



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BLOCKCHAIN ΣΤΗΝ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ
ΑΓΟΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Ξενοφώντος Δ. Μητακίδη

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος/2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ BLOCKCHAIN ΣΤΗΝ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ
ΑΓΟΡΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

Ξενοφώντος Δ. Μητακίδη

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 9 Μάρτιου 2023.

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

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

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

Αθήνα, Μάρτιος /2023

.....

Ξενοφών Μητακίδης

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

Copyright © Ξενοφών Μητακίδης, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Από το 2009, όταν το Bitcoin παρουσιάστηκε στο κοινό για πρώτη φορά, η τεχνολογία blockchain έχει αποκτήσει σημαντική απήχηση. Λόγω αυτής της απήχησης, έχει βρει εφαρμογές σε τομείς πέραν των χρηματοοικονομικών, με ένα από τους πιο σημαντικούς, την εκπαίδευση. Αυτή η έρευνα, που είναι βασισμένη στην εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση, επικεντρώνεται στη διερεύνηση των πιθανών περιπτώσεων χρήσης της τεχνολογίας του blockchain στην εκπαίδευση ως μέσο ενδυνάμωσης των μαθητών για την είσοδό τους στην αγορά εργασίας, στον εντοπισμό των πιθανών προκλήσεων για τη μαζική υιοθέτηση της ως αναπόσπαστο μέρος του εκπαιδευτικού συστήματος και στην εξέταση της ανταπόκρισης των δημοφιλών εμπορικών λύσεων όσον αφορά τις ανάγκες και τις συνθήκες της αγοράς.

Λέξεις Κλειδιά: Blockchain, επικύρωση, πιστοποίηση, εκπαίδευση, αγορά εργασίας

Abstract

Ever since the launch of Bitcoin to the public in 2009, blockchain technology has gained significant traction. Due to this traction, it has found applications in sectors beyond finance with a most prominent one being education. This literature-review driven research is focused on exploring the potential use cases of blockchain in education as a means of empowering students to enter the labor market, identify the potential challenges for mass adoption of blockchain as an integral part of the education system and examine where popular commercial solutions stand in terms of the market needs and conditions.

Key Words: Blockchain, validation, certification, education, labor market

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν και συνετέλεσαν σε διαφορετικό βαθμό και με διαφορετικό τρόπο ο καθένας, άμεσα και έμμεσα, στην ολοκλήρωση των σπουδών μου και ιδιαιτέρως κατά την περίοδο της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας, κ. Δημήτριο Ασκούνη ευχαριστώ για την αρωγή και την καθοδήγησή του. Το ενδιαφέρον και η κατανόηση που επέδειξε, αλλά και η βοήθεια που μου παρείχε όποτε χρειαζόταν ήταν καταλυτική για την εκπόνηση της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Χρήστο Κοντζίνο για τις συμβουλές που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της παρούσας έρευνας.

Οι θερμότερες ευχαριστίες ανήκουν στην οικογένεια και τους φίλους μου για την υπομονή και τη συμπαράστασή τους. Ειδική αναφορά θέλω να κάνω στην Εβίτα Λιάγκα η οποία ήταν συνεχώς δίπλα μου και με βοήθησε εξαιρετικά καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου στη σχολή, και ειδικότερα στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. Η στήριξη τους ήταν καταλυτική για την ευόδωση των προσπαθειών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract.....	4
Ευχαριστίες.....	6
Περιεχόμενα.....	8
Λίστα Πινάκων.....	11
Λίστα Εικόνων.....	12
Παράρτημα Τεχνικών Όρων.....	13
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	16
1.1 Αντικείμενο και Σκοπός.....	16
1.2 Μεθοδολογία Διπλωματικής.....	17
1.3 Οργάνωση Κειμένου.....	18
Κεφάλαιο 2: Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών.....	19
2.1 Ορισμός και γενική περιγραφή της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών.....	19
2.1.1 Ορισμός.....	19
2.1.2 Τρόπος λειτουργίας.....	19
2.1.3 Ιδιότητες.....	22
2.1.4 Είδη δικτύων.....	23
2.2 Δομή ενός μπλοκ.....	25
2.3 Ακεραιότητα δεδομένων.....	26
2.3.1 Δέντρα Merkle.....	26
2.3.2 Συναρτήσεις κατακερματισμού.....	28
2.3.3 Αλγόριθμοι συναίνεσης.....	28
2.4 Τομείς εφαρμογής.....	31
2.5 Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και προοπτικές.....	32
Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση.....	35
3.1 Διαχείριση πιστοποιητικών.....	36
3.2 Διαχείριση ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων.....	39
3.3 Αξιολόγηση εργασιακών δεξιοτήτων και σύνδεση με την αγορά.....	43
3.4 Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον.....	44
3.5 Εξασφάλιση των μαθησιακών στόχων.....	45
3.6 Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων.....	46

3.7 Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων	47
3.8 Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων	48
3.9 Εξ 'αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή	49
3.10 Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση	50
Κεφάλαιο 4: Προκλήσεις ενσωμάτωσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση	51
4.1 Ασφάλεια, προστασία δεδομένων και αποκέντρωση	51
4.2 Κλιμάκωση και αποδοτικότητα.....	54
4.3 Σκεπτικισμός της αγοράς	55
Κεφάλαιο 5: Ανασκόπηση των έργων	57
5.1 Blockcerts.....	57
5.2 Cubomania	59
5.3 Shikapa	61
5.4 Open-Source University.....	63
5.5 Tutellus.....	67
5.6 ODEM	71
5.7 Educhain	77
5.8 EchoLink.....	79
5.9 EduCTX.....	82
5.10 English Forward.....	84
5.11 Success Life	85
5.12 Sony Global Education	86
5.13 APPII	87
5.14 Gradbase.....	88
5.15 Stampery	89
5.16 OriginStamp	93
5.17 Turing Certs.....	93
5.18 RecordsKeeper.....	94
5.19 BitDegree	96
5.20 Disciplina.....	99
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις	101
6.1 Αξιολόγηση των έργων	101
6.2 Προτεινόμενη Λύση	106

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	109
Βιβλιογραφία.....	110

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Δομή μιας κεφαλίδας μπλοκ	25
Πίνακας 2: Η λειτουργίες της OSU Dapp	66
Πίνακας 3: Δυνατότητες χρήσης της Tutellus	70
Πίνακας 4: Οι λειτουργίες της ODEM.....	72
Πίνακας 5: Υπηρεσίες της Educhain.....	78
Πίνακας 6: Τα δομικά στοιχεία του EchoLink.....	80
Πίνακας 7: Μηχανισμοί ζεύξης ενός φοιτητή με μια διεύθυνση στο EduCTX	83
Πίνακας 8: Οι λειτουργίες των δομικών στοιχείων της SuccessLife	86
Πίνακας 9: Πεδία εφαρμογής της Stampery στην εκπαίδευση	92
Πίνακας 10: Οι τεχνικές προδιαγραφές της αλυσίδας του RecordsKeeper	96
Πίνακας 11: Οι λειτουργίες της BitDegree ανά χρήση	99

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Τα επίπεδα της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών	21
Εικόνα 2: Δέντρο Merkle ως δομή δεδομένων στο blockchain	27
Εικόνα 3: Εκπαιδευτικό σύστημα με βάση το blockchain	35
Εικόνα 4: Ροή επικοινωνίας για την επιβεβαίωση πιστοποιητικού	37
Εικόνα 5: Διάγραμμα χρήσης του Blockcerts	58
Εικόνα 6: Διάγραμμα χρήσης του Cubomania	60
Εικόνα 7: Ενδεικτικό διάγραμμα του Shikara για τον εκπαιδευτικό.....	62
Εικόνα 8: Ενδεικτικό διάγραμμα Shikara για τους διαχειριστές σχολικών μονάδων	62
Εικόνα 9: Σχηματική αναπαράσταση των τμημάτων της Tutellus	68
Εικόνα 10: Τα πεδία εφαρμογής των έργων	101
Εικόνα 11: Έργα ανά πεδίο εφαρμογής.....	102
Εικόνα 12: Αναφορά των έργων στη συμβατότητα με τα ισχύοντα νομικά πλαίσια	103
Εικόνα 13: Τα δίκτυα επιλογής υλοποίησης των έργων.....	103
Εικόνα 14: Μέσα χρήσης των έργων	105
Εικόνα 15: Η αρχιτεκτονική του Qualichain	106
Εικόνα 16: Η διεργασία των δεδομένων του Qualichain	107

Παράρτημα Τεχνικών Όρων

Πρωτότυπο	Μετάφραση
Anchoring	Αγκύρωση
Block	Μπλοκ
Blockchain	Αλυσίδα Κατανεμημένων Εγγραφών
Decentralized Application/Dapp	Αποκεντρωμένη εφαρμογή
Decentralized Autonomous Organizations	Αποκεντρωμένοι Αυτόνομοι Οργανισμοί
Ledger	Καθολικό
Mainnet	Κεντρικό δίκτυο
Plasma chain	Αλυσίδα πλάσματος
Peer-to-Peer Network	Διομότιμο/Ομότιμο δίκτυο
Sidechain	Πλευρική αλυσίδα
Staking	Στοιχηματισμός
State channel	Κανάλι κατάστασης
Token	Κρυπτοπαραστατικό
Validator	Επικυρωτής

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών(blockchain) εφευρέθηκε το 2008 από ένα άτομο ή μια ομάδα ατόμων με το ψευδώνυμο Satoshi Nakamoto. Ο Nakamoto είχε ως στόχο τη δημιουργία ενός ηλεκτρονικού μέσου συναλλαγών και παρουσίασε για πρώτη φορά στο κοινό την ιδέα του στην εργασία με τίτλο "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System"[1] . Ακόμη και σήμερα, το Bitcoin παραμένει η πρώτη και πιο γνωστή εφαρμογή της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών. Τη χρησιμοποιεί για την καταγραφή και την επαλήθευση των συναλλαγών.

Ωστόσο, η τεχνολογία έχει έκτοτε εφαρμοστεί σε ένα ευρύ φάσμα άλλων περιπτώσεων χρήσης όπως η εκπαίδευση. Η χρήση της τεχνολογίας της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση έχει τη δυνατότητα να επιφέρει μια επαναστατική αλλαγή στον τρόπο με τον οποίο επαληθεύουμε την εγκυρότητα των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών. Μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει σήμερα το εκπαιδευτικό σύστημα είναι το πρόβλημα της μαζικής διάθεσης πλαστογραφημένων πανεπιστημιακών διπλωμάτων. Εν ολίγοις, υπάρχει ένα δίκτυο οργανισμών που παρέχουν πλαστά διπλώματα σε άτομα, χωρίς αυτά να χρειάζεται να ολοκληρώσουν μαθήματα ή να πληρούν τα απαιτούμενα εκπαιδευτικά κριτήρια. Σύμφωνα με έκθεση του Better Business Bureau [2], μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες υπάρχουν πάνω από 200 τέτοιοι οργανισμοί και ο αριθμός αυτός πιστεύεται ότι αυξάνεται. Η έκθεση αναφέρει επίσης ότι η ύπαρξη αυτών των οργανισμών μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ζημιά στην καριέρα και τη φήμη ενός ατόμου, καθώς και να βλάψει τη φήμη του ιδρύματος στο οποίο το όνομα εκδόθηκε το πλαστό δίπλωμα.

Η αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, παρέχοντας έναν ασφαλή και απαραβίαστο τρόπο καταγραφής και επαλήθευσης των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών. Το σύστημα στηρίζεται σε ένα αποκεντρωμένο, ψηφιακό καθολικό (ledger) που καταγράφει τις συναλλαγές σε ένα δίκτυο υπολογιστών. Χρησιμοποιεί κρυπτογραφία για την ασφάλεια των δεδομένων, καθιστώντας σχεδόν αδύνατη την αλλοίωση ή την μεταβολή τους.

Σύμφωνα με έκθεση της Business Research Insights [3], το μέγεθος της παγκόσμιας αγοράς των αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση αναμένεται να αυξηθεί από 118,7 εκατ. δολάρια το 2021 σε 1.055 εκατ. δολάρια μέχρι το 2028, με σύνθετο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 43,94%.

Με τη χρήση τους, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και οι εργοδότες μπορούν εύκολα να επαληθεύσουν τη γνησιότητα των εκπαιδευτικών επιτευγμάτων ενός ατόμου. Τα εκπαιδευτικά πιστοποιητικά αποθηκεύονται με ασφαλή και διαφανή τρόπο, παρέχοντας ένα απαραβίαστο αρχείο της πορείας ενός ατόμου. Αυτό καθιστά πολύ πιο δύσκολη την έκδοση πλαστών διπλωμάτων, καθώς η γνησιότητα των πιστοποιητικών μπορεί να επαληθευτεί εύκολα. Σύμφωνα με την IBM [4], υπάρχουν περίπου 738.000 μοναδικά πλαστά πιστοποιητικά μόνο στις ΗΠΑ, ενώ το 30 τοις εκατό των οργανισμών έχουν ανακαλύψει περιπτώσεις απάτης στα βιογραφικά που δέχθηκαν.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της χρήση της τεχνολογίας της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στον τομέα της εκπαίδευσης με έμφαση στα οφέλη για την αγορά εργασίας.

1.2 Μεθοδολογία Διπλωματικής

Η εκπόνηση της εργασίας στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στην μεθοδολογία της βιβλιογραφικής έρευνας. Για την επίτευξη του σκοπού της όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρειάστηκε να απαντηθούν τρία ερευνητικά ζητήματα:

1. Ποια είναι τα πεδία εφαρμογής της τεχνολογίας της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση;
2. Ποιοι είναι οι παρακωλυτικοί παράγοντες για την ενσωμάτωση της στο υπάρχον σύστημα;
3. Πώς ανταποκρίνονται στις ανάγκες της αγοράς οι τρέχουσες υλοποιήσεις;

Για την απάντηση των πρώτων δύο ζητημάτων έγινε μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, ενώ για το τρίτο χρειάστηκε συνδυαστική ανάλυση ακαδημαϊκών αναφορών και γκρίζας βιβλιογραφίας. Εν προκειμένω, τα έργα που αναλύονται

επιλέχθηκαν βάσει κριτηρίων τόσο σχετικών με την αναφορά τους σε ακαδημαϊκή έρευνα, όσο και πρακτικών, όπως η απήχηση τους στην αγορά και η επάρκεια τεχνικών κειμένων. Στα έργα ανοιχτού κώδικα, αναλύθηκε και ο πηγαίος κώδικας για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Όπως είναι φυσικό, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης έρευνας στηρίχθηκαν στα είκοσι έργα που αξιολογήθηκαν γεγονός που περιορίζει την εγκυρότητα τους στο συγκεκριμένο δείγμα.

1.3 Οργάνωση Κειμένου

Η παρούσα διπλωματική οργανώνεται ως εξής: Το Κεφάλαιο 1 αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας και παρουσιάζει το σκοπό, το αντικείμενο καθώς και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος. Το Κεφάλαιο 2 αναφέρεται στην τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών blockchain, τη λειτουργία της, τις ιδιότητες της, τα πεδία εφαρμογής της πέραν της εκπαίδευσης, καθώς και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα που έχει έναντι ανάλογων λύσεων. Το κεφάλαιο 3 αναλύει τη χρήση της τεχνολογίας στην εκπαίδευση και τα πεδία εφαρμογής που αυτή βρίσκει παράλληλα συγκρίνοντας τη με τις πάγιες λύσεις ως σήμερα όπου αυτό είναι δυνατό. Το κεφάλαιο 4 περιγράφει τα εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για την ενσωμάτωση της στην εκπαίδευση υπό το πρίσμα της νομοθεσίας, της προστιθέμενης αξίας που προσφέρει, αλλά και την αντίσταση της αγοράς στην μετάβαση. Το κεφάλαιο 5 παραθέτει είκοσι έργα βασισμένα στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών που δραστηριοποιούνται στον εκπαιδευτικό τομέα και αναφέρει τις λειτουργίες τους. Τέλος, το κεφάλαιο 6 αξιολογεί πως στα έργα αυτά βρίσκουν αντίκρισμα τα πεδία εφαρμογής και αν ανταποκρίνονται επαρκώς στις ανάγκες της αγοράς. Το ίδιο κεφάλαιο κλείνει προτείνοντας ένα έργο που προσφέρει καλύτερα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 2: Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών

2.1 Ορισμός και γενική περιγραφή της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών

2.1.1 Ορισμός

Η αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών blockchain είναι ένα κατανεμημένο, αποκεντρωμένο και αμετάβλητο σύστημα καθολικού που καταγράφει τις συναλλαγές και τις αποθηκεύει με τρόπο διαφανή, ασφαλή και ανθεκτικό στην τροποποίηση ή την αλλοίωση. [5]

2.1.2 Τρόπος λειτουργίας

Όπως φαίνεται από τον ορισμό της, η αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών είναι μια κατανεμημένη βάση δεδομένων που αποθηκεύει έναν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό εγγραφών, τα λεγόμενα μπλοκ (block), με τρόπο ασφαλή, εμφανή και ανθεκτικό στην τροποποίηση. Κάθε μπλοκ περιέχει ένα σύνολο συναλλαγών και μια αναφορά στο προηγούμενο μπλοκ, σχηματίζοντας μια αλυσίδα που καταγράφει ολόκληρο το ιστορικό των συναλλαγών στο δίκτυο. Μια αλυσίδα μπλοκ συντηρείται από ένα δίκτυο κόμβων, καθένας από τους οποίους διαθέτει ένα αντίγραφο ολόκληρης της αλυσίδας ή μέρος αυτής. Για να προστεθεί ένα νέο μπλοκ στην αλυσίδα, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος συναίνεσης για να εξασφαλιστεί ότι όλοι οι κόμβοι του δικτύου συμφωνούν σχετικά με την κατάσταση της αλυσίδας και την εγκυρότητα του προστιθέμενου.

Μόλις ένα μπλοκ προστεθεί στην αλυσίδα, συνδέεται με το προηγούμενο χρησιμοποιώντας μια τιμή κατακερματισμού. Η τιμή αυτή είναι μια συμβολοσειρά χαρακτήρων σταθερού μήκους που παράγεται με την εκτέλεση του περιεχομένου του μπλοκ μέσω μιας κρυπτογραφικής συνάρτησης κατακερματισμού. Είναι μοναδική για κάθε ένα και εξαρτάται από το περιεχόμενό του, οπότε αν οποιοδήποτε μέρος του μπλοκ τροποποιηθεί, θα αλλάξει. Αυτό σημαίνει ότι αν κάποιος προσπαθήσει να παραποιήσει κάποια πληροφορία στην αλυσίδα, η αλλαγή θα είναι άμεσα ανιχνεύσιμη, καθώς η τιμή του τροποποιημένου μπλοκ δεν θα ταιριάζει με αυτή που είναι αποθηκευμένη στο επόμενο. Εντούτοις, εκτός από τη χρήση του για τη σύνδεση των μπλοκ μεταξύ τους, ο κρυπτογραφικός κατακερματισμός χρησιμοποιείται επίσης για την ασφάλεια του περιεχομένου κάθε μπλοκ.

Στην εικόνα 1 διακρίνονται τα διαφορετικά στρώματα της αρχιτεκτονικής ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 1: Τα επίπεδα της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών

2.1.3 Ιδιότητες

Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών χαρακτηρίζεται από διάφορες ιδιότητες [6] που τη διαχωρίζουν από τα παραδοσιακά συγκεντρωτικά συστήματα. Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες είναι η αποκέντρωση, δηλαδή η απουσία κάποιας κεντρικής οντότητας για τη λειτουργία του συστήματος. Ως αρχή, επιτρέπει τη διενέργεια συναλλαγών μεταξύ δύο οποιονδήποτε ομότιμων μερών χωρίς την ανάγκη θέσπισης ορίων εμπιστοσύνης ανάμεσα στους εμπλεκόμενους. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση των επιδόσεων ενός δικτύου. Ωστόσο, για την εφαρμογή αυτής της ιδιότητας πρέπει να γίνουν συμβιβασμοί ανάμεσα στην χρηστικότητα και το κόστος, όπως για παράδειγμα η υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας έναντι της ακεραιότητας του δικτύου σε περιπτώσεις χρήσης του αλγορίθμου συναίνεσης proof-of-work όπως το Bitcoin.

Μια άλλη σημαντική ιδιότητα είναι η ανθεκτικότητα. Η αλυσίδα παρέχει ένα αμετάβλητο κατανεμημένο καθολικό που συνδέει όλες τις συναλλαγές και τα μπλοκ μεταξύ τους σε μια αλυσίδα προστατευμένα από παραποιήσεις, αφού κάθε μπλοκ περιέχει την τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ και κάθε ενημέρωση σε μια συναλλαγή αλλάζει σημαντικά την τιμή του. Αυτό καθιστά οριακά αδύνατη την τροποποίηση πληροφοριών, καθώς θα πρέπει να αλλάξουν όλα τα δεδομένα κατακερματισμού των προηγούμενων μπλοκ. Αυτή η ιδιότητα καθιστά την αλυσίδα εξαιρετικά ασφαλή και σχεδόν απαραβίαστη.

Η ανωνυμία είναι μια άλλη βασική ιδιότητα. Οι χρήστες μπορούν να αλληλοεπιδρούν με το δίκτυο μέσω τυχαία παραγόμενων διευθύνσεων και ένας χρήστης μπορεί να έχει πολλαπλές διευθύνσεις για να αποφύγει την αποκάλυψη της ταυτότητάς του. Ως αποκεντρωμένο σύστημα, καμία κεντρική αρχή δεν παρακολουθεί ή καταγράφει τις ιδιωτικές πληροφορίες των χρηστών. Αυτό παρέχει ένα ορισμένο επίπεδο ανωνυμίας χωρίς να προϋποτίθεται κανένα επίπεδο εμπιστοσύνης μεταξύ των συμμετεχόντων.

Η ελεγχιμότητα είναι μια ακόμη σημαντική ιδιότητα. Όλες οι συναλλαγές καταγράφονται στο κατανεμημένο καθολικό και επικυρώνονται από μια ψηφιακή χρονοσήμανση, καθιστώντας δυνατό τον έλεγχο και την ανίχνευση προηγούμενων εγγραφών με πρόσβαση σε οποιονδήποτε κόμβο του δικτύου. Το Bitcoin, για παράδειγμα, επιτρέπει τον επαναληπτικό εντοπισμό όλων των συναλλαγών, γεγονός που προάγει τη διαφάνεια και τη δυνατότητα ελέγχου της κατάστασης των δεδομένων στην αλυσίδα.

Όμως, όπως θα δειχθεί στην επόμενη ενότητα οι ιδιότητες που αναφέρθηκαν μπορεί να περιορίζονται σε συγκεκριμένες οντότητες ανάλογα με το είδος του δικτύου και τις δυνατότητες του κάθε συμμετέχοντα.

2.1.4 Είδη δικτύων

Υπάρχουν κυρίως τρεις τύποι δικτύων: δημόσια, ιδιωτικά και κοινοπρακτικά/ημι-ιδιωτικά.

Μια δημόσια αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών είναι ένα ανοικτό δίκτυο στο οποίο οποιοσδήποτε μπορεί να ενταχθεί, να συμμετάσχει και να επικυρώσει συναλλαγές. Όλες οι πληροφορίες είναι προσβάσιμες από οποιονδήποτε, καθιστώντας το αποκεντρωμένο και διαφανές. Οι συμμετέχοντες μπορούν να παραμείνουν ανώνυμοι και να χρησιμοποιούν ψευδώνυμα για να αλληλεπιδρούν με το δίκτυο. Το Bitcoin και το Ethereum είναι παραδείγματα δημόσιων αλυσίδων μπλοκ.

Μια ιδιωτική αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών είναι ένα κλειστό δίκτυο που είναι προσβάσιμο μόνο σε μια επιλεγμένη ομάδα ατόμων ή οργανισμών. Οι ιδιωτικές αλυσίδες είναι πιο συγκεντρωτικές και ελεγχόμενες, γεγονός που τις καθιστά ταχύτερες και ασφαλέστερες από τις δημόσιες αλυσίδες. Η πρόσβαση σε μια τέτοια αλυσίδα είναι περιορισμένη και οι συμμετέχοντες πρέπει να επαληθεύονται προτού τους επιτραπεί να ενταχθούν στο δίκτυο. Οι ιδιωτικές αλυσίδες χρησιμοποιούνται συνήθως σε περιβάλλοντα επιχειρήσεων για τη διαχείριση αλυσίδων εφοδιασμού, την παρακολούθηση αποθεμάτων και άλλες εσωτερικές διαδικασίες.

Μια αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών κοινοπραξίας είναι ένα υβριδικό μοντέλο μεταξύ δημόσιων και ιδιωτικών δικτύων. Πρόκειται για ένα κλειστό δίκτυο που διοικείται από μια ομάδα οργανισμών που έχουν συμφωνήσει να συνεργαστούν. Οι κοινοπραξιακές αλυσίδες παρέχουν περισσότερο έλεγχο και προστασία από τις δημόσιες αλυσίδες μπλοκ, ενώ εξακολουθούν να προσφέρουν ορισμένα από τα οφέλη μιας δημόσιας αλυσίδας, όπως η αποκέντρωση και η διαφάνεια. Σε ένα κοινοπρακτικό δίκτυο, οι συμμετέχοντες ελέγχονται προτού τους επιτραπεί να ενταχθούν και οι συναλλαγές επικυρώνονται από μια επιλεγμένη ομάδα εξουσιοδοτημένων επικυρωτών. Οι κοινοπρακτικές αλυσίδες χρησιμοποιούνται συχνά σε κλάδους όπου πολλαπλοί οργανισμοί πρέπει να μοιράζονται πληροφορίες και να συνεργάζονται, όπως στα χρηματοοικονομικά ή στη διαχείριση εφοδιαστικών αλυσίδων.

Συνολικά, οι κύριες διαφορές μεταξύ των τύπων δικτύων είναι ο βαθμός αποκέντρωσης, ο έλεγχος πρόσβασης και η ιδιωτικότητα. Οι δημόσιες αλυσίδες είναι οι πιο αποκεντρωμένες και διαφανείς, ενώ οι ιδιωτικές αλυσίδες προσφέρουν περισσότερο έλεγχο και ασφάλεια. Οι κοινοπρακτικές αλυσίδες αποτελούν ένα υβρίδιο που παρέχει μια ισορροπία μεταξύ των δύο.

2.2 Δομή ενός μπλοκ

Αν και η δομή του μπλοκ αλλάζει βάσει των αναγκών του αλγορίθμου συναίνεσης, οι αλλαγές δεν είναι σημαντικές. Κάθε μπλοκ στην αλυσίδα των μπλοκ περιέχει ένα σύνολο συναλλαγών και μια κεφαλίδα που περιλαμβάνει διάφορα χαρακτηριστικά, όπως η έκδοση του μπλοκ, η τιμή κατακερματισμού της κεφαλίδας του προηγούμενου μπλοκ, η τιμή κατακερματισμού της ρίζας του δέντρου Merkle, μια χρονοσήμανση που υποδεικνύει τον κατά προσέγγιση χρόνο δημιουργίας του μπλοκ και το nonce που χρησιμοποιείται στον αλγόριθμο proof-of-work για την επίτευξη του κατώτατου ορίου-στόχου. Ο αλγόριθμος και τα δέντρα Merkle εξηγούνται στη συνέχεια του κεφαλαίου. Η πιο γενική μορφή της κεφαλίδας παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

Χαρακτηριστικό	Περιγραφή
Έκδοση	Ο αριθμός έκδοσης της μορφής του μπλοκ.
Τιμή κατακερματισμού προηγούμενου μπλοκ	Η τιμή κατακερματισμού του προηγούμενου μπλοκ στο blockchain.
Ρίζα Merkle	Η τιμή κατακερματισμού των δεδομένων συναλλαγών του μπλοκ σε μορφή δέντρου Merkle.
Χρονική σήμανση	Η χρονική σήμανση της δημιουργίας του μπλοκ.
Δυσκολία στόχου	Η επιθυμητή δυσκολία για τη δημιουργία του μπλοκ, η οποία προσαρμόζεται με βάση την ισχύ εξόρυξης του δικτύου.
Nonce	Ένας τυχαίος αριθμός που χρησιμοποιείται στη διαδικασία της εξόρυξης για τη δημιουργία μιας τιμής κατακερματισμού που πληρεί τον στόχο δυσκολίας.
Μέγεθος μπλοκ	Το μέγεθος του μπλοκ σε bytes.

Πίνακας 1: Δομή μιας κεφαλίδας μπλοκ

2.3 Ακεραιότητα δεδομένων

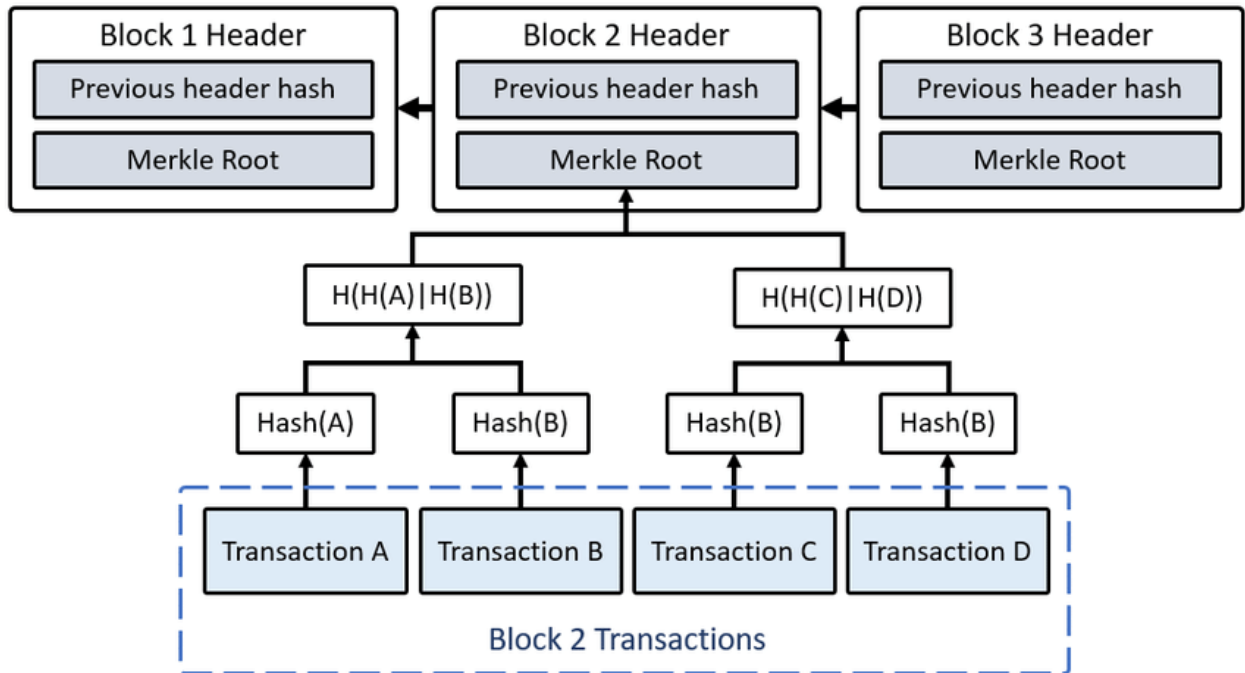
Η αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών διασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων του μέσω ενός συνδυασμού χρήσης μηχανισμών αποκέντρωσης, συναίνεσης και κρυπτογραφικών τεχνικών, όπως οι συναρτήσεις κατακερματισμού και τα δέντρα Merkle. Με τη χρήση ενός αποκεντρωμένου δικτύου κόμβων για την επικύρωση και την καταγραφή των συναλλαγών, το blockchain αποφεύγει την ανάγκη για μια κεντρική αρχή, καθιστώντας δύσκολη τη χειραγώγηση των δεδομένων από μία μόνο οντότητα. Οι μηχανισμοί συναίνεσης διασφαλίζουν ότι όλοι οι κόμβοι συμφωνούν σχετικά με την κατάσταση της αλυσίδας μπλοκ και οι συναρτήσεις κατακερματισμού και τα δέντρα Merkle χρησιμοποιούνται για να επαληθεύσουν ότι τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα σε κάθε μπλοκ δεν έχουν αλλοιωθεί.

2.3.1 Δέντρα Merkle

Τα δέντρα Merkle [7], επίσης γνωστά ως δέντρα κατακερματισμού, είναι μια θεμελιώδης δομή δεδομένων στην επιστήμη των υπολογιστών και την κρυπτογραφία. Πήραν το όνομά τους από τον εφευρέτη τους, Ralph Merkle.

Είναι δυαδικά δέντρα στα οποία κάθε κόμβος που δεν έχει φύλλο έχει την τιμή κατακερματισμού των παιδιών του. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική επαλήθευση του περιεχομένου του δέντρου, καθώς είναι απαραίτητο μόνο ένα μικρό τμήμα του δέντρου για να επαληθευτεί ότι ένα συγκεκριμένο στοιχείο είναι μέλος του.

Τα δέντρα Merkle χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες κρυπτογραφικές εφαρμογές, όπως στις ψηφιακές υπογραφές, στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών και στα ομότιμα δίκτυα. Στο πλαίσιο των αλυσίδων, τα δέντρα Merkle χρησιμοποιούνται για την αποτελεσματική επαλήθευση της ακεραιότητας των συναλλαγών εντός ενός μπλοκ. Με τον κατακερματισμό όλων των συναλλαγών σε ένα μπλοκ και την κατασκευή ενός δέντρου Merkle, είναι δυνατή η παροχή μιας συμπαγούς και αποτελεσματικής απόδειξης του περιεχομένου του. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική επαλήθευση από άλλους κόμβους στο δίκτυο χωρίς να απαιτείται η λήψη ολόκληρου του μπλοκ.



Εικόνα 2: Δέντρο Merkle ως δομή δεδομένων στο blockchain

Πηγή:[8]

2.3.2 Συναρτήσεις κατακερματισμού

Στην κρυπτογραφία, η συνάρτηση κατακερματισμού [1] είναι μια μαθηματική συνάρτηση που αντιστοιχίζει δεδομένα αυθαίρετου μεγέθους σε μια έξοδο σταθερού μεγέθους, η οποία συχνά ονομάζεται κατακερματισμός. Μια βασική ιδιότητα των συναρτήσεων κατακερματισμού είναι ότι είναι μονόδρομες συναρτήσεις, πράγμα που σημαίνει ότι είναι υπολογιστικά ανέφικτο να ληφθούν τα αρχικά δεδομένα εισόδου από την τιμή κατακερματισμού τους.

Η χρήση συναρτήσεων κατακερματισμού είναι θεμελιώδης για την ασφάλεια και την ακεραιότητά της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών. Κάθε μπλοκ περιέχει μια κατακερματισμένη μορφή του προηγούμενου μπλοκ, σχηματίζοντας μια αλυσίδα που δεν μπορεί να τροποποιηθεί χωρίς να διαπιστωθεί η αλλοίωσή της. Αυτό είναι εφικτό επειδή η αλλαγή οποιασδήποτε συναλλαγής ή δεδομένων μπλοκ σε μια αλυσίδα θα απαιτούσε τον επανυπολογισμό όλων των επόμενων κατακερματισμών, πράγμα που είναι υπολογιστικά ανέφικτο.

