που έχει οδηγήσει στη συγκρότηση διεθνών οργανισμών και συμμαχιών με στόχο τη διαμόρφωση πλαισίων βιώσιμης ανάπτυξης. Βασικοί οργανισμοί που συμβάλλουν στη διαμόρφωση πολιτικών, μεθοδολογιών και δεικτών βιωσιμότητας είναι η Clean Clothes Campaign, η οποία εστιάζει στη διασφάλιση εργασιακών δικαιωμάτων στην κλωστοϋφαντουργία από το 1989 (Clean Clothes Campaign, 2024), καθώς και η Fashion Revolution, που ιδρύθηκε μετά το Rana Plaza (2013), προωθώντας συστημική αλλαγή μέσω έρευνας, εκπαίδευσης και συλλογικής δράσης με στόχο την εξάλειψη της εργασιακής και περιβαλλοντικής εκμετάλλευσης και την ενίσχυση της διαφάνειας και της λογοδοσίας στον κλάδο (fashionrevolution.org, 2025). Επιπλέον, το Ellen MacArthur Foundation έχει

αναπτύξει θεμελιώδεις αρχές κυκλικής οικονομίας για τον κλάδο (ellenmacarthurfoundation.org, 2025), ενώ η Cascale, πρώην Sustainable Apparel Coalition έχει θεσπίσει το Higg Index, ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία αξιολόγησης περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιδόσεων (cascale.org, 2025). Άλλοι οργανισμοί όπως το Global Fashion Agenda, το Slow Factory και η Ethical Trading Initiative προωθούν διεθνείς συνεργασίες και τεκμηριωμένη έρευνα σχετικά με υπεύθυνες πρακτικές παραγωγής και κατανάλωσης.

Παράλληλα με τις πρωτοβουλίες αυτές, αναπτύσσονται τεχνικά προσανατολισμένοι φορείς που εξειδικεύονται σε ζητήματα πρώτων υλών, παραγωγής και περιβαλλοντικής συμμόρφωσης. Η Textile Exchange αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους διεθνείς οργανισμούς στον τομέα των υπεύθυνων πρώτων υλών, δημοσιεύοντας ετησίως το Materials Market Report, το οποίο λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την εξέλιξη των βιώσιμων υλικών (textileexchange.org, 2025). Ο οργανισμός ZDHC – Zero Discharge of Hazardous Chemicals αναπτύσσει τεχνικά πρότυπα για την εξάλειψη επικίνδυνων χημικών ουσιών από την κλωστοϋφαντουργική παραγωγή, επηρεάζοντας σημαντικά τα συστήματα διαχείρισης χημικών και τις διαδικασίες επεξεργασίας υφασμάτων παγκοσμίως (zdhc.org, 2025).

Παράλληλα, στον ευρύτερο οικολογικό τομέα δραστηριοποιούνται μη κυβερνητικές οργανώσεις όπως η Greenpeace, οι οποίες ενώ δεν εξειδικεύονται αποκλειστικά στη μόδα, συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση περιβαλλοντικών πολιτικών που επηρεάζουν και τον κλάδο, μέσω εκστρατειών για την προστασία των οικοσυστημάτων, την απαγόρευση επικίνδυνων χημικών και τη μείωση της ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα.

Η συλλογική δράση των παραπάνω οργανισμών έχει καθοριστική σημασία για τη διαμόρφωση ενός συνεκτικού πλαισίου βιωσιμότητας, στο οποίο ο κλάδος καλείται να ευθυγραμμιστεί τόσο σε επίπεδο εταιρικής στρατηγικής όσο και σε επίπεδο εφοδιαστικής αλυσίδας.

2.7 Η ελληνική πραγματικότητα

Η διαχείριση κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων στην Ελλάδα παρουσιάζει σημαντική εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, καθώς η χώρα επιχειρεί να ευθυγραμμιστεί με τις ευρωπαϊκές πολιτικές για τη βιώσιμη κυκλική οικονομία και τη χωριστή συλλογή κλωστοϋφαντουργικών έως το 2025. Ιστορικά, η Ελλάδα αντιμετώπιζε τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα ως μέρος των σύμμεικτων απορριμμάτων, χωρίς εξειδικευμένες υποδομές συλλογής, διαλογής και ανακύκλωσης. Ωστόσο, με την υιοθέτηση του **Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων** (ΕΣΔΑ 2020–2030), καταγράφεται μια σταδιακή μετάβαση προς πιο οργανωμένα συστήματα διαχείρισης, που περιλαμβάνουν χωριστή συλλογή, ταξινόμηση και ανακύκλωση (ΕΣΔΑ, 2020).

Στο νέο αυτό πλαίσιο, αρκετοί δήμοι (ιδιαίτερα στην Αττική) έχουν αναπτύξει πιλοτικά προγράμματα χωριστής συλλογής κλωστοϋφαντουργικών, συχνά σε συνεργασία με ιδιωτικούς φορείς. Τα προγράμματα αυτά στοχεύουν στην ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης μέσω ταξινόμησης των ενδυμάτων που βρίσκονται σε καλή κατάσταση, ενώ τα μη αξιοποιήσιμα υφάσματα οδηγούνται σε ανακύκλωση ως δευτερογενείς πρώτες ύλες. Η εισαγωγή των μοβ κάδων για συλλογή ρούχων και υποδημάτων αποτελεί σημαντικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση, συνδυάζοντας οπτική διάκριση, ενημέρωση πολιτών και συλλογική ευαισθητοποίηση.

Ενδεικτικά, στην Αθήνα καταγράφηκε σημαντική αύξηση των συλλεγόμενων ποσοτήτων: μέσα στο 2021, με τους παλαιότερους κόκκινους κάδους, συλλέχθηκαν 536 τόνοι ενδυμάτων — αύξηση 158% σε σχέση με το 2020 (Athnes Voice, 2020). Η αντικατάσταση αυτών των κάδων από τους μοβ αναμένεται να ενισχύσει περαιτέρω τη συμμετοχή των πολιτών και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων συλλογής.

Σημαντικό ρόλο στη χωριστή συλλογή παίζει η RECYCOM, η μεγαλύτερη ελληνική εταιρεία συλλογής και ανακύκλωσης ενδυμάτων και υποδημάτων. Σε συνεργασία με δήμους και φορείς, έχει εγκαταστήσει πάνω από 2.000 κάδους σε όλη την Ελλάδα και λειτουργεί πέντε εγκαταστάσεις διαλογής και επεξεργασίας σε Αττική, Ήπειρο και Κρήτη (RECYCOM, 2024). Η εταιρεία έχει προσφέρει:

- 11.000 κιλά καθαρού ρουχισμού σε άτομα με οικονομικές δυσκολίες το 2022,
- υποστήριξη σε περίπου 152.000 πολίτες,
- συνεργασία με πάνω από 120 δήμους και επιχειρήσεις,
- ανακύκλωση και εξαγωγή υφασμάτων προς εξειδικευμένες μονάδες επεξεργασίας.

Τα ενδύματα που συλλέγονται μέσω των κάδων είτε επαναχρησιμοποιούνται για κοινωνικούς σκοπούς είτε οδηγούνται σε ανακύκλωση, μειώνοντας τον όγκο των αποβλήτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ και ενισχύοντας το κυκλικό μοντέλο διαχείρισης σε εθνικό επίπεδο.

Για την περιοχή της Αθήνας, τα διαθέσιμα δεδομένα δείχνουν ότι οι κάδοι έχουν τοποθετηθεί σε πολυσύχναστα σημεία, όπως σχολεία και δημόσιους χώρους, και οι πολίτες έχουν αγκαλιάσει αυτήν την πρωτοβουλία. Οι αναφορές για την επιτυχία τους περιλαμβάνουν την υποστήριξη τόσο της κοινωνίας όσο και της τοπικής αυτοδιοίκησης (recycom.gr, 2024).

Η νομική βάση που διέπει τη διαχείριση κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων στην Ελλάδα είναι εκτενής και ευθυγραμμίζεται σε μεγάλο βαθμό με τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο **νόμος 4685/2020** εκσυγχρονίζει την περιβαλλοντική νομοθεσία και καθιστά υποχρεωτική τη χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των κλωστοϋφαντουργικών, από τον Δεκέμβριο του 2022. Ο νόμος ενθαρρύνει επίσης τη δημιουργία νέων μονάδων επεξεργασίας, μεταξύ των οποίων εγκαταστάσεις για ταξινόμηση και ανακύκλωση υφασμάτων (ΕΣΔΑ, 2020).

Παράλληλα, το ευρωπαϊκά επιβαλλόμενο σύστημα **Διευρυμένης Ευθύνης Παραγωγού (EPR)** απαιτεί από τους παραγωγούς ενδυμάτων να χρηματοδοτούν και να συμμετέχουν ενεργά στη διαχείριση των απορριμμάτων που παράγουν. Το σύστημα αυτό στην Ελλάδα βρίσκεται σε φάση εφαρμογής μέσω της δημιουργίας οργανισμών ευθύνης παραγωγού (PROs) για τον κλωστοϋφαντουργικό τομέα. Η εθνική δέσμευση για μείωση των απορριμμάτων που καταλήγουν σε ΧΥΤΑ κάτω από το 10% έως το 2030 ενισχύει ακόμη περισσότερο την ανάγκη για αποτελεσματικά συστήματα ανακύκλωσης ενδυμάτων (ΕΣΔΑ, 2020).

Ο νόμος 4819/2021 ενσωματώνει τις οδηγίες 2018/851 και 2018/852 της ΕΕ και αναδιαμορφώνει το πλαίσιο διαχείρισης αποβλήτων, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα κλωστοϋφαντουργικά. Ορίζει υποχρεώσεις για τους παραγωγούς, ενθαρρύνει την ανακύκλωση, θεσπίζει μέτρα για την

επαναχρησιμοποίηση και επιβάλλει αυστηρότερες πρακτικές ελέγχου στις αλυσίδες εφοδιασμού (ΦΕΚ, 2021).

Συμπληρωματικά, η Υπουργική Απόφαση 99398/6484 καθορίζει τις απαιτήσεις αδειοδότησης για εγκαταστάσεις διαχείρισης αποβλήτων, μεταξύ των οποίων και μονάδες επεξεργασίας υφασμάτων, εστιάζοντας στην πρόληψη περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και στην ορθολογική χωροθέτηση υποδομών (ΦΕΚ, 2022).

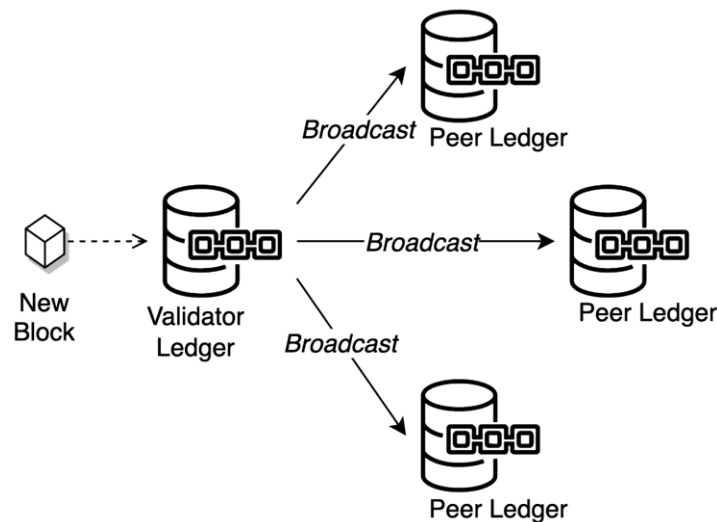
Η ελληνική αγορά παρουσιάζει επίσης αυξανόμενη δυναμική στον τομέα του recommerce, με διαδικτυακές πλατφόρμες και επιχειρήσεις να υποστηρίζουν την επανακυκλοφορία ενδυμάτων και την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας. Επιπλέον, δρομολογούνται επενδύσεις σε νέες τεχνολογικές υποδομές ταξινόμησης και ανακύκλωσης κλωστοϋφαντουργικών, που αποτελούν προϋπόθεση για τη συμμόρφωση με το ευρωπαϊκό πλαίσιο χωριστής συλλογής.

Συνολικά, η ελληνική πραγματικότητα βρίσκεται σε φάση μετάβασης: από ένα σύστημα όπου τα κλωστοϋφαντουργικά απόβλητα αντιμετωπίζονταν ως σύμμεικτα απορρίμματα, προς ένα πιο οργανωμένο μοντέλο που ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και τις απαιτήσεις της ΕΕ. Η επιτυχία αυτής της μετάβασης θα εξαρτηθεί από την ενίσχυση των υποδομών, τη δημιουργία αποτελεσματικών PROs, την ευαισθητοποίηση των πολιτών και την ενεργή συμμετοχή της τοπικής αυτοδιοίκησης και των επιχειρήσεων στον κύκλο της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης.

3. Τεχνολογικές λύσεις blockchain για marketplaces και κυκλική μόδα

Η τεχνολογία Blockchain είναι μια αποκεντρωμένη, καθολικά καταναμεμημένη τεχνολογία που διασφαλίζει την ακεραιότητα, τη διαφάνεια και την ασφάλεια των δεδομένων μέσω της χρήσης ενός μηχανισμού συναίνεσης. Αρχικά αναπτύχθηκε για κρυπτονομίσματα, ωστόσο οι εφαρμογές της έχουν επεκταθεί σε διάφορους κλάδους (Choi & Luo, 2019).

Στην Εικόνα 3 αναπαρίσταται σχεδιαστικά η αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Blockchain.



Εικόνα 3: Αρχιτεκτονική της τεχνολογίας Blockchain

Η αξία της για τη βιομηχανία μόδας και ειδικότερα για πλατφόρμες επανεμπορίου εδράζεται στη δυνατότητά της να παρέχει διαφάνεια, αμετάβλητο ιστορικό, πιστοποίηση αυθεντικότητας και έξυπνες αυτοματοποιημένες συναλλαγές. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της τεχνολογίας, οι εφαρμογές της σε ηλεκτρονικές αγορές και επανεμπόριο, διάφορα case studies από τη διεθνή βιβλιογραφία, καθώς και οι τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την υλοποίηση ενός συστήματος όπως το REFASHION.

Στα παρακάτω υποκεφάλαια αναλύονται:

- (3.1) οι βασικές αρχές του Blockchain,
- (3.2) τα μοντέλα tokenization,
- (3.3) οι λειτουργίες των έξυπνων συμβολαίων,
- (3.4) τα διεθνή case studies εφαρμογής στη μόδα,
- (3.5) οι τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις.

3.1 Βασικές αρχές και μηχανισμοί λειτουργίας του blockchain

Η τεχνολογία blockchain είναι ένα κατακεντρωμένο και αμετάβλητο μητρώο συναλλαγών, το οποίο λειτουργεί χωρίς κεντρικό έλεγχο και βασίζεται στη συμφωνία (consensus) μεταξύ ανεξάρτητων κόμβων (Nakamoto, 2008). Κάθε σύνολο συναλλαγών οργανώνεται σε ένα «μπλοκ» που περιλαμβάνει κρυπτογραφημένο σύνδεσμο (hash) προς το προηγούμενο μπλοκ, δημιουργώντας μια αδιάσπαστη αλυσίδα δεδομένων. Η αμετάβλητη αυτή δομή καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την αλλοίωση πληροφοριών εκ των υστέρων, αυξάνοντας τη διαφάνεια και την αξιοπιστία του συστήματος.

Αρχικά αναπτύχθηκε ως η βασική τεχνολογία για το Bitcoin, αλλά οι εφαρμογές του έχουν επεκταθεί πολύ πέρα από τα κρυπτονομίσματα, χρησιμοποιούνται πλέον σε διάφορους κλάδους όπως τα οικονομικά, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, η υγειονομική περίθαλψη και πολλά άλλα. (Swan, 2015)

Τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας Blockchain είναι τα εξής:

1. **Decentralization/Αποκεντρώση:** Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα που βασίζονται σε μια κεντρική αρχή (όπως τράπεζες ή κυβερνήσεις), το Blockchain λειτουργεί σε ένα δίκτυο peer-to-peer όπου όλοι οι συμμετέχοντες (κόμβοι) έχουν πρόσβαση στα ίδια δεδομένα. Αυτή η αποκεντρωμένη φύση καταργεί την ανάγκη για μεσάζοντες, ενισχύοντας την ασφάλεια και την εμπιστοσύνη μεταξύ των συμμετεχόντων (Nakamoto, 2008).
2. **Transparency and Immutability/ Διαφάνεια και αμεταβλητότητα:** Κάθε συναλλαγή που πραγματοποιείται με την χρήση της τεχνολογίας blockchain καταγράφεται σε ένα «μπλοκ» και κάθε μπλοκ συνδέεται με το προηγούμενο, σχηματίζοντας μια «αλυσίδα». Μόλις προστεθούν δεδομένα στην αλυσίδα, είναι σχεδόν αδύνατο να τροποποιηθεί χωρίς να αλλάξει όλα τα επόμενα μπλοκ, καθιστώντας τα δεδομένα αμετάβλητα (Swan, 2015). Οποιοσδήποτε έχει πρόσβαση στην τεχνολογία μπορεί να επαληθεύσει τα δεδομένα και την προέλευση τους.
3. **Consensus Mechanisms/ Μηχανισμοί συναίνεσης:** Το Blockchain απαιτεί μια μέθοδο για να συμφωνήσουν οι συμμετέχοντες στο δίκτυο σχετικά με την κατάσταση του μητρώου. Ο πιο κοινός μηχανισμός συναίνεσης είναι το Proof of Work (PoW), που χρησιμοποιείται στο Bitcoin, όπου οι miners (εξορύκτες) λύνουν πολύπλοκα μαθηματικά παζλ για να επικυρώσουν τις συναλλαγές και να τα προσθέσουν δεδομένα στην αλυσίδα blockchain. Άλλες μέθοδοι συναίνεσης περιλαμβάνουν το Proof of Stake (PoS), όπου οι επικυρωτές επιλέγονται με βάση το ποσό του κρυπτονομίσματος που κατέχουν (Buterin, 2017).
4. **Security and Cryptography/ Ασφάλεια και Κρυπτογράφηση:** Το Blockchain χρησιμοποιεί κρυπτογραφικές τεχνικές για την ασφάλιση των δεδομένων και την διασφάλιση ότι οι συναλλαγές είναι αυθεντικές. Κάθε συναλλαγή υπογράφεται με ένα μοναδικό κρυπτογραφημένο κλειδί που διασφαλίζει την ταυτότητα του αποστολέα, ενώ οι λειτουργίες κατακερματισμού διασφαλίζουν τα περιεχόμενα κάθε μπλοκ (Narayanan, A., Bonneau, J., Felten, E., Miller, A., & Goldfeder, S., 2016).

Πως λειτουργεί;

1. Έναρξη συναλλαγής

Μια συναλλαγή ξεκινά όταν ένας συμμετέχων στέλνει δεδομένα (π.χ. κρυπτονομίσματα, συμβόλαια ή αρχεία) σε έναν άλλο. Αυτή η συναλλαγή μεταδίδεται σε ένα δίκτυο υπολογιστών, το εθελοντικό δίκτυο συμμετεχόντων που υπάρχει στην τεχνολογία αυτή.

2. Επαλήθευση συναλλαγής

Οι υπολογιστές του δικτύου επαληθεύουν τη συναλλαγή επικυρώνοντας τις κρυπτογραφικές υπογραφές και διασφαλίζοντας ότι η συναλλαγή ακολουθεί τους κανόνες πρωτοκόλλου (για παράδειγμα, διασφαλίζοντας ότι ο αποστολέας έχει αρκετά χρήματα σε περίπτωση οικονομικής συναλλαγής). Αυτό γίνεται μέσω του μηχανισμού συναίνεσης, ο οποίος διασφαλίζει ότι η πλειοψηφία των κόμβων συμφωνεί για την εγκυρότητα της συναλλαγής (Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K, 2018)

3. Σχηματισμός μπλοκ

Αφού επαληθευτεί, η συναλλαγή ομαδοποιείται με άλλες συναλλαγές σε ένα "μπλοκ". Αυτό το μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα με γραμμική, χρονολογική σειρά. Η διαδικασία προσθήκης του μπλοκ απαιτεί την επίλυση ενός κρυπτογραφικού παζλ (σε συστήματα PoW) για την επικύρωση του μπλοκ.

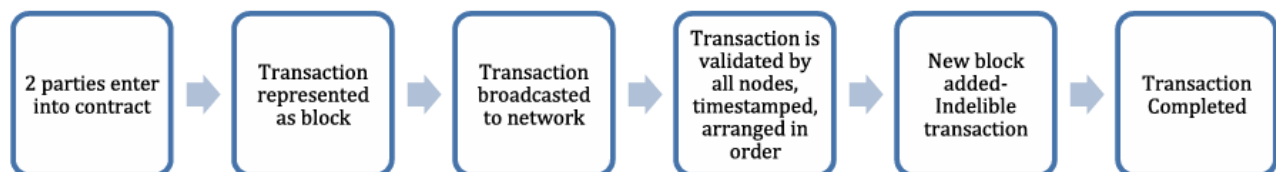
4. Αποκλεισμός προσθήκης και ενημέρωσης αλυσίδας

Αφού προστεθεί το μπλοκ στην αλυσίδα, διανέμεται σε ολόκληρο το δίκτυο, ενημερώνοντας κάθε κόμβο με την πιο πρόσφατη κατάσταση της αλυσίδας. Επειδή κάθε μπλοκ είναι κρυπτογραφικά συνδεδεμένο με το προηγούμενο, γίνεται εξαιρετικά δύσκολο να τροποποιηθεί οποιοδήποτε μπλοκ χωρίς να επαναληφθεί η εργασία ολόκληρης της αλυσίδας.

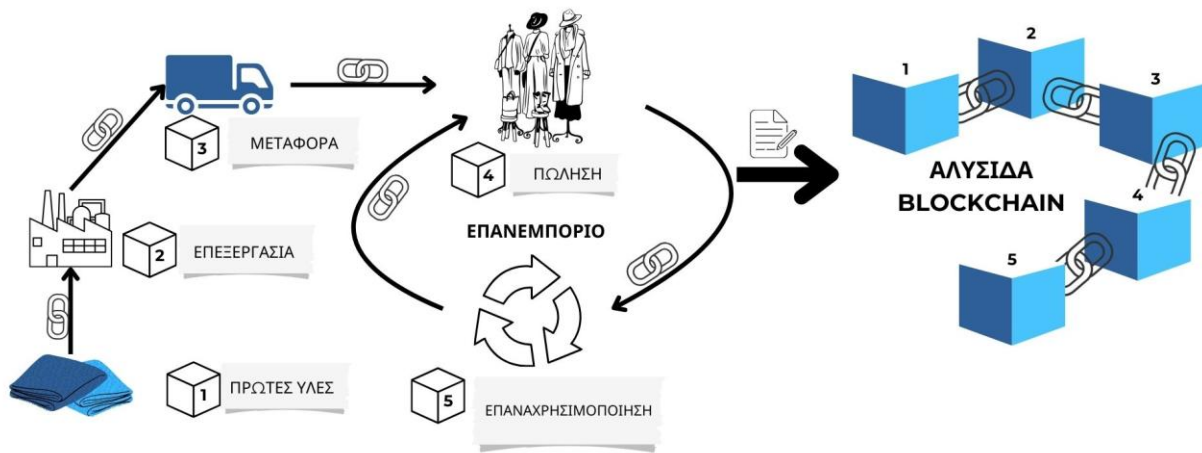
5. Αμεταβλητότητα και Αποκέντρωση

Λόγω της αποκεντρωμένης φύσης του συστήματος και της δυσκολίας αλλαγής των προηγούμενων μπλοκ, το blockchain παραμένει ασφαλές και αμετάβλητο. Αυτό το αποκεντρωμένο σύστημα αποθήκευσης αρχείων αποτρέπει την παραποίηση και την απάτη, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι συμμετέχοντες μπορούν να εμπιστεύονται τα δεδομένα που είναι καταγεγραμμένα στο μητρώο. (Pankaj Duttaa ,Tsan-Ming Choib, Surabhi Somanic, Richa Butalac, 2020)

Στην *Εικόνα 4* φαίνεται σχεδιαγραμματικά η ροή εργασίας της τεχνολογίας Blockchain ενώ στην *Εικόνα 5* φαίνεται η ροή πληροφορίας μέσα από ένα παράδειγμα εφαρμογής της στο επανεμπόριο. Στο σχεδιάγραμμα φαίνεται η ροή της πληροφορίας σε μπλοκ, τα δεδομένα για κάθε διαδικασία (πρώτες ύλες, επεξεργασία, μεταφορά, κλπ.) αποθηκεύονται σε μια συναλλαγή η οποία αποθηκεύεται στην αλυσίδα blockchain και έτσι δημιουργείται μια αλυσίδα η οποία καταγράφει όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος.



Εικόνα 4: Ροή Εργασίας (Work Flow) BCT



Εικόνα 5: Σχεδιάγραμμα ροής πληροφοριών μιας αλυσίδας Blockchain στο επανεμπόριο

Η αρχιτεκτονική των δικτύων blockchain μπορεί να είναι δημόσια, ιδιωτική ή υβριδική. Τα δημόσια blockchain, όπως Ethereum και Polygon, επιτρέπουν την ελεύθερη πρόσβαση και συμμετοχή, αποτελώντας κατάλληλα περιβάλλον για εφαρμογές όπου η διαφάνεια είναι κρίσιμη. Τα ιδιωτικά blockchain βασίζονται σε περιορισμένη πρόσβαση και χρησιμοποιούνται συχνότερα σε επιχειρηματικές εφαρμογές με αυξημένες απαιτήσεις απορρήτου (Wang, M., Wu, Y., Chen, B., & Evans, M., 2020). Η επιλογή της αρχιτεκτονικής επηρεάζει δείκτες όπως η ταχύτητα συναλλαγών, η επεκτασιμότητα, η ενεργειακή κατανάλωση και ο βαθμός αποκέντρωσης.

Τα μηχανιστικά θεμέλια του blockchain, όπως οι αλγόριθμοι συναίνεσης (Proof of Work, Proof of Stake), η κρυπτογραφία δημοσίου και ιδιωτικού κλειδιού και οι κατακευκτωμένες βάσεις δεδομένων, επιτρέπουν την ακριβή, διαφανή και ασφαλή καταγραφή της ιστορίας ενός αντικειμένου. Αυτή η ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιομηχανία μόδας, όπου η προέλευση ενός προϊόντος, η αυθεντικότητα και το πλήρες ιστορικό του αποτελούν κρίσιμα στοιχεία τόσο στη χρήση όσο και στην επαναπώληση (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020).

3.1.1 Μορφές και τομείς εφαρμογής

Οι εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain εκτείνονται πέρα από τις χρηματοοικονομικές υπηρεσίες και περιλαμβάνουν την υγειονομική περίθαλψη, την ενέργεια και τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Στην υγειονομική περίθαλψη, το Blockchain χρησιμοποιείται για την ασφαλή αποθήκευση αρχείων ασθενών και τη διαχείριση των φαρμακευτικών αλυσίδων εφοδιασμού. Εξασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων, ενισχύει το απόρρητο και βελτιώνει την ιχνηλασιμότητα των φαρμάκων από τους κατασκευαστές στους ασθενείς, μειώνοντας τον κίνδυνο πλαστών φαρμάκων (Queiroz, M. M., & Wamba, S. F., 2019).

Στον ενεργειακό τομέα, η τεχνολογία Blockchain επιτρέπει το peer-to-peer εμπόριο ενέργειας και ενισχύει τη διαχείριση του δικτύου. Υποστηρίζει αποκεντρωμένες αγορές ενέργειας, όπου οι καταναλωτές μπορούν να ανταλλάσσουν την πλεονάζουσα ενέργεια απευθείας μεταξύ τους, αυξάνοντας την απόδοση και μειώνοντας το κόστος (Queiroz, M. M., & Wamba, S. F., 2019) .

Στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, το blockchain παρέχει ένα διαφανές και αμετάβλητο αρχείο κάθε συναλλαγής, από την προμήθεια πρώτων υλών έως την παράδοση των τελικών προϊόντων. Αυτό ενισχύει την ιχνηλασιμότητα, επιτρέποντας στις εταιρείες να επαληθεύουν την προέλευση και τη γνησιότητα των προϊόντων τους. Επιπλέον, βελτιώνει την ασφάλεια αποτρέποντας την απάτη και την παραχάραξη (Chang & Chen, 2020).

Το Blockchain υποστηρίζει επίσης την ανάπτυξη έξυπνων συμβολαίων, τα οποία χρησιμοποιούνται σε διάφορους κλάδους για την αυτοματοποίηση διαδικασιών όπως οι πληρωμές, οι ασφαλιστικές αξιώσεις και οι νομικές συμφωνίες. Αυτές οι αυτοεκτελούμενες συμβάσεις μειώνουν την ανάγκη για μεσάζοντες, εξορθολογίζουν τις λειτουργίες και ενισχύουν την αποτελεσματικότητα (Chang & Chen, 2020).

Στον Πίνακα 3 φαίνονται συνολικά οι διάφοροι τομείς και οι εφαρμογές που μπορεί να έχει η τεχνολογία Blockchain σε αυτούς.

Πίνακας 3: Εφαρμογές της τεχνολογίας Blockchain

Τομέας	Εφαρμογές της Τεχνολογίας Blockchain
Υγεία	Ασφαλής αποθήκευση αρχείων ασθενών, διαχείριση αλυσίδων εφοδιασμού φαρμακευτικών προϊόντων, βελτίωση της ιχνηλασιμότητας (Queiroz, M. M., & Wamba, S. F., 2019)
Ενέργεια	Εμπορία ενέργειας από peer-to-peer, ενίσχυση της διαχείρισης του δικτύου, υποστήριξη αποκεντρωμένων αγορών ενέργειας (Queiroz & Fosso Wamba, 2019a)
Εφοδιαστικής αλυσίδας	Διαφανές και αμετάβλητο αρχείο συναλλαγών, ενισχύοντας την ιχνηλασιμότητα και την ασφάλεια (Queiroz & Fosso Wamba, 2019b)
Χρηματοοικονομικά	Υποστήριξη κρυπτονομισμάτων και οικονομικών συναλλαγών, μειώνοντας την ανάγκη για μεσάζοντες (Chang & Chen, 2020).
Έξυπνα συμβόλαια	Αυτοματοποίηση διαδικασιών όπως πληρωμές, ασφαλιστικές αξιώσεις και νομικές συμφωνίες (Chang & Chen, 2020).

