

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Φτάνοντας στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή του Δ.Π.Μ.Σ. «Αρχιτεκτονική – Σχεδιασμός του χώρου» στον τομέα Πολεοδομία Χωροταξία, κ. Δημήτριο Μέλισσα για την συνεργασία μας και για την καθοδήγησή του, διότι με την πολύτιμη υποστήριξη του έγινε δυνατή η ολοκλήρωσή της. Επίσης, τον ευχαριστώ που είχε την διορατικότητα να με κατευθύνει προς ένα αντικείμενο που όπως λέγεται, αποτελεί το μέλλον του διαδικτύου και κατ' επέκταση των κλάδων που θα το υιοθετήσουν, ένας απ' τους οποίους θα μπορούσε να είναι ο κατασκευαστικός τομέας.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που με βοήθησαν να ολοκληρώσω τις σπουδές μου και να εκπονήσω αυτή την εργασία, τον αδερφό μου που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκειά της, τους κοντινούς μου φίλους και κυρίως την οικογένεια μου για όλη τη στήριξη και τη βοήθεια τους κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η παρουσίαση της συνδυαστικής λειτουργίας της τεχνολογίας του **Building Information Modeling (BIM)** ή **Πληροφοριακού Ομοιώματος Έργου (ΠΟΕ)** και της τεχνολογίας του Blockchain, μέσα απ' την εφαρμογή τους σ' ένα κτήριο.

Το BIM είναι μια καινοτόμα τεχνολογία, που αλλάζει σημαντικά την προσέγγιση ενός κατασκευαστικού έργου, τόσο κατά την φάση του σχεδιασμού και της μελέτης του, αλλά και κατά τη διαχείριση της κατασκευής σε όλο τον κύκλο της ζωής της. Παράλληλα, το BIM έχει αλλάξει την έννοια της συνεργασίας μεταξύ των συμμετεχόντων στα τεχνικά έργα και σε ομάδες όπως ο κύριος του έργου, μελετητές, κατασκευαστές, προμηθευτές και άλλους. Αυτό επιτυγχάνεται, καθώς είναι εύκολη η πρόσβαση σε χρήσιμες πληροφορίες που απαρτίζουν όλο το έργο. Τέτοιες πληροφορίες, πέρα απ' την απλή απεικόνιση του έργου στα σχέδια, έχουν να κάνουν για παράδειγμα, με χρονοδιαγράμματα, κόστη, υλικά κλπ.

Απ' την άλλη, αυτή η άμεση διάθεση των πληροφοριών ανάμεσα στα μέλη ενός έργου, μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, τα οποία έχουν να κάνουν με νομικά ζητήματα, όπως με την ασφάλεια των πληροφοριών, τον προσδιορισμό των πνευματικών δικαιωμάτων και την ανάληψη ευθύνης. Σ' αυτό, έρχεται να δώσει λύση το Blockchain.

Το Blockchain είναι μία επίσης νέα τεχνολογία, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε τομείς που η ασφάλεια είναι απαραίτητη προϋπόθεση. Το Blockchain, όπως λέει και το όνομά του, είναι μια αλυσίδα από blocks, τα οποία σχηματίζουν έναν κατάλογο καταγραφής (ledger) συναλλαγών. Όλη η διαδικασία καταγραφής των συναλλαγών και δημιουργίας της αλυσίδας, γίνεται με τρόπο τέτοιο που η οποιαδήποτε μεταβολή σε ένα και μόνο χαρακτηριστικό από τις καταγεγραμμένες πληροφορίες να είναι απολύτως ανιχνεύσιμη.

Επειδή πρόκειται για δύο νέες τεχνολογίες, αρχικά στην παρούσα εργασία γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση και παράθεση των βασικών εννοιών του BIM, και του τρόπου λειτουργίας του Blockchain. Αναφέρονται στοιχεία για την χρήση του BIM στον

κατασκευαστικό τομέα μέχρι σήμερα, αναλύονται οι διαστάσεις του, τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες του.

Έπειτα, γίνεται ευρεία βιβλιογραφική ανασκόπηση στις έννοιες που σχετίζονται με το Blockchain, καθώς και η εξέλιξή του μέχρι σήμερα. Αναλύονται έννοιες όπως, τα έξυπνα συμβόλαια, τα hash, πως επιτυγχάνεται συναίνεση μεταξύ των κόμβων του δικτύου καθώς και τα ιδιωτικά και δημόσια κλειδιά.

Η πρακτική εφαρμογή που έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, σε επίπεδο μελέτης εφαρμογής, περιλαμβάνει την συνδυαστική λειτουργία του BIM με το Blockchain, η οποία επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός website και ενός επιπλέον χώρου αποθήκευσης cloud, για την μελέτη ενός κτηρίου. Για τον σκοπό αυτό, γίνεται εικονική αναπαράσταση της διαδικασίας χρήσης του website και του τρόπου λειτουργίας του blockchain, με σκοπό την διαχείριση των αρχείων του έργου. Τα σχέδια του κτηρίου που χρησιμοποιήθηκαν, προήλθαν από την ιστοσελίδα της Autodek (<https://www.autodesk.com/>).

Η χρήση του BIM γίνεται για να μπορούν τα μέλη να χρησιμοποιούν τα εργαλεία που διαθέτει και να εκμεταλλευτούν τις λειτουργίες του. Η χρήση του Blockchain, γίνεται για να μπορούν να αποθηκεύονται, χωρίς τη δυνατότητα τροποποίησης των δεδομένων, οι αλλαγές που γίνονται στα αρχεία καθώς και κάποιες πληροφορίες για αυτά, όπως η χρονική στιγμή της αποθήκευσης και ο υπεύθυνος γι' αυτή.

Ολοκληρώνοντας την εργασία παρουσιάζονται κάποια χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τα οφέλη που θα παρουσιάσει η τεχνολογία του BIM, με την ενσωμάτωση της τεχνολογίας του Blockchain, καθώς και τα εμπόδια που εμφανίζονται και θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω.

ABSTRACT

The subject of this thesis is the presentation of the combined operation of the technology of Building Information Modeling (BIM) and Blockchain technology, through their application in a building.

BIM is an innovative technology that significantly changes the approach to a construction project, both during the planning and design phase and in the management of the construction throughout its life cycle. At the same time, BIM has changed the concept of collaboration between participants in engineering projects and across teams such as the owner, designers, builders, suppliers and others. This is achieved as it is easy to access useful information that makes up the entire project. Such information, beyond the simple depiction of the project on the drawings, has to do with, for example, schedules, costs, materials, etc.

On the other hand, this direct availability of information between the members of a project can also create problems, which have to do with legal issues such as the security of information, the determination of intellectual property rights and the assumption of liability. To this, Blockchain comes to provide a solution.

Blockchain is also a new technology, which is mainly used in areas where security is a prerequisite. Blockchain, as its name suggests, is a chain of blocks, which form a ledger of transactions. The whole process of recording transactions and creating the chain, is done in such a way that any change in a single characteristic of the recorded information is completely traceable.

Since these are two new technologies, initially in this paper a literature review and a quotation of the basic concepts of BIM, and how Blockchain works is given. Data on the use of BIM in the construction sector to date are reported, its dimensions, strengths and weaknesses are analyzed.

Then, a broad literature review on the concepts related to Blockchain, as well as its evolution to date is provided. Concepts such as, smart contracts, hashes, how consensus is achieved between network nodes and private and public keys are analyzed.

The practical application made in this thesis, at the level of an application study, involves the combined operation of BIM and Blockchain, which is achieved with the help of a website and an additional cloud storage for the design of a building. For this purpose, a virtual representation of the process of using the website and the blockchain mode of operation is made, in order to manage the project files. The building plans used were obtained from the Autodesk website (<https://www.autodesk.com/>).

The use of BIM is done so that members can use the tools available and take advantage of its functions. The use of Blockchain, is done to be able to store, without the possibility of modifying the data, the changes made to the files as well as some information about them, such as the time of storage and the person responsible for it.

The paper concludes by presenting some useful conclusions about the benefits that the BIM technology will present, with the integration of the Blockchain technology, as well as the obstacles that appear and should be studied further.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	- 3 -
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	- 3 -
ABSTRACT	- 4 -
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	- 7 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	- 9 -
1.1 Στόχος εργασίας.....	- 9 -
1.2 Δομή της Διπλωματικής εργασίας.....	- 10 -
1.3. Η σπουδαιότητα της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα	- 10 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τι είναι το BIM και πώς δημιουργήθηκε	- 11 -
2.1 Δυνατότητες (διαστάσεις) του BIM	- 12 -
2.2 Τρέχουσα και μελλοντική χρήση του BIM.....	- 14 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Πλεονεκτήματα BIM στα τεχνικά έργα.....	- 15 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Τι κινδύνους παρουσιάζει το BIM κατά τη χρήση του στα τεχνικά έργα	- 16 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τι είναι το Blockchain.....	- 17 -
5.1 Η εξέλιξη του Blockchain.....	- 18 -
5.2. Πως λειτουργεί το Blockchain.....	- 22 -
5.2.1 Πως λειτουργούν τα Hash functions.....	- 23 -
5.3 Δημόσια και ιδιωτικά κλειδιά - Public and private keys.....	- 24 -
5.4 Αλγόριθμοι Συναίνεσης (Consensus Algorithms)	- 25 -
5.4.1 Proof of Work (PoW)	- 26 -
5.4.2 Proof of Stake (PoS)	- 27 -
5.5 Έξυπνα Συμβόλαια-Smart Contracts.....	- 28 -
5.5.1 Ethereum Blockchain.....	- 29 -
5.5.2 EVM (Ethereum Virtual Machine).....	- 29 -
5.5.3 Έξυπνα Συμβόλαια Ethereum.....	- 29 -
5.5.4 Ο κύκλος ζωής ενός έξυπνου συμβολαίου	- 30 -
5.5.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των έξυπνων συμβολαίων.....	- 32 -
5.6 Δημόσιο και ιδιωτικό Blockchain -Public and Private Blockchain.....	- 34 -
5.6.1 Δημόσιο Blockchain	- 34 -
5.6.2 Ιδιωτικό Blockchain.....	- 35 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τα πλεονεκτήματα του Blockchain.....	- 36 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Τομείς στους οποίους μελετάται η υιοθέτηση του Blockchain.....	- 38 -
7.1 Internet of things (IoT) - Διαδίκτυο των πραγμάτων	- 38 -
7.2 Οικονομικά	- 39 -
7.3 Σύστημα υγείας.....	- 39 -
7.4 Εφοδιαστική αλυσίδα.....	- 39 -
7.5 Κατασκευαστικός τομέας.....	- 41 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πρακτική εφαρμογή.....	- 42 -
8.1 Περιγραφή της διαδικασίας υλοποίησης της πρακτικής εφαρμογής.....	- 42 -
8.1.1 Μορφή του Website.....	- 44 -
8.1.2 Πως αλληλεπιδρά το Blockchain Ganache με το website και το Cloud.....	- 51 -
8.1.3 Smart contract - Έξυπνο συμβόλαιο	- 54 -
8.1.4 Παρουσίαση της ολοκληρωμένης χρήσης του Website σε ένα κτήριο	- 56 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Κατακλείδα	- 70 -
9.2 Προβληματισμοί, περαιτέρω έρευνα.....	- 71 -
9.2.1 Προτάσεις	- 72 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 73 -

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Οι 6 διαστάσεις του BIM (πηγή: Wikimedia Commons)	- 14 -
Εικόνα 2.2 Στοιχεία για τη χρήση του BIM σε κάθε ήπειρο	- 14 -
Εικόνα 3.1 Αποτελέσματα από την έρευνα της McGraw Hill Construction	- 16 -
Εικόνα 5.1 Blockchain Technology Πηγή: LearnDay	- 18 -
Εικόνα 5.2 History of Blockchain Πηγή: https://www.includehelp.com/	- 19 -
Εικόνα 5.3 Merkle tree πηγή: www.researchgate.net	- 20 -
Εικόνα 5.4 Διαδικασία πραγματοποίησης μίας συναλλαγής Πηγή: Investopedia	- 22 -
Εικόνα 5.5 Hash function πηγή : www.researchgate.net	- 23 -
Εικόνα 5.6 Συναλλαγή με Public and private key πηγή: www.ledger.com	- 24 -
Εικόνα 5.7 Consensus Mechanisms Explained: PoW vs. PoS πηγή: hackernoon.com	- 26 -
Εικόνα 5.8 Smart Contracts πηγή : www.cleveroad.com	- 28 -
Εικόνα 5.9 Smart Contract- Blockchain- Users πηγή: https://www.researchgate.net	- 30 -
Εικόνα 5.10 Public and Private Blockchain πηγή: e-zigurat.com	- 34 -
Εικόνα 6.1 Blockchain Benefits πηγή: 101blockchains.com	- 36 -
Εικόνα 8.1 Μορφή website.....	- 44 -

Εικόνα 8.2 Επιλογή Owner	- 45 -
Εικόνα 8.3 Επιλογή Authorize User	- 46 -
Εικόνα 8.4 Επιλογή Authorize User Σφάλμα	- 46 -
Εικόνα 8.5 Επιλογή User Level.....	- 47 -
Εικόνα 8.6 Επιλογή Upload File	- 48 -
Εικόνα 8.7 Επιλογή Upload File Σφάλμα	- 48 -
Εικόνα 8.8 Επιλογή Get History	- 49 -
Εικόνα 8.9 Επιλογή Get History Σφάλμα	- 49 -
Εικόνα 8.10 Επιλογή Get Hash Details.....	- 50 -
Εικόνα 8.11 Επιλογή Get Hash Details Σφάλμα.....	- 50 -
Εικόνα 8.12 Download File-Hash calculation	- 51 -
Εικόνα 8.13 Download File-search in smart contract.....	- 51 -
Εικόνα 8.14 Upload File test	- 52 -
Εικόνα 8.15 Το αρχείο λαμβάνει το hash του	- 52 -
Εικόνα 8.16 Επιβεβαίωση συναλλαγής απ'το MetaMask.....	- 53 -
Εικόνα 8.17 Ganache-Hash συναλλαγής	- 53 -
Εικόνα 8.18 Dropbox-Αποθήκευση αρχείου	- 53 -
Εικόνα 8.A - function authorize user	- 54 -
Εικόνα 8.B - function - upload file	- 54 -
Εικόνα 8.Γ – modifier - check level	- 54 -
Εικόνα 8.Δ - function - get hashes	- 55 -
Εικόνα 8.Ε – modifier - check all levels.....	- 55 -
Εικόνα 8.Ζ – function - get user level	- 55 -
Εικόνα 8.Η – function - get hash details	- 55 -
Εικόνα 8.Θ – modifier - check all levels	- 55 -
Εικόνα 8.19 Κτήριο	- 56 -
Εικόνα 8.20 Owner Address	- 57 -
Εικόνα 8.21 Ορισμός χρήστη ARCHITECT από τον Owner	- 57 -
Εικόνα 8.22 Ορισμός χρήστη CIVIL_ENGINEER από τον Owner.....	- 58 -
Εικόνα 8.23 Ορισμός χρήστη VIEWER από τον Owner	- 58 -
Εικόνα 8.24 Block συναλλαγής ορισμού χρήστη VIEWER.....	- 59 -
Εικόνα 8.25 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου.....	- 59 -
Εικόνα 8.26 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox.....	- 60 -
Εικόνα 8.27 Επιβεβαίωση συναλλαγής.....	- 60 -
Εικόνα 8.28 Ολοκλήρωση συναλλαγής	- 60 -
Εικόνα 8.29 File Hash.....	- 61 -
Εικόνα 8.30 Hash Details	- 61 -
Εικόνα 8.31 Block συναλλαγής.....	- 62 -
Εικόνα 8.32 Το hash του αρχείου βρέθηκε στο smart contract.....	- 62 -
Εικόνα 8.33 Το αρχείο αποθηκεύτηκε επιτυχώς στο φάκελο filesToDownload.....	- 62 -
Εικόνα 8.34 Φάκελος filesToDownload.....	- 63 -
Εικόνα 8.35 1 ^η αλλαγή στο κτήριο.....	- 63 -
Εικόνα 8.36 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου	- 64 -
Εικόνα 8.37 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox.....	- 64 -

Εικόνα 8.38 Επιβεβαίωση συναλλαγής.....	- 64 -
Εικόνα 8.39 Block συναλλαγής.....	- 65 -
Εικόνα 8.40 Ολοκλήρωση συναλλαγής.....	- 65 -
Εικόνα 8.41 File Hash.....	- 66 -
Εικόνα 8.42 Hash Details.....	- 66 -
Εικόνα 8.43 Το hash του αρχείου βρέθηκε στο smart contract.....	- 66 -
Εικόνα 8.44 Το αρχείο αποθηκεύτηκε επιτυχώς στο φάκελο filesToDownload.....	- 67 -
Εικόνα 8.45 Φάκελος filesToDownload.....	- 67 -
Εικόνα 8.46 2 ^η αλλαγή στο κτήριο.....	- 67 -
Εικόνα 8.47 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου.....	- 68 -
Εικόνα 8.48 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox.....	- 68 -
Εικόνα 8.49 Επιβεβαίωση συναλλαγής.....	- 68 -
Εικόνα 8.50 Ολοκλήρωση συναλλαγής.....	- 69 -

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή

1.1 Στόχος εργασίας

Είναι γεγονός πως τα τελευταία χρόνια, η κατασκευαστική βιομηχανία είχε ανάγκη από μία τεχνολογία, η οποία θα διευκόλυνε την συνεργασία, τη διαδικασία σχεδιασμού, ολοκλήρωσης και συντήρησης ενός έργου. Με την εισαγωγή του Πληροφοριακού Ομοιώματος Έργου (ή Building Information Modeling) όπως ορίζεται στην αγγλική βιβλιογραφία ή BIM (σε συντομογραφία) και τις δυνατότητές του, η κατασκευαστική βιομηχανία έχει παρουσιάσει βελτίωση σε πολλούς τομείς, παρά την καθυστέρηση υιοθέτησής του.

Στην παρούσα εργασία γίνεται περιγραφή της τεχνολογίας του BIM και των πλεονεκτημάτων που προσφέρει μέσα από την εφαρμογή του, στον κατασκευαστικό τομέα αλλά και η παρουσίαση των ζητημάτων που έχουν παρατηρηθεί απ’ τη χρήση του μέχρι σήμερα. Στόχος της, είναι η ανάδειξη της τεχνολογίας του Blockchain, ως έναν τρόπο αντιμετώπισης αυτών των ζητημάτων και των δυνατοτήτων που μπορεί να προσφέρει, λειτουργώντας σε συνδυασμό με το BIM.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, έγινε βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών γύρω από τη χρήση και τα οφέλη του BIM, τα προβλήματα που έχουν παρουσιαστεί στον κατασκευαστικό τομέα κατά την χρήση του, καθώς και γύρω από την τεχνολογία του Blockchain, τον τρόπο λειτουργίας του και τις εφαρμογές του. Επίσης πραγματοποιήθηκε πρακτική εφαρμογή σε επίπεδο μελέτης εφαρμογής, ενός κτηρίου με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, που δημιουργήθηκε για τον σκοπό αυτό. Διαμορφώθηκε ένα Website, το οποίο συνεργάζεται με ένα δίκτυο blockchain και με έναν χώρο αποθήκευσης cloud (dropbox).

Η παρούσα εργασία ελπίζουμε ότι θα συνεισφέρει στην κατανόηση της σπουδαιότητας και των πλεονεκτημάτων, που προκύπτουν από την υποστήριξη και την επένδυση στην τεχνολογία

του Blockchain, ώστε η τεχνολογία αυτή να αξιοποιηθεί και να αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο στην κατασκευή και διαχείριση έργων πολιτικού μηχανικού στο άμεσο μέλλον, σε συνδυασμό με το BIM.

1.2 Δομή της Διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελείται από 9 κεφάλαια. Το 1^ο είναι εισαγωγικό και αναφέρει τον σκοπό, τη δομή της διπλωματικής εργασίας καθώς και μία περιγραφή της σημαντικότητας της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα. Το 2^ο, 3^ο και 4^ο κεφάλαιο, απορρέουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε γύρω από την τεχνολογία του BIM, ενώ το 5^ο, 6^ο και 7^ο κεφάλαιο απ' τη βιβλιογραφική ανασκόπηση γύρω από το Blockchain. Τέλος, στο 8^ο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της πρακτικής εφαρμογής και το 9^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει την κατακλείδα της εργασίας.

Πιο αναλυτικά, στο 2^ο, 3^ο και 4^ο κεφάλαιο αναφέρονται κάποια βασικά στοιχεία γύρω από την ανάπτυξη της τεχνολογίας του BIM και της χρήσης του στα τεχνικά έργα, καθώς και τα οφέλη και οι κίνδυνοι που το ακολουθούν.

Στο 5^ο κεφάλαιο, αναλύεται η τεχνολογία του Blockchain και ο τρόπος λειτουργίας του, καθώς και οι έννοιες που σχετίζονται με αυτό, όπως δημόσια και ιδιωτικά κλειδιά, έξυπνα συμβόλαια και αλγόριθμοι συναίνεσης. Στο 6^ο κεφάλαιο και 7^ο, αναλύονται τα πλεονεκτήματα και οι τομείς υιοθέτησης του Blockchain.

Στο 8^ο κεφάλαιο, το πρακτικό παράδειγμα, αναπτύσσεται μέσα από μία εικονική αναπαράσταση, για την οπτικοποίηση και την καλύτερη κατανόηση της εφαρμογής σε συγκεκριμένο έργο. Για την υποστήριξη της πρακτικής εφαρμογής δημιουργείται ένα Website, το οποίο αλληλεπιδρά με ένα δίκτυο Blockchain για την καταγραφή των ενεργειών που πραγματοποιούνται και ένα cloud (dropbox) για την αποθήκευση των αρχείων.

Στο 9^ο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τα κεφάλαια που προηγήθηκαν, καθώς και προτάσεις και προβληματισμοί για περαιτέρω έρευνα.

Ακολουθεί η Βιβλιογραφία.

1.3. Η σπουδαιότητα της τεχνολογίας στον κατασκευαστικό τομέα

Με την πάροδο των χρόνων, η τεχνολογία έχει σημειώσει τεράστια επιτεύγματα και έχει αναπτύξει σύγχρονες τεχνικές αυτοματοποίησης, οι οποίες έχουν συνεισφέρει στην βελτίωση και αναβάθμιση πολλών κλάδων και επαγγελμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες πια, γίνεται ορατή η εξάπλωση της τεχνολογίας σε όλο και περισσότερους τομείς. Ωστόσο, μέχρι πρόσφατα, ο κατασκευαστικός τομέας δεν είχε καταφέρει να συμβαδίσει μ' αυτές τις εξελίξεις, γεγονός που δημιούργησε την ανάγκη για την εισήγηση νέων εργαλείων και τεχνικών, ικανών να αναβαθμίσουν σημαντικά την διαδικασία σχεδιασμού και ολοκλήρωσης ενός έργου. Η

τεχνολογία που αναπτύχθηκε για να ανατρέψει αυτή την κατάσταση, είναι η τεχνολογία του BIM (Building Information Modelling).

Κατά την υλοποίηση ενός κατασκευαστικού έργου και πριν την υιοθέτηση του BIM, παρατηρούνταν κάποια ζητήματα, τα οποία είχαν σοβαρό αντίκτυπο στην εξέλιξη της κατασκευής του. Παρά τον κοινό στόχο όλων των συμμετεχόντων του έργου, πολλοί επαγγελματίες διαφορετικών υπηρεσιών της κατασκευής, εργάζονταν μεμονωμένα με μοναδικό ενδιαφέρον την δική τους πορεία και όχι την συνολική εξέλιξη του έργου. Ταυτόχρονα, οι συμβάσεις για το σχεδιασμό και την κατασκευή, συνάπτονταν αποσπασματικά απ' τον εργοδότη του έργου, ακολουθώντας την παραδοσιακή μέθοδο παράδοσης έργου. Το γεγονός αυτό ενίσχυσε ακόμα περισσότερο τη δημιουργία απομονωμένων εστιών εργασίας, αφού πλέον όλοι οι εμπλεκόμενοι εργάζονταν ξεχωριστά βάση συμβολαίου. Αυτό συχνά είχε ως συνέπεια, την υπέρσχυση ενός πνεύματος ανταγωνιστικότητας παρά συνεργασίας μεταξύ παραγόντων, κάτι που δεν εξυπηρετούσε την υλοποίηση του έργου. Με άλλα λόγια ο κατασκευαστικός τομέας και οι παραδοσιακές τακτικές του, δεν ευνοούσαν την επικοινωνία και την συνεργασία του ανθρώπινου δυναμικού που συμμετείχε στα διάφορα στάδια κατασκευής, με σκοπό την ολοκλήρωση του έργου.

Στη σύγχρονη εποχή, με την ανάπτυξη και την εξέλιξη των τεχνολογικών εφαρμογών και εργαλείων και με βασικό συντελεστή, σε αυτή την περίοδο καινοτομίας, το Πληροφοριακό Ομοίωμα Έργου (ΠΟΕ) ή BIM (Building Information Modeling), η κατασκευαστική βιομηχανία οδεύει σε μία εποχή αναγέννησης, με την δημιουργία μοντέλων πλούσια σε πληροφορίες απ' όλους τους κλάδους, ικανά να εντείνουν την ομαλή ροή ενός έργου. Παράλληλα, τα μοντέλα αυτά, ενισχύουν την επικοινωνία και την αποδοτικότητα μεταξύ των συμμετεχόντων, καθώς παρότι δουλεύουν από απόσταση, επικοινωνούν γρήγορα και αποτελεσματικά σαν να βρίσκονται στο ίδιο δωμάτιο, γεγονός που διευκολύνει την εξέλιξη του έργου και την αποφυγή λαθών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Τι είναι το BIM και πώς δημιουργήθηκε

Το **Building Information Modeling (BIM)**, ή Πληροφοριακό Ομοίωμα Έργου (ΠΟΕ), όπως διατυπώνεται στα ελληνικά, «είναι μια ψηφιακή αναπαράσταση των φυσικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών μιας εγκατάστασης μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η πλήρης διαχείριση αυτών των χαρακτηριστικών, τόσο κατά τη φάση του σχεδιασμού όσο και κατά την κατασκευή αλλά και κατά τη λειτουργία του έργου», όπως ορίζει η NBIMS-US (National BIM Standard – United States)^[1]. Πρόκειται δηλαδή, για μια ενιαία διαδικτυακή βάση συνεργασίας και ανταλλαγής στοιχείων, κοινή για όλους αυτούς που συμμετέχουν στη διαχείριση, το σχεδιασμό, την εκτέλεση, τη λειτουργία και συντήρηση του έργου. Αυτή η ψηφιακή περιγραφή, είναι πιθανό να περιλαμβάνει έναν συνδυασμό τρισδιάστατων μοντέλων πλούσιων σε πληροφορίες και σχετικών δομημένων δεδομένων, όπως πληροφορίες προϊόντος, εκτέλεσης και παράδοσης. (NBS, 2021)¹.

Αυτή η ιδιότητα του BIM, η διαθεσιμότητα δηλαδή των πληροφοριών του έργου, είναι που το κάνει να διαφέρει από ένα απλό 3D CAD πρόγραμμα. Με άλλα λόγια είναι μια πρακτική, μια μεθοδολογία λειτουργιών (operations methodology), η οποία διευκολύνει την κατανομή των πληροφοριών και την λήψη αποφάσεων. Δεν είναι λοιπόν, απλά ένα λογισμικό CAD, όπως επικρατεί στην κοινή γνώμη. Είναι ένα κοινό μοντέλο αναφοράς, όπου όλοι οι συμμετέχοντες ενός έργου αλληλεπιδρούν και ακολουθούν μια κοινή προσέγγιση της κατασκευαστικής διαδικασίας, έχοντας ως αποτέλεσμα τη βελτιστοποίηση των δραστηριοτήτων και τη δημιουργία υπεραξίας σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου.

Ο όρος "Building Information Modeling" (BIM) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1975 από τον καθηγητή Charles M. Eastman (*Estman, 1975*)^[2], ο οποίος επιχείρησε μια πρώτη προσέγγιση στην ψηφιοποίηση του σχεδιασμού ενός έργου. Η κοινοποίηση του όρου έγινε αργότερα από τον Jerry Laiserin, αναφερόμενος στην αναπαράσταση της κατασκευαστικής διαδικασίας, για την διευκόλυνση της ανταλλαγής και διαλειτουργικότητας των πληροφοριών σε ψηφιακή μορφή. Η πρώτη εφαρμογή της τεχνολογίας BIM έγινε το 1987, από την εταιρεία Graphisoft, (*Eastman, 2011*)^[3] και πλέον αποτελεί την ισχυρότερη ένδειξη των επικείμενων αλλαγών στον τομέα του σχεδιασμού και των κατασκευών παγκοσμίως.