2.3.3 Αλγόριθμοι συναίνεσης

Ο αλγόριθμος συναίνεσης που χρησιμοποιείται από τα περισσότερα δίκτυα ονομάζεται Proof of Work (PoW) [1]. Σε ένα σύστημα PoW, οι κόμβοι του δικτύου ή εξορύκτες ανταγωνίζονται για την επίλυση ενός κρυπτογραφικού γρίφου, με τον πρώτο κόμβο που θα λύσει τον γρίφο να κερδίζει το δικαίωμα να προσθέσει το επόμενο μπλοκ στην αλυσίδα. Η επίλυση του γρίφου απαιτεί σημαντική υπολογιστική ισχύ, γεγονός που καθιστά δύσκολο για έναν κόμβο ή μια ομάδα κόμβων να ελέγξει το δίκτυο. Για τους σκοπούς της εργασίας αξίζει να αναφέρουμε δύο ακόμη αλγορίθμους.

Όπως και ο PoW, ο Proof-of-Stake (PoS) [9, 10] είναι ένας αλγόριθμος συναίνεσης που χρησιμοποιείται από τα δίκτυα για την επικύρωση και την προσθήκη νέων μπλοκ στην αλυσίδα. Ωστόσο, σε αντίθεση με τον PoW, ο οποίος απαιτεί από τους κόμβους του δικτύου να εκτελούν υπολογιστικά εντατικούς υπολογισμούς για την επίλυση ενός κρυπτογραφικού γρίφου, ο PoS χρησιμοποιεί έναν διαφορετικό μηχανισμό για την επικύρωση μπλοκ που βασίζεται στην έννοια του στοιχηματισμού (staking).

Σε ένα σύστημα PoS, οι κόμβοι στο δίκτυο απαιτείται να ποντάρουν ένα συγκεκριμένο ποσό κρυπτονομίσματος προκειμένου να γίνουν επικυρωτές (validators). Το κρυπτονόμισμα που ποντάρεται λειτουργεί ως μια μορφή εγγύησης και κινδυνεύει να καταπέσει η αξία του αν ο επικυρωτής ενεργήσει με τρόπο που είναι επιζήμιος για το δίκτυο.

Όταν ένα νέο μπλοκ προστίθεται στην αλυσίδα, επιλέγεται ένας επικυρωτής για να προσθέσει το μπλοκ με βάση τα χρήματα που στοιχηματίζει. Η πιθανότητα να επιλεγεί κάποιος ως επικυρωτής είναι ανάλογη με το ποσό του κρυπτονομίσματος που έχει τοποθετηθεί, οπότε οι επικυρωτές με μεγαλύτερα ποσά έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επιλεγούν για να επικυρώσουν το μπλοκ.

Μόλις επιλεγεί ένας, είναι υπεύθυνος για την επαλήθευση των συναλλαγών στο μπλοκ και την προσθήκη του στην αλυσίδα. Εάν προσθέσει επιτυχώς το μπλοκ, ανταμείβεται με τις αμοιβές των συναλλαγών του μπλοκ ή και με νεοδημιούργητο κρυπτονόμισμα.

Σε ένα σύστημα PoS, οι επικυρωτές έχουν κίνητρο να ενεργούν προς το συμφέρον του δικτύου, καθώς η αξία των κρυπτονομισμάτων τους κινδυνεύει να μειωθεί αν ενεργήσουν κακόβουλα. Αυτό καθιστά το PoS πιο ενεργειακά αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον από το PoW, καθώς δεν απαιτεί από τους κόμβους του δικτύου να εκτελούν υπολογιστικά απαιτητικούς υπολογισμούς για την ασφάλεια του δικτύου.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές του PoS, όπως το εξουσιοδοτημένο PoS, στο οποίο οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αναθέσουν την ψήφο τους σε έναν εκπρόσωπο, και το ρευστό PoS, στο οποίο το κρυπτονόμισμα που έχει στοιχηματιστεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες συναλλαγές ή επενδύσεις, ενώ εξακολουθεί να είναι στοιχηματισμένο για την επικύρωση μπλοκ.

Ο τρίτος αλγόριθμος που μας απασχολεί είναι ο Proof-of-Authority (PoA) [11]. Στον PoA, ένα σύνολο προκαθορισμένων αξιόπιστων κόμβων, γνωστών ως "επικυρωτές" ή "αρχές", είναι υπεύθυνοι για την επαλήθευση των συναλλαγών και τη δημιουργία νέων μπλοκ στην αλυσίδα.

Αυτοί οι επικυρωτές επιλέγονται συνήθως με βάση τη φήμη τους, την εμπειρογνωμοσύνη τους ή τη συμμετοχή τους στο σύστημα και όχι την υπολογιστική τους ισχύ, όπως στους μηχανισμούς PoW ή PoS. Στους επικυρωτές δίνεται το δικαίωμα να επικυρώνουν συναλλαγές και να δημιουργούν νέα μπλοκ με κυκλικό τρόπο, με κάθε επικυρωτή να παίρνει σειρά με προκαθορισμένη σειρά.

Το πλεονέκτημα του PoA είναι ότι είναι πιο αποδοτικός και λιγότερο απαιτητικός σε πόρους από άλλους μηχανισμούς συναίνεσης όπως ο PoW, καθώς δεν απαιτεί από τους επικυρωτές να εκτελούν πολύπλοκους υπολογισμούς ή να ανταγωνίζονται για την επίλυση κρυπτογραφικών γρίφων. Αυτό το καθιστά μια καλή επιλογή για ιδιωτικές ή κοινοπρακτικές αλυσίδες μπλοκ που απαιτούν γρήγορη και αποτελεσματική επεξεργασία συναλλαγών. Ωστόσο, το μειονέκτημα του PoA είναι ότι είναι πιο συγκεντρωτικό, καθώς η εξουσία λήψης αποφάσεων ανήκει σε μια μικρή ομάδα επικυρωτών, οι οποίοι εμπιστεύονται πως και οι υπόλοιποι ενεργούν προς το συμφέρον του δικτύου.

2.4 Τομείς εφαρμογής

Λόγω των ιδιοτήτων που προσφέρει ως τεχνολογία, η αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τομείς. Ο κλάδος που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι η χρηματοοικονομική, με κύρια λειτουργία τη δημιουργία ασφαλών και διαφανών χρηματοοικονομικών συναλλαγών, μειώνοντας την ανάγκη για μεσάζοντες. Χρησιμοποιείται επίσης στην υγειονομική περίθαλψη για την αποθήκευση και την ασφάλεια των δεδομένων των ασθενών, επιτρέποντας την αποτελεσματικότερη και ακριβέστερη ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των παρόχων υγειονομικής περίθαλψης. Ακόμη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των αγαθών μέσω της εφοδιαστικής αλυσίδας, βελτιώνοντας τη διαφάνεια και μειώνοντας τον κίνδυνο απάτης ή παραποίησης, ενώ όσο αφορά συστήματα ψηφοφορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ασφαλών και διαφανών συστημάτων, μειώνοντας τον κίνδυνο απάτης και διασφαλίζοντας την ακεραιότητα των εκλογών. Ένας άλλος τομέας που το blockchain βρίσκει ευρεία εφαρμογή είναι η ενέργεια και συγκεκριμένα η διαχείριση της διανομής και της εμπορίας ενέργειας, επιτρέποντας πιο αποδοτικά και αποκεντρωμένα ενεργειακά συστήματα. Αξίζει να αναφερθούν ακόμη μερικοί από τους μεγαλύτερους τομείς που επωφελούνται από τα συστήματα κατανεμημένων εγγραφών ως σήμερα όπως η ακίνητη περιουσία, οι κυβερνητικές υπηρεσίες, η φιλανθρωπία, το εμπόριο, τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, ο αθλητισμός, διασκέδαση, η γεωργία και η τέχνη.

2.5 Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και προοπτικές

Η τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών έχει τόσο πλεονεκτήματα όσο και μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα κεντροποιημένα συστήματα. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της είναι η αποκεντρωμένη φύση της, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπάρχει μοναδικό σημείο αποτυχίας του δικτύου. Αντί να βασίζεται σε μια κεντρική αρχή ή έναν ενδιάμεσο φορέα, χρησιμοποιεί ένα κατανεμημένο δίκτυο κόμβων για την επικύρωση και την καταγραφή των συναλλαγών. Αυτό καθιστά το σύστημα πιο ανθεκτικό στην υποκλοπή, τη διαφθορά και τη λογοκρισία. Όπως δείχθηκε, είναι ένα σύστημα διαφανές και αμετάβλητο, που το καθιστά ιδανική πλατφόρμα για εφαρμογές όπου η ακεραιότητα και η διαφάνεια των δεδομένων είναι απαραίτητες. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα τα όρια εμπιστοσύνης των συμμετεχόντων είναι σαφώς ορισμένα όπου και αν χρειάζεται και κανένα μέρος δεν έχει την ικανότητα να αλλάξει τον τρόπο λειτουργίας του δικτύου κατά το δοκούν. Αντ' αυτού απαιτείται τουλάχιστον σύμπραξη των χειριστών των κόμβων, μαζί με τις εγγυήσεις ασφαλείας που αυτό επιφέρει.

Ωστόσο, υπάρχουν και ορισμένα μειονεκτήματα στην τεχνολογία αυτή. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η αδυναμία επέκτασης των δικτύων. Επειδή κάθε κόμβος στο δίκτυο πρέπει να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει κάθε συναλλαγή, το σύστημα μπορεί να γίνει αργό και απαιτητικό σε πόρους, ιδίως καθώς προστίθενται περισσότερες συναλλαγές στην αλυσίδα. Ένα άλλο ζήτημα είναι η έλλειψη τυποποίησης, νομοθετικών πλαισίων και κανονισμών, η οποία μπορεί να καταστήσει δύσκολη την εφαρμογή της σε ορισμένες βιομηχανίες όπως η εκπαίδευση. Επιπλέον, η αποκεντρωμένη φύση της αλυσίδας μπλοκ μπορεί να κάνει πιο δύσκολη την επίλυση διαφορών ή την αντιμετώπιση σφαλμάτων, καθώς δεν υπάρχει κεντρική αρχή στην οποία μπορεί να απευθυνθεί κανείς. Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την εξόρυξη και την επικύρωση των συναλλαγών μπορεί να είναι σημαντική, καθιστώντας την λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα αντίστοιχα συστήματα. Φυσικά, οι προοπτικές που προσφέρονται υπερτερούν των μειονεκτημάτων. Τεχνικές υλοποιήσεις για την υπερκέρωση των μειονεκτημάτων δημιουργούνται συνεχώς.

Για να είναι ευκολότερη η επέκταση των δικτύων, δημιουργήθηκαν δίκτυα δευτέρου επιπέδου [11]. Τα κεντρικά δίκτυα (main-nets), όπως το Bitcoin ή το Ethereum, μπορεί να είναι αργά και ακριβά στη χρήση, ιδίως σε περιόδους υψηλής συμφόρησης του δικτύου. Οι αλυσίδες δευτέρου επιπέδου, όπως τα κανάλια κατάστασης (state channels), οι πλευρικές αλυσίδες (side-chains) ή οι αλυσίδες πλάσματος (plasma chains), για να αναφέρουμε μερικές, έχουν σχεδιαστεί για να ξεπερνούν αυτούς τους περιορισμούς λειτουργώντας πάνω στα υπάρχοντα δίκτυα. Οι παραπάνω λύσεις επιτρέπουν ταχύτερες και φθηνότερες συναλλαγές, καθώς τις επεξεργάζονται εκτός αλυσίδας και καταγράφουν περιοδικά μόνο το καθαρό αποτέλεσμα στην κύρια αλυσίδα. Αυτή η προσέγγιση παρέχει πλεονεκτήματα κλιμάκωσης και αποδοτικότητας που τα παραδοσιακά συστήματα δεν μπορούν εύκολα να φτάσουν, ενώ παράλληλα διατηρούν τα πλεονεκτήματα ασφάλειας και αποκέντρωσης του υποκείμενου δικτύου.

Όσον αφορά τη λήψη αποφάσεων κι επίλυσης διαφορών, μια νέα μορφή διοικητικού μοντέλου είναι δυνατή, οι Αποκεντρωμένοι Αυτόνομοι Οργανισμοί (Decentralized Autonomous Organizations - DAOs). Είναι ψηφιακές οντότητες που λειτουργούν πάνω σε μια αλυσίδα και διέπονται από ένα σύνολο κανόνων βάσει κώδικα και όχι από μια κεντρική αρχή. Επιτρέπουν στους χρήστες να συσπειρώνονται και να λαμβάνουν συλλογικές αποφάσεις, να δημιουργούν προτάσεις και να ψηφίζουν για αλλαγές στον οργανισμό, και όλα αυτά μέσω ενός αποκεντρωμένου και χωρίς εμπιστοσύνη συστήματος. Είναι ουσιαστικά αυτοδιοικούμενες οντότητες, οι οποίες ελέγχονται από τα μέλη τους μέσω έξυπνων συμβολαίων και μηχανισμών ψηφοφορίας.

Αναφορικά με τα έξυπνα συμβόλαια [13], πρόκειται για κώδικα που η εκτέλεση του ορίζει προϋποθέσεις. Συμβατικά, για την επιβολή όρων συμφωνιών και συναλλαγών τα παραδοσιακά συστήματα βασίζονται συνήθως σε μεσάζοντες, όπως δικηγόρους ή συμβολαιογράφους. Η διαδικασία αυτή μπορεί να είναι χρονοβόρα, δαπανηρή και επιρρεπής σε ανθρώπινα λάθη. Οι συμβάσεις όπως ορίζονται στα έξυπνα συμβόλαια, από την άλλη πλευρά, είναι αυτο-εκτελούμενες και αυτοματοποιημένες, γεγονός που εξαλείφει την ανάγκη για μεσάζοντες και μειώνει το κόστος των συναλλαγών. Επιπλέον, είναι αμετάβλητες, πράγμα που σημαίνει ότι μόλις εκτελεσθεί ο κώδικας και μπει η συναλλαγή σε ένα μπλοκ, δεν μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν ή να διαγραφούν. Αυτό παρέχει υψηλό βαθμό ασφάλειας και εμπιστοσύνης στην εκτέλεση της σύμβασης. Τέλος, οι συμβάσεις των συμβολαίων είναι διαφανείς και ελέγξιμες, καθώς ο κώδικας και κατ' επέκταση η εκτέλεσή τους μπορούν να επαληθευτούν δημοσίως, γεγονός που μειώνει το ενδεχόμενο απάτης ή διαφθοράς.

Σχετικά με τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο, ο πιο σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί κατά νου είναι ο τρόπος επίτευξης συναίνεσης, δηλαδή η επιλογή του αλγορίθμου συναίνεσης. Σύμφωνα με τους Bada κ.α. [14] ο PoW είναι ο πιο δαπανηρός ενεργειακά με μεγάλη διαφορά, ενώ ο PoA ο λιγότερο.

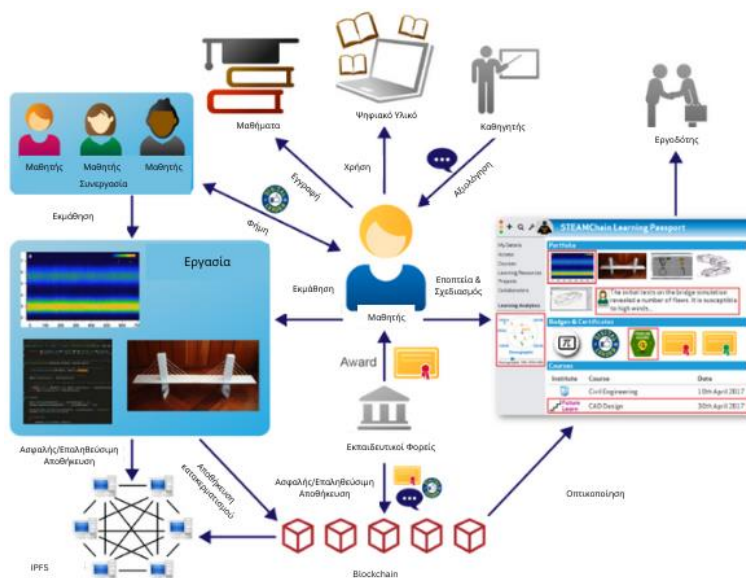
Για τους σκοπούς της εργασίας, ειδικής μνείας χρήζουν τα δομοστοιχεία αποκεντρωμένων αναγνωριστικών ταυτότητας (Decentralized Identifiers - DID) [15]. Στα παραδοσιακά συστήματα, η επαλήθευση και η διαχείριση της ταυτότητας βασίζονται συνήθως σε κεντρικές βάσεις δεδομένων ή παρόχους ταυτότητας, οι οποίοι μπορεί να είναι ευάλωτοι σε παραβιάσεις και παραβιάσεις προσωπικών δεδομένων. Τα αναγνωριστικά DID, από την άλλη πλευρά, παρέχουν μια αποκεντρωμένη και αυτοδύναμη προσέγγιση στη διαχείριση ταυτότητας. Με τα δομοστοιχεία DID, τα άτομα μπορούν να κατέχουν και να ελέγχουν τα δικά τους δεδομένα ταυτότητας, τα οποία μπορούν να αποθηκεύονται και να επαληθεύονται με ασφάλεια σε μια αλυσίδα. Αυτό παρέχει υψηλό βαθμό ιδιωτικότητας, ασφάλειας και ελέγχου των προσωπικών πληροφοριών, τον οποίο τα παραδοσιακά συστήματα δεν μπορούν εύκολα να αναπαράγουν.

Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται δέκα πεδία εφαρμογής της τεχνολογίας κατανεμημένης εγγραφής στον τομέα της εκπαίδευσης, αναλύονται τα προβλήματα που απαντώνται σε κάθε περίπτωση, ενώ ακόμη εξηγείται πως επιλύονται μέσα από σχετικές ερευνητικές προδιαγραφές και πλαίσια. Τέλος, όπου είναι εφικτό, γίνεται λόγος για ευκαιρίες παραγωγής νέων χαρακτηριστικών και εφαρμογών που επιτρέπει η ενσωμάτωση της εν λόγω τεχνολογίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση πλαισίων και εφαρμογών που βασίζονται στη χρήση αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, τόσο για τη βελτίωση και τον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών όπως η διαχείριση δεδομένων, όσο και η αντιμετώπιση των προκλήσεων που πλήττουν τα υπάρχοντα κεντροποιημένα συστήματα όπως η πλαστογράφηση σημαντικών εγγράφων.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η γενική περίπτωση χρήσης των αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών.



Εικόνα 3: Εκπαιδευτικό σύστημα με βάση το blockchain

Προσαρμοσμένο από [19]

3.1 Διαχείριση πιστοποιητικών

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στην αγορά εργασίας που επιδέχεται βελτίωση είναι η απόδειξη εγκυρότητας των πιστοποιήσεων των δυνητικών εργαζομένων. Σύμφωνα με πρόσφατη έρευνα της ResumeBuilder (2021), ένας στους τρεις Αμερικανούς ψεύδεται στο βιογραφικό του [16], ενώ σύμφωνα με τις Accredibase και Verifile (2011), μόνο στις ΗΠΑ και την Ευρώπη υπάρχουν 1698 φορείς που έχουν ανακαλυφθεί ως διακινητές πλαστών πιστοποιητικών [17].

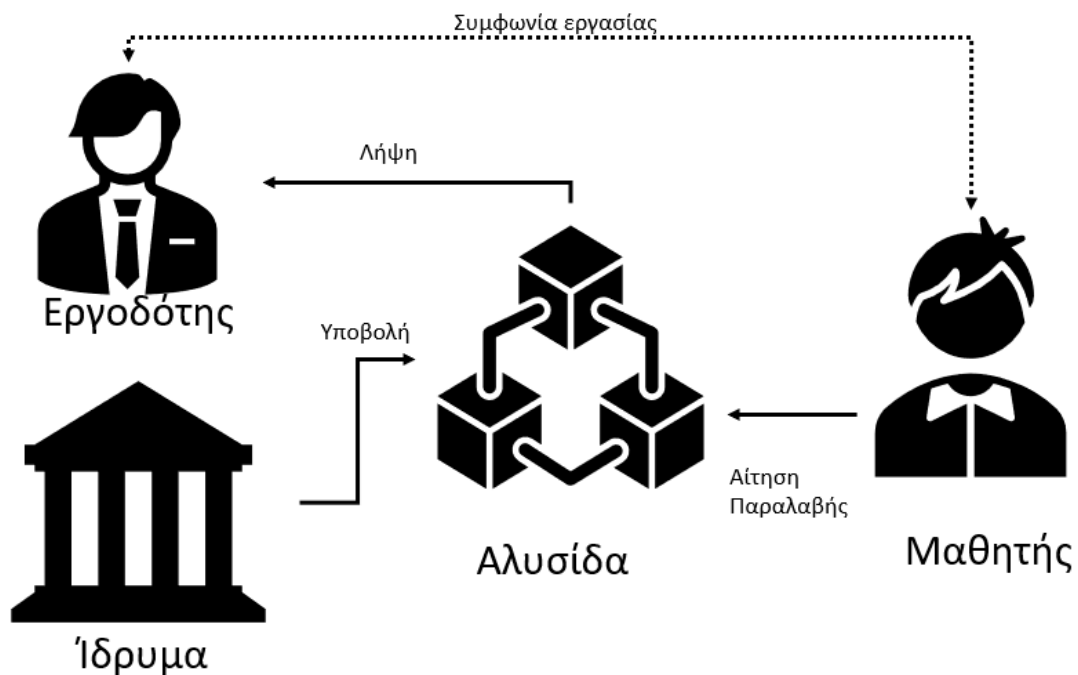
Οι τεχνολογίες αποκεντρωμένου καθολικού και πιο συγκεκριμένα της αλυσίδας καταμεμημένων εγγραφών αποτελούν μια καλή λύση στο πρόβλημα αυτό, δεδομένου ότι δεν είναι δυνατή η δημιουργία ψευδών συναλλαγών, αφού θα απορριφθούν συστημικά μέσα από τον αλγόριθμο συναίνεσης.

Πέραν όμως των ζητημάτων εγκυρότητας, η χρήση της αλυσίδας καταμεμημένων εγγραφών έγκειται στο γεγονός ότι πρόκειται για ένα σύστημα αποθήκευσης και συναλλαγής δεδομένων. Μέσα από αυτό παρέχονται δυνατότητες που δεν είναι εφικτές με τη χρήση πιστοποιητικών φυσικής μορφής, όπως η ακύρωση μιας πιστοποίησης. Αντιθέτως, η ισχύς της πρέπει να είναι περιορισμένη χρονικά και μάλιστα το χρονικό πλαίσιο αυτό να είναι προκαθορισμένο κατά την απονομή της. Η χρήση των έξυπνων συμβολαίων επιτρέπει την χρήση προγραμματίσιμων συνθηκών που θα καθορίζουν αν μια πιστοποίηση θα πρέπει να τεθεί εκτός ισχύος, να προεκταθεί ή να μονιμοποιηθεί. Ακόμη, διαδικασίες που κοστίζουν τόσο σε χρόνο όσο και σε διαχειριστικά έξοδα με τη χρήση πιστοποιητικών φυσικής μορφής, γίνονται άμεσες και με μειωμένο κόστος. Στην περίπτωση καταστροφής ή κλοπής κάποιου εγγράφου, η επανέκδοση του διαρκεί από μερικές μέρες ως και μήνες όπως για παράδειγμα αναφέρεται στο [18], ανάλογα την δυνατότητα του φορέα έκδοσης. Η επικύρωση από ένα τρίτο φορέα, όπως ένας εργοδότης, γίνεται σε συνεννόηση είτε με τον φορέα έκδοσης είτε μέσα από μια τρίτη οντότητα που επωμίζεται την επικοινωνία έναντι κάποιου αντιτίμου. Πρόκειται επομένως και πάλι για μια κοστοβόρα και χρονοβόρα διαδικασία. Και οι δύο περιπτώσεις που αναφέρθηκαν θα ήταν επιλύσιμες εντός λεπτών με σχεδόν μηδενικό κόστος αν το μόνο που χρειάζεται είναι η αναζήτηση και επικύρωση μιας συναλλαγής εντός ενός μπλοκ.

Επιπλέον, με τη χρήση ηλεκτρονικών χαρτοφυλακίων, μια συλλογή από συναλλαγές στο δίκτυο που αποδεικνύουν την απόκτηση πιστοποιήσεων όπως

προτείνεται από τους Μικρογιαννίδη κ.α [19], οι χρήστες μπορούν να απλουστεύσουν τη διαδικασία. Λόγω των ιδιοτήτων της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών και την αποκεντρωμένη φύση του, η κλιμάκωση του συστήματος είναι εφικτή στο βαθμό που επιτρέπεται η επισύναψη συναλλαγών εφ' όρου ζωής, ενισχύοντας την δια βίου μάθηση.

Σχετικά με την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος η ροή της επικοινωνίας φαίνεται στην εικόνα 2.



Εικόνα 4: Ροή επικοινωνίας για την επιβεβαίωση πιστοποιητικού

Οι Han κ.α. [20] και οι Gresch κ.α. [21] προτείνουν μια τέτοια υλοποίηση στο δίκτυο του Ethereum, με την επικοινωνία του στρώματος εφαρμογής με το στρώμα αποθήκευσης, δηλαδή η επικοινωνία του μαθητή με το δίκτυο να γίνεται μέσω έξυπνων συμβολαίων. Οι Cheng κ.α. [22] και οι Lizcano κ.α. [23] επιπροσθέτως προτείνουν μια εφαρμογή διαδικτύου για να παρέχεται μια διαισθητική διεπαφή τόσο στο φορέα που εισάγει τα δεδομένα στο δίκτυο της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, όσο και στο μαθητή που θέλει να διαμοιράζει εύκολα και γρήγορα τις πιστοποιήσεις του. Η πρόταση

του Cheng κάνει χρήση κωδίκων QR που μπορούν να μοιραστούν σε οποιοδήποτε χρειάζεται να δει μια πιστοποίηση. Αντιθέτως, οι Arenas και Fernandez [24] προτείνουν για το στρώμα εφαρμογής μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου την CredenceLedger, αλλά η υλοποίησή τους βασίζεται στο Multichain [25] και όχι σε δημόσια δίκτυα.

Οι Xu κ.ά. [26] προτείνουν για το στρώμα της αλυσίδας το ECBC, μια νέα αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών που επιτρέπει την αποτελεσματική αναζήτηση και διαχείριση εκπαιδευτικών πιστοποιητικών. Το ECBC χρησιμοποιεί μια κατανεμημένη αρχιτεκτονική, όπου διαφορετικοί κόμβοι συμβάλλουν στη διαδικασία συναίνεσης και στη διαχείριση των πιστοποιητικών. Η πλατφόρμα διαφοροποιείται χρησιμοποιεί έναν υβριδικό μηχανισμό συναίνεσης που συνδυάζει τους αλγορίθμους Proof-of-Work (PoW) και Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) για να διασφαλίσει τόσο την επεκτασιμότητα όσο και την ασφάλεια. Οι συγγραφείς παρουσιάζουν επίσης μια νέα δομή δεδομένων που ονομάζεται Merkle Patricia Tree (MPT) και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και την οργάνωση των εγγραφών πιστοποιητικών που επιτρέπει την αποτελεσματική αναζήτηση των εγγραφών και μειώνει την επιβάρυνση αποθήκευσης με την εξάλειψη των διπλών εγγραφών.

Παρόμοια, οι Srivastava κ.α. [27] προτείνουν ένα υβριδικό πλαίσιο στο επίπεδο των δικτύων. Το πλαίσιο χρησιμοποιεί ένα κατανεμημένο πρωτόκολλο συναίνεσης για την επικύρωση της χρονολογίας των παραγόμενων δεδομένων και χρησιμοποιεί μια προσέγγιση κοινοπρακτικής αλυσίδας με μια ιδιωτική αλυσίδα μπλοκ για τη διατήρηση της ανωνυμίας για τα αρχεία των φοιτητών. Το πρωτόκολλο συναίνεσης χρησιμοποιεί τον PoW για την εκλογή ενός ομότιμου μεταξύ των συνεργαζόμενων πανεπιστημίων για την προετοιμασία και την υποβολή ενός νεοδημιουργημένου μπλοκ. Χρησιμοποιούνται συναρτήσεις κατακερματισμού και δέντρα merkle για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα και η ασφάλεια της αλυσίδας μπλοκ. Οι εξορύκτες του PoW είναι ένα υποσύνολο ομότιμων κόμβων και ανταμείβονται με κρυπτοπαραστατικά.

Επεκτείνοντας στο απλοϊκό σχήμα της εικόνας 4 που δόθηκε, οι Palma κ.α. [28] προτείνουν τη χρήση της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών για τη διατήρηση του ακαδημαϊκού μητρώου αυτόματη έκδοση πιστοποιητικών πτυχίου όταν οι φοιτητές ολοκληρώνουν το πτυχίο τους, αλλά στην πρότασή τους υπάρχουν τέσσερις τύποι συμμετεχόντων που εμπλέκονται: η κεντρική αρχή, τα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα,

οι φοιτητές και οι επαληθευτές πτυχίων. Τα γεγονότα του ακαδημαϊκού ιστορικού των φοιτητών καταγράφονται στην αλυσίδα. Τρία έξυπνα συμβόλαια δημιουργούνται από την αρχή για τη διασύνδεση μεταξύ των συμμετεχόντων και της αλυσίδας. Το πρώτο έξυπνο συμβόλαιο διασφαλίζει ότι ένα ΑΕΙ μπορεί να καταγράψει γεγονότα μόνο σε σχέση με τους φοιτητές που είναι εγγεγραμμένοι σε αυτό. Το δεύτερο έξυπνο συμβόλαιο καταγράφει τους φοιτητές που είναι εγγεγραμμένοι σε ένα προπτυχιακό πρόγραμμα και τα μαθήματα που πρέπει να ολοκληρώσουν, ενώ το τρίτο έξυπνο συμβόλαιο εκδίδει ένα πιστοποιητικό πτυχίου σε έναν φοιτητή κατόπιν αιτήματος από το προηγούμενο συμβόλαιο. Παρόλο που γίνεται χρήση των έξυπνων συμβολαίων, η ιδιότητα αποκέντρωσης του συστήματος δεν φαίνεται αποδεκτή από τους συγγραφείς και εισάγουν μια κεντρική οντότητα διαχείρισης.

Τέλος οι Sharples και Domingue [29] θεωρούν πως βάσει των ιδιοτήτων των συστημάτων αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, αλλά και της έννοιας της πιστοποίησης, ισχυρίζονται πως η χρήση αρχείων δεν είναι απαραίτητη. Εισάγουν την έννοια των *kudos* δηλαδή «ευσήμων», μιας μονάδας που δίνεται σε κάποιον για την απόδειξη μιας επίτευξης, δηλαδή αντί ενός πιστοποιητικού. Δεδομένου ότι οι συναλλαγές είναι δημόσιες και ο τρόπος απόδοσης *kudos* μπορεί να οριστεί μέσω του αλγορίθμου συναίνεσης προτείνουν αυτή τη λύση έναντι της αποθήκευσης και μετάδοσης ψηφιακών αρχείων.

3.2 Διαχείριση ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, τα μπλοκ περιέχουν συναλλαγές οι οποίες με τη σειρά τους περιέχουν δεδομένα. Μια αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών είναι επομένως μια καλή πλατφόρμα τόσο για τη διαχείριση όσο και για την εξαγωγή δεδομένων σχετικά με την επιτυχία ενός εκπαιδευτικού προγράμματος.

Μέσω συναλλαγών, που μπορούν να είναι αυτόματες με τη χρήση έξυπνων συμβολαίων ή χειροκίνητες μετά από ενέργεια του διδάσκοντα, μπορούν να απονεμηθούν στο διδασκόμενο αποδεικτικά επίτευξης ενός μαθησιακού στόχου. Αυτό μπορεί να γίνει στη μορφή απονομής διδακτικών μονάδων, χρόνου παρακολούθησης, βαθμολόγησης κτλ. Όμως, ακόμη περισσότερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση

«έξυπνων» εμβλημάτων, όπως προτείνονται από τους Μικρογιαννίδη κ.α.[19]. «Τα έξυπνα εμβλήματα της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών είναι δυναμικά αρχεία πιστοποίησης... η ευρεσιτεχνία των έξυπνων εμβλημάτων της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών έγκειται στα δυναμικά τους χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, εκτός από την καταγραφή μιας μαθησιακής επίτευξης, ένα τέτοιο έμβλημα μπορεί να παρέχει εργασιακές ή περαιτέρω μαθησιακές προτάσεις... Τα δυναμικά χαρακτηριστικά αυτά υλοποιούνται σαν έξυπνα συμβόλαια».

Τέλος, συλλέγοντας τα δεδομένα από την αλυσίδα ο εκπαιδευτικός φορέας μπορεί να αξιολογήσει άμεσα την επιτυχία των προγραμμάτων του με αριθμητικές μεθόδους. Επίσης, μπορεί να αναλύσει τις τάσεις των προτιμήσεων των εκπαιδευόμενων ώστε να βελτιώσει τις παροχές προς αυτούς.

Επομένως, είναι σημαντικό να αποτραπεί η χειροκίνητη τροποποίηση της δραστηριότητας των χρηστών και η επανεγγραφή του ιστορικού μάθησής τους. Σεβόμενοι αυτή την ανάγκη, οι Farah κ.α. [30] πρότειναν μια αρχιτεκτονική που αποτελείται από τρεις σχεδιαστικές απαιτήσεις και προσεγγίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν την ιδιοκτησία και την πρόσβαση στα δεδομένα, την αυθεντικότητα των δεδομένων και τη συγκέντρωση των δεδομένων. Η αρχιτεκτονική περιλαμβάνει επίσης τρία επίπεδα, τα οποία είναι το επίπεδο της αλυσίδας, το επίπεδο εφαρμογής και το επίπεδο επικοινωνίας. Εισάγουν επίσης την έννοια του μαθησιακού αποθετηρίου, μιας ειδικά διαμορφωμένης βάσης δεδομένων. Παρατίθενται τα βήματα για τη διαδικασία καταγραφής ενός μπλοκ:

1. Ο πάροχος εκπαίδευσης δημιουργεί το μπλοκ
2. Ο εκπαιδευόμενος το εγκρίνει και το υπογράφει, προαιρετικά στέλνοντάς το σε άλλους συμμετέχοντες ως κρυπτογραφημένο μήνυμα.
3. Οι άλλοι συμμετέχοντες αποκρυπτογραφούν την υποβολή, επαληθεύουν το περιεχόμενό της, την εγκρίνουν με υπογραφή και την υποβάλλουν εκ νέου μέχρι να υπογράψουν όλα τα απαιτούμενα μέρη.
4. Καταγραφή της τιμής κατακερματισμού του υπογεγραμμένου μπλοκ για να διασφαλιστεί ότι τα δεδομένα στο εσωτερικό του μπλοκ δεν έχουν αλλοιωθεί.
5. Αποστολή του μπλοκ σε ένα ή περισσότερα αποθετήρια μάθησης, τα οποία είναι βάσεις δεδομένων προσαρμοσμένες για την αποθήκευση μπλοκ. Ανάλογα με τις ρυθμίσεις, μπορούν να φιλοξενηθούν από τον πάροχο, ένα ίδρυμα, έναν ή περισσότερους εκπαιδευόμενους ή/και άλλα τρίτα μέρη.

