



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Χρήση της
Τεχνολογίας Κατανεμημένων Εγγραφών
στη Διαχείριση Τεχνικών Έργων

ΔΗΜΗΤΡΑ ΜΠΙΜΠΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ – ΠΑΡΙΣ ΠΑΝΤΟΥΒΑΚΗΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
ΣΧΗΜΑΤΑ	IV
ΠΙΝΑΚΕΣ	V
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	VI
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	VII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VIII
ABSTRACT.....	IX
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	1
1.3 Η έννοια της ΤΚΕ	1
1.4 Η έννοια των τεχνικών έργων	2
1.5 Η έννοια της διαχείρισης τεχνικών έργων	3
1.6 Στόχοι της παρούσας εργασίας	3
1.7 Δομή διπλωματικής εργασίας	3
1.8 Σύνοψη.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΚΕ.....	5
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Γενικές έννοιες.....	5
2.3 Τύποι της ΤΚΕ	10
2.4 Δομή της ΤΚΕ.....	12
2.5 Αλγόριθμοι συναίνεσης.....	16
2.6 Πώς δουλεύει η ΤΚΕ;	17
2.7 Χαρακτηριστικά και Πιθανές Αδυναμίες.....	19
2.8 Ιστορική ανασκόπηση.....	21
2.9 Εξέλιξη της ΤΚΕ	22
2.9.1 Φάση 1 – Συναλλαγές.....	22
2.9.2 Φάση 2 – Συμβάσεις.....	23
2.9.3 Φάση 3 – Εφαρμογές.....	23
2.10 Γενικές Εφαρμογές.....	25
2.10.1 Επιχειρήσεις και Βιομηχανία	27
2.10.2 Χρηματοπιστωτικές Υπηρεσίες.....	29
2.10.3 Κυβερνητικές Υπηρεσίες.....	31
2.11 Υπάρχουσες τεχνολογίες στη διαχείριση έργων που βασίζονται στην ΤΚΕ	32

2.12 Σύνοψη.....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.....	35
3.1 Εισαγωγή.....	35
3.2 Γιατί η ΤΚΕ είναι σημαντική στη διαχείριση των τεχνικών έργων.....	35
3.3 Προκλήσεις στη διαχείριση των τεχνικών έργων.....	36
3.4 Εφαρμογές.....	39
3.4.1 Διαχείριση συμβάσεων.....	40
3.4.2 Διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού.....	43
3.4.3 Μίσθωση εξοπλισμού.....	46
3.5 Εξόρυξη Δεδομένων μαζί με ΤΚΕ.....	47
3.5.1 Μέθοδος.....	49
3.5.1.1 Μεσαία υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης.....	49
3.5.1.2 BIM με βάση Python.....	50
3.5.1.3 Δεδομένα στηριζόμενα στο μηχανισμό συναίνεσης της ΤΚΕ.....	52
3.5.1.4 Τεχνολογία Εξόρυξης δεδομένων στη διαχείριση τεχνικών έργων.....	54
3.5.2 Ερευνητικό Μοντέλο.....	55
3.5.3 Αποτελέσματα.....	58
3.5.3.1 Δοκιμή αποθήκευσης στη μεσαία υπηρεσία.....	58
3.5.3.2 Ανάλυση εφαρμογής με συναίνεση ΤΚΕ.....	59
3.5.3.3 Ανάλυση εφαρμογών με ΤΚΕ και BIM.....	60
3.6 BIM και ΤΚΕ για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίου.....	61
3.6.1 Έξυπνη σύμβαση με γνώμονα το χρήστη.....	62
3.6.2 Εννοιολογική αρχιτεκτονική.....	66
3.6.3 Αποτελέσματα.....	67
3.7 Υπάρχουσες μελέτες που βασίζονται στην ΤΚΕ και στη διαχείριση τεχνικών έργων.....	69
3.8 Σύνοψη.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	71
4.1 Εισαγωγή.....	71
4.2 Γενικά.....	71
4.3 Μελλοντική Έρευνα.....	72
4.4 Σύνοψη.....	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	75

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση της ΤΚΕ (Πώς η ΤΚΕ μεταμορφώνει τις αγορές, 2017).....	6
Σχήμα 2.2 Δομή δεδομένων της ΤΚΕ (Xu κ.ά., 2019).....	6
Σχήμα 2.3 Η γραμμογράφηση του καθολικού (Γενικό Καθολικό, 2021).	7
Σχήμα 2.4 Ένα παράδειγμα δυαδικού δέντρου Merkle (Merkle tree, 2021).....	9
Σχήμα 2.5 Η δομή μίας ΤΚΕ (Liang, 2020).	13
Σχήμα 2.6 Παράδειγμα της ΤΚΕ (IP Specialist, 2019).	14
Σχήμα 2.7 Ροή εργασίας ενός δικτύου ΤΚΕ (Liang, 2020).....	15
Σχήμα 2.8 Η ιδέα της ΤΚΕ (Turk κ.ά, 2017).....	18
Σχήμα 2.9 Πώς να επιλέξετε ΤΚΕ (Turk κ.ά, 2017).	19
Σχήμα 2.10 Πώς δουλεύει η ΤΚΕ (IP Specialist, 2019).....	20
Σχήμα 3.1 Ένα παράδειγμα έξυπνης σύμβασης (Wang κ.ά 2017).....	41
Σχήμα 3.2 Η παραγωγή και καταγραφή των έξυπνων συμβάσεων (Liang, 2020).....	43
Σχήμα 3.3 Αλυσίδα εφοδιασμού με χρήση ΤΚΕ (Wang κ.ά, 2017).....	44
Σχήμα 3.4 Διάγραμμα ροής συλλογής δεδομένων (Shahrayini κ.ά 2021).	46
Σχήμα 3.5 Παράδειγμα μίσθωσης γερανού με χρήση ΤΚΕ (Wang κ.ά, 2017).	48
Σχήμα 3.6 Σύγκριση ανάλυσης συνηθισμένων δεδομένων και ΕΜΔ (Li, W. κ.ά. 2021).	51
Σχήμα 3.7 Ειδική δομή διαδικασίας ανάλυσης δεδομένων (Li, W. κ.ά. 2021).....	52
Σχήμα 3.8 Serialization και deserialization δεδομένων (What Is Serialization, 2021).	54
Σχήμα 3.9 Δοκιμαστικό μοντέλο συστήματος αποθήκευσης δεδομένων (Li, W. κ.ά. 2021). ..	57
Σχήμα 3.10 Αρχιτεκτονική αλληλεπίδρασης (Liu κ.ά, 2019).	63
Σχήμα 3.11 Το επίπεδο χρήστη με ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).....	64
Σχήμα 3.12 Έργο βιώσιμου σχεδιασμού κτιρίου, ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).....	65
Σχήμα 3.13 Σύστημα BIM για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων (Liu κ.ά, 2019).	66
Σχήμα 3.14 Εννοιολογική αρχιτεκτονική μέσω ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).....	67

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1 Τα κύρια πεδία της επικεφαλίδας μίας συστοιχίας (Li, W. κ.ά. 2021)	13
Πίνακας 2.2 Χρονοδιάγραμμα Εξέλιξης ΤΚΕ (History of Blockchain, 2020).	25
Πίνακας 3.1 Λειτουργίες στο επίπεδο συναίνεσης (Li, W. κ.ά. 2021).....	53
Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα λειτουργικών δοκιμών (Li, W. κ.ά. 2021).....	58
Πίνακας 4.2 Ανάλυση δεικτών ΤΚΕ και BIM (Li, W. κ.ά. 2021).	60

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΓΓΛΙΚΕΣ	
AI	Artificial Intelligence
BC	Blockchain
BCC	Blockchain Consensus
BDM	Big Data Mining
BIM	Building Information Modeling or Building Information Management
CPU	Central Processing Unit
ERP	Enterprise Resource Planning
HVAC	Heating Ventilation and Air Conditioning
IoT	Internet of Things
PBFT	Practical Byzantine Fault Tolerance
PMO	Project Management Office
PoS	Proof of Stake
PoW	Proof of Work
UTC	Coordinated Universal Time

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ	
ΔΑΚ	Δείκτης απόδοσης κόστους
ΔΑΧ	Δείκτης απόδοσης χρονοδιαγράμματος
ΔΚ	Διακύμανση κόστους
ΔτΠ	Διαδίκτυο των Πραγμάτων
ΔΧ	Διακύμανση χρονοδιαγράμματος
ΕΜΔ	Εξόρυξη Μεγάλων Δεδομένων
ΚΜΕ	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
ΜΕΓ	Μονάδων Επεξεργασίας Γραφικών
ΤΚΕ	Τεχνολογία Κατανεμημένων Εγγραφών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κο Ιωάννη – Πάρι Παντουβάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, καθώς και την ηθική στήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την αγάπη και την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου που είναι συνεχώς δίπλα μου και με στηρίζει στις αποφάσεις και σε κάθε νέο βήμα της ζωής μου. Όπως ήταν κι η απόφασή μου να επιστρέψω στα έδρανα για την απόκτηση του δεύτερου μεταπτυχιακού διπλώματος.

Δήμητρα Μπίμπου

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιδιώκει να μελετήσει τη χρήση της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Το συγκεκριμένο θέμα προέκυψε, γιατί η τεχνολογία κατανεμημένων εγγραφών είναι μία νέα τεχνολογία στην επιστήμη των υπολογιστών που έχει καταφέρει να προσφέρει οφέλη και νέες δυνατότητες σε διάφορους τομείς της οικονομίας. Έτσι, κρίθηκε αναγκαίο, η εργασία να δει εάν μπορεί, αντίστοιχα, να φέρει οφέλη και στη διαχείριση των τεχνικών έργων.

Σε αυτό θα συνδράμει η βιβλιογραφική ανασκόπηση που εντοπίστηκε και αποτελείται από έξι βιβλία, επτά άρθρα, δώδεκα διεθνή επιστημονικά συνέδρια και δεκαπέντε ιστοσελίδες.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά, θα διερευνήσει τις γενικές έννοιες που σχετίζονται με την τεχνολογία κατανεμημένων εγγραφών, καθώς και τους διάφορους τύπους της. Επιπλέον, θα γίνει αναφορά στη δομή της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών, αλλά και στον τρόπο λειτουργίας της. Θα παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας, αλλά και τα αδύναμά της σημεία.

Η διπλωματική εργασία, χρησιμοποιώντας όλα τα παραπάνω στοιχεία της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών, θα μελετήσει πώς συνδέονται στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Δηλαδή, θα εξηγήσει, γιατί η συγκεκριμένη τεχνολογία θεωρείται σημαντική στη διαχείριση των τεχνικών έργων και πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκεί. Εκτός, όμως, από αυτό, θα παρουσιάσει ήδη υπάρχουσες εφαρμογές της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών στη διαχείριση των τεχνικών έργων.

Μέχρι στιγμής, φαίνεται ότι ο ερχομός της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών μπορεί να προσφέρει μια νέα σκοπιά και να βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό τη διαχείριση των τεχνικών έργων, παρέχοντας ασφάλεια και διαφάνεια μεταξύ των μελών που συμμετέχουν στο εκάστοτε τεχνικό έργο της κάθε επιχείρησης. Αυτό αποτελεί ένα βασικό συμπέρασμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Κλειδιά: Τεχνολογία κατανεμημένων εγγραφών, διαχείριση, τεχνικά έργα

ABSTRACT

The present diploma thesis seeks to study the use of blockchain in the construction management. This issue has arisen, because blockchain is a new technology in computer science that has managed to offer benefits and new opportunities in various sectors of the economy. Thus, it was deemed necessary for the diploma thesis to see if it could, respectively, bring benefits to the construction management.

This will be facilitated by the literature review that has been identified and consists of six books, seven articles, twelve international scientific conferences and fifteen websites.

More specifically, the present diploma thesis will first explore the general concepts associated with blockchain technology, as well as its various types. In addition, reference will be made to the structure of blockchain technology, but also to its mode of operation. The characteristics of this technology will be presented, as well as its weaknesses.

The diploma thesis, using all the above elements of blockchain technology, will study how they relate to the construction management. That is, it will explain why this technology is considered important in the construction management and how it can be used there. Apart from that, however, it will present pre-existing applications of blockchain technology in the construction management.

So far, it seems that the advent of blockchain technology can offer a new perspective and significantly improve the construction management, providing security and transparency among the members involved in the respective technical work of each company. This is a key conclusion of this diploma thesis.

Keywords: Blockchain, Construction, Project Management

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας που είναι η «Χρήση της Τεχνολογίας Κατανεμημένων Εγγραφών στη Διαχείριση των Τεχνικών Έργων» (Blockchain in Construction Management). Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με το θέμα της. Επίσης, αναφέρεται η μέθοδος επεξεργασίας του θέματος, γίνεται σχολιασμός για τη φύση της εργασίας και αναλύεται η δομή της.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της εργασίας είναι να μελετήσει τη χρήση της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Αυτή η ανάγκη προέκυψε, γιατί η τεχνολογία κατανεμημένων εγγραφών είναι μία νέα τεχνολογία στην επιστήμη των υπολογιστών που έχει καταφέρει να προσφέρει οφέλη και νέες δυνατότητες σε διάφορους τομείς της οικονομίας. Έτσι, η εργασία θα επιδιώξει να μελετήσει αυτήν τη νέα τεχνολογία και να δει εάν μπορεί, αντίστοιχα, να φέρει οφέλη και να βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό και τη διαχείριση των τεχνικών έργων. Εμείς, για τις ανάγκες της διπλωματικής, όταν θέλουμε να αναφερθούμε στην τεχνολογία κατανεμημένων εγγραφών, θα χρησιμοποιούμε το ακρωνύμιο ΤΚΕ.

Οπότε σε αυτό το σημείο θα παρατεθούν οι βασικές έννοιες.

1.3 Η έννοια της ΤΚΕ

Η ΤΚΕ είναι ένας τύπος ηλεκτρονικής συλλογής που αποτελείται από ψηφιακές πληροφορίες, όπως είναι για παράδειγμα τα αρχεία, τα συμβάντα ή οι συναλλαγές, οι οποίες απαιτούν κατακερματισμό για να διασφαλίσουν την ψηφιακή ασφάλειά τους. Όπου συναλλαγή εννοούμε οποιαδήποτε χρηματική ή τραπεζική ενέργεια. Επίσης, η ΤΚΕ επαληθεύεται και διατηρείται από τους συμμετέχοντες χρησιμοποιώντας μια ομάδα πρωτοκόλλου συναίνεσης μέσω ενός αποκεντρωμένου δικτύου (Kiu κ.ά., 2019). Στο Κεφάλαιο 2, θα εμβαθύνουμε στον ορισμό της τεχνολογίας των κατανεμημένων εγγραφών για να κατανοηθεί σε βάθος.

Ο αγγλικός όρος της ΤΚΕ, blockchain, πήρε αυτήν την ονομασία, γιατί σε χρονικά προγραμματισμένα διαστήματα, κάθε πληροφορία που είναι σχετική με μία συναλλαγή καταγράφεται ως ένα «block», δηλαδή ως μία συστοιχία και προστίθεται σε μία «chain», δηλαδή σε μία αλυσίδα σχηματίζοντας ένα αδιάφθορο καθολικό με το όνομα «blockchain» (Kiu

κ.ά., 2019). Στη ελληνική βιβλιογραφία, ο όρος αυτός αποδίδεται ποικιλοτρόπως. Πιο συγκεκριμένα, θα τον βρούμε ως αλυσίδα μπλοκ ή ως αλυσίδα συστοιχιών ή ως τεχνολογία κατανεμημένης εγγραφής ή ως αλυσίδα ομάδων συναλλαγών, ακόμα κι ως αλυσίδα κοινοποιήσεων.

1.4 Η έννοια των τεχνικών έργων

Ένα τεχνικό έργο ή αλλιώς κατασκευαστικό έργο είναι ένα εγχείρημα κατά το οποίο άνθρωποι πόροι, μηχανές, οικονομικοί πόροι και πρώτες ύλες οργανώνονται κατά καινοφανή τρόπο, με στόχο την ανάληψη συγκεκριμένου αντικειμένου εργασιών που έχουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και υπόκεινται σε δεδομένους κοστολογικούς και χρονικούς περιορισμούς, ώστε να παραχθεί μια επωφελής μεταβολή, η οποία ορίζεται μέσω ποσοτικών και ποιοτικών στόχων. Πιο συγκεκριμένα, είναι κάθε νέα κατασκευή ή επέκταση ή ανακαίνιση ή επισκευή ή συντήρηση κατά τη λειτουργία αυτής και η οικονομικά ή τεχνικά αυτοτελής λειτουργία, καθώς και κάθε σχετική ερευνητική εργασία, που απαιτεί τεχνική γνώση και επέμβαση. Τέτοια έργα μπορεί να είναι:

- Εθνικοί οδοί, δρόμοι, γέφυρες, σήραγγες
- Μέσα μαζικής μεταφοράς, χώροι στάθμευσης, και άλλα έργα επίγειας μεταφοράς
- Αεροδρόμια και άλλες αεροπορικές εγκαταστάσεις
- Συστήματα ύδρευσης, επεξεργασίας και διανομής νερού
- Συστήματα συλλογής, επεξεργασίας, και διάθεσης υγρών λυμάτων
- Συστήματα συλλογής, επεξεργασίας, και διάθεσης στερεών αποβλήτων
- Ανάπτυξη υδατικών πόρων για άρδευση, πλημμυρική προστασία, αναψυχή και ναυσιπλοΐα
- Λιμενικές, παράκτιες και υπεράκτιες εγκαταστάσεις
- Παραγωγή και διάθεση υδροηλεκτρικής ενέργειας
- Κτίρια κατοικίας και κτίρια γραφείων και καταστημάτων
- Κτίρια ειδικών χρήσεων (δικαστήρια, σχολεία, βιβλιοθήκες, νοσοκομεία, αστυνομικά τμήματα, πυροσβεστικοί σταθμοί, φυλακές)
- Μουσεία, στάδια, και άλλα έργα πολιτισμού και αναψυχή.
- Κατεδαφίσεις υποδομών, εκσκαφές, ελαιοχρωματισμοί, λιθοδομές.
- Οικοδομικές εργασίες.
- Εγκαταστάσεις ανελκυστήρων.

Δηλαδή είναι όλες οι εργασίες που αποσκοπούν στην παραγωγή συστατικών μερών των ακινήτων (Νόμος 4412/2016).

1.5 Η έννοια της διαχείρισης τεχνικών έργων

Η διαχείριση τεχνικού έργου (construction management) είναι η διαδικασία καθοδήγησης της εργασίας μιας ομάδας για την επίτευξη όλων των στόχων του τεχνικού έργου εντός των δεδομένων περιορισμών. Όλες οι πληροφορίες που θα χρειαστούν κατά τη διάρκεια υλοποίησης του τεχνικού έργου, συνήθως, περιγράφονται στην τεκμηρίωση του τεχνικού έργου, που δημιουργείται στην αρχή της διαδικασίας υλοποίησης. Οι κύριοι περιορισμοί του τεχνικού έργου είναι το εύρος, ο χρόνος και ο προϋπολογισμός. Η δευτερεύουσα πρόκληση είναι η βελτιστοποίηση της κατανομής των απαραίτητων εισροών και η εφαρμογή τους για την επίτευξη των προκαθορισμένων στόχων.

1.6 Στόχοι της παρούσας εργασίας

Οι κύριοι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα είναι οι παρακάτω:

- Η περιγραφή της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών, πού μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε και πώς.
- Η διερεύνηση της εφαρμοσιμότητας της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Αλλά και ποιες είναι οι παροχές και οι διευκολύνσεις της ΤΚΕ, όταν εφαρμόζεται στα τεχνικά έργα.

1.7 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια, τα οποία είναι τα εξής:

Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση της ΤΚΕ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι γενικές έννοιες που σχετίζονται με την ΤΚΕ και πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτό είναι απαραίτητο βήμα για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε τι είναι η ΤΚΕ που αναφέρεται στον τίτλο της διπλωματικής εργασίας και να γνωρίσουμε ποια είναι τα χαρακτηριστικά της. Βλέπουμε την αναγκαιότητά της, αλλά και τους πιθανούς κινδύνους που μπορεί να παρουσιάσει, όταν εφαρμοστεί. Μαθαίνουμε ποιοι είναι οι τύποι της ΤΚΕ αλλά και ποια είναι η δομή της. Επίσης, αναφέρονται γενικές εφαρμογές σε διάφορους οικονομικούς κλάδους. Τέλος, κάνουμε μια ιστορική διαδρομή, για να μάθουμε πότε πρωτοεμφανίστηκε και πώς εξελίχθηκε μέσα στο χρόνο. Όλα τα παραπάνω, θα μας βοηθήσουν για να γνωρίσουμε καλύτερα την ΤΚΕ και να διαπιστώσουμε ότι είναι μία νέα τεχνολογία, η οποία μπορεί να προσφέρει αρκετά οφέλη όπου εφαρμοστεί.

Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων

Το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Οπότε σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε πώς μπορούν όλα τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2 σχετικά με την ΤΚΕ να χρησιμοποιηθούν, ώστε να διευκολύνουν τη διαχείριση των τεχνικών έργων. Θα εξετάσουμε εάν και γιατί είναι αναγκαία η ύπαρξη της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Τι μπορεί να προσφέρει η ΤΚΕ ώστε να διευκολύνει τη διαχείριση των τεχνικών έργων. Εκτός όμως από τα παραπάνω, θα παρουσιάσουμε συγκεκριμένα τεχνικά έργα, στα οποία έχει εφαρμοστεί η ΤΚΕ.

Κεφάλαιο 4: Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που αφορούν τη χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Εκτός, όμως, από αυτό αναφέρεται κι η μελλοντική έρευνα καθώς και οι μελλοντικές αλλαγές που θα χρειαστούν να συμβούν, ώστε οι επιχειρήσεις να επωφεληθούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό από τα οφέλη της ΤΚΕ.

1.8 Σύνοψη

Στο πρώτο αυτό κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν το αντικείμενο και οι στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης, πραγματοποιήθηκε μία πρώτη επαφή με τις βασικές έννοιες που απαρτίζουν το θέμα της και αναφέρθηκε κι η δομή των κεφαλαίων της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΤΚΕ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφουμε όλες τις έννοιες που πλαισιώνουν την ΤΚΕ και τους τύπους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για κάθε περίπτωση αρκεί να ικανοποιούνται συγκεκριμένα κριτήρια. Εξηγούμε πώς δουλεύει η ΤΚΕ και πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα από παραδείγματα σε διάφορους οικονομικούς κλάδους. Αναφέρουμε τις αδυναμίες που μπορεί να εμφανιστούν κατά την εφαρμογή αυτής της νέας τεχνολογίας και τέλος, πραγματοποιούμε μια ιστορική αναδρομή της. Πότε η ΤΚΕ πρωτοεμφανίστηκε και πώς εξελίχθηκε μέσα στο χρόνο.

2.2 Γενικές έννοιες

Αρχικά, η ΤΚΕ ήταν, απλώς, ο όρος της επιστήμης των υπολογιστών, ο οποίος αναφερόταν στο τρόπο δόμησης και στο διαμοιρασμό των δεδομένων. Στη συνέχεια, η ΤΚΕ έγινε μια νέα προσέγγιση στην κατανομημένη βάση δεδομένων. Η καινοτομία προέρχεται από την ενσωμάτωση της παλιάς τεχνολογίας με νέους τρόπους. Δηλαδή, θα μπορούσαμε να σκεφτούμε την ΤΚΕ ως κατανομημένες βάσεις δεδομένων, οι οποίες ελέγχονται από μια ομάδα ατόμων και οι οποίες αποθηκεύουν και μοιράζουν πληροφορίες.

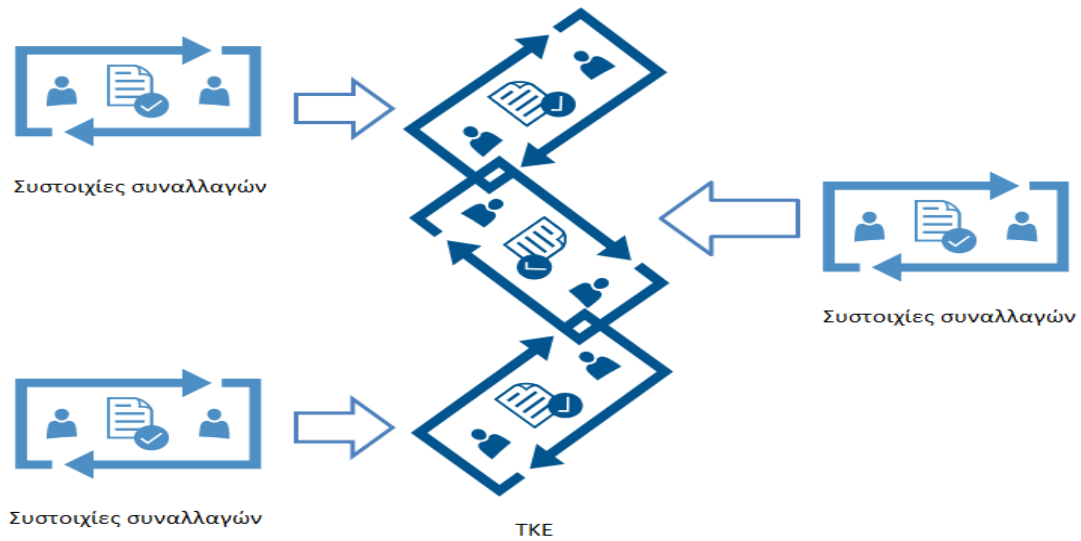
Υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ΤΚΕ και εφαρμογές που βασίζονται στην ΤΚΕ. Η ΤΚΕ είναι μία ολοκληρωμένη τεχνολογία που ενσωματώνεται σε πλατφόρμες αλλά και στο υλικό των υπολογισμών (hardware) (Laurence, 2019).

Προτού εμβαθύνουμε στις λεπτομέρειες της τεχνολογίας, ας ορίσουμε, αρχικά, τις γενικές έννοιες, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

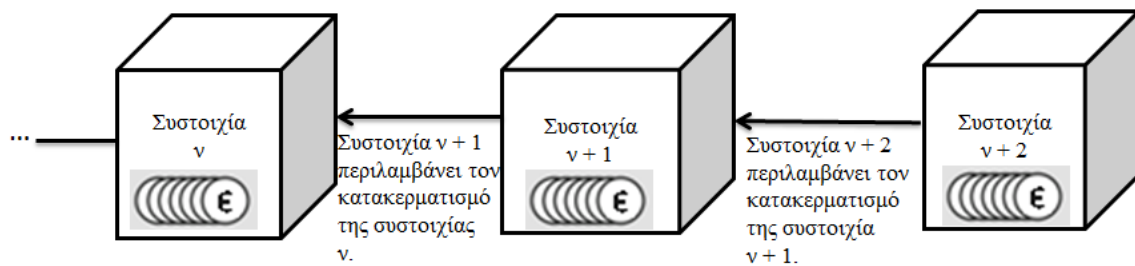
1. Μια **ΤΚΕ** (blockchain) είναι ένα δομημένο κατανομημένο καθολικό σε μια συνδεδεμένη λίστα (chain) από συστοιχίες (blocks). Κάθε συστοιχία περιέχει ένα διατεταγμένο σύνολο συναλλαγών και χρησιμοποιεί κρυπτογραφικούς κατακερματισμούς για την ασφάλεια του συνδέσμου της με τον προκάτοχό της (Xu κ.ά, 2019).

Η ΤΚΕ δημιουργεί μόνιμα αρχεία και ιστορικά συναλλαγών, αλλά τίποτα δεν είναι πραγματικά μόνιμα. Η μονιμότητα της εγγραφής βασίζεται στην αξιοπιστία και την υγεία του δικτύου. Στο γενικό πλαίσιο της ΤΚΕ, αυτό σημαίνει ότι εάν ένα μεγάλο μέρος της κοινότητας της ΤΚΕ ήθελε να αλλάξει τις πληροφορίες που είχαν γραφτεί σε αυτήν, θα μπορούσαν (Laurence, 2019).

Παρακάτω παρατίθενται δύο σχήματα που αναπαριστούν σε υψηλό επίπεδο αυτήν την έννοια.



Σχήμα 2.1 Αναπαράσταση της ΤΚΕ (Πώς η ΤΚΕ μεταμορφώνει τις αγορές, 2017).



Σχήμα 2.2 Δομή δεδομένων της ΤΚΕ (Xu κ.ά., 2019)

Οι κρυπτογραφικοί κατακερματισμοί διασφαλίζουν ότι μία προηγούμενη συστοιχία δεν μπορεί να αλλάξει. Κι αυτό είναι σημαντικό, γιατί εάν η προηγούμενη συστοιχία είχε αλλάξει, ο νέος κατακερματισμός της δε θα ταίριαζε με τον κατακερματισμό που είχε αρχικά καταγραφεί, επομένως, ο σύνδεσμος ανάμεσα στις δύο συστοιχίες θα έσπαγε.

2. Στον ορισμό της ΤΚΕ εμφανίζεται η έννοια του καθολικού. Τι είναι, όμως, το καθολικό; Το **γενικό καθολικό** (General Ledger) είναι μία συλλογή όλων των λογαριασμών μιας εταιρείας, η οποία περιέχει περιληπτικά όλες τις οικονομικές συναλλαγές κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης λογιστικής περιόδου. Όπου λογιστική περίοδο ή αλλιώς λογιστική χρήση είναι η δωδεκάμηνη, κατά κανόνα, περίοδος μέσα στην οποία η επιχείρηση συντάσσει λογιστικές καταστάσεις, σύμφωνα με το νόμο. Στην πλειονότητα των επιχειρήσεων, η λογιστική χρήση αρχίζει την 1^η Ιανουαρίου και λήγει την 31^η Δεκεμβρίου του ίδιου έτους.

Οι λογαριασμοί σε κάθε γενικό καθολικό χωρίζονται σε δύο μέρη. Το αριστερό μέρος περιέχει χρεωστικές συναλλαγές και το δεξί μέρος πιστωτικές συναλλαγές. Η πιο συνηθισμένη γραμμογράφηση του γενικού καθολικού είναι η ακόλουθη (Γενικό Καθολικό, 2021):

ΧΡΕΩΣΗ		ΓΕΝΙΚΟ ΚΑΘΟΛΙΚΟ(Τίτλος).....				ΠΙΣΤΩΣΗ			
Έτος Μήνας	Ημέρα	Αριθμ. ημερ. άρθρου	Αιτιολογία (λογαριασμός που αντιλειτουργεί)	Ποσά	Έτος Μήνας	Ημέρα	Αριθμ. ημερ. άρθρου	Αιτιολογία (λογαριασμός που αντιλειτουργεί)	Ποσά

Σχήμα 2.3 Η γραμμογράφηση του καθολικού (Γενικό Καθολικό, 2021).

3. Η **τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού (Distributed Ledger Technology - DLT)** αναφέρεται στην τεχνολογική υποδομή και στα πρωτόκολλα που επιτρέπουν την ταυτόχρονη πρόσβαση, την επικύρωση και την ενημέρωση των εγγράφων με αμετάβλητο τρόπο σε ένα κατανεμημένο σύστημα με πολλούς ανεξάρτητους υπολογιστές . Αυτό το κατανεμημένο σύστημα εξαλείφει την ανάγκη για μια κεντρική αρχή.

Επιπλέον, η τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού επιτρέπει την αποθήκευση όλων των πληροφοριών με ασφαλή και ακριβή τρόπο χρησιμοποιώντας την κρυπτογραφία. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να προσπελαστούν με «κλειδιά» και κρυπτογραφικές υπογραφές. Μόλις αποθηκευτούν οι πληροφορίες, δημιουργείται μια αμετάβλητη βάση δεδομένων που διέπεται από τους κανόνες του δικτύου (Tanenbaum & Steen, 2005).

Ένα κατανεμημένο καθολικό είναι μόνο για προσάρτηση. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να προσθεθούν νέες συναλλαγές, αλλά οι παλιές συναλλαγές δεν μπορούν να διαγραφούν ή να τροποποιηθούν. Μια νέα συναλλαγή (transaction) ή είσοδος (entry), όμως, μπορεί να αντιστρέψει μια προηγούμενη συναλλαγή, αλλά και οι δύο παραμένουν μέρος του καθολικού για να επιτρέπεται η δυνατότητα ελέγχου και να διασφαλίζεται η μακροχρόνια ακεραιότητα (Xu κ.ά., 2019).

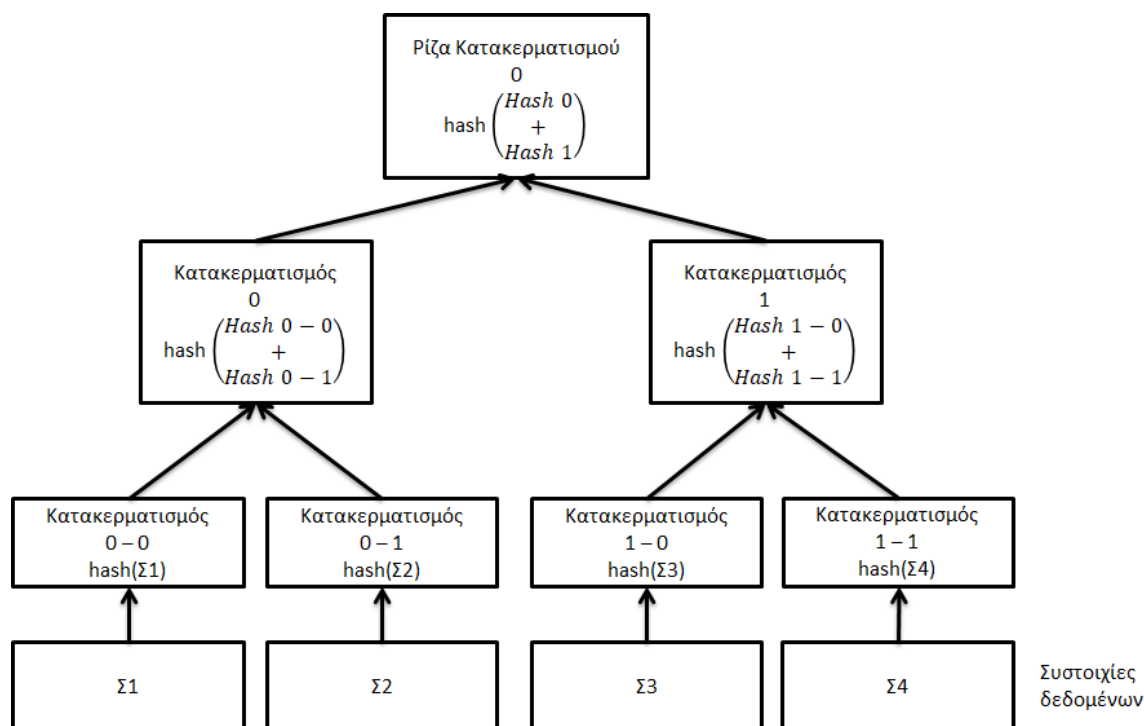
Ας δούμε ένα παράδειγμα στον τραπεζικό τομέα.

Όταν οι τράπεζες διενεργούν συναλλαγές, δηλαδή όταν μεταβιβάζεται η κυριότητα χρήματος ή χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, χρησιμοποιούν κεντρικά συστήματα, τα οποία συχνά διαχειρίζονται οι κεντρικές τράπεζες. Οι τράπεζες καταγράφουν τις συναλλαγές τους σε τοπικές βάσεις δεδομένων, οι οποίες επικαιροποιούνται μετά την

ολοκλήρωση της συναλλαγής στο κεντρικό σύστημα. Το καταναμημένο καθολικό, από την άλλη πλευρά, είναι μια βάση δεδομένων για συναλλαγές που, αντί να αποθηκεύεται σε μια κεντρική τοποθεσία, κατανέμεται σε ένα δίκτυο πολλών υπολογιστών. Συνήθως, όλα τα μέλη του δικτύου μπορούν να διαβάζουν τις πληροφορίες και, ανάλογα με τις άδειες που τους έχουν δοθεί, να προσθέτουν στοιχεία ([Πώς μπορεί η νέα τεχνολογία να μεταμορφώσει τις χρηματοπιστωτικές αγορές, 2017](#)).