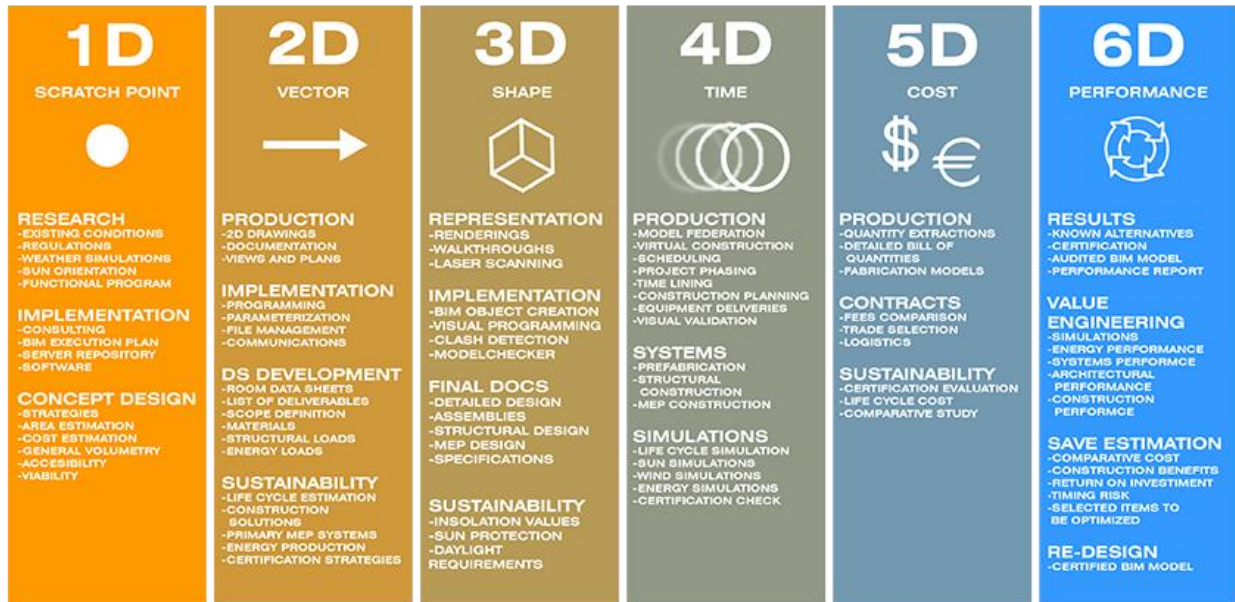
2.1 Δυνατότητες (διαστάσεις) του BIM

Με την ένταξη του BIM στον κατασκευαστικό τομέα, η διαδικασία με την οποία αντιλαμβανόμαστε τις διάφορες πτυχές ενός έργου, αλλάζει. Όσο περίπλοκο ή όχι κι αν είναι ένα έργο, ο προγραμματισμός, η διαχείρισή και ο συντονισμός των διάφορων δραστηριοτήτων του, τείνουν να γίνουν μια συμβατική διαδικασία, από τη σύλληψη της ιδέας και τον σχεδιασμό, μέχρι την ολοκλήρωση του έργου και τη διαχείριση της λειτουργίας του καθ' όλο τον κύκλο της ζωής του. Είναι λοιπόν, ένα σημαντικό εργαλείο για την αύξηση της απόδοσης και την ελαχιστοποίηση των συγκρούσεων (clash detection), όπως αναφέρει η THE HOURIGAN TEAM (*5 Fundamentals of BIM for Improved Design and Construction, 2022*)⁴. Παρακάτω παρατίθενται οι έξι διαστάσεις του BIM που οδηγούν σε ένα καλύτερο και πιο πολύτιμο έργο:

- **1D-Σύλληψη της ιδέας:** Το πρώτο στάδιο κατά το οποίο, γίνεται η απαραίτητη έρευνα για τις διαδικασίες και την στρατηγική που θα ακολουθηθεί σε όλη την διάρκεια ζωής του έργου.
- **2D- Το διδιάστατο έργο** σχεδιάζεται στις δύο γνωστές διευθύνσεις, δηλαδή στον άξονα X και στον άξονα Y. Η μορφή αυτή σχεδίασης, αποτελεί την αρχαιότερη μορφή, η οποία χρησιμοποιούνταν στα κατασκευαστικά μοντέλα. Παραδείγματα σχεδίων δύο διαστάσεων είναι τα τοπογραφικά, οι κατόψεις, οι όψεις, οι ξυλότυποι και οι φωτορεαλισμοί.
- **3D-Απεικόνιση :** Το τριδιάστατο μοντέλο της κατασκευής. Δημιουργείται συνήθως από τη σύνθεση όλων των σχεδίων (τοπογραφικών, αρχιτεκτονικών, στατικών, ηλεκτρομηχανολογικών, ενεργειακών) σε ένα ενιαίο μοντέλο. Σε αυτό το σημείο γίνεται ο έλεγχος μεταξύ πιθανών διαφορών που μπορούν να έχουν τα επιμέρους σχέδια κατά τη συναρμογή τους ή πιθανών συγκρούσεων (clash detection) και οι οποίες πρέπει να

διορθωθούν στη φάση του σχεδιασμού και πριν την έναρξη της κατασκευής. Με άλλα λόγια, το 3D BIM δίνει τη δυνατότητα οπτικοποίησης (model walkthroughs) του έργου σε όλη την ομάδα που συμμετέχει σε αυτό, παρέχοντας έτσι την ευκαιρία της επίλυσης τυχόν προβλημάτων, μέσω της συνεργασίας, πριν αυτά φτάσουν στο στάδιο της κατασκευής. Παράλληλα, έχοντας τη βεβαιότητα ότι όλα τα στοιχεία της κατασκευής ταιριάζουν μεταξύ τους, παρέχεται και η δυνατότητα προκατασκευής τους και η μεταφορά τους στο εργοτάξιο μόνο για να «κουμπώσουν» με την υπόλοιπη κατασκευή.

- 4D-Χρονικός προγραμματισμός: Με την προσθήκη του χρονικού παράγοντα στο τριδιάστατο μοντέλο, προκύπτει η τέταρτη διάσταση, η οποία προσφέρει τη δυνατότητα του ελέγχου και της εκτίμησης της αλληλουχίας των δραστηριοτήτων, για την κατασκευή του έργου. Η συγκεκριμένη διάσταση είναι πολύ χρήσιμη, ειδικά σε μεγάλα και σύνθετα έργα, καθώς μπορούν να προσδιοριστούν οι κρίσιμες δραστηριότητες και να απεικονιστεί η σχέση και η αλληλουχία των δραστηριοτήτων, ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος χρονικός προγραμματισμός. Στο στάδιο αυτό υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης στο μοντέλο, της κυκλοφορίας μέσα στο εργοτάξιο, γερανών, φορτηγών ή και άλλων δομικών μηχανών, έτσι ώστε να κριθεί η ταυτόχρονη παρουσία τους και η διαρρύθμισή τους στο εργοτάξιο σε συνδυασμό με τις φάσεις κατασκευής. Παράλληλα, μπορεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή να γίνει αξιολόγηση της πραγματικής προόδου του έργου σε σχέση με τον προγραμματισμό και αν κριθεί απαραίτητο να πραγματοποιηθεί ο επαναπρογραμματισμός των δραστηριοτήτων κατασκευής.
- 5D-Κοστολόγηση : Η πέμπτη διάσταση του BIM, επιτρέπει την προσθήκη δεδομένων κόστους στα στοιχεία του μοντέλου, όπως για παράδειγμα κόστος που έχει να κάνει με το απασχολούμενο εργατικό δυναμικό μιας δραστηριότητας, είτε με το κόστος μηχανημάτων είτε αγοράς. Αυτή η ιδιότητα του BIM επιτρέπει, στη φάση της έρευνας και του σχεδιασμού, τον υπολογισμό του μερικού ή συνολικού κόστους του έργου και μπορεί να οδηγήσει σε πιο ακριβείς εκτιμήσεις κόστους. Ταυτόχρονα, είναι εφικτή η αξιολόγηση των πιθανών αλλαγών που μπορεί να επηρεάσουν το κόστος, είτε έχουν να κάνουν με τον χρονικό προγραμματισμό, είτε με την αλλαγή κάποιων τιμών μονάδας ή των συντελεστών κοστολόγησης που έχουν επιλεγεί, γεγονός που αυξάνει την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας κοστολόγησης του έργου.
- 6D- Διαχείριση του έργου και των εγκαταστάσεών του κατά τη φάση λειτουργίας. Πολλές φορές σε αυτή τη διάσταση ενσωματώνεται και η θεώρηση της αειφορίας/βιωσιμότητας του έργου (sustainability) στη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Το μοντέλο σε αυτή τη φάση περιέχει όλες τις προδιαγραφές για τη λειτουργία, τα εγχειρίδια συντήρησης και πιθανές πληροφορίες εγγύησης, που είναι χρήσιμα στοιχεία για τη μελλοντική συντήρηση του έργου και την επίλυση πιθανών προβλημάτων που θα προκύψουν στη διάρκεια ζωής του.



Εικόνα 2.1: Οι 6 διαστάσεις του BIM (πηγή: Wikimedia Commons)

2.2 Τρέγουσα και μελλοντική χρήση του BIM

Το BIM έχει υιοθετηθεί από πολλές χώρες από τις αρχές της χιλιετίας που διανύουμε και πολλοί ερευνητές και ινστιτούτα επιχειρήσαν να προσδιορίσουν την εξέλιξη στη χρήση του, επειδή η γνώση αυτού είναι κρίσιμης σημασίας για την αξιολόγηση και την επίλυση προβλημάτων στην εφαρμογή του.

Από δύο έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από την National Building Specification (NBS)^[5] της Μεγάλης Βρετανίας και η δεύτερη από την World Academy of Science, Engineering and Technology (Jung and Lee)^[6], παρατηρείται ο βαθμός χρήσης του BIM σε κάθε ήπειρο, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Βόρεια Αμερική	Ευρώπη	Ασία	Ωκεανία	Μέση Ανατολή /Αφρική	Νότια Αμερική
Έτη χρήσης του BIM	8.5	5.3	4.9	7.7	5.9	3.4
Βάθος εφαρμογής στις δυνατότητες	73%	55.90%	46.40%	65.50%	60%	55.70%
Μ.Ο χρηστών με πολύ καλές ή άριστες γνώσεις του	82.10%	75%	46.30%	81.80%	80%	71.40%

Εικόνα 2.2 Στοιχεία για τη χρήση του BIM σε κάθε ήπειρο

Όπως γίνεται φανερό, η χρήση του BIM είναι ευρέως διαδεδομένη σε διεθνές επίπεδο και όπως αναφέρει ο Adrian Malleon, στο International BIM Report 2016, «*Το BIM είναι αληθώς, η πρώτη παγκόσμια τεχνολογία ψηφιακής κατασκευής και σύντομα θα αναπτυχθεί σε κάθε χώρα του κόσμου. Είναι μια «αλλαγή στο παιχνίδι» και πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι είναι εδώ για να μείνει, αλλά όπως όλες οι καινοτομίες, παρουσιάζει τόσο ρίσκο όσο και ευκαιρίες*».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Πλεονεκτήματα BIM στα τεχνικά έργα

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, παρόλο που το BIM είναι μία σύγχρονη τεχνολογία με πολλές προδιαγραφές, η αναγνώρισή του από τη κατασκευαστική βιομηχανία γίνεται σχετικά αργά. Λόγω όμως αυτών των εξαιρετικών προδιαγραφών και εκ των αποτελεσμάτων που έχουν φέρει απ' τις πρώτες κιόλας χρήσεις του, αναμένεται να επεκταθεί και τελικά να γίνει ένα βασικό εργαλείο της μελετητικής και κατασκευαστικής διαδικασίας. Ήδη ένα αρκετά μεγάλο μέρος της κατασκευαστικής βιομηχανίας και οι χρήστες του είναι πλέον πολύ πρόθυμοι να επενδύσουν για την εκμάθηση και την εφαρμογή του.

Το πρωταρχικό όφελος της υιοθέτησης του BIM και κύριος λόγος της επιτυχίας του, είναι η δυνατότητα που έχει προσφέρει στο ανθρώπινο δυναμικό και στους μελετητές που συμμετέχουν σ' ένα έργο, να ανταλλάσσουν άμεσα πληροφορίες και να συνεργάζονται σε επίπεδο τεχνικό και τεχνολογικό. Το γεγονός αυτό ενισχύει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων με λιγότερες καθυστερήσεις και την πρόληψη λαθών πριν αυτά «φτάσουν» στο εργοτάξιο.

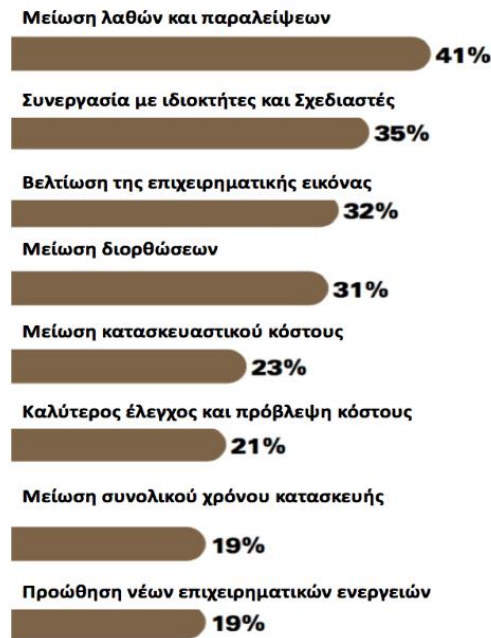
Επιπλέον πλεονεκτήματα του BIM, υφίστανται σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του έργου. Πιο συγκεκριμένα, τα οφέλη του BIM σχετίζονται ιδίως με:

- Βελτιωμένη αποδοτικότητα στη μελέτη και τη κατασκευή λόγω της άμεσης πρόσβασης στις πληροφορίες και τα δεδομένα του έργου.
- Γρήγορη ανανέωση και μεγάλη ακρίβεια σχεδίων, καθώς κατά την μελέτη λαμβάνονται υπόψιν πληροφορίες χωρικές, γεωμετρικές, κατασκευαστικές και λειτουργικές.
- Αποκατάσταση των διαφωνιών μεταξύ των σχεδίων διαφορετικών κλάδων (clash detection), αποφεύγοντας λάθη και το επιπλέον κόστος προσαρμογής τους.
- Πρόληψη των συγκρούσεων των εργασιών μέσω αναπαράστασης των εικονικών χρονοδιαγραμμάτων και των κατασκευαστικών ενεργειών.
- Πιο ακριβείς μετρήσεις καθώς και καλύτερη αξιολόγηση κόστους, με αποτέλεσμα μια μελέτη υψηλότερης ποιότητας.
- Συμβολή στο περιβάλλον και μείωση του γενικού κόστους, καθώς υποστηρίζει τον αιεφόρο σχεδιασμό στη φάση του σχεδιασμού.
- Έλεγχος κατασκευασιμότητας που οδηγεί σε μείωση του ρίσκου και του κόστους.

Όπως γίνεται φανερό, το BIM δεν αποφέρει μόνο κέρδος αλλά βελτιώνει και το επίπεδο της εργασίας και την ποιότητα της κατασκευαστικής διαδικασίας σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου, κάνοντας τις εταιρίες να «τοποθετούν» το BIM μέσα στα τρία ισχυρότερα ανταγωνιστικά εργαλεία που διαθέτουν, όπως αναφέρεται σε έρευνα του εκδοτικού οίκου McGraw Hill Construction που πραγματοποίησε το 2014, με τίτλο «The Business value of BIM for Construction in major Global markets» και ερεύνησε τα πλεονεκτήματα από την εφαρμογή της τεχνολογίας BIM στις μεγαλύτερες κατασκευαστικές αγορές.

Contractors Citing BIM Benefit as Among Top Three for Their Company

Source: McGraw Hill Construction, 2013



Εικόνα 3.1 Αποτελέσματα από την έρευνα της McGraw Hill Construction

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Τι κινδύνους παρουσιάζει το BIM κατά τη χρήση του στα τεχνικά έργα

Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το BIM στην κατασκευαστική βιομηχανία, υπάρχουν ορισμένα ζητήματα που απαιτούν προσοχή, καθώς κρύβουν κινδύνους που μπορεί να οδηγήσουν σε νομικά και τεχνικά προβλήματα.

Η ασφάλεια των πληροφοριών, είναι ένα απ' τα ζητήματα ζωτικής σημασίας, στις συνεργατικές πλατφόρμες BIM, ιδιαίτερα για κρίσιμα έργα όπως αυτά των κυβερνητικών κτιρίων, των φυλακών και των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής. Η ακατάλληλη διανομή και η

απώλεια ευαίσθητων πληροφοριών ενδέχεται να οδηγήσει σε απειλές φυσικής ασφάλειας, οικονομική απώλεια και απώλεια εμπιστοσύνης και φήμης.

Κατά την φάση μελέτης ενός έργου, η κάθε ομάδα μελετητών εισάγει τις δικές της πληροφορίες και αλλαγές στο μοντέλο. Παράλληλα, ο ιδιοκτήτης έχει πρόσβαση για την παρακολούθηση της πορείας του έργου. Το ζήτημα που προκύπτει σ αυτή την κατάσταση, είναι ο προσδιορισμός των πνευματικών δικαιωμάτων του μοντέλου, που δημιουργείται από την ταυτόχρονη συνεργασία των μελετητών. Όλοι οι συμμετέχοντες του έργου αποκτούν το ίδιο κοινό μοντέλο, με αποτέλεσμα να μην γνωρίζουν σε ποιον ανήκει τι. Θα μπορούσε οποιοσδήποτε εμπλέκεται στο έργο να πάρει πληροφορίες από το μοντέλο και να τις χρησιμοποιήσει προς όφελος του σε άλλο έργο χωρίς την άδεια του πραγματικού παραγωγού-ιδιοκτήτη των πληροφοριών;

Επιπλέον, ένας σημαντικός νομικός κίνδυνος που μπορεί να ανακύψει, είναι η ανάληψη της ευθύνης για την ενημέρωση των πληροφοριών του μοντέλου και η διασφάλιση της ακρίβειας αυτών. Δηλαδή, το ποιος ελέγχει και εγκρίνει την εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο και ποιος είναι υπεύθυνος για τυχόν ανακρίβειες που μπορεί να προκύψουν στις πληροφορίες που εισάγονται, καθώς δεν είναι ξεκάθαρο ποιος πραγματοποίησε την οποιαδήποτε αλλαγή και σε ποια χρονική στιγμή. Επίσης, εάν ο κύριος του έργου αντιληφθεί κατά την κατασκευή κάποιο στοιχείο διαφορετικό από το σχεδιασμό, από ποιον πρέπει να ζητήσει ευθύνη γι' αυτό το λάθος; Είναι σχετικά δύσκολο να αποδοθούν ευθύνες και να αποδειχθεί ποιος πραγματικά είναι υπαίτιος. Σε αυτό συμβάλλει σημαντικά το γεγονός ότι δεν υπάρχουν αρκετές σχετικές υποθέσεις που να έχουν φτάσει στη δικαιοσύνη, λόγω του νέου της εν λόγω τεχνολογίας, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές, οι οποίες λειτουργούσαν βάσει του νομικού πλαισίου, το οποίο περιείχε πολύ συγκεκριμένες ρήτρες, που οριοθετούσαν τις υποχρεώσεις των συμμετεχόντων στο έργο για την αντίστοιχη συμμετοχή τους στη διαδικασία ανάπτυξης σχεδιασμού. Δηλαδή, λειτουργούσαν βάσει ιεραρχίας. Βοηθά όμως αυτό την συνεργασία ή την εμποδίζει; Η μετάβαση από έναν τομέα επαγγέλματος, σε μεγάλο βαθμό ελεγκτικό, σε μια κεντρική διαδικασία συνεργασίας, με την έννοια ότι τα ενδιαφερόμενα μέρη θα συνεργαστούν για να επιτύχουν έναν κοινό στόχο, μοιράζοντας τον κίνδυνο αλλά και την ανταμοιβή, που σημαίνει από κοινού δημιουργία και κοινή χρήση δεδομένων, είναι εκφοβιστική, ανησυχητική και δύσκολη (*Mathews et al.*)⁷.

Λύση σ' αυτούς τους προβληματισμούς θα μπορούσε να παρέχει, μια επίσης σχετικά νέα τεχνολογία, αυτή του blockchain, λόγω του αποκεντρωμένου χαρακτήρα της και τη λειτουργία της χωρίς την ύπαρξη τρίτων προσώπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Τι είναι το Blockchain

Το blockchain είναι μια peer-to-peer κατανεμημένη βάση δεδομένων, η οποία επιτρέπει τις διάφορες συναλλαγές μεταξύ των κόμβων (nodes) του δικτύου, χωρίς την ανάγκη ύπαρξης ενός αξιόπιστου τρίτου μέρους, όπως για παράδειγμα μιας τράπεζας. Κόμβοι είναι όλοι οι

χρήστες - υπολογιστές που απαρτίζουν το δίκτυο και συμμετέχουν σ' αυτό. Οι συναλλαγές αυτές καταγράφονται σε ένα ledger, και κάθε κόμβος του δικτύου έχει ένα αντίγραφο του. Οι πληροφορίες της κάθε συναλλαγής καταγράφονται σε ένα block χρονολογικά, το οποίο προστίθεται μετά από το προηγούμενο block, το οποίο περιέχει την προηγούμενη συναλλαγή. Έτσι δημιουργείται μια δομή αλυσίδας, το blockchain. Τις πληροφορίες και τις λεπτομέρειες της συναλλαγής, υπάρχει η δυνατότητα, να τις δουν όλοι οι συμμετέχοντες, ωστόσο η αλλαγή ή η αλλοίωση των πληροφοριών αυτών είναι πρακτικά αδύνατη (για λόγους που θα εξηγηθούν στη συνέχεια). Αξίζει να επισημανθεί, ότι κάθε μπλοκ περιέχει πληροφορίες για το προηγούμενο μπλοκ στην αλυσίδα και άρα συνδέεται με αυτό, πράγμα το οποίο ισχύει για όλα τα μπλοκ στο δίκτυο. Αυτός είναι και ένα από τα θεμελιώδη στοιχεία του blockchain και ο βασικός τρόπος διασφάλισης της αλυσίδας (Hayes, "Blockchain, Explained")⁸

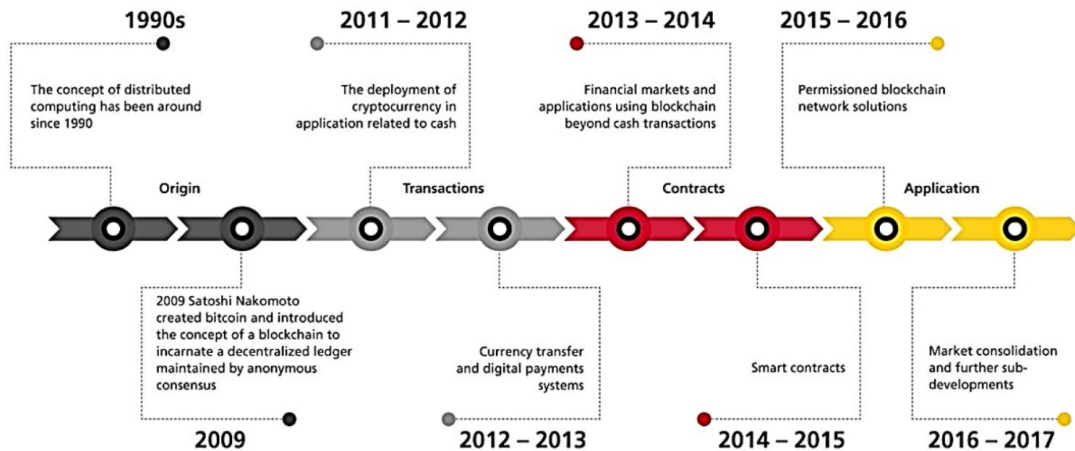


Εικόνα 5.1 Blockchain Technology Πηγή: LearnDay

5.1 Η εξέλιξη του Blockchain

Η τεχνολογία του Blockchain χρονολογείται από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες καινοτομίες του 21ου αιώνα, δεδομένων των πολλαπλών εφαρμογών που έχει ή υπάρχει η προοπτική να έχει μελλοντικά, σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας, από τον χρηματοοικονομικό έως τον κατασκευαστικό τομέα καθώς και την εκπαίδευση. Αποτελεί μια σχετικά νέα τεχνολογία, καθώς έχει γνωρίσει ανάπτυξη τα

τελευταία χρόνια και η οποία έχει αρκετά στάδια ανάπτυξης. Μέσα απ' την παρουσίαση της ιστορικής εξέλιξης της τεχνολογίας, όπως φαίνεται παρακάτω, γίνεται πιο εύκολα κατανοητή αλλά και το πώς μπορεί να αναβαθμίσει τους τομείς αυτούς.

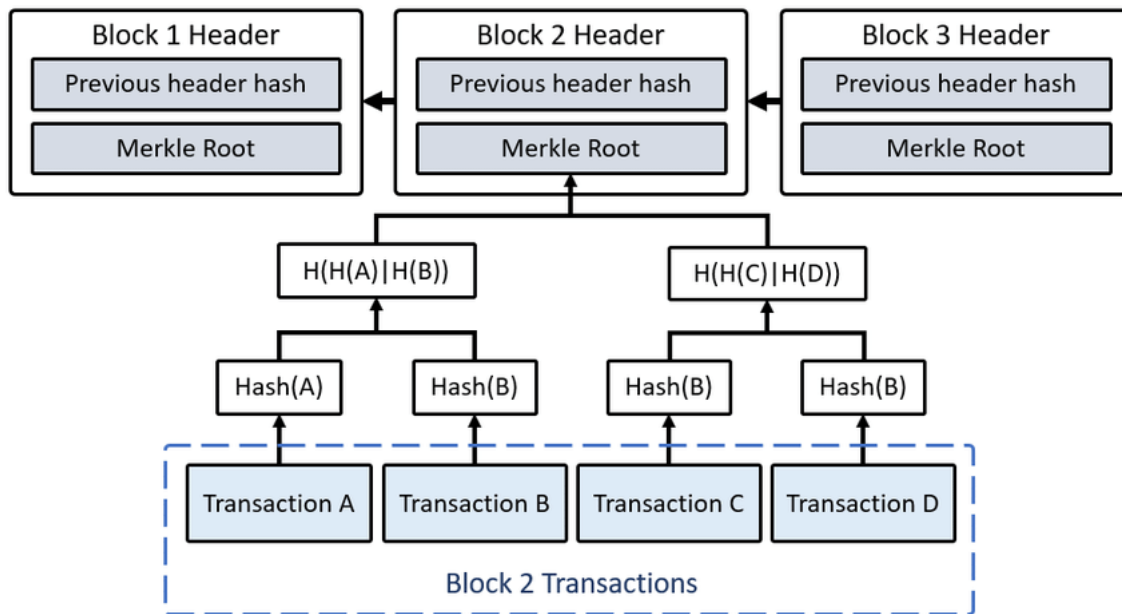


Εικόνα 5.2 History of Blockchain Πηγή: <https://www.includehelp.com/>

Το 1991, οι Stuart Haber και W. Scott Stornetta, παρουσιάζουν το πρώτο τους έργο, το οποίο περιέχει την εργασία σε κρυπτογραφικά ασφαλισμένες αλυσίδες από μπλοκ, τα οποία περιέχουν αρχεία, όπου δεν μπορούν να παραβιαστούν και να αλλοιωθούν. Το 1992, αναβαθμίζουν την αρχική τους ιδέα και ενσωματώνουν δέντρα Merkle, τα οποία αυξάνουν την αποδοτικότητα του blockchain και κατ' επέκταση την αποθηκευτικότητα περισσότερων εγγράφων σε ένα μπλοκ. Ωστόσο, είναι το 2008 που το Blockchain αρχίζει να αποκτά συνάφεια, χάρη στην συνεισφορά ενός ατόμου ή μιας ομάδας με το όνομα Satoshi Nakamoto. Ο Satoshi Nakamoto είναι διαπιστευμένος ως ο εγκέφαλος πίσω από την τεχνολογία blockchain. Πολύ λίγα είναι γνωστά για τον Nakamoto, καθώς οι άνθρωποι πιστεύουν ότι θα μπορούσε να είναι ένα άτομο ή μια ομάδα ανθρώπων.

Το 2008 λοιπόν, ο Nakamoto σχεδίασε το πρώτο blockchain όπως είναι γνωστό σήμερα, δηλαδή ως ένα transaction ledger, για την εφαρμογή του στο κρυπτονομίσμα του Bitcoin. Η τεχνολογία ήταν καλά εξοπλισμένη για να ενισχύσει την ψηφιακή εμπιστοσύνη, δεδομένης της πτυχής της αποκεντρώσης, που απαιτείται όταν λαμβάνουν χώρα ψηφιακές συναλλαγές. Αυτό σημαίνει ότι κανένα μέλος της συναλλαγής, δεν θα είχε ποτέ τον έλεγχο του συστήματος.

Το 2011, όπως γίνεται φανερό κι απ' την εικόνα 5.2, πραγματοποιούνται οι πρώτες χρηματικές συναλλαγές με κρυπτονομίσματα, ενώ το 2013 η τεχνολογία αρχίζει να εφαρμόζεται και σε άλλους τομείς, πέρα από τις συναλλαγές με μετρητά. Το 2014-2015 εισάγονται τα smart contracts και από το 2016 το blockchain εφαρμόζεται σε ένα μεγάλο εύρος τομέων, που το χρησιμοποιούν ως δίκτυο ανταλλαγής δεδομένων (Goyal)⁹



Εικόνα 5.3 Merkle tree πηγή: www.researchgate.net

Φάση 1- Συναλλαγές

Στην πρώτη φάση εξέλιξης του blockchain διακρίνονται οι συναλλαγές σε Bitcoin. Οι περισσότεροι άνθρωποι συγχέουν το Bitcoin με το Blockchain. Στην πραγματικότητα, αυτό που συμβαίνει, είναι πως η μία είναι η υποκείμενη τεχνολογία που τροφοδοτεί τις περισσότερες εφαρμογές, μία από τις οποίες είναι το Bitcoin και γενικότερα τα κρυπτονομίσματα.