και τη διαδικασία ανάκτησης ενός μπλοκ:

1. Αίτημα πρόσβασης προς τον ιδιοκτήτη του αποθετηρίου μαθησιακών μπλοκ.
2. Εάν η πρόσβαση χορηγηθεί, ο αιτών μπορεί να στείλει αίτημα για το επιθυμητό μαθησιακό μπλοκ.
3. Ο ιδιοκτήτης του αποθετηρίου επαληθεύει τη νομιμότητα του αιτήματος και ελέγχει αν το αποθετήριο είναι διαθέσιμο.
4. Εάν το αίτημα είναι νόμιμο και το αποθετήριο είναι διαθέσιμο, το ζητούμενο μαθησιακό μπλοκ ανακτάται από το αποθετήριο.
5. Το ανακτηθέν μπλοκ επαληθεύεται με τη σύγκριση του κατακερματισμού του με αυτόν που έχει καταγραφεί στην αλυσίδα μπλοκ. Εάν ο κατακερματισμός είναι έγκυρος, το μπλοκ μάθησης επιστρέφεται στον αιτούντα.

Φυσικά, όπως αναφέρουν και οι Zhao κ.α. [31] η διασφάλιση της αξιοπιστίας της διαδικασίας αξιολόγησης των επαγγελματικών ικανοτήτων των μαθητών απαιτεί μια αξιόπιστη "πηγή". Επιπλέον, η αξία της αναφοράς των ικανοτήτων ενός ατόμου δεν πρέπει να βασίζεται μόνο στον βαθμό του στο πλαίσιο ενός μαθήματος, αλλά και στα ακαδημαϊκά επιτεύγματα και στις εξωσχολικές του δραστηριότητες.

Σύμφωνα με τους Duan κ.α. [32] ο αλγόριθμος συναίνεσης μπορεί όχι μόνο να εξασφαλίσει την εγκυρότητα της πηγής, αλλά και να λάβει υπόψη εναλλακτικά κριτήρια αξιολόγησης. Ο μηχανισμός Proof-of-Accreditation (PoA) που αναφέρουν χρησιμοποιεί έναν ποσοτικό και ποιοτικό τύπο για την αξιολόγηση του βαθμού επίδοσης κάθε μαθήματος. Λαμβάνει υπόψη τους ποσοτικούς δείκτες μάθησης των μαθητών, όπως οι βαθμολογίες των εξετάσεων, καθώς και την ποιοτική αξιολόγηση από τους μαθητές και τους εργοδότες για να αξιολογήσει αντικειμενικά την επίτευξη της ικανότητας των μαθητών. Ο βαθμός επίτευξης της ικανότητας του μαθήματος δοκιμάζεται και

μεταβάλλεται από τον βαθμό επίτευξης των απαιτήσεων αποφοίτησης και τον βαθμό επίτευξης των στόχων κατάρτισης της δεξιότητας και η ακρίβεια πρόβλεψης βελτιώνεται συνεχώς για να διασφαλιστεί η συναίνεση των χρηστών του συστήματος. Μια εναλλακτική προσέγγιση στο θέμα της εγκυρότητας της πηγής δίνουν οι Shen και Xiao [33], κάνοντας χρήση πολλαπλών υπογραφών, με τους οποίους συμφωνούν και οι Srivastava κ.α. [27].

3.3 Αξιολόγηση εργασιακών δεξιοτήτων και σύνδεση με την αγορά

Η μετάφραση των μαθησιακών αποτελεσμάτων και συνεπακόλουθα των ακαδημαϊκών ικανοτήτων σε εργασιακές δεξιότητες είναι ο κύριος στόχος των περισσότερων εκπαιδευτικών φορέων. Στις ως τώρα τυπικές μεθόδους για την αγορά εργασίας σημαντικό ρόλο κατέχει η φήμη του φορέα, ενώ σαν τεκμήριο πολλές φορές πανεπιστήμια διαφημίζουν την απορρόφηση των αποφοίτων τους από την αγορά. Αντ' αυτού, γίνονται προσπάθειες μέσα από τη χρήση τεχνολογιών Κατανεμημένου Καθολικού για την άμεση αξιολόγηση ικανοτήτων.

Αρχικά, εφαρμογή βρίσκεται στην ψηφιοποίηση μεθόδων του φυσικού κόσμου όπως ερωτηματολόγια ή λύσεις τυπικών προβλημάτων αξιοποιώντας τις δυνατότητες επικύρωσης που προσφέρουν αυτές οι τεχνολογίες. Μια διαδικασία που παρομοιάζει ένα ηλεκτρονικό διαγώνισμα με τη διαφορά ότι η διόρθωση γίνεται από μια ομάδα ανθρώπων που ήδη κατέχουν την εν λόγω δεξιότητα, δηλαδή ακόμη και προηγούμενους μαθητές, έχει προταθεί από τους Shen και Xiao [33]. Η σωστή επίλυση αποφασίζεται μέσα από το πρωτόκολλο συναίνεσης και οι επιτυχόντες αποκτούν τη δυνατότητα διόρθωσης μελλοντικών εξετάσεων. Οι εργοδότες αποκτούν άμεση πρόσβαση σε μαθητές που έχουν τις προσδοκώμενες ικανότητες, ενώ για τους διδάσκοντες είναι ένα άμεσο ανάλογο της δημοτικότητας τους για την προσέλκυση χρηματοδοτήσεων. Διαφορετικά, η αξιολόγηση μπορεί να γίνεται αλγοριθμικά όπως προτείνουν οι Wu και Li [34].

Μια ακόμη σημαντική διαφορά ως προς τη φύση των ερωτήσεων της εξέτασης είναι η εμπλοκή πιθανών εργοδοτών στην επιλογή των θεμάτων. Τα ερωτήματα προς επίλυση μπορεί να καθορίζονται από μια ομάδα ειδημόνων από τον ακαδημαϊκό, αλλά και τον εργασιακό χώρο [31 , 32, 19].

Τέλος, με τη χρήση των έξυπνων εμβλημάτων [19] μπορεί να ασκηθεί έλεγχος στα προνόμια του κάθε χρήστη στο σύστημα όπως περιεγράφηκε. Για τους μαθητές, αποδεικνύει το φάσμα των γνώσεων τους, τη δυνατότητα διόρθωσης γραπτών, την αύξηση της δημοφιλίας τους άρα και την προσέλκυση εργοδοτών. Για τους εργοδότες, παρέχει τη δυνατότητα συμμετοχής στην εξέταση για την εξασφάλιση των αναγκών τους και συνάμα αυξάνει τη δημοτικότητα τους αποφέροντας κέρδη.

3.4 Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον

Χρησιμοποιώντας συμβατικές και μη διαφανείς μεθόδους διοίκησης οι εκπαιδευτικοί φορείς δεν έχουν την δυνατότητα προστασίας της ιδιωτικότητας των μαθητών ή των εργαζομένων τους. Συνήθης πρακτική είναι η αποθήκευση προσωπικών δεδομένων σε φυσική μορφή και η χρήση κεντροποιημένων βάσεων δεδομένων σε τοπικό επίπεδο. Σύμφωνα με έρευνα της Western Digital [35] «λιγότερο από το ένα τρίτο των δεδομένων των βρίσκονται σε ψηφιακό νέφος, μερικές φορές ακόμη λιγότερα για ερευνητικά ιδρύματα.»

Παράλληλα, ο προϋπολογισμός των ιδρυμάτων, ένα ικανό μέρος του οποίου προκύπτει μέσω κρατικών επιχορηγήσεων στην περίπτωση των δημόσιων πανεπιστημίων, εξαρτάται από μετρικές που προέρχονται από το ίδιο το ίδρυμα, όπως ο αριθμός των μαθητών [36]. Η καταχώρηση γίνεται όμως μέσα από μηχανισμούς που κάνουν δύσκολη την επιβεβαίωση αυτών των στοιχείων.

Συνοπτικά, οι διαδικασίες μπορούν να γίνουν διαφανείς και συνάμα να σέβονται την ιδιωτικότητα των χρηστών τους μέσα από τη χρήση έξυπνων συμβολαίων. Από τη φύση τους ο κώδικας είναι δημόσιος κι έτσι εξασφαλίζεται η διαφάνεια, αλλά και μέσω της κρυπτογραφικών σχημάτων οι συναλλαγές προστατεύουν την ταυτότητα του χρήστη. Για τη συλλογή των δεδομένων, οι Zhong κ.α. [37] προτείνουν αμιγώς τη χρήση έξυπνων συμβολαίων και τη συλλογή μέσω εξυπηρετητή, ενώ οι Bdiwi κ.α. [38] προτείνουν ένα σύστημα συλλογής δεδομένων που βασίζεται στη συνδυαστική χρήση έξυπνων

συμβολαίων και συσκευών υπερ-χαμηλής ενέργειας στα πλαίσια του Ίντερνετ των Πραγμάτων.

3.5 Εξασφάλιση των μαθησιακών στόχων

Στη σημερινή εποχή, το πλέον διαδεδομένο μέσο διάθεσης εκπαιδευτικού περιεχομένου είναι οι ηλεκτρονικές πλατφόρμες εκμάθησης. Επιτρέπουν τη διασπορά γνώσης σε ευρεία κλίμακα σε αντίθεση με τα δια ζώσης εκπαιδευτικά προγράμματα. Αρκεί η δημιουργία περιεχομένου μία φορά και στη συνέχεια αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ένα οποιοδήποτε αριθμό ατόμων, οποιαδήποτε στιγμή, οσεσδήποτε φορές, ως ότου το περιεχόμενο θεωρηθεί επιστημονικά παρωχημένο και ανανεωθεί ξεκινώντας ξανά τον κύκλο παραγωγής υλικού.

Αν και το μοντέλο αυτό έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, ο έλεγχος των γνώσεων διδασκόντων δεν είναι εφικτός δεδομένης της ελεύθερης φύσης του διαδικτύου. Εν ολίγοις, επιτρέπεται σε άτομα μη καταρτισμένα να δημιουργήσουν περιεχόμενο κακής ποιότητας ή ανακυκλώνοντας υπάρχον περιεχόμενο διαπράττοντας λογοκλοπή. Όλα αυτά συμβάλλουν στην καλλιέργεια ενός κλίματος αναξιοπιστίας.

Η αδυναμία εγγύησης ποιοτικού περιεχομένου αυτόματα αποκλείει τη χρήση ηλεκτρονικών πλατφορμών εκμάθησης σε πολλές κρίσιμες ειδικότητες, όπως οι επιστήμες υγείας. «Οι κλινικοί διδάσκοντες αντιμετωπίζουν δυσκολίες για την ανέλιξη και προαγωγή τους ακαδημαϊκά, που συνήθως καταλογίζεται στην δυσκολία καταγραφής, παρακολούθησης και αξιολόγησης των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων, ειδικότερα τον αντίκτυπο τους στην κλινική διδασκαλία σε σχέση με τους μαθητές, τα συστήματα και τους φορείς» [39].

Παρ' όλ' αυτά, σε αυτά τα επαγγέλματα υπάρχουν σαφείς οδηγίες που εξηγούν αναλυτικά τις διαδικασίες και τις συμπεριφορές που απαιτεί το επάγγελμα. Οι Funk κ.α. [39] υποστηρίζουν πως «η ενσωμάτωση της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην Ιατρική Εκπαίδευση με Βάση τις Ικανότητες (CBME) και των Αξιόπιστων Επαγγελματικών Δραστηριοτήτων (EPA) είναι δυνατή και σχετικά εύκολη στην επίτευξη. Όσο οι εκπαιδευτικές κοινότητες ορίζουν τις αναγκαίες δεξιότητες (π.χ. το πλαίσιο CanMEDS και τις σχετικές EPAs που εκπροσωπούν τις κλινικές συμπεριφορές προς

επίτευξη και παρατήρηση, η αλυσίδα κατανεμημένης εγγραφής θα λειτουργούσε ως ένα ψηφιακό βιβλίο καταγραφών των παρατηρούμενων συμπεριφορών, άμεσα απευθυνόμενο σε πολλές από τις προκλήσεις της CBME» και προτείνουν την δημιουργία ηλεκτρονικών πορτφόλιο στην αλυσίδα, κάτι που μπορεί να επεκταθεί και στους υπόλοιπους κρίσιμους κλάδους που αντιμετωπίζουν αντίστοιχα προβλήματα, πέρα από τις επιστήμες υγείας.

Τονίζεται, πως μεταφέροντας το υλικό σε ένα πληροφοριακό σύστημα βασισμένο στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, το περιεχόμενο κακής ποιότητας μπορεί να απορριφθεί από τον αλγόριθμο συναίνεσης, καθώς και οποιαδήποτε απόπειρα λογοκλοπής θα είναι εμφανής στο ιστορικό των συναλλαγών. Σε αυτή την ιδέα επεκτείνουν οι Sychon και Chirtson [40], αναλύοντας ένα πλαίσιο που θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν μια αποκεντρωμένη τράπεζα εκπαιδευτικού υλικού, αξιόπιστου και από εγκεκριμένες πηγές.

3.6 Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων

Ένας μεγάλος αριθμός εκπαιδευτικών προγραμμάτων παρέχονται έναντι κάποιου αντιτίμου. Η πληρωμή αυτή γίνεται ηλεκτρονικά ή με τραπεζική μεταφορά. Αν και αυτή η απλή συναλλαγή μπορεί να επαρκούσε στο παρελθόν, πλέον με την εξέλιξη και την ολοένα αυξανόμενη χρήση της τηλεκπαίδευσης επιδέχεται βελτίωση. Τα εξ' αποστάσεως προγράμματα δίνουν τη δυνατότητα φοίτησης από οποιοδήποτε σημείο στον πλανήτη. Αυτό γεννά κάποια διαδικαστικά προβλήματα για το φορέα, αλλά και τον μαθητευόμενο. Από τη μία, ο φορέας πρέπει να καθορίσει τι θα δέχεται ως συνάλλαγμα μεριμνώντας όχι μόνο για τους ημεδαπούς, αλλά πλέον και για τους αλλοδαπούς σπουδαστές του. Σπάνια, υπάρχει η εναλλακτική επιλογή πληρωμής σε δολάρια Ηνωμένων Πολιτειών, πέρα από το εκάστοτε εγχώριο νόμισμα, που όμως οδηγεί είτε στη διαφυγή κερδών λόγω του κόστους μετατροπής είτε σε αυξημένα διδάκτρα για πληρωμές στο μη εγχώριο νόμισμα επιβαρύνοντας τους μαθητές. Επιπλέον, αξίζει να αναφέρουμε πως τα εμβάσματα του εξωτερικού χρειάζονται ένα χρονικό διάστημα για να εκτελεσθούν.

Από την άλλη, η απόκτηση κάποιας εκπαιδευτικής πιστοποίησης από φορέα του εξωτερικού δεν αναγνωρίζεται εγχώρια, παρά μόνο ακολουθώντας χρονοβόρες

γραφειοκρατικές διαδικασίες. Το πρόβλημα παραμένει και στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν πρέπει κάποιος να αποδείξει την ισχύ της εκπαίδευσης του στην αγορά εργασίας μιας χώρας εκτός αυτής από την οποία φοίτησε. Υπάρχουν βέβαια νομικά πλαίσια για την επιτάχυνση των διαδικασιών. Για παράδειγμα, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στις συνεργαζόμενες με αυτή, χρησιμοποιείται ένα ενιαίο σύστημα πιστωτικών μονάδων βάσει των μαθησιακών αποτελεσμάτων, το «European Credit Transfer and Accumulation System» (ECTS) για τη διευκόλυνση των Ευρωπαίων σπουδαστών [41].

Η αναγωγή της εκπαιδευτικής αξίας σε μία μονάδα είναι ένα καλό πρώτο βήμα για την χρήση της τεχνολογίας με στόχο την επίλυση των σύγχρονων εκπαιδευτικών προκλήσεων. Χρησιμοποιώντας υποδομές αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών ως μέσο, οι μαθητές μπορούν αρχικά να καταβάλουν τα δίδακτρα σε κάποιο κρυπτονόμισμα που μπορούν να αγοράσουν με το εγχώριο νόμισμα τους χωρίς επιπλέον χρεώσεις. Αντίστοιχα, με την ολοκλήρωση των σπουδών τους ανταμείβονται με τις κατάλληλες μονάδες [34,42,43]. Οι συναλλαγές είναι άμεσες και δημόσιες προς επικύρωση.

3.7 Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων

Για την συμμετοχή των μαθητών σε διάφορες εκπαιδευτικές δραστηριότητες απαιτείται η γραπτή συγκατάθεση των ιδίων ή του κηδεμόνων τους στην περίπτωση ανηλίκων. Είτε αυτό είναι μια υπογραφή για μια σχολική εκδρομή, είτε υπογραφή λήψης οδηγιών ασφαλείας για την συμμετοχή σε ένα εργαστηριακό πείραμα, αναφερόμαστε στην χρήση φυσικού μέσου. Αυτό εγείρει ερωτήματα όπως πως μπορεί κάποιος να άρει τη συγκατάθεση του, πως χρησιμοποιείται αυτή, πως εξασφαλίζεται η γνησιότητα της υπογραφής του και τέλος πως προστατεύεται η ιδιωτικότητα του. Στην περίπτωση της ψηφιοποίησης της απόκτησης συγκατάθεσης και συγκεκριμένα με τη χρήση αποκεντρωμένων τεχνολογιών, τα ζητήματα αυτά επιλύονται εύκολα. Οι Gilda και Mehrotra [44] προτείνουν τη χρήση κατάλληλων έξυπνων συμβολαίων για τις παραπάνω λειτουργίες. Επιπλέον, με την εφαρμογή σχημάτων δέουσας επιμέλειας (Know Your

Customer) ή ακόμη και λίστες επίτρεψης (allowlists) και σχημάτων ελέγχου δικαιωμάτων, η συγκατάθεση με τη μορφή κρυπτοπαραστατικού μπορεί να ανακληθεί και η χρήση της να επιβλεφθεί, χωρίς κίνδυνο αλλοίωσης της ή αποκαλύπτοντας προσωπικά δεδομένα του χρήστη.

3.8 Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων

Σύμφωνα με τον Berners-Lee κ.α. [45] το διαδίκτυο σήμερα έχει αλλάξει σε σχέση με τις αρχικές ιδέες σχεδιασμού του. Συγκεκριμένα, δεν είναι πλέον ένας χώρος ελεύθερης διανομής πληροφορίας, αλλά έχει μετατραπεί σε μια δομή που περιστρέφεται γύρω από εταιρείες διάθεσης υπηρεσιών διαδικτύου. Οι εταιρείες αυτές είναι σε θέση ισχύος όσο αφορά την διανομή και διαχείριση των δεδομένων που χρησιμοποιούν μα και συλλέγουν οι υπηρεσίες τους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ολιγοπώλια. Οι χρήστες όχι μόνο είναι αναγκασμένοι να παρέχουν τον έλεγχο των δεδομένων τους για τη χρήση των εν λόγω υπηρεσιών, αλλά τα χάνουν ολοσχερώς στην περίπτωση που η υπηρεσία διακοπεί κατά την κρίση της εταιρείας.

Η προέκταση της τάσης αυτής στην εκπαίδευση είναι εμφανής αν σκεφτεί κανείς τη διαχείριση των πνευματικών δικαιωμάτων στην εποχή των συστημάτων διαχείρισης εκπαίδευσης (LMS), των μαζικών ανοικτών διαδικτυακών μαθημάτων (MOOC) και των ηλεκτρονικών πλατφορμών όπως το YouTube. Λόγω του μεγέθους του όγκου της πληροφορίας και την δυνατότητα μεταφόρτωσης με την δημιουργία ενός λογαριασμού, ο έλεγχος για τη σωστή διαφύλαξη των πνευματικών δικαιωμάτων γίνεται ιδιαίτερα περίπλοκος και απαιτεί ενέργειες από την πλευρά του κατόχου τους.

Οι Horii κ.α. [46] προτείνουν ως μια ικανή λύση στο παραπάνω πρόβλημα την υιοθέτηση της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών και την χρήση των έξυπνων συμβολαίων για την διασφάλιση των πνευματικών δικαιωμάτων στην παραγωγή εκπαιδευτικού υλικού. Στην πλατφόρμα αποκεντρωμένης αρχιτεκτονικής που προτείνουν, το περιεχόμενο είναι στη μορφή ενός ηλεκτρονικού βιβλίου EPUB3 και καταχωρείται ως στοιχείο στο δίκτυο, έχοντας μοναδικά διακριτικά ιδιοκτησίας βάσει της λογικής του συμβολαίου.

3.9 Εξ 'αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή

Τα πλεονεκτήματα της εξ' αποστάσεως διδασκαλίας έναντι της παραδοσιακής διαζώσης διδασκαλίας είναι πολλαπλά. Εξαιτίας της ασύγχρονης φύσης της, δίνεται στο άτομο μεγαλύτερη ελευθερία ως προς τη μελέτη του. Τα ζητήματα που αφορούν το χώρο ή τη χρονική στιγμή που θα διεξαχθεί μια διάλεξη δεν υφίστανται, επιτρέποντας τόσο στους μαθητές, όσο και στα εκπαιδευτικά ιδρύματα, μια ευελιξία γύρω από τον εκπαιδευτικό τους σχεδιασμό.

Από την πλευρά των ιδρυμάτων, η αποταμίευση πόρων είναι σημαντική. Πιθανές ελλείψεις σε εκπαιδευτικό προσωπικό ή υλικές υποδομές υπερκερνώνονται με την παραγωγή ψηφιακού υλικού, το οποίο μπορεί να καταναλωθεί από τους μαθητές κατ' επανάληψη.

Από την πλευρά των εκπαιδευόμενων, ατομικές διαφορές ως προς τον τρόπο, την ταχύτητα και την στοχοθεσία της εκμάθησης εξαλείφονται, δεδομένου ότι η σειρά ή και η ταχύτητα με την οποία θα καταναλωθεί το υλικό είναι στην προσωπική τους ευχέρεια. Ακόμη, ανασταλτικοί παράγοντες που εμποδίζουν την επικοινωνία των μαθητών με τον διδάσκοντα ή και μεταξύ τους μπορούν να παρακαμφθούν, όπως για παράδειγμα ο φόβος της δημόσιας έκθεσης, μέσα από τη χρήση φόρουμ. Εντούτοις, η εξ' αποστάσεως διδασκαλία δεν είναι πανάκεια. Αν και όπως προαναφέρθηκε η χρήση ασύγχρονων τρόπων επικοινωνίας έχει οφέλη, η διάδραση μεταξύ των συμμετεχόντων πλήττεται. Όχι μόνο κατά τη συμμετοχή, αλλά και κατά την αφομοίωση του αντικειμένου. Πολλές πλατφόρμες δεν έχουν τεχνικά χαρακτηριστικά διαμοιρασμού των περιεχομένων τους για την αποφυγή παράνομης αναπαραγωγής τους, με αποτέλεσμα να γίνεται ο διαμοιρασμός εκπαιδευτικού υλικού από περίπλοκος ως αδύνατος.

Μέσα από ένα διομότιμο δίκτυο όπως το δίκτυο του Ethereum που προτείνουν οι Zhong κ.α. [37], μπορεί να γίνει διαμοιρασμός πληροφορίας με ασφαλή τρόπο. Οι κόμβοι του δικτύου εκτελούν συναλλαγές στη μορφή ενός μπλοκ, τα οποία εμπεριέχουν το εκπαιδευτικό υλικό. Για την εισαγωγή υλικού στο δίκτυο το ρόλο του επικυρωτή αναλαμβάνει ο δημιουργός του υλικού, επομένως ένα δίκτυο αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών πληροί τα απαραίτητα χαρακτηριστικά.

3.10 Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση

Μέχρι τώρα είδαμε συγκεκριμένες χρήσεις της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών γύρω από την καλυτέρευση των διαδικασιών όπως για παράδειγμα η πιστοποίηση επίτευξης κάποιου μαθησιακού στόχου, δίνοντας στο διδάσκοντα την ελευθερία να σχηματίσει ο ίδιος τον μηχανισμό που θα κρίνει την ικανότητα των μαθητών. Χρησιμοποιώντας συμβατικά μέσα, η επιλογή των θεμάτων είναι μια διαδικασία πολλών βημάτων που συνοπτικά αναλύεται ως εξής στη γενική περίπτωση:

1. Ο υπεύθυνος του μαθήματος σχηματίζει την ύλη, επιλέγεται βοηθητικό διδακτικό προσωπικό και εξωτερικοί αξιολογητές, αν υπάρχουν.
2. Κατατίθεται ένα προσχέδιο των θεμάτων με τις απαντήσεις τους προς αξιολόγηση.
3. Το διδακτικό προσωπικό αξιολογεί το προσχέδιο και προτείνει τυχόν διορθώσεις.
4. Ο υπεύθυνος του μαθήματος επανακαταθέτει τα θέματα, δεδομένης της προηγούμενης αξιολόγησης.
5. Αν υπάρχει εξωτερικός αξιολογητής, κάνει οποιαδήποτε σχόλια έχει σχετικά με τα θέματα λαμβάνοντας υπ' όψη την προηγούμενη αξιολόγηση.
6. Το τελικό προσχέδιο διαμορφώνεται.
7. Υπογράφονται τα τελικά θέματα και πηγαίνουν προς διανομή.

Πέραν όμως της δυσκολίας ανάθεσης θεμάτων, εγείρονται ζητήματα σχετικά με το αδιάβλητο της εξέτασης ή της διαρροής πληροφοριών σχετικά με τα θέματα. Σε ολιγομελή προγράμματα είναι εφικτή η ένας προς έναν επιτήρηση, αλλά σε προγράμματα με μεγάλο αριθμό σπουδαστών κάτι τέτοιο δεν είναι πρακτικό και υπάρχει ενδεχόμενο αθέμιτης σύμπραξης.

Οι Mitchell κ.α. [47] προτείνουν τη μόχλευση των ιδιοτήτων της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, με στόχο να προσφέρουν μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τα διαχειριστικά δικαιώματα των συμμετεχόντων. Ο κάθε ρόλος δεν είναι απαραίτητα προσωποπαγής και μέσα από τη χρήση έξυπνων συμβολαίων γίνεται να μετατεθούν οι απαιτούμενοι ρόλοι σε τρίτα πρόσωπα με ασφαλή τρόπο έχοντας επίβλεψη της πορείας των δεδομένων και επομένως έχοντας γνώση οποιασδήποτε διαρροής.

Κεφάλαιο 4: Προκλήσεις ενσωμάτωσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λόγος για τις αιτίες που αντιτίθενται στην ένταξη δικτύων κατανεμημένης εγγραφής στην τεχνολογική υποδομή που προσφέρουν οι εκπαιδευτικοί φορείς για την διεύρυνση των υπηρεσιών τους. Συνοπτικά, τα προσκόμματα σχετίζονται τόσο με την συναρμογή με την ισχύουσα τάξη πραγμάτων, νομικά ή τεχνολογικά, όσο και με την αδράνεια του κοινού νου απέναντι σε κάτι ρηξικέλευθο, την αποδοχή της αγοράς και την υποστήριξη της καινοτομίας. Οι τομείς που αναλύονται έρχονται σε αντιστοιχία με το τρίλημμα του Zooko [48] και της κλιμάκωσης όπως αυτό εκφράστηκε από τον Buterin [49]. Σύμφωνα με τον Zooko Wilcox-O’Hearn αναφερόμενος στη σχέση των χώρων ονομάτων και τα αυτουπογραφούμενα (self-signing) ονόματα, «δεν μπορείς να έχεις ένα χώρο ονομάτων που είναι και τα τρία: κατανεμημένο (υπό την έννοια ότι δεν υπάρχει κεντρική αρχή που να ελέγχει το χώρο ονομάτων, που είναι το ίδιο σαν να λέμε ότι ο χώρος ονομάτων ξεπερνά τα όρια εμπιστοσύνης [του χώρου], ασφαλές (με την έννοια ότι η εύρεση ονομάτων δεν μπορεί να εξαναγκαστεί στην επιστροφή λανθασμένων τιμών από κάποιο επιτιθέμενο, ορίζοντας ως λανθασμένο βάσει κάποιας καθορισμένης καθολικής πολιτικής κτήσης ονομάτων) και να έχεις και [κρυπτογραφικά] κλειδιά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από ανθρώπους». Αντίστοιχα, ο Buterin εξηγεί πως μπορούν να επιτευχθούν μόνο τα δύο εκ των τριών: ασφάλεια, αποκέντρωση και κλιμάκωση. Αρχικά αναλύονται ζητήματα ασφαλείας και αποκέντρωσης, έπειτα κλιμάκωσης και τέλος της αξίας της χρήσης από τον άνθρωπο.

4.1 Ασφάλεια, προστασία δεδομένων και αποκέντρωση

Σύμφωνα με την έρευνα που έγινε για λογαριασμό του Ευρωκοινοβουλίου από την Michèle Finck [50] για τις περιπλοκές χρήσης της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών σε σχέση με τον Γενικό Κανονισμό Προστασίας Δεδομένων (General Data Protection

Regulation – GDPR) υπάρχουν κάποια σημεία που αποτελούν γκρίζες ζώνες για την εφαρμογή του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων.

Συγκεκριμένα, η Finck αναφέρει: « Ο στόχος του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων είναι διπτός. Από τη μία, προσπαθεί να ενισχύσει την ελεύθερη διακίνηση προσωπικών δεδομένων μεταξύ των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Από την άλλη, παγιώνει ένα πλαίσιο θεμελιώδους προστασίας δικαιωμάτων, βασισμένο στο δικαίωμα στην προστασία δεδομένων όπως αυτό ορίζεται στο άρθρο 8 της Χάρτας των Θεμελιωδών Δικαιωμάτων. Το νομικό πλαίσιο δημιουργεί μια σειρά υποχρεώσεων για τους χειριστές δεδομένων, που είναι οι οντότητες που καθορίζουν τα μέσα και το σκοπό της επεξεργασίας δεδομένων. Επίσης, δίνει μια σειρά δικαιωμάτων στα υποκείμενα των δεδομένων – τα φυσικά πρόσωπα που τα δεδομένα αντιστοιχούν – που μπορούν να επιβληθούν έναντι των χειριστών δεδομένων.».

Συνεχίζει λέγοντας: «Αρχικά, ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων βασίζεται στην υποκείμενη υπόθεση πως για κάθε σημείο προσωπικών δεδομένων αντιστοιχεί τουλάχιστον ένα φυσικό ή νομικό πρόσωπο – ο χειριστής δεδομένων – στον οποίο τα υποκείμενα δεδομένων μπορούν να απευθυνθούν για την επιβολή των δικαιωμάτων τους κατά τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτοί οι χειριστές δεδομένων οφείλουν να συμμορφώνονται με τις υποχρεώσεις που τους επιβάλλει ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων....Δεύτερον, ο Γενικός Κανονισμός Προστασίας Δεδομένων στηρίζεται στην υπόθεση πως τα δεδομένων μπορούν να μεταβληθούν ή διαγραφούν όποτε κρίνεται αναγκαίο, όπως στα άρθρα 16 και 17 του Γενικού Κανονισμού Προστασίας Δεδομένων».

Βάσει των παραπάνω αποσπασμάτων, εγείρονται ερωτήματα σχετικά με το πως ορίζεται ένας χειριστής δεδομένων σε ένα αποκεντρωμένο σύστημα που οι εμπλεκόμενες οντότητες δεν συγκλίνουν σε μία συγκεκριμένη ταυτότητα. Επίσης, βασική ιδιότητα ενός τέτοιου συστήματος είναι η ανικανότητα μεταβολής των δεδομένων (άρθρο 16 του GDPR) και η διαγραφή τους (άρθρο 17 του GDPR) για την εξασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων. Επιπλέον, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως το GDPR δεν έχει ισχύ σε ανώνυμα δεδομένα, επομένως παραμένει αδιευκρίνιστο αν έχει ισχύ στα δεδομένα της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, εφόσον οι τεχνολογίες ανωνυμοποίησης δεν είναι κοινές σε όλα τα έργα. Σύμφωνα με τη Finck, οι σχεδιαστές και αρχιτέκτονες τέτοιων

συστημάτων θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους τα παραπάνω κατά το σχεδιασμό αν θέλουν να λειτουργούν έννομα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Ακόμη και εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, τίθενται αντίστοιχα ζητήματα. Αν και εκεί δεν υπάρχει ομοσπονδιακό νομικό πλαίσιο προστασίας προσωπικών δεδομένων, υπάρχουν πολιτειακοί νόμοι. Σύμφωνα με το Νόμο περί απορρήτου των καταναλωτών της Καλιφόρνια του 2018 (California Consumer Privacy Act – CCPA), που κατά τους Pardaou κ.α. είναι «ο πιο ευρύς πρωταρχικός νόμος ιδιωτικότητας σε ισχύ στις Ηνωμένες Πολιτείες ως σήμερα» [51], εγείρονται αντίστοιχα ζητήματα. Η έννοια του χειριστή δεδομένων συνεχίζει να αναφέρεται σε κεντροποιημένα συστήματα, δημιουργώντας μια ασυνέχεια στο κατά πόσο μπορεί να εφαρμοσθεί ο νόμος σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο.

Πέρα όμως από τα προβλήματα αποκέντρωσης, τίθενται και ζητήματα ασφαλείας που σχετίζονται με την προστασία προσωπικών δεδομένων. Μία ακόμη βασική ιδιότητα των δικτύων κατανεμημένης εγγραφής είναι η δημόσια πρόσβαση. Οι Chowdhury κ.α. [52] επισημαίνουν πως ενώ τα εν λόγω συστήματα βασίζονται στην κρυπτογραφία δημοσίου κλειδιού, τα δεδομένα δεν είναι απαραίτητα κρυπτογραφημένα. Πέρα της αποθήκευσης κρυπτογραφημένων δεδομένων, άλλες λύσεις είναι η χρήση πρωτοκόλλων αποδείξεων μηδενικής γνώσης αν και έχουν υψηλό κόστος ακόμη και με τη χρήση αποδείξεων ZK-Snarks (Zero-Knowledge Succinct Non-Interactive Argument of Knowledge) που θεωρούνται πιο οικονομικές [53].

Τέλος, τα τεχνικά ζητήματα μπορούν να επιλυθούν ευθέως με κατάλληλο σχεδιασμό και υλοποίηση. Όμως η συναρμογή με τα ρυθμιστικά και νομικά πλαίσια δεν είναι ξεκάθαρη, μιας και «χρειάζεται μια προσέγγιση για να βρεθεί ισορροπία μεταξύ ρυθμιστικών και νομικών πλαισίων και των εφαρμογών καινοτόμων τεχνολογιών αλυσίδων κατανεμημένης εγγραφής» όπως αναφέρουν οι Carter κ.α. [54]. Αυτό δυσκολεύει σημαντικά την μαζική χρήση, συμπεριλαμβανόμενης της εκπαίδευσης. Ταυτόχρονα, επιτρέπει στους δημιουργούς των συστημάτων να συμμετέχουν στη διαδικασία ασκώντας δια μέσω του έργου τους παρεμβάσεις καθοδήγησης της νομικής διαδικασίας.