3.2 Tokens και smart contracts

Οι δύο πιο καθοριστικές τεχνολογικές δυνατότητες της τεχνολογίας blockchain για πλατφόρμες επανεμπορίου και κυκλικής μόδας είναι τα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts) και το tokenization. Οι τεχνολογίες αυτές συνιστούν συμπληρωματικούς μηχανισμούς που επιτρέπουν τη μετάβαση από παραδοσιακά, κεντρικά ελεγχόμενα πληροφοριακά συστήματα σε αποκεντρωμένα ψηφιακά οικοσυστήματα, όπου η εκτέλεση κανόνων, η ανταλλαγή αξίας και η διαχείριση ιδιοκτησίας πραγματοποιούνται με αμετάβλητο, διαφανή και αυτοματοποιημένο τρόπο. Στο πλαίσιο των

marketplace μόδας, όπου η εμπιστοσύνη, η ιχνηλασιμότητα και η αξιοπιστία των συναλλαγών αποτελούν κρίσιμους παράγοντες, τα smart contracts λειτουργούν ως μηχανισμοί εκτέλεσης και διακυβέρνησης, ενώ το tokenization παρέχει το μέσο ψηφιακής αναπαράστασης αξίας, προϊόντων και κινήτρων. Η συνδυαστική τους αξιοποίηση διαμορφώνει ένα ισχυρό τεχνολογικό συνδυασμό, στον οποίο οι επιχειρησιακές διαδικασίες, οι οικονομικές ροές και οι περιβαλλοντικοί δείκτες μπορούν να ενσωματωθούν σε ενιαία και επαληθεύσιμα ψηφιακά συστήματα, θέτοντας τις βάσεις για την ανάπτυξη βιώσιμων αγορών επανεμπορίου.

3.2.1 Smart contracts

Τα smart contracts αποτελούν προγραμματιζόμενα, αυτοεκτελούμενα ψηφιακά συμβόλαια που αποθηκεύονται στην αλυσίδα blockchain και ενεργοποιούνται όταν πληρούνται συγκεκριμένες προκαθορισμένες συνθήκες. Η αρχική σύλληψη της έννοιας αποδίδεται στον Szabo (1997), ο οποίος τα περιέγραψε ως μηχανισμούς που ενσωματώνουν τους όρους μιας συμφωνίας απευθείας στον κώδικα, καθιστώντας την εκτέλεσή της αυτόματη και ανεξάρτητη από ανθρώπινη παρέμβαση (Szabo, 1997).

Στο πλαίσιο των blockchain συστημάτων, τα smart contracts λειτουργούν ως αμετάβλητα, εκτελέσιμα προγράμματα που εφαρμόζουν προκαθορισμένους κανόνες χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσου φορέα (Queiroz & Fosso Wamba, 2019b). Παράλληλα, προσφέρουν έναν μηχανισμό αποκεντρωμένης λήψης αποφάσεων, όπου ο κώδικας αναλαμβάνει ρόλο διακυβέρνησης, διασφαλίζοντας την ακεραιότητα, την προβλεψιμότητα και την ανθεκτικότητα των συναλλαγών (Khan et al., 2021). Η λειτουργία τους βασίζεται σε μοντέλα εκτέλεσης που επιβάλλουν πλήρη διαφάνεια, ενώ η αμεταβλητότητα εγγυάται ότι οι όροι του συμβολαίου δεν μπορούν να αλλοιωθούν εκ των υστέρων, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη σε περιβάλλοντα όπου τα εμπλεκόμενα μέρη δεν γνωρίζονται μεταξύ τους (Chang & Chen, 2020).

3.2.1.1 Λειτουργική Αρχιτεκτονική και Μοντέλα Εκτέλεσης

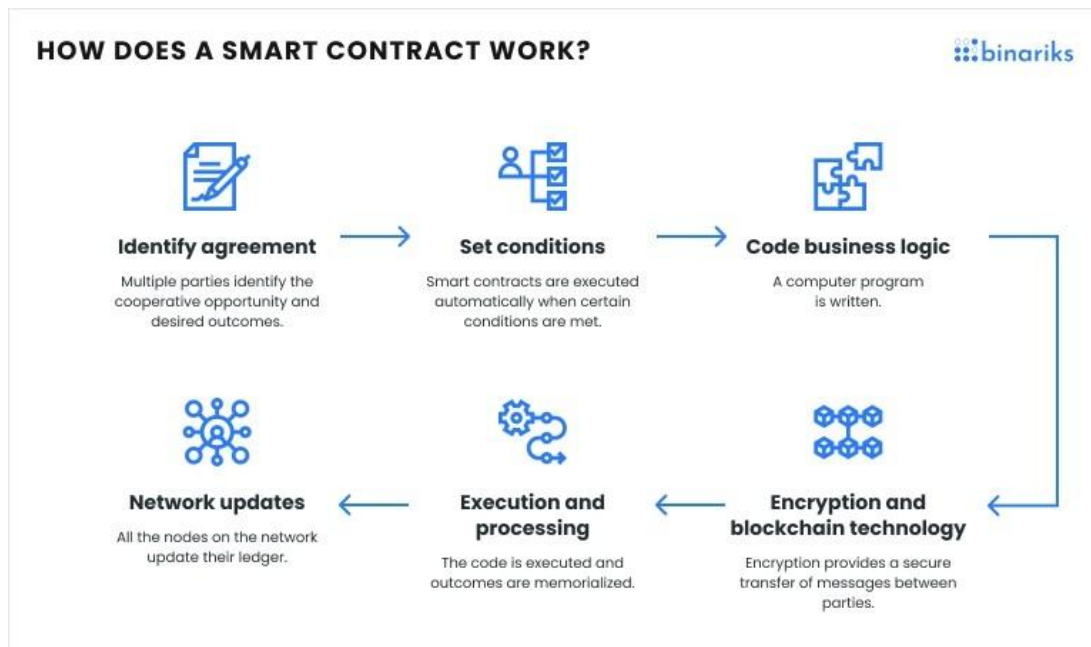
Τα smart contracts (έξυπνα συμβόλαια) αποτελούν αυτοεκτελούμενα ψηφιακά προγράμματα αποθηκευμένα σε μια αλυσίδα blockchain, τα οποία ενεργοποιούνται αυτόματα όταν ικανοποιούνται προκαθορισμένες συνθήκες (Buterin, 2017). Λειτουργούν ως ντετερμινιστικοί μηχανισμοί που διασφαλίζουν την τήρηση των όρων μιας συμφωνίας χωρίς την παρέμβαση τρίτων, μετατρέποντας τις συμβατικές υποχρεώσεις σε αμετάβλητο κώδικα (Khan et al., 2021).

Η εκτέλεσή τους βασίζεται σε αποκεντρωμένα εικονικά περιβάλλοντα, όπως το Ethereum Virtual Machine (EVM), όπου κάθε αλλαγή κατάστασης (state transition) επικυρώνεται συλλογικά από τους κόμβους του δικτύου, εξασφαλίζοντας ομοιόμορφη και προβλέψιμη συμπεριφορά του κώδικα σε όλο το σύστημα (Buterin, 2017). Το μοντέλο αυτό επιβάλλει ντετερμινιστική εκτέλεση, πλήρη διαφάνεια και αυστηρό έλεγχο των υπολογιστικών πόρων.

Στο πλαίσιο αυτό, τα smart contracts υποστηρίζουν μορφές αυτοματοποιημένης διακυβέρνησης, επιτρέποντας την τοκενοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών (tokenization of business processes). Κάθε στάδιο μιας ροής εργασιών ελέγχεται μέσω λογικών συνθηκών τύπου “εάν-τότε” (if-then), διασφαλίζοντας ότι η συνέχεια της διαδικασίας είναι δυνατή μόνο μετά την κρυπτογραφική επιβεβαίωση των προηγούμενων σταδίων (Kopp & Orlovskyi, 2022).

Παράλληλα, η διαχείριση των υπολογιστικών πόρων επιτυγχάνεται μέσω του μηχανισμού gas, όπου κάθε εντολή κοστολογείται σε μονάδες εκτέλεσης. Ο μηχανισμός αυτός καθορίζει το κόστος των συναλλαγών και λειτουργεί ως μέσο αποτροπής κακόβουλης ή υπερβολικής χρήσης των πόρων του δικτύου (Khan et al., 2021).

Σε λειτουργικό επίπεδο, η διαδικασία εκτέλεσης ενός smart contract ακολουθεί μια διακριτή αλλά πλήρως αυτοματοποιημένη αλληλουχία σταδίων, όπως απεικονίζεται σχηματικά στην *Εικόνα 6*. Αρχικά, τα εμπλεκόμενα μέρη προσδιορίζουν τη συμφωνία και τα επιθυμητά αποτελέσματα, τα οποία μεταφράζονται σε σαφώς ορισμένες λογικές συνθήκες. Στη συνέχεια, οι συνθήκες αυτές ενσωματώνονται στον κώδικα του smart contract, ο οποίος αποτυπώνει την επιχειρησιακή λογική της συναλλαγής με τη μορφή εκτελέσιμων κανόνων. Όταν τα προκαθορισμένα κριτήρια ικανοποιηθούν, το smart contract ενεργοποιείται αυτόματα και εκτελείται στο αποκεντρωμένο περιβάλλον του blockchain, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η εκτέλεση συνοδεύεται από κρυπτογραφική επαλήθευση και καταγραφή των αποτελεσμάτων, ενώ η αλλαγή κατάστασης του συστήματος διαμοιράζεται και επικυρώνεται από όλους τους κόμβους του δικτύου μέσω της ενημέρωσης του καθολικού. Με τον τρόπο αυτό, το smart contract διασφαλίζει ότι η συμφωνία εφαρμόζεται με ακρίβεια, διαφάνεια και αμεταβλητότητα, μετατρέποντας μια συμβατική διαδικασία σε πλήρως αυτοματοποιημένο και αποκεντρωμένο μηχανισμό εκτέλεσης.



Εικόνα 6: Πως λειτουργεί ένα smart contract (binariks.com, 2025).

3.2.1.2 Αμεταβλητότητα και Ψηφιακή Εμπιστοσύνη

Ένα από τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα smart contracts από τις παραδοσιακές εφαρμογές λογισμικού είναι η αμεταβλητότητα (immutability). Από τη στιγμή της ανάπτυξής τους (deployment) στο blockchain, ο κώδικας και η λογική εκτέλεσής του δεν μπορούν να τροποποιηθούν μονομερώς, γεγονός που εγγυάται ότι οι όροι της συναλλαγής παραμένουν αδιάβλητοι καθ' όλη τη

διάρκεια ζωής του συμβολαίου (Chang & Chen, 2020). Η ιδιότητα αυτή εξαλείφει τον κίνδυνο εκ των υστέρων αλλοίωσης των κανόνων και περιορίζει σημαντικά την ανάγκη για εξωτερικούς μηχανισμούς ελέγχου.

Η αμεταβλητότητα συμβάλλει άμεσα στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος αποκεντρωμένης ψηφιακής εμπιστοσύνης (decentralized trust), όπου η αξιοπιστία των συναλλαγών δεν βασίζεται στη φήμη ή την καλή πίστη των αντισυμβαλλομένων, αλλά στην επαληθεύσιμη και διαφανή συμπεριφορά του ίδιου του κώδικα (Popelo et al., 2024). Οι συμμετέχοντες μπορούν να ελέγξουν εκ των προτέρων τη λογική του smart contract και να είναι βέβαιοι ότι η εκτέλεση θα ακολουθήσει ακριβώς τους προκαθορισμένους κανόνες.

Επιπλέον, η αμεταβλητότητα ενισχύεται από τους μηχανισμούς συναίνεσης του blockchain, οι οποίοι διασφαλίζουν ότι κάθε εκτέλεση και κάθε αλλαγή κατάστασης καταγράφεται μόνιμα σε ένα κατανεμημένο καθολικό (distributed ledger). Το γεγονός αυτό παρέχει πλήρη ιχνηλασιμότητα (traceability) και δυνατότητα ελέγχου (auditability), στοιχεία κρίσιμα για περιβάλλοντα πολλαπλών χρηστών και οικονομικών συναλλαγών.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η αμεταβλητότητα εισάγει και σχεδιαστικές προκλήσεις, καθώς σφάλματα στον κώδικα δεν μπορούν να διορθωθούν εύκολα μετά την ανάπτυξη. Για τον λόγο αυτό, η σχεδίαση smart contracts απαιτεί αυξημένη προσοχή, χρήση δοκιμασμένων προτύπων και, σε ορισμένες περιπτώσεις, αρχιτεκτονικές αναβάθμισης (upgradeable contracts), ώστε να διατηρείται η ισορροπία μεταξύ ασφάλειας και ευελιξίας.

3.2.1.3 Εφαρμογές σε ψηφιακά οικοσυστήματα και στο ηλεκτρονικό εμπόριο

Στα σύγχρονα ψηφιακά οικοσυστήματα και τα συστήματα ηλεκτρονικού εμπορίου, τα smart contracts διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη μείωση των κινδύνων απάτης, στον περιορισμό του κόστους διαμεσολάβησης και στη διασφάλιση της χρηματοοικονομικής σταθερότητας των συναλλαγών (Popelo et al., 2024). Μέσω της αλγοριθμικής επιβολής των όρων μιας συναλλαγής, καθιστούν δυνατή τη μετάβαση από μοντέλα εμπιστοσύνης βασισμένα σε τρίτους σε πλήρως αυτοματοποιημένα και επαληθεύσιμα συστήματα.

Μία από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές των smart contracts στο ηλεκτρονικό εμπόριο είναι η λειτουργία τους ως αυτόνομων μηχανισμών escrow. Τα κεφάλαια μιας συναλλαγής δεσμεύονται στο blockchain και αποδεσμεύονται προς τον πωλητή μόνο όταν πληρωθούν οι προκαθορισμένοι όροι, όπως η επιβεβαίωση της παράδοσης ή η επαλήθευση συγκεκριμένων ποιοτικών χαρακτηριστικών του προϊόντος. Η προσέγγιση αυτή μειώνει δραστικά το ρίσκο απάτης και περιορίζει φαινόμενα αμφισβήτησης συναλλαγών (chargebacks), ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των χρηστών στο ψηφιακό περιβάλλον (Popelo et al., 2024).

Παράλληλα, τα smart contracts επιτρέπουν τη δυναμική διαχείριση ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων (assets), υποστηρίζοντας πολλαπλούς τύπους διακριτικών, όπως fungible tokens (FT), non-fungible tokens (NFT) και semi-fungible tokens (SFT), στο πλαίσιο μιας ενιαίας συναλλαγής. Η δυνατότητα αυτή βελτιστοποιεί την επιχειρησιακή αποδοτικότητα και διευκολύνει σύνθετα επιχειρηματικά μοντέλα, όπως

marketplaces που συνδυάζουν φυσικά προϊόντα με ψηφιακά πιστοποιητικά ιδιοκτησίας ή αυθεντικότητας (Wang & Nixon, 2021).

Ένα ακόμη κρίσιμο πλεονέκτημα των smart contracts στο e-commerce αφορά τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Η απουσία παραδοσιακών μεσαζόντων πληρωμών και η αυτοματοποίηση της εκκαθάρισης μειώνουν τις προμήθειες συναλλαγών και τον χρόνο ολοκλήρωσης, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για ψηφιακά marketplaces υψηλού όγκου συναλλαγών (Popelo et al., 2024).

Επιπλέον, τα smart contracts υποστηρίζουν την υλοποίηση σύνθετων εμπορικών λογικών, όπως η δυναμική τιμολόγηση και η αυτόματη διανομή εσόδων σε πολλαπλούς δικαιούχους. Κατά τη στιγμή της πώλησης, το συμβόλαιο μπορεί να κατανέμει προμήθειες σε συνεργαζόμενους προμηθευτές, πλατφόρμες ή affiliate networks, διασφαλίζοντας διαφάνεια και ακρίβεια στη λογιστική διαχείριση (Kopp & Orlovskyi, 2022).

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει και η προστασία του καταναλωτή, καθώς η χρήση smart contracts σε συνδυασμό με μηχανισμούς tokenization επιτρέπει την αυτοματοποιημένη επαλήθευση της αυθεντικότητας των προϊόντων πριν από την ολοκλήρωση της πληρωμής. Η συναλλαγή μπορεί να απορριφθεί αυτόματα εάν το ψηφιακό διαβατήριο προϊόντος (Digital Product Passport – DPP) δεν πληροί τις προδιαγραφές που έχουν ενσωματωθεί στο συμβόλαιο, ενισχύοντας την ιχνηλασιμότητα και την εμπιστοσύνη στο οικοσύστημα (Wang & Nixon, 2021).

Τέλος, η βιβλιογραφία αναδεικνύει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης πολιτικών επιστροφών και εγγυήσεων μέσω smart contracts. Εφόσον πληρούνται οι όροι επιστροφής (π.χ. εντός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος και με επιβεβαίωση από τον πάροχο logistics), η επιστροφή χρημάτων εκτελείται αυτόματα, μειώνοντας τη διοικητική επιβάρυνση και βελτιώνοντας τη συνολική εμπειρία του χρήστη στο ψηφιακό περιβάλλον (Popelo et al., 2024).

3.2.1.5 Μοντελοποίηση Επιχειρηματικών Διαδικασιών (Business Process Modeling – BPM)

Η σύγχρονη έρευνα στον χώρο των αποκεντρωμένων συστημάτων εστιάζει ολοένα και περισσότερο στη μετατροπή οπτικών μοντέλων επιχειρηματικών διαδικασιών, όπως το Business Process Model and Notation (BPMN), σε εκτελέσιμα smart contracts. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τη χαρτογράφηση των workflows μιας οργάνωσης απευθείας σε κώδικα blockchain, γεφυρώνοντας το χάσμα μεταξύ επιχειρησιακού σχεδιασμού και τεχνικής υλοποίησης (Kopp & Orlovskyi, 2022).

Μέσω της μετατροπής των BPMN διαγραμμάτων σε smart contracts, οι επιχειρηματικοί κανόνες, οι ρόλοι και οι συνθήκες μετάβασης μεταξύ των επιμέρους σταδίων μιας διαδικασίας ενσωματώνονται σε αμετάβλητο και εκτελέσιμο κώδικα. Στο πλαίσιο αυτό, τα smart contracts λειτουργούν ως μηχανισμοί εποπτείας (process enforcers), διασφαλίζοντας ότι κάθε βήμα της διαδικασίας εκτελείται μόνο εφόσον πληρούνται οι προκαθορισμένες συνθήκες, ενώ κάθε μετάβαση κατάστασης καταγράφεται μόνιμα στο κατανεμημένο καθολικό (Kopp & Orlovskyi, 2022).

Η ενσωμάτωση του BPM με τεχνολογίες blockchain ενισχύει τη διαφάνεια, τη συμμόρφωση (compliance) και την ιχνηλασιμότητα των επιχειρηματικών διαδικασιών, ιδίως σε περιβάλλοντα όπου εμπλέκονται πολλαπλοί οργανισμοί ή μη έμπιστα μέρη. Παράλληλα, επιτρέπει την αυτοματοποίηση σύνθετων ροών

εργασίας χωρίς την ανάγκη κεντρικού ελέγχου, μετατρέποντας τις επιχειρηματικές διαδικασίες σε αποκεντρωμένα, αυτοεκτελούμενα συστήματα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί των smart contracts που επηρεάζουν άμεσα τη μοντελοποίηση και εκτέλεση επιχειρηματικών διαδικασιών συνοψίζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Smart Contracts σε BPM Περιβάλλοντα

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή	Βιβλιογραφική Τεκμηρίωση
Αυτονομία	Εκτέλεση επιχειρηματικών διαδικασιών χωρίς την ανάγκη μεσαζόντων ή κεντρικής αρχής ελέγχου.	(Buterin, 2017) (Szabo, 1997)
Αμεταβλητότητα	Αδυναμία τροποποίησης της λογικής της διαδικασίας μετά την ανάπτυξη του smart contract.	(Chang & Chen, 2020)
Ντετερμινισμός	Το ίδιο σύνολο εισόδων οδηγεί πάντοτε στο ίδιο αποτέλεσμα εκτέλεσης.	(Khan et al., 2021)
Κίνδυνοι Ασφαλείας	Πιθανές ευπάθειες κώδικα και αυξημένη ανάγκη για τεχνικές formal verification.	(Khan et al., 2021)
Σύνδεση με Δεδομένα	Ανάγκη χρήσης oracles για την πρόσβαση σε δεδομένα εκτός blockchain (off-chain).	(Wang & Nixon, 2021)

3.2.1.4 Τεχνικοί Περιορισμοί, Ασφάλεια και Oracles

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες που προσφέρουν, τα smart contracts συνοδεύονται από κρίσιμες τεχνικές προκλήσεις, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με την ασφάλεια του κώδικα, την αμεταβλητότητα της λογικής τους και την ανάγκη αλληλεπίδρασης με δεδομένα εκτός blockchain. Οι περιορισμοί αυτοί αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για τον σχεδιασμό και την υιοθέτησή τους σε εμπορικά και βιομηχανικά περιβάλλοντα μεγάλης κλίμακας.

Ένας από τους σημαντικότερους κινδύνους αφορά τις ευπάθειες του κώδικα. Η αμεταβλητότητα, αν και θεμελιώδες πλεονέκτημα των smart contracts, καθιστά τα σφάλματα μόνιμα μετά την ανάπτυξη (deployment), αυξάνοντας δραστικά το ρίσκο σε περίπτωση εσφαλμένης υλοποίησης. Η βιβλιογραφία καταγράφει πληθώρα επιθέσεων που έχουν οδηγήσει σε σοβαρά περιστατικά απώλειας κεφαλαίων, όπως επιθέσεις re-entrancy, λανθασμένη διαχείριση κατάστασης, integer overflows και προβλήματα κατανάλωσης gas

(Khan et al., 2021). Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη Smart contracts απαιτεί αυστηρές διαδικασίες ελέγχου, εκτενή δοκιμή και τη χρήση τεχνικών formal verification για τη μαθηματική επαλήθευση της ορθής συμπεριφοράς τους.

Πέραν των εσωτερικών κινδύνων του κώδικα, ένα ακόμη κρίσιμο ζήτημα είναι το λεγόμενο πρόβλημα των oracles. Τα smart contracts εκτελούνται σε απομονωμένα περιβάλλοντα και δεν έχουν εγγενή πρόσβαση σε δεδομένα του πραγματικού κόσμου. Η ενσωμάτωση εξωτερικών πληροφοριών, όπως τιμές αγοράς, δεδομένα αποστολής ή επιβεβαιώσεις γεγονότων, επιτυγχάνεται μέσω μηχανισμών oracles, οι

οποίοι μεταφέρουν δεδομένα off-chain στο blockchain (Wang & Nixon, 2021). Ωστόσο, τα oracles αποτελούν δυνητικά σημεία αποτυχίας ή χειραγώγησης, καθώς εισάγουν έναν βαθμό κεντριοποίησης και εμπιστοσύνης σε κατά τα άλλα αποκεντρωμένα συστήματα (Khan et al., 2021).

Η αντιμετώπιση των παραπάνω περιορισμών έχει οδηγήσει στη μελέτη υβριδικών αρχιτεκτονικών, όπου η κρίσιμη επιχειρησιακή λογική και οι μηχανισμοί εκκαθάρισης εκτελούνται on-chain, ενώ λειτουργίες που απαιτούν ευελιξία, υψηλή υπολογιστική ισχύ ή πρόσβαση σε εξωτερικά δεδομένα παραμένουν off-chain. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την εξισορρόπηση μεταξύ ασφάλειας, αποδοτικότητας και λειτουργικής ευελιξίας, καθιστώντας τα smart contracts περισσότερο εφαρμόσιμα σε πραγματικά επιχειρησιακά περιβάλλοντα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των smart contracts, όπως αναδεικνύονται από τη βιβλιογραφία, συνοψίζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Πλεονεκτήματα και εμπόδια των Smart Contracts

Κατηγορία	Θετικά	Αρνητικά / Περιορισμοί
Λειτουργικότητα	Αυτοματοποίηση διαδικασιών χωρίς μεσάζοντες· εγγυημένη εκτέλεση των όρων όπως έχουν καθοριστεί	Έλλειψη δυνατότητας τροποποίησης μετά την ανάπτυξη (immutability), που δυσκολεύει διορθώσεις και επικαιροποιήσεις
Ασφάλεια	Αδιάβλητο εκτέλεσης και έλεγχος μέσω αποκεντρωμένης λογικής· προστασία από χειραγώγηση	Ευπάθειες όπως re-entrancy, faulty state handling, oracle attacks· ανάγκη πολύπλοκης formal verification για αποφυγή αστοχιών
Διαφάνεια & Ιχνηλασιμότητα	Όλες οι συναλλαγές και λειτουργίες καταγράφονται στο blockchain· δυνατότητα πλήρους εποπτείας	Πιθανή έκθεση ευαίσθητων δεδομένων σε δημόσιες αλυσίδες αν δεν χρησιμοποιηθούν privacy-preserving τεχνικές
Αποδοτικότητα	Μείωση κόστους συναλλαγών και χρόνου διεκπεραίωσης σε περιβάλλοντα χωρίς εμπιστοσύνη	Μεταβλητό κόστος gas, συμφόρηση δικτύων και επιπτώσεις σε latency / scalability
Εφαρμοσιμότητα σε Marketplaces	Ιδανικά για αυτοματοποιημένη μεταβίβαση ιδιοκτησίας, επιβολή κανόνων και εμπορικών λογικών (προμήθειες, royalties)	Πολυπλοκότητα στην ανάπτυξη και συντήρηση· ανάγκη εξειδικευμένων developers

3.2.2 Tokenization

Το tokenization αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής φυσικών ή άυλων περιουσιακών στοιχείων σε ψηφιακά tokens, τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν, να μεταβιβαστούν και να διαχειριστούν σε υποδομές blockchain. Αποτελεί μηχανισμό θεμελιώδους σημασίας για την αναπαράσταση ψηφιακών assets, καθώς παρέχει μοναδικότητα, αδιάβλητο ιστορικό μεταβιβάσεων και διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και πλατφορμών (Wang & Nixon, 2021). Μέσω του tokenization, η έννοια της ιδιοκτησίας και της οικονομικής αξίας μεταφέρεται σε εκτελέσιμη και επαληθεύσιμη ψηφιακή μορφή.

Η τυποποίηση των tokens σε fungible, non-fungible και semi-fungible μορφές επιτρέπει την ευέλικτη αποτύπωση διαφορετικών τύπων αξίας και ιδιοκτησίας. Τα fungible tokens, όπως αυτά που υλοποιούνται με το πρότυπο ERC-20, χρησιμοποιούνται ως διαιρετές και ισοδύναμες μονάδες αξίας. Τα non-fungible tokens (ERC-721) παρέχουν μοναδικά ψηφιακά πιστοποιητικά ιδιοκτησίας, κατάλληλα για την αναπαράσταση μοναδικών αντικειμένων, ενώ τα semi-fungible tokens (ERC-1155) συνδυάζουν χαρακτηριστικά και των δύο προσεγγίσεων, επιτρέποντας την αποδοτική διαχείριση σύνθετων ή μεταβαλλόμενων περιουσιακών στοιχείων (Wang & Nixon, 2021).

Η πρόσφατη βιβλιογραφία, και ειδικότερα οι προδιαγραφές υπερκλιμακούμενων (ultra-scalable) πλατφορμών tokenization, υπογραμμίζει την ανάγκη για αρχιτεκτονικές που υποστηρίζουν καθολική έκδοση tokens, υψηλή απόδοση συναλλαγών και δυναμική διαχείριση πολλαπλών τύπων assets. Το προτεινόμενο universal token layer, όπως περιγράφεται στη σχετική βιβλιογραφία, εισάγει μια ενιαία υποδομή στην οποία fungible, non-fungible και semi-fungible tokens μπορούν να συνυπάρχουν, να αλληλεπιδρούν και να διαχειρίζονται μέσω κοινού πλαισίου (Buldas et al., 2022).

Η προσέγγιση αυτή ενισχύει σημαντικά τη λειτουργικότητα ψηφιακών οικοσυστημάτων που απαιτούν ταυτόχρονη υποστήριξη διαφορετικών τύπων περιουσιακών στοιχείων, όπως τα marketplaces μόδας και κυκλικής οικονομίας. Η δυνατότητα αποθήκευσης πλούσιων metadata, το αδιάβλητο ιστορικό μεταπωλήσεων και η πλήρης ιχνηλασιμότητα της ιδιοκτησίας συμβάλλουν στη διαφάνεια και στην ενίσχυση της εμπιστοσύνης, ιδίως σε περιβάλλοντα όπου η γνησιότητα, η προέλευση και η κατάσταση του προϊόντος αποτελούν κρίσιμους παράγοντες αξίας.

Στις επόμενες υποενότητες αναλύονται τα βασικά τεχνικά στοιχεία του tokenization, καθώς και οι στρατηγικές διαχείρισης και αξιοποίησής του σε σύνθετα ψηφιακά οικοσυστήματα.

3.2.2.1 Τυπολογία και Πρότυπα Ψηφιακών Διακριτικών

Η αρχιτεκτονική των ψηφιακών διακριτικών (tokens) βασίζεται σε συγκεκριμένα τεχνικά πρότυπα, τα οποία καθορίζουν τον τρόπο δημιουργίας, αποθήκευσης, μεταφοράς και αλληλεπίδρασής τους εντός ενός οικοσυστήματος blockchain. Τα πρότυπα αυτά λειτουργούν ως κοινή «γλώσσα» μεταξύ έξυπνων συμβολαίων και εφαρμογών, διασφαλίζοντας τη διαλειτουργικότητα, την ασφάλεια και την επεκτασιμότητα των tokenized συστημάτων.