Ο/Οι Satoshi Nakamoto έφτιαξαν το αρχικό μπλοκ (μπλοκ γένεσης), στην αλυσίδα του Bitcoin, στο οποίο μετέπειτα «κούμπωσαν» και τα επόμενα μπλοκ, έπειτα από μια διαδικασία mining (εξόρυξης), η οποία θα αναλυθεί σε επόμενο κομμάτι, με αποτέλεσμα μια από τις μεγαλύτερες αλυσίδες μπλοκ που μεταφέρει διαφορετικά κομμάτια πληροφοριών και συναλλαγών. Το Bitcoin ήταν αρκετά πετυχημένο και ώθησε πολλούς οργανισμούς να επενδύσουν σε αυτό.

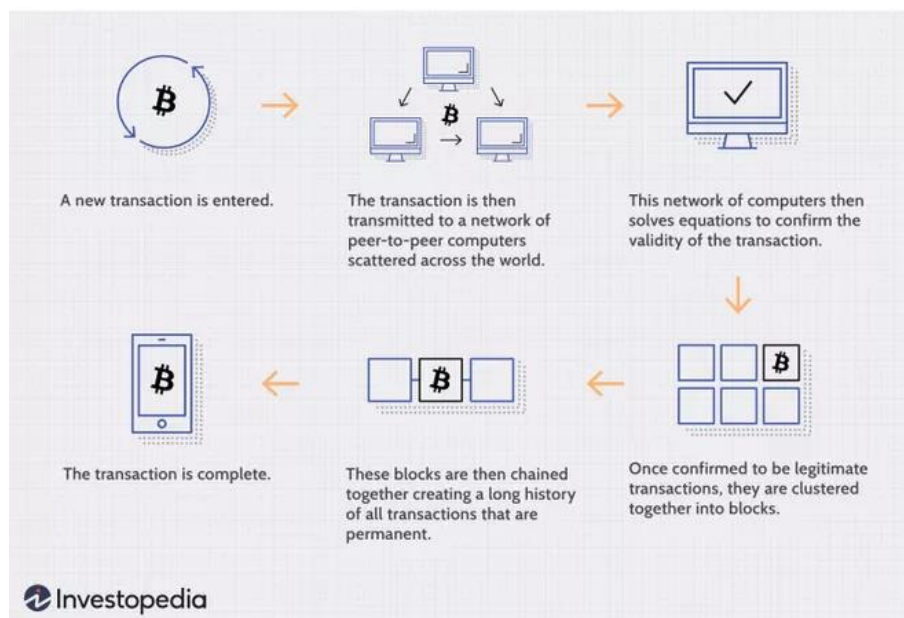
Φάση 2- Συμβόλαια (Contracts)

Ένας από τους προγραμματιστές, ο οποίος συμμετείχε στο Bitcoin, ο Vitalik Buterin, αναγνώρισε ότι το Bitcoin παρουσίαζε κάποιες δυσκολίες που είχαν να κάνουν με την επεκτασιμότητα, καθώς οι εφαρμογές του περιορίζονταν μόνο στις συναλλαγές. Ο Buterin άρχισε να εργάζεται πάνω σε αυτό που πίστευε ότι θα ήταν ένα πιο «εύπλαστο» blockchain, που θα μπορούσε να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες εκτός από ένα δίκτυο peer-to-peer. Το 2013 λοιπόν, αποφάσισε να φτιάξει μια δικιά του πλατφόρμα, η οποία θα περιείχε την ιδέα των συμβολαίων (contracts) μεταξύ συμβαλλόμενων μερών. Έτσι λοιπόν, φτιάχτηκε το Ethereum το οποίο αποτελεί μια πλατφόρμα ανάπτυξης αποκεντρωμένων εφαρμογών (decentralized applications - Dapps). Σε αυτή, είναι δυνατή η διεκπεραίωση smart contracts, τα οποία είναι μεγάλης σημασίας σε εφαρμογές ιχνηλασιμότητας.

Φάση 3- Εφαρμογές

Στη συνέχεια της ανάπτυξης των Bitcoin και Ethereum, η τεχνολογία blockchain πέρασε στην φάση των ολοκληρωμένων εφαρμογών, δηλαδή στην πλήρη αξιοποίηση της τεχνολογίας, σε διάφορους τομείς. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι πλατφόρμες NEO και IOTA, οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για να λύσουν προβλήματα όπως τα μεγάλα κόστη συναλλαγών (transaction fees). Άλλες τεχνολογίες blockchain όπως οι Monero, Zcash και Dash λύνουν το πρόβλημα της επεκτασιμότητας του blockchain που υπάρχουν στις προηγούμενες φάσεις του. Σε αυτή τη φάση, επιπροσθέτως, υπάρχουν και αρκετές εταιρείες (όπως η Microsoft), που αναπτύσσουν ιδιωτικές πλατφόρμες blockchain, ώστε να μεγιστοποιήσουν την αποδοτικότητα τους στο εσωτερικό τους περιβάλλον (Goyal)⁸.

5.2. Πως λειτουργεί το Blockchain



Εικόνα 5.4 Διαδικασία πραγματοποίησης μίας συναλλαγής Πηγή: Investopedia

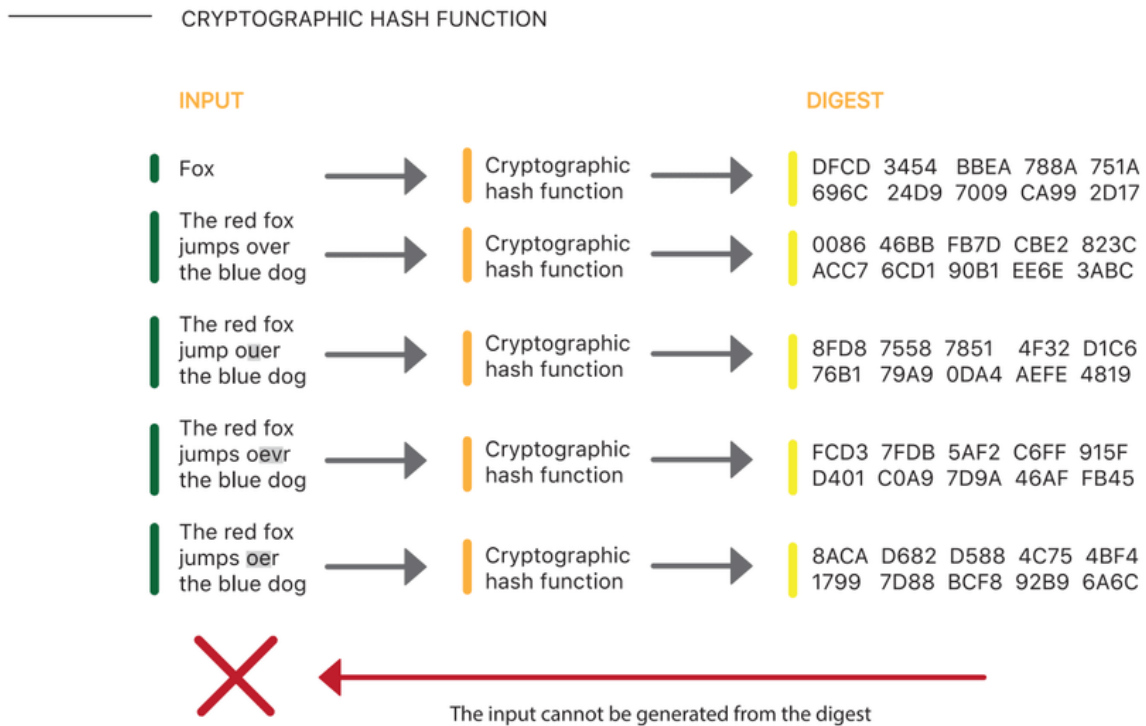
Αρχικά, όταν πραγματοποιείται μια συναλλαγή, δημιουργείται ένα αρχείο στο οποίο περιέχονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για τη συναλλαγή αυτή, όπως για παράδειγμα το ποσό της συναλλαγής, η ώρα της συναλλαγής, οι πληροφορίες για τους συμμετέχοντες και οι όροι υπό τους οποίους πραγματοποιείται. Στο αρχείο αυτό είναι επίσης καταγεγραμμένη, η ψηφιακή υπογραφή των συμμετεχόντων, η οποία είναι μοναδική για κάθε κόμβο στο δίκτυο. Στη συνέχεια, το αρχείο μεταδίδεται μέσα στο peer-to-peer δίκτυο, το οποίο ελέγχει την εγκυρότητα της συναλλαγής, με μια διαδικασία επίλυσης-ταυτοποίησης (consensus) (Binance Academy)¹⁰.

Με την συγκέντρωση πολλών τέτοιων συναλλαγών, διαμορφώνεται ένα block. Το block αυτό προστίθεται μετά το προηγούμενο block, δημιουργώντας μια μορφή αλυσίδας. Το κάθε block περιλαμβάνει έναν μοναδικό κωδικό hash (hash code), καθώς και το hash του προηγούμενου block. Ουσιαστικά αυτοί οι κωδικοί είναι κρυπτογραφημένες πληροφορίες για τη συναλλαγή, καθώς και η σειρά με την οποία έχουν προστεθεί στην αλυσίδα.

Οι κωδικοί hash δημιουργούνται από μια μαθηματική συνάρτηση που ονομάζεται hash function, η οποία έχει ως στοιχεία εισόδου όλες τις πληροφορίες της συναλλαγής και ως στοιχεία εξόδου, μια σειρά από αριθμητικούς και αλφαβητικούς χαρακτήρες (η οποία έχει

πάντα σταθερό μήκος). Η μαθηματική αυτή συνάρτηση είναι το “κλειδί” της ασφάλειας στο δίκτυο του blockchain, λόγω των ιδιοτήτων που έχει (*Security*)¹¹.

5.2.1 Πως λειτουργούν τα Hash functions



Εικόνα 5.5 Hash function πηγή : www.researchgate.net

Παρόλο που υπάρχουν πολλές διαφορετικές κατηγορίες κρυπτογραφικών συναρτήσεων hash (cryptographic hash functions), όλες μοιράζονται τις ίδιες πέντε ιδιότητες μεταξύ τους. Αυτή η σειρά ιδιοτήτων είναι που προσφέρει μεγάλη ασφάλεια σε εφαρμογές όπως το blockchain. Οι ιδιότητες τους είναι οι εξής (*Rhodes*)¹²:

Computationally efficient - Υπολογιστική απόδοση - Οι συναρτήσεις κατακερματισμού πρέπει να είναι υπολογιστικά αποδοτικές. Με άλλα λόγια, οι υπολογιστές πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν τη μαθηματική εργασία μιας συνάρτησης κατακερματισμού σε εξαιρετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

Ντετερμινισμός - Αυτό σημαίνει ότι για οποιαδήποτε δεδομένη είσοδο, μια συνάρτηση hash πρέπει πάντα να δίνει το ίδιο αποτέλεσμα, την ίδια ακριβή έξοδο (hash).

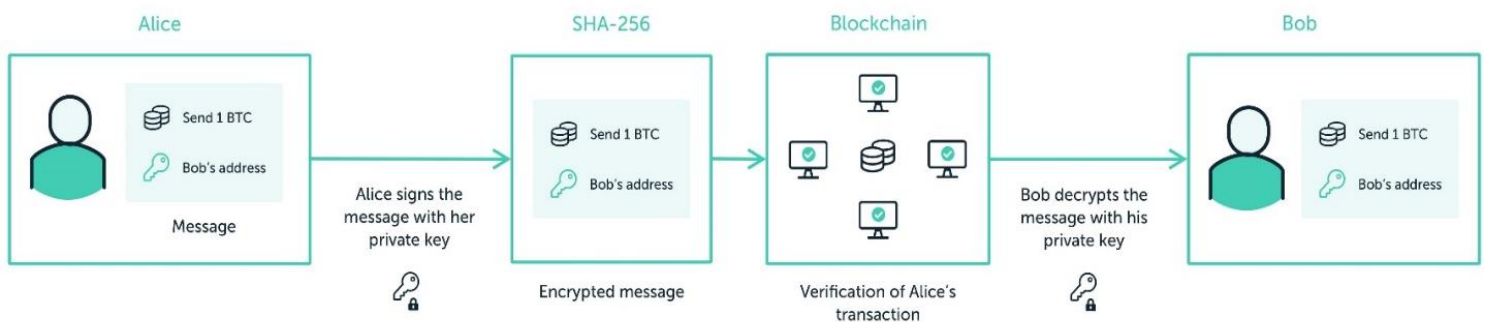
Μονοδρομία Pre-image Resistance - Η έξοδος μιας συνάρτησης, δεν πρέπει να αποκαλύπτει πληροφορίες σχετικά με την είσοδο. Αυτή η ιδιότητα, προσφέρει ασφάλεια στην περίπτωση που κάποιος επιχειρήσει να ανακαλύψει την ιδιωτική είσοδο κάποιου.

Collision Resistant – Πρέπει να είναι εξαιρετικά απίθανο, με άλλα λόγια πρακτικά αδύνατο, να βρεθούν δύο διαφορετικές εισροές που παράγουν την ίδια έξοδο.

Impossible To Reverse Engineer - Πρέπει να είναι αδύνατο να αντιστραφεί η μαθηματική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της εξόδου. Δεν υπάρχει αντίστροφη λειτουργία για μια συνάρτηση hash (Rhodes)¹².

5.3 Δημόσια και ιδιωτικά κλειδιά - Public and private keys

Όπως προαναφέρθηκε, για την πραγματοποίηση μίας συναλλαγής, απαιτείται η ηλεκτρονική υπογραφή των συμμετεχόντων κι αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των δημόσιων και των ιδιωτικών κλειδιών. Κάθε κόμβος στο δίκτυο του blockchain διαθέτει ένα ζεύγος από ηλεκτρονικά κλειδιά, ένα δημόσιο (public) και ένα ιδιωτικό (private). Ο σκοπός των κλειδιών αυτών, είναι να μπορεί να αποδειχθεί ότι μια συναλλαγή μέσα στο δίκτυο του blockchain, όντως έχει υπογραφεί από τους κόμβους που την πραγματοποιούν. Σ' αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι είναι εφικτή η ανάκτηση του δημόσιου κλειδιού εάν κάποιος κατέχει το ιδιωτικό του κλειδί. Ωστόσο, είναι αδύνατο να οδηγηθεί στο ιδιωτικό κλειδί χρησιμοποιώντας μόνο το δημόσιο (Ledger)¹³.



Εικόνα 5.6 Συναλλαγή με Public and private key πηγή: www.ledger.com

Ένα παράδειγμα της χρήσης δημοσίων και ιδιωτικών κλειδιών, φαίνεται στην εικόνα 5.6 παραπάνω.

Έστω ότι κάποιος ενδιαφερόμενος επιθυμεί να στείλει, μέσα στο δίκτυο του blockchain, κάποια ποσότητα κρυπτονομισμάτων σε έναν αποδέκτη. Για την πραγματοποίηση της συναλλαγής, αρχικά απαιτείται ο προσδιορισμός της ποσότητας των κρυπτονομισμάτων και η ηλεκτρονική ταυτότητα του δέκτη (δημόσιο κλειδί) καθώς και ο έλεγχος για την ύπαρξη της ποσότητας αυτής στο «πορτοφόλι» του αποστολέα. Ταυτόχρονα, ελέγχεται αν το δημόσιο κλειδί του αποστολέα προκύπτει απ' το ιδιωτικό. Στη συνέχεια, εάν ικανοποιούνται οι έλεγχοι, η συναλλαγή υπογράφεται ηλεκτρονικά απ' τον αποστολέα με το ιδιωτικό του κλειδί και παράγεται το hash της συναλλαγής. Έτσι, επιτυγχάνεται η επαλήθευση των συμμετεχόντων της συναλλαγής. Έπειτα, η συναλλαγή διανέμεται στους κόμβους του δικτύου του blockchain και αυτοί με τη σειρά τους ελέγχουν αν ικανοποιούνται οι παραπάνω προδιαγραφές. Με αυτό τον τρόπο, όλο το δίκτυο γνωρίζει ότι η συναλλαγή είναι αποδεκτή. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι δεν είναι γνωστά τα ιδιωτικά κλειδιά του αποστολέα και του δέκτη. Αυτός είναι ο λόγος λοιπόν, για τον οποίο, τα ιδιωτικά κλειδιά θα πρέπει να παραμένουν αποθηκευμένα σε ασφαλές μέρος από κάθε κόμβο (Hayes, “Blockchain Explained”)¹⁴.

5.4 Αλγόριθμοι Συναίνεσης (Consensus Algorithms)

Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, για να πραγματοποιηθεί μια συναλλαγή, απαιτείται η επικύρωσή της από όλους τους κόμβους του δικτύου, δηλαδή να υπάρξει συναίνεση (Chawla)¹⁵. Ένας αλγόριθμος συναίνεσης, είναι ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία συμφωνίας, ένα πρωτόκολλο μέσω του οποίου όλα τα μέρη του δικτύου blockchain καταλήγουν σε μια κοινή συμφωνία (consensus). Αυτός ο μηχανισμός είναι που επιτρέπει τη εμπιστοσύνη ανάμεσα σε αγνώστους, σε ένα κατανεμημένο υπολογιστικό περιβάλλον και διατηρεί την ακεραιότητα και την ασφάλεια αυτών των κατανεμημένων υπολογιστικών συστημάτων. Οι πιο κοινοί, αλλά όχι και μοναδικοί, αλγόριθμοι συναίνεσης (consensus algorithms) είναι οι Proof of Work (PoW) και Proof of Stake (PoS).



Εικόνα 5.7 Consensus Mechanisms Explained: PoW vs. PoS πηγή: hackernoon.com

5.4.1 Proof of Work (PoW)

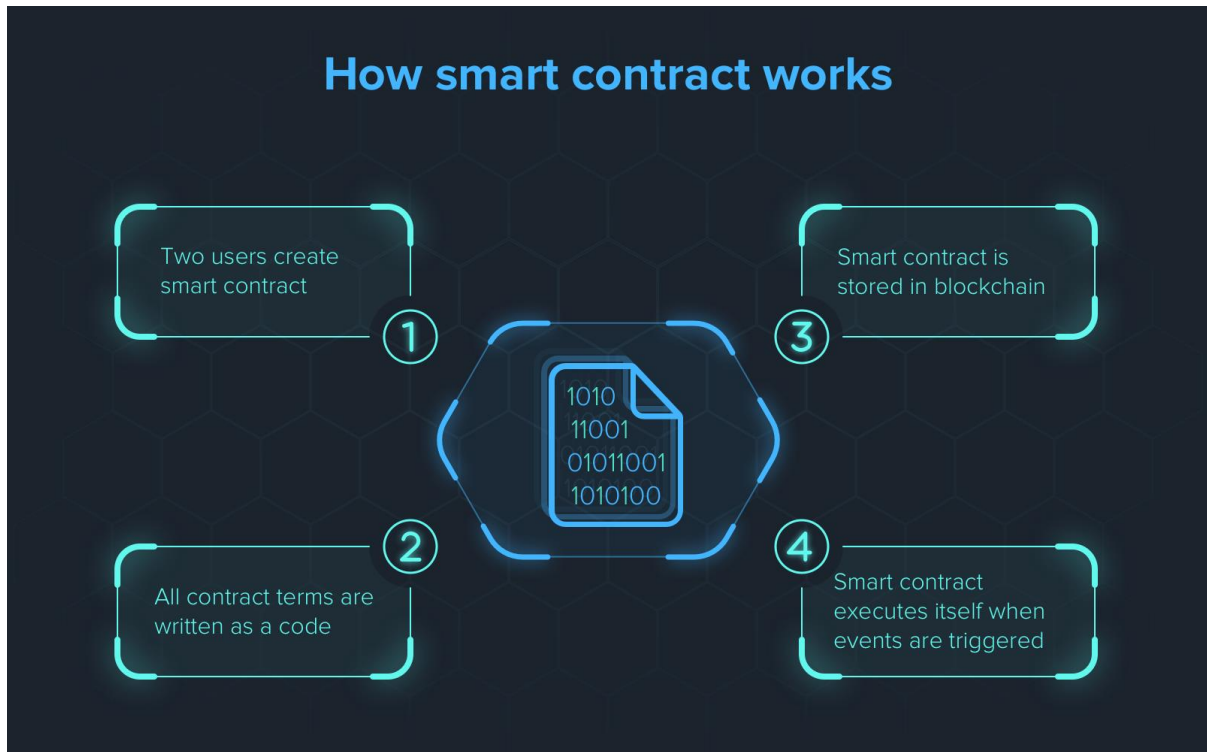
Το Proof of Work (PoW) είναι ο πιο κοινός αλγόριθμός συναίνεσης και για πρώτη φορά εφαρμόστηκε στο Bitcoin. Η λειτουργία του βασίζεται στην επίλυση ολοένα και δυσκολότερων μαθηματικών προβλημάτων, τα οποία καλούνται να λύσουν οι miners (εξορύκτες) του δικτύου, για να αποτρέψουν οποιαδήποτε κακόβουλη παρέμβαση και αλλοίωση των συναλλαγών σε αυτό. Το δίκτυο του blockchain, λοιπόν, καλεί συνεχώς τους κόμβους να βρουν hashes, μέσω δοκιμών, τα οποία ξεκινούν με ολοένα και μεγαλύτερο αριθμό από μηδενικά. Μόλις βρεθεί το hash που αναζητείται, από κάποιον miner (εξορύκτη), εκείνος εκπέμπει το νέο μπλοκ σε όλους τους άλλους κόμβους (nodes), οι οποίοι με τη σειρά τους επιβεβαιώνουν την ακρίβειά του και προσθέτουν αυτό το μπλοκ στο αντίγραφο του

blockchain, δημιουργώντας μια επαληθεύσιμη εγγραφή δεδομένων για ολόκληρο το δίκτυο. Αυτή η πορεία επαλήθευσης αντιπροσωπεύει συναίνεση. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως mining (εξόρυξη) και απαιτεί εξαιρετικά μεγάλο αριθμό προσπαθειών στον αλγόριθμο που παράγει το hash, και ως εκ τούτου χρειάζεται μεγάλη υπολογιστική δύναμη, η οποία συνήθως παρέχεται από κάρτες γραφικών (GPUs) και συνεπώς καταναλώνονται τεράστιες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας (*Academy Binance*)¹⁶. Για παράδειγμα, η εξόρυξη Bitcoin καταναλώνει περίπου 91 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ετησίως, όπως αναφέρεται σε έρευνα της New York Times (2021), αριθμός που ξεπερνά την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ολόκληρης της Φινλανδία, η οποία είναι μια χώρα 5,5 εκατομμυρίων κατοίκων.

5.4.2 Proof of Stake (PoS)

Σε ένα σύστημα Proof of Stake (PoS) δεν υπάρχει η έννοια της εξόρυξης, πράγμα που σημαίνει ότι μειώνεται αρκετά η ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία του δικτύου. Η δημιουργία ενός νέου μπλοκ σ' ένα τέτοιο δίκτυο, γίνεται μέσω ενός μόνο κόμβου. Η επιλογή αυτού του κόμβου εν μέρει γίνεται τυχαία και εν μέρει βάσει του ποσού των κρυπτονομισμάτων («κεφάλαιο») που διαθέτει και για πόσο καιρό τα διαθέτει. Με άλλα λόγια, με αυτή τη μέθοδο συναίνεσης, όσο περισσότερα κρυπτονομίσματα κατέχει κάποιος στο δίκτυο, τόσο μεγαλύτερες πιθανότητες έχει να επιλεγεί ως ο κόμβος που θα κοινοποιήσει το νέο μπλοκ. Αυτή είναι και η κινητήριος δύναμη, που ενθαρρύνει τους κόμβους να αγοράσουν περισσότερα κρυπτονομίσματα, καθώς αν είναι αυτοί που θα επιλεγούν απ' το σύστημα θα ανταμειφθούν από αυτό με επιπλέον κρυπτονομίσματα. Αυτή η διαδικασία απ' την άλλη, προδιαθέτει τον κίνδυνο να μαζευτεί μεγάλη «δύναμη» σε έναν κόμβο. Κάποια κρυπτονομίσματα που χρησιμοποιούν PoS είναι το Peercoin και το Nxt, ενώ το Ethereum είναι στη διαδικασία μετάβασης από PoW σε PoS. Ωστόσο, υπάρχουν κάποια αρνητικά με την μέθοδο του PoS, το σημαντικότερο των οποίων είναι η τάση κόμβων να μαζεύουν κρυπτονομίσματα και να μην τα χρησιμοποιούν (crypto hoarding) (*Academy Binance*)¹⁶.

5.5 Έξυπνα Συμβόλαια-Smart Contracts



Εικόνα 5.8 Smart Contracts πηγή : www.cleveroad.com

Τα «Έξυπνα συμβόλαια» είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον κώδικα που εκτελεί αυτόματα μια συμφωνία ή μέρη αυτής και αποθηκεύεται σε μια πλατφόρμα που βασίζεται σε blockchain. Δηλαδή, κάθε φορά που καλείται προς εκτέλεση μία λειτουργία του smart contract, αναπαράγεται και εκτελείται ο κώδικάς του και αν πληρούνται οι προϋποθέσεις, η νέα συναλλαγή προστίθεται σε ένα απ' τα επόμενα μπλοκς της αλυσίδας. Οι παράμετροι εισόδου και τα βήματα εκτέλεσης για ένα έξυπνο συμβόλαιο, πρέπει να είναι συγκεκριμένα και αντικειμενικά. Με άλλα λόγια, πρέπει να δίνονται εντολές της μορφής «εάν εμφανίζεται το "x", τότε εκτελέστε το βήμα "y"». Ως εκ τούτου, οι εργασίες που εκτελούν τα έξυπνα συμβόλαια είναι αρκετά στοιχειώδεις, όπως για παράδειγμα η αυτόματη μεταφορά μιας ποσότητας κρυπτονομίσματος από το πορτοφόλι του ενός μέρους στο άλλο, όταν πληρούνται τα απαραίτητα κριτήρια. Για παράδειγμα, στα κατασκευαστικά έργα, ένα έξυπνο συμβόλαιο βοηθά τον ανάδοχο να πληρωθεί αμέσως μόλις ολοκληρωθεί η εργασία, αφού επαληθευτεί από όλα τα μέρη, αυτόματα χωρίς καμία διαδικασία τιμολόγησης. Ας υποθέσουμε για παράδειγμα, ότι ένας κατασκευαστής χάλυβα είναι έτοιμος να στείλει τα χαλύβδινα εξαρτήματα στο εργοτάξιο. Θα καταγράψει αυτές τις πληροφορίες στο blockchain και το

έξυπνο συμβόλαιο θα ελέγξει το αίτημά του και ο κατασκευαστή θα χρηματοδοτηθεί αυτόματα απ' το συμβόλαιο. Μόλις παραδοθούν τα εξαρτήματα στο εργοτάξιο, ο διαχειριστής του έργου θα καταγράψει στο συμβόλαιο την πληροφορία αυτή, επιβεβαιώνοντας τη συναλλαγή. Τα κεφάλαια θα μεταφέρονταν αυτόματα από τον λογαριασμό του έργου στον λογαριασμό του κατασκευαστή χάλυβα. Τα έξυπνα συμβόλαια είναι προς το παρόν τα πλέον κατάλληλα για την αυτόματη εκτέλεση δύο τύπων «συναλλαγών» που συναντώνται σε πολλά συμβόλαια: (1) διασφάλιση της πληρωμής κεφαλαίων σε ορισμένα γεγονότα ενεργοποίησης τους και (2) επιβολή οικονομικών κυρώσεων εάν δεν πληρούνται ορισμένες αντικειμενικές προϋποθέσεις. Σε κάθε περίπτωση, η ανθρώπινη παρέμβαση είναι περιττή, από τη στιγμή που το έξυπνο συμβόλαιο έχει αναπτυχθεί, είναι λειτουργικό και όλη η διαδικασία πραγματοποιείται αυτόματα (*Levi and B. Lipton*)¹⁷.

5.5.1 Ethereum Blockchain

Το Ethereum είναι ένα δίκτυο peer-to-peer από εικονικές μηχανές (virtual machines), όπου κάθε προγραμματιστής, μπορεί να χρησιμοποιήσει για να «τρέξει» κατανεμημένες εφαρμογές (DApps) και χρησιμοποιεί σαν νόμισμα το Ether. Το Ethereum χρησιμοποιεί ένα αποκεντρωμένο και δημόσιο Blockchain όπου αποθηκεύει, εκτελεί και προστατεύει αυτά τα συμβόλαια με κρυπτογραφία. Κάθε υπολογιστής στο δίκτυο κατεβάζει ένα μικρό virtual machine, για να συγχρονιστεί στο Blockchain του Ethereum και παραμένει διαθέσιμος για την εκτέλεση συμβολαίων. Αυτό το κατανεμημένο δίκτυο υπολογιστών προσφέρει ασφάλεια, αξιοπιστία και την υπολογιστική ισχύ που χρειάζονται οι εφαρμογές (*Antonopoulos et al.*)¹⁸.