4.2 Κλιμάκωση και αποδοτικότητα

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει μια πληθώρα πεδίων εφαρμογής της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών στην εκπαίδευση. Κάθε ένα από αυτά απαιτεί διαφορετική υποδομή, υπό την έννοια ότι ένα σύστημα καταχώρησης εγγραφών δεν χρειάζεται να έχει το ίδιο γρήγορη επεξεργασία συναλλαγών όσο ένα σύστημα που υλοποιείται με έξυπνα συμβόλαια και παρέχει δυναμικό περιεχόμενο. Σε όλες όμως τις περιπτώσεις το δίκτυο πρέπει να εξυπηρετεί τις ανάγκες για τις οποίες σχεδιάστηκε, διαφορετικά δεν θα υπάρξει μαζική ενσωμάτωση τους στις λειτουργίες των φορέων εκπαίδευσης. Επίσης, η αποδοτικότητα των κατανεμημένων και αποκεντρωμένων δικτύων σχετίζεται άμεσα με την ικανότητα τους να κλιμακωθούν, δεδομένου ότι οι πόροι του συστήματος είναι διασκορπισμένοι στους κόμβους που τα απαρτίζουν. Παρατηρείται λοιπόν μία πολυεπίπεδη σχέση εξάρτησης ανάμεσα στην αποδοτικότητα και τη μαζική αποδοχή.

Σχεδιαστικές επιλογές όπως το μοντέλο συμμετοχής, δηλαδή αν πρόκειται για δίκτυο με προκαθορισμένους ή μη συμμετέχοντες, επηρεάζουν την ταχύτητα. Όπως αναφέρουν οι Qin και Gervais [55] «Τα πρωτόκολλα συναίνεσης κλειστών ομάδων είναι φυσικά πιο γρήγορα, από τα δίκτυα χωρίς άδεια», αν και συμπληρώνουν πως το 70% των δικτύων της αγοράς είναι «ελεύθερα». Η αποκέντρωση σε ένα «κλειστό» δίκτυο είναι αναμενόμενη και η αγορά δείχνει σημαντική προτίμηση στα «ανοιχτά» και διαφανή δίκτυα.»

Επιπλέον, το πρωτόκολλο συναίνεσης ορίζει τον υπολογιστικό φόρτο των συμμετεχόντων. Πρωτόκολλα που βασίζονται σε εξειδικευμένο υλικολογισμικό ή που εγείρουν ενεργειακά κόστη όπως το πλέον διαδεδομένο πρωτόκολλο PoW είναι δύσκολο να κλιμακωθούν, λόγω κόστους. Από την άλλη, πρωτόκολλα που χρησιμοποιούν επικυρωτές καλούνται να βρουν τη χρυσή τομή ανάμεσα στην αποκέντρωση και την ασφάλεια. Μεγάλος αριθμός επικυρωτών συνεπάγεται ταχύτητα και υψηλή αποκέντρωση, αλλά το να επιβλεφθεί από το κοινό πως λειτουργούν κατά τον κανονισμό γίνεται δυσκολότερο. « Σε μια πλατφόρμα που απαιτείται έγκριση συμμετοχής ο βαθμός εμπιστοσύνης ενός επικυρωτή είναι μεγαλύτερος από μια πλατφόρμα που δεν απαιτεί

τέτοια έγκριση.» [56]. Αν ο αριθμός των επικυρωτών είναι μικρός, τίθενται ζητήματα αποκέντρωσης αφού το σύστημα εκφυλλίζεται σε ολιγαρχικό.

Μια εξίσου σημαντική για την απόδοση οντότητα είναι το ίδιο το μπλοκ. Συγκεκριμένα δύο παράμετροι που το αφορούν έχουν σημασία: ο χρόνος αναμεταξύ δύο μπλοκ και το μέγεθος του μπλοκ. Σχετικά με το χρόνο, η μείωση του αφ' ενός αυξάνει των αριθμό των συναλλαγών ανά δευτερόλεπτο, την πλέον σημαντική μετρική για την απόδοση ενός δικτύου. Αφ' ετέρου βάλλεται η ασφάλεια, αφού είναι ευκολότερη η διακλάδωση του δικτύου και η επίτευξη «επιθέσεων διακλάδωσης, όπου αποκλίνουσες αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών παράγονται για την εισαγωγή νέων χαρακτηριστικών για την διευκόλυνση παραβιάσεων ασφαλείας.»[57]. Αναφορικά με το μέγεθος του μπλοκ, ναι μεν μεγαλύτερο μέγεθος συνεπάγεται περισσότερες συναλλαγές ως περιεχόμενο και αύξηση της απόδοσης, αλλά δίνεται μεγαλύτερη εξουσία στους εξορύκτες-επικυρωτές. Έτσι διευκολύνονται σενάρια επιθέσεων εγωιστικής εξόρυξης, δηλαδή την καθυστέρηση δημοσίευσης στο δίκτυο κάποιου επιλεγμένου μπλοκ τέτοιου ώστε να μεγιστοποιηθεί το κέρδος του εξορύκτη για παράδειγμα δημιουργώντας μια διακλαδωμένη αλυσίδα. Στην περίπτωση αυτή, «η δημιουργία μιας κρυφής αλυσίδας σε μια προσπάθεια αντιστροφής πληρωμών ονομάζεται επίθεση διπλής δαπάνης» [58].

Εν κατακλείδι, οι σχεδιαστές των συστημάτων που αφορούν την εκπαίδευση πρέπει να λάβουν υπ' όψιν όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν και να κάνουν μία όσο το δυνατό ακριβέστερη εκτίμηση των αναγκών τους γίνεται. «Με την κατάλληλη ρύθμιση κάποιων παραμέτρων, μπορεί να επιτευχθεί δεκαπλάσια κλιμάκωση, χωρίς να θυσιαστεί η ασφάλεια.» [59].

4.3 Σκεπτικισμός της αγοράς

Σε πρωτογενή έρευνα που διεξήγαγε η Steiu [59] σε σχέση με τους ανασταλτικούς παράγοντες αξιοποίησης δικτύων αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών από εκπαιδευτικούς φορείς, επισημάνθηκαν τρεις κύριες οντότητες ως υπεύθυνες για τη μαζική υιοθέτηση των εν λόγω δικτύων: οι κυβερνήσεις, η αγορά εργασίας και το διοικητικό προσωπικό των φορέων.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, υπάρχει έλλειψη ρυθμιστικών και νομικών πλαισίων όσον αφορά τις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών. Όμως, δείξαμε στο κεφάλαιο τρία πως η σημασία αυτών για την εκπαίδευση είναι πολυσήμαντη, ειδικότερα στην ενίσχυση εναλλακτικών τρόπων εκμάθησης όπως οι ηλεκτρονικές πλατφόρμες, η εξ' αποστάσεως ή και η ασύγχρονη εκπαίδευση. Τα παραπάνω συμβάλλουν στην συμπερίληψη ανθρώπων που το παραδοσιακό σύστημα εκπαίδευσης δεν έχει την υποδομή να περιλάβει και είναι στην ευχέρεια των κυβερνητικών οργάνων να ενισχύσουν το μοντέλο και να κατοχυρώσουν τα δικαιώματα των μη-παραδοσιακά εκπαιδευόμενων. Παρ'όλα αυτά, η Steiu αναφέρει πως «τα κυβερνητικά ενδιαφερόμενα μέρη στα πανεπιστήμια αναγνώριζαν τα οφέλη των εφαρμογών αλυσίδων κατανεμημένης εγγραφής στην εκπαίδευση, αλλά δεν είχαν κίνητρο να τις υλοποιήσουν. Αυτό γιατί ήταν περισσότερο απασχολημένοι με την καθημερινή ακαδημαϊκή απόδοση του σώματος των μαθητών και τον ανταγωνισμό με τα υπόλοιπα τοπικά εκπαιδευτικά ιδρύματα».

Χωρίς το απαραίτητο ρυθμιστικό υπόβαθρο, είναι ριψοκίνδυνο για την αγορά εργασίας να επενδύσει στην ανάπτυξη των εν λόγω συστημάτων, να εκπαιδεύσει προσωπικό στη χρήση τους και να αλλάξει παγιωμένες διαδικασίες προσέλκυσης ανθρώπινου δυναμικού. Αξίζει να αναφερθεί πως «οι εργοδότες στις αναπτυσσόμενες οικονομίες εκτιμούν περισσότερο τα παραδοσιακά πτυχία εις βάρος των εξ αποστάσεως και πιο ανεπίσημων εκπαιδευτικών μεθόδων. Σε αυτό το πλαίσιο, η πιστοποίηση μέσω αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών μπορεί να εμψυχήσει εμπιστοσύνη στα εμπλεκόμενα μέρη εξασφαλίζοντας την εγκυρότητα των πιστοποιήσεων που αποκτούνται από μη παραδοσιακά μέσα».

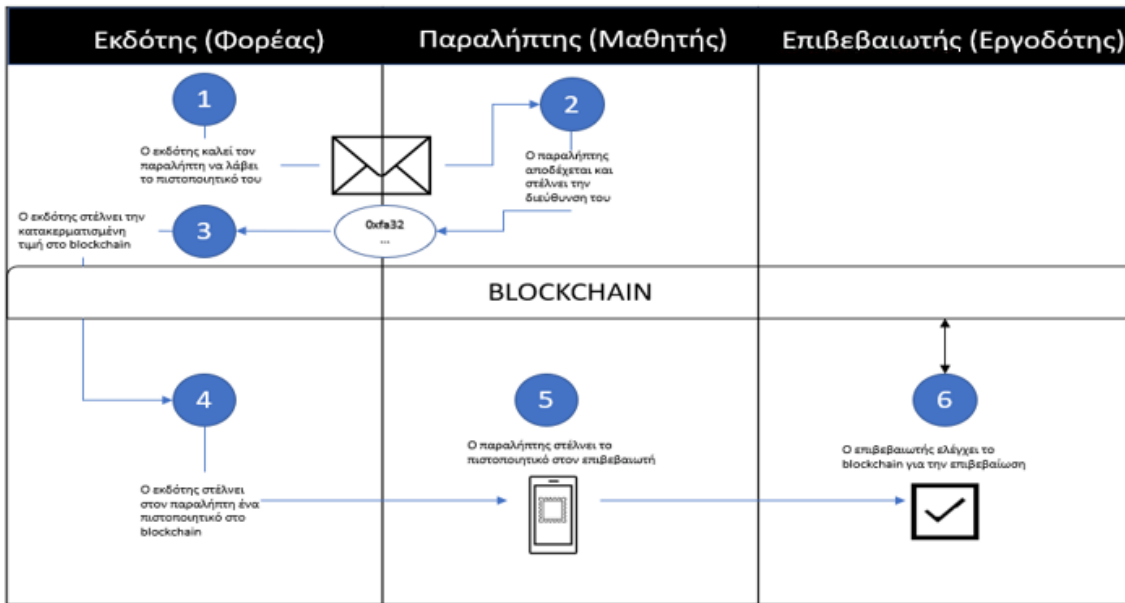
Τελευταία αλλά εξίσου σημαντική είναι η αρωγή των ίδιων των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων. Κύριος σκόπελος για αυτά είναι η εκπαίδευση του διοικητικού προσωπικού που λειτουργούν το πανεπιστήμιο και τις λειτουργίες που δύνανται προς βελτίωση. Χωρίς τις απαραίτητες πιέσεις από την αγορά εργασίας προς αυτή την κατεύθυνση, οι εκπαιδευτικοί φορείς δεν έχουν επαρκή κίνητρα. Δεδομένου ότι το 92% των έργων που αφορούν αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών αποτυγχάνουν [60], είναι αναμενόμενο να επικρατεί ένα κλίμα δυσπιστίας που μπορεί να επιλυθεί μέσα από τη σύμπραξη κυβερνητικών θεσμών, της αγοράς εργασίας και των ιδρυμάτων.

Κεφάλαιο 5: Ανασκόπηση των έργων

Στο κεφάλαιο 5, αναλύονται 20 ενδεικτικά εμπορικά έργα που υλοποιούν την τεχνολογία της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών. Επιλέχθηκαν ως αντιπροσωπευτικά των πιο δημοφιλών κατηγοριών έργων. Πρόκειται για πρωτόκολλα και πρότυπα, πλατφόρμες, εφαρμογές νέφους ή κινητού τηλεφώνου, φυσικών εφαρμογών στα πλαίσια του ίντερνετ των πραγμάτων, αλλά και συνδυασμούς των παραπάνω. Κάποια δημοφιλή έργα όπως το *Gilgamesh* [61] και το *Edgecoin* [62] παραλήφθηκαν λόγω διακοπής της λειτουργίας τους ή λόγω έλλειψης επαρκών δεδομένων.

5.1 Blockcerts

Το Blockcerts [24, 63, 64, 65, 66, 67] είναι ένα πρότυπο ανοιχτού κώδικα από το Εργαστήριο Πολυμέσων του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Μασαχουσέτης (MIT Media Lab) που χρησιμοποιείται για εφαρμογές σχετικές με την έκδοση και επικύρωση πιστοποιητικών, συμπεριλαμβανομένων και των εκπαιδευτικών φυσικά. Στόχο έχει να παρέχει στο χρήστη αυτοκυριαρχία της ψηφιακής ταυτότητας και την ευκολία πιστοποίησης του μέσα από μια σειρά εύχρηστων εργαλείων, καθώς και απρόσκοπτη διαθεσιμότητα στις πιστοποιήσεις του. Για να επιτύχει τα παραπάνω, είναι αναγκαία η αποφυγή ύπαρξης ενός σημείου αποτυχίας (*single point of failure*), υπό την έννοια ότι η υπηρεσία δεν στηρίζεται στην αλάνθαστη λειτουργία κανενός από τα τμήματα που την απαρτίζουν, ένα από τα πλεονεκτήματα των αποκεντρωμένων τεχνολογιών. Η λειτουργία συνοψίζεται σε έξι απλά βήματα, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Διάγραμμα χρήσης του Blockcerts
Προσαρμοσμένο από [62]

Αρχικά, ο εκπαιδευτικός φορέας καλεί τον μαθητή να λάβει το πιστοποιητικό του και εκείνος με τη σειρά του γνωστοποιεί την διεύθυνση του στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών στο φορέα. Έπειτα, ο φορέας εισχωρεί την τιμή κατακερματισμού στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών και επιστρέφει το πιστοποιητικό στον μαθητή. Στη συνέχεια, αυτός το στέλνει στον δυνητικό του εργοδότη και αυτός με τη σειρά του επιβεβαιώνει μέσω του δικτύου.

Για την ομαλή επικοινωνία των συμμετεχόντων, έχουν δημιουργηθεί εφαρμογές κινητού τηλεφώνου για τα πορτοφόλια, τόσο για Android όσο και για iOS. Στο επίπεδο της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, το πρότυπο είναι αγνωστικό ως προς το δίκτυο που χρησιμοποιείται αν και στην τρίτη και πιο πρόσφατη έκδοση κατά την συγγραφή του παρόντος οι συγγραφείς του υποστηρίζουν τα δίκτυα του Ethereum και του Bitcoin εγγενώς, μα υπάρχουν επιπλέον υλοποιήσεις όπως για το Hyperledger Fabric [62]. Μάλιστα πλέον υποστηρίζεται και η χρήση DID (Decentralized Identifiers). Είναι σχεδιασμένα για να επιτρέπουν σε άτομα και οργανισμούς να παράξουν τα δικά τους

αναγνωριστικά μέσω συστημάτων που εμπιστεύονται. Αυτά τα αναγνωριστικά επιτρέπουν στις οντότητες να αποδείξουν τον έλεγχο που έχουν σε αυτά, πιστοποιημένα μέσα από κρυπτογραφικές αποδείξεις όπως οι ψηφιακές υπογραφές» [15].

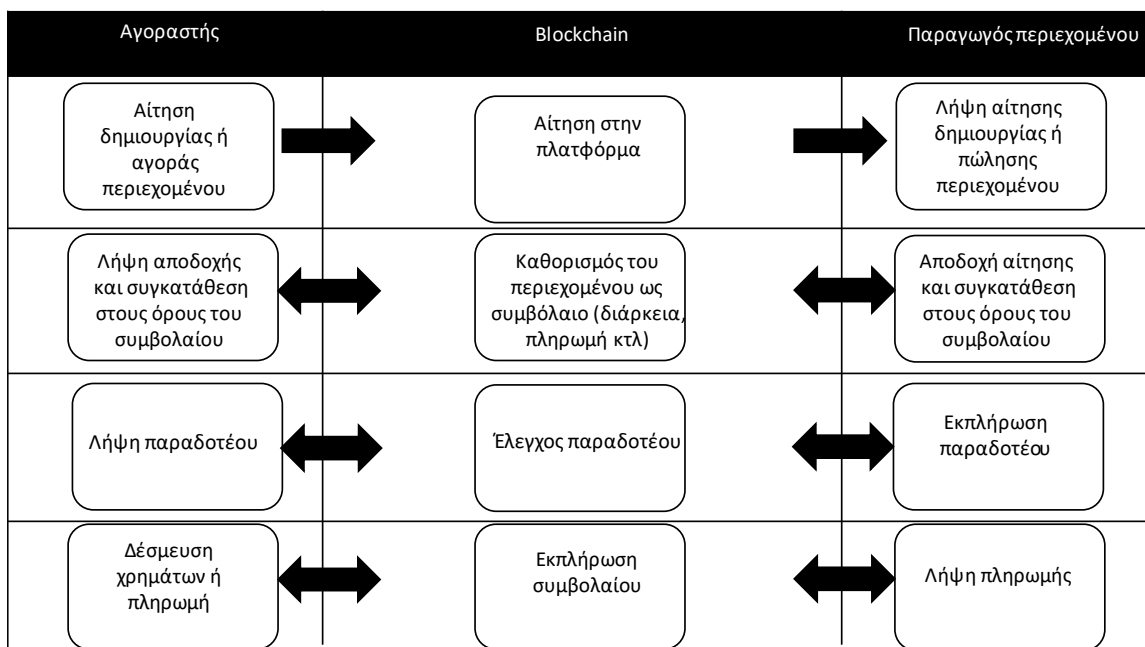
Σαν πρότυπο έχει σημαντική απήχηση και έχει μελετηθεί εκτενώς. Αναφορικά, το πανεπιστήμιο του Birmingham πρότεινε βελτιωμένους μηχανισμούς για την ταυτοποίηση των χρηστών, αλλά και την ανάκληση ενός πιστοποιητικού σε προηγούμενες εκδόσεις του Blockcerts [68]. Επίσης, χρησιμοποιείται για την έκδοση πιστοποιητικών όλων των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων της Μάλτας [69].

5.2 Cubomania

Το Cubomania [70] είναι ένα εκπαιδευτικό οικοσύστημα απευθυνόμενο σε παιδιά με στόχο την ανάπτυξη των δεξιοτήτων τους. Πρόκειται για ένα συνδυασμό μιας ηλεκτρονικής πλατφόρμας βασισμένης στην αλυσίδα καταμεμημένων εγγραφών του Ethereum και ένα παιχνίδι-κύβο βασισμένο στην τεχνητή νοημοσύνη στα πλαίσια του Ίντερνετ των πραγμάτων. Η πλατφόρμα είναι προσβάσιμη από τον κύβο για το παιδί και από μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου για τον γονέα και στις αλληλεπιδράσεις τους χρησιμοποιείται ως αναλώσιμο το CUBO, ένα κρυπτοπαραστατικό εγγενές στην πλατφόρμα.

Από την πλευρά του χρήστη-παιδιού, η βασική αξία έγκειται στην διάδραση του με δύο διαφορετικούς τύπους ψηφιακών χαρακτήρων: παιχνιδιού και εκπαίδευσης. Ο ρόλος των πρώτων είναι να αναπτύξουν κοινωνικές δεξιότητες στο χρήστη, που αναλαμβάνει να καλύψει τις ανάγκες του χαρακτήρα μέσα από μια σειρά κινήσεων όπως τροφή, ένδυση κτλ. ως ένα ψηφιακό κατοικίδιο. Ο ρόλος των δεύτερων είναι να καθοδηγήσουν το χρήστη σε μία σειρά από εκπαιδευτικά προγράμματα. Ο γονέας έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τα προγράμματα και μέσω ενός έξυπνου συμβολαίου να δεσμεύσει CUBO, τα οποία απελευθερώνονται για χρήση στο λογαριασμό του παιδιού κατά την ολοκλήρωση των προγραμμάτων και που μπορεί να ξοδέψει για να αγοράσει περαιτέρω προγράμματα.

Το περιεχόμενο εκμάθησης είναι συνδεδεμένο με τους χαρακτήρες που αναφέρθηκαν. Για την παραγωγή περιεχομένου, οι δημιουργοί μπορούν είτε να μισθωθούν για τις υπηρεσίες παραγωγής ενός χαρακτήρα μέσω ενός έξυπνου συμβολαίου από κάποιο ενδιαφερόμενο μέρος του οικοσυστήματος, είτε να δημιουργήσουν τους χαρακτήρες τους διατηρώντας τα δικαιώματα σε αυτούς και να τους διαθέσουν ή πουλήσουν με τη χρήση των συμβολαίων. Επιπλέον, μπορούν να διαφημίσουν τους χαρακτήρες τους στην πλατφόρμα έναντι CUBO. Σε κάθε περίπτωση το περιεχόμενο περνά έλεγχο από αρμόδιους ελεγκτές.



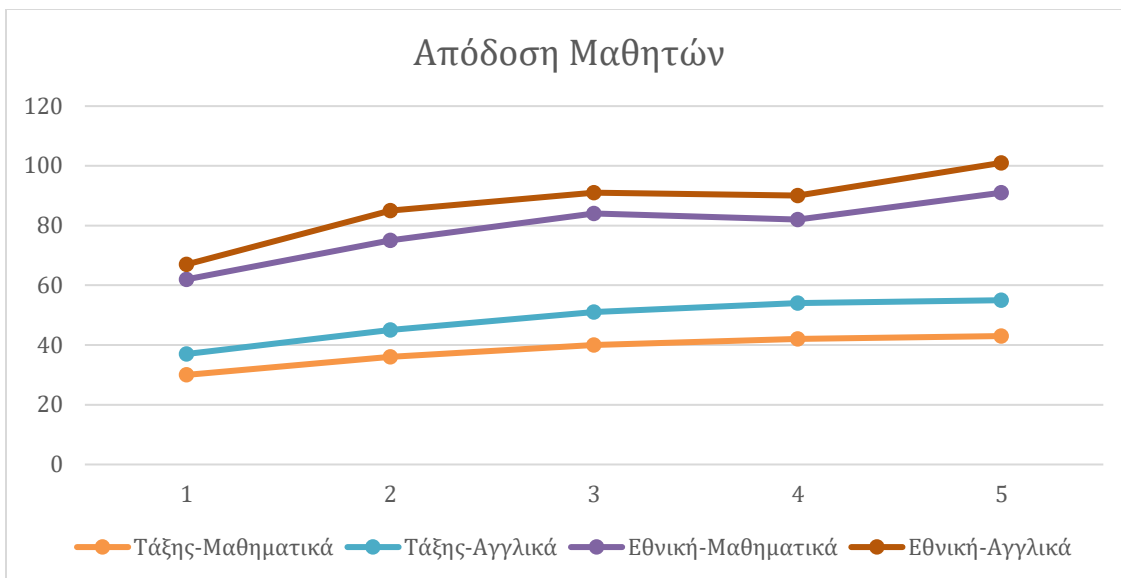
Εικόνα 6: Διάγραμμα χρήσης του Cubomania
Προσαρμοσμένο από [70]

5.3 Shikara

Η Shikara [71] έχει ως στόχο να εξαλείψει την φτώχεια στην υπο-Σαχάρια Αφρική μέσα από την εκπαίδευση, στοχεύοντας συγκεκριμένα τους μαθητές δημοτικού. Για αυτό το σκοπό έχει αναπτύξει μια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου βασισμένη στο δίκτυο του Bitcoin, αγνωστική προς τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας, που εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες των αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών για τη συλλογή δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την καλύτερη του εκπαιδευτικού συστήματος, παρέχοντας όχι μόνο τη δυνατότητα παρακολούθησης των μαθησιακών αποτελεσμάτων, αλλά και εξαλείφοντας ζητήματα εμπιστοσύνης, έλλειψης οργάνωσης και κακοδιαχείρισης. Η πλατφόρμα απευθύνεται σε πέντε διαφορετικά ενδιαφερόμενα μέρη εξυπηρετώντας τις ανάγκες τους με τελικό στόχο την αναδιάρθρωση της εκπαίδευσης σε θεσμικό επίπεδο.

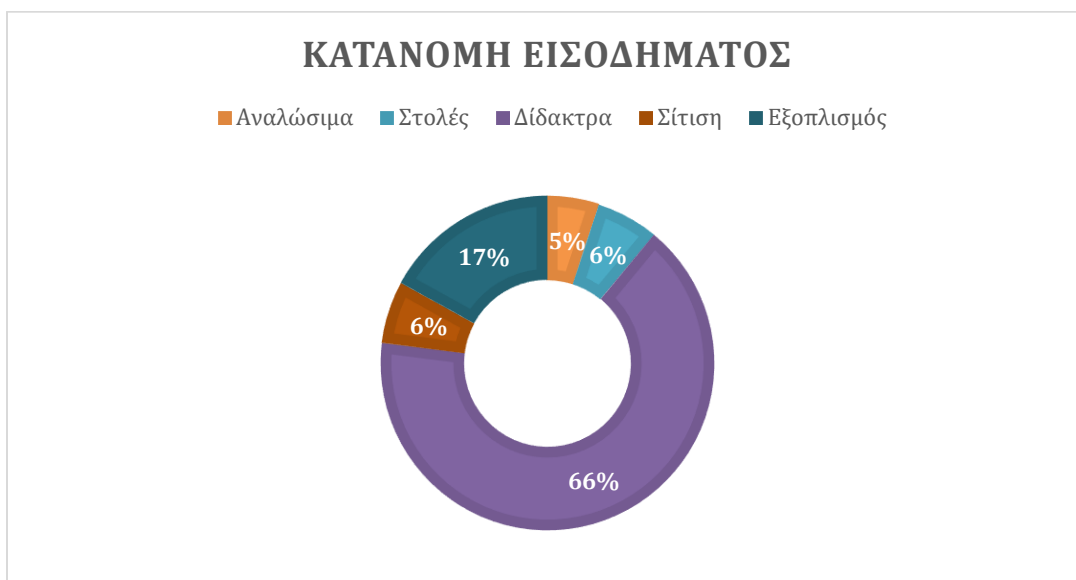
Αναλύοντας από κάτω προς τα πάνω, η πρώτη ομάδα ενδιαφέροντος είναι οι μαθητές και οι γονείς τους. Μέσα από την πλατφόρμα μπορούν να πληρώσουν δίδακτρα, να παραγγείλουν σχολικά είδη, καθώς και να εξεταστούν, να δουν την απόδοσή τους και να επικοινωνήσουν με εκπαιδευτικούς για ιδιωτική διδασκαλία.

Η απόδοση των μαθητών είναι προσβάσιμη και από τους δασκάλους μέσω της εφαρμογής. Επιπλέον, μπορούν να διαμοιράζουν εργασίες, να κρατάνε έγγραφα όπως το παρουσιολόγιο με ακρίβεια και να επικοινωνούν με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες πάνω σε καίρια ζητήματα. Έχοντας τις παραπάνω λειτουργίες συγκεντρωμένες σε μία πλατφόρμα γίνεται ευκολότερη η διαχείριση των μαθητών και η εστίαση στα άτομα ή τα αντικείμενα που χρειάζονται επιμέλεια για τα καλύτερα δυνατά εκπαιδευτικά αποτελέσματα. Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα φαίνεται στην εικόνα 7.



Εικόνα 7: Ενδεικτικό διάγραμμα του Shikara για τον εκπαιδευτικό

Συνεχίζοντας, οι υπεύθυνοι των σχολικών μονάδων έχουν πρόσβαση σε δεδομένα διαχείρισης πόρων όπως η πληρωμή διδασκτρων, που τους επιτρέπουν να λαμβάνουν εμπειριστατωμένες αποφάσεις οδηγούμενοι από τα δεδομένα. Ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα φαίνεται στην εικόνα 8.



Εικόνα 8: Ενδεικτικό διάγραμμα Shikara για τους διαχειριστές σχολικών μονάδων

Οι μετρήσεις που συλλέγονται από το Shikara μπορούν να αναχθούν από τοπικές, σε περιφερειακές, εθνικές ή και παγκόσμιες. Επομένως, οι αρμόδιοι υπεύθυνοι σε κρατικό επίπεδο έχουν την ευκαιρία να χαράξουν πολιτικές βασισμένες στα δεδομένα που λαμβάνουν από το εκπαιδευτικό τους σύστημα και να επιχειρήσουν τις κατάλληλες διαρθρωτικές κινήσεις για την αύξηση του εκπαιδευτικού επιπέδου της χώρας τους.

Κλείνοντας, η πλατφόρμα επεκτείνει στην υποστήριξη του συστήματος εκπαίδευσης και από ιδιωτικούς πόρους στη μορφή δωρεάς. Παρέχει στους δωρητές τη δυνατότητα να παρακολουθούν την πορεία χρήσης των χρημάτων τους σε πραγματικό χρόνο, χάρη στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, επιτρέποντας έτσι να αποφύγουν γραφειοκρατικά ζητήματα που ενισχύουν την αδιαφάνεια και να γνωρίσουν τον κοινωνικό αντίκτυπο της δωρεάς τους.

5.4 Open-Source University

Η αποκεντρωμένη εφαρμογή OSU Dapp από το Open-Source University [72] «γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ του ακαδημαϊκού και επιχειρησιακού κόσμου μέσω των αλυσίδων κατανεμημένης εγγραφής» και του IPFS (Interplanetary File System) [73], ενός συστήματος κατανεμημένης αποθήκευσης. Πρόκειται για μία πλατφόρμα στην αλυσίδα του Ethereum, με εγγενές κρυπτοπαραστατικό το EDU, η οποία παρομοιάζει μέσο κοινωνικής δικτύωσης υπό την έννοια ότι ο κάθε συμμετέχοντας έχει το δικό του προφίλ, μπορεί να δικτυωθεί με λοιπούς συμμετέχοντες και να εκτελέσει συγκεκριμένες λειτουργίες ανάλογα με την ιδιότητα του ως μαθητής, επιχείρηση ή ακαδημαϊκός φορέας. Επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να επαληθεύσουν τις δεξιότητες και την σχετική τους εμπειρία, βελτιώνοντας τις πιθανότητές τους να βρουν επαγγελματικές ευκαιρίες που ανταποκρίνονται στις γνώσεις και τα ενδιαφέροντά τους. Οι επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν την πλατφόρμα για την εξεύρεση ταλαντούχων υποψηφίων, διασφαλίζοντας ότι οι δεξιότητες και εμπειρίες τους είναι επαληθευμένες. Οι ακαδημαϊκοί φορείς μπορούν επίσης να δημοσιεύουν εκπαιδευτικά προγράμματα και να εκδίδουν πιστοποιητικά, τα οποία μπορούν να επαληθευτούν ακόμη και αν έχουν εκδοθεί πριν από τη δημιουργία της πλατφόρμας. Η εφαρμογή OSU προσφέρει έναν ασφαλή και

αμετάβλητο τρόπο αποθήκευσης και επαλήθευσης δεξιοτήτων και εμπειριών στην αλυσίδα.

Μια βασική λειτουργία της OSU είναι η δυνατότητα των χρηστών να προσθέτουν νέα πιστοποιητικά ανεβάζοντας ένα ψηφιακό αντίγραφο του πιστοποιητικού, μαζί με σχετικές πληροφορίες όπως ο τίτλος του μαθήματος, ο κλάδος, οι δεξιότητες που αποκτήθηκαν και ο φορέας ή διδάσκοντας που εκδίδει το μάθημα. Μόλις μεταφορτωθεί ένα πιστοποιητικό, εμφανίζεται στο προφίλ του χρήστη με αυτοεπιβεβαιωμένη κατάσταση. Οι χρήστες μπορούν επίσης να βλέπουν τα πιστοποιητικά που έχουν ανεβάσει ανά πάσα στιγμή.

Εκτός από την αυτοεπιβεβαίωση, η πλατφόρμα επιτρέπει επίσης στους χρήστες να ζητούν επαλήθευση των πιστοποιητικών τους από τρίτους. Οι επαληθευτές, για παράδειγμα ακαδημαϊκοί φορείς ή επιχειρήσεις, λαμβάνουν ειδοποιήσεις όταν υποβάλλεται αίτημα επαλήθευσης και μπορούν να εγκρίνουν ή να απορρίψουν το αίτημα. Μόλις ένα πιστοποιητικό επαληθευτεί από τουλάχιστον έναν επαληθευτή, ενημερώνεται ώστε να εμφανίζει κατάσταση επαλήθευσης και οι δεξιότητες που αποκτώνται από το πιστοποιητικό αναπαρίστανται με πράσινο χρώμα στην πλατφόρμα.

Μια άλλη λειτουργία είναι η δυνατότητα των χρηστών να περιηγηθούν στα διαθέσιμα μαθήματα και τις θέσεις εργασίας, καθώς και να έχουν πρόσβαση σε προηγμένους μηχανισμούς αναζήτησης και φιλτραρίσματος για την εύρεση συγκεκριμένων μαθημάτων ή θέσεων εργασίας. Όταν ένας χρήστης κάνει κλικ σε ένα συγκεκριμένο μάθημα ή μια θέση εργασίας, του παρουσιάζονται λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με τον καθηγητή, την ύλη του μαθήματος, των προαπαιτούμενων δεξιοτήτων και των δεξιοτήτων που αποκτώνται. Οι χρήστες μπορούν επίσης να καταχωρίσουν το πιστοποιητικό τους ή να δουν την ψηφιακή αναπαράσταση του εκδοθέντος πιστοποιητικού.

Αξίζει να αναφερθεί και η δυνατότητα που δίνεται στους χρήστες για να αλληλεπιδράσουν με το οικοσύστημα του Ethereum μέσω της εφαρμογής. Η OSU επιτρέπει στους χρήστες να καταθέσουν και να αποσύρουν διάφορα κρυπτονομίσματα, συμπεριλαμβανομένων των Ethereum και EDU κρυπτοπαραστατικών. Εκτός από τις λειτουργίες κατάθεσης και ανάληψης, η εφαρμογή παρέχει επίσης ένα ιστορικό συναλλαγών που απαριθμεί βασικές πληροφορίες για κάθε συναλλαγή.

Εκτός από τις λειτουργίες που αναφέρθηκαν παραπάνω, η OSU περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα ειδοποιήσεων για την ενημέρωση των χρηστών σχετικά με γεγονότα που σχετίζονται με τα πιστοποιητικά και τις αιτήσεις τους για εργασία. Όταν ένας χρήστης υποβάλλει αίτηση για μια θέση εργασίας, λαμβάνει μια ειδοποίηση, και αν εγκριθεί για τη θέση, λαμβάνει άλλη μια ειδοποίηση. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να φαίνεται ποιες ειδοποιήσεις δεν έχουν ελεγχθεί και να επιτρέπουν στους χρήστες να έχουν εύκολη πρόσβαση στο σχετικό πιστοποιητικό ή στην αίτηση εργασίας.