– Ανταλλάξιμα Διακριτικά (Fungible Tokens – FT)

Τα ανταλλάξιμα διακριτικά βασίζονται κυρίως στο πρότυπο ERC-20 και χαρακτηρίζονται από πλήρη ομοιογένεια και διαιρετότητα. Κάθε μονάδα ενός fungible token είναι πανομοιότυπη με οποιαδήποτε

άλλη, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για την αναπαράσταση ποσοτικών μεγεθών, τη λειτουργία συστημάτων ανταμοιβών και την παροχή οικονομικών κινήτρων (Wang & Nixon, 2021). Στο πλαίσιο του ηλεκτρονικού εμπορίου και των ψηφιακών αγορών, τα fungible tokens συμβάλλουν στη βελτίωση της χρηματοοικονομικής ρευστότητας και στη μείωση του κόστους συναλλαγών, λειτουργώντας ως εναλλακτικές μονάδες αξίας ή μηχανισμοί επιβράβευσης χρηστών (Popelo et al., 2024).

– **Μη Ανταλλάξιμα Διακριτικά (Non-Fungible Tokens – NFT)**

Τα μη ανταλλάξιμα διακριτικά υλοποιούνται κυρίως μέσω του προτύπου ERC-721 και επιτρέπουν τη δημιουργία μοναδικών, μη διαιρετών ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων. Κάθε NFT συνδέεται με ένα σύνολο μοναδικών μεταδεδομένων (metadata), τα οποία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά, την προέλευση και το ιστορικό ιδιοκτησίας (provenance) του αντίστοιχου αντικειμένου (Wang & Nixon, 2021). Η ιδιότητα αυτή καθιστά τα NFTs ιδιαίτερα κατάλληλα για εφαρμογές όπου η αυθεντικότητα, η μοναδικότητα και η ιχνηλασιμότητα αποτελούν κρίσιμους παράγοντες αξίας, όπως ψηφιακά πιστοποιητικά, ψηφιακή ταυτότητα και αντικείμενα υψηλής αξίας.

– **Ημι-Ανταλλάξιμα Διακριτικά (Semi-Fungible Tokens – SFT)**

Το πρότυπο ERC-1155 εισάγει μια υβριδική προσέγγιση, επιτρέποντας τη συνύπαρξη και διαχείριση πολλαπλών τύπων tokens – τόσο fungible όσο και non-fungible – εντός του ίδιου έξυπνου συμβολαίου. Η αρχιτεκτονική αυτή προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα απόδοσης, καθώς υποστηρίζει μαζικές μεταφορές (batch transfers), μειώνοντας το υπολογιστικό κόστος (gas fees) και την πολυπλοκότητα της διαχείρισης αποθεμάτων (Wang & Nixon, 2021). Η δυνατότητα αυτή καθιστά τα semi-fungible tokens ιδιαίτερα κατάλληλα για σύνθετα ψηφιακά οικοσυστήματα, όπως marketplaces και συστήματα logistics, όπου απαιτείται ταυτόχρονη διαχείριση πολλαπλών κατηγοριών ψηφιακών assets.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται συγκριτική ανάλυση των βασικών προτύπων tokenization, όπως προκύπτει από τη σχετική βιβλιογραφία (Wang & Nixon, 2021), ως προς τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά και τους τομείς εφαρμογής τους.

Πίνακας 6: Κύρια χαρακτηριστικά και εφαρμογές βασικών προτύπων tokenization.

Πρότυπο	Τύπος	Κύρια Χαρακτηριστικά	Τυπικές Εφαρμογές
ERC-20	Fungible	Πλήρης ανταλλαξιμότητα, διαιρετότητα, ευρεία υποστήριξη	Νομίσματα, Reward Points, Διακυβέρνηση
ERC-721	Non-Fungible	Μοναδικότητα, μη διαιρετότητα, ατομικά metadata	Ψηφιακή ταυτότητα, Πιστοποιητικά, Τέχνη
ERC-1155	Multi-token	Υβριδική διαχείριση, Batch transfers, Gas efficiency	Marketplaces, Logistics, Σύνθετα αποθέματα
ERC-4626	Yield-bearing	Τυποποίηση θυρίδων (vaults) για απόδοση κέρδους	Χρηματοοικονομικά εργαλεία, Staking

3.2.2.2 Στρατηγικές Διαχείρισης Μεταδεδομένων (Metadata)

Η αποτελεσματική τοκενοποίηση ψηφιακών και φυσικών περιουσιακών στοιχείων προϋποθέτει τον σαφή προσδιορισμό της στρατηγικής αποθήκευσης και διαχείρισης των μεταδεδομένων (metadata) που συνοδεύουν κάθε token. Τα μεταδεδομένα αποτελούν το σημασιολογικό υπόβαθρο του token, καθώς περιλαμβάνουν πληροφορίες που αφορούν την ταυτότητα, τα χαρακτηριστικά, την κατάσταση και το ιστορικό ενός περιουσιακού στοιχείου. Η βιβλιογραφία διακρίνει δύο βασικές προσεγγίσεις: την αποθήκευση εντός αλυσίδας (on-chain) και την αποθήκευση εκτός αλυσίδας (off-chain), καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει διαφορετικά πλεονεκτήματα και περιορισμούς (Wang & Nixon, 2021).

– Αποθήκευση Εντός Αλυσίδας (On-chain Metadata)

Η on-chain αποθήκευση αφορά την καταγραφή όλων των κρίσιμων μεταδεδομένων απευθείας στο blockchain. Η προσέγγιση αυτή εξασφαλίζει το μέγιστο επίπεδο αμεταβλητότητας, διαφάνειας και επαληθευσιμότητας, καθώς κάθε τροποποίηση καταγράφεται μόνιμα στο κατανεμημένο καθολικό. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται κυρίως για δεδομένα υψηλής σημασίας, όπως μοναδικοί αναγνωριστικοί αριθμοί, hashes πιστοποιητικών αυθεντικότητας ή βασικές ιδιότητες ιδιοκτησίας (Wang & Nixon, 2021). Ωστόσο, οι περιορισμοί χωρητικότητας των blocks και το αυξημένο κόστος συναλλαγών (gas fees) καθιστούν την πλήρη on-chain αποθήκευση μη αποδοτική για περιπτώσεις που απαιτούν μεγάλο όγκο πληροφορίας ή συχνές ενημερώσεις. Ως αποτέλεσμα, η χρήση της περιορίζεται κυρίως σε μικρού μεγέθους, κρίσιμα και σταθερά δεδομένα.

– Αποθήκευση Εκτός Αλυσίδας (Off-chain Metadata)

Η off-chain προσέγγιση βασίζεται στη χρήση εξωτερικών συστημάτων αποθήκευσης, όπως το InterPlanetary File System (IPFS) ή άλλες αποκεντρωμένες υποδομές αρχείων. Σε αυτή την περίπτωση, το token δεν αποθηκεύει τα ίδια τα δεδομένα, αλλά έναν κρυπτογραφικό δείκτη (hash pointer) που παραπέμπει στο εξωτερικό αρχείο. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ακεραιότητα των δεδομένων, καθώς οποιαδήποτε αλλοίωση του αρχείου θα οδηγούσε σε ασυμφωνία με το αποθηκευμένο hash (Wang & Nixon, 2021). Η off-chain αποθήκευση επιτρέπει τη διαχείριση πλούσιων και δυναμικών μεταδεδομένων, όπως εικόνες προϊόντων, περιγραφές υλικών, πληροφορίες χρήσης ή δεδομένα κύκλου ζωής, χωρίς να επιβαρύνει το blockchain. Ωστόσο, εισάγει ζητήματα διαθεσιμότητας και μακροχρόνιας προσβασιμότητας των δεδομένων, τα οποία απαιτούν πρόσθετους μηχανισμούς διασφάλισης.

– Υβριδικά Μοντέλα και Βέλτιστες Πρακτικές

Η επικρατέστερη πρακτική στη σύγχρονη βιβλιογραφία είναι η υιοθέτηση υβριδικών μοντέλων διαχείρισης μεταδεδομένων, όπου τα κρίσιμα και αμετάβλητα στοιχεία αποθηκεύονται on-chain, ενώ τα εκτενή ή δυναμικά δεδομένα διατηρούνται off-chain (Wang & Nixon, 2021). Η προσέγγιση αυτή επιτυγχάνει ισορροπία μεταξύ ασφάλειας, κόστους και επεκτασιμότητας, καθιστώντας την ιδιαίτερα κατάλληλη για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, όπως τα ψηφιακά marketplaces.

Στο πλαίσιο του ηλεκτρονικού εμπορίου και ειδικότερα των πλατφορμών επανεμπορίου μόδας, η σωστή στρατηγική διαχείρισης μεταδεδομένων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα εμπιστοσύνης. Τα metadata λειτουργούν ως “ψηφιακό αποτύπωμα” του προϊόντος, υποστηρίζοντας λειτουργίες όπως η επαλήθευση αυθεντικότητας, η ιχνηλασιμότητα μεταπωλήσεων και η αξιολόγηση της κατάστασης ενός αντικειμένου καθ’ όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του.

3.2.2.3 Τοκενοποίηση Επιχειρηματικών Διαδικασιών και Ροών Εργασίας (Business Process Tokenization)

Η τοκενοποίηση δεν περιορίζεται αποκλειστικά στην ψηφιακή αναπαράσταση φυσικών ή άυλων περιουσιακών στοιχείων, αλλά επεκτείνεται και στη μοντελοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών (Business Process Management – BPM). Στο πλαίσιο αυτό, οι επιχειρηματικές ροές εργασίας αντιμετωπίζονται ως δυναμικά ψηφιακά assets, των οποίων η κατάσταση, οι μεταβάσεις και οι κανόνες εκτέλεσης αποτυπώνονται και επιβάλλονται μέσω tokens και έξυπνων (Korpp & Orlovskyi, 2022).

Κάθε επιχειρηματική διαδικασία μπορεί να αναπαρασταθεί ως σύνολο καταστάσεων (states), όπου η μετάβαση από το ένα στάδιο στο επόμενο ενεργοποιείται από συγκεκριμένα γεγονότα ή προϋποθέσεις. Τα tokens λειτουργούν ως φορείς της κατάστασης της διαδικασίας, επιτρέποντας την παρακολούθηση της εξέλιξής της σε πραγματικό χρόνο. Η εκτέλεση και η επικύρωση των μεταβάσεων καταγράφονται αμετάβλητα στο blockchain, καθιστώντας τη διαδικασία πλήρως διαφανή και επαληθεύσιμη (Korpp and Orlovskyi, 2022).

Η σύγχρονη βιβλιογραφία εστιάζει ιδιαίτερα στη μετατροπή οπτικών μοντέλων, όπως τα διαγράμματα BPMN, σε εκτελέσιμα έξυπνα συμβόλαια. Μέσω αυτής της προσέγγισης, οι λογικές ακολουθίες “εάν–τότε” (if–then) και οι επιχειρηματικοί κανόνες μεταφράζονται απευθείας σε κώδικα, εξαλείφοντας τις ασυνέπειες μεταξύ σχεδιασμού και υλοποίησης. Τα έξυπνα συμβόλαια αναλαμβάνουν τον ρόλο του αυτοματοποιημένου “επόπτη” της διαδικασίας, διασφαλίζοντας ότι καμία ενέργεια δεν εκτελείται εκτός των προκαθορισμένων κανόνων (Korpp & Orlovskyi, 2022).

Σε περιβάλλοντα ηλεκτρονικού εμπορίου, η τοκενοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών επιτρέπει την ενοποίηση σύνθετων λειτουργιών, όπως η διαχείριση παραγγελιών, η εφοδιαστική αλυσίδα, οι εγκρίσεις πληρωμών και οι επιστροφές προϊόντων, σε ένα ενιαίο και αυτοματοποιημένο σύστημα. Κάθε στάδιο της διαδικασίας, από την καταχώριση της παραγγελίας έως την ολοκλήρωση της παράδοσης, αντιστοιχίζεται σε σαφώς ορισμένες μεταβάσεις κατάστασης, μειώνοντας την αβεβαιότητα και τον λειτουργικό κίνδυνο.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει η εφαρμογή της προσέγγισης αυτής σε πλατφόρμες κυκλικής μόδας, όπου ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος περιλαμβάνει πολλαπλές φάσεις, όπως αρχική πώληση, μεταπώληση, επιστροφή, επισκευή και επαναδιάρθρωση. Η τοκενοποίηση των ροών αυτών επιτρέπει την ακριβή καταγραφή κάθε μεταβολής κατάστασης του προϊόντος, ενισχύοντας την ιχνηλασιμότητα, την αξιοπιστία των δεδομένων και τη συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια βιωσιμότητας.

Συνολικά, η τοκενοποίηση επιχειρηματικών διαδικασιών μετασχηματίζει τις παραδοσιακές ροές εργασίας σε αποκεντρωμένα, αυτοεκτελούμενα και ελεγχόμενα συστήματα. Η προσέγγιση αυτή μειώνει την εξάρτηση από κεντρικούς φορείς, ενισχύει τη διαφάνεια και δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη ευέλικτων, επεκτάσιμων και αξιόπιστων ψηφιακών οικοσυστημάτων.

3.2.2.4 Tokenization σε Πλατφόρμες Ηλεκτρονικού Εμπορίου (E-commerce Platforms)

Η ενσωμάτωση του tokenization σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη χρηματοοικονομική βιωσιμότητα και τη λειτουργική αποδοτικότητα των επιχειρήσεων, καθώς επιτρέπει την ψηφιοποίηση φυσικών προϊόντων, υπηρεσιών και δικαιωμάτων πρόσβασης,

προσφέροντας νέα επίπεδα ρευστότητας, ασφάλειας και αυτοματοποίησης στις συναλλαγές (Popelo et al., 2024).

– **Ψηφιακή Αναπαράσταση Φυσικών Αποθεμάτων**

Μέσω της χρήσης Non-Fungible Tokens (NFTs) και Semi-Fungible Tokens (SFTs), κάθε προϊόν σε μια πλατφόρμα e-commerce μπορεί να αποκτήσει μοναδικό ψηφιακό αποτύπωμα. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση του κύκλου ζωής του προϊόντος, από την παραγωγή έως την τελική πώληση, διασφαλίζοντας την αυθεντικότητα, την ποιότητα και την πρόληψη της διακίνησης απομιμήσεων (Wang & Nixon, 2021).

– **Βελτίωση Χρηματοοικονομικής Σταθερότητας**

Τα tokens μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές εγγυήσεις για χρηματοδότηση ή για την αυτοματοποιημένη διευθέτηση οφειλών μεταξύ προμηθευτών και εμπόρων. Αυτό μειώνει την εξάρτηση από παραδοσιακά τραπεζικά συστήματα και επιτρέπει την άμεση εκκαθάριση πληρωμών, συμβάλλοντας στην αποτελεσματικότερη διαχείριση του κεφαλαίου κίνησης (Popelo et al., 2024).

– **Μοντελοποίηση Εμπορικών Διαδικασιών ως Assets**

Οι επιχειρηματικές διαδικασίες, όπως η εφοδιαστική αλυσίδα, η παρακολούθηση παραγγελιών ή οι ροές εγκρίσεων, μπορούν να τοκενοποιηθούν, μετατρέποντας τις λειτουργικές ροές σε ανταλλάξιμα ψηφιακά στοιχεία. Αυτό επιτρέπει τη peer-to-peer ανταλλαγή επιχειρηματικών μοντέλων και βέλτιστων πρακτικών, αυξάνοντας τη διαφάνεια και την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών (Korpp & Orlovskiy, 2022).

– **Συστήματα Πιστότητας και Κινήτρων (Loyalty & Rewards)**

Τα Fungible Tokens (FTs) μπορούν να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά loyalty points, προσφέροντας κρυπτογραφικά διακριτικά με πραγματική αξία που είναι μεταβιβάσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ολόκληρο το οικοσύστημα της πλατφόρμας ή σε συνεργαζόμενες αγορές. Αυτή η προσέγγιση ενισχύει το engagement των χρηστών και δημιουργεί νέες δυνατότητες για token-based οικονομιών (Popelo et al., 2024; Wang & Nixon, 2021).

– **Impact Tokens και Βιώσιμες Πρακτικές**

Στο πλαίσιο του βιώσιμου ηλεκτρονικού εμπορίου, τα Impact Tokens επιτρέπουν την ποσοτικοποίηση και ανταμοιβή πράσινων πρακτικών, όπως η ανακύκλωση, η μείωση του αποτυπώματος άνθρακα ή η κυκλική διαχείριση ενδυμάτων. Τα διακριτικά αυτά λειτουργούν ως αποδεικτικά περιβαλλοντικής συμμόρφωσης, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη του καταναλωτή (David Uzsoki, 2019).

– **Διαλειτουργικότητα και Παγκόσμιες Συναλλαγές**

Η χρήση προτύπων όπως το ERC-1155 επιτρέπει τη διαχείριση σύνθετων καταλόγων προϊόντων που απαιτούν ταυτόχρονη υποστήριξη μοναδικών αντικειμένων και αγαθών μαζικής παραγωγής. Αυτό διευκολύνει την απρόσκοπτη επικοινωνία και ανταλλαγή αξίας μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών e-commerce, ενισχύοντας την εμπειρία του χρήστη και την επιχειρησιακή αποδοτικότητα (Wang & Nixon, 2021).

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι συνήθεις εφαρμογές, οι λειτουργίες του tokenization και τα αποτελέσματα που φέρουν.

Πίνακας 7: Λειτουργίες Tokenization σε E-commerce Platforms

Τομέας Εφαρμογής	Λειτουργία Tokenization	Αποτέλεσμα
Διαχείριση Αποθεμάτων	Έκδοση NFTs για κάθε παρτίδα/προϊόν	Απόλυτη ιχνηλασιμότητα, πρόληψη απάτης
Πληρωμές	Χρήση FTs (Stablecoins ή Utility tokens)	Μείωση προμηθειών, άμεση εκκαθάριση
Loyalty Programs	Token-based ανταμοιβές	Αυξημένο engagement, ρευστότητα πόντων
Supply Chain	Τοκενοποίηση BPM / Smart Contracts	Αυτοματοποίηση ροών, ακριβής παρακολούθηση
Sustainability	Έκδοση Impact Tokens	Πιστοποίηση βιώσιμων πρακτικών, ενίσχυση εμπιστοσύνης

3.2.2.5 Οικονομικά των Tokens (Tokenomics) και Επιχειρηματική Βιωσιμότητα

Η έννοια των tokenomics αφορά τη στρατηγική σχεδίαση, κατανομή και χρήση των tokens μέσα σε ένα ψηφιακό οικοσύστημα, προκειμένου να διασφαλιστεί η βιωσιμότητα, η ρευστότητα και η αποτελεσματική συμμετοχή των χρηστών (David Uzsocki, 2019). Η οικονομική διάσταση των tokens σε πλατφόρμες e-commerce περιλαμβάνει τόσο την ανταλλαγή αξίας όσο και την υποστήριξη λειτουργικών και επιχειρηματικών διαδικασιών.

– Διαχείριση Αξίας και Κίνητρα

Τα tokens παρέχουν έναν μηχανισμό αυτοματοποιημένης κατανομής αξίας, αντικαθιστώντας παραδοσιακά χρηματοοικονομικά εργαλεία. Μέσω της χρήσης Fungible Tokens (FTs) για loyalty programs ή reward systems, οι πλατφόρμες μπορούν να:

- Ενισχύσουν τη συμμετοχή των χρηστών και την πιστότητα (user engagement).
- Μειώσουν τα λειτουργικά κόστη που συνδέονται με παραδοσιακά συστήματα πόντων ή κουπονιών.
- Εφαρμόσουν διαφανή και άμεση διανομή προμηθειών, είτε σε συνεργαζόμενους προμηθευτές είτε σε affiliate networks.

Τα Non-Fungible Tokens (NFTs) επιτρέπουν την αντικειμενική αποτίμηση μοναδικών προϊόντων, όπως limited edition ενδύματα ή πιστοποιητικά αυθεντικότητας, ενώ τα Semi-Fungible Tokens (SFTs) παρέχουν ευέλικτα σχήματα για πιο σύνθετα επιχειρηματικά σενάρια, όπως πακέτα προϊόντων ή συλλογές ειδών (Wang & Nixon, 2021).

– Impact Tokens και Βιώσιμες Επιχειρηματικές Πρακτικές

Η έννοια των impact tokens εισάγει την ποσοτικοποίηση κοινωνικού ή περιβαλλοντικού αντίκτυπου, επιτρέποντας στις πλατφόρμες να:

- Ανταμείβουν τη συμμετοχή σε βιώσιμες πρακτικές (π.χ. ανακύκλωση, επιστροφή ειδών προς επαναχρησιμοποίηση).

- Καταγράφουν και επικυρώνουν τις ενέργειες μέσω smart contracts, παρέχοντας διαφάνεια και αξιοπιστία.
- Ενισχύσουν την εμπιστοσύνη των καταναλωτών και την εταιρική υπευθυνότητα.

– Στρατηγική Κατανομής και Οικονομική Βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα ενός tokenized συστήματος εξαρτάται από τη σωστή κατανομή tokens ανάμεσα σε:

- Χρήστες / πελάτες: για κίνητρα και loyalty.
- Προμηθευτές / συνεργάτες: για αυτόματη διανομή προμηθειών.
- Επιχείρηση / πλατφόρμα: για διαχείριση ρευστότητας, staking ή χρηματοδότηση νέων λειτουργιών.

Η χρήση των tokens σε αυτό το πλαίσιο μειώνει την εξάρτηση από παραδοσιακά χρηματοπιστωτικά εργαλεία και δημιουργεί ένα αυτοτροφοδοτούμενο οικοσύστημα αξίας, όπου οι συναλλαγές είναι γρήγορες, ασφαλείς και πλήρως διαφανείς (Popelo et al., 2024).

– Σύγκλιση Tokenomics και Smart Contracts

Η ολοκλήρωση των tokenomics με τα smart contracts επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση, εκτέλεση και επιβολή κανόνων:

- Αυτόματη κατανομή rewards και προμηθειών.
- Αυτοματοποίηση επιστροφών ή εγγυήσεων προϊόντων.
- Έλεγχος συμμόρφωσης με βιώσιμες πρακτικές μέσω impact tokens.

Η στρατηγική επιλογή τύπου token και σχεδίασης των οικονομικών μηχανισμών επηρεάζει άμεσα τη λειτουργικότητα, την αποδοχή της πλατφόρμας και τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος.

Συνολικά, τα tokenomics αποτελούν κρίσιμο συνδετικό κρίκο μεταξύ της τεχνολογικής υποδομής και του επιχειρηματικού μοντέλου. Η προσεκτική σχεδίασή τους επιτρέπει τη δημιουργία οικονομιών που ενισχύουν την εμπιστοσύνη, ευθυγραμμίζουν τα κίνητρα όλων των συμμετεχόντων και υποστηρίζουν τη μακροπρόθεσμη ανάπτυξη ψηφιακών πλατφορμών ηλεκτρονικού εμπορίου και κυκλικής μόδας.

3.2.2.6 Τεχνικές Προκλήσεις και Διαλειτουργικότητα (Interoperability)

Παρά τα πλεονεκτήματα της τοκενοποίησης, η ανάπτυξη και η εφαρμογή της σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου αντιμετωπίζει σημαντικές τεχνικές προκλήσεις που αφορούν την ασφάλεια, την κλιμάκωση και τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών blockchain συστημάτων.

Κίνδυνοι Αναπαράστασης (Mismatch Risk)

Ένα από τα κύρια ζητήματα αφορά τη συμφωνία μεταξύ του φυσικού αντικειμένου και του ψηφιακού του token. Η αναντιστοιχία μπορεί να προκύψει όταν τα metadata ή η φυσική κατάσταση ενός προϊόντος δεν αντικατοπτρίζονται σωστά στο blockchain, οδηγώντας σε λάθη στην παρακολούθηση, απώλεια εμπιστοσύνης και πιθανές οικονομικές απώλειες (Wang & Nixon, 2021). Η διαχείριση αυτού του κινδύνου απαιτεί:

- Αυστηρούς μηχανισμούς επικύρωσης δεδομένων μέσω Oracles ή IoT συσκευών.

- Συνεχή ενημέρωση metadata για να αντικατοπτρίζεται η πραγματική κατάσταση των προϊόντων.

Κλιμάκωση και Απόδοση

Η υποστήριξη μεγάλου όγκου συναλλαγών και πολυάριθμων tokens (FTs, NFTs, SFTs) απαιτεί αρχιτεκτονικές υψηλής απόδοσης. Η περιορισμένη χωρητικότητα των blocks, η κατανάλωση gas και οι καθυστερήσεις στο δίκτυο μπορούν να επηρεάσουν την εμπειρία του χρήστη και την επιχειρησιακή αποδοτικότητα. Μερικές στρατηγικές αντιμετώπισης περιλαμβάνουν:

- Layer-2 solutions για off-chain εκτέλεση συναλλαγών και μείωση κόστους gas.
- Batch transfers (π.χ., ERC-1155) για αποτελεσματική μεταφορά πολλαπλών tokens ταυτόχρονα.

Διαλειτουργικότητα (Cross-chain Interoperability)

Η απουσία κοινών προτύπων μεταξύ διαφορετικών blockchain δικτύων περιορίζει τη δυνατότητα απρόσκοπτης μεταφοράς tokens και συνεργασίας μεταξύ πλατφορμών. Η ανάπτυξη μηχανισμών cross-chain, όπως bridges και wrapped tokens, επιτρέπει τη μετακίνηση αξίας και δεδομένων ανάμεσα σε διαφορετικά οικοσυστήματα, αυξάνοντας την παγκόσμια εμβέλεια και την ευελιξία των ψηφιακών marketplaces (Wang & Nixon, 2021)

Ασφάλεια και Προστασία Δεδομένων

Η διαχείριση metadata, η αποθήκευση off-chain και η χρήση Oracles εισάγουν σημεία ευπάθειας. Κίνδυνοι περιλαμβάνουν:

- Manipulation ή hacking των δεδομένων off-chain.
- Προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ blockchain και εξωτερικών συστημάτων.
- Διαρροή ευαίσθητων πληροφοριών σε δημόσια δίκτυα, εάν δεν εφαρμοστούν τεχνικές privacy-preserving.

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί συνδυασμό κρυπτογραφικών τεχνικών, multi-signature controls και audit mechanisms για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των tokens και της εμπιστοσύνης των χρηστών.

Στον Πίνακα 8 φαίνονται συγκεντρωτικά οι προκλήσεις και οι περιορισμοί του tokenization ανά κατηγορία και ποιες είναι οι στρατηγικές αντιμετώπισης τους.

Πίνακας 8: Τεχνικές Προκλήσεις και Περιορισμοί του Tokenization

Κατηγορία	Πρόκληση / Περιορισμός	Στρατηγική Αντιμετώπισης
Αναπαράσταση	Κίνδυνος αναντιστοιχίας μεταξύ φυσικού και ψηφιακού αντικειμένου	Oracles, IoT sensors, συνεχής ενημέρωση metadata
Κλιμάκωση	Περιορισμένη χωρητικότητα blocks, υψηλό gas	Layer-2 solutions, batch transfers, optimized smart contracts
Διαλειτουργικότητα	Αδυναμία επικοινωνίας μεταξύ διαφορετικών blockchain	Cross-chain bridges, wrapped tokens, τυποποίηση πρωτοκόλλων
Ασφάλεια	Ευπάθειες off-chain, hacking, διαρροή ευαίσθητων δεδομένων	Κρυπτογραφία, multi-signature, audits, privacy-preserving τεχνικές

Πολυτυπία tokens	Διαχείριση FTs, NFTs και SFTs ταυτόχρονα	Universal token layer, scalable infrastructure
-------------------------	---	---

3.2.3 Συμπεράσματα

Η διαδικασία του tokenization αποτελεί θεμελιώδη τεχνολογική καινοτομία για τις ψηφιακές πλατφόρμες, μετατρέποντας φυσικά ή άυλα περιουσιακά στοιχεία σε ψηφιακά tokens που μπορούν να αποθηκευτούν, διακινηθούν και διαχειριστούν μέσω blockchain. Η τυποποίηση των tokens σε fungible (FT), non-fungible (NFT) και semi-fungible (SFT) μορφές παρέχει ευελιξία στην αναπαράσταση αξίας, επιτρέποντας την υποστήριξη τόσο γενικών οικονομικών λειτουργιών όσο και μοναδικών ψηφιακών πιστοποιητικών αυθεντικότητας (Wang & Nixon, 2021).

Η σωστή διαχείριση metadata και η επιλογή μεταξύ on-chain και off-chain αποθήκευσης διασφαλίζουν την ακεραιότητα των πληροφοριών, την ιχνηλασιμότητα και την αμεταβλητότητα των ψηφιακών στοιχείων. Παράλληλα, η ενσωμάτωση των tokens σε πλατφόρμες e-commerce επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση αποθεμάτων, την αυτοματοποίηση ροών εργασίας μέσω smart contracts, τη βελτίωση της χρηματοοικονομικής ρευστότητας και την ενίσχυση προγραμμάτων loyalty και ανταμοιβών (Popelo et al., 2024).

Η οικονομική διάσταση (tokenomics) ενισχύει τη βιωσιμότητα του οικοσυστήματος, παρέχοντας αυτοματοποιημένα εργαλεία διανομής αξίας, κίνητρα συμμετοχής των χρηστών και δυνατότητα ενσωμάτωσης impact tokens για ποσοτικοποίηση κοινωνικού και περιβαλλοντικού αντικτύπου (David Uzsoi, 2019).

Παρά τα πλεονεκτήματα, η εφαρμογή του tokenization συνοδεύεται από σημαντικές τεχνικές προκλήσεις, όπως ο κίνδυνος αναντιστοιχίας μεταξύ φυσικών και ψηφιακών περιουσιακών στοιχείων, οι περιορισμοί στην κλιμάκωση, η ανάγκη διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφορετικών blockchain και η ασφάλεια των δεδομένων. Η αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων απαιτεί υιοθέτηση cross-chain αρχιτεκτονικών, layer-2 λύσεων, IoT/Oracles για επικύρωση off-chain δεδομένων και τεχνικών privacy-preserving (Wang & Nixon, 2021).