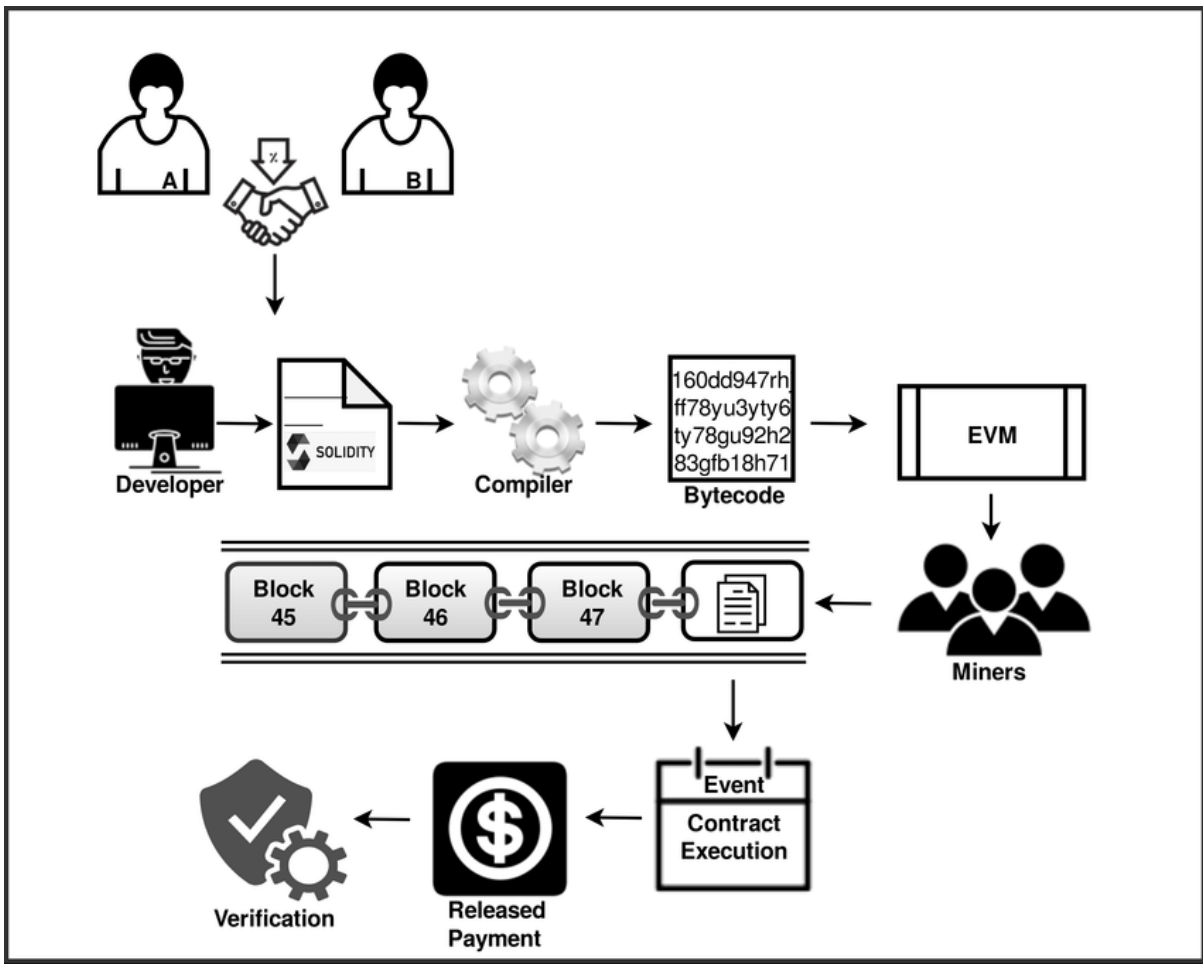
5.5.2 EVM (Ethereum Virtual Machine)

Το EVM είναι το κομμάτι του Ethereum που διαχειρίζεται την ανάπτυξη και την εκτέλεση έξυπνων συμβολαίων στο δίκτυο του Ethereum. Ουσιαστικά το EVM είναι ένας παγκόσμιος και αποκεντρωμένος υπολογιστής, κατανεμημένος σε όλους τους υπολογιστές που συμμετέχουν στο δίκτυο του Ethereum, ο οποίος περιέχει εκατομμύρια εκτελέσιμα αντικείμενα, τα οποία έχουν το καθένα τον δικό του μόνιμο αποθηκευτικό χώρο. Αυτός ο παγκόσμιος υπολογιστής εκτελεί οποιαδήποτε υπολογιστική διεργασία, η οποία αλλάζει την κατάσταση ενός δεδομένου, εκτός από απλές συναλλαγές μεταξύ λογαριασμών. Υπάρχει όμως περιορισμός των υπολογιστικών βημάτων στις εκτελέσιμες διεργασίες, από το ποσό του gas που είναι διαθέσιμο για την εκτέλεση οποιουδήποτε έξυπνου συμβολαίου (*Antonopoulos et al.*)¹⁸.

5.5.3 Έξυπνα Συμβόλαια Ethereum

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα έξυπνα συμβόλαια (smart contracts) είναι λειτουργικός κώδικας, που βρίσκεται στο blockchain για την εκτέλεση και την επιβολή των όρων μίας

συμφωνίας. Στόχος των έξυπνων συμβολαίων είναι η αυτόματη εκπλήρωση των όρων αυτών, όταν πληρούνται οι καθορισμένες προϋποθέσεις. Επίσης, τα έξυπνα συμβόλαια προσφέρουν χαμηλά τέλη συναλλαγής σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα, τα οποία χρειάζονται κάποιον μεσάζοντα για την εκτέλεση των όρων της συμφωνίας. Ένα έξυπνο συμβόλαιο απαρτίζεται από το υπόλοιπο του λογαριασμού (μία ποσότητα ether που υπάρχει μέσα στο συμβόλαιο), έναν ιδιωτικό αποθηκευτικό χώρο και τον εκτελέσιμο κώδικα. Αυτή η κατάσταση είναι αποθηκευμένη στο blockchain και αναβαθμίζεται κάθε φορά που καλείται το συμβόλαιο από κάποιον χρήστη. Στην εικόνα 5.9 μπορούμε να δούμε πώς αλληλοεπιδρά ένα έξυπνο συμβόλαιο με τους χρήστες και με το blockchain (Antonopoulos et al.)¹⁸.



Εικόνα 5.9 Smart Contract- Blockchain- Users πηγή: <https://www.researchgate.net>

5.5.4 Ο κύκλος ζωής ενός έξυπνου συμβολαίου

Τα έξυπνα συμβόλαια γράφονται σε γλώσσες υψηλού επιπέδου, όπως η Solidity. Για να καταφέρουν όμως να εκτελεστούν στο Ethereum Virtual Machine, πρέπει να μεταγλωττιστούν σε χαμηλού επιπέδου bytecode κι έπειτα γίνεται η ανάπτυξη στην πλατφόρμα του Ethereum μέσω μίας ειδικής συναλλαγής για την δημιουργία του συμβολαίου. Κάθε συμβόλαιο

αναγνωρίζεται από την Ethereum διεύθυνση του, όπου αποτελείται από την συναλλαγή δημιουργίας συμβολαίου του λογαριασμού που την δημιούργησε και του αριθμού nonce (ένας τυχαίος αριθμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μία φορά στον ίδιο κώδικα). Αυτή η διεύθυνση χρησιμεύει στις συναλλαγές, ως διεύθυνση παραλήπτη για την αποστολή χρημάτων στο συμβόλαιο ή για την κλήση κάποιας από τις συναρτήσεις του συμβολαίου. Οι διευθύνσεις των συμβολαίων έχουν την ιδιαιτερότητα ότι δεν σχετίζονται με τον λογαριασμό που τις δημιούργησε, σε αντίθεση με τους λογαριασμούς των χρηστών. Παράλληλα, ο χρήστης που δημιούργησε το συμβόλαιο, δεν έχει ειδικά δικαιώματα σε επίπεδο πρωτοκόλλου και ουσιαστικά ένας λογαριασμός έξυπνου συμβολαίου δεν έχει ιδιοκτήτη αλλά ανήκει στον εαυτό του. Επίσης, για να εκτελεστούν τα έξυπνα συμβόλαια πρέπει απαραίτητα να κληθούν, από κάποιον χρήστη, μέσω κάποιας συναλλαγής. Κανένα συμβόλαιο δεν μπορεί να ξεκινήσει από μόνο του ούτε να τρέξει στο παρασκήνιο. Παραμένουν αδρανή μέχρι κάποια συναλλαγή να προκαλέσει την εκτέλεση τους είτε άμεσα είτε έμμεσα. Για να γίνει έμμεσα, ένα συμβόλαιο, το οποίο έχει καλέσει κάποιος χρήστης, καλεί κάποιο άλλο και αυτό καλεί ένα επόμενο και τα λοιπά, δημιουργώντας μία αλυσίδα, δηλαδή τα συμβόλαια εκτελούνται σειριακά και όχι παράλληλα. Ανεξάρτητα απ' το πόσα συμβόλαια εκτελούνται αφού κληθεί το πρώτο ή το τι κάνουν αυτά όταν με τη σειρά τους κληθούν και εκτελεστούν, γι' αυτές τις ενέργειες υπεύθυνος είναι μόνο ένας χρήστης, με οποιαδήποτε αλλαγή στις καταστάσεις του συμβολαίου να καταγράφεται μόνο αν η εκτέλεση ολοκληρώθηκε επιτυχημένα χωρίς κανένα σφάλμα. Αν η εκτέλεση δεν ολοκληρωθεί για οποιονδήποτε λόγο, όλες οι μεταβολές που έγιναν θα επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση, σαν να μην εκτελέστηκε ποτέ αυτή η συναλλαγή, η συναλλαγή θα θεωρηθεί ανεπιτυχής και τα Ether που ξοδεύτηκαν για το gas θα αφαιρεθούν από τον λογαριασμό που επιχείρησε την συναλλαγή. Όπως ειπώθηκε παραπάνω, ο κώδικας ενός συμβολαίου δεν μπορεί να αλλάξει, μπορεί όμως να διαγραφεί το έξυπνο συμβόλαιο, με την αφαίρεση του κώδικα και των στοιχείων στον αποθηκευτικό του χώρο, από την διεύθυνση του, αφήνοντας έναν κενό λογαριασμό. Αξίζει να σημειωθεί, ότι δικαίωμα διαγραφής του συμβολαίου έχει μόνο ο δημιουργός του και αν δεν επιχειρήσει τη διαγραφή του το συμβόλαιο θα παραμείνει για πάντα στο blockchain. Αφού πλέον δεν θα υπάρχει ο κώδικας του συμβολαίου και άρα συμβόλαιο προς εκτέλεση, οι συναλλαγές που αποστέλλονται σε αυτή την διεύθυνση δεν προκαλούν την οποιαδήποτε ενέργεια. Τέλος, λόγω του αμετάβλητου του blockchain, η διαγραφή αυτή δεν αφαιρεί το ιστορικό των συναλλαγών του συμβολαίου (*Antonopoulos et al.*)¹⁸.

5.5.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των έξυπνων συμβολαίων.

5.5.5.1 Πλεονεκτήματα έξυπνων συμβολαίων

Αυτονομία και αποταμίευση

Δεν είναι απαραίτητη η παρέμβαση κάποιου μεσάζοντα για να επιβεβαιώσει τη συμφωνία (πχ τράπεζα). Έτσι, αυξάνεται η εμπιστοσύνη και η διαφάνεια, εξαλείφεται ο κίνδυνος χειραγώγησης από τρίτους και παράλληλα μειώνονται σημαντικά τα κόστη των συναλλαγών.

Αντίγραφα Ασφαλείας

Χάρη στις δυνατότητες του blockchain, οι λεπτομέρειες των smart contracts καταγράφονται σε πολλά σημεία στο δίκτυο και άρα δεν υπάρχει κίνδυνος απώλειας τους.

Ασφάλεια

Τα έξυπνα συμβόλαια είναι κρυπτογραφημένα στο blockchain και άρα τα δεδομένα τους προστατεύονται από διείσδυση σε αυτά και αλλοίωσή τους.

Ταχύτητα και ακρίβεια









Τα έξυπνα συμβόλαια αυτοματοποιούν τις εργασίες. Όταν πληρούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις, εξοικονομούν σημαντικό χρόνο από διάφορες εργασίες, σε σύγκριση με τον παραδοσιακό γραφειοκρατικό τρόπο. Παράλληλα, όντας ψηφιακά, δεν εμπλέκεται ο ανθρώπινος παράγοντας κι έτσι εξαλείφονται τα σφάλματα που προκύπτουν από χειροκίνητες διαδικασίες (CFI)¹⁹.

5.5.5.2 Μειονεκτήματα έξυπνων συμβολαίων

- Αμεταβλητότητα : Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, μόλις ένα έξυπνο συμβόλαιο «ανέβει» στο δίκτυο του blockchain, δεν γίνεται να αλλάξει κάτι στον κώδικα του, το οποίο είναι αρνητικό στην περίπτωση που υπάρχουν λογικά σφάλματα ή κενά ασφαλείας (Nzuvu)²⁰

- Ζητήματα ιδιωτικότητας : Η τεχνολογία blockchain διανέμει τα έξυπνα συμβόλαια σε όλους τους κόμβους του δικτύου και καθώς οι συναλλαγές που καταγράφονται στο blockchain γίνονται με χρήση κρυπτογραφίας, η προέλευση της συναλλαγής και όλοι οι συμμετέχοντες στο δίκτυο είναι ανώνυμοι και ασφαλείς. Στην εκτέλεση των συμβολαίων όμως δεν υπάρχει ανωνυμία, διότι όλες οι συναλλαγές και τα περιεχόμενά τους είναι ορατά από όλους τους χρήστες. Κάθε κόμβος μπορεί να διαβάσει και να αποκτήσει πρόσβαση στα περιεχόμενα της συναλλαγής (Nzuva)²⁰.
- Νομικά ζητήματα : Παραδοσιακά για να πραγματοποιηθεί ένα συμβόλαιο και να είναι έγκυρο, πρέπει να ικανοποιούνται κάποιες προϋποθέσεις. Τα βασικά χαρακτηριστικά μιας νομικά εκτελέσιμης σύμβασης είναι: προσφορά από ένα μέρος ή μέρη, αποδοχή από το άλλο μέρος ή μέρη, αμοιβαία υπόσχεση, αντάλλαγμα και δικαιοπρακτική ικανότητα και σε ορισμένες συμβάσεις, γραπτό έγγραφο. Αυτά τα στοιχεία σε ένα συμβόλαιο είναι κρίσιμα και κάποια από αυτά δεν μπορούν να εφαρμοστούν στα έξυπνα συμβόλαια. Για παράδειγμα, για τον χρηματοπιστωτικό τομέα απαιτούνται συγκεκριμένες άδειες και άδειες χρήσης από την κυβέρνηση, για ένα έντυπο, για τη συμμετοχή σε συναλλαγές που εκτελούνται σε καθολικά. Ωστόσο, παρά την αδειοδότηση και τις σχετικές εγκρίσεις, η νομική εκτελεστικότητα των έξυπνων συμβολαίων δεν έχει ακόμη καθοριστεί και συγχρονιστεί με το δίκαιο των συμβάσεων, καθώς και με άλλους νόμους που παρέχουν χρηματοοικονομικές συναλλαγές. (Nzuva)²⁰.

5.6 Δημόσιο και ιδιωτικό Blockchain -Public and Private Blockchain

PUBLIC	PRIVATE
 Anyone can participate	 Participants are pre-selected
 Requires a crypto currency	 No crypto currency is required
 High decentralization	 Low decentralization
 Low throughput	 High throughput
 High energy consumption	 Low energy consumption

Εικόνα 5.10 Public and Private Blockchain πηγή: e-zigurat.com

Παρά το γεγονός ότι το blockchain χωρίζεται σε υποκατηγορίες, υπάρχουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι κοινά σε όλες τις μορφές του. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι το blockchain παραμένει αμετάβλητο. Τα επαληθευμένα δεδομένα (τα μπλοκ) δηλαδή, δεν μπορούν να αλλοιωθούν ή να διαγραφούν πλήρως από ένα άτομο ή ένα πλήθος ατόμων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι ο έλεγχος ταυτότητας. Τα δημόσια αλλά και τα ιδιωτικά blockchain, βασίζονται στους χρήστες και στα μέλη τους, δηλαδή στους κόμβους του δικτύου, για τον έλεγχο ταυτότητας ή την έγκριση τροποποιήσεων, όπως η εισαγωγή νέων συναλλαγών, στο καθολικό. Τέλος, υπάρχουν διανεμημένα αντίγραφα των δεδομένων σε όλους τους κόμβους του δικτύου, σε πραγματικό χρόνο, για την αποφυγή της αλλοίωσής τους και για την αποτροπή περιστατικών παράνομων παραβιάσεων (*flexible.com*)²¹.

5.6.1 Δημόσιο Blockchain

Ένα δημόσιο blockchain είναι ένα δίκτυο, στο οποίο ο καθένας μπορεί να εγγραφεί οποτεδήποτε θελήσει και να συμμετάσχει στις βασικές δραστηριότητές του. Του δίνεται η δυνατότητα δηλαδή, να διαβάσει, να γράψει και να ελέγξει τις συνεχόμενες δραστηριότητες, λαμβάνοντας μέρος στη διαδικασία συναίνεσης, κάτι το οποίο βοηθά ένα δημόσιο blockchain να διατηρήσει την αυτοδιοικούμενη φύση του.

Το δημόσιο δίκτυο λειτουργεί βάσει ενός συστήματος παροχής κινήτρων, που ενθαρρύνει νέους συμμετέχοντες να λάβουν μέρος και να διατηρήσουν το δίκτυο ευέλικτο. Οι δημόσιες αλυσίδες μπλοκ, προσφέρουν μια ιδιαίτερα πολύτιμη λύση, από την άποψη μιας πραγματικά αποκεντρωμένης, εκδημοκρατισμένης, χωρίς εξουσία και μεσάζοντες λειτουργία. Λόγω της αποκεντρωμένης και διανεμητικής φύσης του λοιπόν, το δημόσιο blockchain παρέχει ασφάλεια, αφού οι πιθανότητες χειραγώγησης, πειρατείας και επιθέσεων είναι ελάχιστες. Οι πληροφορίες που διανέμονται εντός του δικτύου, είναι απλώς αδύνατο να τροποποιηθούν και να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα αλλαγές σε όλα τα αντίγραφα των βάσεων δεδομένων που είναι διαθέσιμα σε κάθε κόμβο στο δίκτυο. Παράλληλα, οι χρήστες του δικτύου παραμένουν ανώνυμοι, καθώς η ταυτότητά τους είναι κρυπτογραφημένη και προστατεύεται από τα δημόσια κλειδιά.

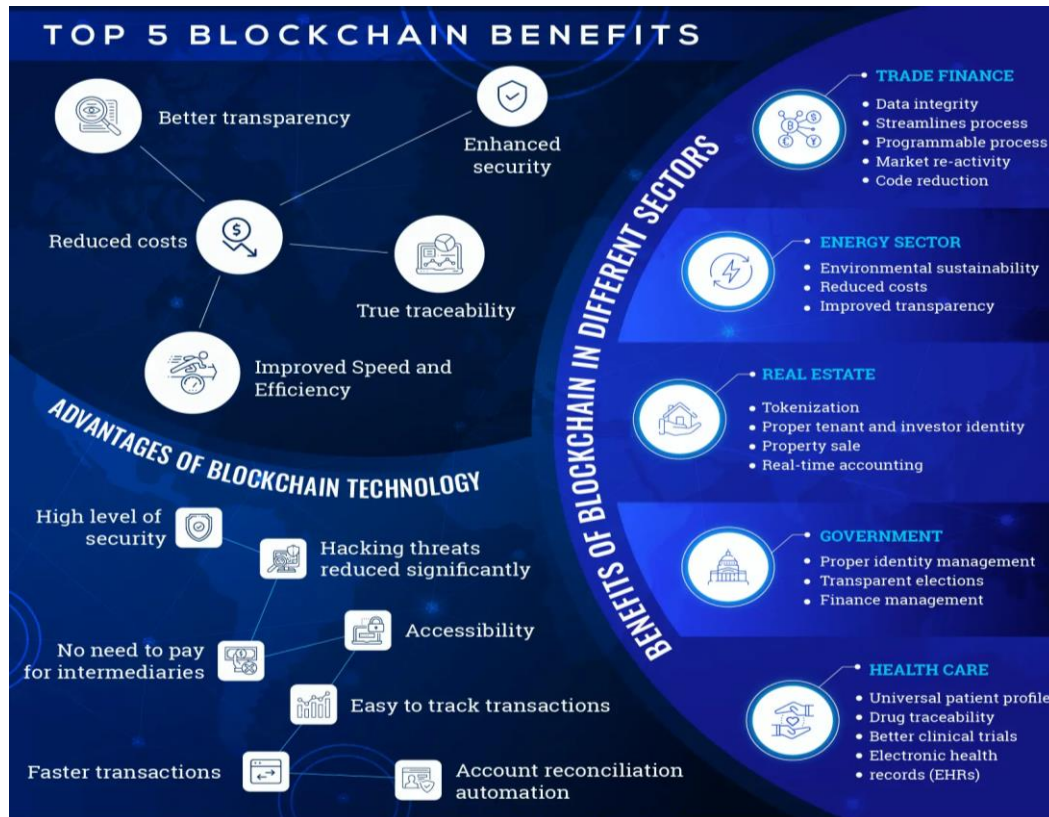
Απ' την άλλη υπάρχουν κάποια ζητήματα στα δημόσια blockchain, όπως η επεκτασιμότητα. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, όλοι οι χρήστες του δικτύου είναι υποχρεωμένοι να επικυρώνουν κάθε νέα συναλλαγή. Η άμεση συνέπεια αυτού είναι συνήθως οι αργές συναλλαγές και η χαμηλή απόδοση των συναλλαγών. Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει, έχει να κάνει με το απόρρητο. Τα δημόσια blockchain έχουν απεριόριστη διαφάνεια, με αποτέλεσμα να υπάρχει ελάχιστο ή καθόλου απόρρητο για τις συναλλαγές (*flexible.com*)²⁰. Τέλος τα δημόσια blockchain, απαιτούν μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του κατανεμημένου δημόσιου καθολικού (*Seth, "Public, Private, Permissioned Blockchains Compared"*)²².

5.6.2 Ιδιωτικό Blockchain

Ένα ιδιωτικό blockchain είναι ένας ειδικός τύπος τεχνολογίας blockchain, όπου μόνο ένας οργανισμός έχει εξουσία στο δίκτυο. Συνήθως, οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν εταιρικές αλυσίδες μπλοκ για ενδοεπιχειρηματικούς σκοπούς, με πρόσβαση μόνο στα μέλη και τους υπαλλήλους της εταιρείας. Αυτό σημαίνει, ότι δεν είναι ανοιχτό για το κοινό να συμμετάσχει και υπάρχει κάποια μορφή ελέγχου εξουσιοδότησης, για οποιονδήποτε εισέρχεται στην πλατφόρμα. Οι νέοι χρήστες επικυρώνονται και τους παρέχεται πρόσβαση στις πληροφορίες της επιχείρησης μέσω του συστήματος διαχείρισης ταυτότητας. Όπως γίνεται αντιληπτό, ένα ιδιωτικό blockchain δεν είναι πλήρως αποκεντρωμένο, όπως μία δημόσια πλατφόρμα blockchain. Θα λέγαμε πως αποτελεί, μια μερικώς αποκεντρωμένη κατάσταση (*Iredale*)²³. Παράλληλα, λόγω του περιορισμένου αριθμού των χρηστών του δικτύου (κόμβοι), η επεξεργασία και η επικύρωση των συναλλαγών ή των δραστηριοτήτων είναι πολύ πιο γρήγορη, καθώς το ποσοστό των χρηστών που πρέπει να επιτευχθεί συναίνεση είναι μικρότερο. Ο μικρός αριθμός των κόμβων όμως, μειώνει την εμπιστοσύνη στο δίκτυο, καθώς για την επικύρωση των συναλλαγών είναι υπεύθυνοι ορισμένοι ισχυροί κόμβοι. Δηλαδή, όλοι οι άλλοι χρήστες εκτός από αυτούς με εξουσία επικύρωσης, δεν είναι αρκετά αξιόπιστοι ώστε να αναλάβουν δικαιώματα διακυβέρνησης στο δίκτυο. Επίσης, λόγω του μικρού αριθμού χρηστών, είναι πολύ πιο εύκολο για μια μεμονωμένη οντότητα να αποκτήσει τον έλεγχο ή να

αποξενώσει το δίκτυο της αλυσίδας μπλοκ για ιδιοτελείς, δόλιους σκοπούς. Είναι ουσιαστικά πιο επιρρεπές σε hacks, επιθέσεις και χειρισμούς βάσεων δεδομένων (flexible.com)²¹.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Τα πλεονεκτήματα του Blockchain



Εικόνα 6.1 Blockchain Benefits πηγή: 101blockchains.com

Όπως γίνεται φανερό, η τεχνολογία Blockchain μπορεί να επιλύσει βασικά ζητήματα σε ένα δίκτυο και να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Μερικά απ' αυτά είναι τα εξής ((Nitish Singh, 2019)²⁴, (IBM, 2022)²⁵) :

Ενισχυμένη ασφάλεια

Με τη βοήθεια των hash function και των ιδιωτικών και δημοσίων κλειδιών, οι συναλλαγές που καταγράφονται είναι αμετάβλητες και αναλλοίωτες, καθώς η κάθε συναλλαγή είναι συνδεδεμένη με την προηγούμενή της. Η ασφάλεια ενισχύεται επίσης από το γεγονός ότι για να καταγραφεί μία συναλλαγή, πρέπει να εξασφαλιστεί η συναίνεση από όλους τους κόμβους καθώς κι απ' το γεγονός ότι κάθε κόμβος του δικτύου, διατηρεί ένα αντίγραφο των συναλλαγών που έχουν πραγματοποιηθεί ποτέ. Παράλληλα, το δίκτυο είναι peer-to-peer,

οπότε δεν υπάρχει κεντρική αρχή, η οποία να ρυθμίζει την λειτουργία του και άρα σε αυτή να βασίζεται η ασφάλεια όλων των κόμβων. Έτσι, εάν κάποιος κακόβουλος παράγοντας θελήσει ποτέ να κάνει αλλαγές στη συναλλαγή, δεν θα μπορέσει να το κάνει, καθώς άλλοι κόμβοι θα απορρίψουν το αίτημά του για εγγραφή συναλλαγών στο δίκτυο.

Καλύτερη Διαφάνεια

Το blockchain, ως ένα αποκεντρωμένο δίκτυο, χρησιμοποιεί ένα κατακεντρωμένο καθολικό (ledger) στο οποίο, οι συναλλαγές και τα δεδομένα καταγράφονται πανομοιότυπα σε όλους τους κόμβους (nodes). Όλοι οι συμμετέχοντες στο δίκτυο με άδεια πρόσβασης βλέπουν τις ίδιες πληροφορίες ταυτόχρονα, παρέχοντας πλήρη διαφάνεια. Όλες οι συναλλαγές καταγράφονται αμετάβλητα και φέρουν σφραγίδα ώρας και ημερομηνίας. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στα μέλη να δουν ολόκληρο το ιστορικό μιας συναλλαγής και ουσιαστικά εξαλείφει κάθε ευκαιρία για απάτη.

Ιχνηλασιμότητα

Με το blockchain, δίνεται η δυνατότητα, εκμετάλλευσης αυτής της ιδιότητας, σε τομείς όπως για παράδειγμα, στην εφοδιαστική αλυσίδα. Η εφοδιαστική αλυσίδα, συνεργάζεται τόσο με πωλητές όσο και με προμηθευτές. Στην παραδοσιακή αλυσίδα εφοδιασμού, είναι δύσκολο να εντοπιστούν τα προϊόντα που μεταφέρονται, με αποτέλεσμα να προκύπτουν πολλαπλά προβλήματα, όπως κλοπή, απομίμηση και απώλεια αγαθών. Το blockchain επιτρέπει σε κάθε συμβαλλόμενο μέρος να εντοπίσει τα αγαθά και να διασφαλίσει ότι δεν αντικαθίσταται ή δεν χρησιμοποιείται κατάχρηση κατά τη διαδικασία της αλυσίδας εφοδιασμού. Έτσι, δημιουργεί μια διαδρομή ελέγχου που τεκμηριώνει την προέλευση ενός περιουσιακού στοιχείου σε κάθε βήμα της διαδρομής του.

Βελτιωμένη ταχύτητα και υψηλή απόδοση

Οι παραδοσιακές διαδικασίες που απαιτούν γραφειοκρατικές διαδικασίες, οι οποίες είναι χρονοβόρες, επιρρεπείς σε ανθρώπινα λάθη και απαιτούν μεσολάβηση τρίτων. Με τη βοήθεια του blockchain, η διαδικασία πραγματοποίησης συναλλαγών, απαλλάσσεται από μεσάζοντες και μπορεί να ολοκληρωθεί ταχύτερα και πιο αποτελεσματικά. Τα απαιτούμενα έγγραφα αποθηκεύονται στο δίκτυο του blockchain, και οι λεπτομέρειες των συναλλαγών αυτών καταγράφονται στο καθολικό (distributed ledger). Έτσι είναι αδύνατη η απώλεια των πληροφοριών αυτών.

Αυτοματοποίηση

Οι συναλλαγές μπορούν να αυτοματοποιηθούν με τη βοήθεια των «έξυπνων συμβολαίων», τα οποία αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας. Τα έξυπνα συμβόλαια, με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι προκαθορισμένες απαιτήσεις, ενεργοποιούν αυτόματα το επόμενο μέρος της συμφωνίας. Μ αυτό τον τρόπο, μειώνεται η ανθρώπινη παρέμβαση καθώς και η εξάρτηση από τρίτους για την επαλήθευση της τήρησης των όρων μιας σύμβασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. Τομείς στους οποίους μελετάται η υιοθέτηση του Blockchain

7.1 Internet of things (IoT) - Διαδίκτυο των πραγμάτων

«Το Διαδίκτυο των πραγμάτων ή Ίντερνετ των πραγμάτων , αποτελεί το δίκτυο επικοινωνίας πληθώρας συσκευών, οικιακών συσκευών, αυτοκινήτων καθώς και κάθε αντικειμένου που ενσωματώνει ηλεκτρονικά μέσα, λογισμικό, αισθητήρες και συνδεσιμότητα σε δίκτυο, ώστε να επιτρέπεται η σύνδεση και η ανταλλαγή δεδομένων. Απλούστερα, η φιλοσοφία του IoT είναι η σύνδεση όλων των ηλεκτρονικών συσκευών μεταξύ τους (τοπικό δίκτυο) ή με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο (παγκόσμιο ιστό)» όπως αναγράφει η Wikipedia²⁶. Το διαδίκτυο των πραγμάτων, είναι ένα απ' τα πιο δημοφιλή πεδία εφαρμογής του blockchain και όπως υποστηρίζουν οι (Jaoude and Saade)²⁷, το Blockchain έχει την ικανότητα να βελτιώνει συνεχώς την τεχνολογία του Διαδικτύου των πραγμάτων. Μερικοί απ' τα οφέλη που έχει προσφέρει είναι: ενισχυμένη ασφάλεια διασυνδεδεμένων συσκευών, διατήρηση της ανωνυμίας, χρήση έξυπνων συμβολαίων, μηχανισμοί και πρωτόκολλα διαχείρισης συσκευών και ασφάλεια δικτύου.