4. Ο **κατακερματισμός** (hashing) είναι μια μέθοδος για τη φύλαξη στοιχείων με βάση ένα κλειδί σε γραμμικές δομές δεδομένων, όπως είναι οι πίνακες και τα αρχεία με στόχο τη γρήγορη ανεύρεσή τους. Βασίζεται στη χρήση μιας συνάρτησης απεικόνισης (hash(K)) με πεδίο ορισμού το κλειδί των στοιχείων, έστω K, και πεδίο τιμών τους δείκτες της αντίστοιχης δομής δεδομένων, για παράδειγμα ακέραιοι δείκτες σε πίνακα ή δείκτες θέσης σε αρχείο. Σε κάθε σύστημα κατακερματισμού πρέπει να λαμβάνουμε μέριμνα για την περίπτωση όπου δύο κλειδιά θα συμπίπτουν στην ίδια θέση της δομής μας. Σε αυτήν την περίπτωση, όπου σημειωθεί μια σύγκρουση υπάρχουν διάφορες επιλογές που θα μπορούσε κάποιος να ακολουθήσει (Hector κ.ά., 2009).
5. Ένα δέντρο κατακερματισμού (hash tree) ή αλλιώς **δέντρο Merkle** είναι ένα δέντρο στο οποίο κάθε "φύλλο" – κόμβος επισημαίνεται με τον κρυπτογραφικό κατακερματισμό μίας συστοιχίας δεδομένων και κάθε κόμβος που δεν είναι φύλλο και λειτουργεί ως γονικός επισημαίνεται με τον κρυπτογραφικό κατακερματισμό των ετικετών των θυγατρικών κόμβων. Ένα δέντρο κατακερματισμού επιτρέπει την αποτελεσματική και ασφαλή επαλήθευση των περιεχομένων μιας μεγάλης δομής δεδομένων ([Liu κ.ά., 2019](#)). Θα δούμε στη συνέχεια ότι το δέντρο Merkle χρησιμοποιείται στην ΤΚΕ, γιατί παρέχει μια εύκολη πρόσβαση στην καταγραφή των συναλλαγών σε μια συστοιχία. Επομένως, είναι πολύ απλό να ελεγχθεί αν τα δεδομένα έχουν αλλαχθεί ή αλλοιωθεί. Αυτό ισχύει, επειδή οποιαδήποτε αλλαγή σε μια συναλλαγή ή οποιαδήποτε άλλα σχετικά δεδομένα στο δέντρο Merkle, θα οδηγούσε σε μια εντελώς διαφορετική αντίστοιχη ρίζα Merkle.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα δυαδικού δέντρου Merkle. Σε αυτό το σχήμα, οι Κατακερματισμοί $0 - 0$ και $0 - 1$ είναι τιμές κατακερματισμού των συστοιχιών δεδομένων $\Sigma 1$ και $\Sigma 2$ αντίστοιχα και ο Κατακερματισμός 0 είναι ο κατακερματισμός της συνένωσης μεταξύ των Κατακερματισμών $0 - 0$ και $0 - 1$. Το $\text{hash}(\Sigma 1)$ είναι η συνάρτηση κατακερματισμού.



Σχήμα 2.4 Ένα παράδειγμα δυαδικού δέντρου Merkle (Merkle tree, 2021).

6. Υπάρχουν ορισμένα συστατικά που είναι απαραίτητα για να μπορέσει μια ΤΚΕ να λειτουργήσει σαν ένα σύστημα. Οπότε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ (*Blockchain System*) αποτελείται από:
 - 6.1. Ένα κατακερματισμένο δίκτυο μηχανών που ονομάζονται κόμβοι (nodes).
 - 6.2. Μια κατακερματισμένη δομή δεδομένων για το καθολικό που αναπαράγεται σε όλο το κατακερματισμένο δίκτυο. Οι κόμβοι, οι οποίοι διαθέτουν ένα πλήρες αντίγραφο αυτού του καθολικού, αναφέρονται ως πλήρεις κόμβοι.
 - 6.3. Ένα πρωτόκολλο δικτύου που ορίζει δικαιώματα, ευθύνες και μέσα επικοινωνίας, επαλήθευσης, επικύρωσης και συναίνεσης μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο. Αυτό περιλαμβάνει τη διασφάλιση εξουσιοδότησης και ελέγχου ταυτότητας νέων συναλλαγών, μηχανισμούς προσάρτησης νέων ομάδων, μηχανισμούς κινήτρων εάν χρειάζεται και παρόμοιες πτυχές (Xu κ.ά., 2019). Γενικά, ένα πρωτόκολλο (protocol) είναι ένα καθιερωμένο σύνολο κανόνων που διέπει τη μορφή, το περιεχόμενο και τη σημασία των μηνυμάτων που στέλνονται και λαμβάνονται. Για να μπορεί μια ομάδα υπολογιστών να επικοινωνήσει μέσω δικτύου, οι υπολογιστές πρέπει να συμφωνούν όλοι στα πρωτόκολλα που θα χρησιμοποιούνται (Tanenbaum κ.ά., 2005).
7. **Πλατφόρμα** στην πληροφορική είναι το περιβάλλον λειτουργίας, που αφορά το λογισμικό (software) ή το υλικό (hardware) και οι αντίστοιχες παραμετροποιήσεις τους σε ένα

υπολογιστικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, ο όρος λογισμικό μπορεί να είναι ένα λειτουργικό σύστημα, μία βάση δεδομένων, ένας φυλλομετρητής (web browser) κτλ.

Ο όρος υλικό υπολογιστή μπορεί να είναι κάποιος τύπος, ίσως, και εξειδικευμένος υπολογιστής ή ομάδα επεξεργαστών (Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας – ΚΜΕ) με συγκεκριμένες εντολές γλώσσας μηχανής.

8. Η έννοια της πλατφόρμας της ΤΚΕ (**Blockchain Platform**) είναι η τεχνολογία που χρειάζεται για να λειτουργήσει η ΤΚΕ. Αυτό περιλαμβάνει το λογισμικό του πελάτη για την επεξεργασία των κόμβων, την τοπική αποθήκευση των δεδομένων για τους κόμβους και για τους τυχόν εναλλακτικούς πελάτες που θα θελήσουν να συνδεθούν στο δίκτυο της ΤΚΕ (Xu κ.ά., 2019).
9. Το Building Information Modelling – **BIM** είναι μια ολοκληρωμένη ψηφιακή τρισδιάστατη (Three-Dimensional – 3D) αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας υποδομής. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί μια πηγή πληροφοριών για αυτήν την υποδομή που μπορεί να είναι ένα κτίριο, δημιουργώντας, έτσι, μια αξιόπιστη βάση για λήψη βελτιωμένων αποφάσεων σε όλο τον κύκλο ζωής του, που είναι διαθέσιμη από τα πιο πρώιμα στάδια της σχεδιαστικής σύλληψης του έως την κατεδάφισή του. Μπορεί να θεωρηθεί ως η προηγμένη εξέλιξη του CAD (Computer – Aided Design) και η εφαρμογή της τεχνολογίας BIM μπορεί να οδηγήσει τον κατασκευαστικό κλάδο σε μεγαλύτερη απόδοση μέσω της έγκαιρης πρόγνωσης και αντιμετώπισης των σχεδιαστικών αναντιστοιχιών, καθώς και τη χρονική και οικονομική βελτιστοποίηση του τεχνικού έργου (Migilinskas κ.ά, 2013).

2.3 Τύποι της ΤΚΕ

Η ΤΚΕ είναι μια δομή δεδομένων που καθιστά δυνατή τη δημιουργία ενός ψηφιακού καθολικού δεδομένων και την κοινή χρήση του σε ένα δίκτυο ανεξάρτητων μερών. Ανάλογα με τους κανόνες που καθιερώνονται στην ΤΚΕ, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ΤΚΕ. Πάμε να δούμε ποιοι είναι αυτοί:

- 1) Μια **δημόσια ΤΚΕ (Public Blockchain)** είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ και το οποίο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
 - Έχει ένα ανοιχτό δίκτυο, όπου οι κόμβοι μπορούν να ενωθούν και να φύγουν όταν θέλουν χωρίς να απαιτείται άδεια από κανέναν.

- Όλοι οι πλήρεις κόμβοι στο δίκτυο μπορούν να επαληθεύσουν κάθε κομμάτι δεδομένων που προστίθεται στη δομή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων συστοιχιών, συναλλαγών και επιδράσεων των συναλλαγών.
- Το πρωτόκολλό του περιλαμβάνει ένα μηχανισμό κινήτρων που στοχεύει στη διασφάλιση της σωστής λειτουργίας του ΤΚΕ συστήματος, των έγκυρων συναλλαγών που υποβάλλονται σε επεξεργασία και συμπεριλαμβάνονται στο καθολικό και των άκυρων συναλλαγών που απορρίπτονται.

Οι πιο γνωστές δημόσιες ΤΚΕ είναι το Κρυπτονόμισμα (Bitcoin) και το Ethereum (Laurence, 2019).

- 2) Σε μία **ιδιωτική ΤΚΕ (Private Blockchain)** η πρόσβαση των χρηστών περιορίζεται από μία αρχή η οποία τη διαχειρίζεται. Αυτό σημαίνει ότι οι χρήστες θα πρέπει, αρχικά, να αποκτήσουν πρόσβαση στο δίκτυο για να μπορέσουν να τη χρησιμοποιήσουν.

Αν και είναι μία ιδιωτική ΤΚΕ, τα πράγματα μπορούν να αλλάξουν όποτε θέλουν. Για παράδειγμα, ο διαχειριστής μπορεί να περιορίσει τις συναλλαγές με βάση τη φύση, την ταχύτητα ή την πρόθεσή τους. Αυτός ο έλεγχος που δίνεται από μία ιδιωτική ΤΚΕ είναι μία εξαιρετική περίπτωση για τις εταιρείες ή τους οργανισμούς που θέλουν να επωφεληθούν από την ΤΚΕ αλλά χρησιμοποιώντας την σε ένα κλειστό περιβάλλον.

Ένα ακόμη πράγμα που πρέπει να προσέξουμε είναι ότι η ιδιωτική ΤΚΕ δεν είναι εντελώς κλειστή από τη δημόσια πρόσβαση. Είναι δυνατή η πρόσβαση σε εκείνους τους χρήστες, οι οποίοι πληρούν εκείνα τα χαρακτηριστικά που ορίζει ο διαχειριστής.

Για παράδειγμα, το Quorum είναι μία ιδιωτική ΤΚΕ που τροφοδοτείται από το δίκτυο Ethereum. Χρησιμοποιεί ένα νέο μηχανισμό συναίνεσης και έχει επίσης αυστηρό απόρρητο συναλλαγών/συμβάσεων (Laurence, 2019). Το Quorum είναι ένα έργο της J.P.Morgan (Blockchain Center of Excellent, 2021). Άλλα παραδείγματα που αξίζει να αναφερθούν περιλαμβάνουν τα Hyperledger και Corda.

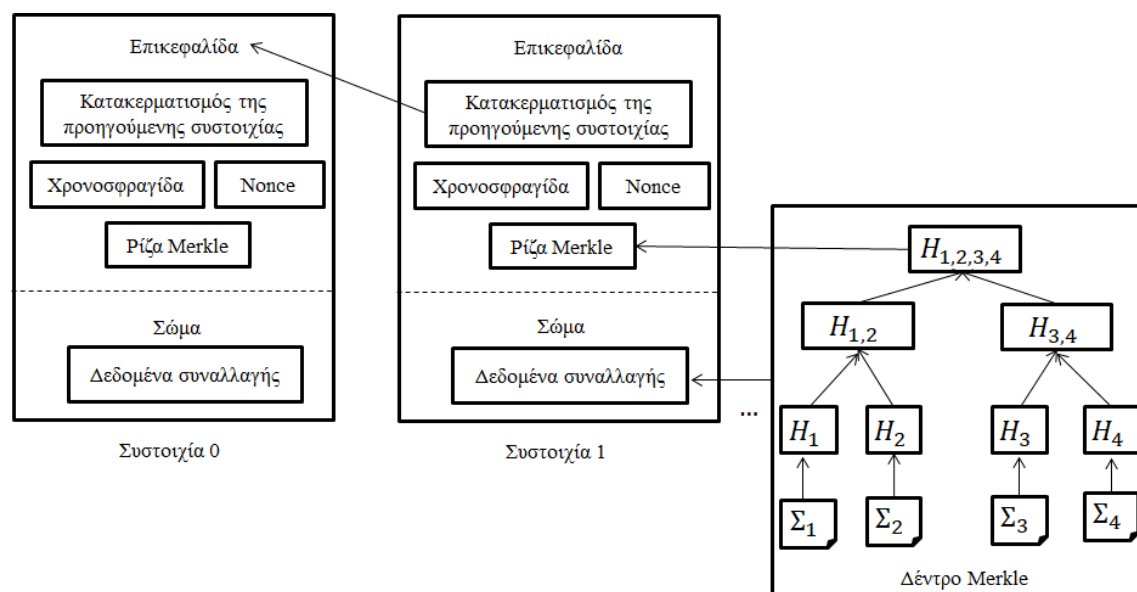
- 3) Η **υβριδική ΤΚΕ (Hybrid Blockchain)** ορίζεται, με απλά λόγια, ως η ΤΚΕ που επιχειρεί να χρησιμοποιήσει το καλύτερο μέρος τόσο των ιδιωτικών όσο και των δημόσιων ΤΚΕ λύσεων. Η υβριδική αρχιτεκτονική της ΤΚΕ διακρίνεται από το γεγονός ότι δεν είναι ανοιχτή σε όλους, αλλά εξακολουθεί να προσφέρει χαρακτηριστικά της ΤΚΕ όπως ακεραιότητα, διαφάνεια και ασφάλεια.

Συνήθως, η υβριδική αρχιτεκτονική της ΤΚΕ είναι πλήρως προσαρμόσιμη. Αυτό σημαίνει ότι τα μέλη της υβριδικής ΤΚΕ μπορούν να αποφασίσουν ποιος μπορεί να συμμετέχει στην ΤΚΕ ή ποιες συναλλαγές θα δημοσιοποιούνται. Αυτό φέρνει τα καλύτερα και των δύο κόσμων και διασφαλίζει ότι μια εταιρεία μπορεί να συνεργαστεί με τους μετόχους της με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Το ΧDC είναι μια υβριδική ΤΚΕ που χρησιμοποιεί τόσο τη δημόσια όσο και την ιδιωτική ΤΚΕ. Δημιουργήθηκε και διαχειρίζεται από την XinFin, μια εταιρεία της Σιγκαπούρης ([Hybrid Blockchain: The Best Of Both Worlds, 2021](#)).

2.4 Δομή της ΤΚΕ

Σε ένα δίκτυο της ΤΚΕ, οι συναλλαγές επικυρώνονται από μία κοινότητα κόμβων και στη συνέχεια καταγράφονται σε μία συστοιχία. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, μία συστοιχία αποτελείται από μια επικεφαλίδα (header) και ένα σώμα (body). Στο σώμα αποθηκεύονται τα δεδομένα της συναλλαγής. Η επικεφαλίδα της συστοιχίας περιέχει τον κατακερματισμό της προηγούμενης συστοιχίας, μια χρονική σήμανση, το Nonce και τη ρίζα Merkle. Η τιμή κατακερματισμού υπολογίζεται παίρνοντας την επικεφαλίδα της προηγούμενης συστοιχίας και εισάγοντάς τη σε μια συνάρτηση κατακερματισμού. Με τον κατακερματισμό της προηγούμενης συστοιχίας αποθηκευμένο στην τρέχουσα συστοιχία, η ΤΚΕ αναπτύσσεται έτσι με νέες συστοιχίες που δημιουργούνται και συνδέονται με αυτή. Επιπλέον, αυτό εγγυάται ότι η παραβίαση στην προηγούμενη συστοιχία θα εντοπιστεί αποτελεσματικά. Η χρονική σήμανση είναι η καταγραφή της ώρας που δημιουργήθηκε η συστοιχία. Το Nonce χρησιμοποιείται στη δημιουργία και την επαλήθευση μίας συστοιχίας. Το δέντρο Merkle είναι ένα δυαδικό δέντρο με κάθε κόμβο φύλλου να επισημαίνεται με τον κατακερματισμό μιας συναλλαγής που είναι αποθηκευμένος στο σώμα της συστοιχίας και οι κόμβοι που δεν είναι φύλλα επισημαίνονται με τη συνένωση του κατακερματισμού των θυγατρικών κόμβων του. Η ρίζα Merkle, δηλαδή ο κατακερματισμός της ρίζας ενός δέντρου Merkle, χρησιμοποιείται για τη μείωση των προσπαθειών επαλήθευσης των συναλλαγών σε μία συστοιχία. Δεδομένου ότι μια μικροσκοπική αλλαγή σε μία συναλλαγή μπορεί να δημιουργήσει μια εντελώς διαφορετική ρίζα Merkle, η επαλήθευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με μία απλή σύγκριση της ρίζας Merkle αντί να επαληθεύσουμε όλες τις συναλλαγές στη συστοιχία. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε ακριβώς τη δομή μίας ΤΚΕ. Υποδηλώνουμε μία συναλλαγή με το γράμμα Σ και παίρνουμε την 2^η συστοιχία, δηλαδή τη Συστοιχία 1, η οποία περιέχει μόνο τέσσερις συναλλαγές, ως παράδειγμα για να επεξηγήσουμε τη δομή ενός δέντρου Merkle ([Liang, 2020](#)).



Σχήμα 2.5 Η δομή μίας ΤΚΕ (Liang, 2020).

Η κεφαλίδα της κάθε συστοιχίας περιέχει πολλά σημαντικά. Τα κύρια πεδία διαφαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

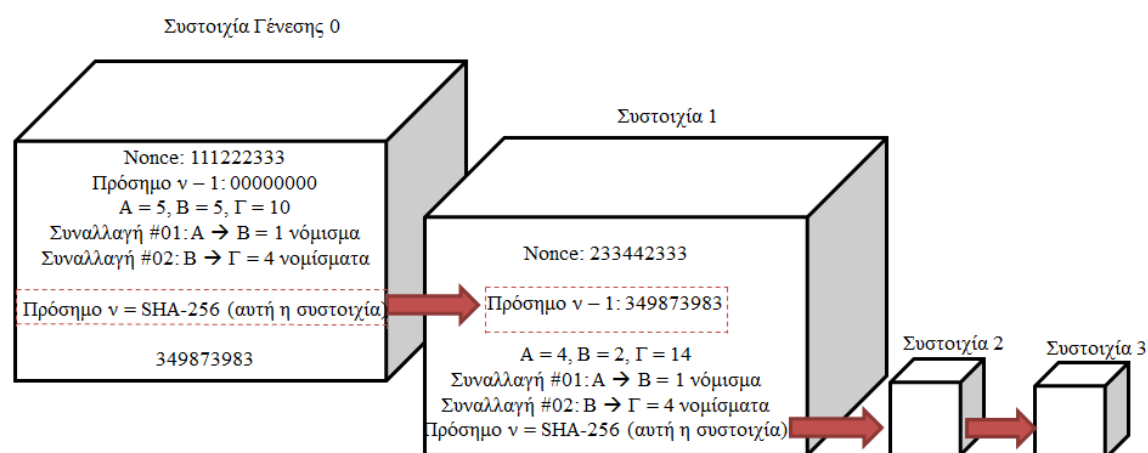
Δεδομένα πεδίου	Μέγεθος πεδίου (bytes)	Περιγραφή πεδίου
Αριθμός έκδοσης	4	Η τρέχουσα έκδοση του συστήματος, όπου η συστοιχία βρίσκεται.
Κατακερματισμός της προηγούμενης συστοιχίας	32	Η τιμή του κατακερματισμού της προηγούμενης συστοιχίας που είναι 256 bits.
Τυχαίος αριθμός	4	Ένας τυχαίος αριθμός που ικανοποιεί την τιμή του κατακερματισμένου στόχου.
Χρονοσφραγίδα	4	Η εμφάνιση της τρέχουσας ώρας σε μορφή UTC (Coordinated Universal Time – Συντονισμένης Παγκόσμιας Ώρας).
Κατακερματισμένη ρίζα δέντρου Merkle	32	Η τιμή του κατακερματισμού όλων των συναλλαγών στη συστοιχία.
Κατακερματισμός προορισμού	4	Δικαιώματα εγγραφής για την απόκτηση συστοιχιών.

Πίνακας 2.1 Τα κύρια πεδία της επικεφαλίδας μίας συστοιχίας (Li, W. κ.ά. 2021)

Για να κατανοήσουμε εκτενώς τη λειτουργία ή τη ροή της ΤΚΕ ας δούμε ένα παράδειγμα με συναλλαγές. Ας υποθέσουμε ότι υπάρχουν κάποιες συναλλαγές μεταξύ τριών πελατών, έστω Α, Β και Γ. Η πρώτη συστοιχία της αλυσίδας ονομάζεται «Συστοιχία Γένεσης – Genesis Block». Οι

συστοιχίες γένεσης μπορούν, επίσης, να ονομαστούν «Συστοιχία 0» ή «Ημέρα-0 Συστοιχία». Κάθε πελάτης έχει, αρχικά, κάποιο υπόλοιπο ποσό, για παράδειγμα, ο πελάτης Α έχει πέντε νομίσματα, ο πελάτης Β έχει, επίσης, πέντε νομίσματα, ενώ ο πελάτης Γ έχει δέκα νομίσματα. Το nonce είναι ένας τυχαίος ή ψευδοτυχαίος αυθαίρετος αριθμός 32 ψηφίων (32 – bits) που εκχωρείται από τον εξορύκτη σε κάθε συστοιχία προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η παλιά επικοινωνία δε θα επαναληφθεί. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κρυπτογραφικές συναρτήσεις κατακερματισμού διανυσμάτων αρχικοποίησης.

Η τιμή του προσημου $v - 1$ για τη συστοιχία γένεσης είναι 0, επειδή το πρόσημο v υποδηλώνει την τιμή κατακερματισμού της προηγούμενης συστοιχίας, η οποία δεν είναι καμία για τη συστοιχία γένεσης. Όταν μεταβαίνουμε στη συστοιχία 1, το πρόσημο v υπολογίζεται εκ νέου για τη συστοιχία 1 και θα έχει την τιμή κατακερματισμού της προηγούμενης συστοιχίας, δηλαδή της συστοιχίας 0. Το ίδιο θα ισχύει και για την επόμενη συστοιχία και ούτω καθ'εξής. Επιπλέον, η συστοιχία γένεσης περιέχει συναλλαγές, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



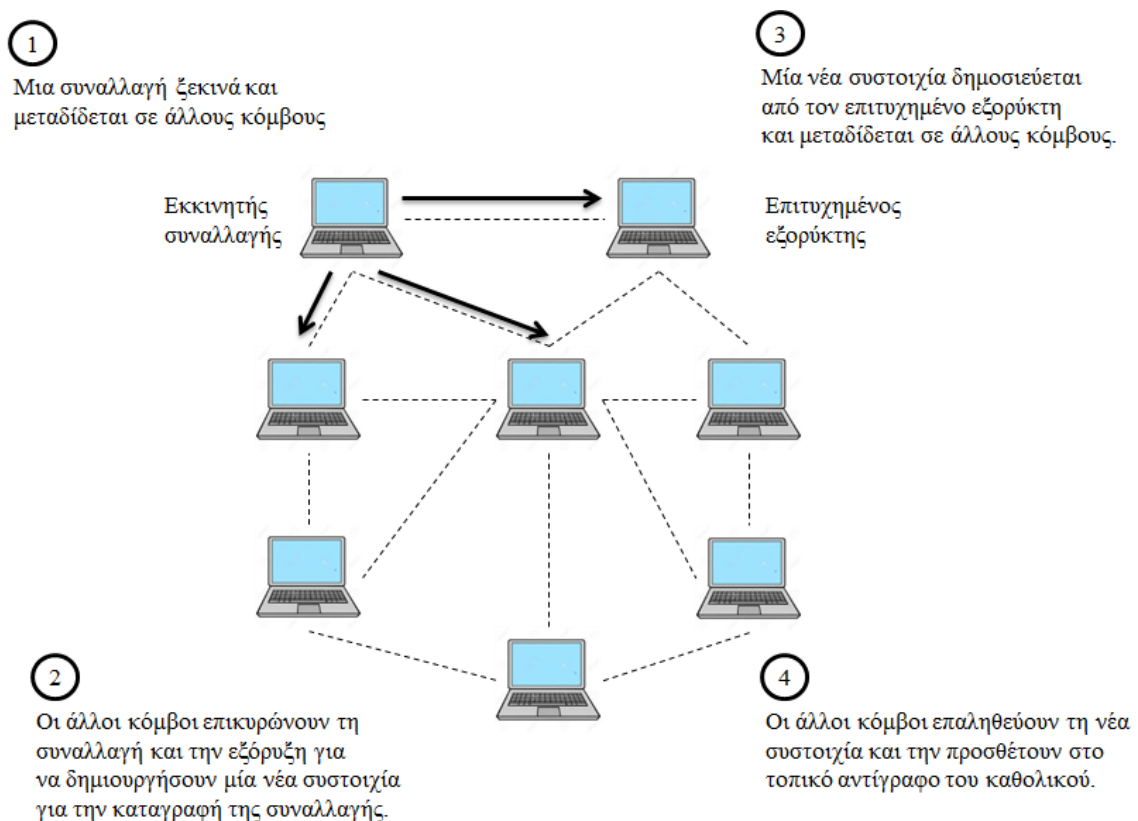
Σχήμα 2.6 Παράδειγμα της ΤΚΕ (IP Specialist, 2019).

Στο παραδειγμά μας, ο χρήστης Α μεταφέρει ένα νόμισμα στο χρήστη Β. Ομοίως, ο χρήστης Β μεταφέρει τέσσερα νομίσματα στο χρήστη Γ. Οπότε ο χρήστης Α έχει τέσσερα νομίσματα, ο χρήστης Β έχει δύο νομίσματα και ο χρήστης Γ έχει δεκατέσσερα νομίσματα. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα έχει επιλεγθεί ο αλγόριθμος κατακερματισμού SHA – 256 (Secure Hash Algorithm). Οπότε η τιμή κατακερματισμού για τη συστοιχία γένεσης θα υπολογιστεί χρησιμοποιώντας αυτόν τον αλγόριθμο. Έτσι θα διασφαλιστεί η ακεραιότητα της συστοιχίας.

Τώρα μεταβαίνοντας στη συστοιχία 1, η τιμή του «Nonce» και η τιμή του «Πρόσημο $v - 1$ » θα πρέπει να υπολογιστούν για αυτή τη συστοιχία. Η τιμή του «Πρόσημο $v - 1$ » θα πάρει την τιμή που θα επιστρέψει ο αλγόριθμος κατακερματισμού SHA – 256 της προηγούμενης συστοιχίας, δηλαδή της συστοιχίας 0. Οι συναλλαγές αποθηκεύονται σε αυτήν τη συστοιχία με τον ίδιο

τρόπο όπως σ' την προηγούμενη συστοιχία. Επομένως, κάθε φορά για κάθε συστοιχία εκτελείται ο αλγόριθμος SHA – 256 σε όλο το μήκος της αλυσίδας (IP Specialist, 2019).

Πάμε να δούμε ένα ακόμα παράδειγμα στο πώς δουλεύει η ΤΚΕ. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη ροή εργασίας μιας ΤΚΕ χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο συναίνεσης PoW (Proof of Work). Αρχικά, μία συναλλαγή ξεκινά και μεταδίδεται σε άλλους κόμβους του δικτύου. Οι κόμβοι που λαμβάνουν τη συναλλαγή χρησιμοποιούν την ψηφιακή υπογραφή για να επαληθεύσουν την αυθεντικοποίηση της συναλλαγής. Μετά την επαλήθευση, η συναλλαγή προσαρτάται στη λίστα των έγκυρων συναλλαγών στους κόμβους. Για την καταγραφή των επαληθευμένων συναλλαγών, οι κόμβοι στο δίκτυο εργάζονται για τη δημοσίευση της νέας συστοιχίας, δηλαδή την εύρεση Nonce. Μόλις ένας κόμβος βρει ένα έγκυρο Nonce, επιτρέπεται να δημοσιεύσει μία συστοιχία που περιέχει τη συναλλαγή που ξεκίνησε. Στη συνέχεια, οι άλλοι κόμβοι επαληθεύουν τις συναλλαγές στη συστοιχία που ελήφθησαν συγκρίνοντας τη ρίζα Merkle και μόλις αποδειχθεί ότι οι συναλλαγές στην πρόσφατα δημοσιευμένη συστοιχία έχουν επαληθευτεί και δεν έχουν παραβιαστεί, η νέα συστοιχία προστίθεται στο τοπικό αντίγραφο της ΤΚΕ. Η ενημέρωση της ΤΚΕ έχει ολοκληρωθεί (Liang, 2020).



Σχήμα 2.7 Ροή εργασίας ενός δικτύου ΤΚΕ (Liang, 2020).

2.5 Αλγόριθμοι συναίνεσης

Ως διακριτικό χαρακτηριστικό της ΤΚΕ μπορεί να χαρακτηριστεί το γεγονός ότι εξαλείφει την ανάγκη ενός αξιόπιστου τρίτου μέρους για την επικύρωση των συναλλαγών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συναίνεσης που πραγματοποιείται μεταξύ όλων των κόμβων πριν μία συστοιχία που καταγράφει πολλαπλές συναλλαγές, συμπεριληφθεί στην ΤΚΕ. Ουσιαστικά, χρησιμοποιείται ένας αλγόριθμος συναίνεσης για να κανονίσει τη δημιουργία μίας συστοιχίας με αμερόληπτο τρόπο ώστε να αντισταθεί σε οποιαδήποτε κακόβουλη επίθεση.

Υπάρχουν διαφορετικοί αλγόριθμοι συναίνεσης, όπως ο Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS) και Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), για να προσαρμοστεί στην ΤΚΕ των διαφορετικών τύπων και τις απαιτήσεις απόδοσης σε διαφορετικές εφαρμογές. Πάμε να δούμε έναν έναν τους αλγορίθμους.

Ο Proof of Work (PoW) αλγόριθμος χρησιμοποιείται ευρέως σε δίκτυα της ΤΚΕ όπως είναι το κρυπτονόμισμα. Με τον PoW, δημιουργείται μία νέα συστοιχία όταν βρεθεί ένας τυχαίος αριθμός που ονομάζεται Nonce. Το Nonce μπορεί να επαληθευτεί ελέγχοντας εάν ο κατακερματισμός της κεφαλίδας της συστοιχίας, που προστέθηκε με το Nonce, πληροί ορισμένες προϋποθέσεις. Λόγω του χαρακτηριστικού της συνάρτησης κατακερματισμού, το Nonce είναι εύκολο να επαληθευτεί, αλλά μπορεί να βρεθεί μόνο σε κάποια δοκιμή ή εμφάνισης σφάλματος. Έτσι, η αφιέρωση υπολογιστικών πόρων για την εύρεση ενός έγκυρου Nonce μπορεί να θεωρηθεί ως μια μορφή εργασίας για τη δημιουργία μίας νέας συστοιχίας. Επομένως, η επιτυχία της εύρεσης του Nonce είναι η απόδειξη της δουλειάς που έχει κάνει ένας κόμβος. Για να δοθούν κίνητρα στους κόμβους να συμμετάσχουν στην εξόρυξη, τα διακριτικά του δικτύου και οι χρεώσεις των συναλλαγών θα πρέπει να επιβραβεύονται στον εξορύκτη που δημοσιεύει με επιτυχία μία συστοιχία. Η διαδικασία δημιουργίας μίας νέας συστοιχίας ονομάζεται εξόρυξη και ο κόμβος που συμμετέχει στην εξόρυξη ονομάζεται εξορύκτης.

Ο Proof of Stake (PoS) είναι ένας άλλος αλγόριθμος συναίνεσης, με στόχο τη μείωση του εντατικού υπολογισμού στον αλγόριθμο PoW. Ο PoS χρησιμοποιείται για πρώτη φορά στο Peercoin, στο οποίο εξακολουθεί να παρέχεται το δικαίωμα δημοσίευσης μίας νέας συστοιχίας επιτρέποντας στους κόμβους να ανταγωνίζονται για να λύσουν ένα μαθηματικό πρόβλημα, όπως στον PoW, δηλαδή να βρουν ένα έγκυρο Nonce. Ωστόσο, η διαφορά έγκειται στη δυσκολία επίλυσης του προβλήματος, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τα διακριτικά και το χρόνο διατήρησης αυτών των διακριτικών που έχει ένας κόμβος. Ειδικότερα, αν έχουμε πολλά διακριτικά και μεγαλύτερο χρόνο διατήρησης των διακριτικών, η δυσκολία εξόρυξης για τον κόμβο μειώνεται. Επιπλέον, η διαδικασία επίλυσης προβλημάτων εξαλείφεται στον τελευταίο PoS αλγόριθμο και ο δημιουργός της συστοιχίας επιλέγεται με βάση τα stakes που διαθέτουν οι κόμβοι. Με το PoS, οι υπολογιστικοί πόροι που καταλαμβάνει ένας κόμβος δεν καθορίζουν

πλέον την πιθανότητα να βρει με επιτυχία μία νέα συστοιχία, και επομένως οι υπολογιστικοί πόροι που απαιτούνται για την επίτευξη συναίνεσης μπορούν να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό.

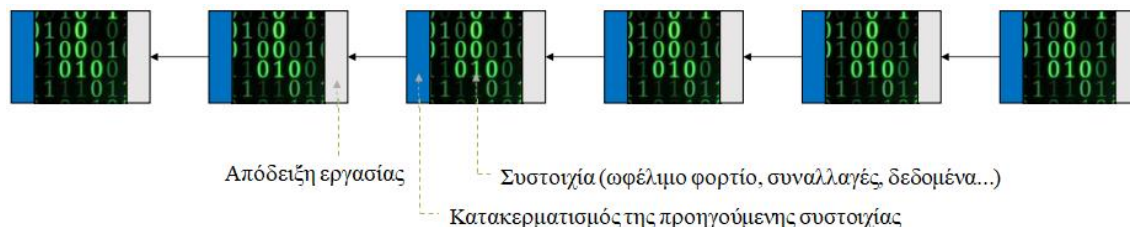
Ο Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT) είναι ένας πρακτικός αλγόριθμος που βασίζεται στην ψηφοφορία που επιτρέπει την κοινοπραξία κόμβων να επιτευχθεί συναίνεση χωρίς την υπόθεση συγχρονισμού μεταξύ τους. Με τη Βυζαντινή ανοχή σφαλμάτων (BFT), οι κόμβοι μπορούν ακόμα να επιτύχουν συναίνεση ακόμη και όταν υπάρχουν κάποιοι ελαττωματικοί κόμβοι, δηλαδή βυζαντινοί κόμβοι που μπορούν να συμπεριφέρονται αυθαίρετα. Υπάρχουν δύο είδη κόμβων στον αλγόριθμο PBFT, συμπεριλαμβανομένου ενός πρωτεύοντος κόμβου και ενός εφεδρικού κόμβους. Ένας κόμβος στο δίκτυο, ενεργώντας ως πελάτης, εκδίδει πρώτα συναλλαγές, ως ένα αίτημα στον πρωτεύοντα κόμβο και ο πρωτεύων κόμβος αποφασίζει τη σειρά εκτέλεσης του αιτήματος και στη συνέχεια το μεταδίδει σε όλους τους άλλους εφεδρικούς κόμβους. Μετά την παραλαβή της αίτησης, οι κόμβοι αντιγράφων ασφαλείας (backup nodes) κάνουν τον έλεγχο ταυτότητας του αιτήματος, δηλαδή, αποφασίζουν εάν θα εκτελέσουν το αίτημα και στέλνουν τις απαντήσεις στους πελάτες. Η συναίνεση της συναλλαγής επιτυγχάνεται, αφού ο πελάτης λάβει $\varphi + 1$ απαντήσεις από διαφορετικούς κόμβους δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας με τα ίδια αποτελέσματα, όπου φ συμβολίζει τον αριθμό των βυζαντινών κόμβων. Ο αλγόριθμος PBFT εγγυάται την ασφάλεια και τη ζωντάνια, δηλαδή, ένα αίτημα από έναν πελάτη, τελικά, θα απαντηθεί, όταν υπάρχουν λιγότεροι από $\left\lfloor \frac{n-1}{3} \right\rfloor$ βυζαντινοί κόμβοι, όπου n συμβολίζεται ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν στη διαδικασία συναίνεσης. Ο PBFT εξαλείφει το βαρύ υπολογισμό όπως υπάρχει στον PoW για την επιλογή ενός κόμβου για τη δημοσίευση μίας νέας συστοιχίας. Ωστόσο, το όφελος έρχεται με το κόστος της απαίτησης υψηλού επιπέδου εμπιστοσύνης μεταξύ των κόμβων για να αντισταθούν στις επιθέσεις sybil, όπου ένα κακόβουλο μέρος μπορεί να δημιουργήσει πολλούς κόμβους για να προκαταλάβει τη συναίνεση προς τον εαυτό του. Έτσι, ο αλγόριθμος PBFT χρησιμοποιείται, συνήθως, σε κοινοπραξία δικτύων της ΤΚΕ, όπως για παράδειγμα Hyperledger Fabric (Liang, 2020).