Συνολικά, ο συνδυασμός tokenization και smart contracts δημιουργεί ένα ισχυρό τεχνολογικό υπόβαθρο για την ανάπτυξη αποκεντρωμένων και αυτοματοποιημένων ψηφιακών πλατφορμών, όπου η διαφάνεια, η ιχνηλασιμότητα και η εμπιστοσύνη είναι πλήρως ενσωματωμένες στον κύκλο ζωής των προϊόντων και των επιχειρηματικών διαδικασιών. Σε τομείς όπως η μόδα, η κυκλική οικονομία και οι ψηφιακές αγορές, αυτή η προσέγγιση επιτρέπει τη δημιουργία οικοσυστημάτων με ασφαλείς, αυτοματοποιημένες και βιώσιμες συναλλαγές, μειώνοντας παράλληλα τον κίνδυνο απομιμήσεων και ενισχύοντας τη συμμετοχή και τη ρευστότητα όλων των εμπλεκόμενων φορέων.

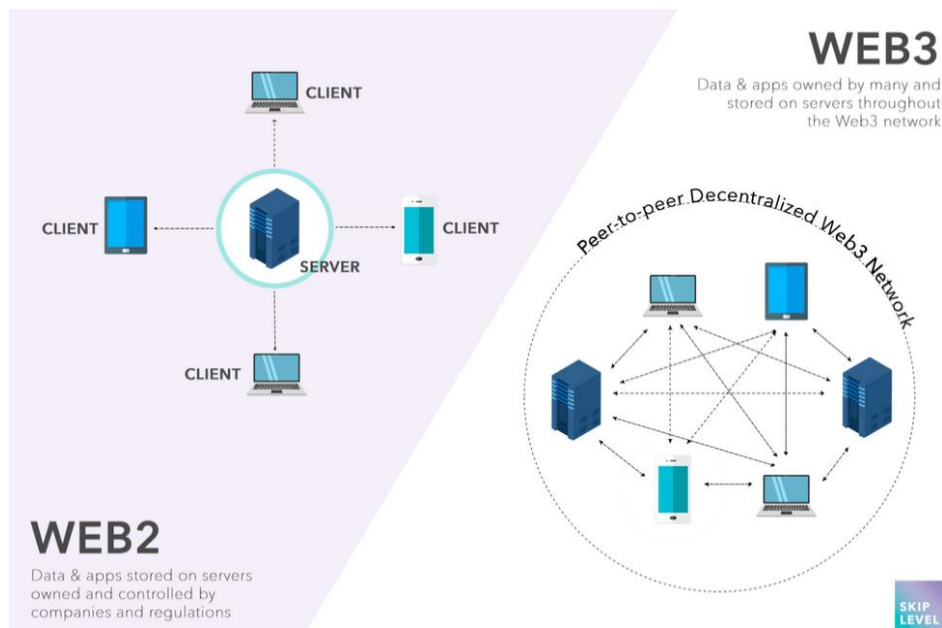
3.2.3 Web3 utilities: Expanding blockchain applications

Η εξέλιξη της τεχνολογίας Blockchain οδήγησε στο Web3, το 'Αποκεντρωμένο Διαδίκτυο'. Αυτό το νέο παράδειγμα εισάγει μια σειρά από βοηθητικά προγράμματα που αξιοποιούν τα βασικά χαρακτηριστικά του Blockchain -αμεταβλητότητα, διαφάνεια και αποκεντρωση- για να παρέχουν καινοτόμες λύσεις σε

όλους τους κλάδους. Οι ακόλουθες κατηγορίες απεικονίζουν βασικά βοηθητικά προγράμματα Web3 και τη σημασία τους στο ευρύτερο οικοσύστημα Blockchain:

- **Χρηματοοικονομικά συστήματα και αποκεντρωμένη χρηματοδότηση (Decentralized Finance - DeFi):** Μία από τις πιο μετασχηματιστικές εφαρμογές του Web3 είναι στα χρηματοοικονομικά συστήματα. Το Decentralized Finance (DeFi) επιτρέπει στις χρηματοοικονομικές υπηρεσίες όπως δανεισμός και οι γενικότερες συναλλαγές να πραγματοποιούνται χωρίς μεσάζοντες. Αυτές οι υπηρεσίες τροφοδοτούνται από smart contracts, τα οποία αυτοματοποιούν τις συναλλαγές με βάση προκαθορισμένες συνθήκες. Επιπλέον, το tokenization επιτρέπει σε φυσικά ή ψηφιακά περιουσιακά στοιχεία να αντιπροσωπεύονται ως μάρκες, διευκολύνοντας την κλασματική ιδιοκτησία και νέα οικονομικά μοντέλα (Bin Cao et al., 2023).
- **Ιδιοκτησία δεδομένων και δημιουργία εσόδων :** Το Web3 δίνει τη δυνατότητα στα άτομα να κατέχουν και να ελέγχουν τα δεδομένα τους, μια αλλαγή από τα παραδοσιακά μοντέλα Web2 όπου οι πλατφόρμες δημιουργούν έσοδα από τις πληροφορίες των χρηστών. Τα συστήματα που βασίζονται σε Blockchain όπως τα αποκεντρωμένα αναγνωριστικά (Decentralized identifiers -DID's) και οι Autonomous Identities επιτρέπουν στους χρήστες να διαχειρίζονται τα διαπιστευτήριά τους με ασφάλεια. Πλατφόρμες όπως το [Ocean Protocol](#) και το [Filecoin](#) επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν απευθείας έσοδα από δεδομένα, προωθώντας μια πιο δίκαιη ψηφιακή οικονομία (Kim et al., 2022)
- **Αποκεντρωμένες εφαρμογές (dApps) :** Οι αποκεντρωμένες εφαρμογές (Decentralized Apps- dApps) βρίσκονται στην καρδιά του Web3, προσφέροντας πλατφόρμες που λειτουργούν χωρίς κεντρική εποπτεία. Αυτές οι εφαρμογές καλύπτουν κλάδους από τα παιχνίδια και την κοινωνική δικτύωση έως τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Χρησιμοποιώντας το Blockchain ως βάση τους, τα dApps διασφαλίζουν τη διαφάνεια, την ασφάλεια και αντιμετωπίζουν την λογοκρισία. (Müller et al., 2021).
- **Διακυβέρνηση και διαλειτουργικότητα :** Τα μοντέλα αποκεντρωμένης διακυβέρνησης, όπως αυτά που εφαρμόζουν οι Αποκεντρωμένοι Αυτόνομοι Οργανισμοί (Decentralized Autonomous Organizations-DAO), εξουσιοδοτούν τις κοινότητες να λαμβάνουν αποφάσεις συλλογικά. Τα πρωτόκολλα διαλειτουργικότητας, όπως αυτά που προσφέρονται από το οικοσύστημα Cosmos και το Polkadot, ενισχύουν περαιτέρω τη χρησιμότητα του Blockchain επιτρέποντας την απρόσκοπτη αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών Blockchain, ενισχύοντας ένα συνδεδεμένο περιβάλλον Web3 (Zhang, L., 2024).
- **Προέλευση και Ιχνηλασιμότητα :** Μια άλλη κρίσιμη χρησιμότητα του Web3 είναι η δυνατότητα παρακολούθησης και επαλήθευσης της προέλευσης των περιουσιακών στοιχείων, ψηφιακών ή φυσικών. Το διαφανές καθολικό του Blockchain διασφαλίζει την αυθεντικότητα και την ηθική προμήθεια αγαθών, καθιστώντας το πολύτιμο εργαλείο σε βιομηχανίες όπως η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και τα είδη πολυτελείας (Hyland-Wood & Johnson, 2024).

Στην Εικόνα 7 φαίνεται η μεταβολή από τα συστήματα WEB2 στα WEB3.



Εικόνα 7: Web2 --> Web3 (skiplevel, 2022)

Τα βοηθητικά προγράμματα που ενεργοποιούνται από το Web3 υπογραμμίζουν τις εκτεταμένες δυνατότητες της τεχνολογίας Blockchain. Από την επανάσταση στα χρηματοοικονομικά μέχρι την αποκέντρωση της διακυβέρνησης και την ενδυνάμωση των χρηστών, αυτά τα βοηθητικά προγράμματα διαμορφώνουν ένα πιο δίκαιο, ασφαλές και καινοτόμο ψηφιακό τοπίο.

3.3 Εφοδιαστική αλυσίδα μόδας και τεχνολογία Blockchain

Η τεχνολογία του κατανεμημένου μητρώου έχει την δυνατότητα να μεταμορφώσει πολλούς τομείς, ειδικά αυτούς που παρέχουν ή βασίζονται σε εξωτερικούς συνεργάτες (third-party) ασφάλειας παρέχοντας εξοικονόμηση πόρων, ιχνηλασιμότητα των πληροφοριών και μειώνοντας τους χρόνους συναλλαγής. Η τεχνολογία αυτή θα μπορούσε να οφελήσει συνολικά την κοινωνία προσφέροντας διαφάνεια και ακεραιότητα, καταπολεμώντας την δωροδοκία, την διαφθορά και την έλλειψη επαρκών πληροφοριών. Συγκεκριμένα, οι δυνατότητες εκτείνονται πολύ πιο πέρα χρηματοοικονομικές υπηρεσίες. Το Blockchain θα μπορούσε επίσης να επηρεάσει αποτελεσματικά τα συστήματα εφοδιασμού (Supply Chain – SC) (Wang, M., Wu, Y., Chen, B., & Evans, M., 2020).

Στην αλυσίδα εφοδιασμού μόδας, η Blockchain τεχνολογία μπορεί να παρέχει ένα διαφανές και αμετάβλητο αρχείο συναλλαγών, διασφαλίζοντας ότι όλοι οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να εντοπίσουν την προέλευση του προϊόντος και να επαληθεύσουν την ακεραιότητα των δεδομένων. Αυτή η διαφάνεια μπορεί να βοηθήσει στον μετριασμό ζητημάτων που σχετίζονται με την ποιότητα των δεδομένων και το ποσοστό διαφάνειας της αλυσίδας εφοδιασμού (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020). Χρησιμοποιώντας το Blockchain, οι επωνυμίες μόδας μπορούν να δημιουργήσουν ένα ψηφιακό βιβλίο που καταγράφει κάθε βήμα της παραγωγικής διαδικασίας, από την προμήθεια πρώτων υλών έως την κατασκευή, τη ναυτιλία και τη λιανική πώληση.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την προσθήκη ετικετών σε διαφορετικές εισροές, όπως ορυκτά ή χημικά υλικά και με την εκχώρηση ψηφιακών πιστοποιητικών blockchain. Μπορούν να παρέχονται και ακόμα πιο συγκεκριμένες και λεπτομερείς πληροφορίες όπως: παρακολούθησης της πηγής του βαμβακιού, του ατόμου που μάζεψε το βαμβάκι, την ημερομηνία συγκομιδής και άλλα σχετικά στοιχεία. (Liu et al., 2018)



Εικόνα 8: Εφαρμογή της BCT στην εφοδιαστική αλυσίδα της Βιομηχανίας Ρουχισμού

Όπως φαίνεται στην *Εικόνα 8*, κάθε οντότητα στο FASHION SC μπορεί να προσθέσει ένα μπλοκ δεδομένων στο μητρώο BCT, το οποίο απεικονίζεται ως μπλοκ χτισμένο πάνω από τα προηγούμενα μπλοκ. Αυτό επιτρέπει σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη να ακολουθήσουν την διαδικασία βήμα προς βήμα με διαφανή τρόπο και δίνουν τη δυνατότητα στους μεσάζοντες, τους λιανοπωλητές και τους καταναλωτές, να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με τις ενέργειες τους σε ολόκληρο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας (Ayoade et al., 2019).

Το Blockchain μπορεί επίσης να βοηθήσει στην αντιμετώπιση του ζητήματος των πλαστών προϊόντων, το οποίο είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στη βιομηχανία της μόδας. Παρέχοντας ένα επαληθεύσιμο αρχείο της διαδρομής κάθε προϊόντος μέσω της αλυσίδας εφοδιασμού, μπορεί να βοηθήσει τους καταναλωτές και τους εμπόρους λιανικής να πιστοποιήσουν την αυθεντικότητα των ειδών μόδας. Αυτό όχι μόνο προστατεύει τη φήμη της επωνυμίας, αλλά διασφαλίζει επίσης ότι οι καταναλωτές λαμβάνουν γνήσια προϊόντα (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020).

Επιπλέον, μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας με την εξυγίανση των διαδικασιών και τη μείωση των διοικητικών εξόδων. Μπορεί να αυτοματοποιήσει τις διαδικασίες συμμόρφωσης και ελέγχου, μειώνοντας την ανάγκη για μη αυτόματη τήρηση αρχείων και επαλήθευση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτερες και πιο αποτελεσματικές λειτουργίες, μειώνοντας τελικά το κόστος των εταιρειών (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020).

Στον *Πίνακα 8* αναφέρονται όλα τα οφέλη της τεχνολογίας Blockchain.

Πίνακας 9: Οφέλη της Τεχνολογίας Blockchain

Πτυχή	Οφέλη του Blockchain
Εμπιστοσύνη	Παρέχει διαφανές αρχείο συναλλαγών, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη και την αξιοπιστία στις διαδικασίες. (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020)

Ιχνηλασιμότητα	Επιτρέπει την ανίχνευση της προέλευσης προϊόντων, βοηθώντας στον εντοπισμό πλαστών προϊόντων και στην προστασία του καταναλωτή. (Cuc, 2023) (Sharabati, Jreisat, 2024)
Πρόληψη πλαστών	Επαληθεύει τη γνησιότητα προϊόντων μέσω αδιάβλητου αρχείου δεδομένων και εξαλείφει τις αγορές απομιμήσεων (Garcia-Torres et al., 2019)
Αποτελεσματικότητα	Μειώνει τη γραφειοκρατία και αυτοματοποιεί διαδικασίες, επιταχύνοντας τις συναλλαγές. (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020)
Μείωση κόστους	Μειώνει τα λειτουργικά κόστη με αυτοματοποίηση της συμμόρφωσης και του ελέγχου συναλλαγών.. (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020) (Sharabati, Jreisat, 2024)
Αειφορία	Βελτιώνει τις πρακτικές βιωσιμότητας, μειώνοντας τα περιβαλλοντικά αποτυπώματα μέσω καλύτερης διαχείρισης πόρων. (Cuc, 2023)
Ενίσχυση εμπιστοσύνης	Ενισχύει την εμπιστοσύνη μεταξύ των μερών της εφοδιαστικής αλυσίδας με αδιάβλητο σύστημα συναλλαγών και δυνατότητα άμεσης επαλήθευσης. (Sharabati, Jreisat, 2024)
Προστασία δεδομένων	Διασφαλίζει την ακρίβεια και την ασφάλεια δεδομένων μέσω έξυπνων συμβολαίων και κατανεμημένων μητρώων. (Sharabati, Jreisat, 2024)

Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο του επανεμπορίου, το Blockchain μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στην επαλήθευση της γνησιότητας και της προέλευσης των μεταχειρισμένων προϊόντων. Μέσω της δυνατότητας καταγραφής του πλήρους ιστορικού ενός προϊόντος, από την παραγωγή του έως την ανακύκλωση, συμβάλλει στην κυκλική οικονομία, διασφαλίζοντας την ποιότητα και την ορθή διαχείριση των υλικών. Παράλληλα, διευκολύνει την υλοποίηση προγραμμάτων ανάκτησης από επωνυμίες, μειώνοντας τη σπατάλη και ενισχύοντας την υπεύθυνη κατανάλωση. Πιο αναλυτικά:

- **Επαλήθευση γνησιότητας και προέλευσης:** Το blockchain διασφαλίζει ότι τα προϊόντα μεταπώλησης είναι γνήσια και δεν πρόκειται για απομιμήσεις. Κάθε προϊόν συνοδεύεται από ένα αμετάβλητο αρχείο δεδομένων που καταγράφει τη διαδρομή του, όπως η αρχική παραγωγή και οι προηγούμενοι κάτοχοι, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών (Kouhizadeh et al., 2021).
- **Διασφάλιση ποιότητας:** Η παρακολούθηση της κατάστασης ενός ρούχου σε όλο τον κύκλο ζωής του εξασφαλίζει ότι πληροί τα πρότυπα ποιότητας πριν από τη μεταπώληση. Έτσι, οι αγοραστές έχουν την ασφάλεια ότι το προϊόν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις τους (Sharabati, Jreisat, 2024)
- **Ενίσχυση κυκλικής οικονομίας:** Το blockchain διευκολύνει τη μετάβαση σε κυκλική οικονομία, επιτρέποντας την παρακολούθηση υλικών και προϊόντων από την κατασκευή έως την ανακύκλωση. Η καταγραφή πληροφοριών όπως επισκευές και επαναχρησιμοποιήσεις ενθαρρύνει τη μείωση αποβλήτων και τη βιώσιμη χρήση των προϊόντων (Kouhizadeh et al., 2021).

- **Διευκόλυνση προγραμμάτων ανάκτησης:** Μέσω του blockchain, οι επωνυμίες μπορούν να καταγράφουν και να παρακολουθούν τις επιστροφές ρούχων για ανακύκλωση ή μεταπώληση. Αυτό μειώνει τη σπατάλη και προωθεί την υπεύθυνη διαχείριση υλικών (Cuc, 2023).
- **Διαφάνεια και εμπιστοσύνη:** Η δυνατότητα άμεσης επαλήθευσης δεδομένων αυξάνει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών προς τις διαδικασίες του επανεμπορίου. Οι καταναλωτές έχουν πλήρη πρόσβαση στο ιστορικό του προϊόντος, γεγονός που ενισχύει την σχέση των επωνυμιών με τους καταναλωτές τους (Cuc, 2023).
- **Υποστήριξη βιώσιμης κατανάλωσης:** Παρέχοντας λεπτομερή και αξιόπιστα δεδομένα για τα προϊόντα, οι καταναλωτές ενθαρρύνονται να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, προωθώντας τη βιώσιμη κατανάλωση και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Sharabati, Jreisat, 2024).

3.3.1 Καινοτομίες και προκλήσεις

Το επανεμπόριο ειδών ρουχισμού αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο της κυκλικής οικονομίας, συμβάλλοντας στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης της βιομηχανίας της μόδας. Παρά τις θετικές του επιπτώσεις, ο κλάδος αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η έλλειψη διαφάνειας, η εμφάνιση πλαστών προϊόντων, και η απουσία εμπιστοσύνης μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών. Η τεχνολογία Blockchain, με την ικανότητά της να καταγράφει δεδομένα με ασφάλεια και διαφάνεια, αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος λύση που αντιμετωπίζει αυτά τα ζητήματα.

Η τεχνολογία Blockchain μέσω της δυνατότητας καταγραφής του πλήρους ιστορικού ενός προϊόντος, από την παραγωγή του έως την ανακύκλωση, συμβάλλει στην κυκλική οικονομία, διασφαλίζοντας την ποιότητα και την ορθή διαχείριση των υλικών. Παράλληλα, διευκολύνει την υλοποίηση προγραμμάτων ανάκτησης από επωνυμίες, μειώνοντας τη σπατάλη και ενισχύοντας την υπεύθυνη κατανάλωση. Πιο αναλυτικά:

- **Επαλήθευση γνησιότητας και προέλευσης:** Το blockchain διασφαλίζει ότι τα προϊόντα μεταπώλησης είναι γνήσια και δεν πρόκειται για απομιμήσεις. Κάθε προϊόν συνοδεύεται από ένα αμετάβλητο αρχείο δεδομένων που καταγράφει τη διαδρομή του, όπως η αρχική παραγωγή και οι προηγούμενοι κάτοχοι, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των καταναλωτών (Kouhizadeh et al., 2021).
- **Διασφάλιση ποιότητας:** Η παρακολούθηση της κατάστασης ενός ρούχου σε όλο τον κύκλο ζωής του εξασφαλίζει ότι πληροί τα πρότυπα ποιότητας πριν από τη μεταπώληση. Έτσι, οι αγοραστές έχουν την ασφάλεια ότι το προϊόν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις τους (Sharabati, Jreisat, 2024)
- **Ενίσχυση κυκλικής οικονομίας:** Το blockchain διευκολύνει τη μετάβαση σε κυκλική οικονομία, επιτρέποντας την παρακολούθηση υλικών και προϊόντων από την κατασκευή έως την ανακύκλωση. Η καταγραφή πληροφοριών όπως επισκευές και επαναχρησιμοποιήσεις ενθαρρύνει τη μείωση αποβλήτων και τη βιώσιμη χρήση των προϊόντων (Kouhizadeh et al., 2021).
- **Διευκόλυνση προγραμμάτων ανάκτησης:** Μέσω του blockchain, οι επωνυμίες μπορούν να καταγράφουν και να παρακολουθούν τις επιστροφές ρούχων για ανακύκλωση ή μεταπώληση. Αυτό μειώνει τη σπατάλη και προωθεί την υπεύθυνη διαχείριση υλικών (Cuc, 2023).
- **Διαφάνεια και εμπιστοσύνη:** Η δυνατότητα άμεσης επαλήθευσης δεδομένων αυξάνει τη διαφάνεια και την εμπιστοσύνη των καταναλωτών προς τις διαδικασίες του επανεμπορίου. Οι καταναλωτές

έχουν πλήρη πρόσβαση στο ιστορικό του προϊόντος, γεγονός που ενισχύει την σχέση των επωνυμιών με τους καταναλωτές τους (Cuc, 2023).

- **Υποστήριξη βιώσιμης κατανάλωσης:** Παρέχοντας λεπτομερή και αξιόπιστα δεδομένα για τα προϊόντα, οι καταναλωτές ενθαρρύνονται να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, προωθώντας τη βιώσιμη κατανάλωση και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Sharabati, Jreisat, 2024).
- **Διασυνοριακές Συναλλαγές:** Οι διασυνοριακές συναλλαγές διευκολύνονται μέσω Blockchain, μειώνοντας τα κόστη συναλλαγών και προσφέροντας ταχύτερη πρόσβαση στις αγορές επανεμπορίου ρούχων (Nakamoto, 2008).

Παρότι η τεχνολογία blockchain υπόσχεται να φέρει σημαντικές βελτιώσεις στον τομέα του επανεμπορίου ρούχων, η εφαρμογή της συνοδεύεται από προκλήσεις που συνδέονται με την ίδια τη φύση και τη λειτουργία της. Το blockchain βασίζεται σε κατανεμημένα μητρώα και έξυπνα συμβόλαια, τα οποία, ενώ προσφέρουν διαφάνεια και ασφάλεια, απαιτούν σημαντικούς πόρους για την ανάπτυξη και λειτουργία τους. Επιπλέον, η καινοτομία της τεχνολογίας αυτής συνεπάγεται ότι πολλές επιχειρήσεις και καταναλωτές δεν είναι ακόμα εξοικειωμένοι με τις δυνατότητες και τις απαιτήσεις της. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για εμπόδια όπως :

- **Ζητήματα επεκτασιμότητας:** Η τεχνολογία Blockchain, ειδικά στην τρέχουσα κατάστασή της, αντιμετωπίζει προκλήσεις επεκτασιμότητας. Η διαδικασία επικύρωσης και καταγραφής συναλλαγών μπορεί να είναι αργή και με ένταση πόρων, ιδιαίτερα καθώς αυξάνεται ο αριθμός των συναλλαγών (Kaur & C Gandhi, 2020).
- **Υψηλό κόστος υλοποίησης:** Το αρχικό κόστος εφαρμογής της τεχνολογίας blockchain μπορεί να είναι υψηλό. Αυτό περιλαμβάνει το κόστος ανάπτυξης και ενοποίησης συστημάτων blockchain, καθώς και το τρέχον κόστος συντήρησης και διαχείρισης αυτών των συστημάτων. Για μικρότερες επιχειρήσεις επανεμπορίου, αυτά τα κόστη είναι απαγορευτικά (Morkunas et al., 2019).
- **Ανησυχίες για την ασφάλεια:** Ενώ το blockchain θεωρείται γενικά ασφαλές, δεν είναι απρόσβλητο από διαδικτυακές απειλές. Ζητήματα όπως οι επιθέσεις κατά 51%, όπου μια μεμονωμένη οντότητα αποκτά τον έλεγχο της πλειονότητας της ισχύος εξόρυξης του δικτύου, μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του blockchain. Επιπλέον, η ασφάλεια των συστημάτων που βασίζονται σε blockchain εξαρτάται από την ασφάλεια της υποκείμενης υποδομής, η οποία μπορεί να είναι ευάλωτη σε επιθέσεις (Conti et al., 2018).
- **Ρυθμιστική αβεβαιότητα:** Το ρυθμιστικό περιβάλλον για την τεχνολογία blockchain εξακολουθεί να εξελίσσεται. Υπάρχει έλλειψη σαφών και συνεπών κανονισμών που διέπουν τη χρήση του blockchain, κάτι που μπορεί να δημιουργήσει αβεβαιότητα για τις επιχειρήσεις. Αυτή η κανονιστική αβεβαιότητα μπορεί να εμποδίσει την υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain στο επανεμπόριο (Kouhizadeh et al., 2021).
- **Ζητήματα συμβατότητας :** Διαφορετικές πλατφόρμες blockchain ενδέχεται να μην είναι συμβατές μεταξύ τους, οδηγώντας σε προβλήματα συμβατότητας. Αυτό μπορεί να περιορίσει την ικανότητα των επιχειρήσεων επανεμπορίου να ενσωματώνουν απρόσκοπτα λύσεις blockchain σε διαφορετικές πλατφόρμες και συστήματα (Morkunas et al., 2019).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain σε συστήματα επανεμπορίου παρουσιάζει μια πολλά υποσχόμενη ευκαιρία για ενίσχυση της διαφάνειας, της εμπιστοσύνης και της αποτελεσματικότητας. Ωστόσο, η αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την επεκτασιμότητα, το κόστος, την ασφάλεια, τη ρύθμιση και τη διαλειτουργικότητα είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή υιοθέτηση και εφαρμογή του blockchain σε αυτόν τον τομέα.

3.4 Blockchain σε ηλεκτρονικές αγορές και συστήματα επανεμπορίου – Case studies

Η εφαρμογή του blockchain σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου και recommerce έχει μελετηθεί εκτενώς στη διεθνή βιβλιογραφία και παρουσιάζει ιδιαίτερη δυναμική σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται ισχυροί μηχανισμοί εμπιστοσύνης και επαλήθευσης δεδομένων.

Στην αλυσίδα εφοδιασμού μόδας, το blockchain προσφέρει μια ενιαία, αμετάβλητη πηγή αλήθειας για όλο το ιστορικό παραγωγής, μεταφοράς και μεταπώλησης. Η πλήρης ιχνηλασιμότητα ενισχύει την αντιμετώπιση φαινομένων παραποίησης/απομίμησης, τα οποία αποτελούν σημαντική απειλή για τη βιομηχανία μόδας και πλήττουν την αγορά μεταχειρισμένων (Tapscott, 2019). Ταυτόχρονα, επιτρέπει τη διασφάλιση της ποιότητας και της κατάστασης ενός προϊόντος, καθώς καταγράφονται γεγονότα όπως συντηρήσεις, καθαρισμοί, φθορές, προηγούμενες αγορές/πωλήσεις και αξιολογήσεις (Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L., 2020).

Η ενσωμάτωση blockchain στις πλατφόρμες επανεμπορίου διευκολύνει επίσης την εφαρμογή επιχειρηματικών μοντέλων βασισμένων σε κυκλικά κίνητρα, όπως ανταμοιβές σε tokens για την επαναπώληση, δωρεά ή υπεύθυνη διάθεση ενδυμάτων. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν τη δημιουργία «δεύτερης οικονομίας» εντός της πλατφόρμας, η οποία ενθαρρύνει τους χρήστες να συμμετέχουν ενεργά στον κυκλικό κύκλο αγοράς-χρήσης-επαναπώλησης (Nakamoto, 2008).

Η υιοθέτηση blockchain στη βιομηχανία μόδας δεν αποτελεί πλέον θεωρητική προσέγγιση, αλλά μια τεχνολογική πραγματικότητα με πλήθος πρακτικών εφαρμογών. Εταιρείες, startups και οργανισμοί αξιοποιούν τις ιδιότητες του blockchain —αμετάβλητο, διαφάνεια, ιχνηλασιμότητα, μοναδικότητα— προκειμένου να αντιμετωπίσουν θεμελιώδη προβλήματα της μόδας και της κυκλικής οικονομίας: πλαστογραφίες, έλλειψη διαφάνειας, απώλεια ιστορικού προϊόντος, χαμηλή εμπιστοσύνη στο recommerce, έλλειψη δεδομένων για βιωσιμότητα και προβλήματα επαλήθευσης προέλευσης.

Τα ακόλουθα case studies αποτελούν ενδεικτικά παραδείγματα εφαρμογής blockchain σε πραγματικές συνθήκες.

– **Arianee – Ψηφιακά διαβατήρια πολυτελών προϊόντων**

Το Arianee έχει δημιουργήσει ένα πρωτόκολλο blockchain για την έκδοση ψηφιακών πιστοποιητικών γνησιότητας (NFT-based digital passports) για πολυτελή προϊόντα. Κάθε προϊόν συνοδεύεται από μοναδικό token που καταγράφει την προέλευση, τις επισκευές, τις μεταβιβάσεις ιδιοκτησίας και τις υπηρεσίες after-sales. Η τεχνολογία αυτή μειώνει τον κίνδυνο πλαστογραφιών και επιτρέπει στους καταναλωτές να επαληθεύουν την αυθεντικότητα ενός προϊόντος σε όλο τον κύκλο ζωής του (Arianee.Com, 2025).