Συγκεκριμένα, το Blockchain μπορεί να αξιοποιήσει τον χώρο διευθύνσεων του (160 bit), που επιτρέπει τη δραστική μείωση της πιθανότητας σύγκρουσης διευθύνσεων, καθώς και την εξάλειψη της ανάγκης για οποιαδήποτε διαχείριση από κεντρικές αρχές. Επιπλέον, οι συσκευές που σχετίζονται με το IoT μπορούν εύκολα να εγγραφούν και να αναγνωριστούν σε ένα ενοποιημένο καθολικό, με δυνατότητα γρήγορης και ασφαλούς μεταφοράς δικαιωμάτων και ιδιοκτησίας συσκευών μεταξύ των διαφόρων μερών μέσα στο σύστημα. Επίσης, όλα τα δεδομένα που μεταδίδονται μέσω του δικτύου, ελέγχονται κρυπτογραφικά, γεγονός που επιτρέπει την ασφαλή παρακολούθηση και την ακεραιότητα των δεδομένων.

7.2 Οικονομικά

Το Blockchain χρησιμοποιείται ως η κύρια τεχνολογία στις συναλλαγές ψηφιακών νομισμάτων από το 2008, όταν εισήχθη το νόμισμα Bitcoin. Μία άλλη επιλογή για τέτοιους σκοπούς, είναι η πλατφόρμα Ripple και το ομώνυμο κρυπτονόμισμα. Χάρη στη χρήση της τεχνολογίας blockchain μέσω του Ripple, μπορούν να γίνουν μεταφορές οποιουδήποτε ποσού από οπουδήποτε στον κόσμο, μετατρέποντας αυτόματα από το ένα νόμισμα στο άλλο (*leally.ru*)²⁸.

Τον Σεπτέμβριο του 2015, εννέα από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες τράπεζες άρχισαν να συνεργάζονται μαζί, προκειμένου να δοκιμάσουν την τεχνολογία του blockchain. Επιπλέον, τον Απρίλιο του 2016, ανακοινώθηκε ότι η σουηδική τράπεζα Nordea, η ιαπωνική τράπεζα Mizuho Bank και η ιταλική τράπεζα Unicredit ξεκίνησαν μια συνεργασία blockchain με την startup εταιρεία R3 με έδρα τη Νέα Υόρκη, προκειμένου να οικοδομήσουν ένα πλαίσιο για τη χρήση του blockchain στις συναλλαγές τους. Το BBC, ανακοίνωσε ότι έντεκα τράπεζες δοκίμασαν λύσεις συναλλαγών με βάση το blockchain τον Ιανουάριο του 2016. Σύμφωνα με το CNBC, οι Barclays, UBS, UBSG.VX και HSBC, είναι μερικές από τις μεγάλες τράπεζες που συμμετέχουν σε αυτό το έργο (Ghaffari et al.)²⁹. Το blockchain στον τομέα των οικονομικών έχει προσφέρει μέχρι σήμερα καλύτερη επεξεργασία συναλλαγών, βιώσιμες τραπεζικές και χρηματοοικονομικές υπηρεσίες, ενισχυμένη οικονομική ασφάλεια, ιδιωτικότητα καθώς και αυτοματοποιημένες οικονομικές συμβάσεις (*Jaoude and Saade*)²⁷.

7.3 Σύστημα υγείας

Η χρήση του blockchain στον τομέα της υγείας, αν και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, έχει προσφέρει στην ευκολότερη πρόσβαση στα ιατρικά δεδομένα των ασθενών. Το blockchain, παρέχει μια λύση, βοηθώντας τους ασθενείς να έχουν εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στα δεδομένα τους, διατηρώντας ταυτόχρονα την ανωνυμία τους, σε αντίθεση με την τρέχουσα κατάσταση, όπου χρειάζεται να περιηγηθούν σε νόμους και διαδικασίες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια του καταμεμημένου καθολικού (ledger) και τη δυνατότητα διατήρησης της ιδιωτικής ζωής μέσω του δημόσιου και ιδιωτικού κλειδιού, διατηρώντας το ιδιωτικό του κλειδί ασφαλές και μοιράζοντας τις πληροφορίες του, μόνο μέσω του δημόσιου κλειδιού του. Παράλληλα, οι πληροφορίες παραμένουν διαθέσιμες στο κοινό για ερευνητικούς σκοπούς χωρίς τον κίνδυνο αποκάλυψης της ταυτότητας του ασθενούς (*Jaoude and Saade*)²⁷.

7.4 Εφοδιαστική αλυσίδα

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία καταμεμημένου καθολικού, η πλατφόρμα blockchain παρέχει ένα ψηφιακό σύστημα και βάση δεδομένων για την καταγραφή των συναλλαγών κατά μήκος της αλυσίδας εφοδιασμού. Αυτή η αποκεντρωμένη βάση δεδομένων συναλλαγών

προσφέρει διαφάνεια, αξιοπιστία, ιχνηλασιμότητα και αποτελεσματικότητα στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, μια διαδικασία που περιλαμβάνει την μεταφορά, αποθήκευση και παράδοση προϊόντων από τον τόπο των πρώτων υλών, στην παραγωγή και στους τελικούς καταναλωτές. Η τεχνολογία Blockchain αναμένεται να φέρει πλεονεκτήματα στις αλυσίδες εφοδιασμού, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης της αποτελεσματικότητας και της μείωσης του κόστους, που είναι οι δύο κύριοι στόχοι των αλυσίδων εφοδιασμού. Παρακάτω, συνοψίζονται τα τέσσερα χαρακτηριστικά των αλυσίδων εφοδιασμού που βασίζονται σε blockchain (Park and Li)³⁰.

- Ιχνηλασιμότητα (ή ορατότητα) : Η παρακολούθηση τοποθεσίας των αγαθών σε πραγματικό χρόνο γίνεται εύκολη. Η ιχνηλασιμότητα ορίζεται ως η ικανότητα ανίχνευσης όλων των πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο.
- Αξιοπιστία και ασφάλεια : Είναι γνωστό ότι το σύστημα blockchain συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου διανομής πλαστών ή μη αδειοδοτημένων προϊόντων. Πολλές βιομηχανίες, όπως η βιομηχανία τροφίμων, χρησιμοποιούν αυτή τη λειτουργία στις αλυσίδες εφοδιασμού. Ειδικότερα, η τεχνολογία blockchain μπορεί να διαχειριστεί κατάλληλα το απόθεμα, ενώ παρακολουθεί το φορτίο και καταγράφει και διαχειρίζεται το ιστορικό φορτίου. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους καταναλωτές να εμπιστευτούνται το προϊόν, καθώς οποιοσδήποτε συμμετέχει στη συναλλαγή μπορεί να μοιραστεί και να επαληθεύσει όλες τις πληροφορίες.
- Διαδικασία Συμβολαίων: Η διαδικασία συμβολαίου των αλυσίδων εφοδιασμού απλοποιείται λόγω της τεχνολογίας blockchain. Στο παρελθόν, η σύμβαση μεταξύ του πωλητή και του αγοραστή ακολουθούσε μια περίπλοκη διαδικασία. Το Blockchain εξαλείφει τα περιττά και περίπλοκα έγγραφα μέσω ενός έξυπνου συμβολαίου (smart contract) που πραγματοποιείται αυτόματα, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Μ' αυτόν τον τρόπο, απλοποιείται μία διαδικασία κατά την οποία όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη είναι απαραίτητα για την σύναψη μιας συμφωνίας και εκτελείται μέσω ψηφιακά υπογεγραμμένων εγγράφων εντός του συστήματος blockchain.
- Κόστος Αποδοτικότητας : Οι αλυσίδες εφοδιασμού συνδέονται με πολλά σχετικά κόστη, όπως η απογραφή και η μεταφορά, που επηρεάζουν το συνολικό κόστος. Οι αλυσίδες εφοδιασμού που βασίζονται σε blockchain, επιτρέπουν αποτελεσματικά τη διαχείριση του αποθέματος και συμβάλλουν στη μείωση του κόστους. Η εφοδιαστική αλυσίδα καλύπτει όλες τις διαδικασίες από το σημείο αναχώρησης έως τον τελικό προορισμό, επομένως οι περιττές απώλειες είναι κέρδη. Ειδικότερα, το απόθεμα αντιπροσωπεύει το πιο σημαντικό κόστος και ο προμηθευτής πρέπει να προβλέπει περιοδικά τη ζήτηση για την παραγωγή και την αγορά αποθέματος εγκαίρως. Εάν η εταιρεία έχει πλεόνασμα αποθέματος από τη ζήτηση, η οικονομική επιβάρυνση θα αυξηθεί με το κόστος των αποθεμάτων. Ως εκ τούτου, η αλυσίδα εφοδιασμού που βασίζεται σε blockchain ενισχύει την αποδοτικότητα κόστους μέσω λειτουργιών ιχνηλασιμότητας και ασφάλειας.

7.5 Κατασκευαστικός τομέας

Ανεξάρτητα από το μέγεθος ενός κατασκευαστικού έργου, πολλοί είναι αυτοί που εμπλέκονται στην διαδικασία ολοκλήρωσής του, όπως διαχειριστές κατασκευής, τεχνικοί αλλά και άλλοι ενδιαφερόμενοι. Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για προηγμένο σύστημα διαχείρισης διεπαφής και επικοινωνίας, καθώς σημαντικά έγγραφα και σχέδια περνούν μεταξύ των πολλών οδών του έργου. Το Blockchain επιτρέπει τη βελτίωση της προσβασιμότητας στις πληροφορίες, δεδομένου ότι εφόσον η ομάδα έχει πρόσβαση στο σύστημα, μπορεί πάντα να έχει ενημερωμένες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για το έργο.

Όπως οι περισσότερες βιομηχανίες, έτσι και αυτή των κατασκευών, συνεχίζει να εξελίσσεται και να αντιμετωπίζει ανησυχίες για τη βελτίωση των τρεχουσών πρακτικών. Επί του παρόντος, ένα από τα μείζονα ζητήματα στη διαχείριση των κατασκευών είναι η ανάγκη για αποκέντρωση. Σε ένα αποκεντρωμένο δίκτυο κανείς δεν χρειάζεται να γνωρίζει ή να εμπιστεύεται κανέναν άλλο, γεγονός που δημιουργεί ένα περιβάλλον χωρίς την ανάγκη εμπιστοσύνης. Παράλληλα, η αποκέντρωση, μπορεί να μειώσει τα σημεία αδυναμίας σε συστήματα όπου μπορεί να υπάρχει υπερβολική εξάρτηση από ορισμένους παράγοντες. Αυτά τα αδύναμα σημεία θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε συστημικές αποτυχίες, συμπεριλαμβανομένης της αδυναμίας παροχής υπηρεσιών που υποσχέθηκαν ή της αναποτελεσματικής υπηρεσίας λόγω εξάντλησης πόρων, περιοδικών διακοπών, συμφόρησης ή διαφθοράς.

Ένα άλλο ζήτημα είναι η ανάγκη για καλύτερη επικοινωνία. Η βασική αρχή για τη χρήση ενός συστήματος blockchain, είναι η βελτίωση της διαφάνειας και της ιχνηλασιμότητας των αρχείων, όπου όλες οι συναλλαγές δεδομένων καταγράφονται και τεκμηριώνονται, γεγονός που διευκολύνει την επικοινωνία των συνεργατών, καθώς όλες οι πληροφορίες είναι άμεσα διαθέσιμες, ενημερωμένες και επιβεβαιωμένες.

Ένα ακόμα πρόβλημα που έγκειται, είναι η ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και η ιδιοκτησία εγγράφων. Λόγω της αποκεντρωμένης φύσης του και της εμπιστοσύνης που προάγει, καθώς και με την βοήθεια της κρυπτογραφίας το Blockchain καθίσταται η ιδανική τεχνολογία για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο.

Αυτό που διακρίνει την κατασκευαστική βιομηχανία από άλλες που εξερευνούν τις δυνατότητες του Blockchain, είναι ότι αυτή η βιομηχανία προσφέρει ένα πραγματικό φυσικό τεχνούργημα. Η βιομηχανία τροφοδοτεί την οικονομία της μετατρέποντας τη δημιουργημένη εικονική αξία σε φυσική αξία του πραγματικού κόσμου. Ταυτόχρονα όμως, ο κλάδος ζημιώνεται, επειδή δεν υπάρχει μέθοδος μέτρησης και μετατροπής της εγγενούς αξίας του φυσικού αντικείμενου του πραγματικού κόσμου, σε ψηφιακή αξία. Το BIM δημιουργεί αυτήν την προστιθέμενη αξία και τώρα το Blockchain μπορεί να παρέχει έναν μηχανισμό για την επιβράβευση αυτής της προστιθέμενης εικονικής αξίας ακόμη και μετά τη δημιουργία του φυσικού τεχνουργήματος. Η τεχνολογία Blockchain λοιπόν, παρέχει λύση σε όλα αυτά τα

ζητήματα (Safa et al.)³¹. Παράλληλα, αναμένεται να αυξήσει τόσο την ανταγωνιστικότητα στις επιχειρήσεις όσο και τη συνολική συστημική αποτελεσματικότητα, επιτυγχάνοντας συνεργασία και ενισχύοντας τα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ ολόκληρου του δικτύου και εξορθολογίζοντας τα συστήματα πληρωμών (Nawari and Ravindran)³².

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. Πρακτική εφαρμογή

Για την παρούσα μελέτη πραγματοποιείται η ενσωμάτωση και συνδυαστική λειτουργία του Blockchain με το BIM, σε ένα υποθετικό έργο. Στο σενάριο της διπλωματικής εργασίας, θεωρείται ότι ο ιδιοκτήτης του εν λόγω κτιρίου ανέθεσε στο συντάκτη της παρούσας εργασίας (τον διαχειριστή - Owner) την δημιουργία - συγγραφή ενός smart contract, το οποίο αφορά αποκλειστικά το συγκεκριμένο έργο. Με τη βοήθεια του smart contract, πραγματοποιούνται οι διάφορες λειτουργίες ενός website, το οποίο θα χρησιμοποιούν όσοι συμμετέχουν στο έργο.

8.1 Περιγραφή της διαδικασίας υλοποίησης της πρακτικής εφαρμογής

Στόχος της πρακτικής εφαρμογής, είναι η ανάδειξη της τεχνολογίας του blockchain, ως λύση για τα ζητήματα που έχουν ανακύψει κατά τη λειτουργία του BIM. Το blockchain εξασφαλίζει την πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένων ατόμων στις πληροφορίες ενός έργου, την μείωση του χρόνου που σπαταλάται στην ανίχνευση σφαλμάτων και στην ταυτοποίηση του υπεύθυνου, καθώς καταγράφει το ιστορικό των αλλαγών, τη χρονική σήμανση και τον υπεύθυνο για την εκάστοτε αλλαγή. Τέλος, δίνει τη δυνατότητα ανάκτησης παλιότερων εκδόσεων των πληροφοριών, αφού όλες οι εκδόσεις των αρχείων βρίσκονται αποθηκευμένες στο website.

Για την διαμόρφωση της πρακτικής εφαρμογής, πραγματοποιείται η δημιουργία ενός website (μίας πλατφόρμας), το οποίο ανταλλάσσει πληροφορίες με το Blockchain. Παράλληλα, γίνεται χρήση ενός δικτύου Blockchain, στο οποίο θα γίνεται η καταγραφή των συναλλαγών, ενός χώρου αποθήκευσης (cloud), καθώς και ενός wallet (πορτοφόλι), αφού για την ολοκλήρωση μιας συναλλαγής απαιτείται η πληρωμή μιας ποσότητας κρυπτονομίσματος και η ηλεκτρονική υπογραφή του χρήστη (ιδιωτικό κλειδί).

Οι χρήστες χρησιμοποιούν το BIM για να επεξεργάζονται και να μοιράζονται τα αρχεία, αλλά παράλληλα, οι αρμόδιοι χρήστες αποθηκεύουν τα αρχεία του έργου και στο website. Το σύστημα blockchain αποθηκεύει τα hash που σχετίζονται με όλα τα αρχεία που προστίθενται, δηλαδή το blockchain καταγράφει ονόματα αρχείων, χρονικές σημάνσεις και στοιχεία συντάκτη καθώς και ένα μοναδικό hash κάθε φορά που ένα αρχείο μεταφορτώνεται ή εξάγεται για έλεγχο, ώστε να διασφαλίζεται η σαφής διαφάνεια της διαχείρισης αρχείων. Τα ιστορικά δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στο website, μπορούν να παρακολουθηθούν, να αποδειχθούν και δεν μπορούν να παραβιαστούν από κανέναν, λόγω του αμετάβλητου του

blockchain, το οποίο εξασφαλίζει την ορθότητά τους. Συγκρίνοντας λοιπόν ένας χρήστης, τα αρχεία που υπάρχουν αποθηκευμένα στο BIM και τα αρχεία που είναι αποθηκευμένα στο website, μπορεί να επαληθεύσει τα πρώτα και σε περίπτωση λανθασμένου ή ανύπαρκτου αρχείου, να επαναφέρει το σωστό. Έτσι, το blockchain θα γίνει μια αξιόπιστη ενιαία πηγή αλήθειας για όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του έργου.

Για τη δημιουργία του website, γίνεται χρήση του **Visual Studio Code**, το οποίο είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα με υποστήριξη για λειτουργίες ανάπτυξης, όπως εντοπισμός σφαλμάτων, εκτέλεση εργασιών και έλεγχος έκδοσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με μια ποικιλία γλωσσών προγραμματισμού, όπως Java, JavaScript, Go, Node.js, Python, C++, C, Rust και Fortran. Στοχεύει να παρέχει μόνο τα εργαλεία που χρειάζεται ένας προγραμματιστής για έναν γρήγορο κύκλο δημιουργίας κώδικα-εντοπισμού σφαλμάτων (Microsoft)³³. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, το website δημιουργείται με JavaScript και βασίζεται σε δύο είδη framework, την **React**, που είναι front-end και την **Express**, που είναι back-end. Framework είναι ένα έτοιμο σύνολο λύσεων που επιλύει κοινά προβλήματα ανάπτυξης κώδικα. Επιτρέπει δηλαδή στους προγραμματιστές, να βρίσκουν έτοιμα «κομμάτια» κώδικα, τα οποία πραγματοποιούν μία συγκεκριμένη ενέργεια. Τα Framework βοηθούν στην ταχύτερη ολοκλήρωση του κώδικα και στην αποφυγή σφαλμάτων. Front-end και back-end απαιτούν όλοι οι ιστότοποι για την ανάπτυξή τους. Η ανάπτυξη front-end εστιάζει στις οπτικές πτυχές ενός ιστότοπου, δηλαδή το μέρος που βλέπουν και αλληλεπιδρούν οι χρήστες. Η ανάπτυξη back-end περιλαμβάνει τη δομή, το σύστημα, τα δεδομένα και τη λογική του ιστότοπου.

Ως δίκτυο Blockchain, χρησιμοποιείται το **Ganache**, το οποίο είναι ένα ιδιωτικό περιβάλλον blockchain που μιμείται το blockchain Ethereum, ώστε να μπορούν οι χρήστες να αλληλεπιδρούν με έξυπνα συμβόλαια, στο δικό τους ιδιωτικό blockchain (“Ganache | Overview - Truffle Suite”)³⁴.

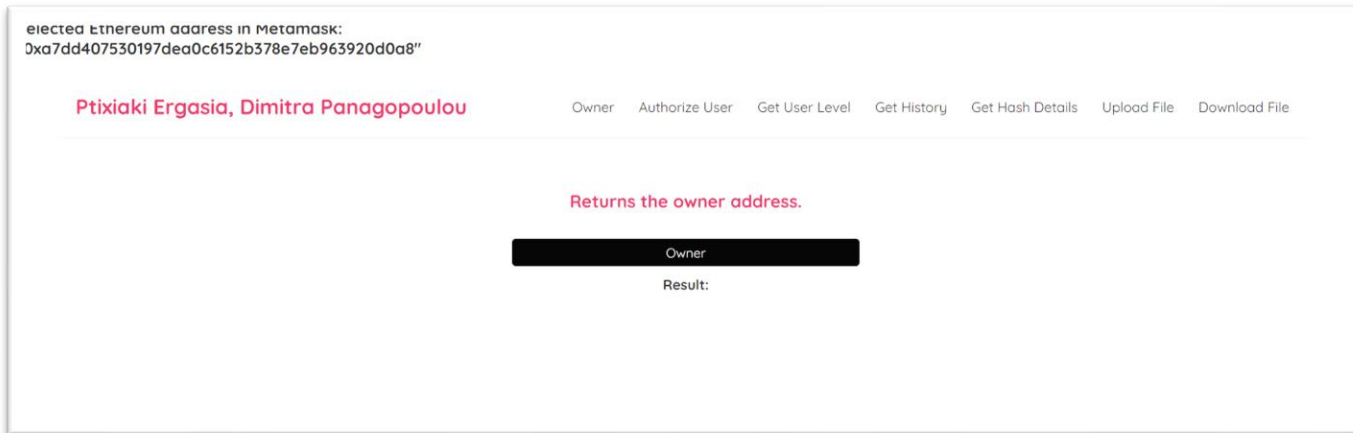
Επίσης, τα functions που θα χρησιμοποιηθούν στο smart contract χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στα setter και στα getter. Setter, είναι τα functions που προσθέτουν ή τροποποιούν μια μεταβλητή, όπως για παράδειγμα το function που ορίζει τα levels των χρηστών, όπως θα δούμε παρακάτω. Τα getter είναι τα functions που επιστρέφουν μία τιμή, όπως το function που επιστρέφει το ιστορικό των αρχείων, όπως επίσης θα δούμε παρακάτω.

Το wallet (πορτοφόλι) με το οποίο θα συνδέεται ο εκάστοτε χρήστης και θα επιβεβαιώνει μία συναλλαγή – εντολή, αποστέλλοντας ένα ποσό κρυπτονομίσματος (Ethereum), για το gas, είναι το **MetaMask**. Το MetaMask είναι ένα πορτοφόλι κρυπτογράφησης ιστού και κινητών, που επιτρέπει στους χρήστες να αποθηκεύουν και να ανταλλάσσουν κρυπτονομίσματα, να αλληλεπιδρούν με το οικοσύστημα blockchain Ethereum και να φιλοξενούν μια αυξανόμενη σειρά αποκεντρωμένων εφαρμογών (dApps). Είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές κρυπτογράφησης στον κόσμο (Cryplopedia Staff)³⁵.

Το Cloud που επιλέχθηκε για την αποθήκευση των αρχείων είναι το Dropbox και πρόσβαση σε αυτό έχει μόνο ο Owner.

8.1.1 Μορφή του Website

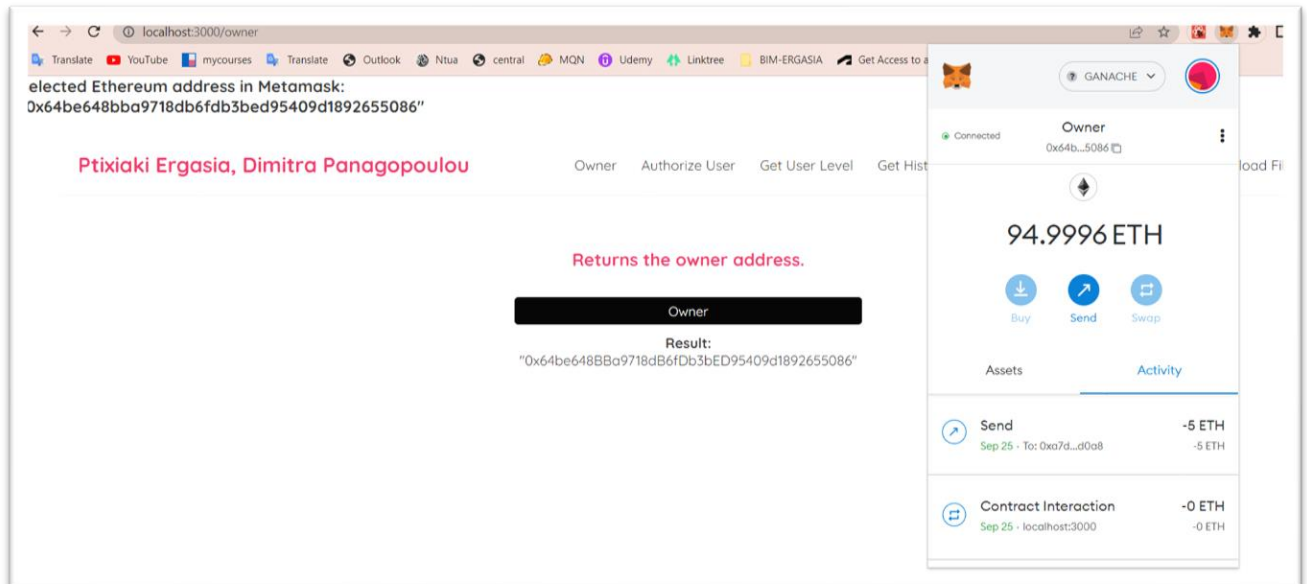
Η μορφή της ιστοσελίδας (website) φαίνεται στην εικόνα 8.1 παρακάτω. Στο πάνω μέρος αριστερα, αναφέρεται πάντα η διεύθυνση του χρήστη που είναι συνδεδεμένος στο MetaMask. Στο πάνω μέρος δεξιά, αναγράφονται οι επιλογές: Owner, Authorize User, Get User Level, Get History, Get Hash Details, Upload File και Download File.



Εικόνα 8.1 Μορφή website

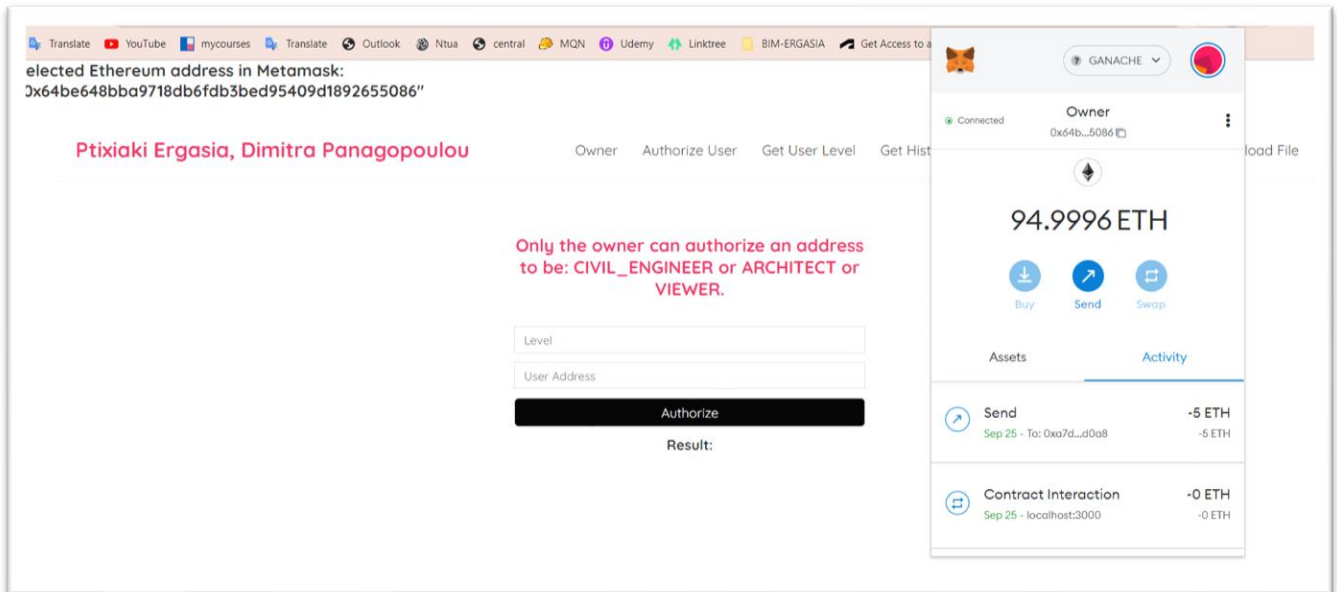
Οι επιλογές αυτές λειτουργούν ως εξής:

- Η επιλογή **Owner** όπως φαίνεται στην εικόνα 8.2, επιστρέφει την διεύθυνση, δηλαδή το δημόσιο κλειδί του χρήστη Owner, ο οποίος όπως φαίνεται, είναι συνδεδεμένος και στο MetaMask, όπου κι εκεί μπορούμε να διακρίνουμε την αρχή και την κατάληξη του δημοσίου κλειδιού του. Ως Owner, ορίζουμε τον δημιουργό και διαχειριστή του συμβολαίου και αυτόν που θα ορίσει τις ιδιότητες και τις ταυτότητες των χρηστών. Ο Owner δεν έχει τη δυνατότητα να δει το ιστορικό των αρχείων, να δει τα details των αρχείων και να κάνει upload και download file.