2.6 Πώς δουλεύει η ΤΚΕ;

Τεχνικά, η ΤΚΕ – όπως υποδηλώνει και το όνομά της – είναι μια αλυσίδα από συστοιχίες πληροφοριών, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα. Αυτό που κάνει την αλυσίδα ξεχωριστή είναι ότι:

- η αλυσίδα αντιγράφεται σε πολλές συσκευές σε πολλά αντίγραφα,
- από τη στιγμή που "αλυσοδοθούν", τα περιεχόμενα των συστοιχιών δεν μπορούν να τροποποιηθούν και

- ενώ τα δεδομένα αντιγράφονται σε πολλές συσκευές, ο αλγόριθμος της κατανεμημένης εγγραφής διασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν συγκρούσεις και ότι όλα τα αντίγραφα είναι πανομοιότυπα (Turk κ.ά, 2017).



Σχήμα 2.8 Η ιδέα της ΤΚΕ (Turk κ.ά, 2017).

Η ΤΚΕ είναι ένας ειδικός τύπος βάσης δεδομένων. Δηλαδή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οπουδήποτε αντικαθιστώντας μια κανονική βάση δεδομένων, αλλά υπάρχει η πιθανότητα να μην έχει νόημα ο κόπος και τα έξοδα χρήσης μίας ΤΚΕ όταν μια κανονική βάση δεδομένων μπορεί να κάνει αυτήν τη δουλειά. Πάντως, βλέπουμε πραγματικά την αξία χρήσης κάποιας μορφής ΤΚΕ όταν θέλουμε να μοιραστούμε πληροφορίες με μέρη που δεν εμπιστευόμαστε πλήρως και τα δεδομένα μας πρέπει να ελεγχθούν ή τα δεδομένα μας κινδυνεύουν να παραβιαστούν εσωτερικά ή εξωτερικά. Καμία από αυτές τις ανάγκες δεν είναι απλή και οι σωστές λύσεις είναι δύσκολο να εξακριβωθούν (Laurence, 2019).

Δύο, όμως, βασικά χαρακτηριστικά των αποθηκών δεδομένων που βασίζονται στην ΤΚΕ δεν είναι διαθέσιμα στις παραδοσιακές βάσεις δεδομένων και αυτά είναι:

- Ολόκληρο το ιστορικό των δεδομένων με όλες τις τροποποιήσεις τους, καθώς και τα μεταδεδομένα (χρονικές σημάνσεις, πληροφορίες συντάκτη) καταγράφονται και προστατεύονται με το ισοδύναμο μιας κρυπτογραφικά ισχυρής ψηφιακής υπογραφής.
- Η λύση δεν είναι συγκεντρωτική και δε χρειάζεται μια κεντρική αξιόπιστη αρχή.

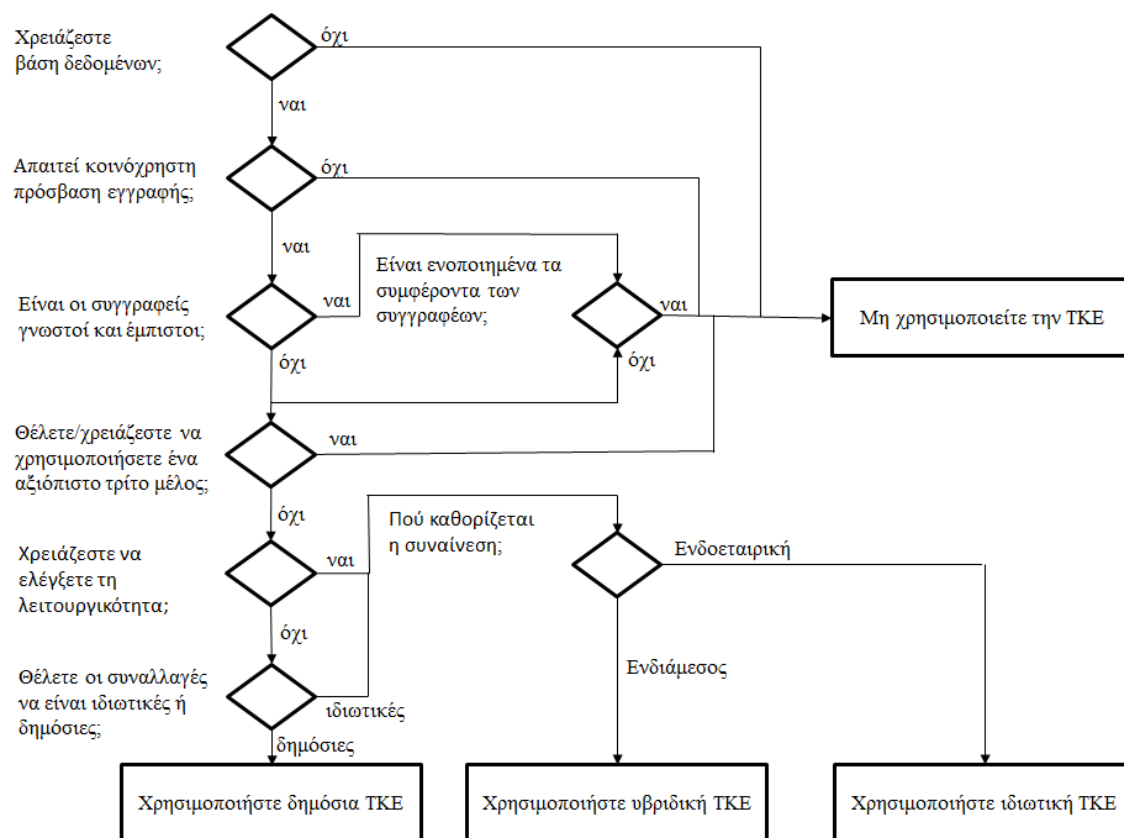
Και τα δύο χαρακτηριστικά αντιστοιχούν στη φύση μιας διαδικασίας σχεδιασμού που λαμβάνει χώρα σε μια συνεργασία ομότιμου δικτύου εταιρειών και ιδιωτών.

Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί η ΤΚΕ ως υποκείμενη βάση, θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες θεμελιώδεις αρχές όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, τουλάχιστον σε υψηλό επίπεδο. Εκτός όμως από αυτό, το σχήμα μάς βοηθάει να επιλέξουμε ποια ΤΚΕ είναι κατάλληλη για κάθε περίπτωση.

Σήμερα, όταν οι τράπεζες διενεργούν συναλλαγές, δηλαδή όταν μεταβιβάζεται η κυριότητα χρήματος ή χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, χρησιμοποιούν κεντρικά συστήματα, τα οποία συχνά διαχειρίζονται οι κεντρικές τράπεζες. Οι τράπεζες καταγράφουν τις συναλλαγές τους σε τοπικές βάσεις δεδομένων, οι οποίες επικαιροποιούνται μετά την ολοκλήρωση της συναλλαγής στο κεντρικό σύστημα. Αυτή η διαδικασία μπορεί να φαίνεται απλή, αλλά υπάρχει

ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αγνοηθεί κι αυτό είναι ότι αυτά τα δεδομένα ενδέχεται να παραβιαστούν. Πιο συγκεκριμένα, τα αρχεία των συναλλαγών μπορούν να χειραγωγηθούν εύκολα ακόμη και να αλλάξουν (Πώς η νέα τεχνολογία μεταμορφώνει τις χρηματοπιστωτικές αγορές, 2017). Πώς, όμως, γίνεται η συναλλαγή στην περίπτωση χρήσης της ΤΚΕ;

Την απάντηση μάς τη δίνει το παρακάτω Σχήμα 2.10.

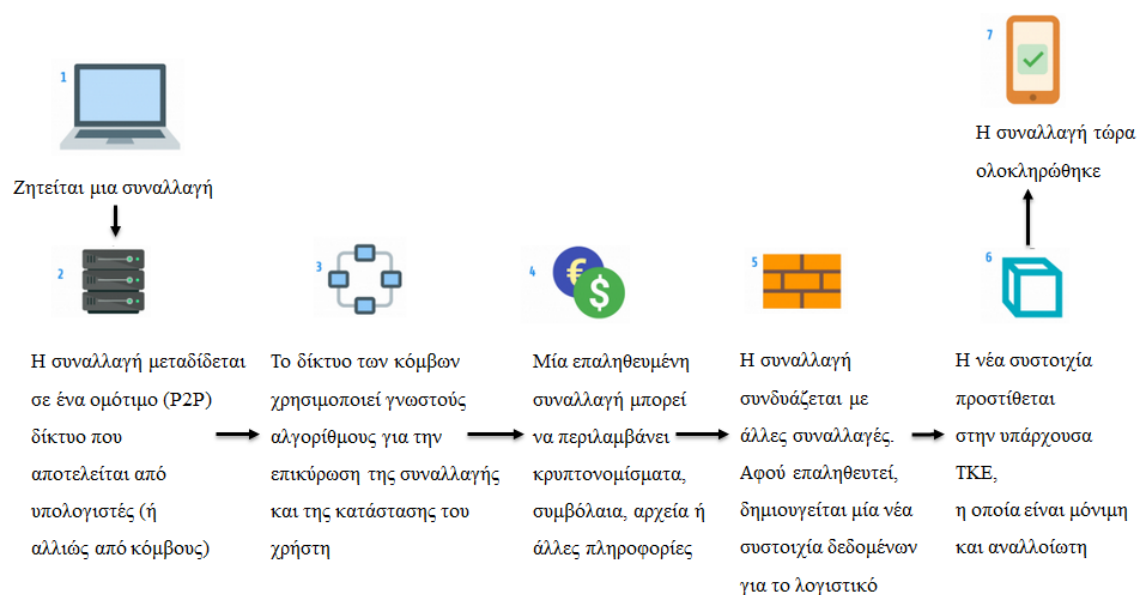


Σχήμα 2.9 Πώς να επιλέξετε ΤΚΕ (Turk κ.ά, 2017).

2.7 Χαρακτηριστικά και Πιθανές Αδυναμίες

Τα χαρακτηριστικά μίας δημόσιας ΤΚΕ συνοψίζονται παρακάτω:

- **Αποκέντρωση (Decentralization):** Σε ένα δημόσιο δίκτυο που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ, οι συναλλαγές καταγράφονται από όλους τους κόμβους του δικτύου και κάθε κόμβος έχει ένα τοπικό αντίγραφο του καθολικού στο οποίο καταγράφονται οι συναλλαγές. Με αυτόν τον τρόπο, το κατανεμημένο καθολικό προστατεύεται από το μεμονωμένο σημείο αποτυχιών.
- **Διγότερο εμπιστευτικό (Trustless):** Σε ένα ΤΚΕ δίκτυο, δε χρειάζεται ένα αξιόπιστο τρίτο μέρος για την επικύρωση των συναλλαγών, ούτε ένας κόμβος πρέπει να εμπιστεύεται άλλους προτού πραγματοποιήσουν μία συναλλαγή. Ο αλγόριθμος συναίνεσης στην ΤΚΕ χρησιμοποιείται για την επικύρωση και την καταγραφή των συναλλαγών με πιο δημοκρατικό τρόπο από την κεντρική προσέγγιση.



Σχήμα 2.10 Πώς δουλεύει η ΤΚΕ (IP Specialist, 2019).

- **Αμετάβλητο (Immutability):** Χρησιμοποιώντας μία μονόδρομη συνάρτηση κατακερματισμού κρυπτογράφησης, οποιαδήποτε τροποποίηση των προηγούμενων συστοιχιών σε μια ΤΚΕ ακυρώνει όλες τις δημιουργημένες συστοιχίες. Έτσι, για να παραβιάσει τις συναλλαγές που έχουν καταγραφεί σε μία προηγούμενη συστοιχία, ο κακόβουλος κόμβος πρέπει να δημιουργήσει μία νέα συστοιχία και να αντιγράψει όλες τις ακόλουθες συστοιχίες. Με τους άλλους κόμβους να συνεχίζουν να δημιουργούν νέες συστοιχίες, ο χειρισμός είναι δύσκολο να επιτευχθεί, γεγονός που καθιστά την ΤΚΕ αμετάβλητη.
- **Μη απόρριψη (Non – repudiation):** Μια συναλλαγή υπογράφεται κρυπτογραφικά με ιδιωτικό κλειδί πριν μεταδοθεί σε άλλους κόμβους. Ο έλεγχος ταυτότητας των συναλλαγών μπορεί να επαληθευτεί από άλλες μέσω του αντίστοιχου δημοσίου κλειδιού που είναι προσβάσιμο σε άλλους κόμβους. Εφ’ όσον το ιδιωτικό κλειδί διατηρείται από τον κάτοχό του, ένας κόμβος δεν μπορεί να μεταμφιεστεί σε άλλους για να ξεκινήσει συναλλαγές και μία επαληθευμένη συναλλαγή δεν μπορεί να την αρνηθεί ο εκκινητής της.
- **Διαφάνεια (Transparency):** Σε ένα δημόσιο δίκτυο που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ, κάθε κόμβος μπορεί να έχει πρόσβαση στις συναλλαγές που είναι αποθηκευμένες στην ΤΚΕ και να επαληθεύει τις εισαγόμενες συναλλαγές. Δεδομένα αποθηκευμένα στην ΤΚΕ είναι, επομένως, διαφανές στο κοινό.
- **Ιχνηλασιμότητα (Traceability):** Η επικεφαλίδα της συστοιχίας επισυνάπτεται με μια χρονική σήμανση που καταγράφει το χρόνο δημιουργίας της συστοιχίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι κόμβοι μπορούν εύκολα να επαληθεύσουν και να εντοπίσουν την προέλευση των ιστορικών συστοιχιών.

Αν και η ΤΚΕ είναι σχετικά ασφαλής, ωστόσο εξακολουθεί να βρίσκεται υπό τον κίνδυνο πολλαπλών ειδών επιθέσεων, όπως η εγωιστική επίθεση εξόρυξης (selfish mining attack), η επίθεση της πλειοψηφίας (majority attack) και η επίθεση άρνησης της υπηρεσίας (Denial Of Service – DOS). Πιο συγκεκριμένα,

- Η Εγωιστική Επίθεση Εξόρυξης είναι μία κακόβουλη προσπάθεια δυσφήμισης της ακεραιότητας του δικτύου της ΤΚΕ. Πιο συγκεκριμένα, οι εγωιστικές επιθέσεις εξόρυξης εφαρμόζονται από τους κακόβουλους κόμβους που ανήκουν σε μία ομάδα εξόρυξης και προσπαθούν να αποκρύψουν τις συστοιχίες που εξόρυξαν με επιτυχία ή να κρατήσουν και στη συνέχεια να αποτρέψουν τη μετάδοση μίας επιτυχώς επικυρωμένης συστοιχίας στο υπόλοιπο δίκτυο της εξόρυξης. Με αυτόν τον τρόπο, οι κόμβοι μπορούν να κάνουν άλλους εξορύκτες να σπαταλούν τους υπολογιστικούς τους πόρους για να βρουν το Nonce που εντοπίστηκε από τους εισβολείς. Από την άλλη πλευρά, με την παρακράτηση μίας εξορυσσόμενης συστοιχίας, ο εισβολέας μπορεί να ξεκινήσει νωρίτερα από άλλους για να βρει το Nonce της επόμενης συστοιχίας.
- Η Επίθεση της Πλειοψηφίας μπορεί να συμβεί όταν ένας κόμβος ή ένας συνασπισμός κόμβων διαθέτει περισσότερο από το 50% των υπολογιστικών πόρων όλων των κόμβων του δικτύου. Με τον αλγόριθμο συναίνεσης PoW, τέτοιοι κόμβοι έχουν πιθανότητα μεγαλύτερη από 0,5 να εξορύξουν με επιτυχία και να δημοσιεύσουν μία νέα συστοιχία. Έτσι, μπορούν αυθαίρετα να αντιστρέψουν ή να σταματήσουν τις συναλλαγές δημοσιεύοντας νέες συστοιχίες. Επιπλέον, η επίθεση της πλειοψηφίας μπορεί να εκτελεστεί από έναν εισβολέα χωρίς τόσο μεγάλο ποσοστό υπολογιστικών πόρων. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιήσει άλλους κόμβους για να τον βοηθήσουν να επεκτείνει ιδιωτικά μία αλυσίδα με μία συστοιχία που δημοσιεύεται από μόνη της. Μόλις η ιδιωτική αλυσίδα είναι μεγαλύτερη από την υπάρχουσα αλυσίδα στο δίκτυο, ο εισβολέας μπορεί να κάνει τη νέα αλυσίδα δημόσια. Με βάση τον κανόνα της μακρύτερης αλυσίδας, η νέα αλυσίδα θα γίνει αποδεκτή από τους άλλους κόμβους του δικτύου και οι συναλλαγές στη νέα αποδεκτή ΤΚΕ, που μπορεί να ευνοούν τον εισβολέα, θα γίνουν, επίσης, αποδεκτές.
- Η Επίθεση Άρνησης της Υπηρεσίας συμβαίνει όταν κακόβουλοι κόμβοι καταλαμβάνουν πλήρως τους πόρους για την επαλήθευση ή τη μετάδοση των συστοιχιών και των συναλλαγών. Συγκεκριμένα, οι κακόβουλοι κόμβοι μπορούν να ξεκινήσουν πολλές συναλλαγές σε άλλους κόμβους για να απενεργοποιήσουν τη μετάδοση και την επαλήθευση των συναλλαγών από άλλους κόμβους (Liang, 2020).

2.8 Ιστορική ανασκόπηση

Η ΤΚΕ θεωρείται από ορισμένους ως μια από τις μεγαλύτερες καινοτομίες του 21^{ου} αιώνα, δεδομένου της επίδρασης που έχει σε διάφορους τομείς, από το χρηματοοικονομικό έως τον κατασκευαστικό τομέα, καθώς και την εκπαίδευση. Όμως, άγνωστο παραμένει σε πολλούς η ιστορία της ΤΚΕ, η οποία χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Οπότε πάμε να κάνουμε μια ιστορική αναδρομή της ΤΚΕ και να δούμε πώς ξεκίνησε και πώς εξελίχθηκε.

Η ιδέα πίσω από την ΤΚΕ περιγράφεται για πρώτη φορά το 1991 από τους επιστήμονες – ερευνητές Stuart Haber και ο W. Scott Stornetta. Η πρώτη τους δουλειά περιλάμβανε την εργασία σε μια κρυπτογραφικά ασφαλή αλυσίδα συστοιχιών όπου κανείς δεν μπορούσε να αλλιώσει τις χρονολογικές σφραγίδες των εγγράφων.

Το 1992, οι Haber, Stornetta και Dave Bayer, αναβάθμισαν το σύστημα ενσωματώνοντας τα δέντρα Merkle στο σχεδιασμό, γεγονός που βελτίωσε την αποτελεσματικότητά του, επιτρέποντας έτσι τη συλλογή περισσότερων πιστοποιητικών εγγράφων σε μια μόνο συστοιχία. Ωστόσο, το 2008 είναι που η ιστορία της ΤΚΕ αρχίζει να αποκτά συνάφεια, χάρη στη εργασία του Satoshi Nakamoto. Όμως, πολύ λίγα είναι γνωστά για τον Satoshi Nakamoto, καθώς οι άνθρωποι πιστεύουν ότι θα μπορούσε να είναι ένα ψευδώνυμο ενός ανθρώπου ή μιας ομάδας που εισήγαγε ένα αποκεντρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα συναλλαγών με την ονομασία Κρυπτονομίσμα. Την πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας του ψηφιακού καθολικού (digital ledger technology).

Στη συνέχεια, ο Satoshi Nakamoto κυκλοφόρησε την πρώτη αναφορά σχετικά με αυτήν την τεχνολογία το 2009. Εκεί παρείχε λεπτομέρειες για το πώς η τεχνολογία ήταν καλά εξοπλισμένη για να ενισχύσει την ψηφιακή εμπιστοσύνη, δεδομένης της πτυχής της αποκεντρωσης που σήμαινε ότι κανείς δε θα είχε ποτέ τον έλεγχο.

Από τότε που ο Satoshi Nakamoto αποχώρησε και παρέδωσε την ανάπτυξη του κρυπτονομίσματος σε άλλους προγραμματιστές, η τεχνολογία του ψηφιακού καθολικού έχει εξελιχθεί και σε νέες εφαρμογές που συνθέτουν το ιστορικό της τεχνολογίας κατανεμημένης εγγραφής (History of Blockchain, 2020).

2.9 Εξέλιξη της ΤΚΕ

2.9.1 Φάση 1 – Συναλλαγές

2008 – 2013: Blockchain 1.0: Εμφάνιση Κρυπτονομίσματος

Όπως, ήδη έχουμε αναφέρει, το κρυπτονομίσμα εμφανίστηκε το 2008 ως η πρώτη εφαρμογή της ΤΚΕ. Ο Satoshi Nakamoto στη λευκή βίβλο του, το περιέγραψε ως ηλεκτρονικό ομότιμο σύστημα (electronic peer-to-peer system). Επίσης, σχημάτισε μια συστοιχία γένεσης, από την οποία εξορύσσονταν άλλες συστοιχίες, διασυνδεδεμένες που είχαν ως αποτέλεσμα μια από τις

μεγαλύτερες αλυσίδες συστοιχιών οι οποίες μεταφέρουν διαφορετικά κομμάτια πληροφοριών και συναλλαγών.

2.9.2 Φάση 2 – Συμβάσεις

2013 – 2015: Blockchain 2.0: Ανάπτυξη Ethereum

Ο Vitalik Buterin, ρώσος προγραμματιστής και συνιδρυτής του περιοδικού Bitcoin Magazine, δήλωσε ότι το Κρυπτονόμισμα χρειαζόταν μια γλώσσα γραφής για τη δημιουργία αποκεντρωμένων εφαρμογών, οι οποίες θα ήταν πέρα από ένα ομότιμο δίκτυο. Έτσι, ξεκίνησε την ανάπτυξη μιας νέας πλατφόρμας κατανεμημένων υπολογιστών βασισμένη στην ΤΚΕ. Οπότε το 2013 γεννιέται μια νέα δημόσια ΤΚΕ με την ονομασία Ethereum, η οποία διαθέτει πρόσθετες λειτουργίες σε σύγκριση με το Κρυπτονόμισμα. Πιο συγκεκριμένα, η πιο σημαντική λειτουργία είναι εκείνη που επιτρέπει στους ανθρώπους να καταγράφουν και άλλα στοιχεία όπως συμβάσεις και συμβόλαια, τα οποία ονομάζονται έξυπνες συμβάσεις (smart contracts).

2.9.3 Φάση 3 – Εφαρμογές

2015: Hyperledger

Το 2015, το ίδρυμα Linux αποκάλυψε μια ΤΚΕ ανοιχτού κώδικα που την ονόμασαν Hyperledger, η οποία μέχρι σήμερα λειτουργεί ως συνεργατική ανάπτυξη κατανεμημένων λογιστικών καθολικών βιβλίων. Η τεχνολογία Hyperledger εστιάζει στην ενθάρρυνση της χρήσης ΤΚΕ για τη βελτίωση της απόδοσης και της αξιοπιστίας των τρεχόντων συστημάτων για την υποστήριξη παγκοσμίων επιχειρηματικών συναλλαγών.

2017: EOS.IO

Το πνευματικό τέκνο EOS της ιδιωτικής εταιρείας block.one δημιουργήθηκε το 2017 με τη δημοσίευση της λευκής βίβλου που περιγράφει λεπτομερώς ένα νέο πρωτόκολλο της ΤΚΕ που τροφοδοτείται από ένα EOS ως το εγγενές κρυπτονόμισμα. Σε αντίθεση με τα άλλα πρωτόκολλα, το EOS προσπαθεί να μιμηθεί χαρακτηριστικά πραγματικών υπολογιστών συμπεριλαμβανομένων των Κεντρικών Μονάδων Επεξεργασίας (ΚΜΕ) (Central Processing Unit – CPU) και των Μονάδων Επεξεργασίας Γραφικών (ΜΕΓ) (Graphics Processing Unit – GPU). Ο κύριος σκοπός του είναι να ενθαρρύνει την ανάπτυξη αποκεντρωμένων εφαρμογών μέσω μιας αυτόνομης αποκεντρωμένης εταιρείας.

2018: Blockchain 3.0: Το μέλλον

Τα τελευταία χρόνια, μια σειρά από έργα έχουν χρησιμοποιήσει όλες τις δυνατότητες της ΤΚΕ. Μία από τις νέες εφαρμογές της είναι το NEO που τιμολογείται ως η πρώτη ανοιχτού κώδικα

αποκεντρωμένη πλατφόρμα ΤΚΕ και κυκλοφορεί στην Κίνα. Παρ' όλο που η χώρα έχει απαγορεύσει τα κρυπτονομίσματα, παραμένει ενεργή όταν πρόκειται για καινοτομίες στην ΤΚΕ. Στον αγώνα για την επιτάχυνση της ανάπτυξης του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things – IoT), ορισμένοι προγραμματιστές για να αξιοποιήσουν την ΤΚΕ κατέληξαν στον ΙΟΤΑ. Η πλατφόρμα των κρυπτονομισμάτων της είναι βελτιστοποιημένη για το οικοσύστημα του διαδικτύου των πραγμάτων, καθώς προσπαθεί να παρέχει μηδενικά τέλη συναλλαγών και μοναδικές διαδικασίες επαλήθευσης. Επίσης, αντιμετωπίζει ορισμένα από τα ζητήματα επεκτασιμότητας που σχετίζονται με το Blockchain 1.0 – Κρυπτονόμισμα.

Εκτός από το ΙΟΤΑ και το ΝΕΟ, έχουν εμφανιστεί οι ΤΚΕ Monero, Zcash και Dash που θεωρούνται δεύτερης γενιάς ΤΚΕ. Οι τεχνολογίες αυτές εμφανίστηκαν ως ένας τρόπος αντιμετώπισης ορισμένων ζητημάτων ασφάλειας και επεκτασιμότητας που προέκυπταν από τις πρώιμες εφαρμόγες. Οπότε με την ονομασία απόρρητο Altcoins, οι τρεις πλατφόρμες της ΤΚΕ επιδιώκουν να παρέχουν υψηλά επίπεδα απορρήτου και ασφάλειας όταν πρόκειται για συναλλαγές (History of Blockchain, 2020).

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας όπου καταγράφεται η ιστορική διαδρομή της ΤΚΕ.

Χρονο-διάγραμμα	Τεχνολογία Κατανεμημένης Εγγραφής	Κρυπτονόμισμα	Ethereum	NEO
1991-2008	Stuart Haber και Scott Stornetta δουλεύουν πάνω στην πρώτη ΤΚΕ.			
2009		Satoshi Nakamoto δημοσιεύει τη λευκή βίβλο για το κρυπτονόμισμα		
2010		Πραγματοποιείται η πρώτη αγορά κρυπτονομίσματος 10.000 BTC (BiTCoin).		
2013		Η αγορά του κρυπτονομίσματος ξεπερνά το ένα δισεκατομμύριο δολάρια.	Ο Vitalik Buterin κυκλοφορεί τη λευκή βίβλο για το Ethereum.	

2014	Η R3 ΤΚΕ δημιουργείται και σχηματίζει μια κοινοπραξία άνω των 40 οικονομικών για την εφαρμογή της.		Η Ethereum ΤΚΕ χρηματοδοτείται από το Crowdsale.	Το NEO έργο κυκλοφορεί ως Antshares από τους Da Hongfei και Erik Zhang.
2015	Το ίδρυμα Linux αποκαλύπτει το Hyperledger για να ενισχύσει την ανάπτυξη της ΤΚΕ.		Αποκαλύπτεται η δεύτερη ΤΚΕ Ethereum.	
2017	Το EOS.IO παρουσιάζεται από το block.one ως ένα νέο πρωτόκολλο της ΤΚΕ για την ανάπτυξη αποκεντρωμένων εφαρμογών.			
2015 έως σήμερα	Η ΤΚΕ συνεχίζει να εξελίσσεται. Απεικονίζεται από τον αυξημένο αριθμό κρυπτονομισμάτων, καθώς και από τις εταιρείες που αξιοποιούν την τεχνολογία για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας τους.			

Πίνακας 2.2 Χρονοδιάγραμμα Εξέλιξης ΤΚΕ ([History of Blockchain, 2020](#)).

2.10 Γενικές Εφαρμογές

Η ΤΚΕ, ιδιαίτερα η δημόσια ΤΚΕ, προσφέρει ευκαιρίες καινοτομίας, όταν υλοποιείται σε αποκεντρωμένες εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η ΤΚΕ παρέχει μία νέα βάση εμπιστοσύνης στις ανθρώπινες σχέσεις της κοινωνίας, η οποία μπορεί να επιτρέψει την αποδιαμεσολάβηση υφιστάμενων αξιόπιστων τρίτων οργανισμών. Σε οικονομίες, όπου τα τρίτα μέρη δεν είναι πάντα αξιόπιστα, τα συστήματα που στηρίζονται στην ΤΚΕ έχουν σημαντικό προβάδισμα έναντι των άλλων συστημάτων που δεν έχουν κι αυτό μπορεί να είναι η σταθερότητα που παρέχει η ΤΚΕ, δηλαδή να μην επιτρέπει την αλλαγή των προηγούμενων εγγραφών στο καθολικό, καθώς επίσης, κι η έλλειψη απόρριψης, δηλαδή να επιτρέπει τις προηγούμενες ενέργειες στο καθολικό. Στις ανεπτυγμένες κοινωνίες, οι έμπιστοι οργανισμοί τρίτων είναι συνήθως αξιόπιστοι, έτσι τα οφέλη από τη χρήση ΤΚΕ θα προκύψουν μάλλον από την επιτάχυνση της καινοτομίας του επιχειρηματικού μοντέλου, μειώνοντας το κόστος ίδρυσης των επιχειρηματικών σχέσεων και το μετριασμό των κινδύνων, και ίσως με τη μείωση του κόστους ή του κινδύνου των συναλλαγών.

Για τις εφαρμογές της ΤΚΕ υπάρχουν δύο κατηγορηματικά διαφορετικοί τύποι:

- 1) Μπορεί η ΤΚΕ να κατέχει την προεπιλεγμένη πηγή αλήθειας ή
- 2) Μπορεί να έχει μια, πιθανώς εσφαλμένη, άποψη της πραγματικότητας;

Το κρυπτονόμισμα είναι μια περίπτωση του πρώτου τύπου. Για παράδειγμα, εάν ο λογαριασμός του Γιάννη στην ΤΚΕ περιέχει 1 Ether (το κρυπτονόμισμα που προέρχεται από τη δημόσια πλατφόρμα Ethereum), μπορεί να το ελέγξει. Θεωρούμε ότι ο Γιάννης είναι ο ιδιοκτήτης, αν και ένα δικαστήριο μπορεί να αποφασίσει ότι δεν εκπλήρωσε το μέρος μιας συμφωνίας που του αναλογούσε και ότι πρέπει να επιστρέψει τον 1 Ether πίσω στη Μαρία. Στον παραδοσιακό κόσμο, υπάρχουν ορισμένα παραδείγματα πραγμάτων, των οποίων η ύπαρξη και η ιδιοκτησία βασίζονται σε καταχωρίσεις βάσεων δεδομένων, όπως δικαιώματα ιδιοκτησίας γης, εταιρείες και διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Αυτά θα μπορούσαν να μεταφερθούν σε μια εφαρμογή της ΤΚΕ του πρώτου τύπου.

Από την άλλη πλευρά, μια εγγραφή της ΤΚΕ ενός φυσικού περιουσιακού στοιχείου και της κατάστασής του, όπως είναι η τοποθεσία, η ποιότητα κι η θερμοκρασία, είναι ένα παράδειγμα της δεύτερης κατηγορίας. Η άποψη για αυτό το περιουσιακό στοιχείο μπορεί να είναι ξεπερασμένη, να έχει εσφαλμένη μέτρηση ή να είναι λάθος με κάποιον άλλο τρόπο. Ως εκ τούτου, οι εφαρμογές της ΤΚΕ του πρώτου τύπου τείνουν να είναι πιο απλές στην εφαρμογή τους, αν και απαιτούν υψηλότερη τιμή αγοράς από τους χρήστες λόγω του υψηλότερου βαθμού εξάρτησής τους από ένα σχετικά νέο κομμάτι τεχνολογίας.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε επιγραμματικά ορισμένες περιοχές της κοινωνίας, όπου εφαρμόζεται η ΤΚΕ.

2.10.1 Επιχειρήσεις και Βιομηχανία

Η ΤΚΕ χρησιμοποιήθηκε αρχικά στα κρυπτονομίσματα, αλλά πλέον χρησιμοποιείται και για πολλούς άλλους σκοπούς. Το πλήρες δυναμικό της ΤΚΕ είναι πιθανό να αξιοποιηθεί και εκτός των χρηματοπιστωτικών υπηρεσιών και της κυβέρνησης. Η ΤΚΕ είναι μια βασική τεχνολογία οριζόντιας πλατφόρμας που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε οποιονδήποτε βιομηχανικό τομέα, συμπεριλαμβανομένου της γεωργίας, τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας, της εξόρυξης, της μεταποίησης, του λιανικού εμπορίου, των μεταφορών, του τουρισμού, της εκπαίδευσης, των μέσων ενημέρωσης, της υγειονομικής περίθαλψης και της οικονομίας κοινής χρήσης (P2P – Peer To Peer). Γενικές εφαρμογές σε αυτούς τους τομείς περιλαμβάνουν:

Αλυσίδα Εφοδιασμού: Η παρακολούθηση των φυσικών περιουσιακών στοιχείων, όπως είναι ο εντοπισμός των αλλαγών στην ιδιοκτησία τους, αλλά και ο χειρισμός, τα βασικά συμβάντα και οι συμφωνίες για αυτά μπορούν να καταγραφούν και να κοινοποιηθούν μέσω δεδομένων που είναι αποθηκευμένα σε μια ΤΚΕ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι πληροφορίες προέλευσης για τα εμπορεύματα να μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένη διαφάνεια στα logistics (Xu κ.ά, 2019), δηλαδή βελτιωμένη διαφάνεια στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας που είναι υπεύθυνη για τη μεταφορά και την αποθήκευση των υλικών στο ταξίδι τους από τους αρχικούς προμηθευτές, μέσω ενδιάμεσων δραστηριοτήτων, μέχρι και στους τελικούς πελάτες (Felea & Albăstroiu, 2013). Επίσης, σημαντικά γεγονότα εντός της αλυσίδας εφοδιασμού θα μπορούσαν να συνδεθούν με αυτόματες πληρωμές με τη χρήση των έξυπνων συμβάσεων.

Διαδίκτυο των Πραγμάτων - ΔτΠ (Internet of Things – IoT), Αποθήκευση (Storage), Υπολογισμός (Compute) και Διαχείριση (Management). Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο μπορούν να χρησιμοποιήσουν την ΤΚΕ ως μόνιμη και εξαιρετικά διαθέσιμη λύση αποθήκευσης. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις έξυπνες συμβάσεις για να παρέχουν μια παγκόσμια κατανεμημένη υπολογιστική ικανότητα που να βασίζεται στην ΤΚΕ ως ασφαλές κανάλι για τη λήψη πληροφοριών σχετικά με το λογισμικό και τις ενημερώσεις διαμόρφωσής του και τον δυναμικά εξουσιοδοτημένο έλεγχο πρόσβασής του. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει φυσικό έλεγχο πρόσβασης για κλείδωμα και ξεκλείδωμα συσκευών.

Μετρημένη πρόσβαση σε πόρους και υπηρεσίες. Η παρακολούθηση και η πληρωμή για τη χρήση των επιχειρήσεων κοινής ωφέλειας και των υπηρεσιών μπορούν να παρέχονται από τις συσκευές ΔτΠ και τις αντίστοιχες έξυπνες συμβάσεις.