- **Circularise – Ιχνηλασιμότητα υλικών χωρίς αποκάλυψη ευαίσθητων δεδομένων**
Η Circularise προσφέρει μία από τις πιο προηγμένες λύσεις blockchain στον τομέα της ιχνηλασιμότητας υλικών. Η μέθοδος «Smart Questioning» επιτρέπει την επαλήθευση δεδομένων για υλικά και διαδικασίες χωρίς αποκάλυψη εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών, επιτυγχάνοντας διαφάνεια σε πολύπλοκες εφοδιαστικές αλυσίδες. Η προσέγγιση αυτή θεωρείται κρίσιμη για τον κλάδο, όπου τα επιχειρηματικά μυστικά συχνά εμποδίζουν την ανταλλαγή πληροφοριών (circularise.com, 2025).
- **Lablaco – Marketplace κυκλικής μόδας με NFT ιχνηλασιμότητα**
Η Lablaco έχει αναπτύξει μια πλατφόρμα circular fashion στην οποία κάθε προϊόν συνδέεται με ένα NFT που καταγράφει όλο το ιστορικό του: παραγωγή, χρήση, επισκευές, μεταπωλήσεις. Με αυτόν τον τρόπο η πλατφόρμα επιτρέπει τη δημιουργία ενός πλήρως ψηφιακού οικοσυστήματος recommerce, όπου η ιχνηλασιμότητα ενθαρρύνει τη διαφάνεια και αυξάνει την εμπιστοσύνη των χρηστών.
- **VeChain – Αυθεντικότητα και ποιότητα πολυτελών προϊόντων**
Η VeChain χρησιμοποιεί blockchain σε συνδυασμό με QR και NFC tags για την επαλήθευση της γνησιότητας και της ποιότητας προϊόντων. Η πλατφόρμα παρακολουθεί κάθε στάδιο της εφοδιαστικής αλυσίδας, από την προμήθεια υλικών έως την τελική πώληση, μειώνοντας τον κίνδυνο παραποιημένων ειδών — ένα φαινόμενο που κοστίζει δισεκατομμύρια ετησίως στον κλάδο της μόδας (vechain101.com, 2025).
- **Loomia – Σύνδεση φυσικού προϊόντος με ψηφιακή ταυτότητα**
Η Loomia δημιουργεί «έξυπνες ετικέτες» (Loomia Tiles) ενσωματωμένες σε υφάσματα, οι οποίες αποθηκεύουν δεδομένα σχετικά με τη χρήση ενός ενδύματος. Μέσω blockchain, οι πληροφορίες αυτές —όπως ο αριθμός πλύσεων, η θερμοκρασία χρήσης ή η φθορά— μπορούν να επαληθευτούν και να μεταφερθούν στον επόμενο αγοραστή, ενισχύοντας την εμπιστοσύνη στην αγορά μεταχειρισμένων και δίνοντας τεκμηριωμένα στοιχεία για την ποιότητα και τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.
- **Provenance – Διαφάνεια σε εφοδιαστικές αλυσίδες**
Η Provenance χρησιμοποιεί blockchain για να δημιουργήσει συστήματα διαφάνειας εφοδιαστικών αλυσίδων, επιτρέποντας σε brands να αποδεικνύουν ισχυρισμούς βιωσιμότητας, προέλευσης υλικών και δεοντολογικών πρακτικών. Η πλατφόρμα χρησιμοποιείται ευρέως από εταιρείες που θέλουν να προβάλουν τα περιβαλλοντικά τους επιτεύγματα με τρόπο που είναι επαληθεύσιμος και μη παραποιήσιμος (Provenance Blockchain, 2025).
- **Curate – Blockchain-based fashion marketplace**
Το Curate λειτουργεί ως marketplace μόδας που βασίζεται σε blockchain και NFT τεχνολογία. Προσφέρει επιβραβεύσεις για καταναλωτές και δημιουργούς μέσω tokens, ενώ ενσωματώνει

επαληθεύσιμη ταυτότητα προϊόντος. Το Curate αναδεικνύεται ως ένα υβριδικό μοντέλο που συνδυάζει αγορά φυσικών και ψηφιακών προϊόντων με χαρακτηριστικά web3.

– **Fashion Coin / Fashion Xchange – Tokenized circular fashion economy**

Το Fashion Coin αποτελεί μια πρωτοβουλία δημιουργίας token economy για την κυκλική μόδα. Μέσω blockchain, οι χρήστες επιβραβεύονται για βιώσιμες δράσεις — όπως ανεβάσματα ρούχων, επισκευές, επαναπωλήσεις — με tokens που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα στο οικοσύστημα της πλατφόρμας. Η ιδέα αυτή έχει μελετηθεί και σε ακαδημαϊκό επίπεδο ως μοντέλο που κινητοποιεί συμμετοχή και μειώνει τα απόβλητα μέσω οικονομικών κινήτρων.

– **BabyGhost – Ιστορικά πρωτοποριακό hybrid blockchain–fashion project**

Η BabyGhost, σε συνεργασία με Ethereum developers, δημιούργησε ένα από τα πρώτα projects όπου φυσικά ρούχα «συνδέθηκαν» με NFT ταυτότητες ήδη από το 2016. Οι καταναλωτές μπορούσαν να σκανάρουν την ετικέτα ενός ενδύματος και να δουν το αντίστοιχο token στο blockchain, επιβεβαιώνοντας την αυθεντικότητα του προϊόντος. Θεωρείται ο προάγγελος των σύγχρονων “phygital” fashion εφαρμογών.

Τα παραπάνω παραδείγματα αντικατοπτρίζουν την ευρεία δυναμική του blockchain στη μόδα και ειδικότερα στην αγορά επανεμπορίου. Η τεχνολογία μπορεί:

- να συνδέσει φυσικό–ψηφιακό προϊόν,
- να καταγράψει αμετάβλητο ιστορικό χρήσης,
- να μειώσει τις απομιμήσεις,
- να ενισχύσει την εμπιστοσύνη και τα ποσοστά επαναπώλησης,
- να υποστηρίξει την κυκλική οικονομία με πιστοποιημένα δεδομένα,
- να επιτρέψει νέες μορφές αξίας με tokens και μηχανισμούς επιβράβευσης.

Τα case studies αυτά, σε συνδυασμό με ευρήματα ερευνητικών έργων όπως αυτά που χρησιμοποιούν DPP, NFC tags, edge computing και decentralized storage, επιβεβαιώνουν ότι το blockchain μπορεί να αποτελέσει βασικό τεχνολογικό πυλώνα για πλατφόρμες όπως το REFASHION.

3.4.1 Τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις

Παρά τη σημαντική δυναμική του blockchain για την ενίσχυση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης σε πλατφόρμες επανεμπορίου, η ενσωμάτωσή του σε μεγάλης κλίμακας marketplaces συνοδεύεται από ένα σύνολο τεχνολογικών και λειτουργικών προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν ήδη από το στάδιο του σχεδιασμού. Οι προκλήσεις αυτές αφορούν τόσο τα εγγενή χαρακτηριστικά των δημόσιων δικτύων (π.χ. κόστος και ρυθμός συναλλαγών), όσο και την πρακτική διασύνδεσή τους με off-chain συστήματα (π.χ. βάσεις δεδομένων, APIs, ταυτοποίηση χρηστών), καθώς και ζητήματα ασφάλειας, κανονιστικής συμμόρφωσης και εμπειρίας χρήστη (Kaur & C Gandhi, 2020).

– **Κλιμάκωση, κόστος και καθυστέρηση συναλλαγών (scalability, fees, latency)**

Ένα από τα πλέον κρίσιμα εμπόδια στα δημόσια blockchain είναι η περιορισμένη χωρητικότητα συναλλαγών και το μεταβλητό κόστος εκτέλεσης (gas), το οποίο μπορεί να αυξηθεί σημαντικά σε περιόδους συμφόρησης. Σε πλατφόρμες με μεγάλο όγκο μικροσυναλλαγών (όπως marketplaces), τα υψηλά fees μπορούν να υπονομεύσουν την οικονομική βιωσιμότητα της on-chain καταγραφής ή της on-chain απόδοσης ανταμοιβών, καθώς και να δημιουργήσουν καθυστερήσεις που επηρεάζουν την εμπειρία χρήστη (Kaur & C Gandhi, 2020). Η βιβλιογραφία υποδεικνύει ότι πρακτικές όπως η υβριδική αρχιτεκτονική (on-chain μόνο για κρίσιμα γεγονότα, off-chain για λειτουργικά δεδομένα) και η αξιοποίηση μηχανισμών κλιμάκωσης (όπως layer-2) αποτελούν συνήθεις στρατηγικές μετριασμού, ακριβώς για να συνδυαστεί η αμεταβλητότητα με αποδοτική λειτουργία (Wang & Nixon, 2021).

– **Ασφάλεια smart contracts και συστημικός κίνδυνος**

Παρότι τα blockchain προσφέρουν υψηλή ακεραιότητα δεδομένων, τα smart contracts ως λογισμικά τεχνουργήματα μπορούν να ενσωματώνουν ευπάθειες. Σφάλματα στη διαχείριση κατάστασης, αδυναμίες επανεισόδου (re-entrancy), λανθασμένοι έλεγχοι πρόσβασης ή προβλήματα με εξαρτήσεις από εξωτερικά δεδομένα έχουν οδηγήσει σε σοβαρές απώλειες σε πραγματικά οικοσυστήματα (Khan et al., 2021).. Το κρίσιμο σημείο είναι ότι η αμεταβλητότητα μετατρέπει ένα σφάλμα κώδικα σε «μονιμοποιημένο» επιχειρησιακό κίνδυνο, γεγονός που καθιστά απαραίτητες διαδικασίες όπως τυπική επαλήθευση (formal verification), πολλαπλά audits, δοκιμές σε testnets και μηχανισμούς ασφαλούς αναβάθμισης (upgrade patterns) σε περιπτώσεις που απαιτείται εξελικτικότητα (Hyland-Wood & Johnson, 2024).

– **Αξιοπιστία δεδομένων και “oracle problem”**

Σε ένα marketplace κυκλικής μόδας, πολλές κρίσιμες πληροφορίες δεν παράγονται on-chain: κατάσταση προϊόντος, επιβεβαίωση παράδοσης, αξιολόγηση φθοράς, ακόμη και η «σύνδεση» φυσικού αντικειμένου με ψηφιακή ταυτότητα προϋποθέτει δεδομένα που εισάγονται στο σύστημα από εξωτερικούς μηχανισμούς. Αυτό οδηγεί στο γνωστό “oracle problem”: η αξιοπιστία του blockchain δεν αρκεί από μόνη της, αν τα δεδομένα που τροφοδοτούν τα smart contracts δεν είναι αξιόπιστα ή είναι χειραγωγήσιμα (Khan et al., 2021). Η βιβλιογραφία προτείνει συνδυαστικές λύσεις, όπως πολλαπλές πηγές δεδομένων, μηχανισμούς επαλήθευσης (π.χ. αποδεικτικά, hashes, signed attestations), καθώς και διαδικασίες ελέγχου που δεν «φορτώνουν» όλα τα δεδομένα on-chain αλλά καταγράφουν on-chain μόνο τα απολύτως απαραίτητα ίχνη ακεραιότητας (Wang & Nixon, 2021).

– **Ιδιωτικότητα, κανονιστική συμμόρφωση και GDPR**

Η πλήρης διαφάνεια ενός δημόσιου blockchain μπορεί να συγκρούεται με απαιτήσεις προστασίας προσωπικών δεδομένων ή εμπορικά ευαίσθητων πληροφοριών. Η αποθήκευση προσωπικών δεδομένων on-chain θεωρείται υψηλού ρίσκου λόγω αμεταβλητότητας και δυσκολίας συμμόρφωσης με δικαιώματα όπως η διαγραφή/διόρθωση, ενώ ακόμη και “ψευδωνυμοποιημένα” δεδομένα μπορούν να ανασυνδεθούν με πραγματικές ταυτότητες μέσω μοτίβων συναλλαγών (Hyland-Wood & Johnson, 2024). Για αυτό, σε εφαρμογές marketplace προκρίνεται η ελαχιστοποίηση on-chain δεδομένων, η χρήση off-chain αποθήκευσης με on-chain hashes, καθώς και τεχνικές privacy-preserving σχεδιασμού όπου απαιτείται (Kaur & C Gandhi, 2020).

– **Εμπειρία χρήστη, διαχείριση πορτοφολιών και κοινωνική αποδοχή**

Η μαζική υιοθέτηση ενός blockchain-enabled marketplace δεν είναι μόνο τεχνικό ζήτημα, αλλά και θέμα “usability”. Η διαχείριση wallets, seed phrases, υπογραφών και η κατανόηση token-based ανταμοιβών αποτελούν εμπόδια για μη εξοικειωμένους χρήστες, αυξάνοντας τον κίνδυνο εγκατάλειψης ή λαθών (Kaur & C Gandhi, 2020). Επιπλέον, θέματα όπως απώλεια πρόσβασης σε wallet ή δυσκολία ανάκτησης μπορούν να μετατραπούν σε πραγματικό επιχειρησιακό ρίσκο για την πλατφόρμα. Η βιβλιογραφία και η αγορά τείνουν σε λύσεις που «κρύβουν» την πολυπλοκότητα (π.χ. custodial ή smart wallets, social recovery), αλλά αυτό εισάγει trade-offs μεταξύ αποκέντρωσης και ευχρηστίας (Hyland-Wood & Johnson, 2024).

– **Διαλειτουργικότητα, πρότυπα και cross-chain λειτουργία**

Η διαλειτουργικότητα παραμένει μία από τις πιο σημαντικές προκλήσεις, καθώς οι εφοδιαστικές αλυσίδες και οι αγορές λειτουργούν σε πολυ-συστημικά περιβάλλοντα. Όταν πλατφόρμες, πιστοποιητές, brands ή τρίτες υπηρεσίες χρησιμοποιούν διαφορετικά blockchain ή διαφορετικά πρότυπα token/identity, απαιτούνται μηχανισμοί cross-chain επικοινωνίας ή γέφυρες, οι οποίοι συχνά αποτελούν σημεία αυξημένου κινδύνου και πολυπλοκότητας. Επιπλέον, η έλλειψη καθολικής τυποποίησης για “digital product identities” στον χώρο της μόδας δυσκολεύει την κλιμάκωση σε επίπεδο κλάδου, παρά το γεγονός ότι παρατηρείται έντονη κινητικότητα προς πρότυπα και θεσμικές κατευθύνσεις (Wang & Nixon, 2021).

– **Περιβαλλοντικό αποτύπωμα και ευθυγράμμιση με στόχους βιωσιμότητας**

Τέλος, δεν μπορεί να αγνοηθεί ότι ορισμένα δημόσια blockchain έχουν συνδεθεί ιστορικά με αυξημένη ενεργειακή κατανάλωση, ιδιαίτερα σε μηχανισμούς συναίνεσης τύπου proof-of-work. Παρότι η τεχνολογική εξέλιξη τείνει σε αποδοτικότερα μοντέλα, η αξιολόγηση του ενεργειακού αποτυπώματος και η επιλογή τεχνολογικής λύσης που ευθυγραμμίζεται με τους στόχους βιωσιμότητας αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για εφαρμογές κυκλικής οικονομίας (Kaur & C Gandhi, 2020).

Συνολικά, οι παραπάνω προκλήσεις δεν αναιρούν τη χρησιμότητα του blockchain, αλλά αναδεικνύουν ότι η επιτυχία εξαρτάται από την ορθή αρχιτεκτονική επιλογή, τη σωστή κατανομή on-chain/off-chain λειτουργιών, την ασφάλεια του κώδικα και τη σχεδίαση μιας εμπειρίας χρήστη που καθιστά την τεχνολογία «αόρατη» αλλά αξιόπιστη. Αυτή ακριβώς η ανάγκη ισορροπίας τεκμηριώνει γιατί τα case studies του προηγούμενου υποκεφαλαίου συχνά υιοθετούν υβριδικά μοντέλα, με blockchain ως επίπεδο εμπιστοσύνης και όχι ως πλήρη αντικατάσταση των συμβατικών πληροφοριακών υποδομών (Hyland-Wood & Johnson, 2024).

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις που ανακύπτουν από την ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain σε πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου και επανεμπορίου μόδας, όπως αυτές έχουν αναδειχθεί τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και μέσα από την ανάλυση υπαρκτών εφαρμογών και case studies. Ο πίνακας αποτυπώνει τους κύριους άξονες προβληματισμού, τις επιπτώσεις τους στη λειτουργία των ψηφιακών αγορών και τις ενδεικτικές κατευθύνσεις αντιμετώπισής τους, λειτουργώντας ως εννοιολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό βιώσιμων blockchain-based συστημάτων όπως το REFASHION.

Πίνακας 10: Προκλήσεις ενσωμάτωσης της τεχνολογίας blockchain στα marketplaces επανεμπορίου μόδας και ενδεικτικές στρατηγικές μετριασμού.

Κατηγορία πρόκλησης	Περιγραφή / Ρίσκο	Πιθανή επίπτωση σε marketplace	Ενδεικτικές στρατηγικές μετριασμού (high-level)
Scalability & fees	Περιορισμένη χωρητικότητα συναλλαγών, μεταβλητό gas	Καθυστέρηση, υψηλό κόστος, υποβάθμιση UX	Υβριδική αρχιτεκτονική, on-chain μόνο κρίσιμων γεγονότων, λύσεις κλιμάκωσης
Ασφάλεια smart contracts	Σφάλματα κώδικα, επιθέσεις, μηχανισμοί αναβάθμισης	Οικονομικές απώλειες, απώλεια εμπιστοσύνης	Audits, testnets, formal verification, ασφαλή upgrade patterns
Oracle problem	Εξάρτηση από off-chain δεδομένα (κατάσταση προϊόντος, παράδοση)	Λανθασμένες εκτελέσεις, χειραγώγηση	Verified attestations, hashes, πολλαπλές πηγές, ελαχιστοποίηση on-chain δεδομένων
Privacy & GDPR	Αμεταβλητότητα vs δικαιώματα διαγραφής/διόρθωσης	Ρυθμιστικός κίνδυνος, έκθεση δεδομένων	Off-chain PII, on-chain μόνο hashes, privacy-preserving design
UX & wallet adoption	Πολυπλοκότητα wallets/keys, απώλεια πρόσβασης	Μειωμένη υιοθέτηση, churn	Wallet abstraction, social recovery, UX-first ροές
Interoperability	Διαφορετικά chain/standards, ανάγκη cross-chain	Κλείδωμα οικοσυστήματος, τεχνική πολυπλοκότητα	Πρότυπα, modular σχεδιασμός, προσεκτική cross-chain στρατηγική
Sustainability trade-off	Ενεργειακό/περιβαλλοντικό αποτύπωμα δικτύου	Αντίφαση με στόχους κυκλικής μόδας	Επιλογή αποδοτικών μηχανισμών συναίνεσης, περιορισμός on-chain ενεργειών

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω case studies και οι αναλυθείσες τεχνολογικές και λειτουργικές προκλήσεις καταδεικνύουν ότι, παρότι το blockchain διαθέτει ώριμες πλέον εφαρμογές στον χώρο της μόδας και του επανεμπορίου, η επιτυχής αξιοποίησή του δεν προκύπτει από την άκριτη «ολική» υιοθέτησή του, αλλά από στοχευμένες και αρχιτεκτονικά συνεπείς επιλογές. Η διεθνής εμπειρία συγκλίνει στην ανάγκη για

υβριδικά μοντέλα, όπου το blockchain λειτουργεί ως επίπεδο εμπιστοσύνης, αμεταβλητότητας και επαλήθευσης κρίσιμων γεγονότων, ενώ οι λειτουργικές διαδικασίες υψηλού όγκου παραμένουν σε off-chain υποδομές.

Ιδιαίτερα για πλατφόρμες επανεμπορίου και κυκλικής μόδας, η βιβλιογραφία και οι πρακτικές εφαρμογές υποδεικνύουν ότι η ενσωμάτωση του blockchain πρέπει να είναι λειτουργικά ευθυγραμμισμένη με τους επιχειρηματικούς στόχους της πλατφόρμας, να ελαχιστοποιεί την πολυπλοκότητα για τον τελικό χρήστη και να μεγιστοποιεί τη διαφάνεια, χωρίς να επιβαρύνει την εμπειρία χρήσης ή τη συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια.

Με βάση τα παραπάνω ευρήματα, το επόμενο κεφάλαιο εστιάζει στην προτεινόμενη ενσωμάτωση των τεχνολογιών blockchain στη λειτουργία της πλατφόρμας **REFASHION**, αναλύοντας πώς τα smart contracts και τα tokens μπορούν να αξιοποιηθούν με τρόπο στοχευμένο, επεκτάσιμο και λειτουργικά αποδοτικό, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις τεχνολογικές δυνατότητες όσο και τους περιορισμούς που αναδείχθηκαν στη διεθνή εμπειρία.

4. Ενσωμάτωση τεχνολογιών blockchain στη λειτουργία της πλατφόρμας REFASHION

Η παρούσα ενότητα εξετάζει αναλυτικά τον ρόλο της τεχνολογίας blockchain ως βασικής υποδομής για τη λειτουργία της πλατφόρμας REFASHION, εστιάζοντας στη συμβολή της στην ενίσχυση της διαφάνειας, της ιχνηλασιμότητας, της εμπιστοσύνης και της αυτοματοποίησης των συναλλαγών στο περιβάλλον του ηλεκτρονικού επανεμπορίου μόδας. Το blockchain δεν αντιμετωπίζεται αποκλειστικά ως τεχνολογική επιλογή υλοποίησης, αλλά ως δομικό στοιχείο ενός νέου ψηφιακού οικοσυστήματος που υποστηρίζει κυκλικά επιχειρηματικά μοντέλα, ευθυγραμμισμένα με τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης.

Στο πλαίσιο του έργου REFASHION, η τεχνολογία blockchain υιοθετείται ως εξωτερικό (external) σύστημα, βασισμένο στο δημόσιο blockchain του Ethereum, το οποίο λειτουργεί συμπληρωματικά προς την κεντρική αρχιτεκτονική της εφαρμογής. Μέσω της χρήσης έξυπνων συμβολαίων (smart contracts), επιτυγχάνεται η αυτοματοποιημένη καταγραφή συναλλαγών αγοραπωλησίας μεταχειρισμένων προϊόντων μόδας, καθώς και η έκδοση και διαχείριση ψηφιακών tokens ανταμοιβής (“ReFashion Tokens - RFT”), τα οποία συνδέονται άμεσα με τη βιώσιμη συμπεριφορά των χρηστών.

Η επιλογή της συγκεκριμένης τεχνολογικής προσέγγισης εδράζεται τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και σε υφιστάμενες πρακτικές εφαρμογές blockchain σε ψηφιακές αγορές μόδας και πολυτελών αγαθών, οι οποίες αναδεικνύουν τη δυνατότητα της τεχνολογίας να λειτουργήσει ως μηχανισμός οικοδόμησης εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα με υψηλό βαθμό πληροφορικής ασυμμετρίας.

4.1 Εξάλειψη κρίσιμων κενών διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας

Η βιομηχανία της μόδας, και ειδικότερα ο τομέας του επανεμπορίου (recommerce), χαρακτηρίζεται από σημαντικά κενά διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας, τα οποία λειτουργούν ανασταλτικά τόσο για την εμπιστοσύνη των καταναλωτών όσο και για την αποτελεσματική υιοθέτηση κυκλικών επιχειρηματικών μοντέλων. Τα κενά αυτά αφορούν, μεταξύ άλλων, την αβεβαιότητα ως προς την προέλευση των προϊόντων, την αυθεντικότητά τους, την πραγματική κατάστασή τους, καθώς και το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.

Σε παραδοσιακές πλατφόρμες ηλεκτρονικού εμπορίου, η πληροφορία ελέγχεται κεντρικά από τον διαχειριστή της πλατφόρμας και βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε δηλώσεις των πωλητών, γεγονός που δημιουργεί φαινόμενα ασύμμετρης πληροφόρησης (information asymmetry) μεταξύ αγοραστών και πωλητών. Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η ασύμμετρη πληροφόρηση αποτελεί βασικό εμπόδιο για την ανάπτυξη αξιόπιστων αγορών μεταχειρισμένων προϊόντων, καθώς αυξάνει τον αντιλαμβανόμενο κίνδυνο των συναλλαγών και περιορίζει τη διάθεση των καταναλωτών να συμμετάσχουν (Lu et al., 2025).

Η τεχνολογία blockchain προτείνεται ως απάντηση σε αυτά τα δομικά προβλήματα, εισάγοντας ένα αποκεντρωμένο, αμετάβλητο και επαληθεύσιμο σύστημα καταγραφής δεδομένων. Μέσω της κατανεμημένης λογιστικής (distributed ledger technology), κάθε κρίσιμη πληροφορία που αφορά το προϊόν ή τη συναλλαγή μπορεί να καταγράφεται με τρόπο που δεν επιδέχεται εκ των υστέρων αλλοίωση, ενώ παραμένει προσβάσιμη σε όλα τα εξουσιοδοτημένα μέρη.

Στον τομέα της μόδας, η εφαρμογή του blockchain για σκοπούς ιχνηλασιμότητας έχει ήδη υλοποιηθεί από διεθνείς οργανισμούς και εταιρείες. Ενδεικτικά, πλατφόρμες όπως το Provenance αξιοποιούν blockchain τεχνολογίες για την τεκμηρίωση της προέλευσης υλικών και προϊόντων, επιτρέποντας στους καταναλωτές να επαληθεύουν ισχυρισμούς βιωσιμότητας μέσω ψηφιακών αποδεικτικών στοιχείων. Αντίστοιχα, η Everledger και η VeChain έχουν εφαρμόσει λύσεις ψηφιακής ιχνηλασιμότητας και πιστοποίησης αυθεντικότητας σε αγορές πολυτελών προϊόντων, μειώνοντας τον κίνδυνο απομιμήσεων και ενισχύοντας την εμπιστοσύνη των χρηστών.

Η αξία του blockchain δεν περιορίζεται μόνο στην καταγραφή της αρχικής προέλευσης ενός προϊόντος, αλλά επεκτείνεται στη δυνατότητα παρακολούθησης ολόκληρου του κύκλου ζωής του. Στο πλαίσιο ενός recommerce οικοσυστήματος, η καταγραφή επαναλαμβανόμενων μεταβιβάσεων ιδιοκτησίας, επισκευών ή μεταπωλήσεων δημιουργεί ένα πλήρες ψηφιακό ιστορικό, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ως βάση τόσο για την αποτίμηση της αξίας του προϊόντος όσο και για τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών οφελών από την επαναχρησιμοποίησή του.

Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται άμεσα με τις ευρωπαϊκές πολιτικές για την εισαγωγή του Digital Product Passport (DPP), όπου το blockchain αναγνωρίζεται ως μία από τις πλέον κατάλληλες τεχνολογίες για την ασφαλή και διαφανή αποθήκευση δεδομένων προϊόντων. Μελέτες επισημαίνουν ότι η επιτυχής υλοποίηση του DPP προϋποθέτει τη διασύνδεση φυσικών αντικειμένων με αξιόπιστες ψηφιακές αναπαραστάσεις, ικανές να υποστηρίξουν σενάρια επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης και συμμόρφωσης με κανονιστικές απαιτήσεις (Pérez et al., 2020).

Στο REFASHION, το blockchain θα αξιοποιείται ακριβώς για την κάλυψη αυτών των κενών διαφάνειας. Κάθε ολοκληρωμένη συναλλαγή αγοραπωλησίας θα καταγράφεται στο blockchain, δημιουργώντας ένα αμετάβλητο αποτύπωμα συμμετοχής σε κυκλική κατανάλωση. Η πληροφορία αυτή δεν θα λειτουργεί μόνο ως τεχνικό στοιχείο επαλήθευσης, αλλά θα μετατρέπεται σε φορέα αξίας, καθώς συνδέεται άμεσα με τον μηχανισμό ανταμοιβών της πλατφόρμας και τον υπολογισμό του Eco-Impact Score. Με τον τρόπο αυτό, η τεχνολογία blockchain μετασχηματίζεται από παθητικό μηχανισμό καταγραφής σε ενεργό εργαλείο διαμόρφωσης βιώσιμης καταναλωτικής συμπεριφοράς.

4.2 Ο ρόλος των Tokens στη λειτουργία του REFASHION

Η τεχνολογία των tokens αποτελεί έναν από τους πλέον κρίσιμους μηχανισμούς μέσω των οποίων το blockchain μπορεί να μετασχηματίσει τη λειτουργία των ψηφιακών αγορών και, ειδικότερα, των πλατφορμών κυκλικής οικονομίας. Στο πλαίσιο του REFASHION, τα tokens δεν θα αντιμετωπίζονται ως απλό ψηφιακό μέσο ανταμοιβής, αλλά ως δομικό στοιχείο ενός ολοκληρωμένου συστήματος κινήτρων, διαφάνειας και ποσοτικοποίησης της βιωσιμότητας.

4.2.1 Tokens ως μηχανισμός κινήτρων

Στη διεθνή βιβλιογραφία, τα tokens ορίζονται ως ψηφιακές μονάδες αξίας που εκδίδονται και διαχειρίζονται μέσω blockchain, με προκαθορισμένους κανόνες χρήσης και μεταφοράς (Buterin, 2017). Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά νομίσματα, η αξία των tokens δεν προκύπτει απαραίτητα από νομισματική αντιστοίχιση, αλλά από τη χρησιμότητά τους εντός ενός συγκεκριμένου ψηφιακού οικοσυστήματος, γεγονός που τα κατατάσσει στην κατηγορία των utility tokens.

Στο πλαίσιο των ψηφιακών αγορών, τα tokens έχουν αξιοποιηθεί εκτενώς ως μηχανισμοί επιβράβευσης χρηστών, εργαλεία ενίσχυσης πιστότητας, μέσα εσωτερικής ανταλλαγής αξίας και φορείς συμπεριφορικής αλλαγής. Ιδιαίτερα σε πλατφόρμες που επιδιώκουν την προώθηση βιώσιμων πρακτικών, τα tokens λειτουργούν ως «μεταφραστές» αφηρημένων περιβαλλοντικών αξιών σε απτά, μετρήσιμα και αξιοποιήσιμα οφέλη για τον χρήστη.

Το REFASHION υιοθετεί αυτή τη λογική, αξιοποιώντας τα tokens όχι ως απλό τεχνολογικό χαρακτηριστικό, αλλά ως βασικό εργαλείο ενεργοποίησης, παρακίνησης και διατήρησης της συμμετοχής των χρηστών σε πρακτικές κυκλικής μόδας.

4.2.2 Utility tokens και κυκλική οικονομία

Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, τα utility tokens αποκτούν ιδιαίτερη σημασία ως μηχανισμοί που επιβραβεύουν συμπεριφορές με θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, όπως η επαναχρησιμοποίηση προϊόντων, η μεταπώληση αντί της απόρριψης και η επιλογή αγαθών με χαμηλότερο αποτύπωμα πόρων. Η διεθνής εμπειρία δείχνει ότι τα tokens είναι περισσότερο αποτελεσματικά όταν εντάσσονται σε ένα συνεκτικό σύστημα μέτρησης και ανάδειξης της βιώσιμης αξίας της κατανάλωσης, και όχι ως αποσπασματικά rewards.