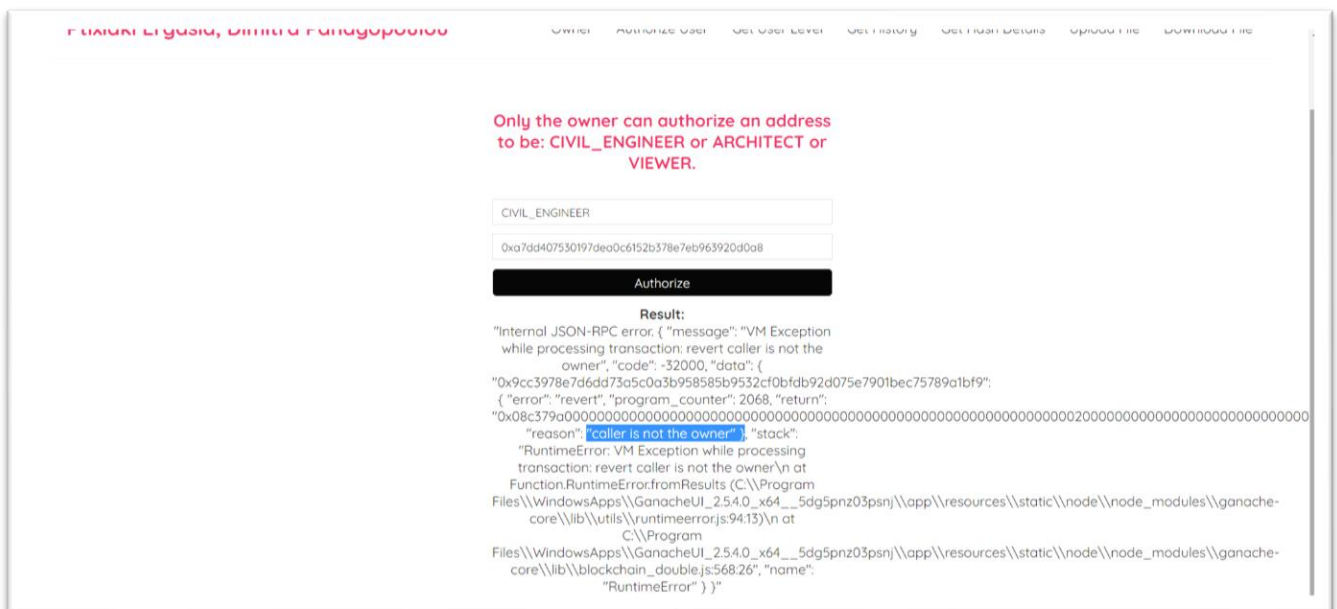
Εικόνα 8.2 Επιλογή Owner

- Η επιλογή **Authorize User**, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.3, επιτρέπει μόνο στον χρήστη Owner, ο οποίος πρέπει να είναι και συνδεδεμένος στο MetaMask, να ορίσει το Level, δηλαδή την ιδιότητα ενός χρήστη. Η ιδιότητα μπορεί να είναι μία απ' τις τρεις ακόλουθες: **CIVIL_ENGINEER** (πολιτικός μηχανικός), **ARCHITECT** (αρχιτέκτονας), **VIEWER** (θεατής). Το Level ορίζεται με την ιδιότητα και το δημόσιο κλειδί του χρήστη. Η διαφορά του **CIVIL_ENGINEER** και του **ARCHITECT** απ' τον **VIEWER**, είναι ότι ο τελευταίος έχει τη δυνατότητα μόνο να βλέπει τα αρχεία ενώ οι πρώτοι μπορούν και να τα επεξεργαστούν.



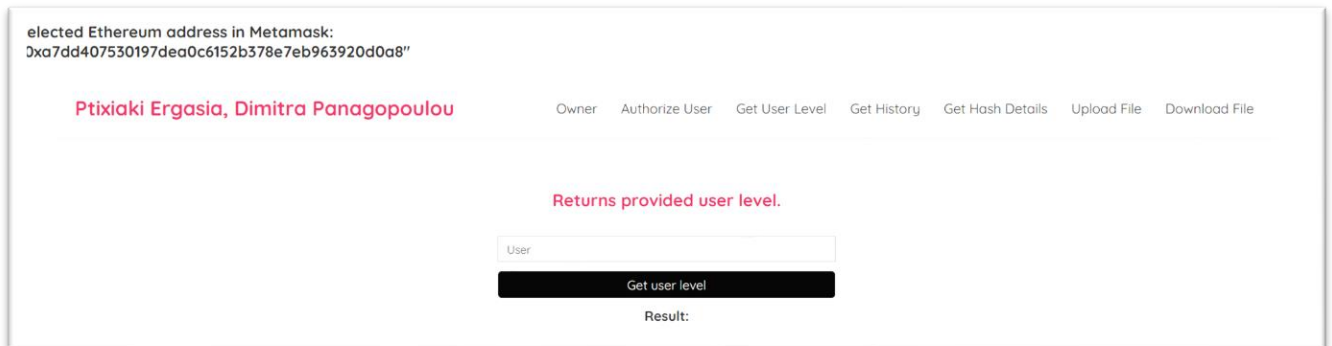
Εικόνα 8.3 Επιλογή Authorize User

Στην περίπτωση που κάποιος χρήστης, πέρα απ' τον Owner, επιχειρήσει να ορίσει ιδιότητα, το smart contract δεν του το επιτρέπει και το website εμφανίζει σφάλμα, το οποίο προέρχεται απ' το smart contract, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.4.



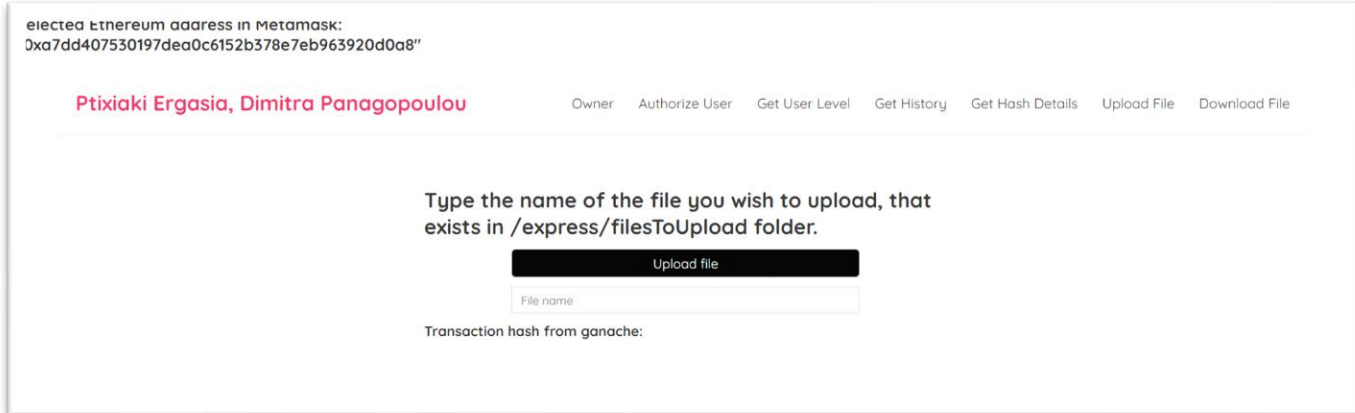
Εικόνα 8.4 Επιλογή Authorize User Σφάλμα

- Η επιλογή **Get User Level** όπως φαίνεται στην εικόνα 8.5, δίνοντας το δημόσιο κλειδί ενός χρήστη, επιστρέφει την ιδιότητά του. Η ενέργεια αυτή είναι ανοιχτή σε οποιονδήποτε χρήστη να μπορεί να την εκτελέσει.

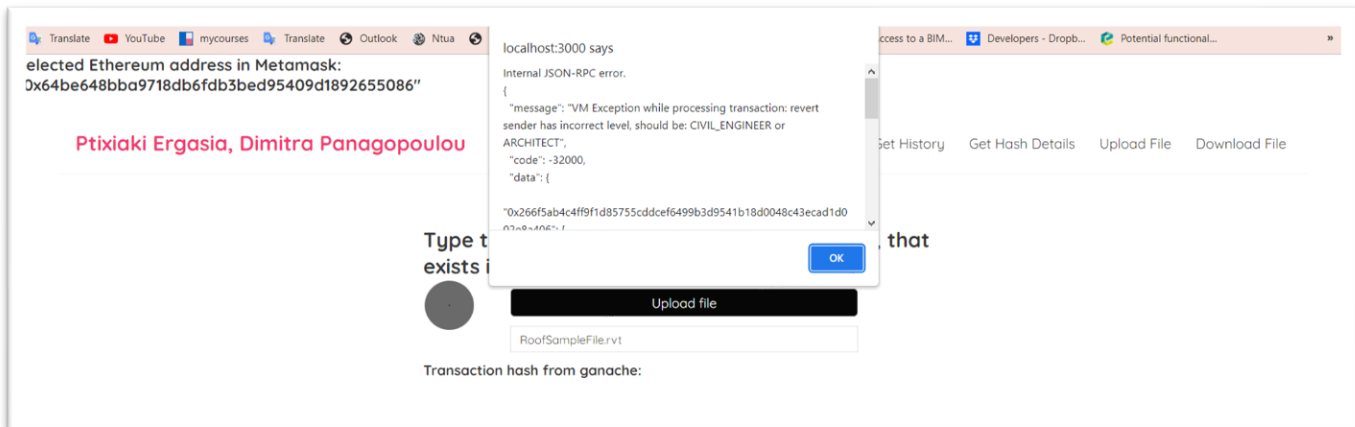


Εικόνα 8.5 Επιλογή User Level

- Η επιλογή **Upload File**, όπως φαίνεται στην εικόνα 8.6, δίνει τη δυνατότητα μόνο στους χρήστες που είναι εξουσιοδοτημένοι από το smart contract, δηλαδή τους χρήστες CIVIL_ENGINEER και ARCHITECT, να «ανεβάσουν» ένα αρχείο. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η συναλλαγή, γίνεται ο υπολογισμός του hash του αρχείου. Το hash του αρχείου αποθηκεύεται στο smart contract, ενώ το αρχείο αυτό καθ' αυτό αποθηκεύεται στο cloud. Στην περίπτωση που κάποιος τρίτος επιχειρήσει να πραγματοποιήσει την ενέργεια αυτή, εμφανίζεται και πάλι σφάλμα όπως φαίνεται στην εικόνα 8.7.



Εικόνα 8.6 Επιλογή Upload File

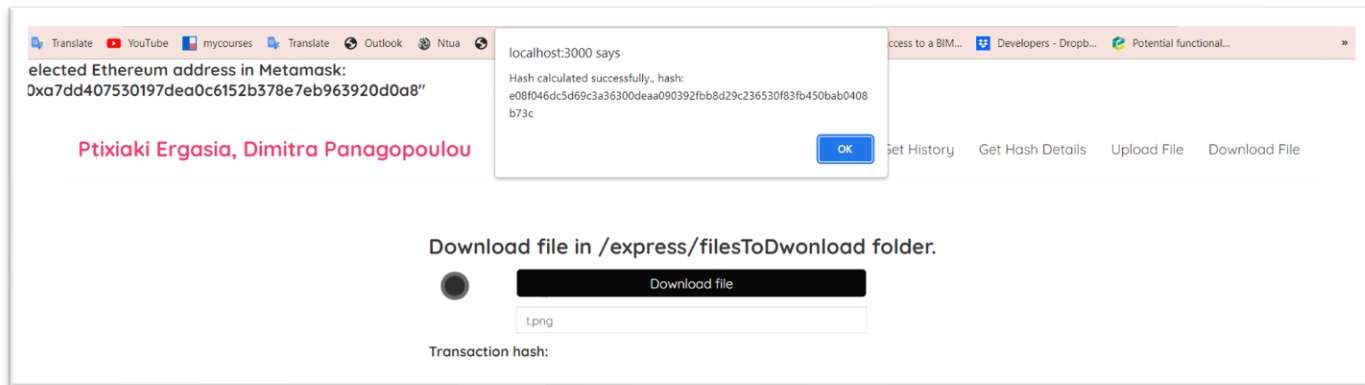


Εικόνα 8.7 Επιλογή Upload File Σφάλμα

Σημαντικό επίσης είναι να αναφερθεί, πως το **hash ενός αρχείου**, είναι μια μοναδική τιμή που αντιστοιχεί στο περιεχόμενο του αρχείου, αντί αυτό να προσδιορίζεται με το όνομα του αρχείου, την επέκταση ή άλλη ονομασία του. Έτσι ακόμα κι αν κάποιος αλλάξει το περιεχόμενο του αρχείου, έχοντας το hash του, μπορούμε πάντα να αναφερθούμε στο αρχικό του, αμετάβλητο περιεχόμενο. Το block, όπως θα δούμε παρακάτω, λαμβάνει δικό του hash, το οποίο δεν σχετίζεται με το hash του αρχείου.

- Η επιλογή **Get History** όπως φαίνεται στην εικόνα 8.8, επιστρέφει το ιστορικό των Uploads που έχουν πραγματοποιηθεί, απ' το παλιότερο (File1) προς το πιο πρόσφατο, με το αντίστοιχο hash του καθενός. Για να λειτουργήσει αυτή η επιλογή και να μην εμφανιστεί σφάλμα (βλέπε εικόνα 8.9), έχουν δικαίωμα να την χρησιμοποιήσουν, μόνο οι χρήστες CIVIL_ENGINEER, ARCHITECT ή VIEWER.

- Η επιλογή **Download File**, επιτρέπει και πάλι μόνο στους εξουσιοδοτημένους χρήστες, την λήψη ενός αρχείου, το οποίο είναι αποθηκευμένο στο cloud. Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται ξανά ένα νέο hash (εικόνα 8.12) για το αρχείο για το αρχείο αυτό. Το hash αυτό πρέπει να συμπίπτει με το hash του επιθυμητού αρχείου, δηλαδή με αυτό που δημιουργήθηκε κατά την φάση upload και είναι αποθηκευμένο στο smart contract (εικόνα 8.13).



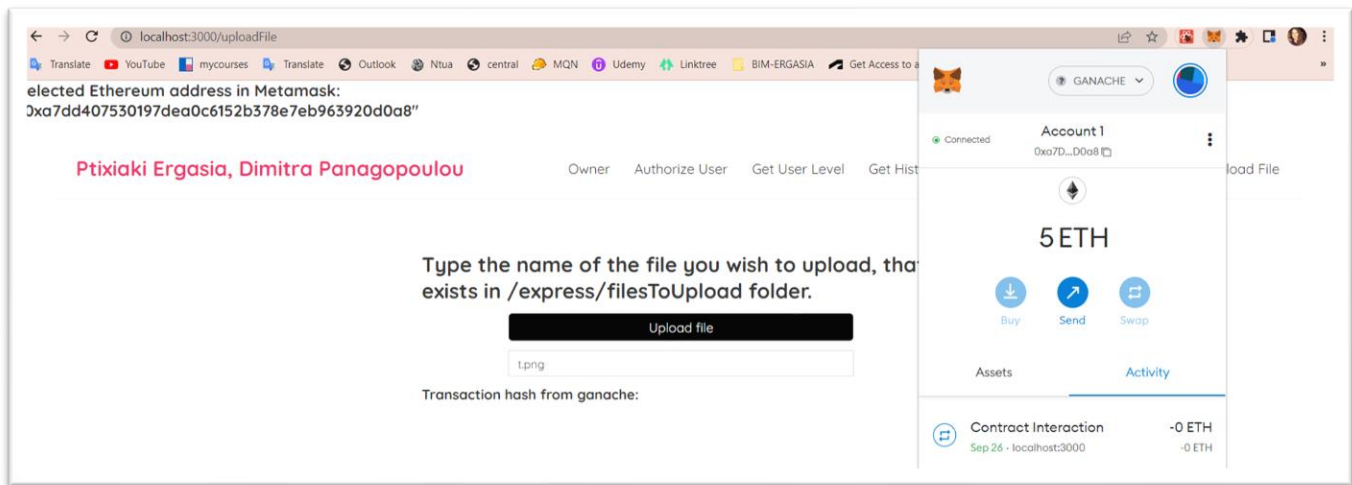
Εικόνα 8.12 Download File-Hash calculation



Εικόνα 8.13 Download File-search in smart contract

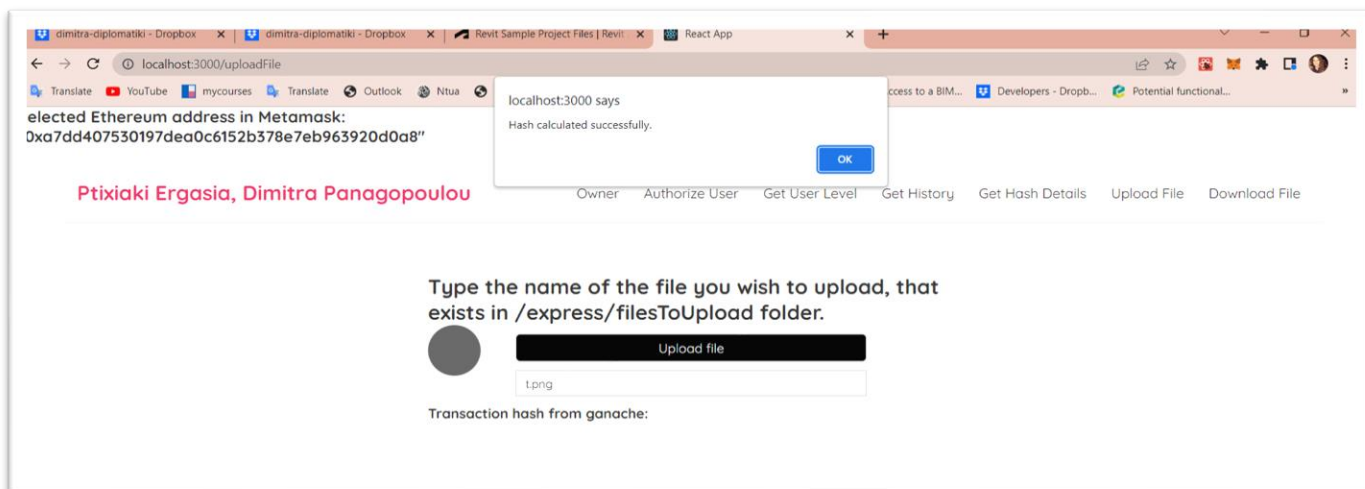
8.1.2 Πως αλληλεπιδρά το Blockchain Ganache με το website και το Cloud

Όταν κάποιος απ' τους εξουσιοδοτημένους χρήστες (CIVIL_ENGINEER, ARCHITECT), επιθυμεί να κάνει upload ένα αρχείο, αρχικά συνδέεται στο MetaMask, για να μπορεί με το ιδιωτικό του κλειδί να υπογράψει τη συναλλαγή που θέλει να πραγματοποιήσει (εικόνα 8.14).

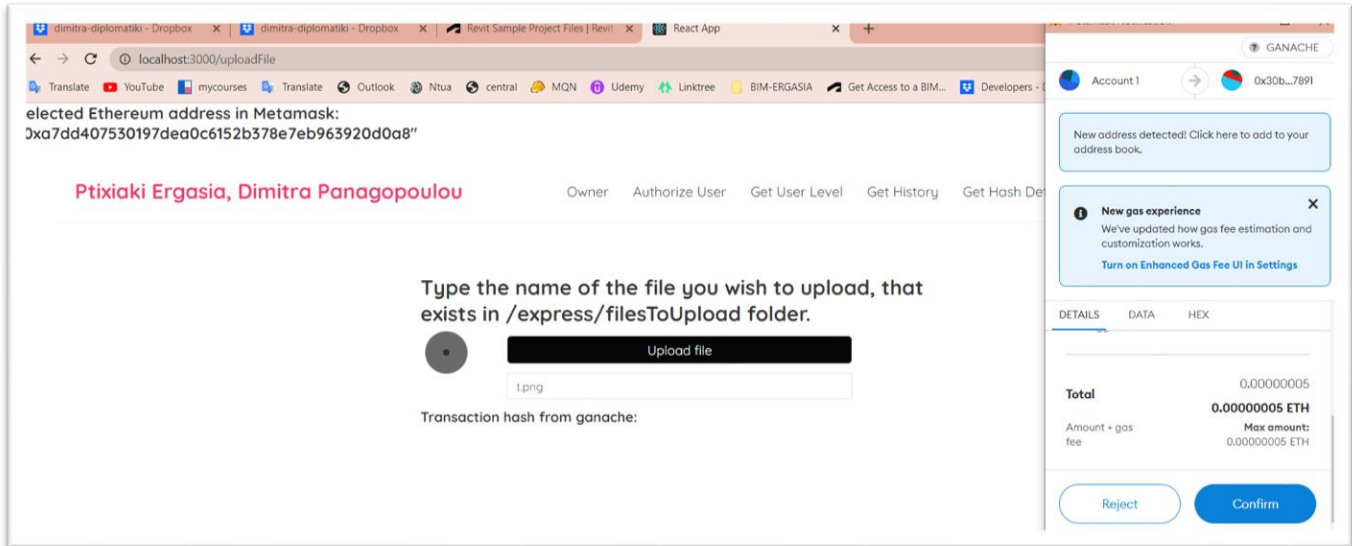


Εικόνα 8.14 Upload File test

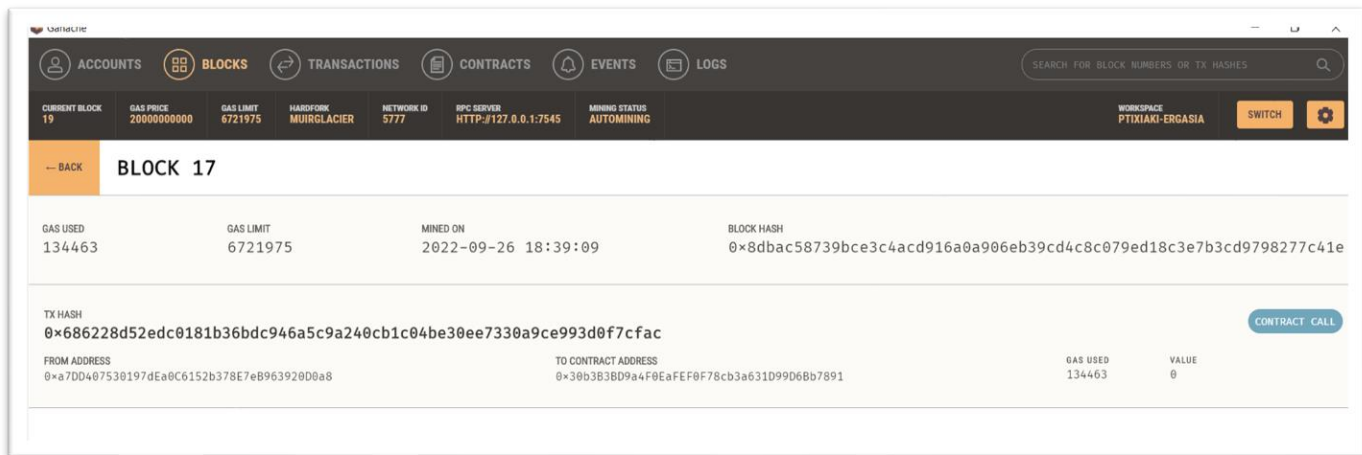
Το αρχείο λαμβάνει ένα μοναδικό hash (εικόνα 8.15) και αφού η συναλλαγή επιβεβαιωθεί (εικόνα 8.16), το hash της συναλλαγής καταγράφεται στο blockchain (εικόνα 8.17) και το αρχείο αποθηκεύεται στο cloud (εικόνα 8.18).



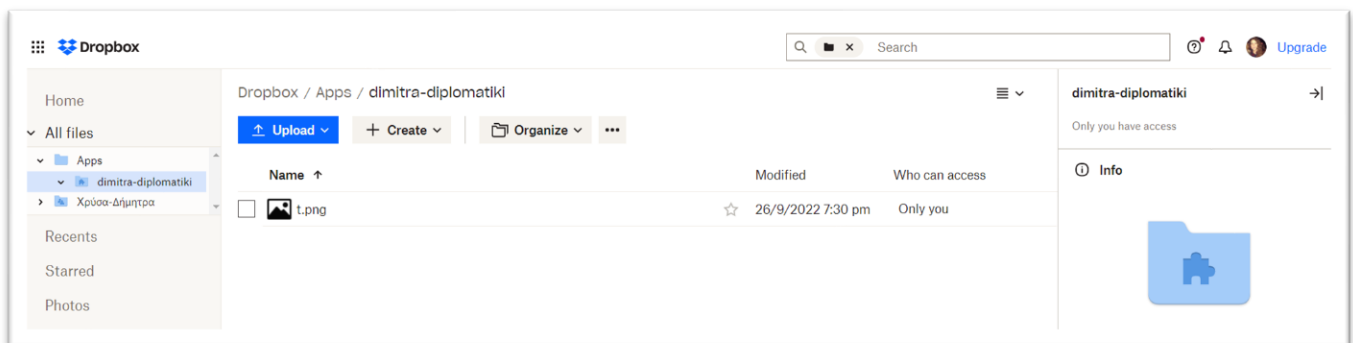
Εικόνα 8.15 Το αρχείο λαμβάνει το hash του



Εικόνα 8.16 Επιβεβαίωση συναλλαγής από MetaMask



Εικόνα 8.17 Ganache-Hash συναλλαγής



Εικόνα 8.18 Dropbox-Αποθήκευση αρχείου

Το hash του αρχείου μπορεί να βρεθεί απ' την επιλογή Get History. Έχοντας το hash του αρχείου, μπορούμε να δούμε τις λεπτομέρειες για αυτό απ' την επιλογή Get Hash Details. Εκεί μπορούμε να διακρίνουμε την διεύθυνση του χρήστη που πραγματοποίησε την συναλλαγή τη χρονική σήμανσή της και το hash του αρχείου.