Ψηφιακά Δικαιώματα και Διαχείριση Διαδικτυακού Πρωτοκόλλου (Internet Protocol – IP).

Μία ΤΚΕ μπορεί να παρέχει ένα αξιόπιστο μητρώο περιουσιακών στοιχείων των μέσων μαζικής ενημέρωσης ή άλλης πνευματικής ιδιοκτησίας και μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα διαχείρισης, ανάθεσης ή μεταφοράς πληροφοριών πρόσβασης και δικαιωμάτων για αυτά τα περιουσιακά στοιχεία. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι τα μέσα μαζικής ενημέρωσης δεν αποθηκεύονται απαραίτητα στη ίδια την ΤΚΕ. Αντί αυτού, κρυπτογραφικοί κατακερματισμοί, μεταδεδομένα και άλλα αναγνωριστικά που αποθηκεύονται στην ΤΚΕ ενδέχεται να ενσωματωθούν με τεχνολογίες μαζικής αποθήκευσης και επικοινωνίας εκτός αλυσίδας.

Διαχείριση Δεδομένων. Η ΤΚΕ μπορεί να δημιουργήσει ένα επίπεδο μεταδεδομένων για αποκεντρωμένη κοινή χρήση και ανάλυση δεδομένων. Αν και τα ίδια τα μεγάλα σύνολα δεδομένων είναι απίθανο να αποθηκευτούν σε αυτήν, μία ΤΚΕ μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και την ενοποίηση αυτών των συνόλων από δεδομένα και τις υπηρεσίες ανάλυσης δεδομένων. Οι μηχανισμοί ελέγχου πρόσβασης που εφαρμόζονται σε μια ΤΚΕ μπορούν να επιτρέπουν την πιο εύκολη ενσωμάτωση δημοσίων πηγών δεδομένων με ιδιωτικά σύνολα δεδομένων και υπηρεσίες ανάλυσης.

Βεβαίωση και Απόδειξη Ύπαρξης. Μια ΤΚΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή αποδεικτικών στοιχείων για την ύπαρξη δεδομένων ή εγγράφων, δημιουργώντας μια εγγραφή με χρονική σήμανση ενός κρυπτογραφικού κατακερματισμού των περιεχομένων αυτών των εγγράφων. Αυτό μπορεί να συνδυαστεί με αρχεία βεβαίωσης ή μαρτυρίας αντίστοιχων φυσικών εγγράφων από αξιόπιστα τρίτα μέρη. Ωστόσο, μπορεί να είναι πολύ πιο δύσκολο να αποδειχθεί η μοναδικότητα ή η ανυπαρξία τέτοιων εγγραφών ενός αρχείου, εκτός κι αν υπάρχει μια ευρέως αποδεκτή αυστηρή κανονική μορφή για το περιεχόμενό τους.

Διατμηματική Λογιστική. Οι πολυεθνικές εταιρείες ή οι μεγάλες επιχειρήσεις με ξεχωριστές επιχειρηματικές μονάδες έχουν συχνά ανάγκες δικαιοδοσίας ή διακυβέρνησης για να ελέγχουν τη δική τους εσωτερική λογιστική αλλά και να μοιράζονται λογιστικές πληροφορίες με άλλα τμήματα. Μια απλή εφαρμογή των ΤΚΕ σε ένα κοινόχρηστο ιδιωτικό δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει ένα κοινό καταναμημένο βιβλίο διατμηματικών λογαριασμών στις διεπαφές μεταξύ των τμημάτων.

Εταιρικές Υποθέσεις ή αλλιώς ψηφοφορία και εγγραφές διοικητικών συμβούλων και μετόχων. Οι εκλογικές αρχές των μελών του διοικητικού συμβουλίου ή των μετόχων στις εταιρείες μπορούν να καταγραφούν και να εξουσιοδοτηθούν σε μια ΤΚΕ. Οι έξυπνες συμβάσεις στην ΤΚΕ μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτό το αρχείο για να κρίνουν τις ψήφους που διεξάγονται στην ΤΚΕ για συγκεκριμένες κινήσεις. Καθώς, οι ΤΚΕ συναλλαγές δεν είναι απαραίτητως

κρυφές, ενδέχεται να απαιτούνται κρυπτογραφικοί μηχανισμοί για την αποτροπή δυνητικά ανεπιθύμητων στρατηγικών ψηφοφοριών (Xu κ.ά, 2019).

2.10.2 Χρηματοπιστωτικές Υπηρεσίες

Οι εφαρμογές των χρηματοοικονομικών υπηρεσιών που χρησιμοποιούν την ΤΚΕ μπορεί να περιλαμβάνουν:

Ψηφιακό Νόμισμα. Οι νέες μορφές χρημάτων μπορούν να εφαρμοστούν στην ΤΚΕ, αλλά επιπλέον, αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για μοντέλα κινήτρων που υποστηρίζουν την ακεραιότητα για πολλά συστήματα που βασίζονται στην ΤΚΕ. Η ΤΚΕ επιτρέπει τη μεταφορά ψηφιακού νομίσματος μεταξύ των μερών, αυτό συχνά γίνεται χωρίς αυτές οι μεταφορές να επεξεργάζονται ή να καταγράφονται από τράπεζες ή υπηρεσίες πληρωμών. Με τις έξυπνες συμβάσεις, η ΤΚΕ μπορεί να είναι σε θέση να υποστηρίξει «προγραμματιζόμενο χρήμα», όπου οι πολιτικές που επιβάλλονται αυτόματα επισυνάπτονται σε συγκεκριμένα πακέτα νομισμάτων.

(Διεθνείς) Πληρωμές. Οι διεθνείς πληρωμές μπορούν να διευκολυνθούν από την ΤΚΕ, συχνά μέσω τοπικών ανταλλαγών μεταξύ του ψηφιακού νομίσματος και του παραστατικού νομίσματος (fiat currency) (Xu κ.ά, 2019).

Όπου **παραστατικό χρήμα** (fiat money) ή αλλιώς **χρήμα αναγκαστικής κυκλοφορίας** είναι το μέσο πληρωμής, το οποίο δεν καλύπτεται από το αποθεματικό άλλων υλικών, για παράδειγμα ο χρυσός, και επομένως στερείται κάποιας εσωτερικής αξίας, έστω και έμμεσα. Επιβάλλεται στις συναλλαγές από κάποια αρχή, συνήθως το κράτος, τόσο στις πληρωμές όσο και στις εισπράξεις. Εκφράζεται με κάποια νομισματική μονάδα και έχει τη μορφή, συνήθως, χαρτονομισμάτων και κερμάτων, τα οποία μπορεί να έχουν ονομαστική αξία ίση, πολλαπλάσια ή υποπολλαπλάσια της νομισματικής μονάδας. Το χάρτινο χρήμα καλείται παραστατικό χρήμα (**Παραστατικό χρήμα, 2021**).

Οι πληρωμές που πραγματοποιούνται μέσω κρυπτονομισμάτων είναι, συνήθως, με ψευδώνυμα. Για παράδειγμα, στο κρυπτονόμισμα, οι συναλλασσόμενοι πράκτορες που δεν είναι απαραίτητα πρόσωπα προσδιορίζονται μόνο με ένα κρυπτογραφικό κλειδί. Επομένως, η διεθνής ανταλλαγή του κρυπτονομίσματος μπορεί να εκτελεστεί χωρίς την καθιέρωση πραγματικής ταυτότητας και μπορεί να μη γνωρίζουμε ποιο πραγματικό πρόσωπο βρίσκεται πίσω από κάθε λογαριασμό. Ωστόσο, οι διεθνείς πληρωμές, συνήθως, έχουν ρυθμιστικές απαιτήσεις για τον προσδιορισμό της ταυτότητας των συμμετεχόντων, ως μέρος των κανονισμών για την καταπολέμηση του ξεπλύματος χρήματος (Anti-Money Laundering – AML) και της χρηματοδότησης της

τρομοκρατίας (Counter-Terrorism Financing – CTF), και οι απαιτήσεις AML / CTF δεν παρακάμπτονται από τη χρήση της ΤΚΕ. Ωστόσο, τα μέρη που πραγματοποιούν συναλλαγές μπορούν να επιλέξουν να καθορίσουν τις ταυτότητές τους στον πραγματικό κόσμο μεταξύ τους και σε τοπικές ανταλλαγές, και αυτός είναι, συνήθως, ο τρόπος με τον οποίο επιβάλλεται η ρύθμιση των διεθνών πληρωμών που βασίζονται στην ΤΚΕ.

Συμφιλίωση για την ανταποκρίτρια τράπεζα. Οι αμοιβαίοι λογαριασμοί *nostro* / *vostro* μπορούν να αντικατασταθούν από ένα ενιαίο κοινό καθολικό (Xu κ.ά, 2019).

Πιο συγκεκριμένα, ο **λογαριασμός *nostro*** αναφέρεται σε ένα λογαριασμό που διατηρεί μια τράπεζα σε ξένο νόμισμα σε μία άλλη τράπεζα. Το *Nostros*, ένας όρος που προέρχεται από τη λατινική λέξη και σημαίνει το "δικό μας", χρησιμοποιείται συχνά για τη διευκόλυνση των συναλλαγών συναλλάγματος και των εμπορικών συναλλαγών. Ο αντίθετος όρος, **λογαριασμός *vostro***, που προέρχεται από τη λατινική λέξη και σημαίνει το "δικός σας", είναι ο τρόπος με τον οποίο μια τράπεζα αναφέρεται στους λογαριασμούς που έχουν άλλες τράπεζες στα βιβλία της στο νόμισμα της χώρας της (Nostro Account, 2020).

Οπότε αντί να διεξάγουν επίπονη συμφωνία στο τέλος της ημέρας ως ομαδική εργασία, οι δύο τράπεζες μπορούν να δημιουργήσουν μια ενιαία κοινή θέση μεταξύ των λογαριασμών τους, η οποία να διατηρείται σε πραγματικό χρόνο. Για να περιοριστεί η διανομή αυτών των εμπορικών ευαίσθητων πληροφοριών, συνήθως, το κοινό καθολικό θα περιοριζόταν μόνο στις δύο ενδιαφερόμενες ανταποκρίτριες τράπεζες.

Διακανονισμός Τίτλων (Securities Settlement). Η κοινή ανταλλαγή πληρωμών και διακρατήσεων τίτλων θεσπίζεται ως ενιαία συναλλαγή σε μια ΤΚΕ. Τα ανταλλασσόμενα περιουσιακά στοιχεία, συνήθως, αντιπροσωπεύονται από σύμβολα (tokens) που εφαρμόζονται στην ΤΚΕ, είτε χρησιμοποιώντας έξυπνες συμβάσεις, είτε άλλες δυνατότητες αναπαράστασης περιουσιακών στοιχείων που παρέχονται από την υποκείμενη πλατφόρμα της ΤΚΕ. Οι πληρωμές γίνονται μερικές φορές με τη χρήση τέτοιων συμβόλων που αντιστοιχούν στο παραστατικό νόμισμα fiat ή μερικές φορές μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας το εγγενές κρυπτονόμισμα της ΤΚΕ.

Αγορές. Οι έξυπνες συμβάσεις στην ΤΚΕ μπορούν να παρέχουν μια πλατφόρμα για την πραγματοποίηση και αποδοχή προσφορών για την εμπορία περιουσιακών στοιχείων ή υπηρεσιών. Η ΤΚΕ θα καταγράφει την κατάσταση αυτών των εμπορικών προσφορών. Οπότε οι μεμονωμένες έξυπνες συμβάσεις θα μπορούσαν να φέρουν από μόνες τους το ψηφιακό νόμισμα που απαιτείται για να πληρωθούν κατά την εκπλήρωση αυτών των προσφορών. Αυτό λειτουργεί ως είδος χρηματικής εγγύησης, χωρίς την ανάγκη αξιόπιστου τρίτου οργανισμού. Ωστόσο, τα σημερινά συστήματα της ΤΚΕ δεν είναι κατάλληλα για συναλλαγές στην αγορά υψηλής

συχνότητας λόγω χαμηλού λανθάνοντος χρόνου. Επίσης, για τις δημόσιες ΤΚΕ, οι εκκρεμείς συναλλαγές είναι ορατές σε όλο το δίκτυο, κάτι που μπορεί να επιτρέψει ένα είδος «προκαταρκτικής λειτουργίας», όπου οι συμμετέχοντες, συνήθως, οι κόμβοι που λειτουργούν την ΤΚΕ, ενδέχεται να εκμεταλλευτούν αθέμιτα τις πληροφορίες σε αυτές τις εντολές που δεν έχουν ακόμη εκτελεστεί.

Χρηματοδότηση Εμπορίου. Η ΤΚΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τεκμηρίωση εγγράφων που σχετίζονται με το εμπόριο, προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος δανεισμού και να βελτιωθεί η πρόσβαση στη χρηματοδότηση για τη βιομηχανία. Οι έξυπνες συμβάσεις θα μπορούσαν να ελέγχουν την εκτέλεση διεργασιών μεταξύ οργανισμών και να αυτοματοποιούν με διαφάνεια τις καθυστερημένες πληρωμές ή τις πληρωμές με δόσεις. Αυτό μπορεί να βελτιώσει τη διασφάλιση σχετικά με το προηγούμενο ιστορικό συναλλαγών και τις τρέχουσες δεσμεύσεις των αντισυμβαλλομένων, γεγονός που μπορεί να μειώσει τον κίνδυνο για τους παρόχους χρηματοδότησης του εμπορίου, επιτρέποντας, έτσι, περισσότερες ευρέως διαδεδομένες και οικονομικές προσφορές χρηματοδότησης του εμπορίου στην αγορά (Xu κ.ά, 2019).

2.10.3 Κυβερνητικές Υπηρεσίες

Η ΤΚΕ θα μπορούσε να στοχεύει στη βελτιωμένη παροχή κρατικών υπηρεσιών και η ιδιωτική ΤΚΕ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής πληροφοριών και του συντονισμού των διαδικασιών μεταξύ των φορέων εντός της κυβέρνησης.

Οι τομείς εφαρμογής που διερευνώνται στις κυβερνήσεις παγκοσμίως περιλαμβάνουν:

Μητρώα και ταυτότητες. Συμπεριλαμβάνουν τις ταυτότητες και τα χαρακτηριστικά προσώπων, εταιρειών ή συσκευών, άδειες χρήσης, προσόντα και πιστοποιήσεις. Η αποθήκευση καταχωρίσεων μητρώου ή η κρυπτογραφική πιστοποίηση των καταχωρίσεων μητρώου σε μια ΤΚΕ μπορεί να διευκολύνει την πρόσβαση και την επικύρωση έναντι του μητρώου. Η ΤΚΕ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κοινή χρήση πιστοποιημένων αναγνωριστικών για άτομα και εταιρείες και αυτά τα αναγνωριστικά θα μπορούσαν με τη σειρά τους να ενεργοποιήσουν πολλές άλλες εφαρμογές που στηρίζονται στην ΤΚΕ. Η ΤΚΕ μπορεί να υποστηρίξει την ομοσπονδιακή διαχείριση πολλαπλών σχετικών μητρώων, επιτρέποντας σε διαφορετικούς φορείς να διατηρούν τον έλεγχο του περιεχομένου των μητρώων τους, αλλά παράλληλα να παρέχει και μια κοινή θέση σχετικά με τον τρόπο αλληλεπίδρασης των μητρώων τους. Τα περιεχόμενα των μητρώων ορισμένων κυβερνήσεων είναι δημόσια, αλλά σε γενικές γραμμές υπάρχουν συχνά περίπλοκα ζητήματα σχετικά με την ιδιωτικότητα και την εμπιστευτικότητα.

Επιχορηγήσεις και Κοινωνική Ασφάλιση. Οι έξυπνες συμβάσεις θα μπορούσαν να αυτοματοποιήσουν το συντονισμό της διαδικασίας για την υποβολή αίτησης, τη λήψη αποφάσεων και τη διανομή πληρωμών για επιχορηγήσεις και κοινωνική ασφάλιση. Με ένα αρκετά εξελιγμένο περιβάλλον πληρωμών, μία έξυπνη σύμβαση θα μπορούσε αυτόματα να περιορίσει τις πληρωμές σε εγκεκριμένους προμηθευτές ή κατηγορίες δαπανών. Μια πρόιμη χρήση της ΤΚΕ με αυτόν τον τρόπο ήταν να ληφθούν υπόψιν τα επιδόματα και οι πληρωμές από πρόσφυγες σε καταυλισμό προσφύγων του ΟΗΕ. Άλλα πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί στο πλαίσιο των επιχορηγήσεων υποστήριξης αναπηρίας.

Διαχείριση μεριδίου. Τα μερίδια, οι κατανομές και τα δικαιώματα σε φυσικούς πόρους που χορηγούνται από την κυβέρνηση θα μπορούσαν να απονεμηθούν και να παρακολουθηθούν μέσω συμβόλων (tokens) που έχουν δημιουργηθεί σε μια ΤΚΕ. Τέτοια παραδείγματα θα μπορούσαν να είναι αυτά που περιλαμβάνουν άδειες πρόσβασης στο νερό για να παρέχουν δικαιώματα λήψης ορισμένου όγκου νερού από συγκεκριμένες πηγές σε συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια ή πιστώσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2). Όπου το επιτρέπει η πολιτική, η ΤΚΕ θα μπορούσε να υποστηρίξει μία ανεξάρτητη δευτερογενή αγορά για τα δικαιώματα αυτά. Η ΤΚΕ μπορεί να δημιουργήσει ένα συνεχιζόμενο αμετάβλητο αρχείο καταγραφής ελέγχου αυτών των δικαιωμάτων και της χρήσης τους.

Φορολογία. Οι πιθανές εφαρμογές κυμαίνονται από αυτοματοποιημένη είσπραξη φόρων με χρήση έξυπνων συμβάσεων έως βελτιωμένη συμμόρφωση με έγκυρη δημοσίευση φορολογικών κανονισμών και εργαλεία υπολογισμού, όπως οι έξυπνες συμβάσεις στην ΤΚΕ (Xu κ.ά, 2019).

2.11 Υπάρχουσες τεχνολογίες στη διαχείριση έργων που βασίζονται στην ΤΚΕ

Μια πιθανή υλοποίηση ενός έργου βασισμένου στην ΤΚΕ προέκυψε στα μέσα του 2018 με το Zoom έργο, το οποίο διατέθηκε στην αγορά ως λύση για την ανάπτυξη και τη διατήρηση εικονικών οργανισμών που αποτελούνται από γεωγραφικά ανόμοια μέλη. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή εστιάζει στην οργάνωση των εργαζομένων που βρίσκονται απομακρυσμένα γύρω από κοινούς στόχους του έργου με την ΤΚΕ να είναι αναπόσπαστο μέρος μίας συμφωνίας που καταλήγει σε σύμβαση, μίας διαχείρισης, μίας εκτέλεσης, όπως καθώς, και την παροχή μιας πλατφόρμας για τη διαφάνεια των ροών εργασίας και των πληρωμών (Zoom, 2021).

Μια δεύτερη λύση, η Alehub, τοποθετείται ως πάροχος πλατφόρμας για τη διαχείριση έργων. Πιο συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε για να παρέχει ένα βολικό περιβάλλον για την αναζήτηση και έγκριση εταιρικών συμβάσεων, των επίσημων και πρακτικών αρμοδιοτήτων τους. Επίσης,

βοηθάει στην επισημοποίηση των όρων εκπλήρωσης ορισμένων σταδίων αλλά και του συνόλου της σύμβασης, προσαρμόζοντας τους όρους της σύμβασης και τα συμβαλλόμενα μέρη στις αλλαγές από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες κατόπιν συμφωνίας των μερών. Εκτός, όμως, από τα παραπάνω παρέχει και τη μηχανογραφική εκτέλεση των εγκεκριμένων αλγορίθμων για κράτηση, πληρωμή, αποζημίωση και κατανομή κερδών. Όλα αυτά τα επιτυγχάνει χρησιμοποιώντας μία προσαρμοσμένη αξία ανταλλαγής (ALE Token) για να συντονίσει τις ανταλλαγές μεταξύ των συναλλασσόμενων μερών (Alehub, 2018).

Η Colony προτείνει μια μέθοδο που αλληλεπιδρά μέσω έξυπνων συμβάσεων στην οργάνωση και στη διαχείριση αποκεντρωμένου εργατικού δυναμικού (Colony, 2020). Εκεί ορίζεται το επίπεδο πρωτοκόλλου που θα παρέχει διάφορες λειτουργίες όπως τη δημιουργία συμβόλων (tokens), τη διαχείριση μηχανισμών ανταμοιβής και ένα εργαλείο για τη διαχείριση της φήμης. Επίσης, γίνεται μια προσπάθεια ώστε λειτουργικά να εφαρμοστεί η μέθοδος αυτή σε πτυχές της ανθρώπινης οργάνωσης, επηρεάζοντας τους κανόνες μεταξύ των ανθρώπων για να τους βοηθήσει να οργανωθούν καλύτερα ευθυγραμμίζοντας κίνητρα γύρω από κοινούς στόχους.

Με παρόμοιο τρόπο, η Autark εστιάζει στην παροχή εργαλείων που θα ενδυναμώνουν την υπηρεσία και το συντονισμό μεγάλης κλίμακας (Autark, 2021). Η σουίτα προϊόντων τους περιλαμβάνει μια εφαρμογή που προσπαθεί να ενσωματώσει συγκεκριμένες λειτουργίες της διαχείρισης έργων σε υπάρχοντα κώδικα έργου αποθηκών (repositories) ανοιχτού κώδικα που βασίζεται στο GitHub (GitHub, 2021). Επίσης, το χαρτοφυλάκιο των εφαρμογών της περιλαμβάνει μια ενότητα μηχανισμού επιβράβευσης και μια ενότητα μηχανισμού ψηφοφορίας. Οι λειτουργίες αυτές αντιμετωπίζουν συγκεκριμένα ζητήματα που προκύπτουν εντός της διαδικασίας διαχείρισης έργων και ιδιαίτερα εκείνα που προκύπτουν σε αποκεντρωμένους οργανισμούς ή εντός έργων που περιλαμβάνουν έναν αριθμό απομακρυσμένων μελών (Renwick & Tierney, 2020).

2.12 Σύνοψη

Η ΤΚΕ θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά θέματα της πληροφορικής. Οπότε σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάστηκε τι είναι και γιατί υπάρχει τόσο μεγάλο ενδιαφέρον για αυτήν σε διάφορους τομείς της κοινωνίας. Για λόγους σαφήνειας ορίστηκαν οι πιο σημαντικοί όροι που χρησιμοποιούνται κατά μήκος της διπλωματικής εργασίας. Έγινε μια ιστορική αναδρομή της ΤΚΕ, πώς ξεκίνησε και μέχρι ποιο στάδιο έχει φτάσει. Επιπλέον, αναφέρθηκε η αρχιτεκτονική της και σε ποια σημεία εντοπίζονται μέχρι στιγμής τα αδύναμά της σημεία. Τέλος, επισημάνθηκαν οι πιο σημαντικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν την ΤΚΕ σε βασικούς οικονομικούς τομείς κι εξηγήσαμε εάν αυτές οι εφαρμογές είναι χρήσιμες.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα επιχειρήσουμε να προσεγγίσουμε και να παρουσιάσουμε πώς η ΤΚΕ μπορεί να φανεί χρήσιμη και στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, θα δούμε σε συγκεκριμένα τεχνικά έργα πώς έχει ήδη εφαρμοστεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα μελετήσουμε τη χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Θα ερευνήσουμε την εφαρμοσιμότητά της στα τεχνικά έργα, γιατί είναι σημαντική και ποια είναι τα πλεονεκτήματα που παρέχει στους διαχειριστές των τεχνικών έργων. Στη συνέχεια, θα εμβαθύνουμε σε δύο συγκεκριμένα τεχνικά έργα. Το πρώτο τεχνικό έργο χρησιμοποιεί την εξόρυξη δεδομένων μαζί με την ΤΚΕ και το δεύτερο την τεχνολογία BIM μαζί με την ΤΚΕ για το βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίου.

3.2 Γιατί η ΤΚΕ είναι σημαντική στη διαχείριση των τεχνικών έργων

Γενικά, τα τεχνικά έργα δεν απαιτούν μόνο σημαντικό επενδυτικό χρηματικό ποσό, αλλά και μεγάλο χρόνο για να ολοκληρωθεί η κατασκευή τους. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, απαιτείται η συνεργασία και ο συντονισμός μεταξύ πολλαπλών μερών για τη διασφάλιση της εύρυθμης προόδου των έργων. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των έργων θα επηρεάσουν τα οικονομικά οφέλη του εκάστοτε ιδιοκτήτη. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των τεχνικών έργων αποδεικνύεται σημαντική. Για την ποιοτική διαχείριση των τεχνικών έργων, λόγω παραγόντων όπως είναι η κλίμακα των τεχνικών έργων και η αυξανόμενη πολυπλοκότητα των κατασκευαστικών δομών τα τελευταία χρόνια, το παραδοσιακό μοντέλο διαχείρισης ποιότητας δεν ανταποκρίνεται στις ανάγκες της σύγχρονης κατασκευαστικής ανάπτυξης. Τα μειονεκτήματά του, κυρίως, αντικατοπτρίζονται στην έλλειψη ολοκληρωμένης γνώσης της διαχείρισης και των περιορισμών που υπάρχουν στην τεχνολογία της διαχείρισης. Για τον κατασκευαστικό τομέα είναι καλό να διερευνηθούν νέες μέθοδοι διαχείρισης έργων, ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα των κατασκευαστικών προϊόντων, κερδίζοντας μερίδιο αγοράς στον έντονο ανταγωνισμό. Οι μεγάλες περίοδοι κατασκευής και η πολύπλοκη τεχνολογία μπορούν να προκαλέσουν κινδύνους για πολλά έργα. Αυτοί οι κίνδυνοι, συχνά, οδηγούν σε υπερβάσεις κόστους, καθυστερημένα χρονοδιαγράμματα κατασκευής, ακόμη και αποτυχιές έργων. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των κινδύνων στα τεχνικά έργα είναι σημαντική στην κατασκευή τους.

Ο κατασκευαστικός κλάδος αναφέρεται τακτικά ως ένας από τους πιο κατακερματισμένους κλάδους με υψηλό αντίκτυπο στον κόσμο. Τα καλύτερα παραδείγματα για αυτό το φαινόμενο

είναι όλα εκείνα τα έργα υποδομής κεφαλαίου σε όλο τον κόσμο που έχουν μια εξαιρετικά κατακερματισμένη, διάσπαρτη και πολύπλοκη αλυσίδα εφοδιασμού. Για παράδειγμα, το έργο Crossrail στο Λονδίνο, με περισσότερους από 700 διάφορους προμηθευτές μόνο από το Ηνωμένο Βασίλειο ή το Burj Khalifa με πάνω από 12.000 εργαζομένους από περισσότερες από 100 χώρες στο εργοτάξιο στο απόγειο της κατασκευής του. Για να διαχειριστεί μια τέτοια εκτεταμένη αλυσίδα εφοδιασμού, η παρακολούθηση της εργασίας καθ' όλη τη διάρκεια σε χρονοδιαγράμματα, τα κόστη και οι πληρωμές απαιτείται τεράστια προσπάθεια και πολλοί πόροι. Εκτός από αυτές τις προκλήσεις, τα κατασκευαστικά έργα αντιμετωπίζουν διαφορετικές μορφές λαθών, καθυστερήσεων και ατυχημάτων σε διάφορα στάδια και σε διαφορετικό βαθμό. Αυτά είναι ακριβώς τα κύρια «σημεία πόνου» και οι τομείς, στους οποίους η ΤΚΕ μπορεί να βοηθήσει και να κάνει τη διαδικασία πιο αποτελεσματική, διαφανή και υπεύθυνη μεταξύ όλων των συμμετεχόντων στο έργο.

Υπάρχουν πιθανές εφαρμογές ΤΚΕ που έχουν ήδη εισαχθεί και είχαν αντίκτυπο στην οικονομία. Ορισμένες από αυτές μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας στον κατασκευαστικό κλάδο και μερικές άλλες μπορούν να χρησιμεύσουν ως βάση για μια πιο προσαρμοσμένη εφαρμογή στα κατασκευαστικά έργα κεφαλαίου.

Οι πιθανές εφαρμογές θα μπορούσαν να διακριθούν σε τρία κύρια μέρη:

1. Πληρωμή και διαχείριση έργου.
2. Διαχείριση προμηθειών και εφοδιαστικής αλυσίδας.
3. BIM και Έξυπνη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων.

Η πρώτη ενότητα αναφέρεται σε έναν πιο διαφανή τρόπο έναρξης πληρωμών και διαχείρισης των κατασκευαστικών έργων. Στη δεύτερη, διερευνάται πώς η ΤΚΕ μπορεί να φέρει ένα νέο επίπεδο ιχνηλασιμότητας μέσω της αμετάβλητης φύσης τήρησης αρχείων στην προμήθεια του έργου. Τέλος, η σύνδεση και οι δυνατότητες της ΤΚΕ μαζί με το BIM διερευνάται για να ξεκλειδώσει την πολυαναμενόμενη αποτελεσματική συνεργασία στον κλάδο. Μαζί με αυτά τα τρία βασικά χαρακτηριστικά της «διαφάνειας», της «ιχνηλασιμότητας» και της «συνεργασίας», αυτή η καινοτόμος ΤΚΕ έχει ήδη προσφέρει πολλά ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Τώρα, το βάρος εναπόκειται στον εκάστοτε υπεύθυνο του τεχνικού έργου, ο οποίος θα πρέπει να αποφασίσει πώς θα αξιοποιηθεί η ΤΚΕ σε αυτόν τον κλάδο (Penzes κ.ά, 2018).

3.3 Προκλήσεις στη διαχείριση των τεχνικών έργων

Το ζήτημα της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι μία από τις κύριες προκλήσεις. Πολλές μελέτες στον κλάδο της διαχείρισης των τεχνικών έργων έχουν επικεντρωθεί στη βελτίωση της

διαχείρισης της απόδοσης της εφοδιαστικής αλυσίδας μεταξύ κατασκευαστών, διανομέων, εργολάβων και πελατών. Ο απώτερος στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι η επίτευξη απρόσκοπτης και ευέλικτης εφοδιαστικής αλυσίδας για την κάλυψη των αναγκών των πελατών με το χαμηλότερο κόστος. Ωστόσο, λόγω των αντικρουόμενων συμφερόντων διαφόρων συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού, αυτός ο απώτερος στόχος είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί.

Υπάρχουν διάφοροι λόγοι που οδηγούν σε αναποτελεσματική και ανεπαρκή απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Ωστόσο, υποστηρίζεται ότι η διαφάνεια και η ιχνηλασιμότητα των προϊόντων θα πρέπει να επισημανθεί ως βάση για περαιτέρω βελτίωση. Αυτή τη στιγμή, είναι πολύ δύσκολο για τους τελικούς χρήστες να παρακολουθούν την προέλευση των προϊόντων, την παράδοση, την αποθήκευση καθώς και τη διανομή τους. Αυτό το πρόβλημα ενισχύεται σε ένα σύνθετο έργο, όπου εμπλέκονται προμηθευτές και υπερβολάβοι δεύτερης βαθμίδας. Σε ένα περίπλοκο έργο, η διαφάνεια στην αλυσίδα εφοδιασμού απαιτεί οι πληροφορίες κάθε προϊόντος να τεκμηριώνονται σε ένα κεντρικό σύστημα, έτσι ώστε να κατανοούνται οι επιπτώσεις και οι συνέπειες μιας μεμονωμένης απόφασης στη συνολική απόδοση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Απαιτεί ακριβή συλλογή δεδομένων, εισαγωγή, αποθήκευση και ανάλυση μεταξύ των διαφόρων συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού. Φαίνεται ότι υπάρχει ανάγκη για ένα αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας, το οποίο μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση των επιδόσεων διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας χωρίς την ύπαρξη ενός συστήματος εμπιστοσύνης μεταξύ των συμμετεχόντων.

Η άλλη σημαντική πτυχή της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας σχετίζεται με την ανταλλαγή πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένης της τεχνολογίας υποστήριξης κοινής χρήσης πληροφοριών, όπως το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την καταγραφή δεδομένων της εφοδιαστικής αλυσίδας, το περιεχόμενο των πληροφοριών και την ποιότητα των πληροφοριών. Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί μέσω της χρήσης προηγμένων εφαρμογών της πληροφορικής για τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, τέτοιες εφαρμογές απαιτούν μια κεντρική εταιρεία να καταγράφει και να διαχειρίζεται τα δεδομένα, τα οποία άλλοι συμμετέχοντες ενδέχεται να μην είναι διατεθειμένοι να παρέχουν. Η ποιότητα των πληροφοριών αναφέρεται στο βαθμό, στον οποίο οι κοινές πληροφορίες μπορούν να είναι αξιόπιστες και να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών της εφοδιαστικής αλυσίδας. Επίσης, μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια, συχνότητα, αξιοπιστία και διαθεσιμότητα. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι πρακτικές της παραδοσιακής διαχείρισης των τεχνικών έργων μπορεί να μην επαρκούν για να βοηθήσουν στην επίτευξη αυτής της ποιότητας πληροφοριών. Για παράδειγμα, είναι απαραίτητο να υπάρχει ένας καθιερωμένος μηχανισμός για τον εντοπισμό ψευδών πληροφοριών και η παροχή ψευδών πληροφοριών θα πρέπει να τιμωρείται.

Το δεύτερο σχετίζεται με τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, η οποία είναι σημαντικής σημασίας στη διαχείριση των τεχνικών έργων, ειδικά για τομείς όπου δίνεται μεγάλη προσοχή στη λειτουργία και τη συντήρηση. Ομοίως, η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων στη διαχείριση των τεχνικών έργων μοιράζεται ορισμένες από τις προαναφερθέντες προκλήσεις, όπως η κοινή χρήση δεδομένων μεταξύ διαφορετικών μερών, καθώς και η μείωση των αναγκών για διπλά δεδομένα. Επιπλέον, συνιστάται η συλλογή τέτοιων δεδομένων από ένα καταναμημένο καθολικό, το οποίο ορίζεται ως γεωγραφικά καταναμημένα ψηφιακά δεδομένα σε πολλαπλούς ιστότοπους. Μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κινδύνου που κάποιος συμμετέχων να κατέχει το σύνολο των στοιχείων του ενεργητικού.

Επιπλέον, οι τρέχουσες πρακτικές διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων είναι αυτές όπου κάθε εταιρεία κατασκευάζει τη δική της πλατφόρμα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων χρησιμοποιώντας τη δική της εσωτερική βάση δεδομένων. Μια τέτοια πρακτική έχει δημιουργήσει ορισμένες προκλήσεις σχετικά με τη διαλειτουργικότητα, ειδικά όταν υπάρχουν πολλαπλές εμπλεκόμενες πλατφόρμες διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων. Το ζήτημα της διαλειτουργικότητας, το οποίο μπορεί να επιλυθεί με τη δημιουργία ποικίλων λογισμικών λύσεων, των συνεργασιών σε ολόκληρη τη βιομηχανία ή ακόμη και μεταξύ κλάδου θα είναι πολύ περίπλοκο. Επιπλέον, η εταιρεία που κατέχει τη λύση μέσω κάποιου λογισμικού ή τη βιομηχανική πλατφόρμα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων μπορεί να μειώσει τη διαλειτουργικότητά της με άλλες πλατφόρμες προκειμένου να αποκτήσει ισχυρό οικονομικό πλεονέκτημα. Αν και αυτό μπορεί να είναι καλό για τον κάτοχο του λογισμικού, μπορεί να βλάψει τη συνολική παραγωγικότητα ολόκληρου του κλάδου.