Πλατφόρμες και πρωτοβουλίες στον χώρο της μόδας και της ιχνηλασιμότητας, όπως η Lablaco, η Curate, το Fashion Coin, αλλά και έργα όπως το Provenance και το Everledger, έχουν αναδείξει τη δυναμική των tokens ως εργαλείων ενίσχυσης της κυκλικότητας. Η κοινή συνισταμένη των προσεγγίσεων αυτών είναι η σύνδεση της ψηφιακής ανταμοιβής με επαληθεύσιμα δεδομένα προέλευσης, κύκλου ζωής και χρήσης των προϊόντων, γεγονός που ενισχύει την εμπιστοσύνη των χρηστών και τη διαφάνεια της αγοράς.

Το REFASHION θα αντλεί από αυτά τα παραδείγματα, υιοθετώντας μια token-based λογική που συνδέει άμεσα την οικονομική επιβράβευση με τη συμβολή κάθε χρήστη στη μείωση των απορριμμάτων μόδας.

4.2.3 Τα “ReFashion” Tokens

Στο προτεινόμενο μοντέλο του REFASHION, τα REFASHION (RFT) Tokens σχεδιάζονται ως utility tokens που εκδίδονται στο Ethereum blockchain και συνδέονται αποκλειστικά με δραστηριότητες επανεμπορίου και κυκλικής κατανάλωσης. Η φιλοσοφία τους βασίζεται στην παραδοχή ότι κάθε επιτυχημένη πράξη επαναχρησιμοποίησης ενδυμάτων παράγει μετρήσιμη περιβαλλοντική αξία, η οποία μπορεί να αποτυπωθεί και να επιβραβευθεί ψηφιακά.

Τα REFASHION (RFT) Tokens ενσωματώνουν βασικές ιδιότητες των ψηφιακών νομισμάτων που βασίζονται σε blockchain, όπως ελεγχόμενη έκδοση και σπανιότητα, υψηλή διαιρεσιμότητα, εύκολη αποθήκευση και μεταφορά μέσω ψηφιακών πορτοφολιών, καθώς και πλήρη επαληθευσσιμότητα μέσω αμετάβλητης καταγραφής των συναλλαγών. Ωστόσο, η αξία τους ενεργοποιείται αποκλειστικά εντός του οικοσυστήματος του REFASHION, μέσω της χρήσης τους σε μηχανισμούς επιβράβευσης, προνόμια, εκπτώσεις ή πρόσβαση σε ειδικές λειτουργίες της πλατφόρμας.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των REFASHION (RFT) Tokens ευθυγραμμίζονται πλήρως με τις θεμελιώδεις ιδιότητες των ψηφιακών νομισμάτων που βασίζονται σε blockchain:

- **Σπανιότητα (Scarcity):** Η έκδοση των tokens γίνεται με προκαθορισμένους κανόνες και όρια, γεγονός που ενισχύει την αντιληπτή αξία τους και αποτρέπει τον πληθωρισμό του συστήματος ανταμοιβών.
- **Διαιρεσιμότητα (Divisibility):** Τα tokens μπορούν να διαιρεθούν σε πολλαπλά δεκαδικά ψηφία, επιτρέποντας την ακριβή αντιστοίχιση μικρών περιβαλλοντικών ωφελειών με αντίστοιχα κίνητρα. Η ιδιότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβάλλοντα όπου οι συναλλαγές και οι ανταμοιβές βασίζονται σε λεπτομερή metrics βιωσιμότητας.
- **Αποθηκευσιμότητα και φορητότητα:** Τα REFASHION (RFT) Tokens αποθηκεύονται σε ψηφιακά wallets και μπορούν να μεταφερθούν εύκολα και με χαμηλό κόστος, ενισχύοντας τη χρηστικότητα τους εντός και δυνητικά εκτός της πλατφόρμας.
- **Επαληθευσιμότητα και διαφάνεια:** Όλες οι συναλλαγές που αφορούν την έκδοση και μεταφορά των tokens καταγράφονται αμετάβλητα στο blockchain, εξασφαλίζοντας πλήρη έλεγχο και ιχνηλασιμότητα.
- **Αποδοχή εντός οικοσυστήματος:** Η αξία των tokens ενεργοποιείται μέσω της χρήσης τους στην πλατφόρμα, είτε ως ανταμοιβή, είτε ως μέσο πρόσβασης σε προνόμια, εκπτώσεις ή ειδικές λειτουργίες. Με τον τρόπο αυτό, τα REFASHION (RFT) Tokens δεν λειτουργούν ως μέσο κερδοσκοπίας, αλλά ως εργαλείο λειτουργικής ενίσχυσης της κυκλικής στρατηγικής της πλατφόρμας.

4.2.4 Σύνδεση REFASHION (RFT) Tokens με το Eco-Impact Score

Ένα από τα πιο καινοτόμα στοιχεία του REFASHION είναι η άμεση σύνδεση των REFASHION (RFT) Tokens με τον δείκτη Eco-Impact Score, ο οποίος αποτυπώνει σε ενιαία βαθμολογία τα περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την επαναχρησιμοποίηση ενός συγκεκριμένου προϊόντος μόδας. Ο δείκτης αυτός βασίζεται σε δεδομένα κύκλου ζωής, όπως η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂, η εξοικονόμηση υδάτινων πόρων και η αποφυγή παραγωγής νέων αποβλήτων.

Σε αντίθεση με συμβατικά συστήματα ανταμοιβών που βασίζονται αποκλειστικά στην οικονομική αξία της συναλλαγής, το REFASHION εισάγει έναν υβριδικό μηχανισμό, όπου η ποσότητα των tokens που αποδίδονται εξαρτάται τόσο από την επιτυχή ολοκλήρωση της συναλλαγής όσο και από το πραγματικό περιβαλλοντικό όφελος που αυτή συνεπάγεται. Η προσέγγιση αυτή συνδέεται με σύγχρονες ερευνητικές κατευθύνσεις που εξετάζουν την tokenization of sustainability, δηλαδή τη μετατροπή περιβαλλοντικών δεδομένων σε λειτουργικά οικονομικά σήματα.

4.2.5 Tokens, gamification και αλλαγή συμπεριφοράς χρηστών

Η αποτελεσματικότητα των REFASHION (RFT) Tokens στο έργο REFASHION ενισχύεται περαιτέρω μέσω της ενσωμάτωσής τους σε μηχανισμούς gamification, με στόχο τη μακροπρόθεσμη αλλαγή καταναλωτικής συμπεριφοράς. Σύμφωνα με το μοντέλο συμπεριφορικής αλλαγής του Fogg, για να πραγματοποιηθεί μια αλλαγή απαιτείται ταυτόχρονα επαρκές κίνητρο, ικανότητα και ενεργοποίηση (Fogg BJ, 2007).

Στο έργο REFASHION, τα tokens λειτουργούν ως άμεσο και απτό κίνητρο, η φιλική διεπαφή και η απλοποιημένη διαδικασία συναλλαγών μειώνουν τα εμπόδια συμμετοχής, ενώ στοιχεία όπως ειδοποιήσεις, κατατάξεις χρηστών, badges και προκλήσεις λειτουργούν ως triggers που ενισχύουν τη συχνότητα και τη συνέπεια της συμμετοχής. Η συνδυαστική χρήση tokens και gamification έχει αποδειχθεί στη βιβλιογραφία ότι αυξάνει τη διατήρηση χρηστών και ενισχύει τη δέσμευση σε

πλατφόρμες βιώσιμης κατανάλωσης, καθιστώντας την αλλαγή συμπεριφοράς πιο διαρκή και αποτελεσματική.

4.3 Smart contracts στο Refashion

Στο πλαίσιο του έργου REFASHION, η αξιοποίηση της τεχνολογίας των έξυπνων συμβολαίων (smart contracts) προτείνεται ως βασικός μηχανισμός για την αυτοματοποίηση και την αξιόπιστη εκτέλεση κρίσιμων λειτουργιών του marketplace επανεμπορίου. Η προσέγγιση αυτή δεν αποσκοπεί στη μεταφορά ολόκληρης της λειτουργίας της πλατφόρμας στο blockchain, αλλά στη στοχευμένη ενσωμάτωση ενός αποκεντρωμένου επιπέδου εμπιστοσύνης, το οποίο θα συμπληρώνει το κεντρικό σύστημα ηλεκτρονικού εμπορίου. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική βασίζεται σε έναν σαφή διαχωρισμό αρμοδιοτήτων: το core e-commerce σύστημα θα συνεχίσει να διαχειρίζεται τη ροή των καταχωρίσεων, των πληρωμών και της εμπειρίας χρήστη, ενώ τα smart contracts θα ενεργοποιούνται μόνο σε επιλεγμένα σημεία της λειτουργικής ροής, όπου η διαφάνεια, η αμεταβλητότητα και η αυτοματοποίηση θεωρούνται κρίσιμες. Με τον τρόπο αυτό, το REFASHION στοχεύει να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα του blockchain χωρίς να επιβαρύνει την απόδοση, την επεκτασιμότητα ή τη χρηστικότητα της πλατφόρμας.

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν, παρουσιάζεται ο προτεινόμενος ρόλος των smart contracts στη λειτουργία του REFASHION, η διασύνδεσή τους με το e-commerce σύστημα, καθώς και οι μηχανισμοί μέσω των οποίων θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την αμετάβλητη καταγραφή συναλλαγών και την αυτοματοποιημένη απόδοση των REFASHION (RFT) Tokens.

4.3.1 Ρόλος των smart contracts

Στο σχεδιασμό του REFASHION, τα έξυπνα συμβόλαια προτείνεται να λειτουργούν ως ένα εξωτερικό, αποκεντρωμένο επίπεδο εκτέλεσης κανόνων, το οποίο θα ενισχύει την αξιοπιστία των συναλλαγών επανεμπορίου χωρίς να παρεμβαίνει άμεσα στη βασική λειτουργία του marketplace. Ο ρόλος τους θα είναι επικουρικός αλλά στρατηγικός, καθώς θα αναλαμβάνουν τη διαχείριση ενεργειών που απαιτούν υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης και επαληθευσιμότητας. Η προτεινόμενη λειτουργική ροή προβλέπει ότι τα smart contracts θα ενεργοποιούνται μετά την επιβεβαίωση κρίσιμων γεγονότων από το κεντρικό σύστημα της πλατφόρμας, όπως η ολοκλήρωση μιας συναλλαγής. Σε αυτό το στάδιο, το αποτέλεσμα της συναλλαγής θα μπορούσε να αποτυπώνεται στο blockchain με αμετάβλητο τρόπο, δημιουργώντας ένα ψηφιακό αποτύπωμα που δεν θα επιδέχεται τροποποιήσεις εκ των υστέρων. Η καταγραφή αυτή θα λειτουργεί ως μηχανισμός ενίσχυσης της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης, τόσο για τους χρήστες όσο και για την ίδια την πλατφόρμα.

Τα smart contracts στο REFASHION δεν προτείνεται να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση δυναμικών ή συχνά μεταβαλλόμενων δεδομένων, όπως οι περιγραφές προϊόντων ή η κατάσταση διαθεσιμότητας. Αντίθετα, θα περιορίζονται στην εκτέλεση σαφώς ορισμένων κανόνων που αφορούν την επικύρωση και την καταγραφή του τελικού αποτελέσματος μιας συναλλαγής, καθώς και την ενεργοποίηση των μηχανισμών επιβράβευσης μέσω των REFASHION (RFT) Tokens. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται η υπερφόρτωση του blockchain και διατηρείται η αποδοτικότητα του συστήματος. Η προτεινόμενη χρήση των smart contracts θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους, στον περιορισμό

λαθών ή καταχρήσεων και στη βελτίωση της εμπειρίας των χρηστών, καθώς η εκτέλεση των κρίσιμων κανόνων θα πραγματοποιείται αυτόματα και με προβλέψιμο τρόπο. Παράλληλα, η ανθρώπινη παρέμβαση θα περιορίζεται στο επίπεδο της διεπαφής και της υποστήριξης, ενώ η τεχνολογία θα αναλαμβάνει τη διασφάλιση της ακεραιότητας των συναλλαγών.

Συνολικά, ο ρόλος των smart contracts στο REFASHION προτείνεται να είναι αυστηρά στοχευμένος και λειτουργικά ενσωματωμένος στον συνολικό σχεδιασμό της πλατφόρμας. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με τις τεχνικές προδιαγραφές του έργου και με τις βέλτιστες πρακτικές που έχουν καταγραφεί στη βιβλιογραφία για την εφαρμογή blockchain σε συστήματα επανεμπορίου, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για μια κλιμακούμενη, αξιόπιστη και βιώσιμη ψηφιακή αγορά μόδας.

4.3.2 Blockchain ως external subsystem

Στον προτεινόμενο σχεδιασμό της πλατφόρμας REFASHION, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας blockchain δεν θα πραγματοποιείται ως εγγενές τμήμα του core e-commerce συστήματος, αλλά ως ένα διακριτό και εξωτερικό υποσύστημα (external subsystem). Η επιλογή αυτή βασίζεται στη θεμελιώδη αρχή του διαχωρισμού ευθυνών, επιτρέποντας στην πλατφόρμα να συνδυάσει την αποδοτικότητα και την ευχρηστία ενός σύγχρονου συστήματος ηλεκτρονικού εμπορίου με τα πλεονεκτήματα της αποκεντρωμένης τεχνολογίας.

Συγκεκριμένα, το REFASHION προτείνεται να αξιοποιήσει το Medusa ως τον βασικό πυρήνα του marketplace, υπεύθυνο για τη διαχείριση χρηστών, προϊόντων, καταχωρίσεων, πληρωμών και διεπαφής χρήστη. Το blockchain υποσύστημα θα λειτουργεί συμπληρωματικά, αναλαμβάνοντας αποκλειστικά λειτουργίες που απαιτούν αμετάβλητη καταγραφή, αυτοματοποιημένη εκτέλεση κανόνων και κρυπτογραφική επαλήθευση. Με αυτόν τον τρόπο, το blockchain δεν θα επιβαρύνει τη βασική ροή του e-commerce, αλλά θα προσφέρει ένα αξιόπιστο επίπεδο εμπιστοσύνης για κρίσιμα γεγονότα.

Η επικοινωνία μεταξύ του core συστήματος και του blockchain υποσυστήματος προτείνεται να υλοποιηθεί μέσω της event-driven αρχιτεκτονικής που υποστηρίζει το Medusa. Κάθε φορά που ολοκληρώνεται ένα κρίσιμο γεγονός, όπως η επιβεβαίωση μιας συναλλαγής, το σύστημα θα εκπέμπει ένα αντίστοιχο event (π.χ. order.placed). Το event αυτό θα λειτουργεί ως σημείο ενεργοποίησης για το blockchain plugin του REFASHION, το οποίο θα αναλαμβάνει τη δρομολόγηση της πληροφορίας προς το υποσύστημα blockchain.

Στο πλαίσιο αυτό, ένα εξειδικευμένο service (BlockchainService) θα διαχειρίζεται την αλληλεπίδραση με το Ethereum blockchain, απομονώνοντας πλήρως την πολυπλοκότητα των smart contracts από τον υπόλοιπο κώδικα της εφαρμογής. Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει στο REFASHION να διατηρεί καθαρό και συντηρήσιμο κώδικα, ενώ ταυτόχρονα καθιστά εφικτή τη μελλοντική αντικατάσταση ή αναβάθμιση του blockchain layer χωρίς σημαντικές αλλαγές στον πυρήνα της πλατφόρμας.

Ιδιαίτερο πλεονέκτημα της προτεινόμενης προσέγγισης αποτελεί η ασύγχρονη εκτέλεση των blockchain συναλλαγών. Οι ενέργειες που σχετίζονται με την καταγραφή συναλλαγών ή την απόδοση tokens δεν θα μπλοκάρουν τη βασική ροή του marketplace, διασφαλίζοντας ομαλή εμπειρία χρήστη ακόμη και σε περιβάλλοντα υψηλού φόρτου. Παράλληλα, η διακριτή λειτουργία του blockchain υποσυστήματος

ενισχύει την επεκτασιμότητα και επιτρέπει την προσαρμογή της πλατφόρμας σε διαφορετικές τεχνολογικές εξελίξεις ή ρυθμιστικές απαιτήσεις.

Συνολικά, η επιλογή της διασύνδεσης του marketplace με το blockchain ως external subsystem αντανακλά έναν ρεαλιστικό και τεχνολογικά ώριμο σχεδιασμό. Το REFASHION δεν επιχειρεί να «μεταφέρει» το σύνολο της λειτουργίας του στο blockchain, αλλά να αξιοποιήσει στοχευμένα τις δυνατότητές του εκεί όπου προσφέρουν τη μέγιστη προστιθέμενη αξία. Η αρχιτεκτονική αυτή δημιουργεί τις προϋποθέσεις για μια κλιμακούμενη, ευέλικτη και αξιόπιστη πλατφόρμα επανεμπορίου, η οποία μπορεί να εξελιχθεί σταδιακά χωρίς να θυσιάζει την απόδοση ή την εμπειρία χρήστη.

4.3.3 Event-driven ενεργοποίηση

Η ενεργοποίηση των smart contracts προτείνεται να βασίζεται σε μια event-driven αρχιτεκτονική, η οποία επιτρέπει την αυτοματοποιημένη και ασύγχρονη διασύνδεση του core e-commerce συστήματος με το blockchain υποσύστημα. Η προσέγγιση αυτή επιλέγεται ώστε οι blockchain λειτουργίες να εκτελούνται μόνο όταν προκύπτουν συγκεκριμένα, σαφώς ορισμένα γεγονότα, αποφεύγοντας την άσκοπη ενεργοποίηση έξυπνων συμβολαίων και τη δημιουργία περιττού κόστους ή πολυπλοκότητας.

Συγκεκριμένα, το Medusa backend του REFASHION προβλέπεται να λειτουργεί ως ο κύριος παραγωγός γεγονότων (event producer) στο σύστημα. Κατά την ολοκλήρωση μιας κρίσιμης επιχειρησιακής ενέργειας, όπως η επιτυχής καταχώριση και επιβεβαίωση μιας παραγγελίας επανεμπορίου, το σύστημα θα εκπέμπει ένα αντίστοιχο event (π.χ. *order.placed*). Το event αυτό δεν θα περιέχει επιχειρησιακή λογική blockchain, αλλά θα λειτουργεί ως καθαρό σήμα ότι μια συναλλαγή έχει ολοκληρωθεί σύμφωνα με τους κανόνες του marketplace.

Η κατανάλωση των γεγονότων αυτών προτείνεται να πραγματοποιείται μέσω εξειδικευμένων subscribers που θα υλοποιούνται στο custom blockchain plugin του REFASHION. Οι subscribers αυτοί θα είναι υπεύθυνοι για τη λήψη των δεδομένων του event, τον έλεγχο της πληρότητας και εγκυρότητάς τους και την προώθησή τους προς το blockchain υποσύστημα. Με τον τρόπο αυτό, η λογική ενεργοποίησης των smart contracts παραμένει απομονωμένη από τον πυρήνα του e-commerce συστήματος, ενισχύοντας τη συντηρησιμότητα και τη διαχειρισιμότητα της εφαρμογής. Στο επόμενο στάδιο, το BlockchainService θα λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο (abstraction layer) μεταξύ της πλατφόρμας και του Ethereum blockchain. Το service αυτό θα αναλαμβάνει την κλήση των κατάλληλων smart contracts, τη διαχείριση των συναλλαγών και την παρακολούθηση της κατάστασής τους. Η ύπαρξη ενός τέτοιου επιπέδου επιτρέπει στο REFASHION να ελέγχει τη ροή των blockchain ενεργειών, να εφαρμόζει μηχανισμούς retry ή logging και να διαχειρίζεται αποτυχίες χωρίς να επηρεάζεται άμεσα η εμπειρία του χρήστη.

Ιδιαίτερη σημασία έχει το γεγονός ότι η εκτέλεση των smart contracts θα πραγματοποιείται ασύγχρονα σε σχέση με τη βασική ροή της πλατφόρμας. Η ολοκλήρωση μιας αγοράς στο REFASHION δεν θα εξαρτάται από την άμεση επιβεβαίωση της blockchain συναλλαγής, αλλά η τελευταία θα εκτελείται σε δεύτερο χρόνο, ως αποτέλεσμα του αντίστοιχου event. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει χαμηλό latency, σταθερή εμπειρία χρήστη και αυξημένη ανθεκτικότητα του συστήματος σε περιπτώσεις συμφόρησης του blockchain δικτύου.

Συνολικά, η event-driven ενεργοποίηση των smart contracts προτείνεται ως βασικό στοιχείο της τεχνολογικής αρχιτεκτονικής του REFASHION, καθώς επιτρέπει την καθαρή ενσωμάτωση του blockchain στο marketplace χωρίς να διαταράσσει τη βασική λειτουργικότητα του συστήματος. Η αρχιτεκτονική αυτή υποστηρίζει τη σταδιακή εξέλιξη της πλατφόρμας, την εύκολη προσθήκη νέων blockchain-based λειτουργιών και τη διατήρηση υψηλού επιπέδου απόδοσης και αξιοπιστίας.

4.3.4 Αμετάβλητη καταγραφή συναλλαγών

Ένα από τα κεντρικά στοιχεία της προτεινόμενης αξιοποίησης των smart contracts στο REFASHION είναι η αμετάβλητη καταγραφή των συναλλαγών επανεμπορίου στο Ethereum blockchain. Η λειτουργία αυτή στοχεύει στη δημιουργία ενός αξιόπιστου και διαφανή μηχανισμού τεκμηρίωσης των αγοραπωλησιών, ο οποίος θα λειτουργεί συμπληρωματικά προς τα συμβατικά πληροφοριακά συστήματα της πλατφόρμας.

Στο προτεινόμενο μοντέλο, κάθε ολοκληρωμένη συναλλαγή επανεμπορίου θα ενεργοποιεί την κλήση ενός εξειδικευμένου smart contract, το οποίο θα αναλαμβάνει την καταγραφή βασικών, μη ευαίσθητων στοιχείων της συναλλαγής στο blockchain. Τα δεδομένα αυτά δεν θα αποσκοπούν στην πλήρη αναπαράσταση της εμπορικής πράξης, αλλά στη δημιουργία ενός αμετάβλητου αποτυπώματος (transaction fingerprint) που θα λειτουργεί ως μηχανισμός επαλήθευσης και audit trail.

Ενδεικτικά, τα στοιχεία που προτείνεται να καταγράφονται περιλαμβάνουν ένα μοναδικό αναγνωριστικό συναλλαγής, χρονική σήμανση, κρυπτογραφικά hashes που παραπέμπουν στην καταχώριση της παραγγελίας στο off-chain σύστημα, καθώς και τις διευθύνσεις των ψηφιακών πορτοφολιών των εμπλεκόμενων χρηστών. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται ότι η ύπαρξη και η αλληλουχία των συναλλαγών μπορούν να επαληθευτούν ανεξάρτητα, χωρίς να αποκαλύπτονται προσωπικά δεδομένα ή εμπορικά ευαίσθητες πληροφορίες.

Η επιλογή της συμπληρωματικής καταγραφής —και όχι της πλήρους μεταφοράς των δεδομένων στο blockchain— αντανάκλα έναν ρεαλιστικό σχεδιασμό που λαμβάνει υπόψη τόσο το κόστος όσο και τους περιορισμούς κλιμάκωσης των δημόσιων blockchain δικτύων. Το Ethereum προτείνεται ως το επίπεδο εμπιστοσύνης και αμεταβλητότητας, ενώ οι αναλυτικές πληροφορίες της συναλλαγής θα συνεχίσουν να αποθηκεύονται στο κεντρικό σύστημα της πλατφόρμας.

Η αμετάβλητη καταγραφή συναλλαγών δημιουργεί σημαντική προστιθέμενη αξία για το REFASHION, καθώς επιτρέπει τη δημιουργία ενός διαφανούς ιστορικού επανεμπορίου για κάθε χρήστη και κάθε προϊόν. Σε περιβάλλοντα κυκλικής μόδας, όπου η αξιοπιστία του πωλητή, η κατάσταση του προϊόντος και το ιστορικό μεταπωλήσεων αποτελούν κρίσιμους παράγοντες εμπιστοσύνης, η ύπαρξη ενός τέτοιου μηχανισμού λειτουργεί ως αντικειμενικό σημείο αναφοράς.

Παράλληλα, η καταγραφή των συναλλαγών στο blockchain ενισχύει τη δυνατότητα μελλοντικής διασύνδεσης του REFASHION με εξωτερικά συστήματα, όπως Digital Product Passports ή πλατφόρμες πιστοποίησης βιωσιμότητας. Το αμετάβλητο ιστορικό μπορεί να αξιοποιηθεί ως βάση για επαλήθευση περιβαλλοντικών ισχυρισμών, υπολογισμό σωρευτικών επιπτώσεων επαναχρησιμοποίησης και τεκμηρίωση της συνεισφοράς της πλατφόρμας στη μείωση απορριμμάτων μόδας.

Συνολικά, η προτεινόμενη λειτουργία της αμετάβλητης καταγραφής συναλλαγών στο Ethereum δεν αποσκοπεί απλώς στη βελτίωση της τεχνικής αξιοπιστίας του συστήματος, αλλά στη θεμελίωση ενός νέου επιπέδου διαφάνειας και εμπιστοσύνης που ευθυγραμμίζεται πλήρως με τους στόχους του REFASHION και τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

4.3.5 Σύνδεση με REFASHION (RFT) tokens και Eco-impact score

Τα έξυπνα συμβόλαια δεν θα περιορίζονται στην απλή καταγραφή των συναλλαγών, αλλά επεκτείνονται στη δυναμική ενεργοποίηση ενός μηχανισμού επιβράβευσης βασισμένου σε tokens. Κεντρικό ρόλο σε αυτόν τον μηχανισμό θα διαδραματίζουν τα REFASHION (RFT) Tokens, τα οποία θα λειτουργούν ως ψηφιακό μέσο επιβράβευσης της συμμετοχής των χρηστών σε πρακτικές κυκλικής κατανάλωσης. Η απόδοση των REFASHION (RFT) Tokens προτείνεται να υλοποιείται αυτόματα μέσω smart contracts, τα οποία θα ενεργοποιούνται με την επιτυχή ολοκλήρωση μιας συναλλαγής επανεμπορίου. Σε αντίθεση με συμβατικά loyalty συστήματα, όπου η επιβράβευση βασίζεται σε χειροκίνητους υπολογισμούς ή κεντρικούς μηχανισμούς, το blockchain επιτρέπει τη διαφανή και αμετάβλητη εφαρμογή προκαθορισμένων κανόνων απόδοσης αξίας.

Συγκεκριμένα, μετά την ολοκλήρωση μιας συναλλαγής στο core σύστημα της πλατφόρμας, τα δεδομένα που αφορούν το προϊόν και τη συναλλαγή θα τροφοδοτούν τον υπολογισμό του Eco-Impact Score. Ο δείκτης αυτός, όπως έχει αναλυθεί προηγουμένως, συνδυάζει περιβαλλοντικά metrics όπως η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂, η εξοικονόμηση υδάτινων πόρων και η αποφυγή παραγωγής νέων αποβλήτων, αποτυπώνοντας τη συνολική περιβαλλοντική αξία της επαναχρησιμοποίησης ενός συγκεκριμένου ενδύματος.

Το υπολογισμένο Eco-Impact Score θα λειτουργεί ως είσοδος (input parameter) για το αντίστοιχο smart contract απόδοσης tokens. Με βάση προκαθορισμένους αλγοριθμικούς κανόνες, το smart contract θα καθορίζει τον αριθμό των REFASHION (RFT) Tokens που αντιστοιχούν στη συγκεκριμένη συναλλαγή και θα τα αποδίδει αυτόματα στα ψηφιακά πορτοφόλια των εμπλεκόμενων χρηστών. Η απόδοση μπορεί να αφορά τόσο τον πωλητή όσο και τον αγοραστή, ενισχύοντας τη λογική της συλλογικής συμβολής στην κυκλική οικονομία.

Η αυτοματοποιημένη αυτή διαδικασία παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Πρώτον, εξαλείφει την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης και μειώνει δραστικά τον κίνδυνο σφαλμάτων ή κακόβουλων τροποποιήσεων στον τρόπο επιβράβευσης. Δεύτερον, διασφαλίζει ότι οι κανόνες απόδοσης tokens εφαρμόζονται με τον ίδιο τρόπο σε όλους τους χρήστες, ενισχύοντας την αίσθηση δικαιοσύνης και εμπιστοσύνης στο σύστημα. Τρίτον, δημιουργεί ένα πλήρως επαληθεύσιμο ιστορικό ανταμοιβών, το οποίο μπορεί να ελεγχθεί τόσο από τους χρήστες όσο και από τρίτους φορείς.

Η βιβλιογραφία έχει δείξει ότι token-based συστήματα κινήτρων, όταν συνδυάζονται με αυτοματοποιημένη εκτέλεση μέσω smart contracts, μπορούν να επηρεάσουν θετικά τη συμπεριφορά των χρηστών, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα βιώσιμης κατανάλωσης και περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης. Η σύνδεση της οικονομικής ανταμοιβής με μετρήσιμα περιβαλλοντικά οφέλη ενισχύει τη διαφάνεια των ισχυρισμών βιωσιμότητας και περιορίζει φαινόμενα greenwashing.

Στο πλαίσιο του REFASHION, τα REFASHION (RFT) Tokens δεν προτείνονται ως κερδοσκοπικό ψηφιακό νόμισμα, αλλά ως λειτουργικό εργαλείο ενίσχυσης της συμμετοχής και της δέσμευσης των χρηστών. Η ύπαρξη ενός αυτοματοποιημένου, αδιάβλητου μηχανισμού απόδοσης tokens ενσωματώνει τις αρχές της κυκλικής οικονομίας στο ίδιο το τεχνολογικό υπόβαθρο της πλατφόρμας, μετατρέποντας κάθε συναλλαγή επανεμπορίου σε μετρήσιμη και ανταμείψιμη περιβαλλοντική δράση.