8.1.3 Smart contract - Έξυπνο συμβόλαιο

Παρακάτω, φαίνεται ο κώδικας solidity, με τον οποίο γράφτηκε το smart contract. Στις εικόνες που ακολουθούν, θα αναλυθούν τα βασικότερα functions (συναρτήσεις) που χρησιμοποιήθηκαν για τη λειτουργία του website.

```
38
39 function authorizeUser(address _user, string memory _level) public {
40     require(msg.sender == owner, "caller is not the owner");
41     require(_user != owner, "the owner address cannot be authorized");
42     require(keccak256(abi.encodePacked(userLevel[_user])) == keccak256(abi.encodePacked('')), "user level is already set for this address");
43     if(keccak256(abi.encodePacked(_level)) != (keccak256(abi.encodePacked('CIVIL_ENGINEER'))) && keccak256(abi.encodePacked(_level)) != (keccak256(abi.encodePacked('ARCHITECT'))) && keccak256(abi.encodePacked(_level)) != (keccak256(abi.encodePacked('VIEWER')))) {
44         revert('level is incorrect, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER');
45     }
46     userLevel[_user] = _level;
47     emit Authorized(_user, _level);
48 }
```

Εικόνα 8.A - function authorize user

Το function της εικόνας 8.A , είναι υπεύθυνο για τον προσδιορισμό του level του εκάστοτε χρήστη. Όπως φαίνεται στη γραμμή 40, επιτρέπει μόνο στον Owner να ορίσει τον χρήστη και τα αποδεκτά levels είναι τα CIVIL_ENGINEER, ARCHITECT και VIEWER (γραμμή 43, 44, 45). Αν ο υπεύθυνος για τον ορισμό των χρηστών δεν είναι ο Owner, η συναλλαγή αποτυγχάνει και εμφανίζεται το μήνυμα της γραμμής 40 (“caller is not the owner”) ως σφάλμα στο website. Στην περίπτωση που ο Owner ορίσει ένα μη αποδεκτό level, το website θα επιστρέψει και πάλι ως σφάλμα “level is incorrect, should be CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER”, όπως αναγράφεται στη γραμμή 44.

```
50 function uploadFile(string memory _hash) public checkEnginnerOrArchitect {
51     hashDetails[_hash].userAddress = msg.sender;
52     hashDetails[_hash].timestamp = block.timestamp;
53     hashes.push(_hash);
54 }
```

Εικόνα 8.B - function - upload file

```
32 modifier checkEnginnerOrArchitect() {
33     if(keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('CIVIL_ENGINEER'))) && keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('ARCHITECT')))) {
34         revert('sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT');
35     }
36     _;
```

Εικόνα 8.Γ – modifier - check level

Το function της εικόνας 8.B επιτρέπει το upload ενός αρχείου μόνο από τους χρήστες CIVIL_ENGINEER και ARCHITECT. Ο έλεγχος για το level του χρήστη γίνεται στις γραμμές 32-34, όπου το function καλεί το modifier (γραμμή 50) της εικόνας 8.Γ, για να πραγματοποιήσει τον έλεγχο αυτό. Στην περίπτωση που το level είναι εσφαλμένο, εμφανίζεται στο website και πάλι το μήνυμα (γραμμή 34), “sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT”.

```

56  function getHashes() public view checkUserAllLevels returns (string[] memory) {
57      return hashes;
58  }

```

Εικόνα 8.Δ - function - get hashes

```

25  modifier checkUserAllLevels() {
26      if(keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('CIVIL_ENGINEER')) && keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) !=
27      (keccak256(abi.encodePacked('ARCHITECT')) && keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('VIEWER')))) {
28          revert('sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER');
29      }
30  }

```

Εικόνα 8.Ε – modifier - check all levels

Το function της εικόνας 8.Δ, επιστρέφει το ιστορικό των αρχείων, δηλαδή τον πίνακα με τα hashes όλων των αρχείων που έχουν προστεθεί στο συμβόλαιο και το website τα εμφανίζει με χρονολογική σειρά. Αυτά πραγματοποιούνται, αφού πρώτα, καλώντας το modifier της σειράς 25, έχει ελεγχθεί το level του χρήστη. Σε περίπτωση λανθασμένου χρήστη εμφανίζεται και πάλι στο website το μήνυμα της σειράς 27 : “sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER”.

```

60  function getUserLevel(address _user) public view returns (string memory) {
61      return userLevel[_user];
62  }

```

Εικόνα 8.Ζ – function - get user level

Το function της εικόνας 8.Ζ, βάζοντας τη διεύθυνση (δημόσιο κλειδί) κάποιου χρήστη, επιστρέφει το level του. Το function αυτό μπορεί να το καλέσει οποιοσδήποτε χωρίς κανέναν περιορισμό.

```

65  function getHashDetails(string memory _user) public view checkUserAllLevels returns (HashDetails memory) {
66      return hashDetails[_user];
67  }

```

Εικόνα 8.Η – function - get hash details

```

25  modifier checkUserAllLevels() {
26      if(keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('CIVIL_ENGINEER')) && keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) !=
27      (keccak256(abi.encodePacked('ARCHITECT')) && keccak256(abi.encodePacked(userLevel[msg.sender])) != (keccak256(abi.encodePacked('VIEWER')))) {
28          revert('sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER');
29      }
30  }

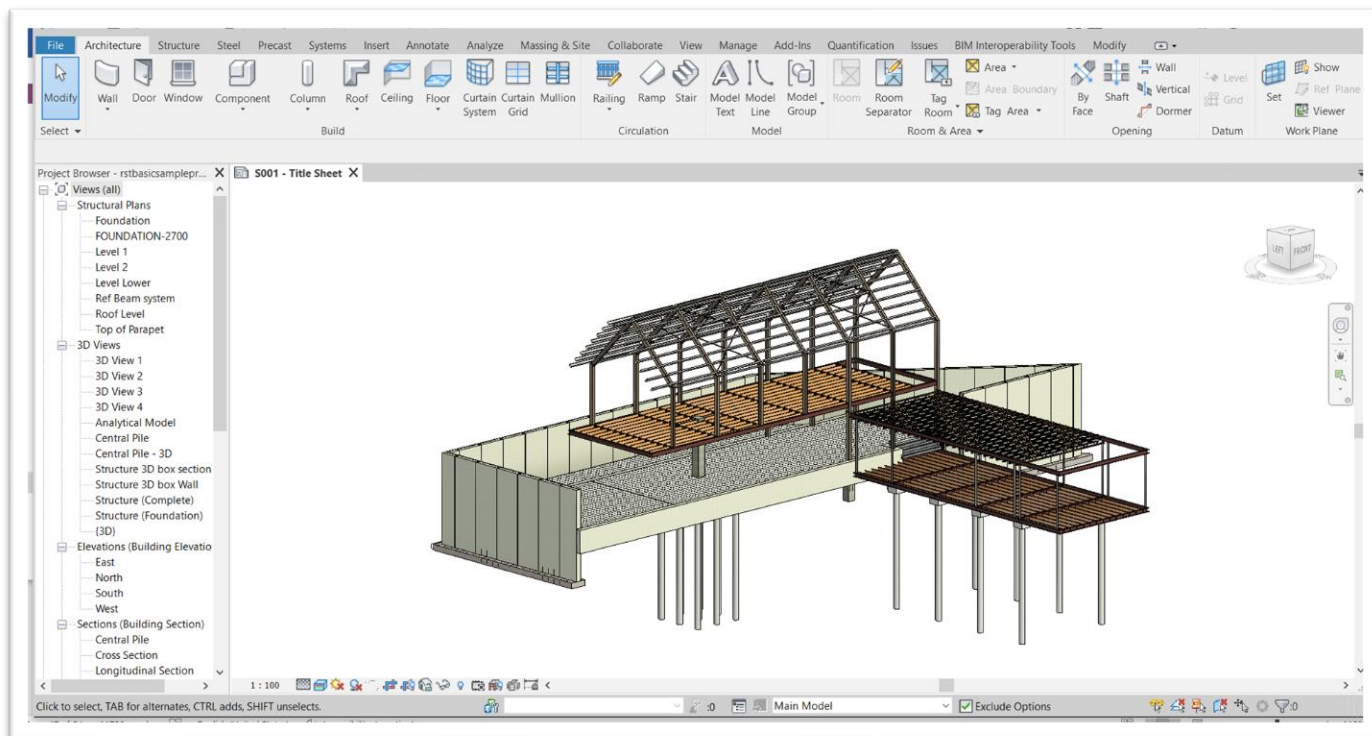
```

Εικόνα 8.Θ – modifier - check all levels

Τέλος, το function της εικόνας 8.H, με το hash ενός αρχείου, επιστρέφει τις λεπτομέρειες για το αρχείο αυτό (γραμμή 65), αφού πρώτα, καλώντας το modifier της σειράς 25, έχει ελέγξει το level του χρήστη. Σε περίπτωση λανθασμένου χρήστη εμφανίζεται και πάλι στο website το μήνυμα της σειράς 27 : “ sender has incorrect level, should be: CIVIL_ENGINEER or ARCHITECT or VIEWER”.

8.1.4 Παρουσίαση της ολοκληρωμένης χρήσης του Website σε ένα κτήριο

Παρακάτω απεικονίζεται το κτήριο που θα χρησιμοποιηθεί για την πρακτική εφαρμογή. Το αρχείο είναι μορφής Revit και είναι sample αρχείο από την Autodesk.

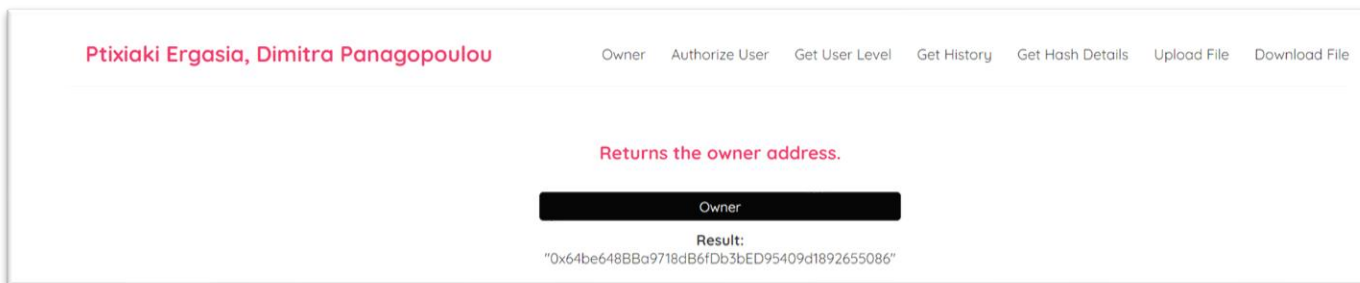


Εικόνα 8.19 Κτήριο

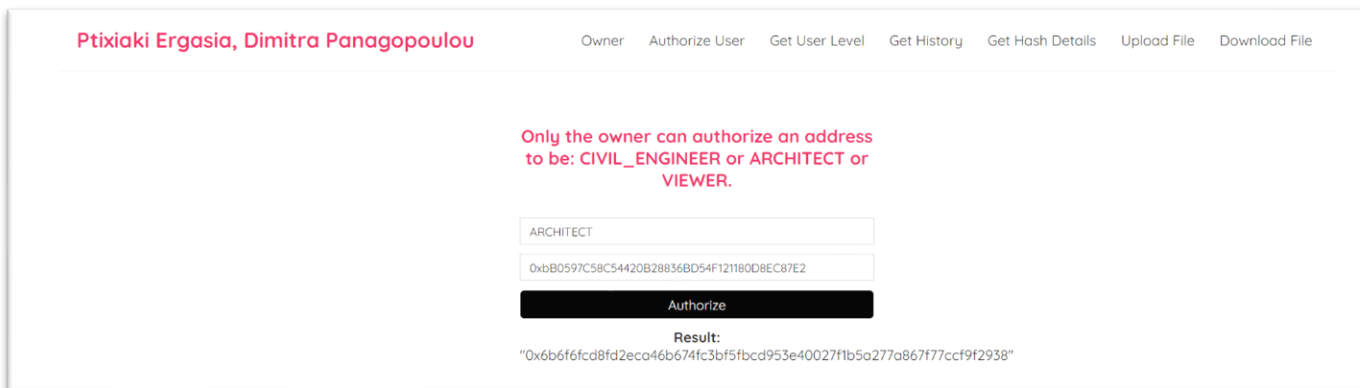
Για το πρακτικό παράδειγμα, θα υποθεθεί, ότι οι χρήστες επιθυμούν να συνεργαστούν για την κατασκευή του συγκεκριμένου κτηρίου. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούν το BIM (για την επεξεργασία των αρχείων) και το website (χωρίς να συνδέονται) που δημιουργήθηκε για την αλληλεπίδραση με το blockchain και την αποθήκευση των αρχείων.

Για την παρουσίαση της χρήσης του website, θα πραγματοποιηθούν δύο αλλαγές από τους χρήστες στο κτήριο, με σκοπό κάθε φορά την αποθήκευσή του στο cloud και την προβολή της διαδικασίας παραγωγής των hash, της αποθήκευσής τους στο blockchain και τέλος της επαλήθευσης του αμετάβλητου.

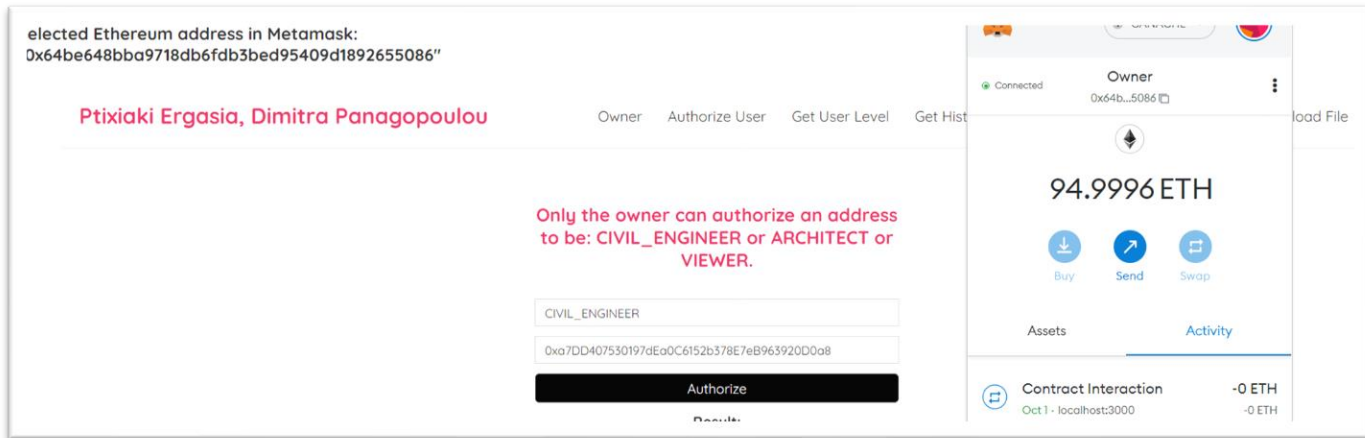
- Το πρώτο βήμα είναι να οριστούν απ' τον Owner, οι συμμετέχοντες του έργου και το level τους, δηλαδή η ιδιότητά τους, έτσι ώστε να είναι οι μόνοι που έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται ή προβάλλουν τα αρχεία. Ως Owner, έχει οριστεί ο χρήστης με διεύθυνση '0x64be648BBa9718dB6fDb3bED95409d1892655086' (εικόνα 8.20). Αρχικά, ο Owner όντας συνδεδεμένος στο MetaMask, ορίζει, απ' την επιλογή Authorize User, το level του ARCHITECT (Account 3 στο MetaMask), βάζοντας τη διεύθυνσή του και την ιδιότητά του (εικόνα 8.21).



Εικόνα 8.20 Owner Address

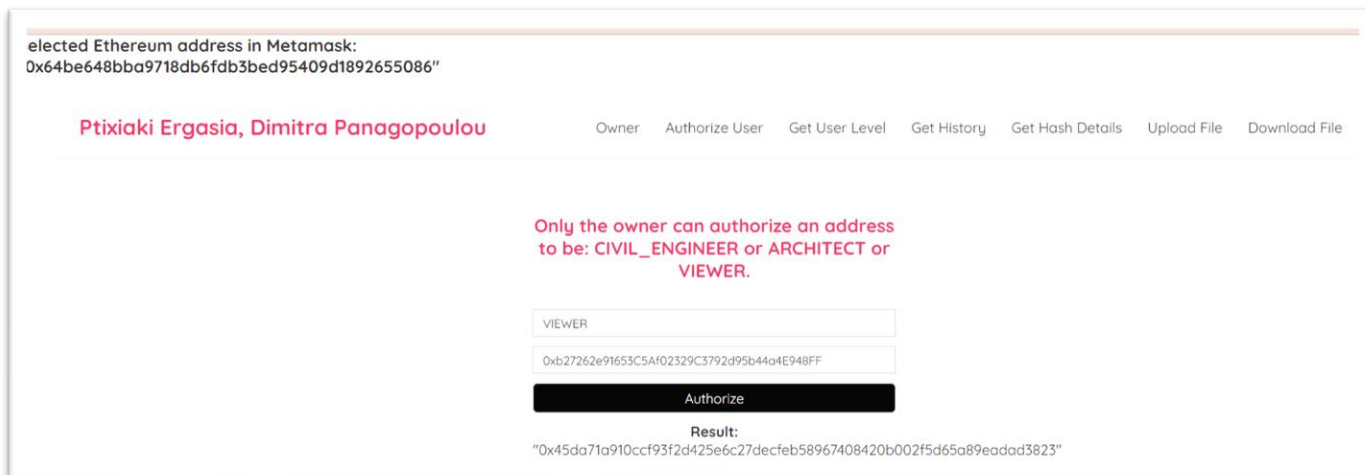


Εικόνα 8.21 Ορισμός χρήστη ARCHITECT από τον Owner



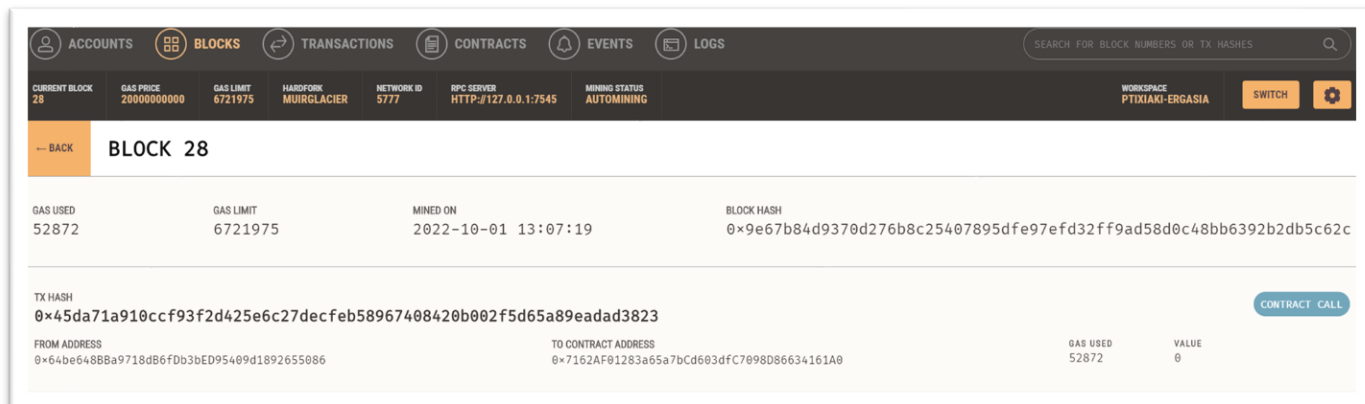
Εικόνα 8.22 Ορισμός χρήστη CIVIL_ENGINEER από τον Owner

Έπειτα ορίζει τον CIVIL ENGINEER (Account 1 στο MetaMask), με τον ίδιο τρόπο (εικόνα 8.22) και τέλος τον VIEWER (Account 4 στο MetaMask) (εικόνα 8.23). Κάθε φορά που ορίζεται το level ενός χρήστη, δημιουργείται μία νέα συναλλαγή αλληλοεπιδρώντας με το smart contract και καταγράφεται στο blockchain.



Εικόνα 8.23 Ορισμός χρήστη VIEWER από τον Owner

Αφού ολοκληρώνεται κάθε φορά η εκάστοτε ενέργεια, παράγεται ένα hash της συναλλαγής, το οποίο εμφανίζεται στο block που περιέχει την συγκεκριμένη συναλλαγή. Ενδεικτικά, φαίνεται το hash της τελευταίας συναλλαγής στο τελευταίο block του Ganache (εικόνα 8.24). Αυτή η διαδικασία, επαληθεύει την ιδιότητα των χρηστών, η οποία δεν μπορεί να μεταβληθεί ή να αμφισβητηθεί.



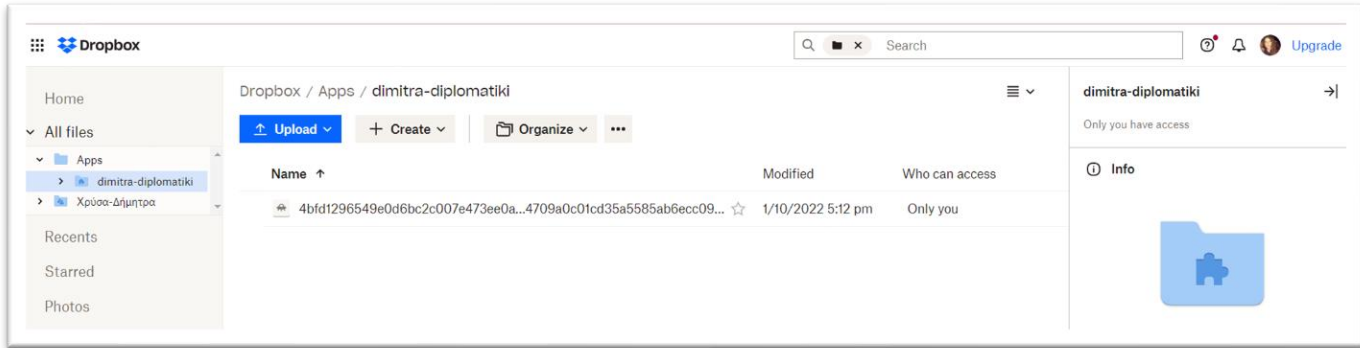
Εικόνα 8.24 Block συναλλαγής ορισμού χρήστη VIEWER

- Θεωρούμε στη συνέχεια, ότι ο χρήστης ARCHITECT, θέλει να μοιραστεί με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες την παραπάνω μορφή του κτηρίου.

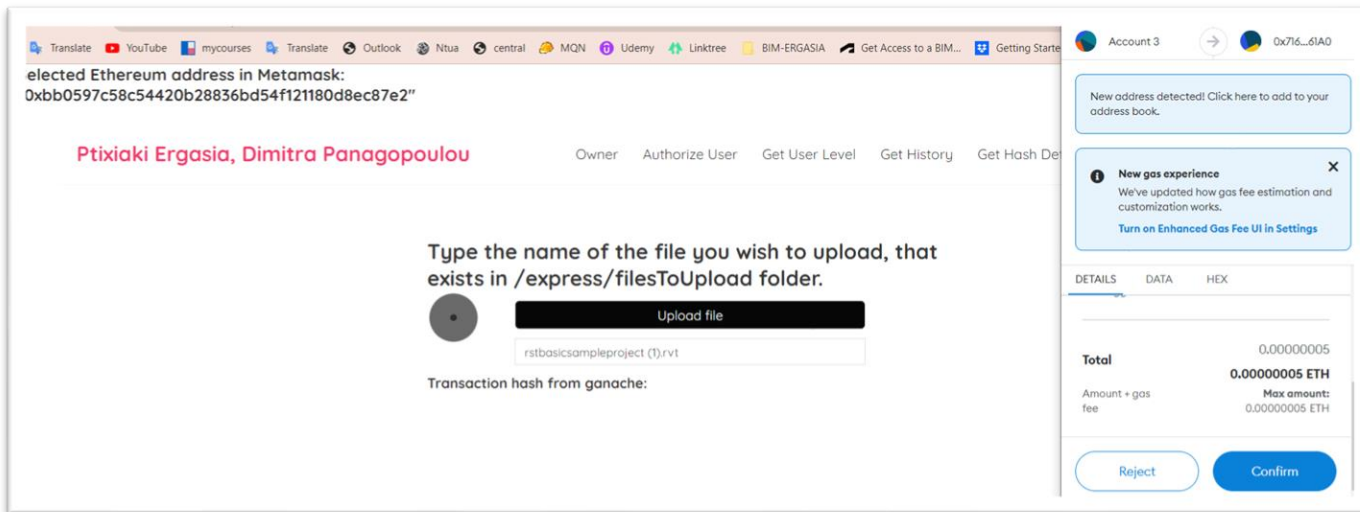
Το πρώτο βήμα είναι να «ανεβάσει» ο χρήστης το αρχείο στο BIM. Στη συνέχεια, «ανεβάζει» το ίδιο αρχείο στο website, απ' την επιλογή Upload File. Με την έναρξη της διαδικασίας και για την ολοκλήρωσή της, πρώτα υπολογίζεται το hash του αρχείου (εικόνα 8.25), το οποίο θα δοθεί και σαν όνομα στο αρχείο. Είναι σημαντικό να τονιστεί, πως το όνομα του αρχείου αντιστοιχεί στο περιεχόμενό του. Έπειτα, το αρχείο αποθηκεύεται στο cloud (εικόνα 8.26), και επιβεβαιώνοντας την συναλλαγή στο Metamask (εικόνα 8.27), το hash του αρχείου αποθηκεύεται στο smart contract και κατ'επέκταση στο blockchain. Τέλος, παράγεται και το hash της συναλλαγής (εικόνα 8.28), το οποίο εμφανίζεται στο block της συγκεκριμένης συναλλαγής.



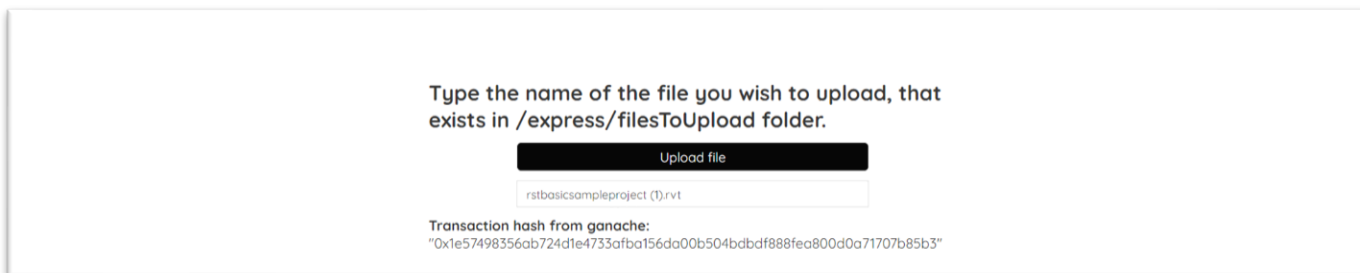
Εικόνα 8.25 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου



Εικόνα 8.26 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox



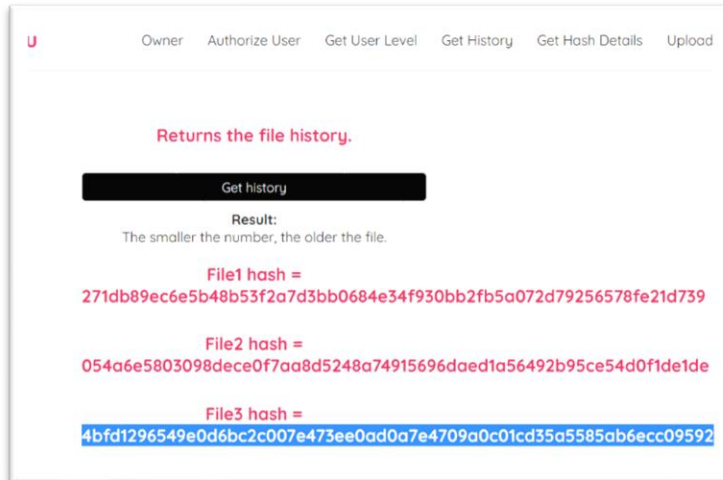
Εικόνα 8.27 Επιβεβαίωση συναλλαγής



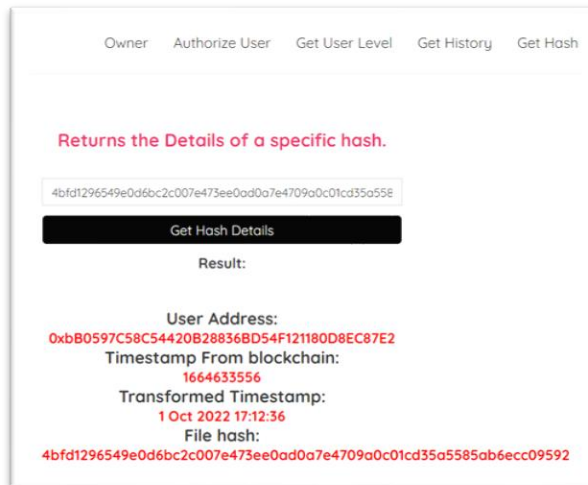
Εικόνα 8.28 Ολοκλήρωση συναλλαγής

- Έπειτα, ο CIVIL ENGINEER επιθυμεί να «κατεβάσει» το συγκεκριμένο αρχείο, ώστε να το επεξεργαστεί και στη συνέχεια να το «ανεβάσει» κι αυτός στο cloud για να το δουν και οι υπόλοιποι συμμετέχοντες.

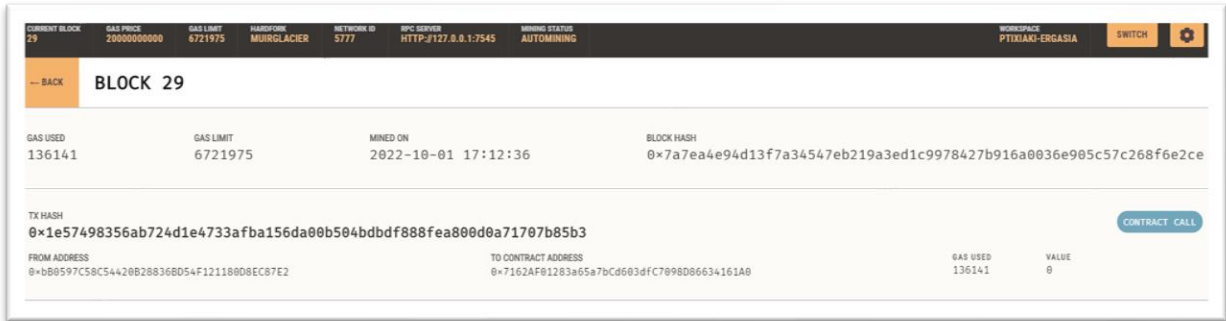
Πρώτα, από την επιλογή Get History (εικόνα 8.29) βρίσκει το hash του αρχείου και έπειτα με βάση αυτό, απ' την επιλογή Get Hash Details (εικόνα 8.30), βλέπει την διεύθυνση του χρήστη που «ανέβασε» το αρχείο και την ημερομηνία και ώρα που πραγματοποιήθηκε η συναλλαγή, ώστε να βεβαιωθεί ότι είναι το αρχείο που επιθυμεί.