Εκτός από το ζήτημα της διαλειτουργικότητας, οι παραδοσιακές πρακτικές διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων που βασίζονται στην εισαγωγή δεδομένων σε μια κεντρικά ελεγχόμενη πλατφόρμα δεν είναι ελκυστικές για όλους τους συμμετέχοντες. Η παροχή δεδομένων σε μια πλατφόρμα που ανήκει σε άλλες εταιρείες οδηγεί στην απροθυμία των συμμετεχόντων. Αν και αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας ένα αξιόπιστο πράκτορα που δεν είναι άμεσος συμμετέχων στο έργο, για παράδειγμα, χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων που παρέχεται από μεμονωμένους προγραμματιστές λογισμικού. Όμως, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι άμεσοι συμμετέχοντες στο έργο θα χάσουν αξίες όσον αφορά τον έλεγχο της πλατφόρμας, για παράδειγμα, εάν οι μεμονωμένοι προγραμματιστές λογισμικού αποφασίσουν να σταματήσουν την ενημέρωση της πλατφόρμας. Ως εκ τούτου, φαίνεται ότι απαιτείται ένα αποκεντρωμένο σύστημα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, έτσι ώστε όλοι οι συμμετέχοντες να είναι ίσοι και να μπορούν όλοι να κερδίσουν αξίες από το σύστημα παρέχοντας ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα (Wang κ.ά, 2017).

3.4 Εφαρμογές

Οι πιθανές εφαρμογές της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1) Συμβάσεις

Οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα αντιμετωπίζουν αυξανόμενες πιέσεις για να ανταποκριθούν στους αυξημένους κανονισμούς της βιομηχανίας και της κυβέρνησης. Αξιοσημείωτοι πόροι, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου και της εργασίας, έχουν ανατεθεί για να διατηρήσουν την ακεραιότητα και τη γνησιότητα των εγγράφων κατασκευής κατά την αποθήκευση και την ανάκτηση. Με την εφαρμογή της ΤΚΕ, κάθε έγγραφο μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα κατανεμημένο καθολικό. Επιπλέον, υπάρχει μια τέλεια συμβολαιογραφική επικύρωση για κάθε δημιουργία, διαγραφή και ενημέρωση σε όλο το σύστημα. Ολόκληρο το σύστημα της ΤΚΕ γνωρίζει ακριβώς, ποια είναι η πηγή των πληροφοριών και η τεχνολογία που επιτρέπει τον έλεγχο της ταυτότητας. Αυτός ο τύπος εφαρμογών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή δεδομένων ποιότητας κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων της ποιότητας των πρώτων υλών και της εγκατάστασης, τις πληροφορίες προόδου της κατασκευής, σε καθημερινή, εβδομαδιαία ή μηνιαία βάση, και των δεδομένων που καταναλώνουν πόρους όπως σκυρόδεμα, κρσίωμα, ξυλότυπος, χάλυβας και εξοπλισμός.

2) Συναλλαγές

Είναι εύκολο να πραγματοποιηθεί μία μεταβίβαση τίτλων για οποιαδήποτε ιδιοκτησία, συμπεριλαμβανομένων των υλικών και των άυλων, των οποίων οι ιδιοκτησίες ελέγχονται από την ΤΚΕ. Στον κατασκευαστικό τομέα, υπάρχουν πολλές διαφωνίες που σχετίζονται με την πληρωμή, τη μεταφορά τεχνολογίας, τη μίσθωση εξοπλισμού και την πώληση κατοικιών. Με τέτοιες εφαρμογές, μπορεί να εξοικονομηθεί σημαντικός χρόνος και κόστος, εάν όλες οι διαδικασίες είναι αυτοματοποιημένες και ουδέτερες.

3) Προέλευση

Δεδομένου ότι κάθε συναλλαγή είναι ορατή στο οικοσύστημα της ΤΚΕ, είναι εύκολο να εντοπιστεί η προμήθεια κάθε προϊόντος ή υπηρεσία με αυθεντικότητα από άποψη συμμόρφωσης ή διασφάλισης ποιότητας. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε παγκόσμια κατασκευαστικά έργα. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του σταδίου λειτουργίας και συντήρησης, εάν εντοπιστεί ένα σοβαρό ελάττωμα ενός προϊόντος, τα ιστορικά της συνολικής αλυσίδας εφοδιασμού είναι πάντα διαθέσιμα από την προετοιμασία της πρώτης ύλης έως την παραγωγή εκτός έδρας, τη μεταφορά, την κατασκευή εργοταξίου και μέχρι την τελική θέση σε λειτουργία. Το υπεύθυνο μέρος του

ελαττώματος που προέκυψε μπορεί να εντοπιστεί γρήγορα και να επιβεβαιωθεί χωρίς κουραστικά επιχειρήματα, επειδή όλες οι εγγραφές που είναι αποθηκευμένες στο σύστημα της ΤΚΕ είναι αυθεντικές και μη επεξεργάσιμες. Δεν υπάρχουν πιθανότητες, θεωρητικά, να παραχθεί το σύστημα και να παραποιηθούν τα αρχεία ώστε να ταιριάζουν σε ένα μέρος.

Για να δείξουμε πώς μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ΤΚΕ για την αντιμετώπιση των τριών προκλήσεων που είδαμε παραπάνω, παρουσιάζονται τρεις τύποι εφαρμογών με χρήση της ΤΚΕ, αντίστοιχα. Για την πρόκληση εμπιστοσύνης, η διαχείριση συμβάσεων επιλέγεται ως παράδειγμα για να αναδείξει τις δυνατότητες της ΤΚΕ. Η εφαρμογή της διαχείρισης συμβάσεων με χρήση της ΤΚΕ που έχει αναπτυχθεί ανήκει στην κατηγορία των αιτήσεων που αφορούν συμβολαιογραφικές πράξεις. Για την επίλυση των ζητημάτων διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας στη διαδικασία διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρουσιάζεται ένα σύστημα διαχείρισης εφοδιαστικής αλυσίδας με χρήση της ΤΚΕ που ανήκει στην κατηγορία των εφαρμογών που σχετίζονται με την προέλευση. Όσον αφορά την πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι φορείς εκμετάλλευσης περιουσιακών στοιχείων, λόγω της ευρείας περιοχής της διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, παρακάτω θα δούμε ότι επιλέγεται μόνο ένα μικρό θέμα της διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, το οποίο είναι η μίσθωση εξοπλισμού για να εξηγήσουμε τον υποκείμενο μηχανισμό της ΤΚΕ. Το προτεινόμενο σύστημα μίσθωσης εξοπλισμού με χρήση της τεχνολογίας κατανεμημένων εγγραφών ανήκει στις εφαρμογές που σχετίζονται με τις συναλλαγές (Wang κ.ά, 2017).

3.4.1 Διαχείριση συμβάσεων

Μία σύμβαση που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ ονομάζεται έξυπνη σύμβαση και είναι μια συμφωνία που μπορεί να εκτελέσει ένα μέρος μίας λειτουργίας από μόνη της (Swan, 2015). Το αυτο-εκτελούμενο στοιχείο που είναι χτισμένο με βάση την ΤΚΕ απαιτεί την έκφραση όρων σε λογικές δηλώσεις. Το Σχήμα 3.1 απεικονίζει ένα απλό παράδειγμα που έχει αναπτυχθεί στην πλατφόρμα της ΤΚΕ Ethereum (Ethereum, 2021). Η σύμβαση αναφέρει ότι εάν η θερμοκρασία της τοποθεσίας της κατασκευής είναι υψηλότερη από 40 βαθμούς Κελσίου, τότε ο πελάτης πληρώνει ένα ορισμένο ποσό δολαρίων (allowance) στον εργολάβο κατασκευής. Με την εφαρμογή μίας τέτοιας έξυπνης σύμβασης, μπορούν να γίνουν τρεις σημαντικές βελτιώσεις στον τρέχοντα κατασκευαστικό τομέα. Κάθε μία από αυτές περιγράφονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Η πρώτη είναι η εξάλειψη των ζητημάτων πληρωμής και ταμειακών ροών. Οι πληρωμές που παρακρατήθηκαν ή δεν καταβλήθηκαν είναι ένα σοβαρό πρόβλημα στον τρέχοντα κλάδο και έχει επισημανθεί ως η κύρια αιτία επιχειρηματικών αποτυχιών και κλιμάκωσης των διαφορών.

Με μία έξυπνη σύμβαση, τα κεφάλαια ή τα κρυπτονομίσματα μπορούν να ενσωματωθούν στη σύμβαση έναντι της αφερεγγυότητας των καθυστερημένων πληρωμών, ώστε να προστατεύονται οι γενικοί εργολάβοι, οι υπεργολάβοι και οι προμηθευτές. Επιπλέον, αυτές οι έξυπνες συμβάσεις μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο πληρωμών. Για παράδειγμα, όταν ένα κατασκευαστικό έργο επιτυγχάνει ένα ορόσημο πληρωμής, όπως μία δομή να ολοκληρωθεί στο κτίριο με το όνομα Επίπεδο 10, ο γενικός ανάδοχος θα λάβει μια αυτοματοποιημένη πληρωμή μέσω της έξυπνης σύμβασης από τον πελάτη του έργου. Επιπλέον, αυτό το συμβάν, θα ενεργοποιήσει αυτόματα όλες τις σχετικές πληρωμές, όπως οι έξυπνες συμβάσεις μεταξύ της γενικής σύμβασης ή τους υπεργολάβους ή τους προμηθευτές, βάσει των όρων της σύμβασης.

```
SOLIDITY CONTRACT SOURCE CODE

1  pragma solidity ^0.4.2;
2
3
4  contract MyContract {
5      /* Constructor */
6      address public contractor;
7      uint256 public allowance;
8      uint256 public temperature;
9
10     mapping (address => uint) public balanceOf;
11     event Transfer(address _from, address _to, uint value);
12
13
14     function token(uint supply) {
15         balanceOf[msg.sender] = supply;
16     }
17
18     function transfer (address contractor, uint256 allowance) {
19         if (temperature < 40) throw;
20         if (balanceOf[msg.sender] < allowance) throw;
21         if (balanceOf[contractor] + allowance < balanceOf[contractor]) throw;
22
23         balanceOf[msg.sender] -= allowance;
24         balanceOf[contractor] += allowance;
25         Transfer (msg.sender, contractor, allowance);
26     }
27 }
28 }
```

Σχήμα 3.1 Ένα παράδειγμα έξυπνης σύμβασης (Wang κ.ά 2017).

Η δεύτερη βελτίωση είναι στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαχείρισης της σύμβασης. Μία έξυπνη σύμβαση εκφράζεται ως κώδικας λογισμικού που είναι σαφής και προβλέψιμος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές συμβάσεις. Τεράστιος χρόνος, όσον αφορά τη συγγραφή συμβάσεων, την παρακολούθηση και την ενημέρωση, μπορεί να εξοικονομηθεί λόγω της αυτοματοποιημένης διαδικασίας και του συστήματος προστασίας από παραβιάσεις.

Η τρίτη βελτίωση είναι η αλλαγή αξιοπιστίας από την ανθρώπινη εμπιστοσύνη στην εμπιστοσύνη της κωδικοποίησης. Το κόστος της οικοδόμησης εμπιστοσύνης μεταξύ διαφορετικών μερών σε ένα κατασκευαστικό έργο είναι πολύ υψηλό, επειδή κάθε έργο είναι εφάπαξ και η ομάδα του έργου είναι πάντα προσωρινή. Με τον παραδοσιακό τρόπο οι δικηγόροι των κατασκευών διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη δημιουργία και στη διαχείριση της επιβολής

πολλών επιχειρηματικών κανόνων μέσω συμβάσεων και δικών. Για να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη τους σε ένα πραγματικό έργο, οι εταιρείες βασίζονται σε εσωτερικούς δικηγόρους ή σε άλλες μεγάλες εταιρείες για να βοηθήσουν, να παραμένουν στη σωστή πλευρά του νόμου και να εκτελούν σωστά τις συμβάσεις τους.

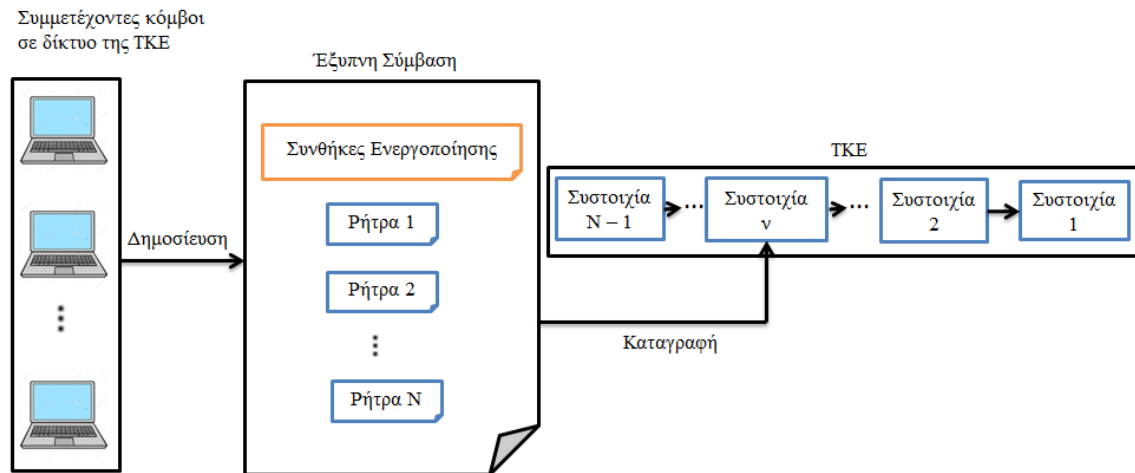
Από την άλλη πλευρά, η ΤΚΕ διευκολύνει δύο μέρη να εμπιστεύονται το ένα το άλλο χωρίς τρίτο φορέα επιβολής. Η σύμβαση με τη δυνατότητα της ΤΚΕ μπορεί να αποθηκευτεί σε μη επεξεργάσιμη μορφή. Μαζί με τους αυτοεκτελούμενους κώδικες, κανένα από τα μέρη δεν έχει το πάνω χέρι να παραβιάσει ή να εμποδίσει την εκτέλεση της σύμβασης. Με το σωστό και τον ασφαλή κώδικα που εκτελείται σε ένα ομότιμο δίκτυο βάσεων δεδομένων, η λειτουργία «εμπιστοσύνης» που παίζει αυτή τη στιγμή μια νομική ομάδα, την καθιστά περιττή, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση χρόνου και κόστους (Wang κ.ά, 2017).

Πάμε να δούμε πώς ακριβώς δουλεύει μία έξυπνη σύμβαση, η οποία στηρίζεται στην ΤΚΕ.

Οι ρήτρες της σύμβασης μεταξύ των κόμβων μετατρέπονται σε υπολογιστικά προγράμματα της μορφής για παράδειγμα «If – Then» δηλώσεις. Στη συνέχεια, τα εκτελέσιμα υπολογιστικά προγράμματα αποθηκεύονται με ασφάλεια στην ΤΚΕ. Όταν πληρούνται οι προκαθορισμένες συνθήκες στην έξυπνη σύμβαση, οι προτάσεις των έξυπνων συμβάσεων εκτελούνται αυτόνομα και η εκτέλεση καταγράφεται ως αμετάβλητη συναλλαγή στην ΤΚΕ.

Οι διαδικασίες παραγωγής μίας έξυπνης σύμβασης παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα και η ροή εργασίας των έξυπνων συμβάσεων είναι η εξής: Οι εμπλεκόμενοι κόμβοι διαπραγματεύονται πρώτα για να συμφωνήσουν και να υπογράψουν τις ρήτρες της σύμβασης. Οι εγκεκριμένες ρήτρες καταγράφονται περαιτέρω σε μια συναλλαγή. Παρόμοια με άλλες συναλλαγές, μια τέτοια συναλλαγή που καταγράφει η έξυπνη σύμβαση θα επαληθευτεί από άλλους κόμβους και στη συνέχεια θα προσαρτηθεί σε άλλες συναλλαγές σε μία συστοιχία. Με τον αλγόριθμο συναίνεσης, μία συστοιχία περιέχει την έξυπνη σύμβαση, η οποία θα προστεθεί στην ΤΚΕ. Στη συνέχεια, η έξυπνη σύμβαση θα εκχωρηθεί με μια μοναδική διεύθυνση, μέσω της οποίας οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να έχουν πρόσβαση ή να αλληλεπιδρούν μαζί της. Μόλις κάποιος κόμβος στείλει συναλλαγές σε αυτήν τη διεύθυνση ή ικανοποιηθούν οι προϋποθέσεις της έξυπνης σύμβασης, η αντίστοιχη ρήτρα στην έξυπνη σύμβαση θα εκτελεστεί αυστηρά.

Το Κρυπτονόμισμα είναι γνωστό ως το πρώτο που υποστηρίζει τη βασική έξυπνη σύμβαση με την έννοια ότι το δίκτυο επιτρέπει σε ένα χρήστη να μεταφέρει μία αξία σε έναν άλλο χρήστη. Ωστόσο, η περιορισμένη δυνατότητα προγραμματισμού καθιστά αδύνατη την υποστήριξη μίας έξυπνης σύμβασης με πολύπλοκη λογική. Το Ethereum είναι η πρώτη δημόσια πλατφόρμα που βασίζεται στην ΤΚΕ και υποστηρίζει προηγμένες έξυπνες συμβάσεις που κωδικοποιούνται από εφαρμογή υψηλού επιπέδου προγραμματισμού (Liang, 2020).



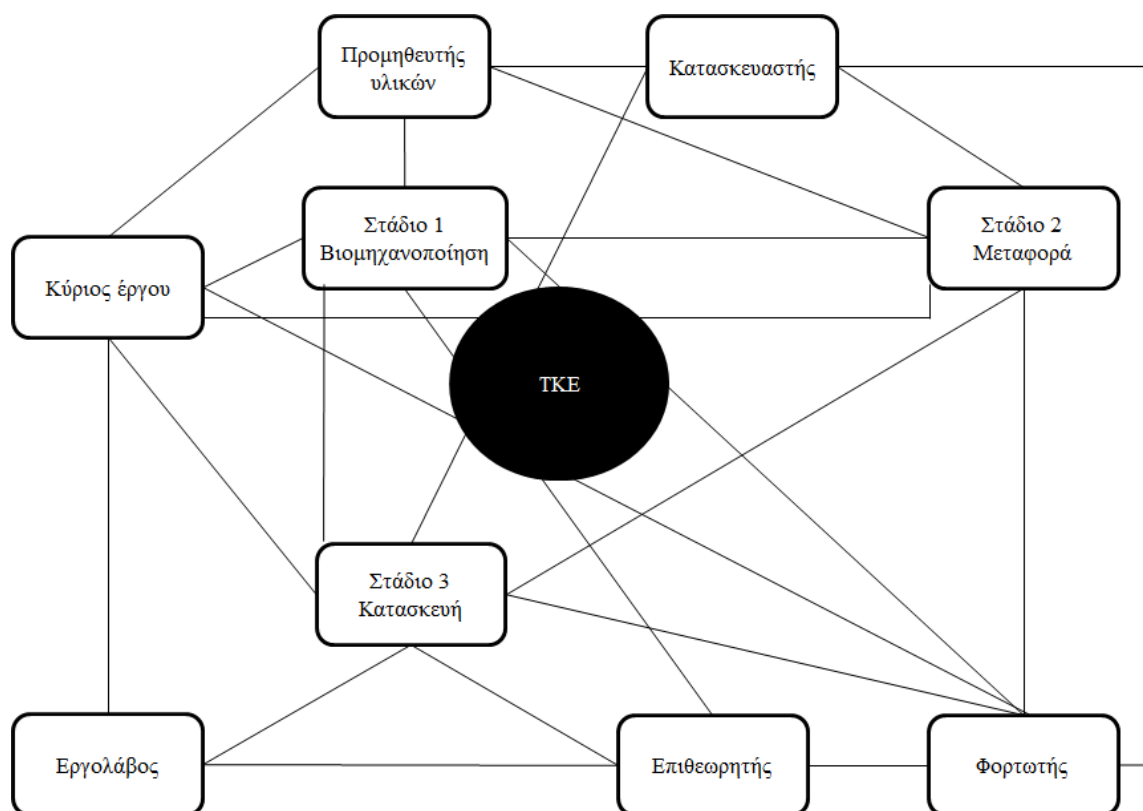
Σχήμα 3.2 Η παραγωγή και καταγραφή των έξυπνων συμβάσεων (Liang, 2020).

3.4.2 Διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού

Η κύρια πρόκληση της παραδοσιακής αλυσίδας εφοδιασμού είναι η έλλειψη μιας ανοιχτής και αξιόπιστης πηγής πληροφοριών κατά μήκος αυτής της αλυσίδας. Οι πελάτες και οι αγοραστές δεν έχουν αξιόπιστους τρόπους επαλήθευσης και επικύρωσης της πραγματικής αξίας των προϊόντων που αγοράζουν λόγω της έλλειψης διαφάνειας και ιχνηλασιμότητας. Μια τυπική αλυσίδα εφοδιασμού είναι μια σειρά από διμερούς συμβατικούς συνδέσμους που τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο για να σχηματίσουν μια αλυσίδα εφοδιασμού όπως: σύνδεσμος αγοραστή – πωλητή για την προμήθεια υλικών ή εξοπλισμού, σύνδεσμος διανομής – παραγωγής για τη μεταφορά των προϊόντων και σύνδεσμος αποθέματος – διανομής για τα βέλτιστα επίπεδα αποθεμάτων. Κάθε κρίκος στην αλυσίδα εφοδιασμού αποτελεί εμπόδιο για την ανταλλαγή πληροφοριών και την εμπιστοσύνη.

Η ΤΚΕ έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις μέσω της χρήσης των ανοιχτών αδειών στο λογιστικό σύστημα. Το Σχήμα 3.3 δείχνει μια αλυσίδα εφοδιασμού που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ για ένα προϊόν που κατασκευάζεται εκτός τοποθεσίας. Από την προμήθεια του προϊόντος έως το τέλος της τελικής εγκατάστασής του. Το σύστημα ξεκινά με την εντολή αγοράς που αναπτύχθηκε από τον ιδιοκτήτη του έργου. Ο κατασκευαστής που κατασκευάζει το προϊόν λαμβάνει τις πληροφορίες και αποστέλλει την απαίτηση πρώτων υλών στους προμηθευτές του. Στη συνέχεια, το σύστημα στέλνει μια ειδοποίηση στην υπηρεσία επιθεώρησης, η οποία καταγράφει τα στοιχεία των πρώτων υλών που πρόκειται να επιθεωρηθούν. Κατά τη διαδικασία κατασκευής, αρχεία σχετικά με την ποιότητα κοπής και διάτρησης, συγκόλλησης, επιφανειακής επεξεργασίας και συνδεσμολογίας μεταφορτώνονται στο σύστημα της ΤΚΕ. Μόλις το πρακτορείο ελέγχου εκδώσει τα πιστοποιητικά που εγκρίνουν την παράδοση, οι αποστολείς μπορούν να κανονίσουν να αποστείλουν το προϊόν και να

εκδώσουν την κατάσταση παράδοσης στο σύστημα, για παράδειγμα να δηλώσουν ότι το προϊόν θα παραδοθεί δίπλα στο πλοίο ή μέσα στο πλοίο ή στην άφιξη του πλοίου. Όταν το προϊόν εκφορτώνεται σε εγκατάσταση εκφόρτωσης υλικών, θα σταλεί ειδοποίηση για έλεγχο καραντίνας στο συγκεκριμένο τμήμα. Όλα αυτά τα αρχεία είναι διαθέσιμα στους συμμετέχοντες στην εφοδιαστική αλυσίδα και μπορούν να επιτρέψουν τυχόν ελέγχους για ζητήματα ποιότητας που αντιμετωπίζονται στην αλυσίδα εφοδιασμού. Μόλις οι πληροφορίες εισαχθούν στο σύστημα της ΤΚΕ, επαληθεύονται. Οπότε η αξιοπιστία των πληροφοριών είναι σημαντικά υψηλότερη από την παραδοσιακή. Επιπλέον, η εκτεταμένη ιχνηλασιμότητα της αλυσίδας εφοδιασμού μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, σε κάθε τμήμα του προϊόντος (Wang κ.ά, 2017).



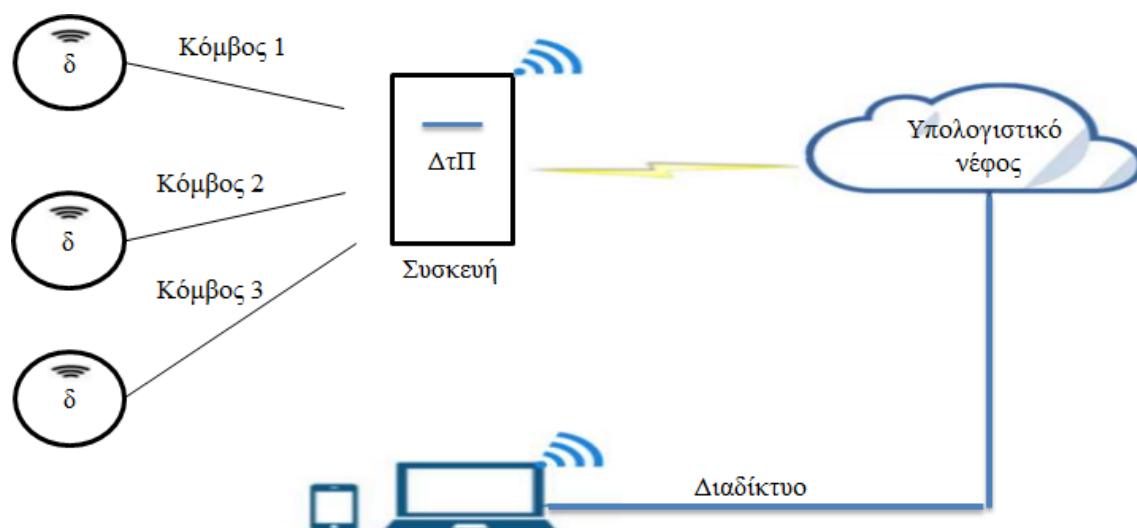
Σχήμα 3.3 Αλυσίδας εφοδιασμού με χρήση ΤΚΕ (Wang κ.ά, 2017).

Ο στόχος της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι να επιτύχει ευέλικτη αλυσίδα εφοδιασμού, η οποία θα ικανοποιήσει τις ανάγκες των πελατών με το χαμηλότερο κόστος. Ωστόσο, λόγω των διαφορετικών συμμετεχόντων στην αλυσίδα εφοδιασμού, αυτός ο στόχος είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί. Η διαφάνεια και η παρακολούθηση του προϊόντος είναι σημαντικά στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την ανάπτυξη της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Οι έξυπνες συμβάσεις, ως κανόνες που είναι αποθηκευμένοι στην ΤΚΕ, μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό της αλληλεπίδρασης των συμμετεχόντων στο δίκτυο μεταξύ τους και εντός του συστήματος. Πιο συγκεκριμένα, οι έξυπνες συμβάσεις επηρεάζουν την κοινή χρήση δεδομένων του δικτύου μεταξύ των συμμετεχόντων στην εφοδιαστική αλυσίδα και τη συνεχή βελτίωση της διαδικασίας. Για παράδειγμα, οι φορείς πιστοποίησης και οι οργανισμοί προτύπων επαληθεύουν ψηφιακά τα προφίλ και τα προϊόντα των συμμετεχόντων. Από την άλλη πλευρά, οι συμμετέχοντες και τα προϊόντα έχουν το δικό τους ψηφιακό προφίλ στο δίκτυο, το οποίο εμφανίζει πληροφορίες όπως την περιγραφή, την τοποθεσία, τις πιστοποιήσεις και τη συσχέτιση με τα προϊόντα. Κάθε παίκτης της εφοδιαστικής αλυσίδας μπορεί να συνδεθεί στις βασικές πληροφορίες για ένα συγκεκριμένο προϊόν και στην κατάστασή του στο δίκτυο της ΤΚΕ. Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογών έξυπνων συμβάσεων είναι στις προμήθειες. Μία έξυπνη σύμβαση μεταξύ των συμμετεχόντων μπορεί να ενημερώσει νόμιμα το αυτοματοποιημένο αρχείο των υλικών που αγοράστηκαν, πουλήθηκαν και παραδόθηκαν σε πραγματικό χρόνο από τους τελικούς χρήστες σε όλη τη γραμμή της επιχείρησης. Η ΤΚΕ επηρεάζει τόσο τη διαδικασία της εφοδιαστικής αλυσίδας και της διαχείρισης προϊόντων, όσο και τις οικονομικές συναλλαγές μεταξύ διαφορετικών μερών του δικτύου. Η ΤΚΕ ως κατανεμημένη, αμετάβλητη, διαφανής και αξιόπιστη βάση δεδομένων, που μοιράζεται μια κοινότητα, μπορεί, επίσης, να επηρεάσει τα βιώσιμα δίκτυα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Μπορεί να το κάνει από πολλές διαφορετικές προοπτικές εφαρμογές. Πρώτον, η ακριβής παρακολούθηση προϊόντων κατώτερης ποιότητας και ο εντοπισμός περαιτέρω συναλλαγών των προϊόντων μπορεί να συμβάλει στη μείωση της επανεπεξεργασίας και της ανάκλησης, γεγονός που βοηθάει στη μείωση της κατανάλωσης των πόρων και στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα είναι συγκεντρωμένα. Από την άλλη πλευρά, τα ενεργειακά συστήματα σε ένα ομότιμο δίκτυο που βασίζεται στην ΤΚΕ μπορούν να μειώσουν την ανάγκη μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις και κατά συνέπεια να εξοικονομήσουν μεγάλο μέρος της ενέργειας που σπαταλάται κατά τη διάρκεια μετάδοσης σε μεγάλη απόσταση. Επίσης, θα μείωνε την ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας που εξοικονομεί τους πόρους της. Υπάρχουν πολλές πλατφόρμες ισχύος που βασίζονται στην ΤΚΕ για τη μείωση της σπατάλης της εφοδιαστικής αλυσίδας.

Το επόμενο σχήμα δείχνει την ενσωμάτωση της ΤΚΕ και του διαδικτύου των πραγμάτων (ΔτΠ – IoT) για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας στη διαχείριση της βιώσιμης εφοδιαστικής αλυσίδας. Το πλαίσιο είναι χτισμένο σε ένα σύστημα βάσης δεδομένων που βασίζεται στην ΤΚΕ με αμετάβλητα αρχεία. Επιπλέον, επεξεργάζεται και μεταφέρει όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με το έργο σε όλα τα στάδια της κατασκευαστικής διαδικασίας. Σε αυτό το σχήμα, η χρήση του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) σε συνδυασμό με τις έξυπνες συσκευές αντίχενωσης δείχνει ότι θα μπορούσε να βοηθήσει στην επικοινωνία και την παρακολούθηση υλικού με υψηλή ακρίβεια και χωρίς θορύβους, όπως το ανθρώπινο λάθος, η έλλειψη εργατικού

δυναμικού, ο περιορισμένος προϋπολογισμός, οι δυσμενείς καιρικές συνθήκες και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Επίσης, περιλαμβάνει ενημερωμένες πληροφορίες σχετικά με τον έλεγχο και την ιχνηλασιμότητα των υλικών. όλες οι αυτόματες απελευθερωμένες έξυπνες συμβάσεις πληρωμών μέσω της πλατφόρμας ΤΚΕ.



Σχήμα 3.4 Διάγραμμα ροής συλλογής δεδομένων (Shahrayini κ.ά 2021).

Η ΔτΠ (IoT) συσκευή είναι ιδανική για τη συλλογή δεδομένων και την αποστολή στο υπολογιστικό νέφος (cloud) με πολλαπλούς κόμβους και τη σύνδεση όλων των μικρών συσκευών με ολόκληρο τον κόσμο σε ένα μόνο μέρος. Όλα τα αντικείμενα, τα πράγματα και οι αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν για να μοιραστούν τα δεδομένα που λαμβάνονται σε διάφορες τοποθεσίες. Οι σχεδιαστές, οι εργολάβοι και οι προμηθευτές, σήμερα, γνωρίζουν πολύ περισσότερο την προέλευση των υλικών που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικά έργα και αυτό συμβαίνει για να υπάρχει αυστηρή διασφάλιση ποιότητας, υγεία και ασφάλεια, αλλά και για τα πρότυπα υλικών και τη βιωσιμότητα. Όμως, το σύστημα δεν είναι ακόμα απαλλαγμένο από τα λάθη και την αμέλεια (Shahrayini, Ravanshadnia & Akhavan, 2021).

3.4.3 Μίσθωση εξοπλισμού

Με την αυξημένη πολυπλοκότητα των κατασκευαστικών έργων, υπάρχει μεγάλη ζήτηση χρήσης βαρέος εξοπλισμού για να βοηθήσουν στην παράδοση των εργασιών τους όπως γερανοί, συμπιεστές, εκσκαφείς, και φορτωτές. Λόγω του υψηλού κόστους αυτού του εξοπλισμού συμπεριλαμβανομένου του κόστους συντήρησης και επισκευής, οι περισσότεροι από τους εργολάβους κατασκευών αντιμετωπίζουν οικονομικούς περιορισμούς στην αγορά. Επομένως, αντί να κάνουν τεράστιες επενδύσεις στην αγορά τους, η μίσθωση είναι μια προσοδοφόρα

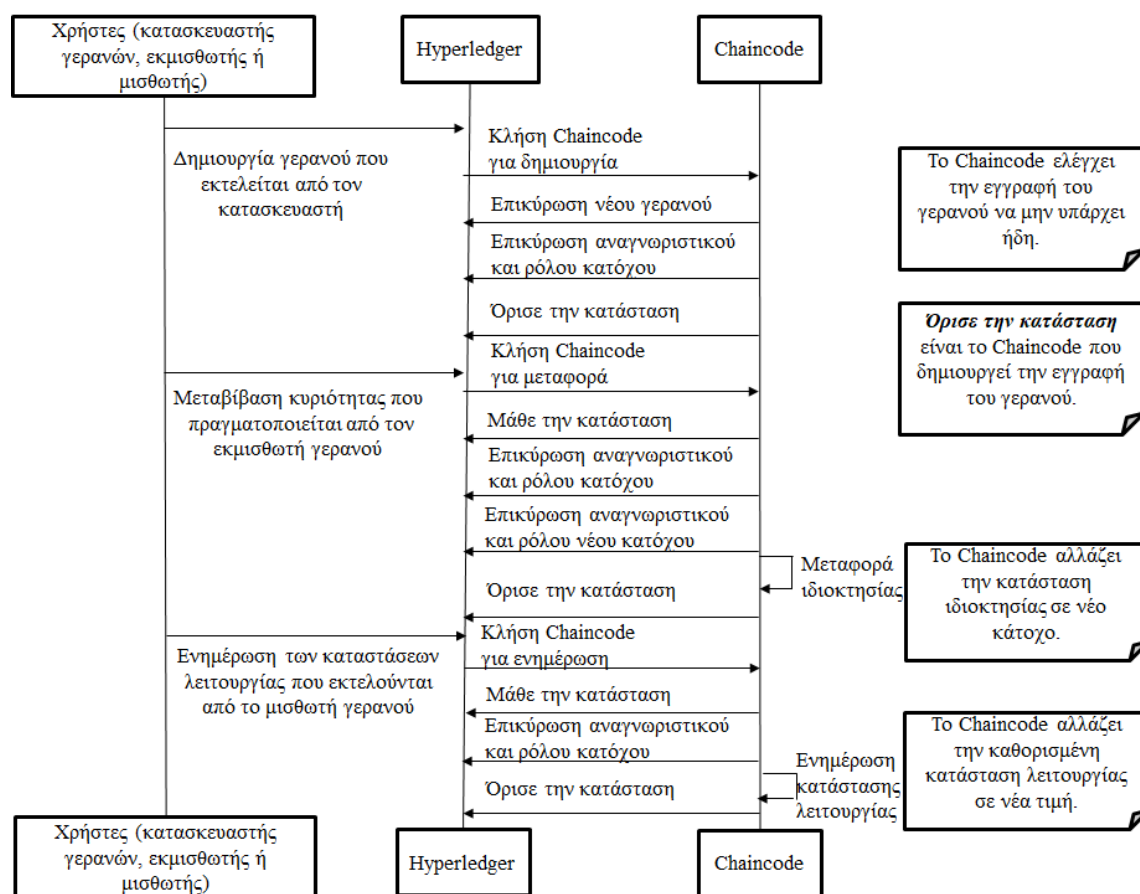
επιλογή και για τους μεγάλους και μικρούς εργολάβους ώστε να περιορίσουν τα έξοδά τους στα κατασκευαστικά έργα.