4.3.6 Δυνατότητες επέκτασης

Πέρα από την άμεση επιχειρησιακή τους αξιοποίηση για την αυτοματοποίηση συναλλαγών και την απόδοση REFASHION (RFT) Tokens, τα smart contracts στο προτεινόμενο μοντέλο του REFASHION μπορούν να λειτουργήσουν ως θεμελιώδης μηχανισμός επεκτασιμότητας και δυναμικής προσαρμογής της πλατφόρμας σε μελλοντικές απαιτήσεις. Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε ψηφιακά οικοσυστήματα κυκλικής οικονομίας, όπου οι κανονιστικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές παράμετροι μεταβάλλονται συνεχώς.

Στο REFASHION, τα smart contracts προτείνεται να ενσωματώνουν παραμετροποιήσιμους κανόνες που σχετίζονται με την token economy, τη λογική επιβράβευσης και τη συσχέτιση του Eco-Impact Score με τις ανταμοιβές των χρηστών. Μέσω αυτής της αρχιτεκτονικής, το σύστημα μπορεί να προσαρμόζεται σε νέες επιστημονικές γνώσεις, επικαιροποιημένα δεδομένα κύκλου ζωής ή αλλαγές στη στρατηγική βιωσιμότητας, χωρίς να απαιτείται ριζικός επανασχεδιασμός της πλατφόρμας.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η δυνατότητα υιοθέτησης προτύπων αναβάθμισης smart contracts, όπως proxy patterns ή modular contract architectures, τα οποία επιτρέπουν τη σταδιακή εξέλιξη της λειτουργικότητας χωρίς απώλεια της ιστορικότητας των δεδομένων. Στο πλαίσιο του REFASHION, μια τέτοια προσέγγιση θα μπορούσε να επιτρέψει την εισαγωγή νέων τύπων tokens, την αναθεώρηση των κανόνων επιβράβευσης ή την ενσωμάτωση πρόσθετων περιβαλλοντικών δεικτών στο Eco-Impact Score, διατηρώντας παράλληλα την ακεραιότητα του υφιστάμενου blockchain ιστορικού.

Παράλληλα, τα smart contracts μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για μελλοντικούς μηχανισμούς ψηφιακής διακυβέρνησης της πλατφόρμας. Αν και το REFASHION δεν προτείνεται αρχικά ως αποκεντρωμένος οργανισμός (DAO), η ύπαρξη token-based μηχανισμών ανοίγει τη δυνατότητα σταδιακής συμμετοχής της κοινότητας στη λήψη αποφάσεων. Ενδεικτικά, οι κάτοχοι REFASHION (RFT) Tokens θα μπορούσαν στο μέλλον να συμμετέχουν σε διαδικασίες αξιολόγησης νέων λειτουργιών, αναθεώρησης περιβαλλοντικών συντελεστών ή επιλογής συνεργασιών που ενισχύουν την κυκλική στρατηγική της πλατφόρμας.

Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τέτοιου τύπου μηχανισμοί ενισχύουν τη δέσμευση των χρηστών και δημιουργούν ένα αίσθημα συνιδιοκτησίας στο ψηφιακό οικοσύστημα, ιδιαίτερα όταν η συμμετοχή συνδέεται με μετρήσιμη κοινωνική ή περιβαλλοντική αξία. Στο REFASHION, η προοπτική αυτή ευθυγραμμίζεται με τον στόχο της μακροπρόθεσμης αλλαγής καταναλωτικής συμπεριφοράς και της ενεργής συμμετοχής των χρηστών σε πρακτικές βιώσιμης μόδας.

Συνολικά, η αξιοποίηση των smart contracts ως μηχανισμού επεκτασιμότητας και μελλοντικής διακυβέρνησης ενισχύει τη στρατηγική βιωσιμότητα του REFASHION όχι μόνο σε τεχνολογικό επίπεδο, αλλά και σε επίπεδο οικοσυστήματος. Η πλατφόρμα δεν περιορίζεται σε μια στατική εφαρμογή

επανεμπορίου, αλλά σχεδιάζεται ως ένα εξελισσόμενο ψηφιακό σύστημα, ικανό να προσαρμόζεται στις ανάγκες της κυκλικής οικονομίας και να ενσωματώνει νέες μορφές συλλογικής αξίας.

4.4 Τεχνολογική Αρχιτεκτονική: Επιλογή Blockchain και Υβριδική Αποθήκευση Δεδομένων

Η ενσωμάτωση τεχνολογιών blockchain στο REFASHION απαιτεί έναν προσεκτικά σχεδιασμένο αρχιτεκτονικό διαχωρισμό μεταξύ των λειτουργιών που είναι κρίσιμες για τη διαφάνεια, την ακεραιότητα και την εμπιστοσύνη, και εκείνων που εξυπηρετούν την αποδοτική λειτουργία ενός σύγχρονου ψηφιακού marketplace. Για τον λόγο αυτό, το προτεινόμενο σύστημα βασίζεται σε μια υβριδική αρχιτεκτονική, όπου το blockchain λειτουργεί ως εξωτερικό σύστημα εμπιστοσύνης (external trust layer), συμπληρωματικό προς το κεντρικό backend της πλατφόρμας.

Η αρχιτεκτονική αυτή επιτρέπει στο REFASHION να αξιοποιήσει τα πλεονεκτήματα του blockchain — αμεταβλητότητα, διαφάνεια και αποκεντρωμένη επαλήθευση— χωρίς να επιβαρυνθεί από τους περιορισμούς που χαρακτηρίζουν τα δημόσια blockchain δίκτυα, όπως το αυξημένο κόστος συναλλαγών και τα ζητήματα κλιμάκωσης.

4.4.1 Επιλογή του Ethereum

Στο πλαίσιο του έργου REFASHION, το Ethereum προτείνεται ως η βασική blockchain υποδομή για την υλοποίηση των smart contracts και του token-based μηχανισμού επιβράβευσης. Η επιλογή αυτή βασίζεται σε μια σειρά από τεχνικά και λειτουργικά κριτήρια που έχουν αναδειχθεί στη διεθνή βιβλιογραφία και στην πρακτική εφαρμογή blockchain συστημάτων σε marketplaces.

Το Ethereum αποτελεί την πλέον ώριμη πλατφόρμα έξυπνων συμβολαίων, με εκτεταμένη υποστήριξη για token standards (ERC-20, ERC-721, ERC-1155), υψηλό επίπεδο αποκέντρωσης και ένα πλούσιο οικοσύστημα εργαλείων ανάπτυξης, ελέγχου και ασφάλειας. Η ευρεία υιοθέτησή του από έργα ιχνηλασιμότητας, πιστοποίησης και ψηφιακών αγορών ενισχύει τη διαλειτουργικότητα και μειώνει τον τεχνολογικό κίνδυνο για το REFASHION.

Παράλληλα, η μετάβαση του Ethereum σε μηχανισμό συναίνεσης Proof of Stake έχει βελτιώσει σημαντικά το ενεργειακό του αποτύπωμα, στοιχείο ιδιαίτερα κρίσιμο για ένα έργο που τοποθετεί τη βιωσιμότητα στον πυρήνα της λειτουργίας του. Η περιβαλλοντική αυτή διάσταση καθιστά το Ethereum πιο συμβατό με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας και τους στόχους μείωσης εκπομπών.

4.4.2 External blockchain subsystem

Η αρχιτεκτονική του REFASHION προτείνει σαφή διαχωρισμό μεταξύ του core e-commerce συστήματος και του blockchain υποσυστήματος. Το Medusa backend αναλαμβάνει τη διαχείριση των παραγγελιών, των χρηστών και της επιχειρησιακής λογικής, ενώ το blockchain λειτουργεί ως εξωτερικό σύστημα που ενεργοποιείται μόνο όταν απαιτείται αμετάβλητη καταγραφή ή εκτέλεση smart contracts.

Ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται μέσω ενός custom blockchain plugin, το οποίο λειτουργεί ως ενδιάμεσο επίπεδο (middleware) μεταξύ της πλατφόρμας και του Ethereum δικτύου. Το plugin αυτό

συγκεντρώνει όλη τη λογική που σχετίζεται με την αλληλεπίδραση με smart contracts, τη διαχείριση wallets και την απόδοση tokens, διατηρώντας τον πυρήνα του συστήματος καθαρό και επεκτάσιμο.

Η επιλογή αυτή μειώνει την πολυπλοκότητα, επιτρέπει ευκολότερη συντήρηση και καθιστά εφικτή τη μελλοντική αντικατάσταση ή αναβάθμιση του blockchain layer χωρίς να απαιτείται εκτεταμένη τροποποίηση της υπόλοιπης πλατφόρμας.

4.4.3 Υβριδική αποθήκευση δεδομένων (on-chain και off-chain)

Η αποθήκευση δεδομένων στο REFASHION προτείνεται να ακολουθεί ένα υβριδικό μοντέλο, όπου μόνο τα απολύτως κρίσιμα δεδομένα καταγράφονται στο blockchain, ενώ το σύνολο των επιχειρησιακών πληροφοριών παραμένει σε off-chain βάσεις δεδομένων.

Στο blockchain προτείνεται να καταγράφονται:

- αποτυπώματα συναλλαγών (hashes),
- αναγνωριστικά NFTs ή tokens,
- χρονικές σημάνσεις,
- και συνδέσεις με off-chain δεδομένα.

Αντίθετα, δεδομένα όπως περιγραφές προϊόντων, φωτογραφίες, πληροφορίες χρηστών και αναλυτικά στοιχεία παραγγελιών θα αποθηκεύονται σε παραδοσιακές βάσεις δεδομένων ή αποκεντρωμένα συστήματα αποθήκευσης (π.χ. IPFS), εξασφαλίζοντας αποδοτικότητα και συμμόρφωση με κανονισμούς προστασίας προσωπικών δεδομένων.

Το μοντέλο αυτό συνδυάζει την αμεταβλητότητα και τη διαφάνεια του blockchain με την ταχύτητα, την ευελιξία και τη χαμηλότερη υπολογιστική επιβάρυνση των off-chain συστημάτων.

4.4.4 Διαχείριση ψηφιακών πορτοφολιών και ασφάλεια

Για την υποστήριξη της token-based λειτουργικότητας, το REFASHION προτείνεται να επιτρέπει τη σύνδεση ψηφιακών πορτοφολιών χρηστών με τους λογαριασμούς τους στην πλατφόρμα. Η διεύθυνση του wallet θα αποθηκεύεται με ασφάλεια στο backend και θα χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την απόδοση REFASHION (RFT) Tokens και την επαλήθευση συναλλαγών.

Η αρχιτεκτονική δεν προτείνει τη φύλαξη ιδιωτικών κλειδιών από την πλατφόρμα, υιοθετώντας το μοντέλο non-custodial wallets, ώστε να περιορίζεται ο κίνδυνος παραβίασης και να ενισχύεται η εμπιστοσύνη των χρηστών. Η προσέγγιση αυτή ευθυγραμμίζεται με βέλτιστες πρακτικές ασφάλειας και με τις αρχές αποκέντρωσης του blockchain.

4.4.5 Αρχιτεκτονική ως βάση

Η προτεινόμενη τεχνολογική αρχιτεκτονική δεν περιορίζεται στις άμεσες ανάγκες του REFASHION, αλλά σχεδιάζεται ώστε να υποστηρίζει μελλοντικές επεκτάσεις και διαλειτουργικότητα με εξωτερικά συστήματα. Η ύπαρξη ενός σαφούς blockchain layer επιτρέπει τη μελλοντική σύνδεση με Digital Product Passports, συστήματα πιστοποίησης βιωσιμότητας ή διακρατικές πλατφόρμες κυκλικής οικονομίας.

Με αυτόν τον τρόπο, το REFASHION τοποθετείται όχι απλώς ως μια μεμονωμένη πλατφόρμα επανεμπορίου, αλλά ως κόμβος ενός ευρύτερου ψηφιακού οικοσυστήματος βιώσιμης μόδας, όπου η τεχνολογία blockchain λειτουργεί ως κοινή γλώσσα εμπιστοσύνης και διαφάνειας.

4.5 Συνολική Αποτίμηση της Τεχνολογικής Καινοτομίας του REFASHION

Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική και λειτουργία του REFASHION συνιστά μια ολοκληρωμένη καινοτόμο προσέγγιση στον σχεδιασμό ψηφιακών πλατφορμών επανεμπορίου μόδας, καθώς ενσωματώνει τεχνολογίες blockchain με τρόπο λειτουργικά στοχευμένο και επιστημονικά τεκμηριωμένο. Σε αντίθεση με συμβατικά marketplaces, όπου η τεχνολογία περιορίζεται στη διεκπεραίωση συναλλαγών, το REFASHION αξιοποιεί το blockchain ως θεμελιώδες επίπεδο εμπιστοσύνης, αυτοματοποίησης και διαφάνειας.

Κεντρικό στοιχείο της τεχνολογικής καινοτομίας αποτελεί η συστηματική ενσωμάτωση έξυπνων συμβολαίων για την αυτοματοποίηση κρίσιμων διαδικασιών επανεμπορίου, όπως η καταγραφή συναλλαγών, η απόδοση κινήτρων και η διαχείριση της ψηφιακής ταυτότητας προϊόντων. Η χρήση smart contracts μετατρέπει τις επιχειρησιακές ροές της πλατφόρμας σε εκτελέσιμους και αμετάβλητους κανόνες, μειώνοντας τη διαχειριστική πολυπλοκότητα και ενισχύοντας την αξιοπιστία του συστήματος.

Ιδιαίτερη προστιθέμενη αξία προκύπτει από την εισαγωγή των REFASHION (RFT) Tokens ως λειτουργικού μηχανισμού επιβράβευσης και όχι ως κερδοσκοπικού ψηφιακού νομίσματος. Η σύνδεση της απόδοσης των tokens με τον δείκτη Eco-Impact Score επιτρέπει τη μετάφραση της περιβαλλοντικής αξίας της επαναχρησιμοποίησης σε ψηφιακή, μετρήσιμη και επαληθεύσιμη ανταμοιβή. Με τον τρόπο αυτό, η βιωσιμότητα ενσωματώνεται στο ίδιο το οικονομικό μοντέλο της πλατφόρμας και δεν παραμένει απλώς επικοινωνιακή αφήγηση.

Η υιοθέτηση υβριδικής αρχιτεκτονικής, με σαφή διαχωρισμό μεταξύ on-chain και off-chain λειτουργιών, ενισχύει περαιτέρω την τεχνολογική ωριμότητα του REFASHION. Το blockchain αξιοποιείται στρατηγικά για τις λειτουργίες όπου η αμεταβλητότητα και η διαφάνεια είναι κρίσιμες, ενώ τα παραδοσιακά πληροφοριακά συστήματα διασφαλίζουν την αποδοτική διαχείριση δεδομένων και τη συμμόρφωση με κανονισμούς προστασίας προσωπικών πληροφοριών. Η προσέγγιση αυτή ανταποκρίνεται στις βέλτιστες πρακτικές που αναδεικνύονται στη σύγχρονη βιβλιογραφία για την εφαρμογή blockchain σε ψηφιακές αγορές.

Επιπλέον, το REFASHION διαφοροποιείται μέσω της πρόβλεψης για μελλοντική επεκτασιμότητα και διαλειτουργικότητα. Η αρχιτεκτονική του επιτρέπει την ενσωμάτωση νέων τύπων tokens, επικαιροποιημένων περιβαλλοντικών δεικτών και πιθανών μηχανισμών συμμετοχικής διακυβέρνησης, χωρίς να διακυβεύεται η ιστορικότητα και η ακεραιότητα των δεδομένων. Η δυνατότητα αυτή καθιστά την πλατφόρμα προσαρμόσιμη στις εξελισσόμενες απαιτήσεις της κυκλικής οικονομίας και του ρυθμιστικού πλαισίου.

Συνολικά, η τεχνολογική καινοτομία του REFASHION δεν έγκειται στην απλή υιοθέτηση blockchain τεχνολογιών, αλλά στον τρόπο με τον οποίο αυτές ενσωματώνονται λειτουργικά, στοχευμένα και με σαφή προσανατολισμό στη βιωσιμότητα. Η πλατφόρμα προτείνει ένα νέο πρότυπο για τα ψηφιακά

συστήματα επανεμπορίου μόδας, όπου η τεχνολογία λειτουργεί ως καταλύτης αλλαγής συμπεριφοράς, ενίσχυσης της κυκλικής οικονομίας και τεκμηριωμένης περιβαλλοντικής υπευθυνότητας.

5. Συμπεράσματα και Ερευνητικές Προεκτάσεις

Το παρόν κεφάλαιο συνοψίζει και συνθέτει τα βασικά ευρήματα της έκθεσης Ερευνητικής και Τεχνολογικής Αριστείας (Π5), εστιάζοντας τόσο στη βιβλιογραφική επισκόπηση της διαχείρισης απορριμμάτων από τη βιομηχανία μόδας όσο και στη διερεύνηση των τεχνολογικών δυνατοτήτων της τεχνολογίας blockchain σε ψηφιακές αγορές επανεμπορίου και κυκλικής μόδας. Η ανάλυση που προηγήθηκε κατέδειξε ότι τα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα του κλάδου είναι βαθιά διασυνδεδεμένα και δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά χωρίς συνδυασμό πολιτικών παρεμβάσεων, επιχειρησιακών μετασχηματισμών και τεχνολογικής καινοτομίας.

Στο πλαίσιο αυτό, το Κεφάλαιο 5 λειτουργεί αφενός ως ενοποιητική αποτίμηση των θεωρητικών και εμπειρικών δεδομένων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια και αφετέρου ως γέφυρα προς τις μελλοντικές ερευνητικές και τεχνολογικές κατευθύνσεις του έργου REFASHION. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον ρόλο των smart contracts και του tokenization ως βασικών μηχανισμών που μπορούν να υποστηρίξουν την αυτοματοποίηση, τη διαφάνεια και την αξιόπιστη ανταλλαγή αξίας σε κυκλικά ψηφιακά οικοσυστήματα. Με τον τρόπο αυτό, το κεφάλαιο απαντά άμεσα στα ζητούμενα του Π5, τεκμηριώνοντας τη συνάφεια της τεχνολογικής προσέγγισης του REFASHION με τις διεθνείς επιστημονικές και τεχνολογικές εξελίξεις.

5.1 Συνολική σύνθεση ευρημάτων από τη βιβλιογραφική επισκόπηση

Η βιβλιογραφική επισκόπηση που παρουσιάστηκε στα Κεφάλαια 2 και 3 ανέδειξε ότι η βιομηχανία μόδας αποτελεί έναν από τους πλέον περιβαλλοντικά επιβαρυντικούς κλάδους της παγκόσμιας οικονομίας, τόσο λόγω της εντατικής χρήσης φυσικών πόρων όσο και εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης των κλωστοϋφαντουργικών αποβλήτων. Τα δεδομένα από διεθνείς οργανισμούς, δημόσιους φορείς και ακαδημαϊκές μελέτες συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι το κυρίαρχο γραμμικό μοντέλο «παραγωγή–κατανάλωση–απόρριψη» δεν είναι πλέον βιώσιμο, ενώ οι υφιστάμενες υποδομές διαχείρισης αποβλήτων αδυνατούν να ανταποκριθούν στον αυξανόμενο όγκο και την πολυπλοκότητα των υλικών.

Παράλληλα, η ανάλυση των περιβαλλοντικών και κοινωνικών επιπτώσεων κατέδειξε ότι η κρίση των αποβλήτων μόδας δεν περιορίζεται σε ζητήματα ρύπανσης ή κλιματικής επιβάρυνσης, αλλά συνδέεται άμεσα με ζητήματα περιβαλλοντικής δικαιοσύνης, άνισης κατανομής των επιπτώσεων και μεταφοράς περιβαλλοντικού φορτίου από τις ανεπτυγμένες οικονομίες προς τον Παγκόσμιο Νότο. Η έλλειψη διαφάνειας στις εφοδιαστικές αλυσίδες και η αδυναμία ιχνηλασιμότητας του κύκλου ζωής των προϊόντων αναγνωρίζονται στη βιβλιογραφία ως βασικά εμπόδια για την υιοθέτηση αποτελεσματικών κυκλικών πρακτικών.

Η επισκόπηση των στρατηγικών κυκλικής οικονομίας και του ρυθμιστικού πλαισίου ανέδειξε ότι, σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο, διαμορφώνεται ένα ολοένα και πιο συνεκτικό σύνολο πολιτικών, προτύπων και κανονισμών που στοχεύουν στη μείωση των αποβλήτων, την ενίσχυση της επαναχρησιμοποίησης και την υποχρεωτική χωριστή συλλογή κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Ωστόσο, η βιβλιογραφία υπογραμμίζει ότι η επιτυχία των πολιτικών αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δυνατότητα αξιόπιστης συλλογής, επαλήθευσης και ανταλλαγής δεδομένων μεταξύ όλων των

εμπλεκόμενων φορέων, από τους παραγωγούς και τους λιανέμπορους έως τους καταναλωτές και τους διαχειριστές αποβλήτων.

Σε αυτό το σημείο, η ανάλυση των τεχνολογικών λύσεων blockchain κατέδειξε ότι τα smart contracts και το tokenization μπορούν να λειτουργήσουν ως θεμελιώδεις μηχανισμοί γεφύρωσης των παραπάνω κενών. Η διεθνής βιβλιογραφία και τα πρακτικά παραδείγματα εφαρμογών συγκλίνουν στο ότι η τεχνολογία blockchain μπορεί να υποστηρίξει συστήματα αυξημένης διαφάνειας, αμετάβλητης καταγραφής και αυτοματοποιημένης εκτέλεσης κανόνων, στοιχεία κρίσιμα για την ανάπτυξη αξιόπιστων αγορών επανεμπορίου και κυκλικής μόδας. Η σύνθεση των ευρημάτων αυτών τεκμηριώνει ότι η μετάβαση σε βιώσιμα μοντέλα στον κλάδο της μόδας δεν αποτελεί αποκλειστικά τεχνολογικό ή ρυθμιστικό ζήτημα, αλλά απαιτεί ολοκληρωμένες λύσεις που συνδυάζουν επιστημονική γνώση, θεσμική υποστήριξη και καινοτόμες ψηφιακές υποδομές.

5.2 Συμπεράσματα από τις τεχνολογικές λύσεις Blockchain σε ψηφιακές αγορές και συστήματα επανεμπορίου

Η βιβλιογραφική επισκόπηση των τεχνολογικών λύσεων blockchain σε ηλεκτρονικές αγορές, πλατφόρμες επανεμπορίου και συστήματα κυκλικής μόδας ανέδειξε ότι η τεχνολογία έχει πλέον ξεπεράσει το στάδιο της θεωρητικής διερεύνησης και εισέρχεται σε φάση πρακτικής ωρίμανσης. Οι εφαρμογές που εξετάστηκαν καταδεικνύουν ότι το blockchain μπορεί να λειτουργήσει ως υποδομή εμπιστοσύνης σε περιβάλλοντα όπου η απουσία κεντρικών διαμεσολαβητών και η πολυπλοκότητα των εφοδιαστικών αλυσίδων καθιστούν δύσκολη την επαλήθευση πληροφοριών και τη διασφάλιση της αξιοπιστίας των συναλλαγών.

Κεντρικό συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι τα smart contracts αποτελούν τον βασικό μηχανισμό αυτοματοποίησης των ψηφιακών αγορών που βασίζονται σε blockchain. Μέσω της ενσωμάτωσης επιχειρησιακών κανόνων απευθείας στον κώδικα, τα smart contracts επιτρέπουν την αμετάβλητη και προβλέψιμη εκτέλεση κρίσιμων διαδικασιών, όπως η καταγραφή συναλλαγών, η μεταβίβαση ιδιοκτησίας, η εκκαθάριση πληρωμών και η απόδοση ανταμοιβών. Η βιβλιογραφία συγκλίνει στο ότι η αποκεντρωμένη αυτή μορφή εκτέλεσης μειώνει σημαντικά την ανάγκη για μηχανισμούς επίλυσης διαφορών και ενισχύει την εμπιστοσύνη μεταξύ αγοραστών και πωλητών, ιδίως σε αγορές επανεμπορίου όπου οι συμμετέχοντες δεν διαθέτουν προηγούμενη σχέση εμπιστοσύνης.

Παράλληλα, η ανάλυση ανέδειξε ότι το tokenization λειτουργεί ως συμπληρωματικός και εξίσου κρίσιμος μηχανισμός, καθώς επιτρέπει την ψηφιακή αναπαράσταση τόσο της οικονομικής αξίας όσο και των ιδίων των προϊόντων. Μέσω fungible και non-fungible tokens, καθίσταται δυνατή η δημιουργία ψηφιακών ταυτοτήτων προϊόντων, η αποτύπωση πλήρους ιστορικού ιδιοκτησίας και η σύνδεση φυσικών αντικειμένων με αμετάβλητα ψηφιακά αρχεία. Ιδιαίτερα στον κλάδο της μόδας, όπου η γνησιότητα, η κατάσταση και το ιστορικό χρήσης ενός προϊόντος επηρεάζουν άμεσα την αξία του, το tokenization αναγνωρίζεται στη βιβλιογραφία ως βασική προϋπόθεση για την αξιόπιστη λειτουργία συστημάτων recommerce και Digital Product Passports.

Ένα ακόμη κρίσιμο συμπέρασμα αφορά τον ρόλο των tokens ως εργαλείων σχεδιασμού οικονομικών και συμπεριφορικών κινήτρων. Η διεθνής βιβλιογραφία επισημαίνει ότι τα token-based συστήματα μπορούν

να μετατρέψουν αφηρημένες έννοιες, όπως η βιωσιμότητα και η περιβαλλοντική υπευθυνότητα, σε απτές και ανταλλάξιμες μορφές αξίας. Στο πλαίσιο αυτό, τα tokens δεν λειτουργούν απλώς ως μέσα συναλλαγής, αλλά ως μηχανισμοί παρακίνησης που επηρεάζουν ενεργά τη συμπεριφορά των χρηστών, ενθαρρύνοντας την επαναχρησιμοποίηση, τη συμμετοχή σε κυκλικές πρακτικές και τη μακροχρόνια αλληλεπίδραση με την πλατφόρμα.

Η επισκόπηση των case studies κατέδειξε, ωστόσο, ότι η επιτυχία των blockchain-based marketplaces εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και την ισορροπία μεταξύ on-chain και off-chain λειτουργιών. Οι περισσότερες ώριμες εφαρμογές υιοθετούν υβριδικά μοντέλα, στα οποία τα κρίσιμα στοιχεία εμπιστοσύνης και ιδιοκτησίας καταγράφονται στο blockchain, ενώ λειτουργίες υψηλού όγκου δεδομένων ή αυξημένων απαιτήσεων απόδοσης παραμένουν εκτός αλυσίδας. Το συμπέρασμα αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για αγορές μόδας, όπου η κλιμάκωση, η εμπειρία χρήστη και η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια αποτελούν κρίσιμους παράγοντες επιτυχίας.

Συνολικά, η ανάλυση των τεχνολογικών λύσεων blockchain καταδεικνύει ότι τα smart contracts και το tokenization δεν συνιστούν απομονωμένες τεχνολογικές καινοτομίες, αλλά αλληλοσυμπληρούμενα δομικά στοιχεία ενός νέου παραδείγματος ψηφιακών αγορών. Η δυνατότητα αυτοματοποιημένης εκτέλεσης κανόνων, η αμετάβλητη καταγραφή συναλλαγών και η δημιουργία token-based οικονομιών διαμορφώνουν τις προϋποθέσεις για αξιόπιστα, διαφανή και βιώσιμα συστήματα επανεμπορίου. Τα συμπεράσματα αυτά δημιουργούν το αναλυτικό υπόβαθρο για την παρουσίαση της τεχνολογικής προσέγγισης του REFASHION, η οποία επιχειρεί να ενσωματώσει τις διεθνείς βέλτιστες πρακτικές και τα ερευνητικά ευρήματα σε ένα συνεκτικό και εφαρμοσμένο ψηφιακό οικοσύστημα.

5.3 Τεχνολογική καινοτομία και προστιθέμενη αξία της πλατφόρμας REFASHION

Η σύνθεση των βιβλιογραφικών και τεχνολογικών ευρημάτων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια αναδεικνύει ότι η καινοτομία του έργου REFASHION δεν έγκειται στην απλή υιοθέτηση της τεχνολογίας blockchain, αλλά στον τρόπο με τον οποίο αυτή ενσωματώνεται λειτουργικά σε ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα κυκλικής μόδας. Σε αντίθεση με υφιστάμενες πλατφόρμες επανεμπορίου που περιορίζονται κυρίως στη διευκόλυνση συναλλαγών μεταξύ χρηστών, το REFASHION προσεγγίζει τη βιωσιμότητα ως δομικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής του συστήματος και όχι ως δευτερεύον χαρακτηριστικό.

Κεντρικός άξονας της τεχνολογικής καινοτομίας του REFASHION είναι η αξιοποίηση των smart contracts ως μηχανισμών αυτοματοποίησης και διακυβέρνησης της πλατφόρμας. Μέσω αυτών, κρίσιμες λειτουργίες του marketplace —όπως η καταγραφή των συναλλαγών, η επιβεβαίωση της ολοκλήρωσής τους, η μεταβίβαση ιδιοκτησίας και η απόδοση ανταμοιβών— εκτελούνται με αμετάβλητο και επαληθεύσιμο τρόπο. Η προσέγγιση αυτή μειώνει την εξάρτηση από κεντρικούς μηχανισμούς ελέγχου, περιορίζει τον κίνδυνο αδιαφάνειας και ενισχύει την εμπιστοσύνη μεταξύ αγοραστών και πωλητών, στοιχείο κρίσιμο για την επιτυχία αγορών επανεμπορίου.

Παράλληλα, η εισαγωγή των REFASHION (RFT) Tokens συνιστά έναν δεύτερο, εξίσου σημαντικό, πυλώνα καινοτομίας. Τα tokens αυτά δεν λειτουργούν απλώς ως μέσο ανταμοιβής ή πιστότητας, αλλά ως φορείς

αξίας που συνδέουν άμεσα την οικονομική δραστηριότητα της πλατφόρμας με την περιβαλλοντική της στόχευση. Μέσω της απόδοσης tokens σε κάθε επιτυχημένη συναλλαγή επανεμπορίου, το REFASHION μετατρέπει την πράξη της επαναχρησιμοποίησης σε μετρήσιμη και ανταλλάξιμη αξία, δημιουργώντας ένα εσωτερικό οικονομικό σύστημα κινήτρων που ευθυγραμμίζεται με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας.