Οι παραπάνω λειτουργίες διαφοροποιούνται μερικώς όταν ο χρήστης έχει εγγραφεί ως επιχείρηση. Στην περίπτωση αυτή, η αρχική σελίδα αλλάζει ώστε να εμφανίζει μόνο τις θέσεις εργασίας που έχουν εκδοθεί από το συγκεκριμένο χρήστη. Αυτό επιτρέπει στις επιχειρήσεις να βλέπουν και να διαχειρίζονται εύκολα τις θέσεις εργασίας που έχουν αναρτήσει στην πλατφόρμα. Επιπλέον, το σύστημα ειδοποιήσεων είναι προσαρμοσμένο ώστε να εμφανίζει ειδοποιήσεις που σχετίζονται με τις θέσεις εργασίας της επιχείρησης, όπως όταν ένας χρήστης κάνει αίτηση για μια από τις θέσεις εργασίας της. Οι λειτουργίες σχετικά με τα πιστοποιητικά της επιχείρησης επεκτείνονται πέραν της μεταφόρτωσης και αίτησης επαλήθευσης, αφού οι επιχειρήσεις μπορούν επίσης να επαληθεύσουν πιστοποιητικά που έχουν εκδώσει.

Για τους εκπαιδευτικούς φορείς προσφέρεται μια σειρά επιλογών που περιλαμβάνουν τη δυνατότητα προβολής μιας λίστας προφίλ εκπαιδευομένων, προσθήκης νέων μαθημάτων, προσθήκης πιστοποιητικών, επαλήθευσης πιστοποιητικών και προβολής προφίλ επιχειρήσεων και θέσεων εργασίας. Επίσης ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά για τους φορείς είναι η δυνατότητα προσθήκης νέων μαθημάτων στην πλατφόρμα. Αυτό γίνεται με τη συμπλήρωση πληροφοριών όπως ο τίτλος του μαθήματος, ο τίτλος του προγράμματος, ο διδάσκων, η ύλη, οι αποκτηθείσες δεξιότητες και η περιγραφή. Μόλις υποβληθούν οι πληροφορίες, το νέο μάθημα δημιουργείται και προστίθεται στον κατάλογο μαθημάτων.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η δυνατότητα προσθήκης και επαλήθευσης πιστοποιητικών. Αυτή η διαδικασία είναι η ίδια με εκείνη για τους εκπαιδευόμενους και τις επιχειρήσεις και επιτρέπει στους φορείς να ανεβάζουν και να επαληθεύουν πιστοποιητικά που σχετίζονται με το ίδρυμά τους. Όταν ένας εκπαιδευόμενος ζητά την επαλήθευση ενός πιστοποιητικού, το ίδρυμα λαμβάνει μια

ειδοποίηση και μπορεί εύκολα να έχει πρόσβαση στο ζητούμενο πιστοποιητικό για επαλήθευση. Μπορεί στη συνέχεια να επαληθεύσει ή να απορρίψει το πιστοποιητικό, ενώ τυχόν αλλαγές στην κατάσταση του πιστοποιητικού αποστέλλονται επίσης ως ειδοποιήσεις στον εκπαιδευόμενο που το κατέχει.

Τέλος, οι χρήστες έχουν επίσης πρόσβαση σε ένα σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων που τους επιτρέπει να επικοινωνούν με άλλους χρήστες στην πλατφόρμα. Το σύστημα ανταλλαγής μηνυμάτων χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση για να διασφαλίζει την εμπιστευτικότητα των συνομιλιών, ενώ οι ειδοποιήσεις χρησιμοποιούνται για να ειδοποιούν τους χρήστες για νέα μηνύματα.

Συνολικά, οι λειτουργίες της πλατφόρμας που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα παρέχουν έναν ολοκληρωμένο και φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον διαχείρισης μαθημάτων, πιστοποιητικών και εύρεσης εργασίας.

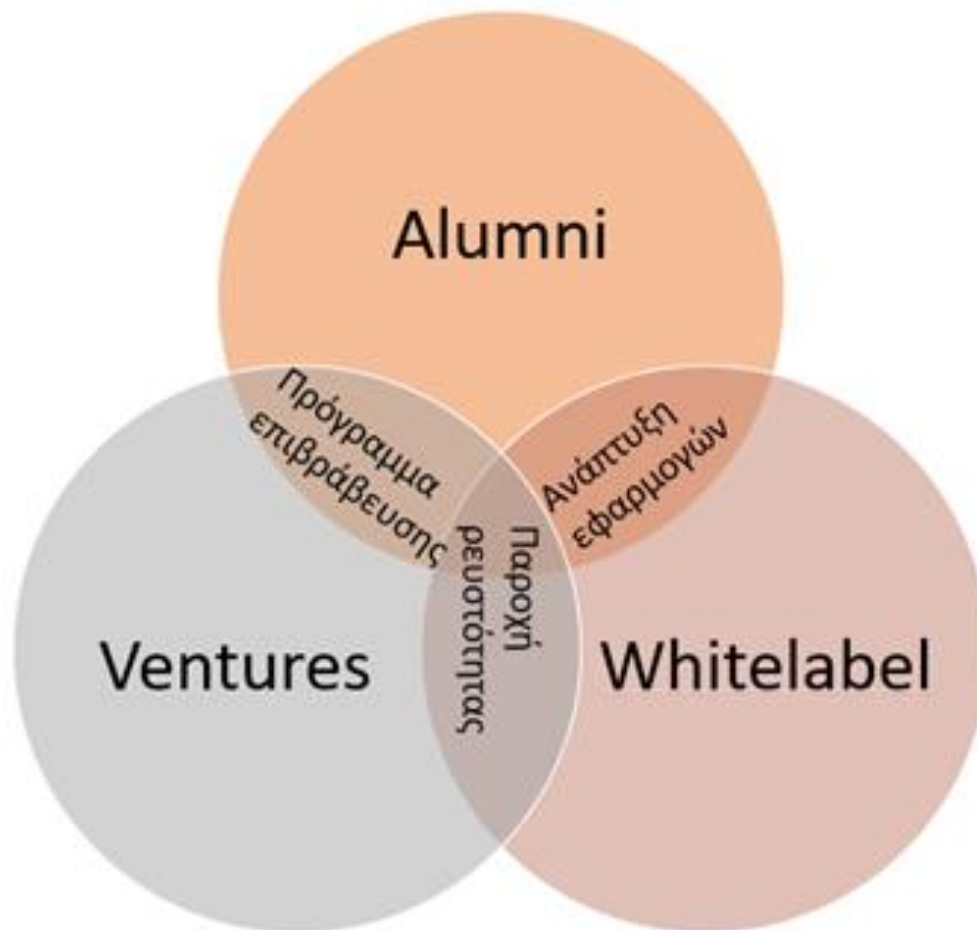
Λειτουργίες της OSU
Ανάρτηση Πιστοποιητικού
Επιβεβαίωση/ Αυτοεπιβεβαίωση Πιστοποιητικού
Αναζήτηση Μαθημάτων και Θέσεων Εργασίας
Ανάρτηση Μαθημάτων και Θέσεων Εργασίας
Σύστημα Συναλλαγών
Σύστημα Ειδοποιήσεων
Σύστημα Επικοινωνίας

Πίνακας 2: Η λειτουργίες της OSU Dapp

5.5 Tutellus

Η Tutellus [74, 75] κατέχει μία σημαντική θέση στον κλάδο της διαδικτυακής εκπαίδευσης. Με μια βάση χρηστών που αριθμεί πάνω από 1,8 εκατομμύρια άτομα σε 160 χώρες και μια συλλογή εκπαιδευτικών βίντεο της τάξεως των 180 χιλιάδων, η εταιρεία έχει καταγράψει πάνω από δύο εκατομμύρια συναλλαγές στην πλατφόρμα της τα τελευταία 7 χρόνια, συνολικής αξίας 10 εκατομμυρίων δολαρίων και πάνω από ένα δισεκατομμύριο λεπτά διαδικτυακής εκπαίδευσης. Η λειτουργία της έχει ως κεντρικό άξονα το TUT, ένα κρυπτοπαραστατικό που εισήγαγε η Tutellus που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με τα προϊόντα και τις υπηρεσίες της εταιρείας.

Το πρωτόκολλο της Tutellus βασίζεται σε δίκτυα συμβατά με την εικονική μηχανή Ethereum [9, 10] και η αρχική του υλοποίηση επιλέχθηκε να είναι στο δίκτυο Polygon, γνωστό παλιότερα ως Matic [76], της πιο δημοφιλούς πλευρικής αλυσίδας του Ethereum. Αποτελείται από τρία κύρια τμήματα: ALUMNI, WHITELABEL και VENTURES. Το ALUMNI είναι το εκπαιδευτικό τμήμα, όπου οι φοιτητές μπορούν να μάθουν για τα κρυπτονομίσματα ή όποιο άλλο αντικείμενο τους ενδιαφέρει και να κερδίσουν ανταμοιβές σε TUT. Το WHITELABEL είναι μια υπηρεσία που επιτρέπει σε τρίτους να αναπτύξουν τα δικά τους κρυπτοπαραστατικά με υποστήριξη από τη ρευστότητα του TUT. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα συνεργασίας με την τεχνική ομάδα της Tutellus για την ανάπτυξη εφαρμογών στο οικοσύστημα της. Τέλος, VENTURES ονομάζεται το επενδυτικό τμήμα, υπεύθυνο για το Launchpad, το προϊόν μέσω του οποίου η ομάδα της Tutellus υποστηρίζει νεοφυείς επιχειρήσεις. Μέσα από τη χρήση έξυπνων συμβολαίων και συστημάτων παιχνιδοποίησης, οι επιχειρήσεις αυτές λαμβάνουν αρχική χρηματοδότηση από την ίδια την Tutellus ή εξωτερικούς επενδυτές σε TUT. Η ρευστότητα του για τις επενδύσεις δημιουργείται με τη χρήση BTC μέσω του ανταλλακτηρίου SushiSwap [77], δια της μεθόδου του στοιχηματισμού. Με άλλα λόγια, ο καθένας μπορεί να γίνει πάροχος ρευστότητας έναντι κρυπτοπαραστατικών ρευστότητας LP. Μια σχηματική αναπαράσταση των παραπάνω δίνεται στην εικόνα 9.



Εικόνα 9: Σχηματική αναπαράσταση των τμημάτων της Tutellus

Το επιχειρηματικό μοντέλο της Tutellus είναι σύνθετο και περιλαμβάνει διάφορες οντότητες, συμπεριλαμβανομένων των φοιτητών, των καθηγητών, των συνεργατών του στα πλαίσια του Whitelabel, των νεοφυών επιχειρήσεων και των παρόχων ρευστότητας. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι φοιτητές πληρώνουν για τη μάθηση και μπορούν να κερδίσουν TUT με βάση τα χρήματα που επενδύουν και τις αλληλεπιδράσεις και τις συνεισφορές τους στην πλατφόρμα. Οι καθηγητές κερδίζουν χρήματα από την πώληση περιεχομένου και μπορούν να πληρώσουν για διαφημιστικές υπηρεσίες όπως προτεραιότητα σε μηχανές αναζήτησης χρησιμοποιώντας TUT. Οι συνεργάτες του Whitelabel μπορούν να υλοποιήσουν τα δικά τους κρυπτοπαραστατικά με βάση τη

ρευστότητα του TUT. Οι νεοσύστατες επιχειρήσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν την υπηρεσία Launchpad για να αντλήσουν κεφάλαια ή να λάβουν δάνεια. Οι πάροχοι ρευστότητας μπορούν να προσθέσουν ρευστότητα στο πρωτόκολλο και να κερδίσουν ανταμοιβές σε TUT στοιχηματίζοντας LP. Οι οντότητες αυτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες βάσει των αλληλεπιδράσεων τους με την πλατφόρμα και ανταμοιβές στο Tutellus τους διανέμονται αντίστοιχα είτε ως πελάτες, κατόχους και χρήστες. Οι πελάτες λαμβάνουν το 40% των ανταμοιβών σε TUT με βάση το ποσό των χρημάτων που ξοδεύουν στην πλατφόρμα. Οι κάτοχοι TUT λαμβάνουν επίσης το 40% των ανταμοιβών στο TUT ανάλογα το ποσοστό που στοιχημάτισαν επί του συνολικού. Οι χρήστες λαμβάνουν το 20% των ανταμοιβών με βάση τη συνεισφορά τους και τις αλληλεπιδράσεις τους βοηθώντας άλλους φοιτητές. Οι κάτοχοι μπορούν να επιλέξουν να πουλήσουν τα κρυπτοπαραστατικά τους, να τα στοιχηματίσουν στο συμβόλαιο στοιχηματισμού, να προσθέσουν ρευστότητα στο πρωτόκολλο, να τα κρατήσουν και να λάβουν οφέλη ή να αγοράσουν προϊόντα και υπηρεσίες χρησιμοποιώντας τα.

Όσον αφορά τα στοιχεία παιχνιδιοποίησης, οι κάτοχοι των TUT έχουν πρόσβαση σε αποκλειστικές υπηρεσίες βάσει προκαθορισμένων επιπέδων αφοσίωσης. Τα επίπεδα αφοσίωσης βασίζονται στο ποσό των TUT που έχουν πονταριστεί, με τα υψηλότερα επίπεδα να παρέχουν πρόσβαση σε πρόσθετα οφέλη, όπως αποκλειστικό περιεχόμενο και μαθήματα. Οι χρήσεις της Tutellus συνοψίζονται στον πίνακα 3.

Οντότητα	Δυνατότητες
Μαθητής	<ul style="list-style-type: none"> • Παρακολούθηση και πληρωμή μαθημάτων • Συμμετοχή στο πρόγραμμα επιβράβευσης
Καθηγητής	<ul style="list-style-type: none"> • Διεξαγωγή μαθημάτων • Δημιουργία προγραμμάτων • Λήψη πληρωμής για διδασκαλία ή χρήση δικαιωμάτων
Νεοφυής επιχείρηση	<ul style="list-style-type: none"> • Λήψη χρηματοδότησης

	<ul style="list-style-type: none">• Λήψη δανειοδότησης
Επενδυτής	<ul style="list-style-type: none">• Παροχή ρευστότητας• Συμμετοχή στο πρόγραμμα επιβράβευσης

Πίνακας 3: Δυνατότητες χρήσης της Tutellus

5.6 ODEM

Η ODEM είναι μια αποκεντρωμένη εκπαιδευτική πλατφόρμα που χρησιμοποιεί την τεχνολογία αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών για να διευκολύνει τη δημιουργία και τη διαχείριση εκπαιδευτικών προγραμμάτων και πιστοποιητικών. Χρησιμοποιεί ένα κρυπτοπαραστατικό, σύμφωνα με το πρότυπο ERC20 [78] στην αλυσίδα του Ethereum που ονομάζεται ODE, και μια κεντροποιημένη πλατφόρμα νέφους. Το ODE χρησιμοποιείται για τη συναλλαγή ψηφιακών στοιχείων ODEM και την πρόσβαση στην πλατφόρμα μέσω μιας διαδικασίας στοιχηματισμού. Η πλατφόρμα παρέχει στους φοιτητές, τους εκπαιδευτικούς, τους εργοδότες και άλλους ενδιαφερόμενους εύχρηστα εργαλεία για να συμμετέχουν σε ακαδημαϊκά προγράμματα και να λαμβάνουν εκπαιδευτικά πιστοποιητικά.

Το οικονομικό μοντέλο του ODE βασίζεται στην έρευνα του Ιδρύματος Sweetbridge [79] για τα εκπτώτικα κρυπτοπαραστατικά, η οποία αποσκοπεί στην απομόνωση της χρησιμότητας του κρυπτοπαραστατικού από τις εξωτερικές δυνάμεις της αγοράς. Η χρήση του ODE εξαλείφει τα ζητήματα που σχετίζονται με τα παραστατικά νομίσματα, όπως τα υψηλά τέλη και οι μεγάλοι χρόνοι επεξεργασίας.

Από τεχνικής άποψης, οι λειτουργίες της ODEM υλοποιούνται βάσει γνωστών πάγιων πρακτικών για την αλυσίδα του Ethereum αξιοποιώντας ήδη υπάρχοντα πρότυπα και πρωτόκολλα έξυπνων συμβολαίων, ενώ για την αποθήκευση δεδομένων εκτός αλυσίδας χρησιμοποιεί το Διαπλανητικό Σύστημα Αρχείων. Για την αρχιτεκτονική της διεπαφής του στοιχηματισμού όπως αναλύεται παρακάτω, χρησιμοποιεί το πρότυπο ERC-900 [80]. Συνοπτικά, ο στοιχηματισμός επιτρέπει στους φοιτητές να εγγραφούν σε ένα επιθυμητό πρόγραμμα και στους εκπαιδευτικούς να δηλώσουν προθυμία για κάποια μαθήματα που σκοπεύουν να διδάξουν, δεσμεύοντας ένα μικρό ποσό ODE. Επίσης, η ODEM χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ERC-780 [81] για τη δημιουργία ODEM-Credits (ODEM-C), τα οποία είναι ψηφιακά πιστοποιητικά που αποθηκεύονται στην αλυσίδα και δίνονται στους χρήστες που ολοκληρώνουν επιτυχώς τις εκπαιδευτικές τους εκκρεμότητες. Το ODEM-C περιλαμβάνει πληροφορίες όπως το όνομα του σπουδαστή και του εκπαιδευτικού, το πρόγραμμα και το ίδρυμα παροχής, την ημερομηνία του προγράμματος και την τιμή κατακερματισμού του Διαπλανητικού Συστήματος Αρχείων όπου μπορεί να γίνει πρόσβαση στο φυσικό πιστοποιητικό με μια συνθηματική φράση.

Οι λειτουργίες της ODEM όπως φαίνονται στον πίνακα 4 επεξηγούνται παρακάτω.

Λειτουργίες της ODEM
Στοιχηματισμός ODE
Γεννήτρια Συστάσεων
Ψηφιακή Πιστοποίηση Εκπαίδευσης
Αποθετήριο Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων
Ταυτοποίηση Χρηστών
Προβολής Πιστοποιητικών Εκπαίδευσης
Πληρωμή από Πνευματικά Δικαιώματα
Καταμερισμός εσόδων
Χορηγία Μαθητών
Ανεξάρτητη Επαλήθευση Πιστοποιητικών
Έκδοση Ψηφιακών Εμβλημάτων
Ανάρτηση αποδεικτικών δεξιοτήτων
Σύστημα επιβράβευσης
Δίκτυο διασύνδεσης με την αγορά εργασίας
Διακανονισμός χωρίς νόμισμα

Πίνακας 4: Οι λειτουργίες της ODEM

Πιο αναλυτικά, μέσω της διαδικασίας στοιχηματισμού που προαναφέρθηκε, επιτρέπεται στους φοιτητές και τους εκπαιδευτικούς να δεσμευτούν για τις προθέσεις τους περί των ακαδημαϊκών προγραμμάτων με τη δέσμευση ODE μέσω έξυπνων συμβολαίων με βάση το ERC-20. Οι συμμετέχοντες χρησιμοποιούν ODE ως οικονομική δέσμευση για τη διαδικασία, ενώ ακολουθούνται προκαθορισμένοι όροι βάσει ενός έξυπνου συμβολαίου που χορηγεί ανταμοιβή ODE για την τήρηση των δεσμεύσεων, ενώ επιφέρει χρηματική ποινή όταν οι δεσμεύσεις δεν τηρούνται. Τέλος, οι χρήστες είναι σε θέση να δουν το εκπαιδευτικό ιστορικό και τις κριτικές που έχουν λάβει, ο ένας του άλλου, με βάση

τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες στην πλατφόρμα, την αποκεντρωμένη εφαρμογή και την αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών του Ethereum.

Συνολικά, η διαδικασία στοιχηματισμού περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Ο εκπαιδευτικός στοιχηματίζει ODE για να δεσμευτεί για τη διδασκαλία στο πλαίσιο ενός ακαδημαϊκού προγράμματος, εν αναμονή της παραλαβής επαρκούς αριθμού φοιτητών.
2. Ο φοιτητής στοιχηματίζει ODE για να ζητήσει μια προσφορά ή να εγγραφεί σε ένα πρόγραμμα αν έχει καθορισμένη τιμή. Ένα τυπικό ποντάρισμα είναι της τάξεως του 10% της τελικής τιμής ενός ακαδημαϊκού προγράμματος.
3. Ο εκπαιδευτικός επιλέγει να δεσμευτεί να διδάξει βάσει της προσφοράς που κατατέθηκε από κάποιο φοιτητή.
4. Όταν πληρούνται όλες οι προϋποθέσεις και από τις δύο πλευρές, ένα πρόγραμμα «κλειδώνει».
5. Όταν κλειδώνει ένα πρόγραμμα, συλλέγονται τα ODE του στοιχηματισμού των εμπλεκόμενων μερών και «κλειδώνονται» από το σύστημα διακανονισμού.
6. Ο εκπαιδευτικός ολοκληρώνει τις παραδώσεις όπως ορίζονται εντός του προγράμματος και εκδίδει ψηφιακά πιστοποιητικά στους μαθητές.
7. Τα στοιχηματισμένα ODE ξεκλειδώνονται και η ODEM πληρώνει τους εκπαιδευτικούς ή/και τους παρόχους των υπηρεσιών εκπαίδευσης.

Η ODEM έχει επίσης μια γεννήτρια συστάσεων προγραμμάτων που χρησιμοποιεί δεδομένα αποθηκευμένα στην πλατφόρμα, την εφαρμογή και την αλυσίδα για να κάνει συστάσεις σχετικά με τις υπάρχουσες προσφορές μαθημάτων με βάση το πρόγραμμα που προτιμά ένας μαθητής, την ημερομηνία, την αξία σε ODE, τον εκπαιδευτικό και την τοποθεσία. Η γεννήτρια προτείνει προγράμματα βάσει της καλύτερης δυνατής αντιστοίχισης των προτιμήσεων του μαθητή και δημιουργεί ένα έξυπνο συμβόλαιο για την εκτέλεση, την παράδοση και τη μεταφορά ODE. Για την διασφάλιση της διαθεσιμότητας των υπηρεσιών υπάρχει επίσης μια πολιτική υπαναχώρησης, με κυρώσεις για την αθέτηση των δεσμεύσεων του προγράμματος και η ODEM διατηρεί το δικαίωμα να επιβάλλει πρόστιμα μετά από παρατήρηση αθέμιτης συμπεριφοράς των χρηστών, ενώ στοχεύει στην παροχή κινήτρων για υπεύθυνη συμπεριφορά και στην αποφυγή

υπερβολικών κυρώσεων στους χρήστες. Για τη διασφάλιση της ποιότητας των υπηρεσιών, οι χρήστες της ODEM που συμμετέχουν σε ένα πρόγραμμα ενδέχεται να λάβουν ένα ερωτηματολόγιο και να κληθούν να αξιολογήσουν άλλους συμμετέχοντες της ODEM που παρακολούθησαν το πρόγραμμα, με τις απαντήσεις της έρευνας να επηρεάζουν την αξιολόγηση της κατανόησης του χρήστη σχετικά με την πλατφόρμα, την εφαρμογή και την αλυσίδα. Οι συμμετέχοντες στην διαδικασία ανταμείβονται με ODE.

Η «Ψηφιακή Πιστοποίηση Εκπαίδευσης» της ODEM είναι μια λειτουργία που επιτρέπει τη δημιουργία αμετάβλητων ψηφιακών αρχείων ακαδημαϊκών επιτευγμάτων. Τα αρχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της μόνιμης εισαγωγής της πιστοποίησης στην αλυσίδα, της παροχής απόδειξης συμμετοχής και ολοκλήρωσης προγραμμάτων στην πλατφόρμα ODEM για φοιτητές και εκπαιδευτικούς, ενώ ακόμη επιτρέπει τη δημιουργία ενός ψηφιακού αρχείου απόδειξης πιστοποιήσεων μέσω άλλων παραδοσιακών ακαδημαϊκών ιδρυμάτων ή προγραμμάτων πιστοποίησης. Σε αντάλλαγμα για τη δημιουργία αυτών των πιστοποιητικών, η ODEM λαμβάνει αμοιβή σε ODE από τον φορέα ή το ίδρυμα έκδοσης. Η λειτουργία πιστοποίησης συμβάλλει στη δημιουργία ασφαλών και επαληθεύσιμων αρχείων ακαδημαϊκών επιτευγμάτων, παρέχοντας ένα μόνιμο αρχείο των επιτευγμάτων ενός φοιτητή ή εκπαιδευτικού και συμβάλλοντας στη διασφάλιση της ακεραιότητας των εκπαιδευτικών πιστοποιητικών.

Το «Αποθετήριο Εκπαιδευτικών Δραστηριοτήτων» είναι μια ακόμη λειτουργία που παρέχεται από την ODEM και χρησιμεύει ως καθολικό για την παρακολούθηση των εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων. Έχει σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσει τα προβλήματα της επιβεβαίωσης των συναλλαγών των σπουδαστών, επιτρέποντας τους να αναρτούν τις εκπαιδευτικές τους συναλλαγές ενώ παράλληλα στοιχηματίζουν ODE, τα οποία επιστρέφονται εάν οι συναλλαγές αποδειχθούν έγκυρες. Η ODEM ζητάει επαλήθευση από τα ιδρύματα των φοιτητών και, μόλις λάβει την επιβεβαίωση, οι φοιτητές ειδοποιούνται και μπορούν να χρησιμοποιήσουν ODE για να δημοσιεύσουν πιστοποιητικά στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών. Τόσο τα ιδιωτικά όσο και τα δημόσια ιδρύματα μπορούν επίσης να δημοσιεύουν εκπαιδευτικές συναλλαγές και να χρησιμοποιούν ODE για να δημοσιεύουν πιστοποιητικά. Το ODE χρησιμεύει ως κεντρικό

αποθετήριο για τις εκπαιδευτικές συναλλαγές, συμβάλλοντας στη διασφάλιση της ακρίβειας και της ακεραιότητας των εκπαιδευτικών αρχείων.

Επιπλέον, μέσω της ODEM είναι εφικτή η ταυτοποίηση των χρηστών. Η λειτουργία «Ταυτότητα μέσω της εκπαίδευσης» αποσκοπεί στην επαλήθευση του ακαδημαϊκού μητρώου ενός φοιτητή όταν τα ιδρύματα έκδοσης δεν είναι διαθέσιμα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός μοντέλου συναίνεσης, χρησιμοποιώντας προκαθορισμένες νομικές οντότητες ή επαγγελματίες για την πραγματοποίηση της επαλήθευσης. Η ODEM χρεώνει τέλος διαχείρισης για την υπηρεσία αυτή. Η διαδικασία συναίνεσης περιλαμβάνει μια διαδικασία ψηφοφορίας των ελεγκτικών σωμάτων σχετικά με τις συναλλαγές της αλυσίδας που αναφέρουν οι ίδιοι οι φοιτητές ως εκπαιδευτικά πιστοποιητικά. Για να ψηφίσει, η εκάστοτε οντότητα στοιχηματίζει ODE. Εάν επιτευχθεί συναίνεση πέντε ή περισσότερων ατόμων, οι εγγραφές επιβεβαιώνονται, οι εμπλεκόμενοι παίρνουν τα στοιχηματισμένα ODE και κάθε οντότητα λαμβάνει μια ανταμοιβή, ένα μέρος του αρχικού ποσού δέσμευσης των φοιτητών. Εάν δεν επιτευχθεί συναίνεση, επιστρέφεται το δεσμευμένο ποσό των επικυρωτών, αλλά οι εγγραφές απορρίπτονται. Η υπηρεσία συμβάλλει στη διασφάλιση της ακρίβειας και της ακεραιότητας των εκπαιδευτικών αρχείων, ακόμη και όταν τα ιδρύματα έκδοσης δεν είναι διαθέσιμα.

Επίσης, η λειτουργία προβολής πιστοποιητικών εκπαίδευσης επιτρέπει σε εργοδότες, πανεπιστήμια, φοιτητές, εκπαιδευτικούς και παρόχους υπηρεσιών να έχουν πρόσβαση σε ασφαλή δεδομένα στην πλατφόρμα ODEM, συμπεριλαμβανομένων ψηφιακών πιστοποιητικών, δραστηριοτήτων προγραμμάτων και ποσοστών ολοκλήρωσης ή και συμμετοχής από χρήστες που έχουν συναινέσει στη συλλογή αυτών των πληροφοριών. Για την πρόσβαση στην υπηρεσία και συνεπώς τα συγκεντρωτικά δεδομένα χρησιμοποιούνται ODE, με ένα μέρος να πηγαίνει στην ODEM και το υπόλοιπο να διανέμεται στους χρήστες των οποίων τα δεδομένα προβλήθηκαν.

Αξίζει να αναφερθεί πως η ODEM επιτρέπει στους εκπαιδευτικούς να λαμβάνουν ODE για τη χρήση των προγραμμάτων σπουδών που έχουν καταχωρήσει στην αλυσίδα όταν χρησιμοποιείται από άλλους εκπαιδευτικούς στην πλατφόρμα. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν υπάρχοντα μαθήματα αντί να δημιουργήσουν τα δικά τους, καθώς μπορεί να τους συμφέρει οικονομικά να

εκμεταλλευτούν καθιερωμένα και επιτυχημένα προγράμματα. Για την εκτέλεση της υπηρεσίας ODEM αμείβεται μέσω της χρήσης έξυπνων συμβολαίων.

Με ανάλογο τρόπο γίνεται και ο επιμερισμός των εσόδων προγραμμάτων στους συνεργάτες της πλατφόρμας ODEM, συμπεριλαμβανομένων των διοργανωτών ομιλιών και των λογοτεχνικών δρώμενων, όταν οι υπηρεσίες τους παρέχονται μέσω της πλατφόρμας ODEM.

Επιπροσθέτως, η ODEM υλοποιεί ένα πρόγραμμα που προωθεί την ισότιμη πρόσβαση στη μάθηση για χρήστες υποβαθμισμένων κοινωνικό-οικονομικών συνθηκών, επιτρέποντας σε χορηγούς να παρέχουν πόρους για την υποστήριξη των σπουδών τους στην πλατφόρμα ODEM. Η χορηγία μπορεί να περιλαμβάνει την πληρωμή για ένα μάθημα, ένα πρόγραμμα σπουδών ή τα λοιπά έξοδα ενός προγράμματος για κάποιο φοιτητή. Η επιλογή των επιλαχόντων γίνεται με βάση κριτήρια όπως η γεωγραφία, το οικογενειακό εισόδημα, η ηλικία, το φύλο και η ακαδημαϊκή επίδοση. Ο χορηγός δεσμεύει ODE, όπως ακριβώς κι ο μαθητής και καθηγητής πριν από την έναρξη ενός προγράμματος, και αν υπάρξει συναίνεση προχωρούν σε σύμπραξη για την ολοκλήρωση των συμφωνηθέντων.

Συνεχίζοντας, αν κάποιο ίδρυμα επιθυμεί να επαληθεύσει ανεξάρτητα τα πιστοποιητικά που το αφορούν, μπορεί να το κάνει μέσα από τη λειτουργία ανεξάρτητης επαλήθευση διαπιστευτηρίων. Επιτρέπει την αυτόματη μεταφορά αρχείων από την αλυσίδα στη βάση δεδομένων ενός ακαδημαϊκού ιδρύματος, με το ίδρυμα να μπορεί να επιλέξει τις συγκεκριμένες πληροφορίες που θέλει να λάβει.

Για την παρουσίαση των δεξιοτήτων των φοιτητών σε επόμενους εργοδότες χρησιμοποιούνται ψηφιακά εμβλήματα που εκδίδει η ODEM για την απόδειξη εργασιακών ικανοτήτων από προηγούμενους εργοδότες. Αυτό μπορεί να βοηθήσει τους φοιτητές να προχωρήσουν στην καριέρα τους, παρέχοντας αποδείξεις των δεξιοτήτων τους. Για να συμμετάσχουν, οι σπουδαστές μπορούν να δεσμεύσουν ODE για να πιστοποιήσουν τις δεξιότητές τους, οι οποίες στη συνέχεια θα επικυρωθούν από προηγούμενους ή/και τρέχοντες εργοδότες. Μετά την επιτυχή επαλήθευση των δεξιοτήτων, ο σπουδαστής θα λάβει πίσω τα ODE του. Ένα μικρό ποσό ODE χρησιμοποιείται επίσης για την ανάρτηση του εμβλήματος στην αλυσίδα. Ο εργοδότης που πιστοποιεί μια δεξιότητα ανταμείβεται σε ODE για τη συμμετοχή του.

Από την άλλη, η ODEM επιτρέπει στους εργοδότες να χρησιμοποιούν ODE για την ανάρτηση των πιστοποιητικών κατάρτισης των εργαζομένων. Αυτά τα πιστοποιητικά κατάρτισης μπορεί να προέρχονται από εσωτερικά προγράμματα κατάρτισης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξέλιξη των εργαζομένων εντός του οργανισμού. Με την ανάρτηση αυτών των εγγραφών, οι εργοδότες μπορούν να παρέχουν ένα ασφαλές και επαληθεύσιμο αρχείο εκπαίδευσης των εργαζομένων.

Ακόμη, για την ενθάρρυνση των χρηστών για τη χρήση της πλατφόρμας η ODEM υλοποιεί ένα σύστημα επιβράβευσης για τους χρήστες που ολοκληρώνουν ορισμένες ενέργειες, όπως η εγγραφή στην πλατφόρμα, η δημιουργία προφίλ ή/και η ολοκλήρωση ενός ακαδημαϊκού προγράμματος.

Ίσως η πιο σημαντική λειτουργία της ODEM είναι η σύνδεση των φοιτητών με την αγορά εργασίας. Η ODEM έχει δημιουργήσει συνεργασίες με διάφορες εταιρείες και οργανισμούς που χρειάζονται τις δεξιότητες και τις γνώσεις των φοιτητών με απώτερο σκοπό την πρόσληψη τους. Οι συνεργαζόμενοι φορείς εκμεταλλεύονται τα δεδομένα που τους παρέχονται για την επιλογή υποψήφιων εργαζομένων.

Τέλος, για την αποφυγή κωλυμάτων και την απρόσκοπτη συνεργασία των εργοδοτών και των φοιτητών επιτρέπεται στους συμμετέχοντες να πληρώνουν για προγράμματα ή υπηρεσίες στο νόμισμα της προτίμησής τους. Για το σκοπό αυτό, η ODEM συνεργάζεται με ανταλλακτήρια και παρόχους ηλεκτρονικών πορτοφολιών για τις απαραίτητες ανταλλαγές των ODE. Αυτή η λειτουργία επιτρέπει ευελιξία στις επιλογές πληρωμής και επιτρέπει την απρόσκοπτη επεξεργασία των διεθνών συναλλαγών. Παραδείγματα συναλλαγών είναι οι πληρωμές από πελάτες, αμοιβές για εκπαιδευτικούς, και παρόχους υποδομών ή υπηρεσιών.

5.7 Educhain

Η Educhain [82, 83] είναι μια πλατφόρμα που στοχεύει στην βελτιστοποίηση της έκδοσης ψηφιακών ακαδημαϊκών πιστοποιητικών. Προσφέρει μια σειρά δυνατοτήτων, βασισμένη στο Hyperledger και τη χρήση δικτύων κοινοπραξίας με επίτρεψη, που επιτρέπουν στα εκπαιδευτικά ιδρύματα να παρέχουν στους μαθητές τους ακαδημαϊκά έγγραφα γρήγορα, με ασφάλεια και ψηφιακά.