Η συμβατική διαδικασία μίσθωσης είναι χρονοβόρα και αναποτελεσματική, γιατί περιλαμβάνει μακροχρόνιους κύκλους διαπραγμάτευσης, διαδικασίες προσφοράς ασφαλιστικών εισφορών, επαχθείς αιτήσεις χρηματοδότησης και πλήθος έντυπων εγγράφων που χρειάζονται να είναι υπογεγραμμένα και διατηρημένα. Το Σχήμα 3.5 απεικονίζει ένα παράδειγμα μίσθωσης γερανού που έχει αναπτυχθεί με βάση την πλατφόρμα της ΤΚΕ της IBM (IBM, 2016). Πιο συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιηθεί η ιδιωτική ΤΚΕ, Hyperledger, και το Chaincode, το οποίο είναι η ψηφιακή αναπαράσταση ενός περιουσιακού στοιχείου. Συνήθως, το Chaincode χρησιμοποιείται από τους διαχειριστές για την αποθήκευση και τις ενημερώσεις του εκάστοτε περιουσιακού στοιχείου. Για να παρουσιαστεί ένας νέος γερανός, ο κατασκευαστής πρέπει να καταγράψει πρώτα το γερανό στο σύστημα της ΤΚΕ. Για να ξεκινήσει η διαδικασία, ένας υποψήφιος εργολάβος κατασκευής, δηλαδή ο μισθωτής, επιλέγει το γερανό που θέλει να μισθώσει μετά από έλεγχο και αξιολόγηση, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του. Η ταυτότητα του γερανού είναι τότε εγγεγραμμένη στη μίσθωση της ΤΚΕ, δηλαδή στην ασφαλή βάση δεδομένων του λογιστικού καθολικού, για την καταγραφή συναλλαγών σε δίκτυα υπολογιστών ευρείας διανομής. Μετά από αυτό, ο εργολάβος κατασκευής θα επιλέξει μία μίσθωση για το γερανό, δηλαδή βραχυπρόθεσμη, μακροπρόθεσμη ή χρηματοδοτική μίσθωση. Όλα αυτά με τη σειρά τους ενημερώνονται στο σύστημα της ΤΚΕ. Στη συνέχεια, επιλέγει μία από τις ασφαλιστικές του επιλογές με τον ίδιο τρόπο και το σύστημα της ΤΚΕ ενημερώνεται αντίστοιχα. Έπειτα, ο πελάτης συνδέει τα στοιχεία πληρωμής του για να πληρώσει για τη μίσθωση και την ασφάλιση, και οι πληρωμές του γερανού καλύπτονται αυτόματα, όπως η λειτουργική εκπαίδευση, η συντήρηση και οι υπηρεσίες επισκευής. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες θα διαρκέσουν λίγα λεπτά. Μαζί με τις τεχνολογίες ανίχνευσης, η κατάσταση λειτουργίας μπορεί να παρακολουθηθεί και να καταγραφεί στην ΤΚΕ, όπως μη φυσιολογικά συμβάντα βλάβης, ημερήσιο φορτίο και συχνότητα ανύψωσης και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (Wang κ.ά, 2017).

3.5 Εξόρυξη Δεδομένων μαζί με ΤΚΕ

Σε αυτήν την ενότητα θα επιχειρήσουμε να παρουσιάσουμε ένα τεχνικό έργο που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο της επαρχίας Γκουανγκντόνγκ της Κίνας υπό το πρίσμα της χρήσης της μεσαίας υπηρεσίας της τεχνητής νοημοσύνης (AI – Artificial Intelligence), της ΤΚΕ και της τεχνολογίας του BIM. Αυτές οι τεχνολογίες μαζί, εφαρμόζονται με σκοπό τη διαχείριση αυτού του τεχνικού έργου, επιλύοντας, έτσι, τα προβλήματα εμπιστοσύνης που

προκύπτουν κατά τη διάρκεια του έργου και βελτιστοποιώντας το μοντέλο διαχείρισης της ποιότητας του τεχνικού έργου.



Σχήμα 3.5 Παράδειγμα μίσθωσης γερανού με χρήση ΤΚΕ (Wang κ.ά, 2017).

Πάνω σε αυτό το έργο εμφανίζονται διαφωνίες μεταξύ των ενδιαφερομένων του έργου που αφορούν τη σύμβαση και τις αξιώσεις κατασκευής, καθώς και για τη διερεύνηση της πρόβλεψης, του κόστους και του χρονοδιαγράμματος της τιμής των υλικών, επαληθεύοντας, έτσι, την αποτελεσματικότητα της μεθόδου που προτείνεται κατά τη διαχείριση του έργου. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η τεχνητή νοημοσύνη της μεσαίας υπηρεσίας μπορεί να παρέχει αποδεικτικά στοιχεία για τους ενδιαφερόμενους. Ειδικά κατά τη διάρκεια της αξίωσης, η τεχνητή νοημοσύνη μεσαίας υπηρεσίας μπορεί να ορίσει την ευθύνη και να αναλύσει τα δεδομένα κατά την πρόβλεψη τιμών, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο στους ενδιαφερόμενους φορείς υποστήριξη δεδομένων. Εάν χρησιμοποιηθεί η ΤΚΕ για την εισαγωγή, επεξεργασία και εξαγωγή σχετικών δεδομένων του προγράμματος και των τιμών, η ακρίβεια και η ασφάλεια των δεδομένων θα είναι εγγυημένη. Όταν αναλύονται οι δείκτες προόδου και κόστους, τα αποτελέσματα της χρήσης αυτής της τεχνολογίας είναι πιο ακριβή από τα αρχικά αποτελέσματα, γεγονός που εξοικονομεί κόστος. Επομένως, η εφαρμογή της τεχνητής νοημοσύνης, της ΤΚΕ

και του BIM στη διαχείριση των τεχνικών έργων είναι μεγάλης σημασίας, γιατί βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα και την ποιότητά τους.

3.5.1 Μέθοδος

3.5.1.1 Μεσαία υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης

Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνητής νοημοσύνης έχει σταδιακά επιταχύνει την εξέλιξη των εφαρμογών. Έτσι, πολλές επιχειρήσεις έχουν καταφέρει να αυξήσουν τα έσοδά τους μέσω της εφαρμογής της. Η ολοκληρωμένη ανάπτυξη της τεχνολογίας της τεχνητής νοημοσύνης και τα επιχειρηματικά σχέδια είναι απαραίτητη προϋπόθεση για μία μεσαία υπηρεσία (middle office) της τεχνητής νοημοσύνης. Οπότε, η χρήση της βοηθάει, ώστε οι εφαρμογές να γίνονται ταχύτερες, πιο βολικές και πρακτικές, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο το κόστος τους και μοιράζοντας τις υπηρεσίες τους (Li, W. κ.ά. 2021).

Όμως, τι είναι ακριβώς η μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης;

Το Ινστιτούτο Επιχειρηματικής Αξίας της IBM, σε συνεργασία με την Oxford Economics, πραγματοποίησε έρευνα σε 6.050 παγκόσμια στελέχη σε 18 κλάδους, προκειμένου να αξιολογήσει την επίδραση της τεχνητής νοημοσύνης στις επιχειρήσεις. Για να αξιολογηθεί καλύτερα ο αντίκτυπος της τεχνητής νοημοσύνης, οι πιο κοινές 13 επιχειρηματικές λειτουργίες κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις λογικές ενότητες: front office (μπροστινή υπηρεσία), middle office (μεσαία υπηρεσία) και back office (υπηρεσία στο πίσω μέρος).

Σε μία μπροστινή υπηρεσία, η οποία αποτελείται από τμήματα που ασχολούνται με πελάτες, όπως πωλήσεις, μάρκετινγκ και εξυπηρέτηση πελατών, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αυξήσει οικονομικά την ικανοποίηση και το ποσοστό διατήρησης των πελατών με πιο προσαρμοσμένες προσεγγίσεις, καθώς και ανακαλύπτοντας νέα τμήματα καταναλωτών με συνδυασμό μετρήσεων όπως η τοποθεσία, το φύλο, ο χρόνος και οι τάσεις. Τα τμήματα εξυπηρέτησης πελατών μπορούν να ρυθμίζουν τα αιτήματα των πελατών, χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό τεχνητής νοημοσύνης και συμβατικών προσεγγίσεων για την αύξηση της ικανοποίησης. Οι διευθυντές μπορούν να παρακολουθούν καλύτερα την ικανοποίηση των πελατών, τόσο αναλύοντας τις τρέχουσες καταστάσεις, όσο και αναδιοργανώνοντας ευέλικτα το σύστημα.

Στη μεσαία υπηρεσία, η οποία ασχολείται με ζητήματα παραγωγής, όπως η κατασκευή, η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και οι διαδικασίες καινοτομίας, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να τα βελτιστοποιήσει όσον αφορά στην αποτελεσματικότητά τους και την παραγωγικότητά τους. Με την ανάλυση δεδομένων που προέρχονται από την μπροστινή υπηρεσία, οι διαδικασίες μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τη συμπεριφορά των πελατών και τα αιτήματα άλλων ενδιαφερόμενων μερών, είτε ελέγχοντας την αλυσίδα εφοδιασμού είτε

μετασχηματίζοντας την παραγωγή. Οι διευθυντές μπορούν να λάβουν καλύτερες αποφάσεις και να δημιουργήσουν πληροφορίες αναλύοντας αναφορές τεχνητής νοημοσύνης και διαβουλεύσεις με το προσωπικό. Τα συστήματα επιτήρησης της τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να ενεργούν προληπτικά σε κρίσιμα μέρη της διαδικασίας παραγωγής. Επίσης, η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί συσχετίσεις μεταξύ δεδομένων που μπορεί να οδηγήσουν σε μελλοντικές καινοτομίες.

Στην πίσω υπηρεσία που περιλαμβάνει υποστηρικτικά τμήματα, όπως το IT (Information Technology), τους ανθρώπινους πόρους και τα χρηματοοικονομικά, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αυτοματοποιήσει τις εργασίες προκειμένου να επιτρέψει την κατανομή ανθρώπινων πόρων σε πιο δημιουργικές και διαισθητικές εργασίες. Επίσης, αυτή η μετατόπιση μειώνει το ποσοστό ανθρώπινου λάθους σε επαναλαμβανόμενες εργασίες. Για θέματα ασφάλειας πληροφοριών, η τεχνητή νοημοσύνη έχει πιο αξιόπιστες και γρήγορες λύσεις για τον εντοπισμό απάτης και ασυμφωνιών μέσω της επεξεργασίας τόσο δομημένων όσο και μη δομημένων δεδομένων (Caner and Bhatti, 2020).

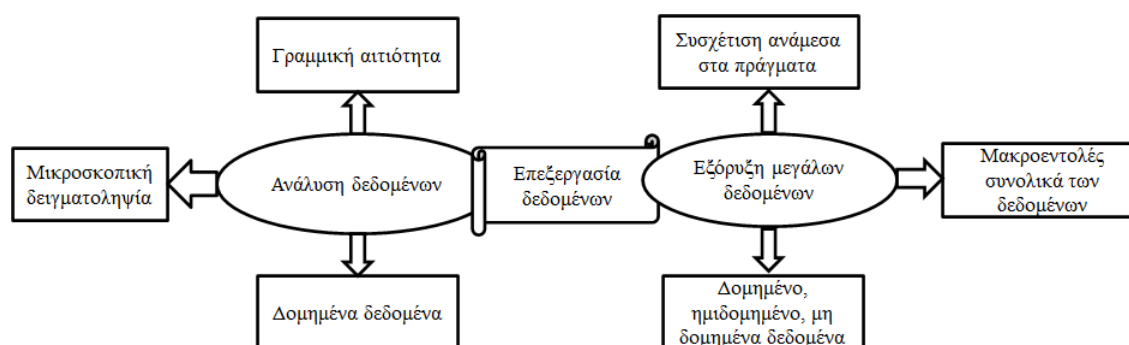
Μία πιστοποιημένη μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης πρέπει να πληροί τα παρακάτω τέσσερα κριτήρια.

- (1) Θα πρέπει να διαθέτει πολλά μοντέλα και υπηρεσίες, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να έχουν πρόσβαση οποιαδήποτε στιγμή επιθυμούν σε οποιοδήποτε πεδίο.
- (2) Θα πρέπει να υποστηρίζει την ενδοεπικοινωνία και τη συναρμολόγηση μεταξύ των μοντέλων και των υπηρεσιών της, οι οποίες μπορούν να εξάγουν, να οργανώνουν και να μοιράζονται μοντέλα και υπηρεσίες αμέσως όπως απαιτείται, αποφεύγοντας, έτσι, τη σπατάλη των ανθρώπινων και υλικών πόρων, αλλά και των συγκρούσεων δεδομένων.
- (3) Ως μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα, θα πρέπει να ενσωματωθεί με τις πρωτογενείς και επιχειρηματικές πλατφόρμες. Μόνο αφού υπάρξει μια καλύτερη σύνδεση με το αρχικό επιχειρηματικό σύστημα τότε μπορεί η μεσαία υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης να συμβάλλει καλύτερα στην έξυπνη ανάπτυξη των επιχειρήσεων.
- (4) Τέλος, θα πρέπει να είναι απλή και εύκολη, με ισχυρή προσαρμοστικότητα. Με αυτόν τον τρόπο, το κόστος χρόνου ανάπτυξης, υλοποίησης, λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να μειωθεί, καθιστώντας το πιο βολικό να εφαρμοστεί σε πιο περίπλοκα επιχειρηματικά περιβάλλοντα.

3.5.1.2 BIM με βάση Python

Στο περιβάλλον των μεγάλων όγκων δεδομένων (big data), η τεχνολογία του BIM είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο για τους ενδιαφερόμενους των τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί

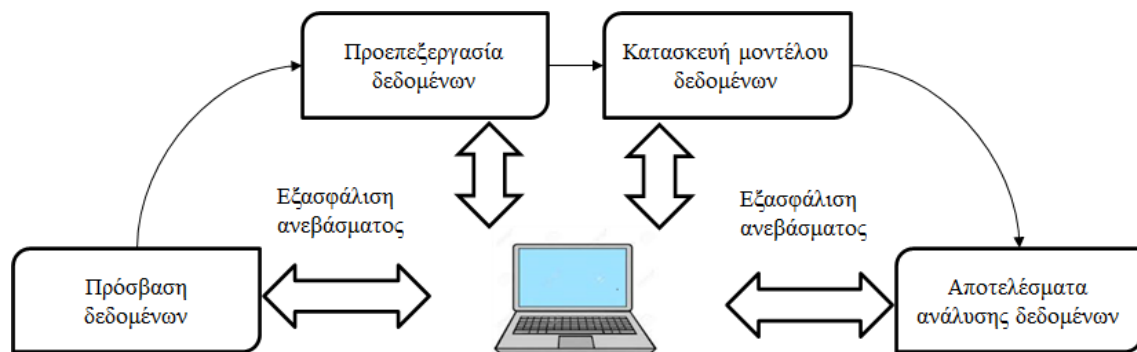
να βοηθήσει τις επιχειρήσεις να παρακολουθούν τα έργα μέσω αλληλεπίδρασης δεδομένων, οπτικής περιαγωγής υψηλής προσομοίωσης, συμβατότητας, δημοσίευσης σε πολλαπλές πλατφόρμες και απομακρυσμένης παρακολούθησης μοντέλων κτιρίων μέσω φορητών τερματικών, κατέχοντας, έτσι, τις καταστάσεις του έργου ολοκληρωμένες σε πραγματικό χρόνο. Σε σύγκριση με τα συνηθισμένα δεδομένα, τα μεγάλα δεδομένα χαρακτηρίζονται πρώτα από τον τεράστιο όγκο δεδομένων. Η βασική μονάδα μέτρησης των συνηθισμένων δεδομένων είναι το δυαδικό ψηφίο (bit – binary digit), ενώ η αρχική ποσότητα των μεγάλων δεδομένων μετριέται σε Tera Byte ($1\text{ TB} = 8 * 10^{12}$ bits) και Peta Byte ($1\text{ PB} = 8 * 10^{15}$ bits). Δεύτερον, υπάρχουν πολλοί τύποι μεγάλων δεδομένων και τόσο τα δομημένα όσο και τα μη δομημένα δεδομένα πρέπει να έχουν δυνατότητες επεξεργασίας και απόκρισης. Ως ολοκληρωμένη λύση στο πρόβλημα, η εξόρυξη μεγάλων δεδομένων (EMΔ, Big Data Mining – BDM) επιτυγχάνει την απόκτηση, αποθήκευση, επεξεργασία και εφαρμογή πόρων δεδομένων. Ο κύριος σκοπός της είναι να αποκτήσει πολύτιμες πληροφορίες από μεγάλο όγκο πληροφοριών. Σε σύγκριση με τη συνηθισμένη ανάλυση δεδομένων, η εξόρυξη μεγάλων δεδομένων διαφέρει σημαντικά ως προς την επεξεργασία αντικειμένων, το εύρος ανάλυσης και τους σκοπούς εξόρυξης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.6 Σύγκριση ανάλυσης συνηθισμένων δεδομένων και EMΔ (Li, W. κ.ά. 2021).

Η τεχνολογία της εξόρυξης μεγάλων δεδομένων έχει ήδη κάνει καινοτομίες στον τομέα της επιστήμης των υπολογιστών. Με τη συνεχή βελτίωση της τεχνολογίας, χρησιμοποιώντας τη γλώσσα Python, παρέχονται στους χρήστες ισχυρές επιστημονικές υπολογιστικές δυνατότητες. Ως εκ τούτου, η γλώσσα Python, ως δημοφιλής γλώσσα σχεδιασμού παραγγελιών, έχει σταδιακά ενσωματωθεί στην τεχνολογία εξόρυξης μεγάλων δεδομένων. Η τεχνολογία ανίχνευσης ιστού χρησιμοποιεί τους προκαθορισμένους κανόνες για τη λήψη πληροφοριών στο δίκτυο. Επιπλέον, η χρήση της γλώσσας Python μπορεί να αναπτύξει ένα αυτόματο πλαίσιο ανίχνευσης, το οποίο να είναι ετερόκλητο. Μετά τη ρύθμιση των κανόνων του προγράμματος ανίχνευσης, το ετερόκλητο μπορεί να αποκτήσει γρήγορα τα απαιτούμενα δεδομένα ιστοσελίδας.

Ως πυλώνας της εθνικής οικονομίας της Κίνας, ο κατασκευαστικός κλάδος περιλαμβάνει διάφορα έργα και δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων όχι μόνο δεδομένα σχεδιασμού και παραγωγής αλλά και πραγματικά δεδομένα κατασκευής, τα οποία είναι σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των μεγάλων δεδομένων. Επίσης, το πεδίο κατασκευής διέρχεται από αρχαία και σύγχρονα κινεζικά και ξένα δομικά υλικά και τα δεδομένα κτιρίων που βασίζονται στο BIM συνεχίζουν να αυξάνονται. Τέλος, υπάρχουν εμπόδια πληροφόρησης μεταξύ των βιομηχανιών για την κατασκευή δεδομένων. Έτσι, είναι δύσκολο για όλα τα μέρη να συλλέξουν και να επεξεργαστούν πληροφορίες, γεγονός που μειώνει την αξία των δεδομένων του κτιρίου. Η εφαρμογή της τεχνολογίας εξόρυξης μεγάλων δεδομένων στη διαχείριση έργων ολοκληρώνει την επεξεργασία των δεδομένων στο πεδίο κατασκευής μέσω του κεντρικού κόμβου εξυπηρέτησης. Η συγκεκριμένη δομή της διαδικασίας της ανάλυσης δεδομένων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.7 Ειδική δομή διαδικασίας ανάλυσης δεδομένων (Li, W. κ.ά. 2021).

Τα δεδομένα που παράγονται από τον κατασκευαστικό κλάδο λόγω του σχεδιασμού, της μοντελοποίησης και της μέτρησης προέρχονται από πραγματικά τεχνικά έργα. Εν τω μεταξύ, οι πληροφορίες για τους πόρους οικοδομικών υλικών, την πρόοδο της κατασκευής και το προσωπικό στο χώρο κατασκευής αντικατοπτρίζονται στις πραγματικές λειτουργίες. Επομένως, αυτά τα δεδομένα είναι αυθεντικά και αξιόπιστα. Ωστόσο, στα δεδομένα κτιρίου, το BIM, ως μοντέλο κατασκευαστικών δεδομένων που βασίζεται στην τεχνολογία 3D, ενσωματώνει διάφορα δεδομένα που σχετίζονται με την κατασκευή έργων που ανήκουν στην κατηγορία των μεγάλων δεδομένων. Ως εκ τούτου, η διαχείριση των τεχνικών έργων με βάση το BIM είναι εξαιρετικά χρήσιμη για την προώθηση της πληροφόρησης του κατασκευαστικού κλάδου.

3.5.1.3 Δεδομένα στηριζόμενα στο μηχανισμό συναίνεσης της TKE

Το δίκτυο της TKE φέρνει μαζί τους κόμβους, συνδέοντάς τους με διακομιστές ανάλυσης δεδομένων. Εάν περισσότεροι από τους μισούς διακομιστές κόμβους στο δίκτυο της TKE είναι

σωστοί, θα παρέχονται σταθερές υπηρεσίες προς τα έξω. Το σύστημα αποθήκευσης δεδομένων είναι αποκεντρωμένο λόγω της τεχνολογίας ΤΚΕ και κάθε κόμβος στο σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα ώστε να είναι ένα αποκεντρωμένο δομικό μοντέλο. Οπότε αυτό το σύστημα αποθήκευσης δεδομένων που σχεδιάστηκε σε αυτήν τη μελέτη περιλαμβάνει το επίπεδο δεδομένων, το επίπεδο συναίνεσης και το επίπεδο εφαρμογής. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται είναι η MySQL και είναι εκείνη που, συνήθως, χρησιμοποιείται, στην Python κι η μορφή κωδικοποίησης είναι utf – 8. Στο επίπεδο συναίνεσης, κάθε κύριος κόμβος που είναι πράκτορας (master agent node) δημιουργεί έναν αντίστοιχο πίνακα δεδομένων που είναι αποθηκευμένος τοπικά. Το επίπεδο εφαρμογής είναι υπεύθυνο για την ολοκλήρωση των λειτουργικών απαιτήσεων των χρηστών μέσω αλληλεπιδράσεων της μπροστινής σελίδας και του πίσω μέρους. Στο επίπεδο συναίνεσης, οι κόμβοι στην ουρά παράγουν και μεταδίδουν δεδομένα σε έναν κύκλο, και τελικά πραγματοποιούν την κατανεμημένη αποθήκευση δεδομένων. Οι συναρτήσεις υλοποίησης μίας μονάδας του επιπέδου συναίνεσης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

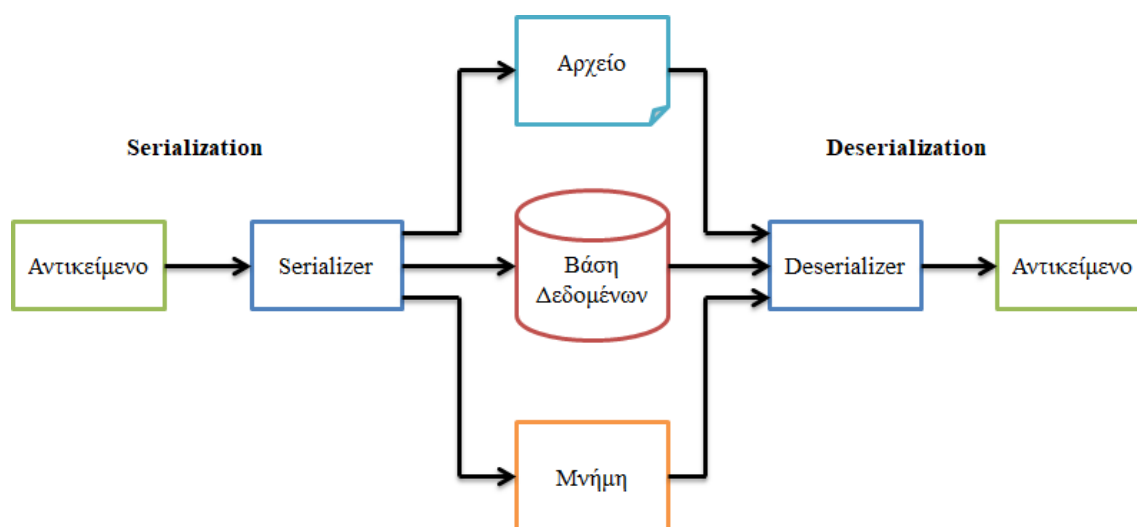
Λειτουργία	Εξήγηση	Εξάρτηση	Συσχετιζόμενο επίπεδο συστήματος
Λειτουργίες βάσης δεδομένων	Λειτουργία ανάγνωσης – εγγραφής σύνδεσης βάσης δεδομένων	Py MySQL	Επίπεδο συναίνεσης, επίπεδο δεδομένων
Επικοινωνία κόμβου	Μετάδοση δεδομένων μεταξύ κόμβων	Socket	Επίπεδο συναίνεσης
Serialization / deserialization δεδομένων*	Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά δομημένων δεδομένων	Pickle (μηχανισμός για αυτά τα δεδομένα)	Επίπεδο συναίνεσης, επίπεδο δεδομένων
Έλεγχος χρονοδιαγράμματος	Έλεγχος χρονοκύκλου	Χρόνος	Επίπεδο συναίνεσης

Πίνακας 3.1 Λειτουργίες στο επίπεδο συναίνεσης (Li, W. κ.ά. 2021).

* Η σειριοποίηση δεδομένων (data serialization) είναι η διαδικασία μετατροπής ενός αντικειμένου δεδομένων, δηλαδή ένας συνδυασμού κώδικα και δεδομένων που αντιπροσωπεύονται σε μια περιοχή αποθήκευσης δεδομένων, σε μια σειρά από bytes που αποθηκεύει την κατάσταση του αντικειμένου σε μια εύκολα μεταβιβάσιμη μορφή. Σε αυτήν τη σειριακή μορφή, τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν σε έναν άλλο χώρο αποθήκευσης

δεδομένων, όπως για παράδειγμα μια πλατφόρμα υπολογιστών στη μνήμη, σε μία εφαρμογή ή σε κάποιον άλλο προορισμό.

Από την άλλη πλευρά, η αποσειριοποίηση δεδομένων (data deserialization) είναι η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή η κατασκευή μιας δομής δεδομένων ή ενός αντικείμενου από μια σειρά bytes. Η διαδικασία deserialization αναδημιουργεί το αντικείμενο, καθιστώντας έτσι τα δεδομένα ευκολότερα στην ανάγνωση και στην τροποποίηση ως εγγενή δομή σε μια γλώσσα προγραμματισμού (Canggih, 2011).



Σχήμα 3.8 Serialization και deserialization δεδομένων (What Is Serialization, 2021).

3.5.1.4 Τεχνολογία Εξόρυξης δεδομένων στη διαχείριση τεχνικών έργων

Ένα κτίριο μπορεί να θεωρηθεί ως μια συγκέντρωση πληροφοριών πολλών διαφορετικών ειδών. Από την αρχή του σχεδιασμού του κτιρίου και την κατασκευή του μέχρι την τελική κατεδάφιση ή την ανακαίνισή του, δημιουργούνται διάφορα πολυδιάστατα δεδομένα, για παράδειγμα δεδομένα κτιρίου, δομικά δεδομένα, δεδομένα τοποθεσίας, δεδομένα εξοπλισμού, ηλεκτρικά δεδομένα, δεδομένα παροχής και αποχέτευσης νερού και δεδομένα θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC – Heating Ventilation and Air Conditioning). Ο συνολικός όγκος δεδομένων μετράται σε PB (Peta Byte = 10^{15} bytes), το οποίο συμμορφώνεται με την έννοια των μεγάλων δεδομένων και έχει αρκετά χαρακτηριστικά μεγάλων δεδομένων. Επομένως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες που σχετίζονται με την επεξεργασία μεγάλων δεδομένων για να αναλύσουν δεδομένα κτιρίου.

Τα δεδομένα στις ιστοσελίδες των οικοδομικών υλικών αποθηκεύονται δυναμικά στο διακομιστή της σχετικής κατασκευαστικής ιστοσελίδας. Οι πληροφορίες ενσωματώνονται με τη μορφή ιστοσελίδων και η στοιχειώδης σύνθεση των ιστοσελίδων βασίζεται στα πρότυπα της Κοινοπραξίας του Παγκόσμιου Ιστού (W3C – World Wide Web Consortium), η οποία έχει ως

στόχο να οδηγήσει τον Παγκόσμιο Ιστό στο μέγιστο των δυνατοτήτων του, αναπτύσσοντας πρότυπα τεχνολογιών. Κατά τη διαδικασία εξόρυξης δεδομένων Ιστού εφαρμόζονται σχετικές μέθοδοι και τεχνικές εξόρυξης. Μέσω αυτών των τεχνολογιών, τα δεδομένα μπορούν να διερευνηθούν επαρκώς.

Σε αυτήν τη μελέτη, τρεις τεχνικές εξόρυξης δεδομένων χρησιμοποιούνται κυρίως για την αρχική εργασία ανάλυσης δεδομένων της διαχείρισης του τεχνικού έργου.

Η πρώτη είναι η ανάλυση κανόνων συσχέτισης, η οποία στοχεύει στην εύρεση κρυφών σχέσεων ταυτόχρονης χρήσης μεταξύ των δεδομένων. Περιλαμβάνει δύο στάδια: (1) την εύρεση και την καταγραφή δεδομένων υψηλής συχνότητας και (2) την ανάλυση της εσωτερικής σχέσης μεταξύ των δεδομένων με βάση δεδομένα υψηλής συχνότητας.

Η δεύτερη μέθοδος είναι η ανάλυση ταξινόμησης. Πιο συγκεκριμένα, ταξινόμηση είναι η διαδικασία απόκτησης μιας αντικειμενικής συνάρτησης μέσω της εκμάθησης και της αντιστοίχισης κάθε συνόλου χαρακτηριστικών σε μια προκαθορισμένη ετικέτα κλάσης. Αυτή η μέθοδος αποκτά ένα χρήσιμο μοντέλο ταξινόμησης δεδομένων αναλύοντας και μαθαίνοντας τα δεδομένα στη βάση δεδομένων πριν από την εξόρυξη κανόνων ταξινόμησης σύμφωνα με το μοντέλο ανάλυσης που καθιερώθηκε από τη μάθηση.

Η τρίτη μέθοδος είναι η ανάλυση ομαδοποίησης, η οποία χρησιμοποιεί τις αρχές των στατιστικών δεδομένων για να εξάγει χαρακτηριστικά από δεδομένα με παρόμοια χαρακτηριστικά και διαιρεί εύλογα τις κατηγορίες χαρακτηριστικών σύμφωνα με τους κανόνες του αλγορίθμου. Κατά την ανάλυση της ομαδοποίησης, οι πληροφορίες για την κατηγορία των δεδομένων είναι αβέβαιες. Ως εκ τούτου, τα νέα δεδομένα μπορούν να τακτοποιηθούν με την ανάλυση ομαδοποίησης.

3.5.2 Ερευνητικό Μοντέλο

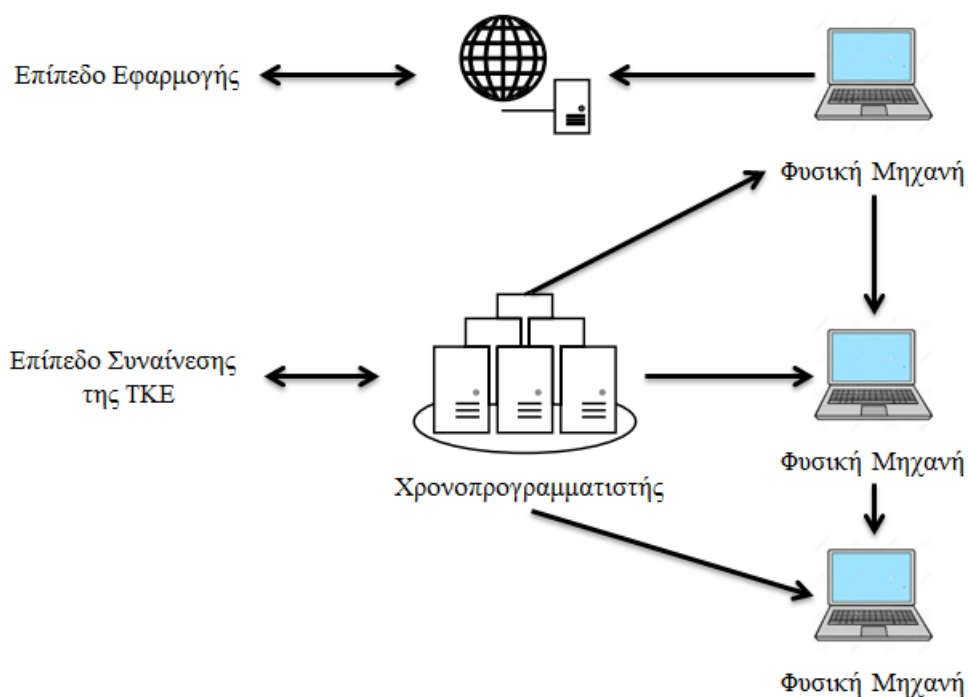
Τα τεχνικά έργα έχουν συχνά τα χαρακτηριστικά της πειθαρχίας, του πολυσύνθετου, της περίπλοκης διαδικασίας και της αβεβαιότητας κατά τη διάρκεια της υλοποίησής τους. Ως εκ τούτου, τα έργα είναι επιρρεπή σε αλλαγές, όπως ο όγκος της εργασίας στη διαδικασία διακανονισμού της κατασκευής, οι όροι και η πληρωμή της σύμβασης, η προσαρμογή της περιόδου κατασκευής και οι υποχρεώσεις για αθέτηση σύμβασης και απαιτήσεων. Εάν η διαχείριση του τεχνικού έργου και των αποδεικτικών στοιχείων δεν μπορεί να συντονιστεί σε βάθος, μπορεί να επηρεαστεί η διάρκεια και το κόστος του τεχνικού έργου, γεγονός που μπορεί να αυξήσει τους κατασκευαστικούς κινδύνους. Η δημιουργία μιας μεσαίας υπηρεσίας τεχνητής νοημοσύνης είναι η συλλογή των πληροφοριών απογραφής και ανατροφοδότησης των περιεχομένων για διάφορες επιχειρήσεις και για όλα τα επίπεδα σε μια προσπάθεια αποφυγής αυξανόμενων κινδύνων στα έργα, ελέγχοντας αποτελεσματικά τους κινδύνους και

διασφαλίζοντας την ακρίβεια εκτέλεσής τους. Ως εκ τούτου, το επίπεδο διαχείρισης έργου μειώνει την περίοδο κατασκευής και τους κινδύνους κόστους του κατασκευαστή. Σε περίπτωση διαφωνιών, τα λεπτομερή στοιχεία διαχείρισης διαδικασιών που καταγράφονται από τη μεσαία υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αποσαφηνίσουν ποιος έχει την ευθύνη.

Εν τω μεταξύ, η μεσαία υπηρεσία τεχνητής νοημοσύνης μπορεί, επίσης, να ενσωματώσει μία λίστα από αποδεικτικά επιδόσεων, θεωρήσεις κατασκευής, διαδικασίες αξιώσεων και απαιτήσεις τυποποίησης των αποδεικτικών στοιχείων στο σύστημα διαχείρισης, επιβλέποντας, έτσι, πότε προκύπτουν αξιώσεις. Επιπλέον, κατά τον έλεγχο των αλλαγών των τιμών των υλικών, οι τεχνολογίες των μεγάλων δεδομένων και της τεχνητής νοημοσύνης είναι απαραίτητες για τη δημιουργία ενός δυναμικού συστήματος παρακολούθησης και πρόβλεψης για τις τιμές της αγοράς υλικών, αποτρέποντας, έτσι, τους λειτουργικούς κινδύνους όσο το δυνατόν περισσότερο και βελτιώνοντας την απόδοση του έργου στο πλαίσιο της σύμβασης.