Ιδιαίτερη προστιθέμενη αξία προσφέρει η σύνδεση των REFASHION (RFT) Tokens με τον δείκτη Eco-Impact Score, ο οποίος αποτυπώνει τα περιβαλλοντικά οφέλη κάθε συναλλαγής σε ενιαία βαθμολογία. Σε αντίθεση με πολλές υπάρχουσες εφαρμογές βιώσιμης μόδας που περιορίζονται σε γενικές ή ποιοτικές αναφορές περί «φιλικών προς το περιβάλλον» επιλογών, το REFASHION επιχειρεί να ποσοτικοποιήσει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της επαναχρησιμοποίησης, αξιοποιώντας δεδομένα κύκλου ζωής υλικών και προϊόντων. Η ενσωμάτωση του Eco-Impact Score στο σύστημα ανταμοιβών ενισχύει τη διαφάνεια και επιτρέπει στους χρήστες να κατανοήσουν απτά τα οφέλη των επιλογών τους, τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο.

Η αρχιτεκτονική προσέγγιση του REFASHION, η οποία βασίζεται σε υβριδικό μοντέλο on-chain και off-chain λειτουργιών, συνιστά επίσης σημαντικό στοιχείο τεχνολογικής ωριμότητας. Η επιλογή καταγραφής των κρίσιμων γεγονότων συναλλαγών και της έκδοσης tokens στο blockchain, σε συνδυασμό με την αποθήκευση μεγάλου όγκου δεδομένων και λειτουργιών υψηλής απόδοσης εκτός αλυσίδας, επιτρέπει την κλιμάκωση της πλατφόρμας χωρίς να θυσιάζεται η διαφάνεια ή η αξιοπιστία. Το μοντέλο αυτό ευθυγραμμίζεται με τις διεθνείς βέλτιστες πρακτικές που έχουν αναδειχθεί από τη βιβλιογραφία και τα case studies ώριμων blockchain εφαρμογών.

Συνολικά, η τεχνολογική προσέγγιση του REFASHION συνθέτει τα βασικά συμπεράσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας σε ένα εφαρμοσμένο σύστημα που αντιμετωπίζει ταυτόχρονα τεχνικά, περιβαλλοντικά και συμπεριφορικά ζητήματα. Η πλατφόρμα δεν περιορίζεται στην παθητική καταγραφή δεδομένων, αλλά αξιοποιεί το blockchain, τα smart contracts και τα tokens ως ενεργούς μηχανισμούς αλλαγής συμπεριφοράς και ενίσχυσης της κυκλικής οικονομίας. Με τον τρόπο αυτό, το REFASHION διαμορφώνει ένα σαφές τεχνολογικό αποτύπωμα καινοτομίας, το οποίο το διαφοροποιεί ουσιαστικά από υφιστάμενες λύσεις και το καθιστά συμβατό με τις τρέχουσες και μελλοντικές κατευθύνσεις πολιτικής και έρευνας στον τομέα της βιώσιμης μόδας.

5.4 Περιορισμοί και τεχνολογικές προκλήσεις

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία blockchain για την υποστήριξη ψηφιακών αγορών κυκλικής μόδας, η βιβλιογραφία και η ανάλυση των υφιστάμενων εφαρμογών καταδεικνύουν ότι η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων συνοδεύεται από σειρά τεχνολογικών, λειτουργικών και θεσμικών προκλήσεων. Η αναγνώριση των περιορισμών αυτών είναι κρίσιμη για την επιστημονική τεκμηρίωση του έργου REFASHION, καθώς επιτρέπει την αποτίμηση της τεχνολογικής προσέγγισης με ρεαλιστικούς όρους και όχι ως πανάκεια για τα προβλήματα της βιομηχανίας μόδας.

Ένας από τους βασικότερους τεχνολογικούς περιορισμούς αφορά την κλιμάκωση και την αποδοτικότητα των δημόσιων blockchain δικτύων. Παρά τις συνεχείς εξελίξεις, δίκτυα όπως το Ethereum εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν ζητήματα περιορισμένου αριθμού συναλλαγών ανά δευτερόλεπτο, μεταβλητού κόστους gas και αυξημένου latency σε περιόδους υψηλής συμφόρησης. Για εφαρμογές marketplace με

δυναμικά μεγάλο όγκο συναλλαγών, τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν αναγκαία την υιοθέτηση υβριδικών αρχιτεκτονικών, όπου μόνο τα κρίσιμα γεγονότα καταγράφονται on-chain, ενώ οι υπόλοιπες λειτουργίες εκτελούνται off-chain. Η επιλογή αυτή, αν και πρακτική, εισάγει επιπλέον πολυπλοκότητα στον σχεδιασμό και τη συντήρηση του συστήματος.

Σημαντικές προκλήσεις εντοπίζονται επίσης στον τομέα της ασφάλειας των smart contracts. Η αμεταβλητότητα του κώδικα, η οποία αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας, μετατρέπεται ταυτόχρονα σε κρίσιμο ρίσκο σε περίπτωση λογικών σφαλμάτων ή ευπαθειών. Η βιβλιογραφία καταγράφει πληθώρα περιστατικών όπου ελλιπώς ελεγμένα smart contracts οδήγησαν σε απώλεια κεφαλαίων ή μη αναστρέψιμες αστοχίες. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη και η συντήρηση τέτοιων συστημάτων απαιτεί εξειδικευμένη τεχνογνωσία, αυστηρές διαδικασίες ελέγχου και, σε πολλές περιπτώσεις, χρήση τεχνικών formal verification, αυξάνοντας το κόστος και τον χρόνο υλοποίησης.

Ένας ακόμη περιορισμός αφορά τη διαχείριση και την ποιότητα των δεδομένων που συνδέονται με το blockchain. Αν και η τεχνολογία διασφαλίζει την ακεραιότητα και την αμεταβλητότητα των καταγεγραμμένων πληροφοριών, δεν μπορεί από μόνη της να εγγυηθεί την ορθότητα των δεδομένων που εισάγονται στο σύστημα. Στην περίπτωση της μόδας και του επανεμπορίου, κρίσιμες πληροφορίες όπως η κατάσταση ενός ενδύματος, η σύνθεση των υλικών ή τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του προϊόντος συχνά προέρχονται από ανθρώπινη εισαγωγή ή εξωτερικές βάσεις δεδομένων. Το λεγόμενο “oracle problem” παραμένει ένα από τα πιο σύνθετα ζητήματα στη βιβλιογραφία και απαιτεί συνδυασμό τεχνικών επαλήθευσης, διαδικαστικών ελέγχων και, ενδεχομένως, μηχανικής μάθησης για τον περιορισμό σφαλμάτων και καταχρήσεων.

Σε λειτουργικό επίπεδο, σημαντικές προκλήσεις σχετίζονται με την εμπειρία χρήστη και την υιοθέτηση της τεχνολογίας από μη εξοικειωμένους καταναλωτές. Η διαχείριση ψηφιακών πορτοφολιών, ιδιωτικών κλειδιών και blockchain συναλλαγών εξακολουθεί να αποτελεί εμπόδιο για μεγάλο μέρος του πληθυσμού. Η βιβλιογραφία επισημαίνει ότι η επιτυχία τέτοιων πλατφορμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ικανότητά τους να αποκρύπτουν την τεχνολογική πολυπλοκότητα και να προσφέρουν διεπαφές φιλικές προς τον χρήστη, χωρίς να υποβαθμίζεται το επίπεδο ασφάλειας και διαφάνειας.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχουν οι κανονιστικές και νομικές προκλήσεις που συνδέονται με τη χρήση blockchain και tokens. Ζητήματα συμμόρφωσης με κανονισμούς προστασίας προσωπικών δεδομένων, όπως ο GDPR, δημιουργούν εντάσεις με τη θεμελιώδη αρχή της αμεταβλητότητας του blockchain. Παράλληλα, το ρυθμιστικό πλαίσιο για τα ψηφιακά tokens και τις αποκεντρωμένες εφαρμογές βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη, δημιουργώντας αβεβαιότητα για τη μακροπρόθεσμη λειτουργία και κλιμάκωση τέτοιων συστημάτων, ιδίως σε διασυνοριακό επίπεδο.

Συνολικά, οι περιορισμοί και οι προκλήσεις που αναδείχθηκαν δεν αναιρούν τη δυναμική της τεχνολογίας blockchain για τη βιώσιμη μόδα, αλλά υπογραμμίζουν την ανάγκη για προσεκτικό σχεδιασμό, ρεαλιστικές προσδοκίες και συνδυασμό τεχνολογικών και οργανωτικών λύσεων. Για το έργο REFASHION, η αναγνώριση των προκλήσεων αυτών αποτελεί βασικό στοιχείο τεχνολογικής ωριμότητας και επιστημονικής εγκυρότητας, καθώς τοποθετεί την πλατφόρμα σε ένα πλαίσιο συνεχούς εξέλιξης και βελτιστοποίησης, αντί για μια στατική και εξιδανικευμένη τεχνολογική λύση.

5.5 Ερευνητικές και τεχνολογικές προεκτάσεις

Τα συμπεράσματα της παρούσας έκθεσης αναδεικνύουν ότι η αξιοποίηση της τεχνολογίας blockchain στη βιομηχανία μόδας και ειδικότερα στα συστήματα επανεμπορίου δεν αποτελεί μια κλειστή ή ολοκληρωμένη ερευνητική περιοχή, αλλά ένα δυναμικά εξελισσόμενο πεδίο με σημαντικές προοπτικές περαιτέρω ανάπτυξης. Οι τεχνολογικές επιλογές και οι αρχιτεκτονικές προσεγγίσεις που αναλύθηκαν στο πλαίσιο του έργου REFASHION δημιουργούν μια σταθερή βάση για μελλοντική έρευνα τόσο σε θεωρητικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο.

Μία από τις βασικότερες ερευνητικές κατευθύνσεις αφορά την εμπειρική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των token-based μηχανισμών κινήτρων στη μεταβολή της καταναλωτικής συμπεριφοράς. Αν και η βιβλιογραφία αναγνωρίζει τη δυναμική των tokens ως εργαλείων παρακίνησης, παραμένει περιορισμένος ο αριθμός μελετών που εξετάζουν συστηματικά τον βαθμό στον οποίο τέτοια συστήματα οδηγούν σε μακροχρόνια αλλαγή στάσεων και πρακτικών, ιδίως σε σχέση με τη βιώσιμη κατανάλωση. Η λειτουργία της πλατφόρμας REFASHION προσφέρει ένα κατάλληλο περιβάλλον για τη συλλογή πραγματικών δεδομένων χρήσης, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε μελλοντικές ποσοτικές και ποιοτικές έρευνες.

Παράλληλα, σημαντικό πεδίο μελλοντικής διερεύνησης αποτελεί η περαιτέρω ανάπτυξη και τυποποίηση του δείκτη Eco-Impact Score. Η ενσωμάτωση δεδομένων ανάλυσης κύκλου ζωής (LCA), η αξιοποίηση διεθνών βάσεων δεδομένων και η χρήση τεχνικών μηχανικής μάθησης για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του δείκτη συνιστούν κρίσιμες ερευνητικές προκλήσεις. Επιπλέον, η σύνδεση του Eco-Impact Score με διεθνή πρότυπα και μελλοντικά Digital Product Passports θα μπορούσε να ενισχύσει τη διαλειτουργικότητα της πλατφόρμας και να συμβάλει στη σύγκλιση μεταξύ τεχνολογικών λύσεων και ρυθμιστικών απαιτήσεων.

Σε τεχνολογικό επίπεδο, η εξέλιξη των υποδομών blockchain και η εμφάνιση νέων μηχανισμών κλιμάκωσης δημιουργούν πρόσθετες δυνατότητες για τη βελτίωση της απόδοσης και της βιωσιμότητας τέτοιων συστημάτων. Μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στη σύγκριση διαφορετικών blockchain αρχιτεκτονικών, στη χρήση layer-2 λύσεων ή στη διερεύνηση εναλλακτικών μοντέλων συναίνεσης με μειωμένο ενεργειακό αποτύπωμα, στοιχείο ιδιαίτερα κρίσιμο για εφαρμογές που στοχεύουν στη βιωσιμότητα.

Επιπλέον, η διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών και οικοσυστημάτων συνιστά ένα ακόμη σημαντικό πεδίο ερευνητικής και τεχνολογικής εξέλιξης. Η δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων και tokens μεταξύ διαφορετικών marketplaces, συστημάτων πιστοποίησης και δημόσιων υποδομών θα μπορούσε να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των κυκλικών πρακτικών και να μειώσει τον κατακερματισμό της αγοράς. Στο πλαίσιο αυτό, η έρευνα γύρω από ανοικτά πρότυπα, κοινά πρωτόκολλα και μηχανισμούς διακυβέρνησης αποκτά ιδιαίτερη σημασία.

Τέλος, σημαντικές προεκτάσεις εντοπίζονται και στο επίπεδο πολιτικής και κανονιστικής συμμόρφωσης. Η εξέλιξη του ευρωπαϊκού και διεθνούς πλαισίου για τα ψηφιακά προϊόντα, τα tokens και τα συστήματα ιχνηλασιμότητας δημιουργεί την ανάγκη για συνεχή προσαρμογή των τεχνολογικών λύσεων. Η εμπειρία από την ανάπτυξη και πιλοτική εφαρμογή του REFASHION μπορεί να συμβάλει στον διάλογο μεταξύ

ερευνητών, επιχειρήσεων και θεσμικών φορέων, προσφέροντας εμπειρικά δεδομένα και τεχνογνωσία που θα υποστηρίξουν τη διαμόρφωση πιο αποτελεσματικών και τεχνολογικά ουδέτερων πολιτικών.

Συνοψίζοντας, οι ερευνητικές και τεχνολογικές προεκτάσεις που αναδείχθηκαν επιβεβαιώνουν ότι το έργο REFASHION δεν αποτελεί μια απομονωμένη εφαρμογή, αλλά ένα ευρύτερο πλαίσιο πειραματισμού και καινοτομίας στο πεδίο της βιώσιμης μόδας. Η συνέχιση της έρευνας και η σταδιακή εξέλιξη της πλατφόρμας μπορούν να συμβάλουν ουσιαστικά τόσο στη διεύρυνση της επιστημονικής γνώσης όσο και στην πρακτική εφαρμογή κυκλικών μοντέλων με πραγματικό περιβαλλοντικό και κοινωνικό αντίκτυπο.

6. Βιβλιογραφία

- Ananas Anam. (2025). *About Us* – . <https://www.ananas-anam.com/about-us/>
- arianee.com. (2025).
- auraconsortium.com. (2025). *AURA blockchain consortium*. <https://Auraconsortium.Com/>.
- Ayoade, G., Bauman, E., Khan, L., & Hamlen, K. W. (2019). *Smart Contract Defense Through Bytecode Rewriting*. <https://www.icohotlist.com>
- Azfar Khan. (2025). *The Kantamanto Fire: A Devastating Blow to Ghana's Informal Economy and the Global Secondhand Clothing Trade*. <https://www.ankerresearchinstitute.org/ari-news/the-kantamanto-fire-a-devastating-blow-to-ghanas-informal-economy-and-the-global-secondhand-clothing-trade>
- Bazaraki.gr. (2025). *Bazaraki.gr*. https://bazaraki.gr/terms_and_conditions
- Bin Cao, Zheng Yan, & Xu Xia. (2023). *Web3*.
- binariks.com. (2025, December). *Blockchain Smart Contracts: Implementation & Best Practices*. <https://Binariks.Com/Blog/Smart-Contracts-Blockchain-Examples/>.
- bluesign. (n.d.). *Sustainability & Certification Services for Textiles* /. Retrieved November 25, 2025, from <https://www.bluesign.com/en/services/>
- Bocken, N., Weissbrod, I., & Antikainen, M. (2021). Business experimentation for sustainability: Emerging perspectives. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 281). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124904>
- Bolt Threads. (2025). *Bolt | Material Innovation For Sustainable Beauty*. <https://boltthreads.com/>
- Buldas, A., Draheim, D., Gault, M., Laanoja, R., Nagumo, T., Saarepera, M., Shah, S. A., Simm, J., Steiner, J., Tammet, T., & Truu, A. (2022). An Ultra-Scalable Blockchain Platform for Universal Asset Tokenization: Design and Implementation. *IEEE Access*, 10, 77284–77322. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3192837>
- businesswaste.co.uk. (2025). *Fashion Waste Statistics & Facts | Textile & Clothing Waste Facts*. <https://www.businesswaste.co.uk/waste-facts/fashion-waste-facts-and-statistics/>
- Buterin, V. (2017). *A NEXT GENERATION SMART CONTRACT & DECENTRALIZED APPLICATION PLATFORM*.
- canopy. (2023). *Style shouldnt cost the earth*. <https://canopyplanet.org/change-together/canopystyle>
- Capital One Shopping. (2025, September 10). *Facebook Marketplace Statistics (2025): User & Revenue Data*. <https://capitaloneshopping.com/research/facebook-marketplace-statistics/>
- CARBIO. (2023). *OUR CONTRIBUTION TO PLASTIC AND TEXTILE CIRCULARITY 2*.

- cascale.org. (2025). *Who We Are - Cascale*. <https://cascale.org/about-us/who-we-are/>
- Chang, S. E., & Chen, Y. (2020). When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications. In *IEEE Access* (Vol. 8, pp. 62478–62494). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2983601>
- Choi, T. M., & Luo, S. (2019). Data quality challenges for sustainable fashion supply chain operations in emerging markets: Roles of blockchain, government sponsors and environment taxes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 131, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.09.019>
- Circ. (2025). *Our Technology* . <https://circ.earth/our-technology/>
- circularise.com. (2025). *circularise*. <https://www.circularise.com/>.
- circulose.com. (2022). *Renewcell expands the CIRCULOSE® Supplier Network to 116 members, increasing the marketplace for textiles made with CIRCULOSE® – Circulose*. Circulose.Com. <https://www.circulose.com/en/renewcell-expands-the-circulose-supplier-network-to-116-members-increasing-the-marketplace-for-textiles-made-with-circulose/>
- Clean Clothes Campaign. (2024). *CCC Annual Report 24 — FINAL2*.
- cleanclothes.org. (2014). *Rana Plaza*. <https://cleanclothes.org/campaigns/past/rana-plaza>
- Conti, M., Sandeep, K. E., Lal, C., & Ruj, S. (2018). A survey on security and privacy issues of bitcoin. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 20(4), 3416–3452. <https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2842460>
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2025). *Cradle to Cradle Certified®* . <https://c2ccertified.org/the-standard>
- Cuc, S. (2023). Unlocking the Potential of Blockchain Technology in the Textile and Fashion Industry. *FinTech 2023, Vol. 2, Pages 311-326*, 2(2), 311–326. <https://doi.org/10.3390/FINTECH2020018>
- David Uzsoki. (2019). *Tokenization of Infrastructure: A blockchain-based solution to financing sustainable infrastructure*. www.iisd.org
- Desserto. (2025). *The MIRUM Mirage: Greenwashed by Perfection*. <https://desserto.com.mx/news/f/the-mirum-mirage-greenwashed-by-perfection?blogcategory=Fairs>
- Earley, R., & Goldsworthy, K. (2015). *Designing for Fast and Slow Circular Fashion Systems: Exploring Strategies for Multiple and Extended Product Cycles*. 17, 17–19.
- ebay. (2025). *eBay explained - What is eBay*. https://pages.ebay.com.sg/ebayexplained/what_is_ebay.html
- EEA. (2023). *PFAS in textiles in Europe's circular economy* . <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/pfas-in-textiles-in-europes-circular-economy>

- EEA. (2024). Management of used and waste textiles in Europe's circular economy (Briefing no. 03/2024). *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/publications/management-of-used-and-waste-textiles>
- EEA. (2025, March). *Circularity of the EU textiles value chain in numbers*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/circularity-of-the-eu-textiles-value-chain-in-numbers?activeTab=6397c084-2e5f-4545-a873-f99323d40846>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A NEW TEXTILES ECONOMY: REDESIGNING FASHION'S FUTURE*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2024). *PUSHING THE BOUNDARIES OF EPR POLICY FOR TEXTILES: FRANCE FACTSHEET Pushing the boundaries of EPR policy for textiles*.
- ellenmacarthurfoundation.org. (2025). *What we do | Ellen MacArthur Foundation*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/about-us/what-we-do>
- EPA. (2025). *Textiles: Material-Specific Data* . <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/textiles-material-specific-data>
- European Commission. (n.d.). *Life Cycle Assessment & the EF methods*. Retrieved November 18, 2025, from https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/environmental-footprint-methods/life-cycle-assessment-ef-methods_en
- European Commission. (2006). *REACH Regulation* . https://environment.ec.europa.eu/topics/chemicals/reach-regulation_en
- European Commission. (2022). *EU Strategy for Sustainable and Circular Textiles*. <https://ec.europa.eu/eurostat>
- European Commission. (2024). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation - European Commission*. https://commission.europa.eu/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/ecodesign-sustainable-products-regulation_en
- European Commission. (2025). *Waste Framework Directive (revision)*. https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-framework-directive_en
- European Union. (2024). *EU's Digital Product Passport: Advancing transparency and sustainability | data.europa.eu*. <https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability>
- Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 228, pp. 882–900). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303>
- fashionforgood.com. (2025). *FashionforGood*. <https://www.fashionforgood.com/>.
- fashionreolution.org. (2025). *ABOUT : Fashion Revolution*. <https://www.fashionrevolution.org/about/>

- Fogg BJ. (2007). *Behavior Model*. <https://www.behaviormodel.org/>.
- Garcia-Torres, S., Albareda, L., Rey-Garcia, M., & Seuring, S. (2019). Traceability for sustainability – literature review and conceptual framework. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 85–106. <https://doi.org/10.1108/SCM-04-2018-0152>
- Goodlife, N. S., Colombo, X., Lanka, S., Bandara, E., Foytik, P., Shetty, S., Mukkamala, R., Rahman, A., & Liang, X. (2023). *GREENTHREAD-BLOCKCHAIN, NON-FUNGIBLE TOKEN(NFT), MODEL CARDS, SELF-SOVEREIGN IDENTITY AND IPFS ENABLED SUSTAINABLE CIRCULAR FASHION PLATFORM*.
- Guo, S., Choi, T.-M., & Shen, B. (2020). Green product development under competition: A study of the fashion apparel industry. *European Journal of Operational Research*, 280, 523–538. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.07.050>
- Hyland-Wood, D., & Johnson, S. (2024). *Intersections of Web3 and AI -- View in 2024*. <https://arxiv.org/pdf/2411.04318>
- Infinited Fiber. (2025). *Our technology*. <https://infinitedfiber.com/our-technology/>
- Kaur, G., & C Gandhi. (2020). Scalability in blockchain: Challenges and solutions. *Elsevier*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128198162000150>
- Khan, S. N., Loukil, F., Ghedira-Guegan, C., Benkhelifa, E., & Bani-Hani, A. (2021). Blockchain smart contracts: Applications, challenges, and future trends. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14(5), 2901–2925. <https://doi.org/10.1007/s12083-021-01127-0>
- Kim, M., Lee, J., Oh, J., Park, K., Park, Y., & Park, K. (2022). Blockchain based energy trading scheme for vehicle-to-vehicle using decentralized identifiers. *Applied Energy*, 322. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119445>
- Kopp, A., & Orlovskiy, D. (2022). *Towards the Tokenization of Business Process Models using the Blockchain Technology and Smart Contracts*.
- Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International Journal of Production Economics*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>
- Kun-Mo Lee, & Atsushi Inaba. (2004). *Life Cycle Assessment Best Practices of ISO 14040 Series Ministry of Commerce, Industry and Energy Republic of Korea Asia-Pacific Economic Cooperation Committee on Trade and Investment*.
- Liu, J., Jordan, A., & Rasmussen, L. B. (2018). *The role of blockchain technology for transparency in the fashion supply chain*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:1483152>
- Lu, Y., Liang, Y., & Lan, B. (2025). Impact of Information Sharing and Blockchain Technology on Supply Chain Performance: An Agent-Based Simulation Study. *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 18(1). <https://doi.org/10.4018/IJISSCM.389058>

- Madison Holt. (2024). *How Vinted Became Europe's Largest Online Secondhand Clothing Marketplace*.
<https://startupsavant.com/startup-center/vinted-strategy-story>
- Morkunas, V. J., Paschen, J., & Boon, E. (2019). How blockchain technologies impact your business model. *Business Horizons*, 62(3), 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2019.01.009>
- Mortensen, L. F. (2023). *Cover design: EEA Cover image* ©. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce>
- Müller, M., Ostern, N., Garzon, S. R., & Küpper, A. (2021). Engineering Trust-Aware Decentralized Applications with Distributed Ledgers. *EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, 1–35. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75107-4_1/TABLES/12
- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. www.bitcoin.org
- OEKO - TEX. (2025). *OEKO-TEX_STANDARD100_Standard_EN*.
- Pandey, S., Mittal, S., & Chawla, D. (2024). Tackling consumer information asymmetry and perceived uncertainty for luxury re-commerce through seller signals. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2024.103736>
- Paras, M. K., Pal, R., & Ekwall, D. (2018). Systematic literature review to develop a conceptual framework for a reuse-based clothing value chain. *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 28(3), 231–258. <https://doi.org/10.1080/09593969.2017.1380066>
- Pérez, J. J. B., Queiruga-Dios, A., Martínez, V. G., & del Rey, Á. M. (2020). Traceability of ready-to-wear clothing through blockchain technology. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18).
<https://doi.org/10.3390/su12187491>
- Popelo, O., Tulchynska, S., Andriushchenko, O., Shepelenko, S., Falko, M., & Shut, S. (2024). BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES AS A FACTOR OF THE FINANCIAL SUSTAINABILITY MANAGEMENT OF THE ENTERPRISE AND THE E-COMMERCE DEVELOPMENT. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 15(17). www.jatit.org
- Publishing, O. (2024). *Emission Scenario Document on Chemicals Used in Fabric Finishing or Fabric Coating PUBE*. <https://doi.org/10.1787/53392feb-en>
- Queiroz, M. M., & Fosso Wamba, S. (2019a). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
- Queiroz, M. M., & Fosso Wamba, S. (2019b). Blockchain adoption challenges in supply chain: An empirical investigation of the main drivers in India and the USA. *International Journal of Information Management*, 46, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.021>
- Rajkishore Nayak, TarunPanwar, Tarun Grover, & Amanpreet Singh. (2024). *Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry Sustainable Manufacturing Practices in the Textiles and Fashion Sector*.

recycom.gr. (2024). *RECYCOM*.

Reuters. (2023). *Can the fashion industry move from recycled bottles to reused threads?* .
<https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/can-fashion-industry-move-recycled-bottles-reused-threads-2023-08-30/>

SAI. (2024). *SA8000® Standard* . <https://sa-intl.org/programs/sa8000/>

Sandberg, E., & Pal, R. (2024). Exploring supply chain capabilities in textile-to-textile recycling – A European interview study. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 11.
<https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100152>

Senthilkannan, S., & Ramchandani, M. M. (2024). *Sustainable Textiles: Production, Processing, Manufacturing & Chemistry Vegan Alternatives for Leather*.

skroutz.gr. (2025). *Τι είναι η υπηρεσία Skoop*; <https://help.skroutz.gr/hc/el-gr/articles/22596607684369-%CE%A4%CE%B9-%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9-%CE%B7-%CF%85%CF%80%CE%B7%CF%81%CE%B5%CF%83%CE%AF%CE%B1-Skoop>

statista. (2025). *Fashion - Worldwide | Statista Market Forecast*.
<https://www.statista.com/outlook/emo/fashion/worldwide?srltid=AfmBOoqOycuaXB-9jzjx9Skjsw1RpbMkiNKcE7mKB-ns0BDHq958KwRV>

Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain. (2023).

Textile Exchange. (2017a). *Quick Guide to the RCS and GRS Quick Guide to the Recycled Claim Standard (RCS) + Global Recycled Standard (GRS)*.

Textile Exchange. (2017b). *Recycled Claim Standard 2.0*.

textileexchange.org. (2025). *Textile Exchange*. <https://textileexchange.org/annual-report-2024/>

thenextweb. (2025). *thenextweb*. [Ttps://Thenextweb.Com/News/Arket-Hm-Blockchain-Cryptocurrency](https://thenextweb.com/news/arket-hm-blockchain-cryptocurrency).

TheRealReal. (2023). *Everything to Know About Selling With The RealReal*.
<https://realstyle.therealreal.com/everything-to-know-about-selling-with-the-realreal/>

ThredUp. (2025). *Resale Report*.

UNEP. (2023). *Full Report - UNEP Sustainability and Circularity in the Textile Value Chain A Global Roadmap_0*.

unfccc.int. (2023). *UNEP and UN Climate Change Provide Fashion Communicators With Practical Guide to Contribute to Sustainable Change | UNFCCC*. <https://unfccc.int/news/unep-and-un-climate-change-provide-fashion-communicators-with-practical-guide-to-contribute-to>

vechain101.com. (2025). *vechain101*.

Vendora. (2025). *Ποιοι είμαστε – Vendora*. <https://support.vendora.gr/knowledge-base/about-us/>

Vestiaire Collective. (2024). *Circularity Report*.

Wang, G., & Nixon, M. (2021, December 6). SoK: Tokenization on blockchain. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3492323.3495577>

WRAP. (2025). *UK Textiles Pact Roadmap 2026-2030* . <https://www.wrap.ngo/resources/report/uk-textiles-pact-roadmap-2026-2030>

Wu, J., Chiu, W. Y., Meng, W., & Lampe, B. (2023). BlockPAT: A Blockchain-Enabled Second-Hand Physical Asset Tokenization Management System. *Proceedings - International Conference on Distributed Computing Systems, 2023-July*, 1041–1042. <https://doi.org/10.1109/ICDCS57875.2023.00135>

zdhc.org. (2025). *About us*. <https://www.zdhc.org/about-us>

ΕΣΔΑ. (2020). *ΕΣΔΑ-ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗ-6-8-2020*.

ΦΕΚ. (2021). *gr-act-2021-4819-4819_2021*.

ΦΕΚ. (2022). *ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ*.