Μία από τις βασικές υπηρεσίες του Educhain είναι ο Εκδότης. Μέσα από τον Εκδότη, ο φορέας αυτοματοποιεί και διαχειρίζεται την έκδοση όλων των εγγράφων του. Ακόμη, δίνεται η δυνατότητα προσαρμογής των εγγράφων σύμφωνα με τα πρότυπα, την επωνυμία, το λογότυπο και τα χρώματά του κάθε φορέα, ενώ ακόμη υπάρχει η επιλογή αυτοματοποίησης της έκδοσης πολλαπλών ή μεμονωμένων εγγράφων. Για την τήρηση των νομικών αναγκών κάθε ιδρύματος ο Εκδότης μπορεί να λειτουργήσει στο νέφος ή με εγκατάσταση στο χώρο του ενδιαφερόμενου.

Εκτός από τον Εκδότη, η Educhain προσφέρει επίσης το Ακαδημαϊκό Διαβατήριο, ένα ψηφιακό πορτοφόλι που επιτρέπει στους φοιτητές όλων των βαθμίδων να λαμβάνουν, να αποθηκεύουν και να διαχειρίζονται τα πιστοποιητικά τους με φιλικό προς το χρήστη και ασφαλή τρόπο. Το Ακαδημαϊκό Διαβατήριο επιτρέπει στους φοιτητές να μοιράζονται τα επιτεύγματά τους με τους εργοδότες ή στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης μέσω μοναδικών συνδέσμων και σε πολλαπλές πλατφόρμες.

Η Educhain επιπλέον προσφέρει την Πύλη Επαλήθευσης, ένα εργαλείο που επιτρέπει στους εργοδότες να πιστοποιούν άμεσα και με ακρίβεια την αυθεντικότητα των ακαδημαϊκών διαπιστευτηρίων ενός υποψηφίου. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία συμβάλλει στην εξάλειψη της απάτης και στη μείωση του δαπανηρού κόστους ελέγχου. Συνολικά, το Educhain παρέχει μια ασφαλή ψηφιακή πλατφόρμα για τη διαχείριση όλων των πτυχών της ακαδημαϊκής τεκμηρίωσης, αντικαθιστώντας τα ξεπερασμένα και αναποτελεσματικά έντυπα αρχεία και τα παλαιά συστήματα.

Υπηρεσίες	Περιγραφή
Εκδότης	Αυτοματοποίηση και διαχείριση έκδοσης πιστοποιητικών
	Σχεδιασμός των πιστοποιητικών
Ακαδημαϊκό Διαβατήριο	Ηλεκτρονικό πορτοφόλι αποθήκευσης πιστοποιητικών
Πύλη Επαλήθευσης	Υπηρεσία επαλήθευσης πιστοποιητικών

Πίνακας 5: Υπηρεσίες της Educhain

5.8 EchoLink

Το EchoLink [62, 84] είναι ένα σύστημα βασισμένο στην πλατφόρμα ΕΚΟ. Είναι όμως συμβατό με όλα τα δίκτυα που λειτουργούν έχοντας ως βάση την εικονική μηχανή του Ethereum. Το σύστημα συνδέει φοιτητές, εκπαιδευτικά και επιμορφωτικά ιδρύματα και συμμετέχοντες της βιομηχανίας. Χρησιμοποιεί για την αποθήκευση και την ανταλλαγή πληροφοριών σχετικά με την εκπαίδευση, τις δεξιότητες και τη δια βίου μάθηση των ατόμων. Όλες οι πληροφορίες στο σύστημα παρέχονται από αξιόπιστες αρχές και αποθηκεύονται σε αμετάβλητη και κατακερματισμένη μορφή.

Τα οφέλη για τους συμμετέχοντες είναι πολλαπλά. Αρχικά όσον αφορά τους φοιτητές, το EchoLink αποθηκεύει τα έγγραφα τους σε ένα επαληθεύσιμο σύστημα blockchain για την προστασία τους από κακόβουλες αλλοιώσεις. Τους επιτρέπει να μοιράζονται τα ακαδημαϊκά τους αρχεία με πιθανούς εργοδότες και ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα με αξιόπιστο τρόπο. Αντίστοιχα, για τα ακαδημαϊκά και εκπαιδευτικά ιδρύματα, τους παρέχει τους απαραίτητους πόρους για το χειρισμό και την επαλήθευση πτυχίων και πιστοποιητικών. Για τις επιχειρήσεις, προσφέρει μια αξιόπιστη πηγή πληροφοριών για τους υποψηφίους που δεν μπορούν να αλλοιωθούν. Ένα σημαντικό στοιχείο που αξίζει να σημειωθεί είναι πως τα ακαδημαϊκά αρχεία και τα πιστοποιητικά δεξιοτήτων των υποψηφίων για εργασία παρέχονται απευθείας από τα εκπαιδευτικά και επιμορφωτικά ιδρύματα και, ως εκ τούτου, είναι αμετάβλητα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του συστήματος EchoLink είναι ότι λειτουργεί σε δημόσιες αλυσίδες καταμεμημένων εγγραφών, γεγονός που μειώνει σημαντικά το κόστος διατήρησης ενός παρόμοιου συστήματος σε παραδοσιακό διαδικτυακό περιβάλλον. Για παράδειγμα, στην πλατφόρμα Ethereum, το κόστος εκτέλεσης ενός σωστά γραμμένου έξυπνου συμβολαίου καθορίζεται σε 21.000 μονάδες gas. Αυτό μπορεί να ανέλθει σε περίπου 30 δολάρια ετησίως για ένα πανεπιστήμιο με μια τάξη αποφοίτων περίπου 10.000 φοιτητών. Στην αλυσίδα του NEO, το σύστημα EchoLink μπορεί να εκτελεστεί σχεδόν δωρεάν στις περισσότερες περιπτώσεις λόγω της κατανομής 10 δωρεάν μονάδων ανά έξυπνο συμβόλαιο.

Τα οικονομικά οφέλη του συστήματος επιμερίζονται μεταξύ όλων των συμμετεχόντων του. Για τις επιχειρήσεις, μειώνει το κόστος επαλήθευσης και πρόσληψης. Για τα εκπαιδευτικά και επιμορφωτικά ιδρύματα, εξαλείφει την ανάγκη διατήρησης ενός

συστήματος επαλήθευσης και οδηγεί σε εξοικονόμηση λειτουργικού κόστους. Παρέχει επίσης οικονομικό κίνητρο για τους οργανισμούς έκδοσης μέσω των τελών που καταβάλλουν οι επιχειρήσεις. Για τους σπουδαστές, αυξάνει την αξιοπιστία των πιστοποιητικών τους και επομένως τους δίνει περισσότερες ευκαιρίες στην αγορά εργασίας.

Το σύστημα EchoLink είναι μια τεχνική υλοποίηση που προσφέρει υποστήριξη για πολλαπλές και ετερογενείς αλυσίδες. Αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία: ένα σύστημα ψηφιακής ταυτότητας και χαρτογράφησης, ένα σύστημα δημιουργίας πιστοποιητικών εντός αλυσίδας, ένα σύστημα εισόδου/εξόδου δεδομένων εκτός αλυσίδας και ένα πρόγραμμα περιήγησης δεδομένων πολλαπλών αλυσίδων για τους τελικούς χρήστες, όπως φαίνεται στον πίνακα 6.

Στοιχείο
Ψηφιακή Ταυτότητα και Χαρτογράφηση
Δημιουργία Πιστοποιητικών
Εισόδου/Εξόδος Δεδομένων
Περιήγηση Δεδομένων Πολλαπλών Αλυσίδων

Πίνακας 6: Τα δομικά στοιχεία του EchoLink

Το σύστημα ψηφιακής ταυτότητας και χαρτογράφησης μεταφράζει τις ψηφιακές ταυτότητες σε ονόματα και ιδρύματα του πραγματικού κόσμου. Χρησιμοποιεί δημόσια κλειδιά (όπως διευθύνσεις Ethereum) για την ταυτοποίηση οντοτήτων εντός του συστήματος. Οι εκδότες και οι φοιτητές διαθέτουν ο καθένας ένα σύνολο δημόσιων κλειδιών που τους ταυτοποιούν. Οι επιχειρήσεις μπορούν να καταβάλλουν ένα τέλος με τη μορφή κρυπτοπαραστατικών ΕΚΟ για να έχουν πρόσβαση στις πληροφορίες αντιστοίχισης των ταυτοτήτων του πραγματικού κόσμου και των δημόσιων κλειδιών.

Το σύστημα δημιουργίας πιστοποιητικών εντός της αλυσίδας επιτρέπει τη δημιουργία και αποθήκευση τους μαζικά. Οι οντότητες παροχής εκπαίδευσης τα δημιουργούν και εκδίδουν εκτελώντας έξυπνα συμβόλαια που καθορίζουν την κατάσταση των πληροφοριών των πιστοποιητικών. Αυτό δημιουργεί μια αμετάβλητη απόδειξη ύπαρξης στην αλυσίδα μπλοκ. Οι πληροφορίες μπορεί να περιλαμβάνουν το δημόσιο

κλειδί του παραλήπτη, πληροφορίες πτυχίου ή ακόμη και μια κατακερματισμένη τιμή φωτογραφιών και αρχείων πτυχίου σε φυσική μορφή.

Το σύστημα εισόδου/εξόδου δεδομένων εκτός αλυσίδας χειρίζεται την είσοδο και την έξοδο εξωτερικών δεδομένων από πηγές όπως βάσεις δεδομένων, συστήματα τροφοδοσίας δεδομένων και το διαδίκτυο. Χρησιμοποιεί επίσης κρυπτογραφημένη αποθήκευση εγγράφων P2P για την αποθήκευση εικόνων και άλλων δυαδικών αρχείων που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο πιστοποιητικό. Η πρόσβαση σε αυτά τα αρχεία μπορεί να γίνει μέσω του προγράμματος περιήγησης EchoLink αφού περάσουν από την υπηρεσία αντιστοίχισης ταυτότητας.

Το πρόγραμμα περιήγησης δεδομένων πολλαπλών αλυσίδων παρέχει μια διαισθητική διεπαφή για την πρόσβαση σε πιστοποιητικά που έχουν δημιουργηθεί και αποθηκευτεί σε διάφορες αλυσίδες, όπως το Ethereum, το NEO και το XRP. Επιτρέπει στους χρήστες να αναζητούν υποψηφίους με βάση τις καταγεγραμμένες πληροφορίες πιστοποιητικών και πτυχίων και παρουσιάζει τα αποτελέσματα σε φιλική προς τον χρήστη μορφή.

Η βιωσιμότητα του στηρίζεται στο εγγενές κρυπτοπααραστατικό, το ΕΚΟ, και την χρήση του για την πληρωμή των τελών συναλλαγής. Ένα μέρος αυτών των τελών διανέμεται σε οργανισμούς εκπαίδευσης και κατάρτισης ως κίνητρο για την παροχή επαληθευμένων πληροφοριών και το υπόλοιπο χρησιμοποιείται για τη στήριξη της λειτουργίας του συστήματος. Επιπλέον, το έξυπνο συμβόλαιο του EchoLink και το πρόγραμμα περιήγησης πολλαπλών αλυσίδων υποστηρίζουν το ΕΚΟ σε διάφορες αλυσίδες μπλοκ, συμπεριλαμβανομένων δημόσιων, κοινοπραξίας και ιδιωτικών αλυσίδων. Αυτό επιτρέπει στους παρόχους δεδομένων από διαφορετικά συστήματα blockchain να ανταμείβονται βάσει μιας κοινής μονάδας. Τέλος, το κρυπτοπααραστατικό χρησιμεύει επίσης ως μέσο για τη δημιουργία μιας διεθνούς αγοράς φήμης για την εκπαίδευση και το επίπεδο δεξιοτήτων. Με τη χρήση του ως κοινής μονάδας ανταλλαγής αξιών εντός του συστήματος EchoLink, η ποιότητα της εκπαίδευσης σε διαφορετικές χώρες, ιδρύματα και κλάδους μπορεί να συγκριθεί και να μετρηθεί με συνέπεια.

5.9 EduCTX

Η πλατφόρμα EduCTX [42, 85] είναι ένα σύστημα που βασίζεται στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών για τη βαθμολόγηση φοιτητών και τη μεταφορά πιστωτικών μονάδων στην τριτοβάθμια εκπαίδευση. Η λειτουργία είναι ανάλογη αυτής σε ένα ομότιμο δίκτυο, με τα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης να λειτουργούν ως ομότιμοι και τους φοιτητές και τους οργανισμούς ως χρήστες της πλατφόρμας. Η πλατφόρμα είναι χτισμένη πάνω στην αλυσίδα ARK έχει ως κρυπτοπαραστατικό το ECTX και χρησιμοποιεί ως αλγόριθμο συναίνεσης το Delegated Proof of Stake (DPoS), ο οποίος επιτρέπει στα ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης (ΑΕΙ) μέλη να εγγραφούν ως επιβεβαιωτές και στην κοινότητα EduCTX να ψηφίσει έναν από αυτά ως αντιπρόσωπο για την επιβεβαίωση των συναλλαγών και την υπογραφή των μπλοκ ώστε να μην μπορούν να τροποποιηθούν.

Για να ενταχθεί στο δίκτυο, ένα νέο ΑΕΙ πρέπει να δημιουργήσει ένα πορτοφόλι και μια διεύθυνση blockchain, που θα περιέχει τα δημόσια και ιδιωτικά κλειδιά του, χρησιμοποιώντας την διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών του EduCTX που παρέχεται μέσω Github [85] ή την εφαρμογή πελάτη ECTX Wallet . Στη συνέχεια, το νέο ΑΕΙ πρέπει να επικοινωνήσει με ένα υφιστάμενο ΑΕΙ, το οποίο θα επαληθεύσει τα επίσημα στοιχεία του νέου ΑΕΙ και θα μεταφέρει 1 ECTX στη διεύθυνση του νέου ΑΕΙ για την επαλήθευσή της. Μετά την επιβεβαίωση της συναλλαγής, αποστέλλεται ένα αίτημα επιστροφής χρημάτων στο νέο ΑΕΙ μέσω ενός ιδιωτικού καναλιού και κατά την ολοκλήρωση αυτού του αιτήματος ολοκληρώνεται η εγγραφή του νέου ΑΕΙ στο δίκτυο.

Όταν ένας φοιτητής εγγράφεται σε ένα ίδρυμα που ανήκει στο EduCTX, το ίδρυμα εκδίδει το αναγνωριστικό του φοιτητή και επίσης δημιουργεί μια νέα διεύθυνση blockchain για τον φοιτητή, η οποία θα περιέχει ένα δημόσιο και ένα ιδιωτικό κλειδί. Το ίδρυμα δημιουργεί ακόμη μια διεύθυνση 2-2 πολλαπλών υπογραφών χρησιμοποιώντας το δημόσιο κλειδί του φοιτητή και το δημόσιο κλειδί του. Στη συνέχεια μεταφέρει 0,1 ECTX στη διεύθυνση 2-2 και παρέχει στον φοιτητή τις απαραίτητες πληροφορίες για να δημιουργήσει το δικό του πορτοφόλι και τη δική του διεύθυνση 2-2. Ο φοιτητής θα πρέπει να μεταφέρει 0,1 ECTX στη διεύθυνση του ΑΕΙ χρησιμοποιώντας το δικό του πορτοφόλι 2-2 πολλαπλών υπογραφών, και στη συνέχεια το ΑΕΙ επιβεβαιώνει την επιτυχή δημιουργία του πορτοφολιού του φοιτητή στη βάση δεδομένων του.

Η χρήση των διευθύνσεων πολλαπλών υπογραφών είναι αναγκαία για την αποτροπή μεταφοράς και λήψης ECTX από το φοιτητή χωρίς την άδεια του ιδρύματος. Όταν ένας φοιτητής ολοκληρώσει ένα μάθημα, ο καθηγητής ελέγχει τα αποτελέσματα των εξετάσεων και, εάν ο φοιτητής ήταν επιτυχής, καταχωρεί την ολοκλήρωση των υποχρεώσεων του φοιτητή στο μάθημα. Στη συνέχεια, μεταφέρεται ο κατάλληλος αριθμός ECTX στο πορτοφόλι του φοιτητή και η συναλλαγή καταγράφεται στην αλυσίδα. Ο φοιτητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τα κρυπτοπαραστατικά ECTX που έχει στη διάθεση του για να αποδείξει την ολοκλήρωση των μαθημάτων του και τα ακαδημαϊκά του επιτεύγματα σε πιθανούς εργοδότες ή άλλους ενδιαφερόμενους.

Εκτός από το πορτοφόλι ECTX, το οικοσύστημα EduCTX περιλαμβάνει έναν δημόσιο εξερευνητή της αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, ο οποίος εμφανίζει τη συνολική κατάσταση του δικτύου EduCTX και επιτρέπει στους χρήστες να βλέπουν το περιεχόμενο των μεμονωμένων μπλοκ, των συναλλαγών και του ιστορικού. Για την αξιόπιστη χρήση του εξερευνητή για την πιστοποίηση των ικανοτήτων ενός φοιτητή, το ίδρυμα μπορεί να ζητήσει την υπογραφή ενός μηνύματος με την διεύθυνση που φαίνεται στον εξερευνητή ότι ανήκει στο φοιτητή για την ταυτοποίηση του και την απόδειξη ιδιοκτησίας της διεύθυνσης. Συνολικά, οι μηχανισμοί ασφαλούς ζεύξης ενός φοιτητή με την διεύθυνση του στο δίκτυο φαίνονται στον πίνακα 7.

Μηχανισμός	Σκοπός
Δημιουργία διεύθυνσης πολλαπλών υπογραφών	Αποτροπή αποστολής και λήψης κρυπτοπαραστατικών χωρίς την εκπλήρωση μαθησιακών υποχρεώσεων
Μεταφορά κρυπτοπαραστατικών	Αρχική ταυτοποίηση και επιβεβαίωση γνώσης χρήσης του πορτοφολιού από το φοιτητή
Υπογραφή μηνύματος από το φοιτητή	Απόδειξη ιδιοκτησίας μιας διεύθυνσης

Πίνακας 7: Μηχανισμοί ζεύξης ενός φοιτητή με μια διεύθυνση στο EduCTX

5.10 English Forward

Η English Forward [86] είναι μια πλατφόρμα παροχής πόρων και υποστήριξης για την εκμάθηση της αγγλικής γλώσσας. Διαθέτει μεγάλη βάση χρηστών από καθηγητές και μαθητές, σημειώνοντας 19 χρόνια λειτουργίας. Επί του παρόντος, η πλατφόρμα βρίσκεται στη διαδικασία ενσωμάτωσης της τεχνολογίας αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών του Πρωτοκόλλου Forward [87], η οποία περιλαμβάνει τρία βασικά έξυπνα συμβόλαια από τα δώδεκα του πρωτοκόλλου: την απόδειξη αξίας-παράδοσης (PoVD), την απόδειξη αξίας (PoV) και την κατανεμημένη ανταμοιβή και κατανομή εσόδων (DRRS).

Το PoVD είναι ένα έξυπνο συμβόλαιο που παρέχει κίνητρα για την ολοκλήρωση εργασιών, προσφέροντας ανταμοιβές για την επιτυχή ολοκλήρωσή τους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αγορές, για ελεύθερους επαγγελματίες, για την πρόσληψη ασκούμενων, και για φροντιστήρια. Ένα παράδειγμα χρήσης του, στην English Forward, είναι όταν ένας επαγγελματίας προσθέτει ένα νέο μάθημα στην αγορά και προσφέρει κίνητρα προκειμένου να ενθαρρύνει τους μαθητές να ολοκληρώσουν το μάθημα. Ο επαγγελματίας μπορεί να ανταμειφθεί περαιτέρω, ανάλογα με την επιτυχία του μαθητή, και η English Forward έχει τη δυνατότητα να προσαρμόσει τα κριτήρια και τις ρυθμίσεις του συμβολαίου ούτως ώστε να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Το PoV είναι ένα έξυπνο συμβόλαιο που ανταμείβει τους χρήστες για τη δημιουργία και την ανταλλαγή πολύτιμου περιεχομένου. Λειτουργεί υπολογίζοντας την αξία του περιεχομένου βάσει διαφόρων παραγόντων, όπως της διάδρασης και των διαφημιστικών εσόδων, και διανέμοντας τις ανταμοιβές αναλόγως. Ένα παράδειγμα χρήσης του, στην English Forward, είναι όταν ένας χρήστης δημοσιεύει μια ερώτηση με κίνητρο τη βέλτιστη απάντηση και οι άλλοι χρήστες ανταμείβονται με βάση τη διάδραση τους όπως δίνοντας μια απάντηση ή παραπέμποντας σε πηγές και την αξία του περιεχομένου που συνεισφέρουν.

Το DRRS είναι ένα έξυπνο συμβόλαιο που διανέμει έσοδα και ανταμοιβές μεταξύ των μελών μιας κοινότητας, με βάση τη συνεισφορά τους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός δίκαιου και διαφανούς συστήματος διανομής εσόδων και ανταμοιβών μεταξύ των μελών μιας κοινότητας. Ένα παράδειγμα της χρήσης του, στην English Forward, είναι όταν ένας χρήστης δημιουργεί ένα πορτοφόλι επιβράβευσης που μπορεί

να χρηματοδοτηθεί από δωρεές και κίνητρα/πρωτοβουλίες, τα οποία θα μοιράζονται με τον εκπαιδευόμενο με την επίτευξη προκαθορισμένων στόχων στα μαθήματά του. Το DRRS διασφαλίζει ότι τα έσοδα και οι ανταμοιβές κατανέμονται δίκαια μεταξύ όλων των μελών της κοινότητας.

5.11 Success Life

Το οικοσύστημα SuccessLife [62, 88] αποτελεί μια πλατφόρμα παροχής προϊόντων και υπηρεσιών εκπαιδευτικής, προσωπικής και επαγγελματικής ανάπτυξης στους συνδρομητές της βασισμένο στην αλυσίδα του Ethereum. Τροφοδοτείται από τα SuccessLife κρυπτοπαραστατικά (SXL), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αγορές και βαθμιδωτή πρόσβαση στο περιεχόμενο εντός της πλατφόρμας.

Η αγορά του SuccessLife συνιστά ένα δομικό στοιχείο του οικοσυστήματος SuccessLife, που επιτρέπει στους χρήστες την πρόσβαση και την αγορά διαφόρων προϊόντων και υπηρεσιών εκπαιδευτικής, προσωπικής και επαγγελματικής ανάπτυξης. Αυτά τα προϊόντα και οι υπηρεσίες διατίθενται από πληθώρα παρόχων και μπορούν να πληρωθούν με τη χρήση SXL. Η αγορά του SuccessLife διαθέτει, επίσης, ένα πρόγραμμα ανταμοιβών που παρέχει κίνητρα για τη χρήση των κρυπτοπαραστατικών κι ενθαρρύνει τη δημιουργία περιεχομένου. Οι δημιουργοί περιεχομένου μπορούν να κερδίσουν επιπλέον SXL για τη δημιουργία περιεχομένου υψηλής ποιότητας, στο οποίο σημειώνεται συχνή πρόσβαση.

Το Success Resources είναι ένα άλλο δομικό στοιχείο του οικοσυστήματος SuccessLife. Πρόκειται για μια παγκόσμια εταιρεία εκπαίδευσης και κατάρτισης που προσφέρει εκδηλώσεις, σεμινάρια και εργαστήρια σε θέματα προσωπικής και επαγγελματικής ανάπτυξης. Οι συνδρομητές του SuccessLife μπορούν να χρησιμοποιούν SLX για να αγοράσουν εισιτήρια για τις εκδηλώσεις της Success Resources, ενώ μπορούν και να κερδίζουν SLX μέσω προσφορών και προγραμμάτων επιβράβευσης για συναλλαγές που πραγματοποιούνται εντός του Success Resources.

Το NewTycoon Plus (NT+) είναι ένα τρίτο δομικό στοιχείο του οικοσυστήματος SuccessLife. Πρόκειται για μια πλατφόρμα βασισμένη στην συμμετοχή της κοινότητας της, η οποία επιτρέπει στα μέλη της να συσσωρεύουν Bitcoin ακολουθώντας μία σχετικά απλή διαδικασία, περιορισμένου κινδύνου. Τα μέλη του NT+ αγοράζουν εξορυκτική ισχύ (Mining Power) και το εκμισθώνουν πίσω στο NT+ με σταθερό επιτόκιο για 7 μήνες. Στο τέλος της μίσθωσης, τα μέλη της NT+ κερδίζουν ένα μπόνους +5% SXL με βάση την αρχική ποσότητα MP που αγοράστηκε. Τα SXL που κερδίζονται μέσω του NT+ μπορούν να εξαργυρωθούν εντός της αγοράς του SuccessLife, για εισιτήρια εκδηλώσεων Success Resources ή εντός του οικοσυστήματος SuccessLife, για προϊόντα και υπηρεσίες τρίτων.

Εν κατακλείδι, η αγορά του SuccessLife, οι Success Resources και το NewTycoon Plus αποτελούν αναπόσπαστα μέρη του οικοσυστήματος SuccessLife, το οποίο στοχεύει στην ενδυνάμωση των ατόμων μέσω της προσωπικής και επαγγελματικής ανάπτυξης. Τα οφέλη του οικοσυστήματος συνοψίζονται στον πίνακα 8.

Δομικό Στοιχείο	Λειτουργία
Αγορά SuccessLife	Αγορά εκπαιδευτικών προϊόντων και υπηρεσιών
Success Resources	Απόκτηση πρόσβασης σε εκδηλώσεις και σεμινάρια
NewTycoon Plus	Απόκτηση κέρδους

Πίνακας 8: Οι λειτουργίες των δομικών στοιχείων της SuccessLife

5.12 Sony Global Education

Η Sony Global Education [24, 62, 89] αναπτύσσει μια πλατφόρμα πιστοποιητικών επόμενης γενιάς που στοχεύει στη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου, ανοικτού και αξιόπιστου συστήματος για την καταγραφή ατομικών πιστοποιητικών εκπαίδευσης και κατάρτισης. Η πλατφόρμα συγκεντρώνει δεδομένα από διάφορες πηγές σε ένα σύστημα που καταγράφει με ακρίβεια τις ατομικές επιδόσεις σε ακαδημαϊκά κι εκπαιδευτικά περιβάλλοντα και ελέγχει την πρόσβαση στις καταγεγραμμένες πληροφορίες. Η Sony Global Education επέλεξε να χρησιμοποιήσει το Hyperledger Fabric, ένα πλαίσιο

αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, έργου του Ιδρύματος Linux Foundation, προκειμένου να τροφοδοτήσει την πλατφόρμα. Η εν λόγω επιλογή βασίστηκε στην ικανότητά του να υποστηρίζει έξυπνα συμβόλαια, καταμερισμό δεδομένων και τεχνολογία ανοικτού κώδικα. Η πλατφόρμα αναπτύσσεται σε φάσεις, με την πρώτη φάση να επικεντρώνεται στην ανάπτυξη πρωτοτύπων και τη δεύτερη φάση να επικεντρώνεται στις δοκιμές και τη συνεργασία με το ιαπωνικό Υπουργείο Εσωτερικών Υποθέσεων και Επικοινωνιών. Ο απώτερος στόχος της πλατφόρμας είναι να συγκεντρώσει δεδομένα εκπαίδευσης και κατάρτισης για όλους και να επιτρέψει σε οργανισμούς με επαρκή δικαιώματα να αναλύσουν τα δεδομένα ούτως ώστε να εντοπίσουν τάσεις στους τομείς της εκπαίδευσης και κατάρτισης και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα των διαφόρων προγραμμάτων.

5.13 APPII

Η APPII [65, 90] είναι μια εταιρεία που παρέχει μια πλατφόρμα για την επαλήθευση και την ανταλλαγή επαγγελματικών πιστοποιητικών. Η πλατφόρμα επιτρέπει στα άτομα να αποθηκεύουν και να μοιράζονται με ασφάλεια τα επαγγελματικά τους προσόντα και την εργασιακή τους εμπειρία, διευκολύνοντας τους εργοδότες ως προς την επαλήθευση των πιστοποιητικών των υποψηφίων και τους επαγγελματίες να αποδεικνύουν τα προσόντα τους σε πιθανούς πελάτες.

Η APPII χρησιμοποιεί την τεχνολογία αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών του Ethereum για να διασφαλίσει τη γνησιότητα και το αναλλοίωτο των πιστοποιητικών που αποθηκεύονται στην πλατφόρμα, ενώ ακόμη χρησιμοποιεί βιομετρικά δεδομένα για την ταυτοποίηση των χρηστών. Η εταιρεία έχει επίσης αναπτύξει μια σειρά εργαλείων και υπηρεσιών για να βοηθήσει άτομα και οργανισμούς να διαχειριστούν τα πιστοποιητικά τους και να οικοδομήσουν την επαγγελματική τους φήμη διαμοιράζοντας την πληροφορία εύκολα και γρήγορα με τη χρήση κωδικών QR ή να επιταχύνουν την καριέρα τους δεχόμενοι επαγγελματικές συστάσεις μέσα από τη χρήση τεχνητής νοημοσύνης.

Ορισμένες περιπτώσεις χρήσης της APPII στον τομέα της εκπαίδευσης και της αγοράς εργασίας περιλαμβάνουν την υποστήριξη των εκπαιδευτικών και των φοιτητών στο να μοιράζονται και να επαληθεύουν τα προσόντα τους, επιτρέποντας στους

εργοδότες να επαληθεύουν ευκολότερα τα πιστοποιητικά των υποψηφίων εργαζομένων. Ακόμη, μέσα από την APPII μπορούν να ελέγξουν το μητρώο κάποιου αν το απαιτεί η εργασία.

5.14 Gradbase

Η Gradbase [24, 62, 91] ιδρύθηκε το 2016 από δύο αποφοίτους του Imperial College του Λονδίνου με στόχο την καταπολέμηση της ακαδημαϊκής απάτης κατά τη διαδικασία πρόσληψης. Χρησιμοποιώντας την αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών του Bitcoin, για την ασφαλή αποθήκευση και επαλήθευση των προσόντων των υποψηφίων, η Gradbase στοχεύει στην παροχή μίας πλατφόρμας που επιτρέπει στους υπεύθυνους προσλήψεων να επαληθεύουν άμεσα οποιοδήποτε προσόν, σε προσιτή τιμή.

Επί του παρόντος, πολλοί υπεύθυνοι προσλήψεων διστάζουν να επαληθεύσουν τα προσόντα λόγω του υψηλού κόστους και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που απαιτείται για τους ελέγχους ιστορικού, με αποτέλεσμα να ελλοχεύει ο κίνδυνος να προσληφθεί ο λάθος υποψήφιος και να προκληθεί οικονομική ζημία και δυσφήμιση. Η Gradbase επιδιώκει να μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο τα πανεπιστήμια, οι εργοδότες και οι υποψήφιοι προσεγγίζουν την επαλήθευση των επαγγελματικών δεξιοτήτων.

Για τα πανεπιστήμια, η πλατφόρμα παρέχει έναν τρόπο αποφυγής της απάτης που συνδέεται με τα διπλώματα, μέσω της αμετάβλητης αποθήκευσης και της δυνατότητας επικερδούς εκμετάλλευσης των υπηρεσιών επαλήθευσης. Για τους εργοδότες, η πλατφόρμα καθιστά εύκολη και αποτελεσματική την επαλήθευση των προσόντων κατά τη λήψη του βιογραφικού ενός υποψηφίου, σε αντίθεση με την αναμονή για επαλήθευση πολύ αργότερα, κατά τη διαδικασία πρόσληψης. Τέλος, η πλατφόρμα ενθαρρύνει του υποψηφίους να συμπεριλάβουν κωδικούς QR στο βιογραφικό τους για να επαληθεύσουν τα προσόντα τους και να ξεχωρίσουν στην αγορά εργασίας, εισάγοντας έτσι τον ανταγωνισμό ανάμεσα στους υποψηφίους.

5.15 Stampery

Η BTA, ή Blockchain Timestamping Architecture, είναι μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τη Stampery [24, 92] κι επιτρέπει την ασφαλή χρονοσήμανση, ακολουθώντας διαφανείς διαδικασίες, και αγκύρωση (anchoring) απεριόριστου όγκου δεδομένων. Η BTA χρησιμοποιεί τόσο τις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών του Bitcoin και του Ethereum για να διασφαλίσει την ακεραιότητα και την απόδοση των δεδομένων που επεξεργάζεται, καθιστώντας την μια εξαιρετικά ασφαλή και αξιόπιστη λύση για την αγκύρωση δεδομένων. Η BTA είναι σε θέση να επεξεργάζεται έως και 10^9 σύνολα δεδομένων ανά δευτερόλεπτο και παράγει μοναδικά κρυπτογραφικά αναγνωριστικά για κάθε σύνολο δεδομένων, ώστε να διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα, ενώ παράλληλα επιτρέπει την ανεξάρτητη επαλήθευση.

Στον τομέα της εκπαίδευσης, το BTA θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή και διαφανή καταγραφή και επαλήθευση ακαδημαϊκών επιτευγμάτων και πιστοποιητικών. Για παράδειγμα, τα πανεπιστήμια θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τη BTA για την καταγραφή και επαλήθευση των αναλυτικών βαθμολογιών και των πτυχίων των φοιτητών τους, παρέχοντας έναν ασφαλή και διαφανή τρόπο για να παρουσιάζουν οι φοιτητές τα προσόντα τους σε πιθανούς εργοδότες. Οι εργοδότες θα μπορούσαν στη συνέχεια να χρησιμοποιούν τη BTA για να επαληθεύουν τη γνησιότητα αυτών των πιστοποιητικών, διασφαλίζοντας ότι προσλαμβάνουν εξειδικευμένους υποψηφίους. Επιπλέον, η BTA θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή και επαλήθευση των πιστωτικών μονάδων συνεχιζόμενης εκπαίδευσης, βοηθώντας τους επαγγελματίες να διατηρούν τις δεξιότητες και τις γνώσεις τους επικαιροποιημένες. Με τη χρήση της BTA για την αγκύρωση των εκπαιδευτικών δεδομένων, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα και οι εργοδότες μπορούν να έχουν εμπιστοσύνη στη γνησιότητα και την ακεραιότητα των αρχείων στα οποία βασίζονται.

Η Stampery BTA (Blockchain Timestamping Architecture) είναι μια τεχνολογία της οποίας η κατοχύρωση ως πατέντας εκκρεμεί και η οποία επιτρέπει τη χρονοσήμανση και αγκύρωση απεριόριστου όγκου δεδομένων στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών Bitcoin και Ethereum. Υπερβαίνει τους περιορισμούς των δημόσιων αλυσίδων κατανεμημένων εγγραφών, όπως τη χαμηλή απόδοση συναλλαγών και τα όρια μικρού μεγέθους δεδομένων, με τη δέσμη συναλλαγών και τη χρήση κρυπτογραφικών δομών

για την επεξεργασία έως και 10^9 συνόλων δεδομένων ανά δευτερόλεπτο, και την εξαγωγή μοναδικών ασφαλών κρυπτογραφικών αναγνωριστικών. Αυτά τα αναγνωριστικά, ή τιμές κατακερματισμού, δημοσιεύονται στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών, επιτρέποντας τη διαφανή και εύκολη επαλήθευση των σημασμένων δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα την ιδιωτικότητα.

Η ΒΤΑ παράγει επίσης κρυπτογραφικές αποδείξεις για κάθε μεμονωμένο σύνολο δεδομένων, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επαλήθευση της ύπαρξης των δεδομένων σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Αυτό μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή αυτόματα, επιτρέποντας ασφαλείς συναλλαγές μεταξύ μηχανών (machine-to-machine, “M2M”).