Σε αυτή τη μελέτη, κατά τη διαδικασία της δοκιμής του συστήματος αποθήκευσης δεδομένων, επιλέγονται τρεις φυσικές μηχανές ως κύριοι πράκτορες κόμβοι για την υλοποίηση της συναινετικής λειτουργίας των κατανεμημένων δεδομένων στο επίπεδο της συναίνεσης της ΤΚΕ. Το συστημικό μοντέλο δοκιμής φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αρχικά, μετά την ανάπτυξη της πρώτης φυσικής μηχανής, ελέγχονται οι μονάδες του επιπέδου εφαρμογής και του επιπέδου δεδομένων. Στη συνέχεια, η δεύτερη και η τρίτη φυσικές μηχανές αναπτύσσονται ταυτόχρονα. Στο επίπεδο συναίνεσης, η κάθε μία φυσική μηχανή χρησιμοποιεί τη βάση δεδομένων MySQL και η μορφή κωδικοποίησης είναι utf – 8. Ένας πίνακας δεδομένων που ονομάζεται consensus_block δημιουργείται για την αποθήκευση δεδομένων της ΤΚΕ. Ο χρονοδρομολογητής (scheduler) ξεκινά να εκτελεί το χρονοπρογραμματισμένο πρόγραμμα και ο κόμβος υπηρεσίας λειτουργεί συγχρονισμένα σε κάθε φυσική μηχανή. Η αρχική σελίδα του επιπέδου εφαρμογής περιμένει τις λειτουργίες του χρήστη και υποβάλλει το αίτημα των δεδομένων. Το πίσω κομμάτι του προγράμματος ανταποκρίνεται στο αίτημα για επεξεργασία, αλληλεπιδρά με το επίπεδο δεδομένων και επιστρέφει το αποτέλεσμα στο χρήστη.

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουν τα αποτελέσματα του παραπάνω τεχνικού έργου. Όπως, ήδη έχει αναφερθεί, το συγκεκριμένο τεχνικό έργο πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο της επαρχίας Γκουανγκντόνγκ της Κίνας και συνδύασε τις τεχνολογίες της μεσαίας υπηρεσίας της τεχνητής νοημοσύνης, της ΤΚΕ και της τεχνολογίας του BIM. Πιο συγκεκριμένα, ως έργο επιλέχθηκε το εργοτάξιο που βρισκόταν μέσα σε αυτό το πανεπιστήμιο. Το έργο κάλυπτε έκταση 5,9 εκτάρια – στρέμματα (ha), δηλαδή 59.000 m², με συνολική επιφάνεια κατασκευής 22.314 m² (συμπεριλαμβανομένων 12.011 m² αιθουσών διδασκαλίας και εργαστηρίων, 6.350 m² καθιστικών χώρων, 420 m² εναέριων διαδρόμων, και 3.533 m² υπογείων χώρων στάθμευσης), και στο έργο είχε οριστεί σύμβαση συνολικής διάρκειας 195 ημέρες. Ο ιδιοκτήτης του έργου ήταν το ίδιο το σχολείο. Ως εκ τούτου, η καθυστέρηση στην περίοδο κατασκευής θα επηρέαζε την εγγραφή των φοιτητών και θα προκαλούσε μια σειρά από προβλήματα.



Σχήμα 3.9 Δοκιμαστικό μοντέλο συστήματος αποθήκευσης δεδομένων (Li, W. κ.ά. 2021).

Προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το έργο θα ολοκληρωθεί και θα παραδοθεί εντός της περιόδου της σύμβασης με εγγυημένη ποιότητα και ποσότητα, όλοι οι συμμετέχοντες θα έπρεπε να συνεργαστούν αποτελεσματικά, να αποφύγουν αλλαγές, να δουλέψουν στο μέγιστο βαθμό και να εγγυηθούν την ολοκλήρωση του έργου εντός του χρονοδιαγράμματος. Λόγω του μεγάλου όγκου του έργου, η εφαρμογή παραδοσιακών μεθόδων διαχείρισης έργου ήταν πιθανόν να οδηγήσει σε κακή ποιότητα που προκαλείται από σκληρή διαχείριση και καθυστέρηση στην περίοδο κατασκευής. Επομένως, η μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης θα συνέλεγε πληροφορίες προόδου, κόστους και ποιότητας για κάθε σύνδεσμο στη διαδικασία κατασκευής, καθώς και εξωτερικούς παράγοντες όπως τις καιρικές συνθήκες, τις επιδημίες, τις αλλαγές στους νόμους και τις πολιτικές, αλλά και άλλους παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν το έργο. Σε αυτή τη βάση, το σύστημα δυναμικής παρακολούθησης και πρόβλεψης των τιμών της αγοράς των υλικών μπορεί να μάθει τις πληροφορίες των τιμών κατ'ευθείαν κατά τη διαδικασία κατασκευής. Η εξόρυξη με βάση τις προηγούμενες πληροφορίες τιμών και ο καθορισμός της σχέσης μεταξύ ιστορικών διακυμάνσεων τιμών και έκτακτης ανάγκης μπορεί να παρέχει έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης και συγκεκριμένα στοιχεία σε περίπτωση διαφωνιών στις τιμές. Επιπλέον, η ΤΚΕ μπορεί να ανιχνεύσει τις πηγές δεδομένων για τη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και των συμβάσεων κατασκευής, η οποία παρέχει μια πιο χρήσιμη μέθοδο διαχείρισης για τη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας της διαχείρισης του έργου και της κατασκευής.

3.5.3 Αποτελέσματα

3.5.3.1 Δοκιμή αποθήκευσης στη μεσαία υπηρεσία

Η μπροστινή σελίδα του επιπέδου εφαρμογής περιμένει το χρήστη για να υποβάλει αίτημα δεδομένων. Η πίσω σελίδα είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία και την απάντηση αυτού του αιτήματος. Ταυτόχρονα, αλληλεπιδρά με το επίπεδο δεδομένων και επιστρέφει το αποτέλεσμα στο χρήστη. Τα αποτελέσματα της δοκιμής της λειτουργίας κάθε ενότητας πριν από την εκτέλεση του συστήματος φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Κάθε ενότητα της δομής των τριών επιπέδων στο σύστημα έχει περάσει τη δοκιμή.

Σχετικό Επίπεδο Συστήματος	Μονάδα Ενότητας	Αποτελέσματα Δοκιμής
Επίπεδο δεδεμένων	Πλαίσιο σύνδεση βάσης δεδομένων	Πέρασε
	Πλαίσιο δημιουργίας πίνακα δεδομένων	Πέρασε
	Πλαίσιο προσθήκης φύλλου δεδομένων	Πέρασε
	Πλαίσιο ερωτήματος στον πίνακα δεδομένων	Πέρασε
Επίπεδο Εφαρμογής	Αλγόριθμος δημιουργίας κωδικού πρόσβασης	Πέρασε
	Δημιουργία ζεύγους δημόσιου – ιδιωτικού κλειδιού	Πέρασε
	Δημιουργία κατακερματισμένων δεδομένων	Πέρασε
	Δεδομένα κωδικοποίησης / αποκωδικοποίησης	Πέρασε
	Σελίδα φόρμας αιτήματος δεδομένων	Πέρασε
Επιπέδου Συναίνεσης	Κόμβος επικοινωνίας	Πέρασε
	Χρονοδιακόπτης	Πέρασε
	Σειριοποίηση δεδομένων	Πέρασε
	Προγραμματισμός κόμβων	Πέρασε

Πίνακας 4.1 Αποτελέσματα λειτουργικών δοκιμών (Li, W. κ.ά. 2021).

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι το μοντέλο έχει καλά αποτελέσματα στα επίπεδα δεδομένων, εφαρμογής και συναίνεσης. Ως εκ τούτου, το σύστημα έχει επαρκή χωρητικότητα για την αποθήκευση πληροφοριών, διασφαλίζοντας έτσι τις επακόλουθες εργασίες διαχείρισης.

3.5.3.2 Ανάλυση εφαρμογής με συναίνεση ΤΚΕ

Δεδομένου ότι ορισμένα δεδομένα ενδέχεται να παραβιαστούν κατά τη μετάδοση και την καταγραφή, είναι απαραίτητη η περαιτέρω χρήση της ΤΚΕ για να διασφαλιστεί η ακεραιότητα των δεδομένων κατά την εισαγωγή, την επεξεργασία και την εξαγωγή.

Πράγματι, εκτός από τη διαχείριση της επιχείρησης, οι υπάλληλοι του έργου θα αξιολογηθούν και θα διοριστούν. Η λίστα διαχείρισης των αρχείων του προγράμματος δε θα δημιουργήσει άμεσα οφέλη από το έργο. Επομένως, η αντίστοιχη απόδοση είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί. Κατά συνέπεια, δεν μπορεί να είναι ο δείκτης αξιολόγησης για τους σχετικούς εργαζομένους. Τα περισσότερα από τα έγγραφα του προγράμματος συμπληρώθηκαν μετά την ολοκλήρωση του έργου και έγιναν αποδεκτά για αυτό το τεχνικό έργο του πανεπιστημίου. Όμως, η κατασκευή διέρκησε μισό χρόνο, κατά συνέπεια ορισμένα υλικά είναι δύσκολο να συμπληρωθούν και να διορθωθούν, γεγονός που κάνει τις διαδικασίες ολοκλήρωσης να είναι αδύνατες μετά την ολοκλήρωση του έργου. Ως αποτέλεσμα, οι μαθητές δεν μπορούν να εισέλθουν έγκαιρα στο σχολείο.

Η επιρροή των αρχείων του προγράμματος δεν είναι εμφανής και η σπουδαιότητά της, συνήθως, δεν εντοπίζεται. Ωστόσο, μόλις διαπιστωθεί η επιρροή των αρχείων του προγράμματος, μπορεί να προκληθεί μια πιο σημαντική αρνητική επίδραση. Επομένως, σε αυτό το έργο, χρησιμοποιώντας τη μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης για τη διαχείριση της υλοποίησης, το τμήμα υλοποίησης έργου ανεβάζει τα αρχεία του προγράμματος στη μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης σύμφωνα με τη λίστα των επιδόσεων. Η μεσαία υπηρεσία τα επεξεργάζεται, τα ελέγχει και διαβιβάζει τα έγγραφα που δε συμμορφώνονται στο έργο στα νομικά τμήματα για αξιολόγηση. Επίσης, τα αποτελέσματα θα διαβιβαστούν στα τμήματα ανθρωπίνου δυναμικού και οικονομικών. Κατά συνέπεια, αυτά τα έγγραφα του προγράμματος θα αποτελέσουν ένα από τα μελλοντικά κριτήρια αξιολόγησης. Αυτή τη στιγμή, η ΤΚΕ μπορεί να εγγυηθεί την αυθεντικότητα και την ασφάλεια των δεδομένων, παρέχοντας μία βάση για έρευνες δεδομένων, διαχείριση ανθρωπίνων πόρων και οικονομικών υποθέσεων που σχετίζονται με τις επιχειρήσεις στο μέλλον.

3.5.3.3 Ανάλυση εφαρμογών με ΤΚΕ και BIM

Όπως έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο κεφάλαιο, η τεχνολογία BIM χρησιμοποιήθηκε στο τεχνικό έργο του πανεπιστημίου, σε συνδυασμό με την ΤΚΕ, το λογισμικό κόστους και το σύστημα ERP (Enterprise Resource Planning) για τη συλλογή δεδομένων κόστους κατά την κατασκευή του έργου.

Το σύστημα ERP ή αλλιώς το σύστημα επιχειρησιακού σχεδιασμού είναι ένα σύστημα λογισμικού, το οποίο είναι επιφορτισμένο με το να διαχειρίζεται όλες τις λειτουργίες της επιχείρησης, με απώτερο σκοπό την αύξηση της απόδοσης της επιχείρησης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ορθολογική οργάνωση και αξιοποίηση δεδομένων και πόρων της, για παράδειγμα ανθρωπίνου δυναμικού, υλικού, οικονομικών πόρων κτλ.

Τα δεδομένα της πλατφόρμας του BIM μπορούν να συνδυαστούν με τη μεσαία υπηρεσία της τεχνητής νοημοσύνης για να ενσωματώσουν τα δεδομένα πληροφοριών με τα αρχεία της διαχείρισης της μεσαίας υπηρεσίας, ανταλλάσσοντας και συνδέοντας, έτσι, τα δεδομένα του λογισμικού κόστους και του συστήματος ERP. Τα δεδομένα κόστους του έργου συμπεριλαμβάνουν διάφορους συμμετέχοντες στο τεχνικό έργο, όπως σχεδιαστές, κατασκευαστές, διαχειριστές εργοταξίου και προσωπικό κόστους συμβάσεων. Μόνο με τη σύνδεσή τους με τακτοποιημένο και απρόσκοπτο τρόπο μπορεί το σύστημα BIM να παρακολουθεί πραγματικά το κόστος κατασκευής του έργου.

Κατά την παρακολούθηση της προόδου και του κόστους του έργου, αναλύονται οι αποκλίσεις κόστους μέσω χρονοδιαγράμματος. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Δείκτες	Πραγματικά αποτελέσματα	Αποτελέσματα υιοθετώντας την ΤΚΕ και BIM
Διακύμανση κόστους (ΔΚ)	-31.400	-20.100
Διακύμανση χρονοδιαγράμματος (ΔΧ)	-103.300	-76.500
Δείκτης απόδοσης κόστους (ΔΑΚ)	1,13	1,01
Δείκτης απόδοσης χρονοδιαγράμματος (ΔΑΧ)	0,43	0,98

Πίνακας 4.2 Ανάλυση δεικτών ΤΚΕ και BIM (Li, W. κ.ά. 2021).

Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ότι εάν το έργο δεν υιοθετήσει αυτές τις δύο τεχνολογίες, το πραγματικό κόστος και τα έξοδα που θα πραγματοποιηθούν θα υπερβούν τα προβλεπόμενα έξοδα στον προϋπολογισμό και η συνολική πρόοδος των εργασιών του έργου θα καθυστερήσει.

Κατά συνέπεια, οι ώρες εργασίας που θα καταναλωθούν θα υπερβούν τις προγραμματισμένες ώρες εργασίας. Εξάλλου, το πραγματικό κόστος που θα πραγματοποιηθεί θα είναι υψηλότερο από τις υπολογισμένες δαπάνες και οι πραγματικές ώρες εργασίας που θα καταναλωθούν θα είναι μεγαλύτερες από τις προγραμματισμένες ώρες εργασίας. Σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της χρήσης των ΤΚΕ και BIM, τα κόστη και η διακύμανση χρονοδιαγράμματος (ΔΧ) έχουν βελτιωθεί, μειώνοντας τη διακύμανση. Όσον αφορά, το δείκτη απόδοσης κόστους (ΔΑΚ) και το δείκτη απόδοσης χρονοδιαγράμματος (ΔΑΧ), το πραγματικό κόστος που προκύπτει είναι χαμηλότερο από το υπολογισμένο κόστος και οι πραγματικές ώρες εργασίας που δαπανήθηκαν είναι πιο σημαντικές από τις προγραμματισμένες ώρες εργασίας. Ωστόσο, συνολικά ο δείκτης που προκύπτει μετά την υιοθέτηση των τεχνολογιών είναι βελτιωμένος σε σύγκριση με τα προηγούμενα αποτελέσματα. Ένας πιθανός λόγος είναι ότι τα δεδομένα γίνονται πιο ακριβή μετά την υιοθέτηση των τεχνολογιών και η πληρότητα και η ακρίβεια των δεδομένων μπορεί να είναι εγγυημένη κατά τις διαδικασίες εισαγωγής, επεξεργασίας και εξαγωγής (Li, W. κ.ά. 2021).

3.6 BIM και ΤΚΕ για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίου

Σε αυτήν την ενότητα, θα διερευνηθούν οι πιθανοί ρόλοι μίας ολοκληρωμένης προσέγγισης του BIM και της ΤΚΕ για τη βιώσιμη διαχείριση πληροφοριών σχεδιασμού κτιρίων. Θα παρουσιαστεί η πρώτη προσπάθεια χρήσης του BIM με τη βοήθεια της ΤΚΕ για βιώσιμο συντονισμό και συνεργασία σχεδιασμού κτιρίων σε πολλαπλά στάδια κατασκευής. Μια καινοτόμος βελτιωμένη διαδικασία συναλλαγών που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ στο BIM απαιτείται για τη βιωσιμότητα των κτιρίων. Οι ρόλοι ενός συστήματος έξυπνων συμβάσεων της ΤΚΕ που βρίσκεται στο επίπεδο χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση του συστήματος BIM στη διαδικασία βιώσιμων κτιρίων. Ο ρόλος της ΤΚΕ είναι, κυρίως, σε επίπεδο χρήστη καθοδηγούμενο από τις έξυπνες συμβάσεις. Αποκαλύπτεται μια ΤΚΕ που καθοδηγείται από το επίπεδο χρήστη, το οποίο είναι τα ενδιαφερόμενα μέρη του BIM για να πραγματοποιήσουν συναλλαγές στη ροή διεργασιών του BIM, και το επίπεδο χρήστη, το οποίο είναι τα ενδιαφερόμενα μέρη ή οι πελάτες του BIM που συμμετέχουν σε ένα έργο σχεδίασης βιώσιμων κτιρίων, και η έξυπνη σύμβαση που προκύπτει από την αρχιτεκτονική του BIM και της ΤΚΕ μπορεί να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις του BIM για βιώσιμο σχεδιασμό. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστεί μια εννοιολογική αρχιτεκτονική του BIM και της ΤΚΕ που θα είναι ένα πλαίσιο διαχείρισης πληροφοριών σχεδιασμού βιώσιμου κτιρίου. Αυτή η αρχιτεκτονική που υποστηρίζει τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου στη διαχείριση πληροφοριών, έχει τη δυνατότητα να επιτύχει και να διασφαλίσει την υλοποίηση των στόχων ενός βιώσιμου σχεδιασμού μέσω της διαδραστικής υλοποίησης έξυπνων συμβάσεων ενσωματώνοντας στο σύστημα το BIM και την

ΤΚΕ που βασίζονται στο επίπεδο χρήστη και στη λειτουργία ανταλλαγής αξίας, καταγραφής μέσω τριών επιπέδων, δηλαδή το χρήστη, το σύστημα και τη συναλλαγή.

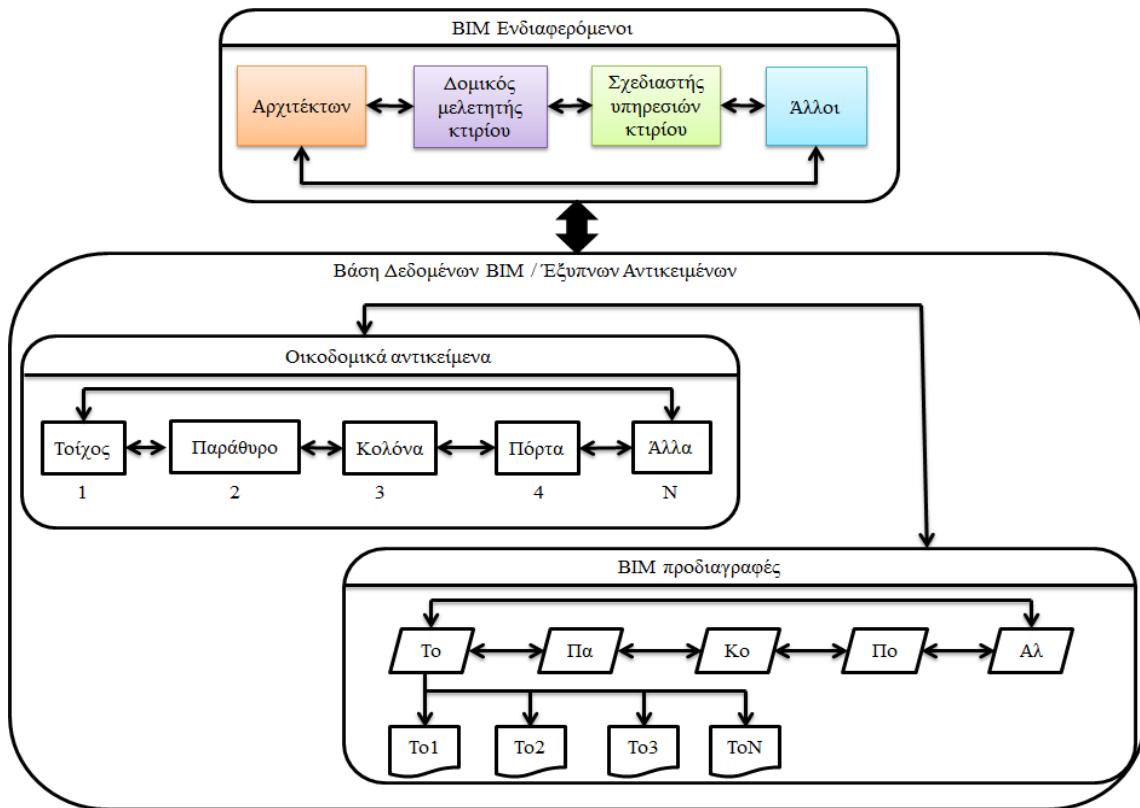
Παρακάτω παρουσιάζονται οι ρόλοι της ΤΚΕ σε επίπεδο χρήστη στο BIM για τη διαχείριση πληροφοριών στο βιώσιμο σχεδιασμό.

3.6.1 Έξυπνη σύμβαση με γνώμονα το χρήστη

Το μοντέλο BIM αποτελείται από έξυπνα αντικείμενα, τα οποία αντιπροσωπεύουν φυσικά στοιχεία, όπως πόρτες και κολόνες, και περικλείουν έξυπνα αντικείμενα. Τα έξυπνα αντικείμενα είναι γνωστά ως σημασιολογικός εμπλουτισμός και ως η ροή δεδομένων μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών του BIM, όπως αρχιτέκτονες, μηχανικοί δομικών και κτιριακών υπηρεσιών. Το παρακάτω σχήμα 3.10 απεικονίζει την αρχιτεκτονική της αλληλεπίδρασης μεταξύ της βάσης δεδομένων BIM και των έξυπνων αντικειμένων που καθοδηγούνται από το επίπεδο χρήστη (BIM stakeholders) και περιέχει προδιαγραφές BIM και αντικείμενα κτιρίου, όπως τους τοίχους, τα παράθυρα, τις κολόνες, τις πόρτες και άλλα αντικείμενα, τα οποία μπορούν να συσχετιστούν στην προδιαγραφή BIM με δύο επίπεδα. Για παράδειγμα, στα δεδομένα βλέπουμε: Τοίχος (Το), Παράθυρο (Πα), Κολόνα (Κο), Πόρτα (Πο) και Άλλα (Αλ) και στις προδιαγραφές εγγράφου βλέπουμε: Το1, Το2, Το3 και ΤοN.

Ένας από τους πιο σημαντικούς ρόλους της ΤΚΕ είναι η προσέγγιση έξυπνων συμβάσεων. Μία έξυπνη σύμβαση είναι ένα πρόγραμμα υπολογιστή που εφαρμόζεται με την αρχή εάν / τότε (if / then). Για παράδειγμα, απαιτείται επιθεώρηση, εάν ο αρχιτέκτων ή ο δομικός μηχανικός σχεδιάζει έναν τοίχο χρησιμοποιώντας BIM. Εάν ο υπεύθυνος για την επιθεώρηση συμφωνεί ότι πληροί μια αποδεκτή ποιότητα, τότε ο αρχιτέκτων ή ο κατασκευαστής μηχανικός θα πληρωθεί. Στην περίπτωση της ΤΚΕ, η οποία μπορεί να υποθηκευθεί σε κρυπτονομίσματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν έξυπνες συμβάσεις. Η ΤΚΕ είναι ασφαλής, επειδή η κρυπτογραφία χρησιμοποιείται στην ΤΚΕ για την αποθήκευση συναλλαγών που αναπαράγονται σε πολλούς διακομιστές/υπολογιστές σε όλο τον κόσμο. Οπότε καθοδηγείται από το επίπεδο χρήστη (ενδιαφερόμενοι BIM) για συναλλαγές στη ροή διεργασιών BIM, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.11, στο οποίο τα στοιχεία σχεδίασης κτιρίου/ζητήματα για τη συναλλαγή προς τους ενδιαφερόμενους φορείς BIM είναι μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών BIM, τον επεξεργαστή της ΤΚΕ που διευκολύνεται από την κρυπτογραφία της έξυπνης σύμβασης και της βάσης δεδομένων BIM/Έξυπνα αντικείμενα, ενισχυμένη από την τεκμηρίωση/προδιαγραφή του BIM που ενεργοποιείται από το κρυπτονομίσμα της κρυπτογραφίας. Ο συνδυασμός BIM με την ΤΚΕ μπορεί, επίσης, να διευκολύνει τη χρήση έξυπνων συμβάσεων, ενός ηλεκτρονικού πρωτοκόλλου συναλλαγών που έχει σχεδιαστεί για την

επιβολή των όρων του έργου, αντικαθιστώντας την αμοιβαία εμπιστοσύνη σε τρίτους «μεσάζοντες».



Σχήμα 3.10 Αρχιτεκτονική αλληλεπίδρασης (Liu κ.ά, 2019).

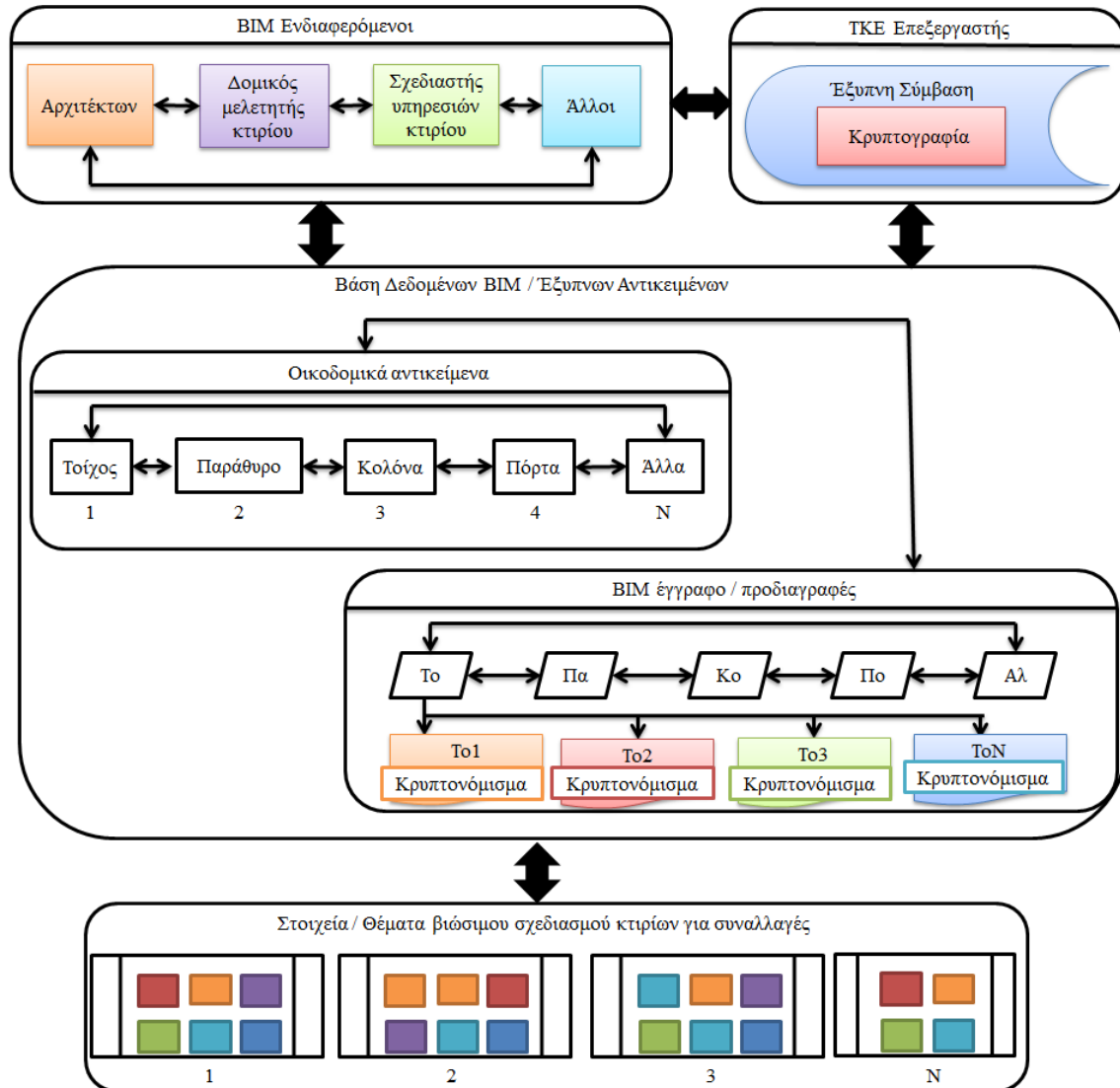
Η έξυπνη σύμβαση επέτρεψε στο BIM να αντιμετωπίσει τις πιθανές προκλήσεις που εμφανίζει στο βιώσιμο σχεδιασμό. Σε όλη τη φάση της κατασκευής, με τη χρήση έξυπνων συμβάσεων για τη διαπραγμάτευση των αδειών επεξεργασίας και της αποθήκευσης αμετάβλητων κοινών εγγράφων τροποποίησης, η ΤΚΕ μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα κατάλληλο εργαλείο για τη διαχείριση και την τεκμηρίωση αλλαγών στα μοντέλα BIM.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.12, η έξυπνη σύμβαση με δυνατότητα ΤΚΕ και BIM λύνει τέλεια τις τέσσερις από τις πιθανές προκλήσεις του BIM για βιώσιμο σχεδιασμό:

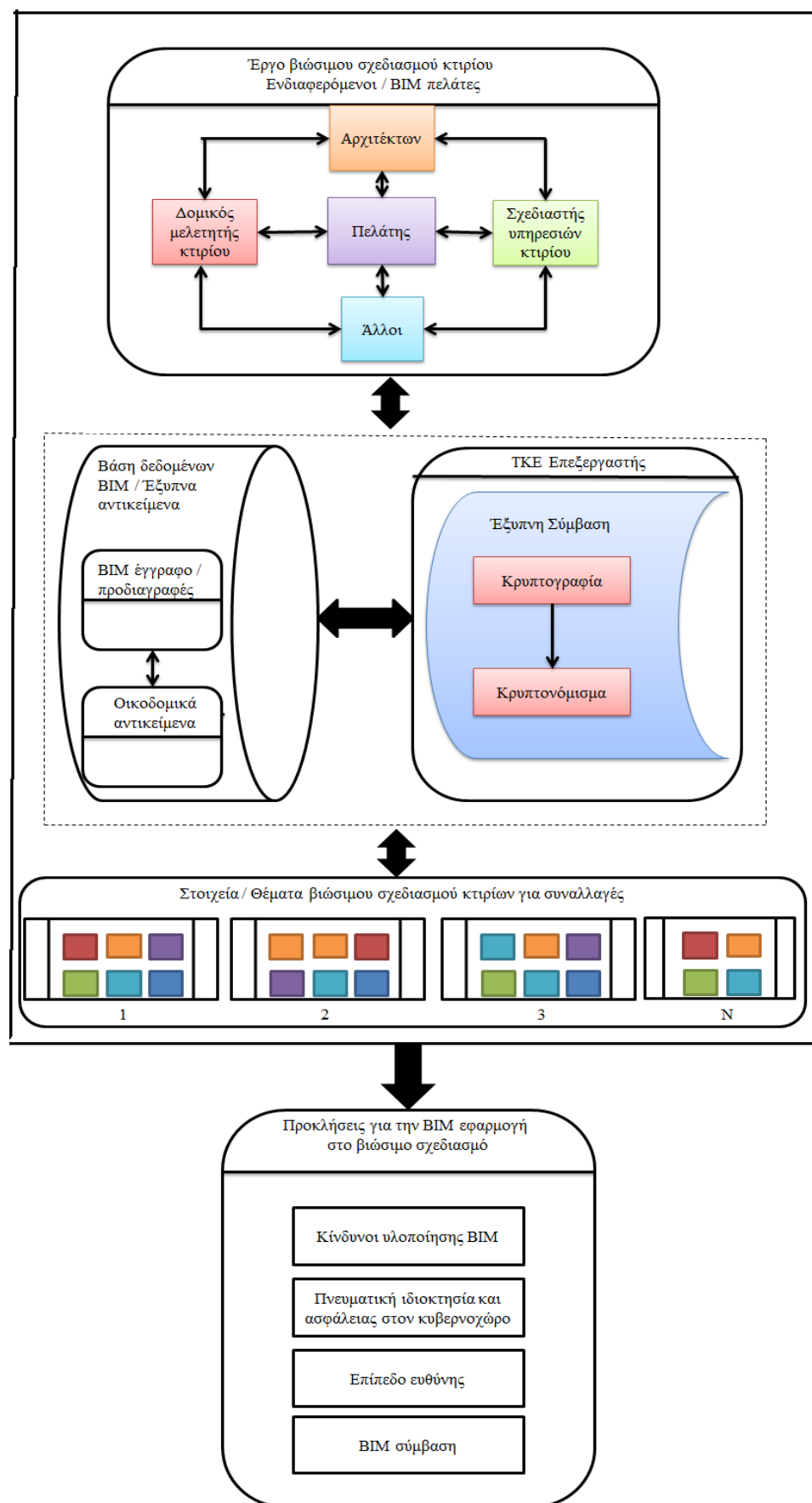
- 1) τεχνικοί, διαχειριστικοί, περιβαλλοντικοί, οικονομικοί και νομικοί κινδύνοι,
- 2) πνευματική ιδιοκτησία και ασφάλεια στον κυβερνοχώρο,
- 3) επίπεδο ευθύνης μεταξύ διαφορετικών ομάδων μελών του έργου και
- 4) μια νέα μορφή σύμβασης σχετικά με τις ευθύνες, τους περιορισμούς και τις υποχρεώσεις BIM.

Η έξυπνη σύμβαση επέτρεψε τη ροή διεργασιών της ΤΚΕ και του BIM να αντιμετωπίσει τις πιθανές προκλήσεις του BIM για βιώσιμο σχεδιασμό. Οπότε δομείται σε μια ροή από πάνω προς

τα κάτω που καθοδηγείται από ενδιαφερόμενους φορείς βιώσιμου σχεδιασμού κτιρίων/πελάτες BIM, όπως τον πελάτη, τον αρχιτέκτονα, το σχεδιαστή κτιρίων, το σχεδιαστή υπηρεσιών κτιρίων και τους άλλους επαγγελματίες και μέσω της διαδικασίας της ΤΚΕ για συναλλαγή στο BIM. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.11.



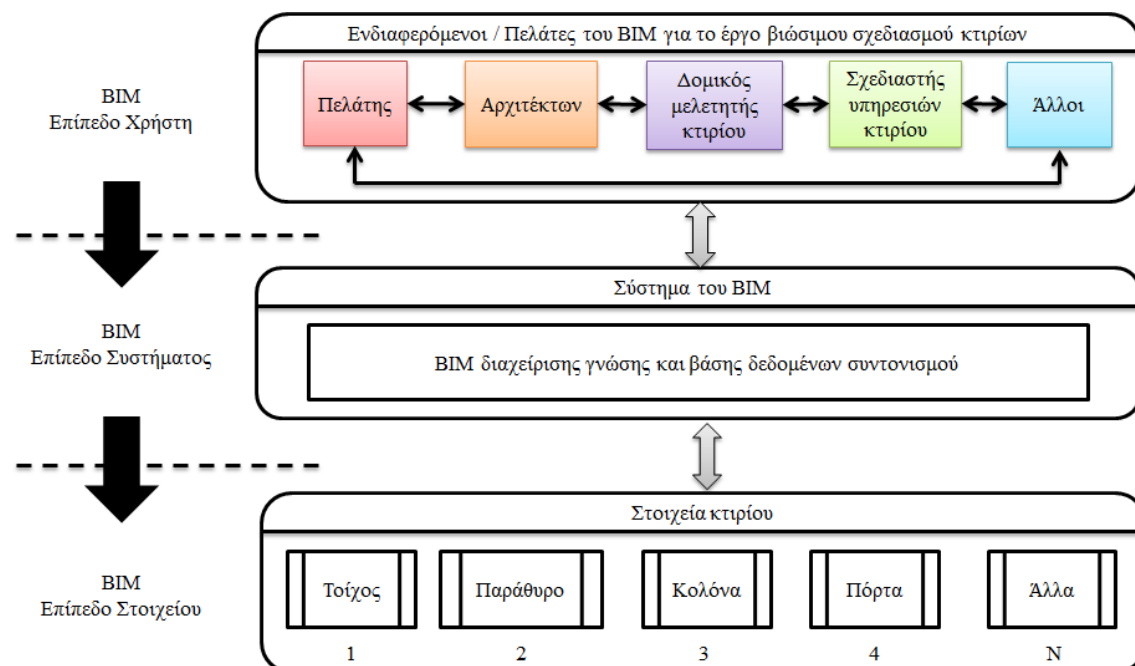
Σχήμα 3.11 Το επίπεδο χρήστη με ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).