Συνολικά, η ΒΤΑ παρέχει έναν τρόπο διασφάλισης της ύπαρξης, της ακεραιότητας και της απόδοσης των δεδομένων, επιτρέποντας τη διαφάνεια, τη λογοδοσία και τον έλεγχο. Έχει μια σειρά από πιθανές περιπτώσεις χρήσης, μεταξύ άλλων στον τομέα της εκπαίδευσης, όπου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση της αυθεντικότητας και της ακεραιότητας του εκπαιδευτικού υλικού, των πιστοποιητικών και των αναλυτικών βαθμολογιών, καθώς και για την παρακολούθηση της προόδου των μαθητών και την παροχή ασφαλούς επικοινωνίας M2M μεταξύ συστημάτων.

Πεδίο εφαρμογής	Περιγραφή
Επαλήθευση ολοκλήρωσης μαθημάτων	Η ΒΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει με ασφάλεια και διαφάνεια ότι ένας σπουδαστής έχει ολοκληρώσει ένα μάθημα, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο των επιτευγμάτων του. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργοδότες, εκπαιδευτικούς φορείς και άλλους οργανισμούς που πρέπει να επαληθεύσουν τα διαπιστευτήρια ενός σπουδαστή.

<p>Επαλήθευση της έκδοσης πτυχίων και πιστοποιητικών</p>	<p>Η ΒΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει ότι ένα πτυχίο ή ένα πιστοποιητικό έχει εκδοθεί σε έναν σπουδαστή από ένα διαπιστευμένο ίδρυμα, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο των προσόντων του σπουδαστή. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργοδότες και άλλους οργανισμούς που πρέπει να επαληθεύσουν τα διαπιστευτήρια ενός σπουδαστή.</p>
<p>Επαλήθευση αναλυτικών βαθμολογιών</p>	<p>Η ΒΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει ότι η αναλυτική βαθμολογία ενός φοιτητή είναι ακριβής και δεν έχει αλλοιωθεί, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο του ακαδημαϊκού ιστορικού του φοιτητή. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργοδότες, εκπαιδευτικούς φορείς και άλλους οργανισμούς που χρειάζεται να επαληθεύσουν τα διαπιστευτήρια ενός φοιτητή.</p>
<p>Επαλήθευση βαθμών κι εξετάσεων</p>	<p>Η ΒΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει ότι οι βαθμοί και τα αποτελέσματα των εξετάσεων ενός σπουδαστή είναι ακριβή και δεν έχουν αλλοιωθεί, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο των ακαδημαϊκών επιδόσεων του μαθητή. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργοδότες, εκπαιδευτικούς φορείς και άλλους οργανισμούς που</p>

	πρέπει να επαληθεύσουν τα διαπιστευτήρια ενός φοιτητή.
Επαλήθευση επαγγελματικής σταδιοδρομίας	Η ΒΤΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει ότι ένας σπουδαστής έχει ολοκληρώσει μαθήματα για την επαγγελματική του εξέλιξη ή προγράμματα κατάρτισης, παρέχοντας ένα αμετάβλητο αρχείο της επαγγελματικής του πορείας. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για εργοδότες και άλλους οργανισμούς που πρέπει να επαληθεύσουν τα διαπιστευτήρια ενός σπουδαστή.

Πίνακας 9: Πεδία εφαρμογής της Stampery στην εκπαίδευση

5.16 OriginStamp

Η OriginStamp [62, 93] είναι μια πλατφόρμα που επιτρέπει στους χρήστες να προχωρούν στη χρονοσήμανση κι επαλήθευση της γνησιότητας ψηφιακών εγγράφων και δεδομένων. Χρησιμοποιεί την αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών του Bitcoin για να δημιουργήσει ένα μόνιμο και αμετάβλητο αρχείο της υποβολής και της ύπαρξης των δεδομένων. Η πλατφόρμα επιτρέπει στους χρήστες να υποβάλλουν οποιοδήποτε τύπο ψηφιακού αρχείου, συμπεριλαμβανομένων εγγράφων, εικόνων, βίντεο και ηχογραφήσεων, και αποδίδει μια μοναδική τιμή κατακερματισμού στα δεδομένα, η οποία στη συνέχεια αγκυρώνεται στις αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών του Bitcoin ή του Ethereum. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται ένα απαραβίαστο αρχείο δεδομένων, που μπορεί να επαληθευτεί ανεξάρτητα από οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών.

Στον τομέα της εκπαίδευσης, η OriginStamp θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επαλήθευση της γνησιότητας και της ακεραιότητας ακαδημαϊκών εγγράφων, όπως αναλυτικών βαθμολογιών, πιστοποιητικών και διπλωμάτων. Με τη χρονοσήμανση αυτών των εγγράφων στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, τα εκπαιδευτικά ιδρύματα μπορούν να παρέχουν ένα απαραβίαστο αρχείο της έκδοσης και της αυθεντικότητας των εγγράφων, το οποίο μπορεί να επαληθευτεί εύκολα από εργοδότες ή άλλους οργανισμούς. Αυτό θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση της απάτης και να διασφαλίσει ότι τα πιστοποιητικά των φοιτητών και των αποφοίτων αναπαριστώνται με ακρίβεια.

5.17 Turing Certs

Η TuringCerts [65, 94] είναι μια πλατφόρμα αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών που εστιάζει την ιδιωτικότητα για την επαλήθευση και επικύρωση ακαδημαϊκών πιστοποιητικών και επαγγελματικών πιστοποιήσεων. Αξιοποιεί τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας αλυσίδας κατανεμημένων εγγραφών, όπως η ελεγχιμότητα και η οικονομική αποδοτικότητά της, για να επαναπροσδιορίσει τα παραδοσιακά εκπαιδευτικά πιστοποιητικά και να επιτρέψει την ενοποιημένη και βιώσιμη παρακολούθηση αρχείων για τον κλάδο της εκπαίδευσης. Η πλατφόρμα διασφαλίζει την πλήρη κάλυψη, τον έλεγχο

και τη συντήρηση των δεδομένων για τους χρήστες και διατηρεί την εμπιστοσύνη της πηγής και την αξιοπιστία των εξουσιοδοτημένων πιστοποιητικών. Υιοθετεί το Πρότυπο Αποκεντρωμένου Αναγνωριστικού Ταυτότητας και χρησιμοποιεί ένα ασύμμετρο σχήμα κρυπτογράφησης, όπως το RSA, για τη διασφάλιση της ιδιωτικότητας των χρηστών. Η TuringCerts είναι συνδεδεμένο με το Xcelerator από το UC Berkeley Blockchain Lab και υποστηρίζεται από το IOTA Foundation για την αποτελεσματική υιοθέτηση κι εφαρμογή σε παγκόσμιο επίπεδο. Επί του παρόντος μεταφέρεται στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών IOTA. Η πλατφόρμα δοκιμάζεται σε βήτα στάδιο (beta testing) σε 12 πανεπιστήμια και κυβερνητικές υπηρεσίες κι έχει ως στόχο να δώσει λύση στη χρονική και οικονομική επιβάρυνση των διεθνών φοιτητών κατά την επαλήθευση και την αποστολή εκπαιδευτικών εγγράφων.

Επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν πρότυπα πιστοποιητικών, να εισάγουν τα δεδομένα των παραληπτών και να εκδίδουν ατομικά πιστοποιητικά. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει επίσης μια λειτουργία για την παρακολούθηση της κατάστασης έκδοσης των πιστοποιητικών και για τη λήψη και ανάκληση πιστοποιητικών, όποτε κρίνεται αναγκαίο. Περιλαμβάνει επίσης λειτουργία διαχείρισης παραληπτών για τη διαχείριση των παραληπτών των εκδοθέντων πιστοποιητικών, καθώς και λειτουργία για την παρακολούθηση των αρχείων των εκδοθέντων πιστοποιητικών. Τέλος, η πλατφόρμα περιλαμβάνει λειτουργία για την επιθεώρηση της ποσόστωσης έκδοσης κάποιου πιστοποιητικού, η οποία επιτρέπει στους χρήστες να παρακολουθούν τον αριθμό των πιστοποιητικών που έχουν εκδοθεί και να διασφαλίζουν ότι βρίσκονται εντός των καθορισμένων ορίων.

5.18 RecordsKeeper

Η RecordsKeeper [67, 95, 96] είναι μια αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών με νόμισμα το XRK που προσφέρει έναν ασφαλή, αποκεντρωμένο τρόπο αποθήκευσης, κοινής χρήσης και διαχείρισης δεδομένων. Βασίζεται στο σύστημα ζεύγους κλειδιών-τιμών, όπου κάθε εγγραφή αποθηκεύεται ως ζεύγος κλειδιών-τιμών με τη μορφή μιας συναλλαγής XRK στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών RecordsKeeper. Η

πλατφόρμα είναι δημόσια και παρέχει δυνατότητα εξόρυξης, πράγμα που σημαίνει ότι αποτελείται από διάφορους αποκεντρωμένους κόμβους που επαληθεύουν και επιβεβαιώνουν κάθε συναλλαγή πριν την προσθέσουν στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών. Αυτό διασφαλίζει ότι τα δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη RecordsKeeper δεν μπορούν να αλλοιωθούν, να τροποποιηθούν ή να αλλοιωθούν μόλις δημοσιευθούν και επιβεβαιωθούν στο καθολικό.

Η RecordsKeeper είναι κατάλληλη για ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων χρήσης, όπως την υπηρεσία επαλήθευσης της ταυτότητας των πελατών επιχειρήσεων με την τήρηση αντίστοιχου αρχείου, την τήρηση ασφαλιστικών αρχείων, την τήρηση αρχείων εταιρικής συμμόρφωσης, την επαλήθευση ακαδημαϊκής πιστοποίησης, τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την ανταλλαγή αρχείων χωρίς εμπιστοσύνη μεταξύ των εμπλεκόμενων μερών, τον κυβερνητικό κανονισμό, την τήρηση αρχείων ιδιοκτησίας γης, την επαλήθευση των εργαζομένων και τη διαχείριση αρχείων υγείας στο δικαστικό σύστημα. Επιτρέπει στους χρήστες να δημοσιεύουν διαφορετικούς τύπους δεδομένων, όπως JSON, XML, Hex, Objects και απλό κείμενο, με μέγιστο μέγεθος 2 MB ανά συναλλαγή. Η πλατφόρμα επιτρέπει επίσης στους χρήστες να ανακτούν τα δημοσιευμένα δεδομένα τους χρησιμοποιώντας ένα κλειδί.

Η RecordsKeeper διαθέτει μια σειρά από μοναδικά χαρακτηριστικά που το διαφοροποιούν από άλλα συστήματα αποθήκευσης, βάσεις δεδομένων και αλυσίδες κατανεμημένων εγγραφών. Είναι εύκολο στη χρήση, και διαθέτει έναν απλό μηχανισμό για την αποθήκευση δεδομένων και εντολές JSON RPC για την αλληλεπίδραση με την αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών. Επιπρόσθετα, είναι οικονομικά αποδοτικό, καθώς οι χρεώσεις για τη μεταφόρτωση δεδομένων βασίζονται στο μέγεθος των δεδομένων και όχι στην ενοικίαση αποθηκευτικού χώρου από άλλα μέρη. Επιπλέον, η RecordsKeeper χαρακτηρίζεται από ορισμένες τεχνικές προδιαγραφές, όπως αναφέρονται στον πίνακα 10.

Προδιαγραφή	Τιμή
Μέσο Μέγεθος Μπλοκ	250 bytes
Μέγιστο Μέγεθος Μπλοκ	8 Megabytes
Μέση Συχνότητα Εξόρυξης Μπλοκ	15 δευτερόλεπτα
Αλγόριθμος Συναίνεσης	Proof of Work (Μετάβαση σε Proof of Authority)
Αρχικό απόθεμα	50 εκατομμύρια XRK

Πίνακας 10: Οι τεχνικές προδιαγραφές της αλυσίδας του RecordsKeeper

Πρόκειται για ένα έργο ανοιχτού κώδικα που προσφέρει όλες τις απαραίτητες υπηρεσίες για την υποστήριξη των υπηρεσιών, όπως το πορτοφόλι, τον εξερευνητή αλυσίδας ακόμη και δωρεάν παροχή XRK για ανάπτυξη εφαρμογών σε δοκιμαστικά δίκτυα.

Συνολικά, η RecordsKeeper είναι μια ισχυρή και ευέλικτη πλατφόρμα για την ασφαλή αποθήκευση, κοινή χρήση και διαχείριση δεδομένων στην αλυσίδα καταναμημένων εγγραφών.

5.19 BitDegree

Η πλατφόρμα BitDegree [97] συνιστά μια αποκεντρωμένη διαδικτυακή εκπαιδευτική πλατφόρμα στην αλυσίδα του Ethereum που στοχεύει στην παροχή προσβάσιμης και οικονομικά προσιτής εκπαίδευσης σε άτομα σε όλο τον κόσμο. Χρησιμοποιεί την τεχνολογία αλυσίδας καταναμημένων εγγραφών για να διευκολύνει τη δημιουργία, την παράδοση και την επαλήθευση εκπαιδευτικού περιεχομένου και υπηρεσιών.

Η πλατφόρμα έχει σχεδιαστεί για να είναι αυτοσυντηρούμενη, με μαθήματα και άλλο εκπαιδευτικό υλικό να δημιουργούνται και να διαμοιράζονται από τους χρήστες, ενώ γίνεται χρήση «έξυπνων» κινήτρων μέσα από ένα έξυπνο συμβόλαιο για την ενθάρρυνση της δέσμευσης και της συμμετοχής των μαθητών.

Για να διασφαλιστεί η ταχύτερη διάχυση στην αγορά, η πλατφόρμα είναι αρχικά συγκεντρωτική, ενώ ορισμένες πτυχές της θα αποκεντρωθούν με την πάροδο του χρόνου. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν κρυπτογραφικές ψευδο-ταυτότητες, που προκύπτουν από κωδικό πρόσβασης, προκειμένου να αλληλεπιδρούν με την πλατφόρμα, ενώ έχουν τη δυνατότητα να συνδέσουν τις ταυτότητές τους με ταυτότητες που εκδίδονται από την κυβέρνηση, ώστε να είναι επιλέξιμοι για χρηματοδοτούμενα μαθήματα.

Η πλατφόρμα φιλοξενεί ένα αποθετήριο υλικού μαθημάτων, το οποίο δημιουργείται ή αδειοδοτείται από τους δημιουργούς του κατόπιν αιτήματος από χορηγούς, και διαθέτει ευρετήριο όλου του διαθέσιμου περιεχομένου προκειμένου να βοηθήσει τους χρήστες να βρουν το υλικό που ανταποκρίνεται περισσότερο στις ανάγκες τους. Η πλατφόρμα περιλαμβάνει επίσης εργαλεία αξιολόγησης που βοηθούν τους μαθητές να παρακολουθούν την πρόοδό τους και να επαληθεύουν την κατανόηση του υλικού, καθώς και μια βάση γνώσεων όπου οι χρήστες μπορούν να υποβάλλουν ερωτήσεις και να λαμβάνουν βοήθεια από άλλα μέλη της κοινότητας.

Όσον αφορά τους χορηγούς, μπορούν να δημιουργήσουν εκστρατείες για να επικοινωνήσουν τις ανάγκες τους και να χρησιμοποιήσουν τα κονδύλια του προϋπολογισμού τους για τα χορηγούμενα μαθήματα. Αυτές οι εκστρατείες μπορούν να καθορίζουν ποια αποτελέσματα θεωρούνται ικανοποιητικά, ποιοι είναι οι στόχοι αναφορικά με τα προσόντα και ποιοι είναι οι περιορισμοί στην επιλεξιμότητα των μαθητών. Οι χορηγοί μπορούν επίσης να καθορίσουν κανόνες για τον διαχωρισμό των ποσών της επιχορήγησης και να εφαρμόσουν την αρχή της δυναμικής τιμολόγησης με γνώμονα τα αποτελέσματα της τρέχουσας εκστρατείας. Μόλις οριστεί μια καμπάνια και καταβληθεί ο προϋπολογισμός, ο τελευταίος ανακοινώνεται δημόσια και η πλατφόρμα προσπαθεί να αντιστοιχίσει τους ενδιαφερόμενους φοιτητές με τα χορηγούμενα μαθήματα. Οι χορηγοί μπορούν να παρακολουθούν το συνολικό αριθμό εγγραφών των

φοιτητών και την ατομική πρόοδο και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις όταν τα αποτελέσματα της εκστρατείας επιτυγχάνονται, είτε μερικώς είτε πλήρως.

Όσον αφορά τη φοίτηση, οι πιστοποιημένοι φοιτητές μπορούν να δημιουργήσουν προφίλ, να αποκαλύψουν προσωπικές πληροφορίες και να καθορίσουν τις ρυθμίσεις απορρήτου. Μπορούν επίσης να κατατάξουν τα διάφορα πεδία και θέματα σπουδών και να επιλέξουν τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να επικοινωνήσει μαζί τους η πλατφόρμα. Οι σπουδαστές έχουν πρόσβαση σε διαθέσιμα χορηγούμενα μαθήματα και μπορούν να διαβάσουν για τις επιβραβεύσεις και τα προνόμια που σχετίζονται με την επιτυχή συμμετοχή και ολοκλήρωση. Μπορούν να εγγραφούν σε ένα συγκεκριμένο μάθημα απαντώντας σε ερωτήσεις σχετικά με τη διαθεσιμότητά τους, αλλά και να έχουν πρόσβαση στο υλικό του μαθήματος αμέσως μόλις εγγραφούν. Το υλικό των μαθημάτων παρουσιάζεται σε μικρά μέρη και περιλαμβάνει περιλήψεις, ετικέτες, επεξηγήσεις, περιγραφές, παραδείγματα, προκλήσεις και κριτήρια επαλήθευσης. Υπάρχει, επίσης, μια βάση γνώσεων για συχνές ερωτήσεις και υλικό που συνεισφέρουν οι χρήστες.

Τα εργαλεία αξιολόγησης της πλατφόρμας βοηθούν τους φοιτητές να παρακολουθούν την πρόδοό τους και να επαληθεύουν την κατανόηση του υλικού. Τα εργαλεία αυτά περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένες αξιολογήσεις, χειροκίνητες αξιολογήσεις και αξιολογήσεις από συμφοιτητές. Οι αυτοματοποιημένες αξιολογήσεις χρησιμοποιούν προκαθορισμένα κριτήρια και σύνολα δεδομένων για την αξιολόγηση της κατανόησης των φοιτητών, ενώ οι χειροκίνητες αξιολογήσεις πραγματοποιούνται από μέντορες ή άλλα εξειδικευμένα άτομα. Οι αξιολογήσεις από συμφοιτητές περιλαμβάνουν φοιτητές που αξιολογούν ο ένας την εργασία του άλλου στη βάση προκαθορισμένων κριτηρίων.

Εκτός από τα «έξυπνα» κίνητρα, η πλατφόρμα περιλαμβάνει επίσης ένα σύστημα παραπομπών για την επιβράβευση των χρηστών που παραπέμπουν άλλους στην πλατφόρμα. Η πλατφόρμα BitDegree περιλαμβάνει, επιπλέον, μια βάση γνώσεων όπου οι φοιτητές μπορούν να θέτουν ερωτήσεις και να λαμβάνουν βοήθεια από άλλα μέλη της κοινότητας. Πέραν των παραδοσιακών μεθόδων αξιολόγησης, η πλατφόρμα θα επιτρέπει επίσης τη συμπερίληψη υλικού μαθημάτων και αξιολογητών από τρίτους, καθώς και ευκαιρίες για τους φοιτητές να ενεργούν ως μέντορες για άλλους φοιτητές. Οι λειτουργίες του συστήματος συνοψίζονται στον πίνακα 11.

Χρήστης	Λειτουργία
Μαθητής	Παρακολούθηση μαθημάτων Αυτό-αξιολόγηση και αξιολόγηση τρίτων Συμμετοχή σε σύστημα ερωταπαντήσεων Καθοδήγηση άλλων μαθητών
Χορηγός	Δημιουργία τροποποιούμενης εκστρατείας για την προμοδότηση μαθημάτων και κάλυψη των αναγκών
Εκπαιδευτικός	Δημιουργία ή παραχώρηση δικαιώματος υλικού έναντι αμοιβής Καθοδήγηση και αξιολόγηση μαθητών

Πίνακας 11: Οι λειτουργίες της BitDegree ανά χρήστη

5.20 Disciplina

Η Disciplina [62, 98] είναι μια πλατφόρμα που βασίζεται στην ομώνυμη αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών, και η οποία έχει σχεδιαστεί ειδικά για τους τομείς της εκπαίδευσης και της πρόσληψης εργαζομένων. Στόχος της είναι να δημιουργήσει ένα αποκεντρωμένο σύστημα για την αποθήκευση και την επαλήθευση των εκπαιδευτικών και επαγγελματικών επιτευγμάτων και δεξιοτήτων, καθώς και για τη διαχείριση της διαδικασίας πρόσληψης.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά της Disciplina είναι η δυνατότητα δημιουργίας και έκδοσης επαληθευμένων ηλεκτρονικών διπλωμάτων και πιστοποιητικών που μπορούν να αποθηκευτούν στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών. Τα εν λόγω διπλώματα και πιστοποιητικά καθίστανται αμετάβλητα, γεγονός που συνεπάγεται την εύκολη επαλήθευση της αυθεντικότητάς τους από οποιονδήποτε έχει πρόσβαση στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών. Αυτό μπορεί να συμβάλει στη μείωση των

περιστατικών απάτης στους τομείς της εκπαίδευσης και της πρόσληψης εργαζομένων, καθώς διασφαλίζει ότι οι εργοδότες και άλλοι οργανισμοί είναι σε θέση να επαληθεύουν τα προσόντα των υποψήφιων εργαζομένων ή των φοιτητών.

Πέραν του ότι επικεντρώνεται στην εκπαίδευση και στην πρόσληψη εργαζομένων, η Disciplina αποσκοπεί, επίσης, στην παροχή εργαλείων και υποδομών για τη δημιουργία αποκεντρωμένων εφαρμογών σε διάφορους άλλους τομείς, όπως τα χρηματοοικονομικά, η υγειονομική περίθαλψη και η διακυβέρνηση. Αυτές οι εφαρμογές μπορούν να δημιουργηθούν πάνω στην αλυσίδα κατανεμημένων εγγραφών της Disciplina.

Συμπερασματικά, η Disciplina στοχεύει στην παροχή μιας αποκεντρωμένης, ασφαλούς και διαφανούς πλατφόρμας για την αποθήκευση κι επαλήθευση εκπαιδευτικών και επαγγελματικών επιτευγμάτων και δεξιοτήτων, καθώς και για την κατασκευή και ανάπτυξη αποκεντρωμένων εφαρμογών σε διάφορους τομείς.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναλύεται η επάρκεια των έργων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 5 τόσο σε σχέση με την κάλυψη των πεδίων εφαρμογών του κεφαλαίου 3, αλλά και με την ικανότητα τους να ανταπεξέλθουν στις προκλήσεις που επισημάνθηκαν στο κεφάλαιο 4. Κλείνει προτείνοντας μια ικανοποιητικότερη λύση.

6.1 Αξιολόγηση των έργων

Καθένα από τα έργα του προηγούμενου κεφαλαίου χρησιμοποιεί διαφορετικά τις αλυσίδες κατανομημένων εγγραφών για την επίτευξη συγκεκριμένων λειτουργιών. Ανάγοντας τις λειτουργίες αυτές στα πεδία εφαρμογής που αναγνωρίστηκαν οδηγούμαστε στην εικόνα χάρτη-θερμότητας 10.

Έργα	Διαχείριση πιστοποιητικών	Διαχείριση ικανοτήτων και μαθησιακών αποτελεσμάτων	Αξιολόγηση εργασιακών δεξιοτήτων και σύνδεση με την αγορά	Διασφάλιση διαφάνειας στο μαθησιακό περιβάλλον	Εξασφάλιση των μαθησιακών στόχων	Συναλλαγές πιστωτικών μονάδων και πληρωμή διδάκτρων	Απόκτηση συγκατάθεσης και κηδεμονία ψηφιακών δεδομένων	Διαχείριση πνευματικών δικαιωμάτων	Εξ'αποστάσεως διδασκαλία και συμμετοχή	Διεξαγωγή εξετάσεων και βαθμολόγηση
Blockcerts										
Cubomania										
Shikapa										
Open-Source University										
Tutellus										
ODEM										
Educhain										
EchoLink										
EduCTX										
English Forward										
Success Life										
Sony Global Education										
APPII										
Gradbase										
Stampery										
OriginStamp										
Turing Certs										
RecordsKeeper										
BitDegree										
Disciplina										

Εικόνα 10: Τα πεδία εφαρμογής των έργων

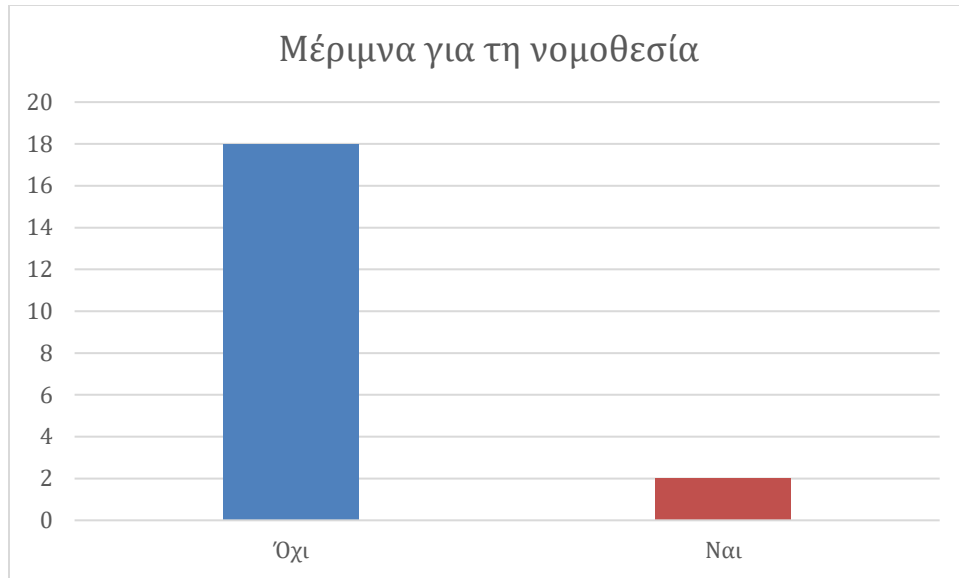
Όπως φαίνεται μερικά από τα έργα καλύπτουν μία μόνο εφαρμογή, ενώ τα πιο ευρεία από αυτά καλύπτουν μόνο επτά από τα δέκα πεδία. Στο ραβδόγραμμα της εικόνας 11 φαίνεται ο αριθμός των έργων ανά εφαρμογή.



Εικόνα 11: Έργα ανά πεδίο εφαρμογής

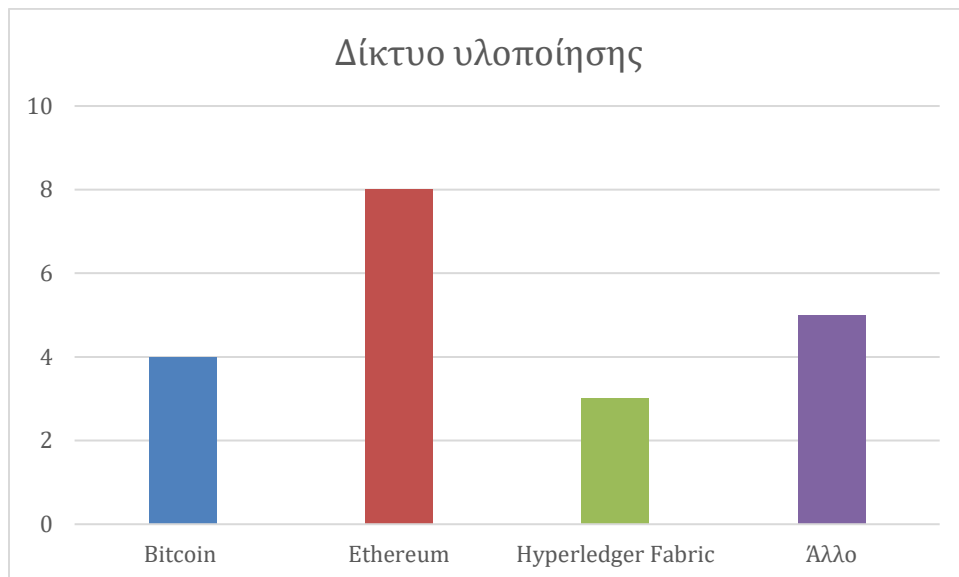
Φαίνεται πως η διαχείριση πιστοποιητικών είναι στο επίκεντρο των έργων της αγοράς, με την αξιολόγηση εργασιακών δεξιοτήτων και την ικανότητα συναλλαγής πιστωτικών μονάδων και πληρωμής διδάκτρων να έρχονται σε δεύτερη θέση. Δεδομένου πως μερικά έργα χρησιμοποιούν τις συναλλαγές πιστωτικών μονάδων ως μέσο αξιολόγησης, είναι εμφανής η τάση προς την κάλυψη των αναγκών της αγοράς. Οι αμιγώς εκπαιδευτικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η διδασκαλία και η διεξαγωγή εξετάσεων φαίνεται να είναι χαμηλότερα στις προτεραιότητες των είκοσι έργων που εξετάστηκαν.

Σχετικά με την μέριμνα για τα ισχύοντα νομικά πλαίσια μόλις δύο έργα, το Blockcerts και το Turing Certs, αναφέρουν συμβατότητα με το GDPR, ενώ τα υπόλοιπα δεν προσδιορίζουν κάποια σχετική μέθοδο όπως φαίνεται στο γράφημα 12.



Εικόνα 12: Αναφορά των έργων στη συμβατότητα με τα ισχύοντα νομικά πλαίσια

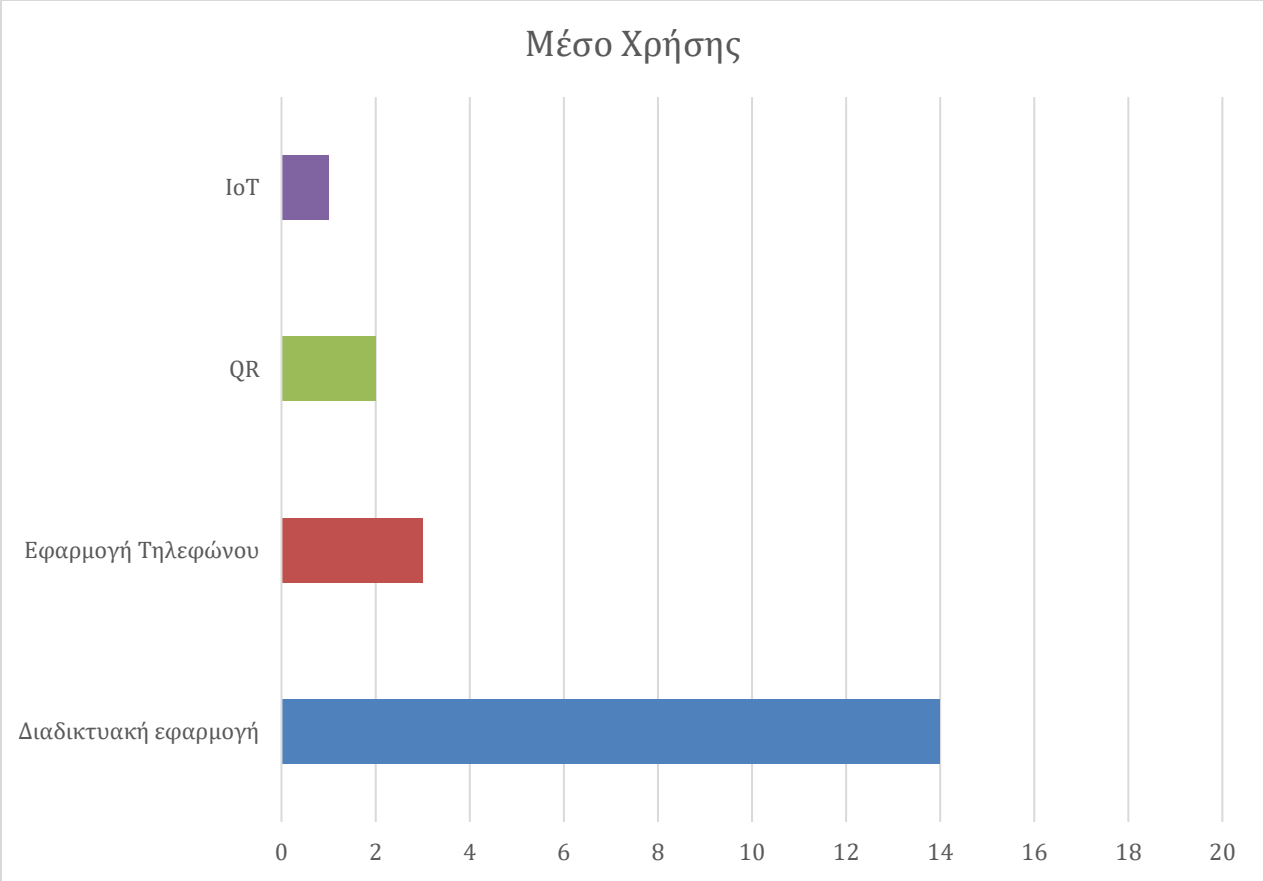
Όσον αφορά τις τεχνικές προδιαγραφές των έργων, ως πιο σημαντικές παράμετροι ορίστηκαν το μέγεθος του μπλοκ και ο αλγόριθμος συναίνεσης, ενώ ακόμη αναφέρθηκε πως η αγορά προτιμά τα δημόσια δίκτυα κάτι που θα διευκόλυνε τη μετάβαση στη χρήση της τεχνολογίας. Τα παραπάνω ταυτίζονται με την διερεύνηση των δικτύων υλοποίησης, αφού κάθε πρωτόκολλο ορίζει το μέγεθος του μπλοκ του, τον αλγόριθμο συναίνεσης και τον μηχανισμό επίτρεψης συμμετοχής. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 13: Τα δίκτυα επιλογής υλοποίησης των έργων

Τα έργα φαίνεται να ανταποκρίνονται κατάλληλα στις εκτιμώμενες τεχνικές προτιμήσεις της αγοράς όπως ορίστηκαν στο κεφάλαιο 4. Το Hyperledger Fabric, παρόλο που δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού του μεγέθους του μπλοκ στους συντηρητές του δικτύου, είναι ένα κοινοπρακτικό δίκτυο με επίτρεψη συμμετοχής και δεν προτιμάται ιδιαίτερα. Το δίκτυο του Bitcoin χρησιμοποιεί τον αλγόριθμο συναίνεσης PoW, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα κοστοβόρο και δύσκολο στην κλιμάκωση. Αντιθέτως, το Ethereum που είναι το πιο σύνηθες δίκτυο υλοποίησης των έργων είναι δημόσιο, έχει μεταβλητό μέγεθος μπλοκ εξαρτώμενο από τις μονάδες gas των συναλλαγών και χρησιμοποιεί τον PoS που επιτρέπει ευκολότερη κλιμάκωση. Παρόλα αυτά, κάποια από τα έργα υλοποιούνται σε άλλες αλυσίδες, γιατί προτιμάται κάποιος άλλος αλγόριθμος συναίνεσης εκτός του PoS. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε την κριτική που δέχεται το Ethereum για τη μετάβαση από τον PoW στον PoS, αφού ο πρώτος θεωρείται αποκεντροποιητικός, ενώ ο δεύτερος συγκεντρωτικός μιας και η ισχύς του κάθε μέλους είναι ανάλογη του πλούτου του.