Σχήμα 3.12 Έργο βιώσιμου σχεδιασμού κτιρίου, ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).

3.6.2 Εννοιολογική αρχιτεκτονική

Σε αυτήν την ενότητα, θα παρουσιαστεί η εννοιολογική αρχιτεκτονική της συναλλαγής των έξυπνων συμβάσεων, η οποία αποτελεί συνδυασμό της εφαρμογής του BIM και της ΤΚΕ με σκοπό το βιώσιμο σχεδιασμό των κτιρίων. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε πώς είναι το σύστημα του BIM με γνώμονα το επίπεδο χρήστη για το βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων στη διαχείριση πληροφοριών της διαχείρισης έργων κατασκευής κτιρίων.

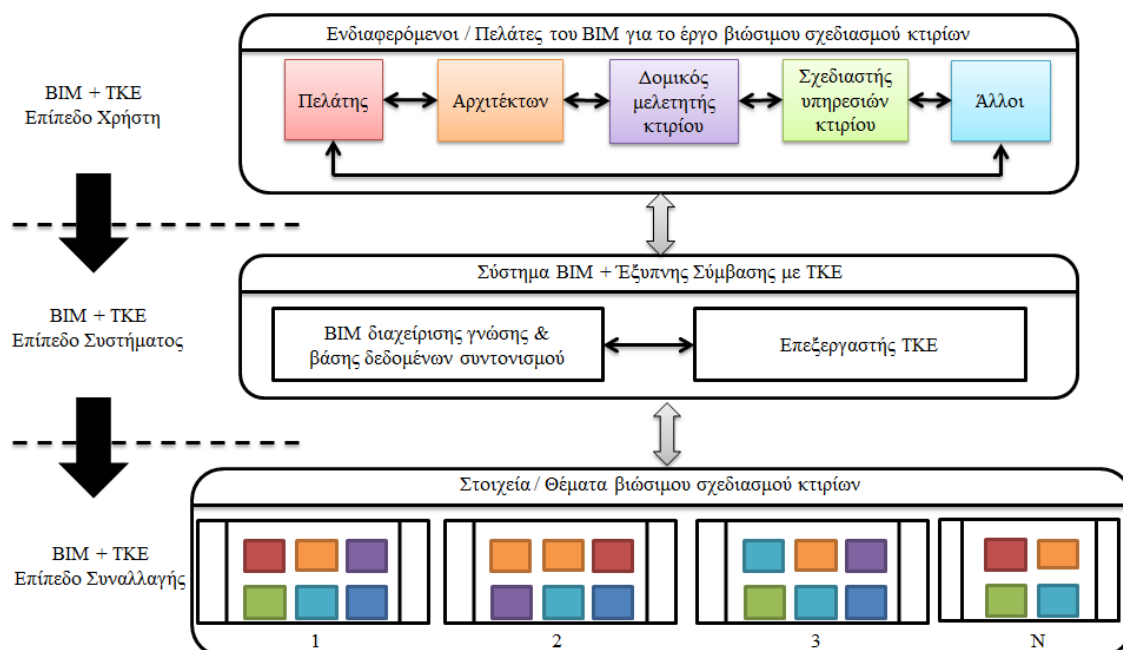


Σχήμα 3.13 Σύστημα BIM για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων (Liu κ.ά, 2019).

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε πως μπορεί να αλλάξει το παραπάνω σχήμα, χρησιμοποιώντας την ΤΚΕ. Επομένως, είναι η εννοιολογική αρχιτεκτονική των συναλλαγών των έξυπνων συμβάσεων μέσω του BIM και της ΤΚΕ που βασίζονται στο επίπεδο χρήστη για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων στη διαχείριση πληροφοριών που πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της διαχείρισης έργων κατασκευής κτιρίων.

Αυτό το προσχέδιο του BIM και της ΤΚΕ για το πλαίσιο βιώσιμης σχεδίασης δίνει έμφαση στις ευθύνες και τις αξίες που αντιμετωπίζονται σε μορφή έξυπνης σύμβασης σε επίπεδο συστήματος μέσω ανταλλαγής πληροφοριών, επικοινωνίας και συντονισμού σε επίπεδο χρήστη, για παράδειγμα, μέσω της διαχείρισης γνώσεων του BIM και της βάσης δεδομένων συντονισμού που ενσωματώνονται με τον επεξεργαστή της ΤΚΕ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο επιπέδων μεταβιβάζεται και αλληλεπιδρά με το επίπεδο συναλλαγής με σκοπό τις συναλλαγές και την ασφάλεια των υπευθύνων, αλλά και την αξία για στοιχεία βιώσιμου

σχεδιασμού όπως τα δομικά υλικά, η ενέργεια και το νερό για την επίτευξη και την εξασφάλιση βιώσιμων στόχων (Liu κ.ά, 2019).



Σχήμα 3.14 Εννοιολογική αρχιτεκτονική μέσω ΤΚΕ και BIM (Liu κ.ά, 2019).

3.6.3 Αποτελέσματα

Σε αυτό το Υποκεφάλαιο θα δούμε ότι η πρόταση συνεργασίας της ΤΚΕ και του BIM που βασίζεται στο επίπεδο χρήστη για το βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων έγινε αποδεκτή.

Το προσχέδιο που βασίζεται στο επίπεδο χρήστη του BIM και της ΤΚΕ για το Πλαίσιο Διαχείρισης Πληροφοριών Βιώσιμου Σχεδιασμού Κτιρίων που είδαμε στο Σχήμα 3.14 παρουσιάστηκε στο συνέδριο SBTA 2019 που πραγματοποιήθηκε στο πανεπιστήμιο του Χονγκ Κονγκ και επικυρώθηκε από εμπειρογνώμονες του κλάδου και ακαδημαϊκούς στο Συμπόσιο 2019 για την Τεχνολογία και την Εφαρμογή της ΤΚΕ στο Χονγκ Κονγκ. Οι ειδικοί και οι ακαδημαϊκοί πρότειναν ότι η περαιτέρω λεπτομερής επεξήγηση του σχεδίου πλαισίου μπορεί να βοηθήσει στη σαφή κατανόηση της προτεινόμενης προσέγγισης σε ένα ευρύτερο κοινό. Επομένως, τα ακόλουθα στοιχεία έχουν προστεθεί για τη βελτίωση του Πλαισίου:

- 1) Η αρχιτεκτονική της αλληλεπίδρασης μεταξύ της βάσης δεδομένων BIM/Έξυπνων αντικειμένων που βασίζεται στο επίπεδο χρήστη, ενδιαφερόμενα μέρη BIM, απεικονίζεται στο Σχήμα 3.10.
- 2) Το Σχήμα 3.11 χρησιμοποιείται για περαιτέρω επεξήγηση της ΤΚΕ που βασίζεται στο επίπεδο χρήστη (ενδιαφερόμενα μέρη BIM) για συναλλαγές στη ροή διεργασιών BIM.

- 3) Το Σχήμα 3.12 αποτελεί τη βάση του επιπέδου χρήστη για το έργο του βιώσιμου σχεδιασμού κτιρίου με γνώμονα τα ενδιαφερόμενα μέρη/πελάτες BIM και την έξυπνη σύμβαση που επέτρεψε στην αρχιτεκτονική της ΤΚΕ και του BIM να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις του BIM για βιώσιμο σχεδιασμό.

Μέχρι σήμερα, ο βιώσιμος σχεδιασμός στοχεύοντας τη βιώσιμη ανάπτυξη αντιμετωπίζει προκλήσεις όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος στον κατασκευαστικό κλάδο. Η ανάπτυξη των έξυπνων ψηφιακών τεχνολογιών, όπως το BIM και η ΤΚΕ, φέρνει άμεσα οφέλη στον κλάδο. Ωστόσο, η κύρια εφαρμογή του BIM και της ΤΚΕ για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων και η διαδικασία κατασκευής εστιάζει στην εφαρμογή της έξυπνης διαχείρισης ενέργειας και της έξυπνης διαχείρισης των τεχνικών έργων, με λίγη προσοχή στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που εμφανίζονται από την εφαρμογή του BIM στο βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων και στην πρόταση στρατηγικών για βιώσιμους στόχους, κάτι που είναι απαραίτητο για την ενσωμάτωση της ΤΚΕ και του BIM που απαιτεί ο βιώσιμος σχεδιασμός κτιρίων για να ληφθεί υπόψη ο ρόλος των χρηστών που είναι οι βασικοί πρωταγωνιστές της ΤΚΕ για τη διαχείριση τεχνικών έργων.

Παραπάνω πραγματοποιήθηκε μία πρώτη προσπάθεια παρουσίασης της χρήσης BIM που υποστηρίζεται από την ΤΚΕ για βιώσιμο συντονισμό σχεδιασμού κτιρίων και συνεργασία σε πολλαπλά στάδια του κύκλου ζωής του κτιρίου. Η ΤΚΕ έχει τη δυνατότητα να λύσει προκλήσεις που εμποδίζουν τη χρήση του BIM για βιώσιμο σχεδιασμό κτιρίων. Αυτό περιλαμβάνει;

- 1) τεχνικούς, διαχειριστικούς, περιβαλλοντικούς, οικονομικούς και νομικούς κινδύνους,
- 2) πνευματική ιδιοκτησία και ασφάλεια στον κυβερνοχώρο,
- 3) επίπεδο ευθύνης μεταξύ διαφορετικών μελών της ομάδας έργου και
- 4) μια νέα μορφή σύμβασης σχετικά με τις ευθύνες, τους περιορισμούς και τις υποχρεώσεις BIM και
- 5) την ανάπτυξη ολοκληρωμένων και σαφών στρατηγικών επαναχρησιμοποίησης και υιοθέτησης για μοντέλα BIM.

Οι δυνατότητες της ΤΚΕ έχουν παρουσιαστεί παραπάνω. Οπότε απαιτείται μια καινοτόμος διαδικασία συναλλαγών με ενισχυμένη την ΤΚΕ στο BIM για τη βιώσιμη ανάπτυξη κτιρίων. Ο ρόλος ενός συστήματος έξυπνων συμβολαίων ΤΚΕ με γνώμονα το επίπεδο χρήστη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση του συστήματος BIM στη διαδικασία βιώσιμων κτιρίων. Ο ρόλος του είναι πρωτίστως στον πυρήνα των έξυπνων. Στη συνέχεια, προτάθηκε, επικυρώθηκε και τελειοποιήθηκε μια εννοιολογική αρχιτεκτονική συναλλαγών έξυπνων συμβάσεων ΤΚΕ και BIM για πλαίσιο βιώσιμου σχεδιασμού κτιρίων στη διαχείριση πληροφοριών, διαχείρισης έργων κατασκευής κτιρίων. Αυτή η αρχιτεκτονική που υποστηρίζει τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου

στη διαχείριση πληροφοριών, έχει τη δυνατότητα να επιτύχει και να διασφαλίσει την υλοποίηση στόχων βιώσιμου σχεδιασμού μέσω της διαδραστικής υλοποίησης έξυπνων συμβάσεων ενσωματωμένων στο σύστημα ΤΚΕ και ΒΙΜ που βασίζεται στο επίπεδο χρήστη μέσω τριών επιπέδων που καθοδηγούνται από τον χρήστη, δηλαδή χρήστη, σύστημα και συναλλαγή. Η μελλοντική έρευνα πρέπει να αξιολογήσει περαιτέρω και να αναλύσει λεπτομερώς την προτεινόμενη αρχιτεκτονική και να αναπτύξει ένα σύνολο πρακτικού πλαισίου που να λειτουργεί από το σχεδιαστή που θα καλύπτει ολόκληρη τη φάση σχεδιασμού (Liu κ.ά, 2019).

3.7 Υπάρχουσες μελέτες που βασίζονται στην ΤΚΕ και στη διαχείριση τεχνικών έργων

Σε αυτήν την ενότητα θα δούμε ορισμένες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί και εστιάζουν στην εφαρμογή της ΤΚΕ στη διαχείριση των έργων στο κλάδο της βιομηχανίας. Η εφαρμογή, όμως, της ΤΚΕ εκεί, προϋποθέτει ότι συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της ΤΚΕ ακόμη και η λειτουργικότητα των έξυπνων συμβάσεων είναι εφαρμόσιμα σε μία σύνθετη, πολυπρακτική και μερικές φορές στρωματοποιημένη διαχείριση τεχνικών έργων. Οι Turk και Klinc (Turk & Klinc, 2017) προτείνουν τα συστήματα που βασίζονται στην ΤΚΕ και παρέχουν λύσεις σε πτυχές της διαχείρισης πληροφοριών κατασκευής, καθώς και σε ειδικές υποδομές διαχείρισης πληροφοριών γενικής χρήσης, όπου κι άλλες λύσεις, συστήματα, εργαλεία και τεχνολογίες μπορούν να ενσωματωθούν.

Επίσης, οι Mason και Escott (Mason & Escott, 2018) πραγματοποίησαν μία έρευνα που αφορούσε την αποτελεσματικότητα της ΤΚΕ στον κατασκευαστικό κλάδο, ειδικά σε σχέση με την προτεινόμενη χρήση έξυπνων συμβάσεων στη δημιουργία, διαχείριση και εκτέλεση κατασκευαστικών συμβάσεων. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε με 117 απαντήσεις από όσους εργάζονταν στον κλάδο. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν μια γενική διστακτικότητα υιοθέτησης μίας τεχνολογίας που απομακρύνεται σημαντικά από την ανθρώπινη αλληλεπίδραση. Ο κώδικας που εκτελείται αυτόματα, η αμετάβλητη κωδικοποίηση και η επίλυση διαφορών θεωρήθηκαν όλα ως παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Ενώ η μείωση των επιπέδων ανθρώπινης αλληλεπίδρασης, θεωρήθηκε ως ένας άγνωστος ποσοτικός προσδιορισμός, ειδικά σε μια βιομηχανία που βασίζεται σε ανθρωπιστικά στοιχεία για να διασφαλίσει την ομαλή εκτέλεση σύμβασης ή και την επίλυση των θεμάτων και των διαφορών στο μέσο της σύμβασης. Οι συγγραφείς σημειώνουν ότι οι ανθρώπινες αλληλεπιδράσεις είναι το κλειδί για τον κατασκευαστικό κλάδο, παρέχοντας μηχανισμούς για την οικοδόμηση σχέσεων και αναφέροντας λεπτομερώς το γενικευμένο φόβο ότι η τεχνολογία μπορεί να είναι επιζήμια για τα οφέλη που προκύπτουν από τη δημιουργία επιχειρηματικών ανθρώπινων σχέσεων (Renwick & Tierney, 2020).

3.8 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, δόθηκε η απάντηση γιατί η ΤΚΕ μπορεί να θεωρηθεί σημαντική στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Ποιες είναι οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές τους και πώς αυτές ξεπερνιούνται χρησιμοποιώντας την ΤΚΕ. Η ΤΚΕ, εισάγοντας νέες πλατφόρμες, αποτελεί ένα νέο κύμα συστημάτων διαχείρισης τεχνικών έργων, παρέχοντας στους διαχειριστές μια σειρά χαρακτηριστικών και δυνατοτήτων που θα βοηθήσουν την πρακτική τους, καθώς εμπλέκονται σε όλο και πιο περίπλοκες διαδικασίες στα τεχνικά έργα. Έτσι, βλέπουμε συγκεκριμένες εφαρμογές της ΤΚΕ, στη διαχείριση συμβάσεων, στη διαχείριση της αλυσίδας εφοδιασμού και στη μίσθωση εξοπλισμού. Επίσης, επικεντρωνόμαστε σε δύο συγκεκριμένα τεχνικά έργα.

Στο επόμενο κεφάλαιο, θα δούμε ποια είναι τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε συνολικά τα συμπεράσματα που προκύπτουν με τη χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων και δίνεται η απάντηση εάν είναι τελικά χρήσιμη και ωφέλιμη στους διαχειριστές των τεχνικών έργων. Εκτός, όμως, από αυτό παρουσιάζεται κι η μελλοντική έρευνα που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στην ΤΚΕ.

4.2 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία είδαμε πώς η ΤΚΕ από μία νέα τεχνολογική καινοτομία μπορεί να γίνει ένα επιχειρηματικό εργαλείο, το οποίο να διευκολύνει με ένα δικό του τρόπο τον κλάδο της διαχείρισης των τεχνικών έργων και να παρέχει αποτελεσματικότητα, λογοδοσία και διαφάνεια. Αποδείχθηκαν οι δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας μέσω των παραδειγμάτων που παρουσιάστηκαν σε αυτήν τη διπλωματική εργασία και πώς αυτό το αμετάβλητο κοινό αρχείο μαζί με τις έξυπνες συμβάσεις μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο τις πληρωμές, αλλά και τη διαχείριση των τεχνικών έργων και την προμήθεια των τεχνικών έργων. Ακόμα και τη μελλοντική ανάπτυξη του BIM.

Οι υπεύθυνοι των τεχνικών έργων που χρησιμοποιούν την ΤΚΕ από την αρχή ενός έργου έχουν πολλά οφέλη, γιατί είναι σε θέση να διαχειριστούν τα δεδομένα τους πιο αποτελεσματικά και βιώσιμα, ενώ παράλληλα εξοικονομείται ο χρόνος που θα αφέρωναν για το συντονισμό των δεδομένων, για την επανεξέταση, τις νομικές αξιώσεις, το κόστος ανακάλυψης των πιθανών σφαλμάτων και τη συντήρηση των τεχνικών έργων. Ένα κτίριο που χρησιμοποιεί την ΤΚΕ μπορεί να θεωρηθεί ασφαλές, γιατί έχει τη δυνατότητα ευκολότερης διαχείρισης κινδύνου, αν συμβεί κάτι, και έχει καταχωρημένα όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με αυτό από την αρχική σύλληψη αυτού του έργου μέχρι το πέρας του.

Όπως είναι φυσικό, αυτά τα πλεονεκτήματα έχουν παρακινήσει κι άλλους κλάδους να διερευνήσουν την εφαρμογή της ΤΚΕ. Σύμφωνα με μια πρόσφατη μελέτη της PwC ([PwC Global Blockchain survey, 2018](#)), περίπου το 84% των 600 μεγάλων εταιρειών παγκοσμίως έχουν κάποια ανάμειξη με την ΤΚΕ, για παράδειγμα ασχολούνται με την έρευνα πάνω στην ΤΚΕ, ήδη την εφαρμόζουν ή έστω ασχολούνται πιλοτικά. Η έκθεση εντόπισε ορισμένα από τα κύρια εμπόδια που αντιμετωπίζουν αυτές οι εταιρείες. Το 27% των οργανισμών επέλεξε τη ρυθμιστική αβεβαιότητα ως η πιο σημαντική. Όχι πολύ πίσω, το 25% από αυτές τις εταιρείες

σημείωσαν την έλλειψη εμπιστοσύνης μεταξύ των χρηστών ως την πιο κρίσιμη πρόκληση.

Είναι ενδιαφέρον ότι για το ερώτημα ποιο θα ήταν το μεγαλύτερο εμπόδιο για τα επόμενα τρία με πέντε χρόνια για να υιοθετηθεί η ΤΚΕ, απάντησαν 31% το κόστος, 24% τους προβληματίζει πώς να ξεκινήσουν και 14% την έλλειψη διακυβέρνησης, δηλαδή η έλλειψη ύπαρξης μηχανισμών διακυβέρνησης, ήταν οι κύριες ανησυχίες.

Όμως, προτού αποφασιστεί και ξεκινήσει η υλοποίηση της ΤΚΕ, ο κάθε οργανισμός θα πρέπει να εξετάσει προσεκτικά τις ανάγκες του και να απαντήσει στις παρακάτω ερωτήσεις. Η επιχείρηση για να διαχειριστεί το εκάστοτε τεχνικό της έργο χρειάζεται να χρησιμοποιήσει την ΤΚΕ ή όχι; Η χρήση της ΤΚΕ θα της παράσχει περισσότερα οφέλη ή όχι; Στα προηγούμενα Κεφάλαια 2 και 3 της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μία προσπάθεια ώστε να βοηθήσει τον κύριο του τεχνικού έργου ή το διαχειριστή του τεχνικού έργου να κατανοήσει τα οφέλη της ΤΚΕ και να απαντήσει στις παραπάνω ερωτήσεις.

Τα πιθανά οφέλη της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων συνολικά είναι σημαντικά. Όμως, η εφαρμογή της μπορεί να είναι δαπανηρή, επειδή απαιτεί επένδυση από όλα τα μέρη που εμπλέκονται σε ένα έργο. Εκτός, όμως από αυτό, η εικονική υποδομή που απαιτείται από την ΤΚΕ είναι διαφορετική από την υποδομή που εφαρμόζεται μέχρι σήμερα στη διαχείριση των τεχνικών έργων, αλλά οι εταιρείες που υλοποιούν την ΤΚΕ πρωτοπορούν στην τεχνολογία σε πολλά έργα μεγάλης κλίμακας.

Η διστακτικότητα των υπευθύνων των τεχνικών έργων είναι μια άλλη πρόκληση που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί για να εφαρμοστεί μία νέα τεχνολογία, όπως είναι η ΤΚΕ, σε ευρεία κλίμακα. Πολλές συνεργασίες συμβάσεων κατασκευής δημιουργούνται από προϋπάρχουσες σχέσεις. Αυτό σημαίνει ότι οι άνθρωποι είναι συνηθισμένοι στο να υλοποιούν τις κλασικές μεθόδους και δυσκολεύονται στην υιοθέτηση νέων προτάσεων.

Αυτές οι προκλήσεις δεν είναι αδύνατον να ξεπεραστούν. Καθώς η αγορά της ΤΚΕ μεγαλώνει, λιγότερο δαπανηροί τρόποι πρόσβασης στην τεχνολογία θα διευκολύνουν την υιοθέτησή της. Η ασφάλεια, η αποκέντρωση και η επεκτασιμότητα μπορούν να ωφελήσουν τη διαχείριση των τεχνικών έργων οποιασδήποτε κλίμακας και τα οφέλη που μπορεί να παρέχει η ΤΚΕ θα είναι σημαντικά, ακόμη και για τους πιο δύσπιστους χρήστες.

Επιπλέον, η ΤΚΕ μαζί με το BIM αλλά και την Τεχνητή Νοημοσύνη που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να φέρουν αρκετά καλά αποτελέσματα στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Πιο συγκεκριμένα, όχι μόνο στο σχεδιασμό και στην κατασκευή των τεχνικών έργων, αλλά και στη λειτουργία και τη συντήρησή τους σε όλο τον κύκλο ζωής τους.

4.3 Μελλοντική Έρευνα

Η ΤΚΕ είναι μία νέα τεχνολογία που βρίσκεται σε πρώιμα στάδια και η διαχείριση των τεχνικών έργων παρουσιάζει κάποιες προκλήσεις που η ΤΚΕ θα κληθεί και πρέπει να τις αντιμετωπίσει. Οπότε κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για μελλοντική έρευνα και εξέλιξη της ΤΚΕ, ώστε να καταφέρει να ξεπεράσει τις μέχρι πρότινος προκλήσεις.

Επιπλέον, μία κύρια πρόκληση της εφαρμογής της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων που θα πρέπει να μελετηθεί, είναι η προσεγγιση των κυβερνήσεων στη ρύθμιση των κανόνων για την εφαρμογή της ΤΚΕ στις ίδιες τις χώρες τους. Για παράδειγμα, η ρύθμιση της αρχικής προσφοράς νομισμάτων που χρησιμοποιούνται, κυρίως για τους σκοπούς χρηματοδότησης των τεχνικών έργων. Στην πραγματικότητα, υπάρχουν κυβερνήσεις που προς το παρόν, απαγορεύουν τη χρήση της ΤΚΕ στη χώρα τους κι αυτό συμβαίνει, γιατί λαμβάνουν υπόψιν τους ότι η ΤΚΕ ως είναι μία τεχνολογία πληροφορικής θα έχει και κάποιο τρωτό σημείο, το οποίο αν παραβιαστεί μπορεί να οδηγήσει σε εγκληματικές δραστηριότητες και ανεξέλεγκτες εκροές νομισμάτων και οικονομικών πόρων. Οπότε κρίνεται και σε αυτό το σημείο περαιτέρω έρευνα, ώστε να προβλεφθούν όσο το δυνατόν περισσότερες κακόβουλες ενέργειες και να αποδειχθεί ότι η ΤΚΕ είναι μια ασφαλής εφαρμογή.

Από την άλλη πλευρά, ορισμένες χώρες έχουν ήδη εμπιστευτεί την ΤΚΕ. Κατά συνέπεια εφαρμόζουν και αναπτύσσουν εφαρμογές που στηρίζονται στην ΤΚΕ. Έτσι, λαμβάνουν όλα τα οφέλη και τις δυνατότητές της.

Στο μέλλον, μπορούμε να αναμένουμε ότι η ΤΚΕ θα διασταυρωθεί και με άλλες καινοτομίες για να ενισχύσει τον αντίκτυπό της. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να εφαρμοστεί στη φυσική ροή των αγαθών και να συγχρονιστεί με πληροφορίες και χρηματοοικονομικές ροές. Με αυτόν τον τρόπο, η ΤΚΕ θα συνδυάσει με το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), την τεχνητή νοημοσύνη, τη ρομποτική, αλλά και άλλες τεχνολογίες. Μία περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να είναι η δημιουργία μίας εφαρμογής που να στηρίζεται στην ΤΚΕ και να χρησιμοποιεί την τεχνολογία των έξυπνων συμβάσεων Ethereum. Αυτή η εφαρμογή θα ενσωματώνει την επικοινωνία της ΤΚΕ με τις IoT συσκευές, οι οποίες θα διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παρακολούθηση δομικών υλικών και στην αυτοματοποίηση των διαδικασιών διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Όμως, αυτή η έρευνα θα πρέπει να επικυρωθεί μέσω μίας μελέτης ενός τεχνικού έργου μεγάλης κλίμακας, προκειμένου να μετρηθεί η εγκυρότητα της ΤΚΕ σε ένα έργο μεγάλης κλίμακας (Shahrayini κ.ά, 2021).

Έχει παρατηρηθεί ότι μεγάλα και μακροπρόθεσμα έργα που στηρίζονται στην ΤΚΕ και που διερευνώνται αυτήν τη στιγμή περιλαμβάνουν συστήματα καταγραφής γης που υποστηρίζονται από την κυβέρνηση και τις διεθνείς εφαρμογές ταξιδιωτικής ασφάλειας. Οι δυνατότητες ενός μέλλοντος εμπλουτισμένου με την ΤΚΕ έχουν ενθουσιάσει τη φαντασία των επιχειρηματιών, των κυβερνήσεων, των πολιτικών ομάδων και των ανθρωπιστών σε όλο τον κόσμο. Χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο, η Σιγκαπούρη και τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα βλέπουν την ΤΚΕ ως έναν τρόπο να μειώσουν το κόστος, να δημιουργήσουν νέα οικονομικά μέσα και να

διατηρήσουν καθαρά αρχεία. Έχουν ενεργές επενδύσεις και πρωτοβουλίες για την εξερεύνηση της ΤΚΕ.

Η ΤΚΕ έχει θέσει τα θεμέλια, όπου η ανάγκη για εμπιστοσύνη έχει αφαιρεθεί από την εξίσωση. Εκεί που πριν η «εμπιστοσύνη» ήταν μεγάλη υπόθεση, με την ΤΚΕ μετατρέπεται σε μικρή υπόθεση. Καθώς, η υποδομή που απαιτείται για να ορίσει τον κανόνα εάν αυτή η εμπιστοσύνη δεν υφίσταται μπορεί να είναι μικρή. Μεγάλο μέρος της κοινωνίας βασίζεται στην εμπιστοσύνη και την επιβολή των κανόνων. Οπότε ο ερχομός της ΤΚΕ θα αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο δομούμε τις συναλλαγές με βάση την αξία και τις κοινωνικές συναλλαγές (Laurence, 2019).

4.4 Σύνοψη

Σε αυτό το κεφάλαιο είδαμε τα τελικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση της ΤΚΕ στη διαχείριση των τεχνικών έργων. Επίσης, παρουσιάστηκε η μελλοντική έρευνα που θα πρέπει υλοποιηθεί ώστε να ξεπεραστούν τα αδύναμα σημεία της ΤΚΕ. Με αυτόν τον τρόπο, η ΤΚΕ θα καταφέρει να πείσει και τους πιο διστακτικούς χειριστές, αλλά και τις κυβερνήσεις που προς το παρόν δεν τη θεωρούν αρκετά ασφαλής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alehub (2018). Έργο ALEhub Λευκή Βίβλος. Δημοσιεύθηκε από την alehub.io.
- Autark ιστοσελίδα (2021). Διαθέσιμο: <https://www.autark.xyz/>.
- Bai, Y., Li, Z., Wu, K., Yang, J., Liang, S., Ouyang, B., Chen, Z. & Wang, J. (2018). *Researchchain: union blockchain-based scientific research project management system*. 2018 Chinese Automation Congress (CAC), 1(1), 4206-4209.
- Blockchain Center of Excellent (2021). Δημοσιεύθηκε από την J. P. Morgan. Διαθέσιμο: <https://www.jpmorgan.com/insights/technology/blockchain>
- Caner, S. and Bhatti, F. (2020). *A Conceptual Framework on Defining Businesses Strategy for Artificial Intelligence*. Contemporary Management Research, Pages 175-206, Vol. 16, No. 3, 2020, doi: 10.7903/cmr.19970.
- Canggih, P., W. (2011). *Evaluation of Protocol Buffers as Data Serialization Format for Microblogging Communication*. International Conference on Informatics for Development 2011 (ICID 2011).
- Colony (2020), Εταιρική Λευκή Βίβλος. Δημοσιεύθηκε 02 Οκτωβρίου, 2020. Διαθέσιμο: <https://colony.io/whitepaper.pdf>.
- Distributed Ledger Technology (2021). Δημοσιεύθηκε από την Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/d/distributed-ledger-technology-dlt.asp>.
- Ethereum ιστοσελίδα (2021). Ethereum projects. <https://www.ethereum.org/>.
- Felea, M. & Albăstroi, I. (2013). *Defining the Concept of Supply Chain Management and its Relevance to Romanian Academics and Practitioners*. Φεβρουάριος, 2013. Δημοσιεύθηκε στο Amfiteatru Economic 15(33):74-88. Διαθέσιμο: https://www.researchgate.net/publication/283141883_Defining_the_Concept_of_Supply_Chain_Management_and_its_Relevance_to_Romanian_Academics_and_Practitioners
- GitHub ιστοσελίδα (2021). Where the world builds software. Διαθέσιμο: <https://github.com>.
- Hector, G. – M., Ullman, D. J. and Widom, J. (2009). *Database Systems*. The Complete Book, Second Edition, Εκδότης Pearson International Edition.
- History of Blockchain Technology: A Detailed Guide (2020). Αναρτήθηκε 03 Νοεμβρίου, 2020, από την 101 Blockchains: <https://101blockchains.com/history-of-blockchain-timeline/>
- Hybrid Blockchain: The Best Of Both Worlds (2021). Δημοσιεύθηκε από την 101 Blockchains. Διαθέσιμο: <https://101blockchains.com/hybrid-blockchain/>
- IBM (2021). *IBM Blockchain*. Διαθέσιμο: <http://www.ibm.com/blockchain/>.
- IP Specialist (2019). *How blockchain technology works*. 15 Οκτωβρίου, 2019. Διαθέσιμο: <https://medium.com/@ipspecialist/how-blockchain-technology-works-e6109c033034>.

- Jiang, L., Liu, Z., Osmani, M. and Demian, P. (2019). *Building Information Management (BIM) and Blockchain (BC) for Sustainable Building Design Information Management Framework*. Electronics. MDPI. Δημοσιεύθηκε: 26 Ιουνίου, 2019.
- Kiu, M. S., Chia, F., C. and Wong, P., F. (2019). *The Potentials and Impacts of Blockchain Technology in Construction Industry: A Literature Review*. Conf. Series: Materials Science and Engineering 495. doi:10.1088/1757-899X/495/1/012005.
- Laurence, T. (2019). *Blockchain For Dummies*, Εκδότης: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Li, W., Duan, P. and Su J. (2021). *The effectiveness of project management construction with data mining and blockchain consensus*. Δημοσιεύθηκε: 22 Φεβρουαρίου, 2021 στο Springer.
- Liang, Y. – C. (2020). *Blockchain for Dynamic Spectrum Management*, In: Dynamic Spectrum Management. Signals and Communication Technology. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-0776-2_5
- Liu, Z., Luong, N.C., Wang, W., Niyato, D., Wang, P., Liang, Y.-C. and Kim, D.I. (2019). *A survey on blockchain: a game theoretical perspective*, IEEE Access 7, 47615–47643.
- Mason, J. & Escott, H. (2018). *Smart contracts in construction: Views and perceptions of stakeholders*, Proceedings of FIG Conference, Istanbul, Μάιος, 2018.
- Merkle tree (2021). Αναρτήθηκε από τη Wikipedia. Διαθέσιμο:
https://en.wikipedia.org/wiki/Merkle_tree
- Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V. and Ustinovichius, L. (2013). *The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation*. 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques (MBMST 2013), Procedia Engineering 57, pp. 767 – 774.
- Nostro Account (2020). Δημοσιεύθηκε από την Investopedia. Διαθέσιμο:
<https://www.investopedia.com/terms/n/nostroaccount.asp>
- Penzes, B., Kirkup, A., Gage, C., Dravai, T. and Colmer, M. (2018). *Blockchain Technology in the Construction Industry*. Digital Transformation for High Productivity. Institution of Civil Engineers (ice). Δημοσιεύθηκε: Δεκέμβριο, 2018.
- PwC (2018). *Global Blockchain Survey 2018 – Blockchain is here. What’s your next move?*
<https://www.pwccn.com/en/research-and-insights/publications/global-blockchain-survey-2018/global-blockchain-survey-2018-report.pdf>
- Renwick, R. & Tierney, B. (2020). *Are Blockchain-based Systems the Future of Project Management? A Preliminary Exploration*, THE JBBA, Δημοσιεύθηκε: 13 Απριλίου, 2020.
- Shahrayini, A., Ravanshadnia, M. & Akhavan, P. (2021). *Blockchain Technology in the*

- Construction Industry: Integrating BIM in Project Management and IOT in Supply Chain Management*, 2nd International Conference on Knowledge Management Blockchain & Economy.
- Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a new economy*. O'Reilly 74 Front. Eng. Manag. Media Inc., 4(1): 67–75, 2017.
- Tanenbaum, A. S., Steen, M. V., (2005). *Κατανεμημένα Συστήματα – Αρχές και υποδείγματα*. Εκδόσεις Κλειδάριθμος.
- Turk, Ž., & Klinc, R. (2017). *Potentials of blockchain technology for construction management*, Procedia Engineering, 196, σσ. 638-645.
- Wang, J., Wu, P., Wang, X. & Shou, W. (2017). *The outlook of blockchain technology for construction engineering management*. Δημοσιεύθηκε από την Higher Education Press.
- What Is Serialization? (2021). Hazelcast. <https://hazelcast.com/glossary/serialization/>
- Xu, X., Weber, I. and Staples, M. (2019). *Architecture for Blockchain Applications*, Εκδότης: Springer Nature Switzerland AG.
- Zoom ιστοσελίδα (2021). <https://zoom-tech-beta.firebaseio.com/>
- Γενικό Καθολικό (2021). Αρχές Λογιστικής Γ' Λυκείου (Βιβλίο Μαθητή). Διαθέσιμο: http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/4714/Arches-Logistikis_A-EPAL_html-apli/index4_3.html
- Παραστατικό χρήμα (2021). Δημοσιεύθηκε από τη Wikipedia: https://el.wikipedia.org/wiki/Παραστατικό_χρήμα
- Πώς μπορεί η νέα τεχνολογία να μεταμορφώσει τις χρηματοπιστωτικές αγορές; (2017), Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα, 19 Απριλίου, 2017, https://www.ecb.europa.eu/explainers/tell-me-more/html/distributed_ledger_technology.el.html