Πέραν της χρηστικότητας και των τεχνικών προδιαγραφών των έργων, για την ταχύτερη ενσωμάτωση τους στο εκπαιδευτικό σύστημα είναι απαραίτητο η καμπύλη εκμάθησης και η ευκολία χρήσης τους από τα στελέχη των φορέων να είναι όσο το δυνατό πιο ομαλή. Σημαντικός είναι ο παράγοντας του μέσου πρόσβασης στην εφαρμογή. Οι δυνατότητες που προσφέρει στην ευκολία χρήσης μιας διαδικτυακής εφαρμογής έναντι μιας εξειδικευμένης συσκευής IoT είναι εμφανείς, λόγω της καθημερινής χρήσης της πρώτης έναντι της IoT. Επίσης, η ευκολία του σκαναρίσματος ενός κωδικού QR και η εκμάθηση μιας ολόκληρης διεπαφής ή η προτίμηση μιας εφαρμογής σε υπολογιστή έναντι μιας σε κινητό, αν η αξία φορητότητας δεν είναι υψηλή, είναι τετριμμένη λόγω του μεγέθους της οθόνης. Τα μέσα που χρησιμοποιούν τα έργα που εξετάστηκαν συνοψίζονται στο διάγραμμα 14.

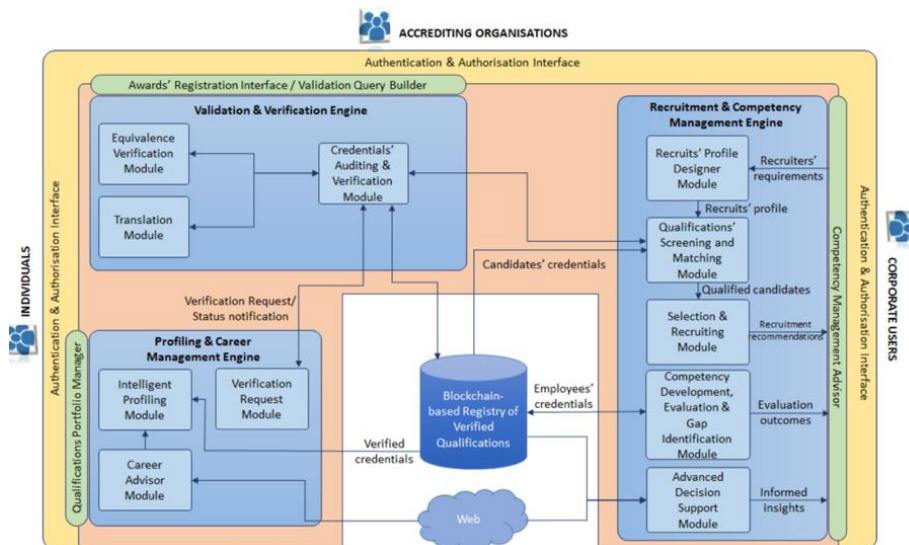


Εικόνα 14: Μέσα χρήσης των έργων

6.2 Προτεινόμενη Λύση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάστηκαν μόνο εμπορικά έργα που ικανοποιούν σε ένα βαθμό τις ανάγκες της αγοράς. Όμως, όσον αφορά τα πεδία εφαρμογής που σχετίζονται με την ενίσχυση της σύνδεσης των φοιτητών με την αγορά κανένα δεν παρουσιάζει βέλτιστα αποτελέσματα στην κάλυψη όλων των πεδίων .

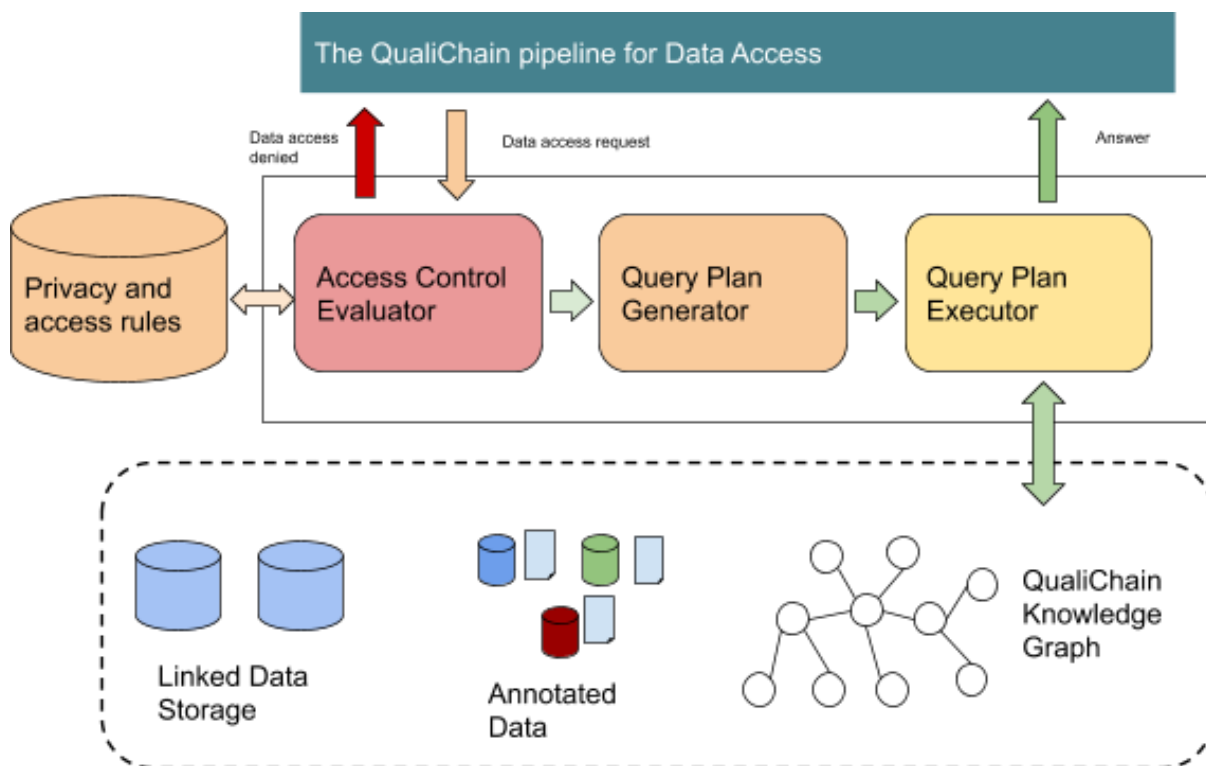
Σε αντίθεση με τα έργα αυτά, η Ευρωπαϊκή επιτροπή χρηματοδοτεί ένα έργο που καλύπτει και τα πέντε από τα δέκα πεδία εφαρμογής που σχετίζονται με την αγορά εργασίας, το Qualichain [99, 100, 101]. Είναι ένα έργο με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων της τεχνολογίας των αλυσίδων καταναμημένων εγγραφών για την υποστήριξη της αξιολόγησης, αναγνώρισης και επικύρωσης των μαθησιακών αποτελεσμάτων στην εκπαίδευση και την επαγγελματική κατάρτιση. Το έργο συγκεντρώνει μια κοινοπραξία εταιρών από όλη την Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων πανεπιστημίων, ερευνητικών κέντρων και εταιρειών τεχνολογίας, για το σχεδίασμα και την υλοποίηση μιας αποκεντρωμένης πλατφόρμας που επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να μοιράζονται τα ακαδημαϊκά τους επιτεύγματα και τα πιστοποιητικά τους με εργοδότες, εκπαιδευτικά ιδρύματα και άλλους σχετικούς φορείς.



Εικόνα 15: Η αρχιτεκτονική του Qualichain

Πηγή:[99]

Η αρχιτεκτονική του QualiChain, όπως φαίνεται στην εικόνα 15 αποτελείται από πέντε στοιχεία-συνιστώσες που συνεργάζονται για να δημιουργήσουν ένα αποκεντρωμένο και ανοικτό σύστημα για τη διαχείριση των προσόντων και την εξέλιξη της σταδιοδρομίας. Η συνιστώσα «Έλεγχος πρόσβασης και διαχείριση ταυτότητας» περιλαμβάνει μια διεπαφή ελέγχου ταυτότητας μέσω των DID και εξουσιοδότησης για ασφαλή έλεγχο πρόσβασης κάνοντας χρήση για τον έλεγχο της πρόσβασης τόσο των DID, αλλά και βέλτιστων πρακτικών όπως ο έλεγχος βάσει ιδιοτήτων (attribute-based access control). Η χρήση αυτής της συνιστώσας είναι για την ταυτοποίηση και έγκυρη πρόσβαση των χρηστών. Η συνιστώσα «Μηχανή γράφων γνώσης και επιβεβαίωσης» επεξεργάζεται κατάλληλα τα δεδομένα βάσει της εικόνας 16 και περιλαμβάνει το μητρώο επαληθευμένων προσόντων στην αλυσίδα, το μηχανισμό ελέγχου και επαλήθευσης πιστοποιητικών, το μηχανισμό αιτήσεων επαλήθευσης και το μηχανισμό επαλήθευσης ισοδυναμίας δύο πιστοποιητικών.



Εικόνα 16: Η διεργασία των δεδομένων του Qualichain

Πηγή:[99]

Η συνιστώσα «Εξόρυξη γνώσης» περιλαμβάνει δομικά στοιχεία που συλλέγουν δεδομένα για τη «Μηχανή γράφων γνώσης» όπως τον σχεδιαστή προφίλ εργασίας ενός συμμετέχοντα, την ευφυή σκιαγράφιση του προφίλ για καταλληλότερες προτάσεις μάθησης και εργασίας και τη μονάδα μετάφρασης των στοιχείων του. Στη συνέχεια, η συνιστώσα «Ανάλυση και υποστήριξη λήψης αποφάσεων» χρησιμοποιεί τα δεδομένα αυτά για μηχανισμούς αποφάσεων όπως ο σύμβουλος καριέρας, η αξιολόγηση δεξιοτήτων και αντιστοίχισης με εργασίες, η επιλεξιμότητα και πρόσληψη από τους εργοδότες, αλλά και μηχανισμούς εξέλιξης όπως η ανάπτυξη δεξιοτήτων, η αξιολόγηση τους, η εύρεση σημείων προς βελτίωση βάσει του προφίλ κάποιου, όπως και προηγμένη υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων. Η συνιστώσα «Ταμπλό και Frontend» παρέχει διεπαφές χρήστη για συγκεκριμένες εργασίες για τις διάφορες δραστηριότητες της πλατφόρμας, όπως η αλληλεπίδραση με τις αποθήκες γνώσης των χρηστών και του κοινού, τη μηχανή εξαγωγής γνώσης, τη μονάδα υποστήριξης αποφάσεων και τη μηχανή γράφων γνώσης, καθώς και πρόσβαση στην αλυσίδα για επαλήθευση. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική έχει σχεδιαστεί για να είναι αποκεντρωμένη, με κάθε συνιστώσα να μπορεί να φιλοξενηθεί σε διαφορετικές υποδομές, ακολουθώντας τις εκάστοτε πολιτικές ελέγχου πρόσβασης.

Σαν αρχική αλυσίδα υλοποίησης με το σκοπό της διεξαγωγής πιλοτικών προγραμμάτων επιλέχθηκε η αλυσίδα του Ethereum, ενώ ακόμη ισχύοντα νομικά πλαίσια όπως το GDPR έχουν ληφθεί υπόψη στην υλοποίηση του Qualichain. Επιπλέον, κατά τη διεξαγωγή των πιλότων συγκεντρώθηκαν δεδομένα σχετικά με την ανταπόκριση του διοικητικού προσωπικού στη χρήση της πλατφόρμας, τόσο στο επίπεδο της βελτίωσης της εργασίας του, όσο και στην ευκολία εκμάθησης της χρήσης του. Σχετικά με το τελευταίο, μόλις το 13% των συμμετεχόντων βρήκαν δύσκολη τη χρήση της εφαρμογής. Όλα τα παραπάνω καθιστούν το Qualichain μια καλύτερη επιλογή των έργων που εξετάστηκαν όσον αφορά τα πεδία εφαρμογής που συνδέονται με την εκπαίδευση και την αγορά εργασίας.

6.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Αν και το Qualichain καλύπτει επαρκώς τις ανάγκες διασύνδεσης του εκπαιδευτικού συστήματος με την αγορά εργασίας όπως δείχθηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα πεδία εφαρμογής που αφορούν την εκπαίδευση δεν καλύπτονται στο σύνολο τους από κάποιο συγκεκριμένο έργο. Αυτό ίσως αποδίδεται στην έλλειψη σαφούς νομικού πλαισίου και κατάλληλης προτεραιοποίησης από τους αρμόδιους φορείς, αλλά προτείνεται σαν ερευνητικό αντικείμενο τόσο η διερεύνηση των αιτιών αυτής της τάσης, όσο και η ανάπτυξη κατάλληλων εφαρμογών κάλυψης των συγκεκριμένων πεδίων εφαρμογής στην εκπαίδευση.

Βιβλιογραφία

- [1] S. Nakamoto, 'Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system', *Decentralized business review*, p. 21260, 2008.
- [2] Better Business Bureau, "The Truth Behind Diploma Mills" Mar. 22, 2018, [Online]. Available: <https://www.bbb.org/article/news-releases/17303-the-truth-behind-diploma-mills> [Accessed: 05-Sep-2022]
- [3] Business Research Insights, "Blockchain in education market size, share, growth, and industry analysis, by type (credentials verification, expanding moocs, digital rights protection, Open-Source Universities, School Assets Tracking & Management, and others), by application (personnel recruitments, Digital Rights Management, and others), regional forecast to 2028," *Blockchain in Education Market Size, Share |Global Report -2028*, 22-Dec-2022. [Online]. Available: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/blockchain-in-education-market-102379>. [Accessed: 13-Jan-2023]
- [4] A. Kaplan, "A new learning credential blockchain to help bridge the skills gap IBM Supply Chain and blockchain blog," *IBM Supply Chain and Blockchain Blog*, 14-Nov-2019. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2019/11/a-new-learning-credential-blockchain-to-help-bridge-the-skills-gap/>. [Accessed: 20-Dec-2022]
- [5] D. Tapscott and A. Tapscott, *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Penguin, 2016.

- [6] A. A. Monrat, O. Schelén, and K. Andersson, 'A survey of blockchain from the perspectives of applications, challenges, and opportunities', *IEEE Access*, vol. 7, pp. 117134–117151, 2019.
- [7] R. C. Merkle, "A certified digital signature," in *Advances in cryptology—CRYPTO'89 proceedings*, Springer, 2001, pp. 218-238.
- [8] Yi-Cheng Chen, Yueh-Peng Chou, and Yung-Chen Chou, "An Image Authentication Scheme Using Merkle Tree Mechanisms," *Future Internet*, vol. 11, p. 149, Jul. 2019. doi: 10.3390/fi11070149.
- [9] V. Buterin and Others, 'A next-generation smart contract and decentralized application platform', *white paper*, vol. 3, no. 37, pp. 2–1, 2014.
- [10] G. Wood et al., "Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger," *Ethereum Project Yellow Paper*, vol. 151, no. 2014, pp. 1-32, 2014.
- [11] E. Androulaki *et al.*, 'Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains', in *Proceedings of the thirteenth EuroSys conference*, 2018, pp. 1–15.
- [12] Kim, Soohyeong, Yongseok Kwon, and Sunghyun Cho. "A survey of scalability solutions on blockchain." 2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2018.
- [13] Nick Szabo. 1996. Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*,(16) (1996)
- [14] A. O. Bada, A. Damianou, C. M. Angelopoulos, and V. Katos, "Towards a green blockchain: A review of consensus mechanisms and their energy consumption," in *17th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2021, pp. 503-511. A. O. Bada, A. Damianou, C. M. Angelopoulos, and V. Katos, "Towards a green blockchain: A review of consensus mechanisms and

their energy consumption," in 17th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), 2021, pp. 503-511.

- [15] W3C. "Decentralized Identifiers (DIDs) v1.0." World Wide Web Consortium, 29 November 2019. [Online]Available: <https://www.w3.org/TR/did-core/>. Accessed: 15 November 2022.
- [16] ResumeBuilder.com, "1 in 3 Americans Admit to Lying on Resume," ResumeBuilder.com, May 27, 2020. [Online]. Available: <https://www.resumebuilder.com/1-in-3-americans-admit-to-lying-on-resume/>. [Accessed Nov. 15, 2022].
- [17] E. B. Cohen and R. Winch, "Diploma and accreditation mills: New trends in credential abuse," Bedford: Verifile Accredibase, 2011. [Online]. Available: <https://www.verifile.co.uk/wp-content/uploads/2014/12/Verifile-Accredibase-Diploma-and-Accreditation-Mills-New-Trends-in-Credential-Abuse.pdf>. [Accessed: Nov. 15, 2022].
- [18] "About Diplomas", UC San Diego Students, [Online]. Available: <https://students.ucsd.edu/academics/advising/degrees-diplomas/about-diplomas.html>. [Accessed: Feb. 16, 2023].
- [19] A. Mikroyannidis, J. Domingue, M. Bachler, and K. Quick, "A learner-centred approach for lifelong learning powered by the blockchain," in EdMedia+ innovate learning, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2018, pp. 1388-1393.
- [20] M. Han, Z. Li, J. He, D. Wu, Y. Xie, and A. Baba, "A novel blockchain-based education records verification solution," in Proceedings of the 19th annual SIG conference on information technology education, 2018, pp. 178-183.
- [21] Gresch, J., Rodrigues, B., Scheid, E., Kanhere, S. S., & Stiller, B. (2019). The proposal of a blockchain-based architecture for transparent certificate handling. In

Business Information Systems Workshops: BIS 2018 International Workshops, Berlin, Germany, July 18--20, 2018, Revised Papers 21 (pp. 185-196). Springer.

- [22] J. -C. Cheng, N. -Y. Lee, C. Chi and Y. -H. Chen, "Blockchain and smart contract for digital certificate," *2018 IEEE International Conference on Applied System Invention (ICASI)*, Chiba, Japan, 2018, pp. 1046-1051, doi: 10.1109/ICASI.2018.8394455
- [23] Lizcano, D., Lara, J. A., White, B., & Aljawarneh, S. (2020). Blockchain-based approach to create a model of trust in open and ubiquitous higher education. *Journal of Computing in Higher Education*, 32, 109-134. Springer.
- [24] R. Arenas and P. Fernandez, "CredenceLedger: a permissioned blockchain for verifiable academic credentials," in *2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2018, pp. 1-6.
- [25] Multichain. (2021). Multichain Developers [Online]. Available: <https://www.multichain.com/developers/> [Accessed: Feb 19, 2023].
- [26] Y. Xu et al., "ECBC: A high performance educational certificate blockchain with efficient query," in *Theoretical Aspects of Computing--ICTAC 2017: 14th International Colloquium*, Hanoi, Vietnam, October 23-27, 2017, Proceedings 14, 2017, pp. 288-304, doi: 10.1007/978-3-319-67729-3_17.
- [27] Srivastava, A., Bhattacharya, P., Singh, A., Mathur, A., Prakash, O., & Pradhan, R. (2018). A distributed credit transfer educational framework based on blockchain. In *2018 Second International Conference on Advances in Computing, Control and Communication Technology (IAC3T)* (pp. 54-59). IEEE.
- [28] Palma, L. M., Vigil, M. A. G., Pereira, F. L., & Martina, J. E. (2019). Blockchain and smart contracts for higher education registry in Brazil. *International Journal of Network Management*, 29(3), e2061. Wiley Online Library.
- [29] M. Sharples and J. Domingue, "The blockchain and kudos: A distributed system for educational record, reputation and reward," in *Adaptive and Adaptable Learning:*

11th European Conference on Technology Enhanced Learning, EC-TEL 2016, Lyon, France, September 13-16, 2016, Proceedings 11, 2016, pp. 490-496, doi: 10.1007/978-3-319-45153-4_41.

- [30] Farah, J.C., Vozniuk, A., Rodríguez-Triana, M.J., and Gillet, D. (2018). A blueprint for a blockchain-based architecture to power a distributed network of tamper-evident learning trace repositories. In 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT) (pp. 218-222). IEEE.
- [31] W. Zhao, K. Liu and K. Ma, "Design of student capability evaluation system merging blockchain technology," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1168, no. 3, p. 032123, 2019.
- [32] Duan, B., Zhong, Y., & Liu, D. (2017). Education application of blockchain technology: Learning outcome and meta-diploma. In 2017 IEEE 23rd International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS) (pp. 814-817). IEEE. doi: 10.1109/ICPADS.2017.00114
- [33] H. Shen and Y. Xiao, "Research on online quiz scheme based on double-layer consortium blockchain," in 2018 9th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), 2018, pp. 956-960, doi: 10.1109/ITME.2018.00188.
- [34] B. Wu and Y. Li, "Design of Evaluation System for Digital Education Operational Skill Competition Based on Blockchain," *2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)*, Xi'an, China, 2018, pp. 102-109, doi: 10.1109/ICEBE.2018.00025.
- [35] J. Wang, "Western Digital Education Research eBook," Western Digital, 2021. [Online]. Available: https://documents.westerndigital.com/content/dam/doc-library/en_us/assets/public/western-digital/collateral/presentations/western-digital-education-research-ebook.pdf. [Accessed: Dec. 19, 2022].

- [36] A. Schleicher, "Schooling Redesigned: Towards Innovative Learning Systems," OECD Education Working Papers, no. 203, OECD Publishing, Paris, 2019. [Online]. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/ef3a0a68-en.pdf>. [Accessed: 19-Feb-2023].
- [37] J. Zhong, H. Xie, D. Zou and D. K. Chui, "A blockchain model for word-learning systems," in 2018 5th International Conference on Behavioral, Economic, and Socio-Cultural Computing (BESC), 2018, pp. 130-131, doi: 10.1109/BESC.2018.00038.
- [38] R. Bdiwi, C. De Runz, S. Faiz, and A. A. Cherif, "A blockchain based decentralized platform for ubiquitous learning environment," in 2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), 2018, pp. 90-92.
- [39] Funk, E., Riddell, J., Ankel, F., & Cabrera, D. (2018). Blockchain technology: A data framework to improve validity, trust, and accountability of information exchange in health professions education. *Academic Medicine*, 93(12), 1791-1794.
- [40] S. Sychoy and A. Chirtsov, "Towards developing the unified bank of learning objects for electronic educational environment and its protection," in Proceedings of the 2018 Workshop on PhD Software Engineering Education: Challenges, Trends, and Programs, St. Petersburg, Russia, 2018, vol. 17, pp. 1e6.
- [41] European Commission, "ECTS users' guide," Publications Office of the European Commission, 2015.
- [42] M. Hölbl, A. Kamisalić, M. Turkanović, M. Kompara, B. Podgorelec and M. Herićko, "EduCTX: An Ecosystem for Managing Digital Micro-Credentials," *2018 28th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE)*, Hafnarfjordur, Iceland, 2018, pp. 1-9, doi: 10.1109/EAEEIE.2018.8534284.
- [43] M. Turkanovic, M. Holbl, K. Kotic, M. Hericko and A. Kamisalic, "EduCTX: A Blockchain-Based Higher Education Credit Platform," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 5112-5127, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2789929.

- [44] S. Gilda and M. Mehrotra, "Blockchain for Student Data Privacy and Consent," *2018 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCCI.2018.8441445.
- [45] T. Berners-Lee, "Keynote Speech - Decentralized Web Summit 2016," 2016. [Online]. Available: <https://archive.org/details/decentralizedwebsummit2016-sirtimbernerslee>. [Accessed: Jan. 17, 2023].
- [46] M. Hori et al., "Learning System based on Decentralized Learning Model using Blockchain and SNS," in *CSEDU* (1), 2018, pp. 183-190.
- [47] I. Mitchell, S. Hara and M. Sheriff, "dAppER: Decentralised Application for Examination Review," 2019 IEEE 12th International Conference on Global Security, Safety and Sustainability (ICGS3), London, United Kingdom, 2019, pp. 1-14, doi: 10.1109/ICGS3.2019.8718498.
- [48] Z. Wilcox-O'Hearn, "Names: Distributed, Secure, Human-Readable: Choose Two. Names: Distributed, Secure, Human-Readable: Choose Two." 2018. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20011020191610/http://zooko.com/distnames.html> [Accessed: September 20, 2022].
- [49] V. Buterin, "The Sharding FAQ," 2021. [Online]. Available: <https://vitalik.ca/general/2021/04/07/sharding.html>. [Accessed: Oct. 21, 2022].
- [50] M. Finck, "Blockchain and the General Data Protection Regulation: can distributed ledgers be squared with European data protection law?: study," European Parliament, 2019.
- [51] S. L. Pardau, "The California consumer privacy act: Towards a European-style privacy regime in the United States," *J. Tech. L. & Pol'y*, vol. 23, p. 68, 2018.
- [52] M. J. M. Chowdhury, A. Colman, M. A. Kabir, J. Han and P. Sarda, "Blockchain Versus Database: A Critical Analysis," 2018 17th IEEE International Conference On

Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE), New York, NY, USA, 2018, pp. 1348-1353, doi: 10.1109/TrustCom/BigDataSE.2018.00186.

[53] Chainlink, "Overview Of Zero-Knowledge Blockchain Projects | Chainlink," Chainlink Blog, Jul. 15, 2022. [Online]. Available: <https://blog.chain.link/zero-knowledge-projects/>.

[54] L. Carter and J. Ubacht, "Blockchain applications in government," in Proceedings of the 19th Annual International Conference on Digital Government Research: governance in the data age, 2018, pp. 1-2.

[55] K. Qin and A. Gervais, "An overview of blockchain scalability, interoperability and sustainability," Hochschule Luzern, Imperial College London, Liquidity Network, 2018.

[56] S. M. H. Bamakan, A. Motavali, and A. B. Bondarti, "A survey of blockchain consensus algorithms performance evaluation criteria," Expert Systems with Applications, vol. 154, p. 113385, 2020.

[57] S. Wang, C. Wang and Q. Hu, "Corking by forking: Vulnerability analysis of blockchain," IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications, pp. 829-837, 2019.

[58] Sapirshtein, A., Sompolinsky, Y., & Zohar, A. (2017, February). Optimal selfish mining strategies in bitcoin. In Financial Cryptography and Data Security: 20th International Conference, FC 2016, Revised Selected Papers (pp. 515-532). Springer.

[59] M. Steiu, "Blockchain in education: Opportunities, applications, and challenges," First Monday, 2020.

[60] S. Kim and A. Sarin, "Distributed ledger and Blockchain technology: framework and use cases," Journal of Investment Management, 2018. [Online]. Available:

<https://www.rhsmith.umd.edu/files/Documents/Centers/CFP/research/Distributed%20Ledger%20and%20Blockchain%20Technology.pdf>. [Accessed: Oct. 5, 2022].

[61] Skiral Inc. (n.d.). Gilgamesh ICO White Paper. Retrieved from <https://neironix.io/documents/whitepaper/3063/whitepaper.pdf>.

[62] B. Hameed, M. M. Khan, A. Noman, M. J. Ahmad, M. Ramzan Talib, F. Ashfaq, H. Usman, and M. Yousaf, "A review of Blockchain based educational projects," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 10, pp. 227-236, 2019.

[63] Blockcerts. (n.d.). Blockcerts Guide. Retrieved October 3, 2022, from <https://www.blockcerts.org/guide/>

[64] Blockchain Certificates. (2018). cert-issuer. [Online]. Available: <https://github.com/blockchain-certificates/cert-issuer>.

[65] Y. Yijun, M. Ting, Z. Peng, Z. Wenzhen, and L. Huiyang, "Focus on Blockchain: A Comprehensive Survey on Academic and Application," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187182-187201, 2020.

[66] J. Kaur and J. Jyotsna, "A Review of Blockchain Technology in Education," *JAC: A Journal of Composition Theory*, vol. 8, no. 4, pp. 392-400, 2020.

[67] Saleh, Omar S., Osman Ghazali, and Muhammad Ehsan Rana. "Blockchain-based Framework For Educational Certificates Verification." *Journal of Critical Reviews* 7, no. 3 (2020): 79-84.

[68] University of Birmingham, birmingham.ac.uk, 2022. [Online]. Available: <https://intranet.birmingham.ac.uk/it/innovation/documents/public/Experiments/Blockchain-based-Academic-Certificate-Authentication-System-Overview.pdf>. [Accessed Aug. 15, 2022].

- [69] Sansone, Kurt. (2018). Malta is first country to put education certificates on blockchain. [Online]. Available: https://www.maltatoday.com.mt/news/national/93148/malta_is_first_country_to_put_education_certificates_on_blockchain#.Y_NoxB9Bzb0 [Accessed: Aug. 16, 2022].
- [70] CuboMania, "CuboMania - Limited edition digital artwork on the blockchain," 2018. [Online]. Available: https://cubomania.io/assets/CuboMania_eng.pdf. [Accessed: Sep. 20, 2022].
- [71] Shikapa, 2019, "Shikapa Whitepaper," [Online]. Available: http://www.shikapa.com/assets/images/Shikapa_WhitePaper.pdf. [Accessed: Sep. 20, 2022].
- [72] Open Source University, "Developers - Open Source University," [Online]. Available: <https://developers.os.university/>. [Accessed: Feb. 19, 2023].
- [73] J. Benet, "IpfS-content addressed, versioned, p2p file system," arXiv preprint arXiv:1407.3561, 2014.
- [74] B. Hameed *et al.*, 'A review of Blockchain based educational projects', *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 10, 2019.
- [75] Tutellus, "Tutellus Documentation," [Online]. Available: <https://docs.tutellus.com/tutellus/>. [Accessed: Oct. 12, 2022].
- [76] J. Kanani, S. Nailwal, and A. Arjun, "Matic whitepaper," Polygon, Bengaluru, India, Tech. Rep., Sep. 2021.
- [77] Sushiswap. "*Sushiswap: The SushiSwap smart contracts.*" GitHub, 2021, <https://github.com/sushiswap/sushiswap>.

[78] Vogelsteller, F. and Buterin, V., "EIP 20: ERC-20 Token Standard," Ethereum Improvement Proposals, vol. 20, 2015.

[79] M. Zargham, A. Bulkin, and J. S. Nelson, "Raising social capital: Tokenizing a customer-driven business," in Sweetbridge Technical White Paper Series, vol. 2, 2017.

[80] D. Eigenmann, J. Izquierdo, "ERC-900: Simple Staking Interface [DRAFT]," Ethereum Improvement Proposals, no. 900, pp. 1-5, Feb. 2018. Available: <https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-900>.

[81] J. Torstensson, "ERC-780 Ethereum Claims Registry," 2017. [Online]. Available: <https://github.com/ethereum/EIPs/issues/780>.

[82] A. Kamišalić, M. Turkanović, S. Mrdović and M. Heričko, "A preliminary review of blockchain-based solutions in higher education," in Learning Technology for Education Challenges: 8th International Workshop, LTEC 2019, Zamora, Spain, July 15-18, 2019, Proceedings 8, pp. 114-124, Springer, 2019.

[83] Educhain, "Educhain website," [Online]. Available: <https://educhain.io/>. [Accessed: Jan. 21, 2023].

[84] EchoLink, "EchoLink DApp Documentation," [Online]. Available: <https://echolink-dapp.readthedocs.io/en/latest/index.html>. [Accessed: Jan. 19, 2023].

[85] EduCTXPlatform, GitHub repository collection, <https://github.com/orgs/EduCTXPlatform/repositories>, [Accessed: Jan, 20, 2023].

[86] English Forward, "English Forward," [Online]. Available: <https://www.englishforums.com>. [Accessed: Jan. 19, 2023].

[87] Forward Protocol, "Forward Protocol Whitepaper," 2021. [Online]. Available: <https://whitepaper.forwardprotocol.io/>. [Accessed: Jan. 21, 2023].

[88] Success Life. (n.d.). [Online]. Available: <https://successlife.com/>. [Accessed: Dec. 22, 2022].

[89] Sony Global Education, "Blockchain for Education" [Online]. Available: <https://blockchain.sonyged.com/>. [Accessed: Dec. 22, 2022].

[90] APPII. (n.d) [Online]. Available: <https://appii.io/>. [Accessed Jan. 23, 2023]

[91] Gradbase, "Instantly Verify Qualifications" [Online]. Available: <https://gradba.se/> [Accessed Dec. 29, 2022]

[92] A. S. de Pedro Crespo and L. I. Cuende García, "Stampery Blockchain Timestamping Architecture (BTA)," Stampery, 2016. [Online]. Available: <https://s3.amazonaws.com/stampery-cdn/docs/Stampery-BTA-v6-whitepaper.pdf>. [Accessed: Jan. 10, 2023].

[93] Hepp, T., Schoenhals, A., Gondek, C., and Gipp, B., "OriginStamp: A blockchain-backed system for decentralized trusted timestamping," *it-Information Technology*, vol. 60, no. 5-6, pp. 273-281, 2018.

[94] Turing Certs, "TuringCerts Manual," [Online]. Available: <https://turing-certs.gitbook.io/turing-certs-issuer-manuel-en/>. [Accessed: Nov. 12, 2022].

[95] RecordsKeeper, "RecordsKeeper Documentation," [Online]. Available: https://docs.recordskeeper.com/_/downloads/en/latest/pdf/. [Accessed: Nov. 15, 2022].

[96] RecordsKeeper, "RecordsKeeper Github Repositories," [Online]. Available: https://docs.recordskeeper.com/_/downloads/en/latest/pdf/. [Accessed: Nov. 15, 2022].

[97] BitDegree, "BitDegree Vision," [Online]. Available: <https://www.bitdegree.org/bitdegree-vision.pdf>. [Accessed: Jan. 7, 2023].

[98] Disciplina, "Disciplina White Paper," [Online]. Available: <https://www.disciplina.io/WhitePaper.pdf>. [Accessed: Jan. 19, 2023]

[99] N. Chowdhury, A. Third, A. Mehrbod, V. Karakolis, C. Kontzinos, C. Botsikas, S. Scerri, I. Keck, N. Politou, and M. Correia, "D5.1 QualiChain Integrated Architecture," in Proc. WP5 – QualiChain Components Design and Development, Final, Sep. 30, 2019, version 1.00, submitted on Oct. 2, 2019.

[100] I. R. Keck, M.-E. Vidal, and N. Politou, "D7.5 QualiChain Pilots Execution Documentation, Final Release," in Decentralised Qualifications' Verification and Management for Learner Empowerment, Education Reengineering and Public Sector Transformation, WP7 – QualiChain Services Piloting, Evaluation and Impact Assessment, 1st ed., Dec. 2021, pp. 1-100.

[101] N. Politou, I.R. Keck, C. Kontzinos, A. Microyannidis, A. Pimenta, S. Guerreiro, ASEP team, S. Paredes, "QualiChain Pilot Evaluation and Lessons Learnt," WP7 – QualiChain Services Piloting, Evaluation and Impact Assessment, Final, Version 1.00, Dec. 2021.