Εικόνα 8.29 File Hash

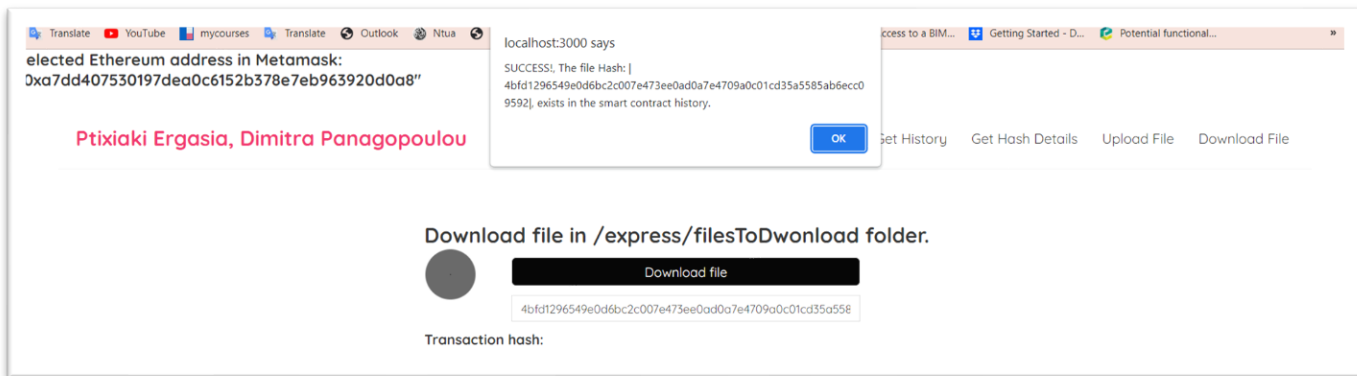


Εικόνα 8.30 Hash Details

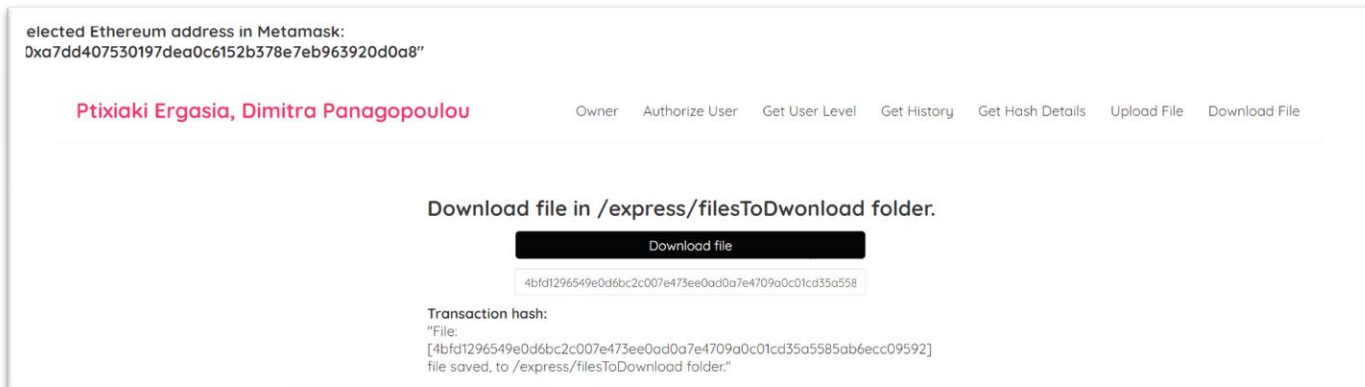


Εικόνα 8.31 Block συναλλαγής

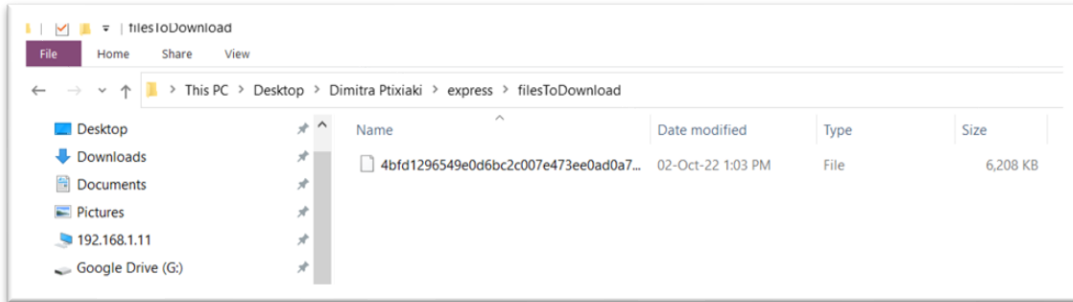
Με βάση το όνομα (hash) του αρχείου πραγματοποιείται η αναζήτησή του στο smart contract (εικόνα 8.32). Έπειτα, με βάση το περιεχόμενο του αρχείου παράγεται και πάλι ένα hash. Αν βρεθεί, το αρχείο στο smart contract και το hash που βρέθηκε είναι ίδιο με το όνομα του αρχείου, αυτό «κατεβαίνει» και αποθηκεύεται επιτυχώς στον φάκελο filesToDownload (εικόνα 8.34).



Εικόνα 8.32 Το hash του αρχείου βρέθηκε στο smart contract

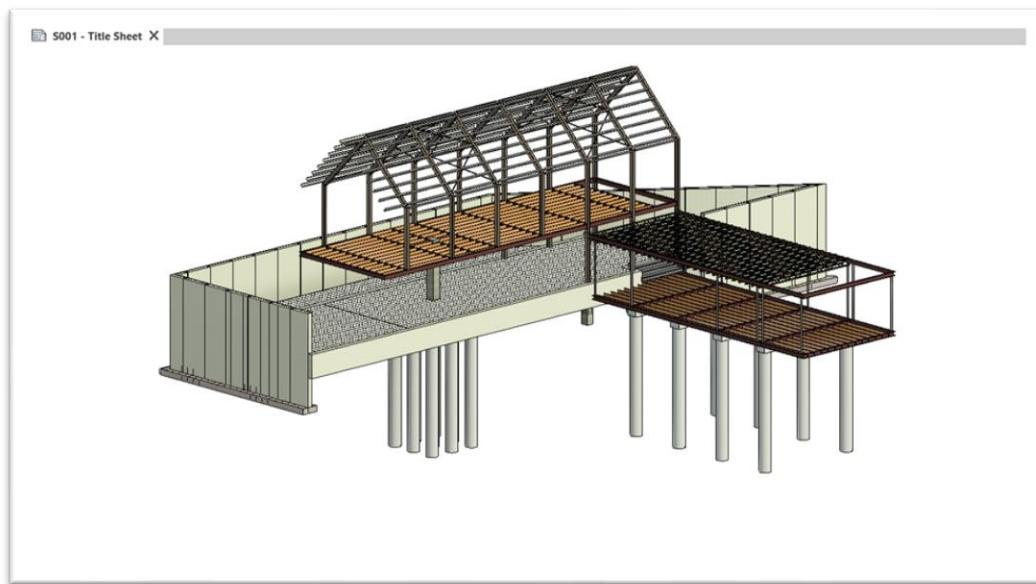


Εικόνα 8.33 Το αρχείο αποθηκεύτηκε επιτυχώς στο φάκελο filesToDownload

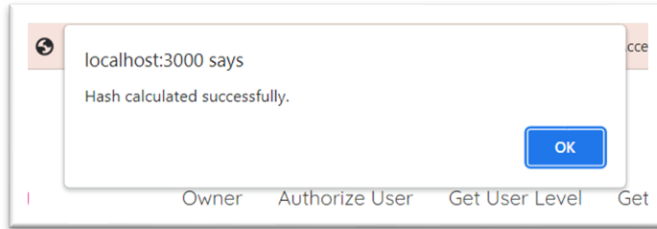


Εικόνα 8.34 Φάκελος filesToDownload

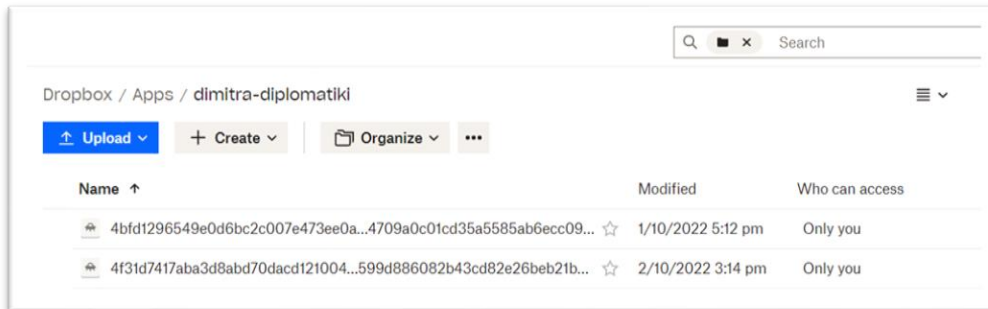
Έστω ότι επιθυμούσε να αλλάξει τη διάμετρο των θεμελίων του κτηρίου (εικόνα 8.35). Αφού το επεξεργάστηκε, το «ανεβάζει» αρχικά στο BIM και έπειτα στο cloud όμοια με πριν. Απ' την επιλογή Upload File «ανεβάζει» το αρχείο και όπως πριν, πρώτα θα υπολογιστεί το hash του αρχείου και θα δοθεί σαν όνομα στο αρχείο. Έπειτα, το αρχείο θα αποθηκευτεί στο cloud, ο χρήστης CIVIL ENGINEER θα επιβεβαιώσει την συναλλαγή στο Metamask και το hash του αρχείου θα αποθηκευτεί στο smart contract. Τέλος, θα παραγχθεί και το hash της συναλλαγής.



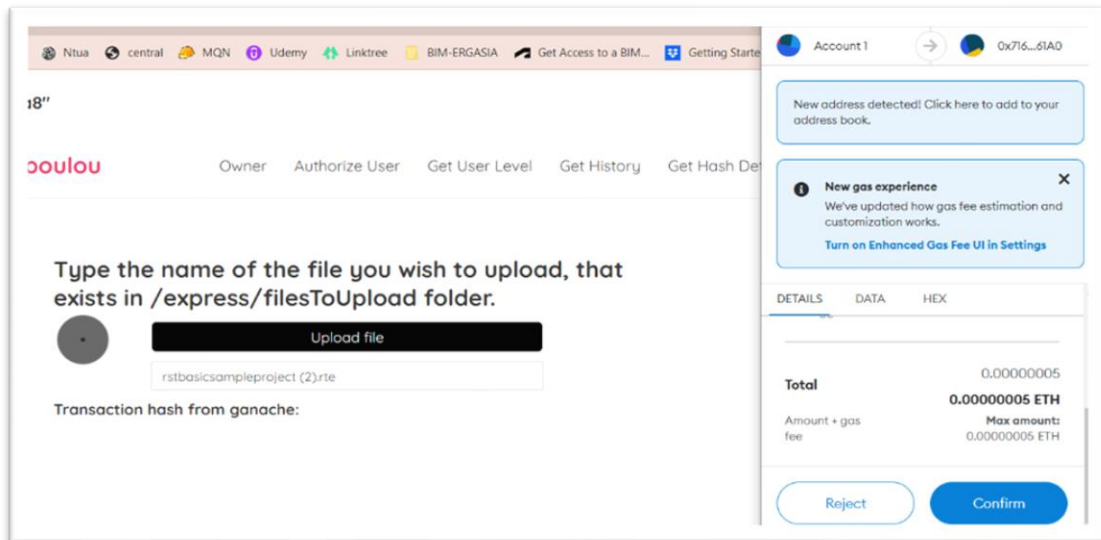
Εικόνα 8.35 1^η αλλαγή στο κτήριο



Εικόνα 8.36 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου



Εικόνα 8.37 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox



Εικόνα 8.38 Επιβεβαίωση συναλλαγής

--- BACK **BLOCK 30**

GAS USED	GAS LIMIT	MINED ON	BLOCK HASH
134463	6721975	2022-10-02 15:14:49	0xa8dbf1646a4473a09421fca39f17ed190152b2a8ad425e4395e891904aa89b4a

TX HASH
0xcbeb3b7bb06cfbccdb5375a77d325aa749583729926550e072b1c86d530fe772

FROM ADDRESS
0xa7DD407530197dea0c6152b378e7eb963920d0a8

TO CONTRACT ADDRESS
0x7162AF01283a65a7bcD603dfC7098D86634161A0

GAS USED
134463

VALUE
0

CONTRACT CALL

Εικόνα 8.39 Block συναλλαγής

elected Ethereum address in Metamask:
0xa7dd407530197dea0c6152b378e7eb963920d0a8

Ptixiaki Ergasia, Dimitra Panagopoulou

Owner Authorize User Get User Level Get History Get Hash Details Upload File Download File

Type the name of the file you wish to upload, that exists in /express/filesToUpload folder.

Upload file

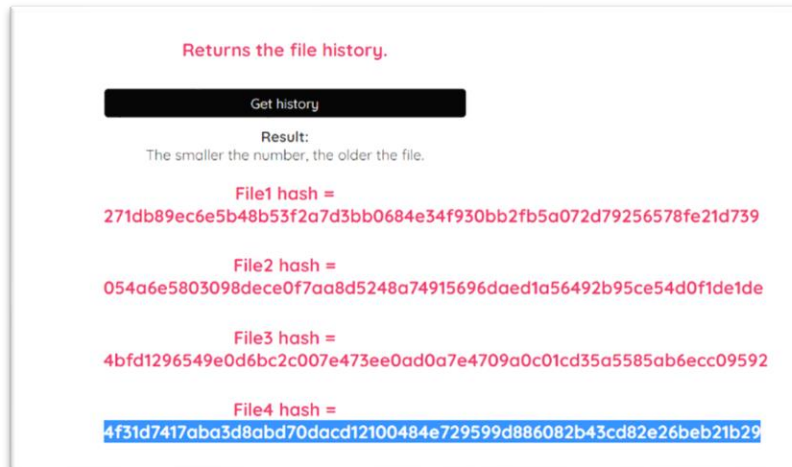
rstbasicsampleproject (2).rte

Transaction hash from ganache:
"0xcbeb3b7bb06cfbccdb5375a77d325aa749583729926550e072b1c86d530fe772"

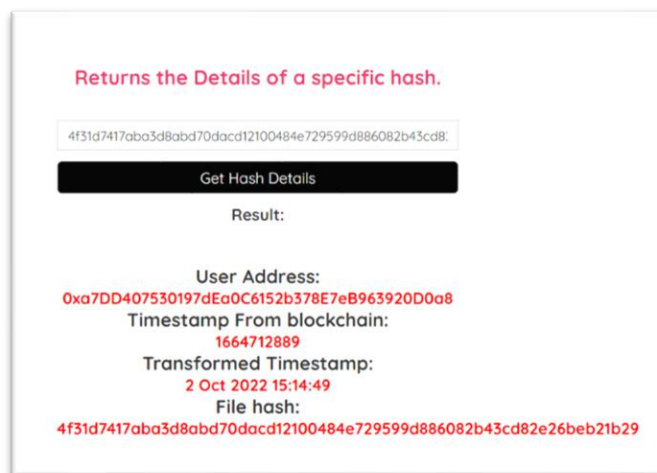
Εικόνα 8.40 Ολοκλήρωση συναλλαγής

- Έστω ότι ο χρήστης ARCHITECT, επιθυμεί να συμπληρώσει και πάλι κάτι στην τελευταία έκδοση του αρχείου.

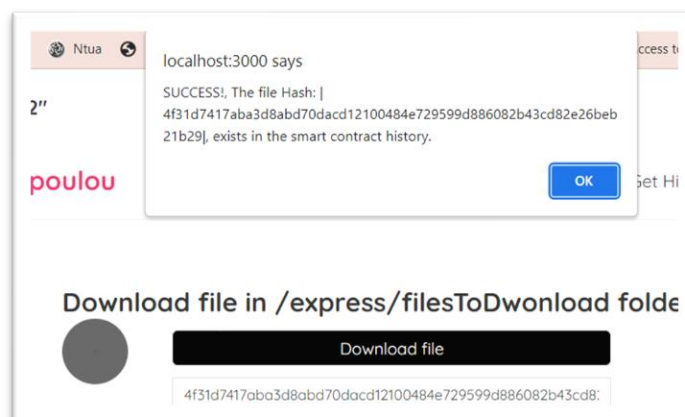
Όπως και πριν, απ' την επιλογή Get History, ο χρήστης βρίσκει το hash του αρχείου και με βάση αυτό, απ' την επιλογή Get Hash Details και για να βεβαιωθεί ότι είναι πράγματι το αρχείο που θέλει, βλέπει την διεύθυνση του χρήστη που «ανέβασε» το αρχείο και την ημερομηνία και ώρα που πραγματοποίησε την συναλλαγή. Από την επιλογή Download File, «κατεβάζει» το αρχείο που επιθυμεί, ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία.



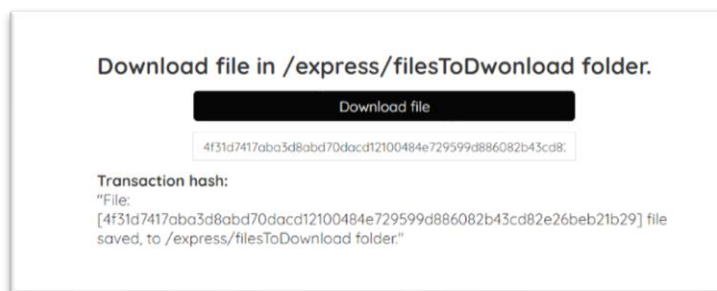
Εικόνα 8.41 File Hash



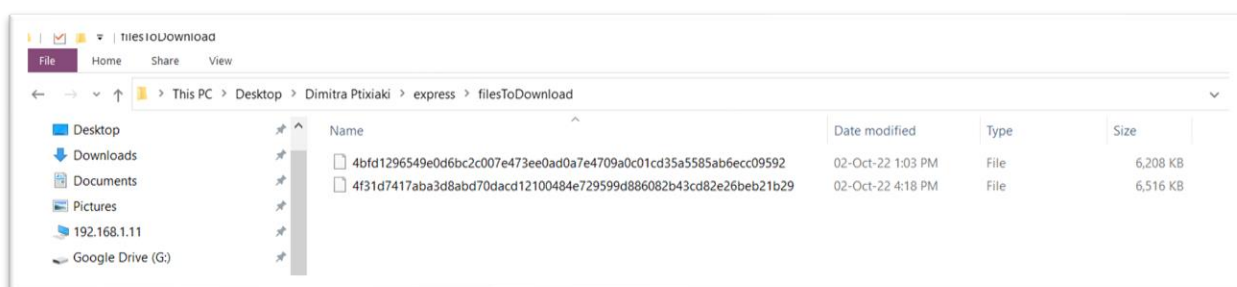
Εικόνα 8.42 Hash Details



Εικόνα 8.43 Το hash του αρχείου βρέθηκε στο smart contract

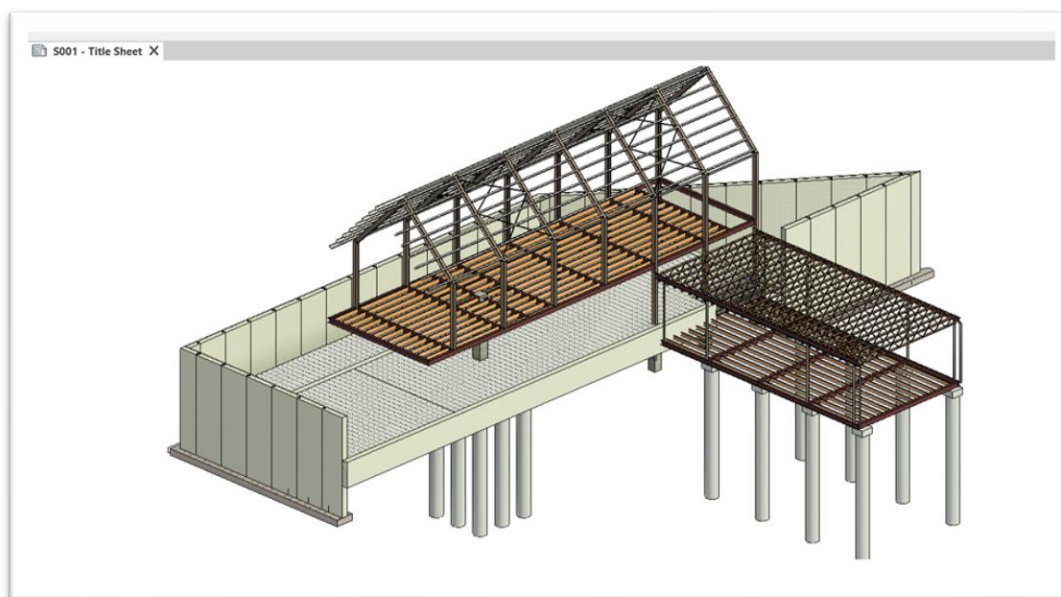


Εικόνα 8.44 Το αρχείο αποθηκεύτηκε επιτυχώς στο φάκελο filesToDownload

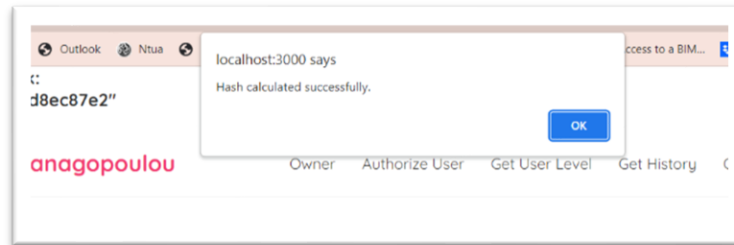


Εικόνα 8.45 Φάκελος filesToDownload

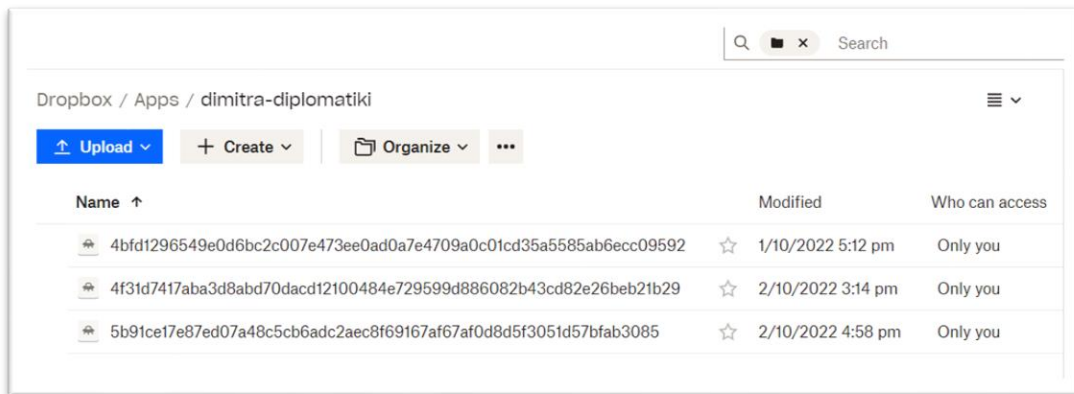
Αφού ολοκληρώσει τις αλλαγές που επιθυμεί να κάνει, «ανεβάζει» και πάλι το αρχείο στο BIM και έπειτα στο cloud, ακολουθώντας την διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω.



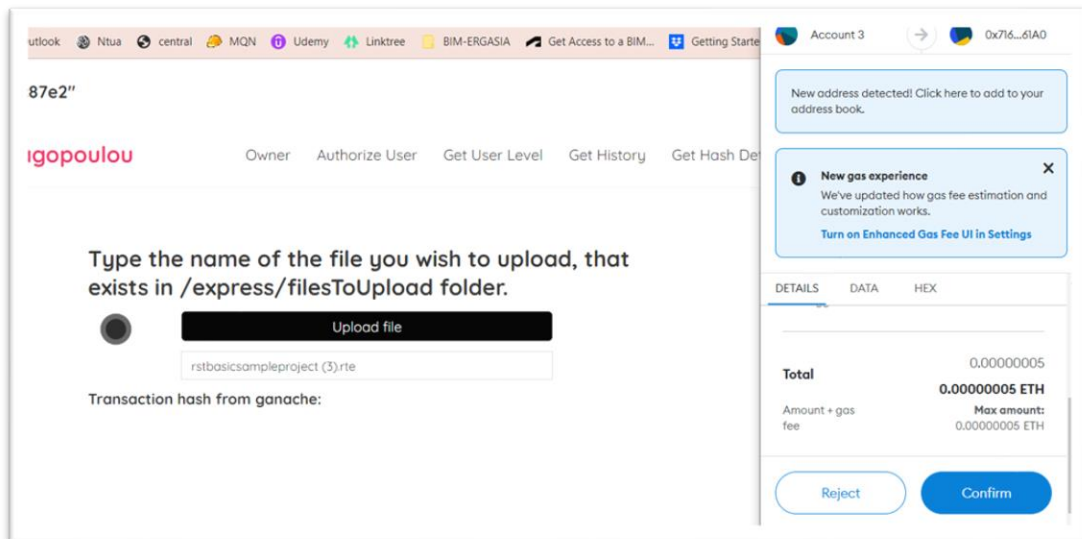
Εικόνα 8.46 2^η αλλαγή στο κτήριο



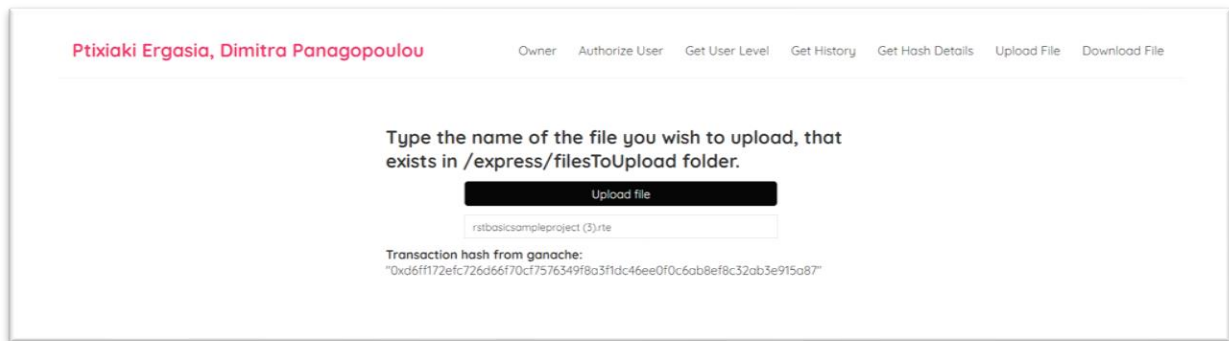
Εικόνα 8.47 Επιβεβαίωση υπολογισμού του hash του αρχείου



Εικόνα 8.48 Αποθήκευση αρχείου στο Dropbox



Εικόνα 8.49 Επιβεβαίωση συναλλαγής



Εικόνα 8.50 Ολοκλήρωση συναλλαγής

Για την καλύτερη κατανόηση της σημαντικότητας του hash του αρχείου, ας υποθέσουμε ότι ο Owner ανταλλάσσει τα ονόματα (hashes) δύο αρχείων μέσα στο droptbox. Όταν κάποιος χρήστης επιδιώξει να «κατεβάσει» κάποιο απ' αυτά τα αρχεία, με το hash που «ανέβηκε» στο droptbox δηλαδή το αρχικό του όνομα, το Website θα εμφανίσει σφάλμα. Αυτό συμβαίνει διότι, πριν κατέβει ένα αρχείο γίνονται δύο έλεγχοι. Ο πρώτος έλεγχος που πραγματοποιείται, έχει να κάνει με το αν το hash που καλείται, υπάρχει στο ιστορικό (history) των αρχείων, δηλαδή αν υπάρχει στο blockchain. Ο δεύτερος έλεγχος έχει να κάνει με το hash του αρχείου και το περιεχόμενό του. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω όταν ένα αρχείο «ανεβαίνει» στο cloud, βρίσκεται γι' αυτό, με βάση το περιεχόμενό του, ένα hash, το οποίο ορίζεται και ως όνομα στο αρχείο. Όταν δοθεί εντολή να «κατέβει» ένα αρχείο, παράγεται και πάλι ένα hash που σχετίζεται με το περιεχόμενό του και συγκρίνεται με το όνομα του αρχείου. Αν αυτά τα δύο hash δεν είναι ίδια, εμφανίζεται και πάλι σφάλμα. Οπότε στην περίπτωση ανταλλαγής των hash δύο αρχείων, δεν θα ολοκληρωθεί επιτυχώς ο δεύτερος έλεγχος και δεν θα «κατέβει» κάποιο αρχείο. Το αρχείο κατεβαίνει όταν ικανοποιούνται και οι δύο έλεγχοι.

Σε άλλη περίπτωση, αν ο Owner, έχει προσθέσει ένα αρχείο, απ' ευθείας στο droptbox, με δικό του hash και επιχειρήσει κάποιος να το κατεβάσει δεν θα τα καταφέρει. Αυτό θα συμβεί επειδή δεν θα βρεθεί από το smart contract το hash του αρχείου στο ιστορικό (στο blockchain), δηλαδή δεν θα ολοκληρωθεί ο πρώτος έλεγχος.

Σκοπός της διαδικασίας αυτής, κατά την οποία οι χρήστες αποθηκεύουν τα αρχεία στο BIM και έπειτα τα αποθηκεύουν και στο Website, είναι η εμπιστοσύνη στην αυθεντικότητα των αρχείων και των δημιουργών τους, καθώς οι χρήστες θα βασίζονται στα αρχεία που είναι αποθηκευμένα στο Website και όχι στο BIM. Παράλληλα, αν κάποιο αρχείο έχει διαγραφεί από το BIM, οι χρήστες εμπιστεύονται και πάλι το Website και συμπληρώνουν από αυτό, το αρχείο που λείπει. Η εμπιστοσύνη πηγάζει απ' το γεγονός ότι το Website βασίζεται στο blockchain και τον αμετάβλητο χαρακτήρα του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. Κατακλείδα

9.1 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία και μέσα από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, τη μελέτη της πρακτικής εφαρμογής και τη γενικότερη έρευνα γύρω από την τεχνολογία του BIM και του Blockchain, προέκυψαν κάποια χρήσιμα συμπεράσματα τόσο για τα πλεονεκτήματα της χρήσης των δύο τεχνολογιών, όσο και για κάποιες απαιτήσεις και προκλήσεις που συνδέονται με τις εν λόγω τεχνολογίες.

Αναλυτικότερα, οι παραδοσιακές τεχνικές που χρησιμοποιούνταν μέχρι σήμερα, είχαν οδηγήσει τον κατασκευαστικό τομέα σε μία στάσιμη κατάσταση, η οποία είχε αντίκτυπο στην παραγωγικότητα και την συνεργασία μεταξύ των συμμετεχόντων ενός έργου. Η τεχνολογία του BIM, που ήρθε για να αναβαθμίσει αυτή την κατάσταση και να προσφέρει, εκτός από την απλή CAD απεικόνιση ενός έργου (3D), την ενίσχυση της επικοινωνίας και της συνεργασίας μεταξύ των συντελεστών, καθώς όλες οι πληροφορίες αποθηκεύονται σε μια κοινή πλατφόρμα, στην οποία έχουν άμεση πρόσβαση όλα τα μέλη του έργου, από τον ιδιοκτήτη του, μέχρι τους μελετητές και τους κατασκευαστές του. Οι πληροφορίες αυτές ανανεώνονται καθ' όλο τον κύκλο ζωής του έργου, γεγονός που εξυπηρετεί την διαχείριση και την επίλυση πιθανών προβλημάτων που θα προκύψουν μετά την ολοκλήρωσή του (6D). Επιπρόσθετα, το BIM προσφέρει στοιχεία, που έχουν να κάνουν με τον χρονικό προγραμματισμό των εργασιών και των δραστηριοτήτων που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου (4D), τις ποσότητες και το εκτιμώμενο κόστος (5D), καθώς και τον αντίκτυπο ενδεχόμενων τροποποιήσεων στον προϋπολογισμό.

Παρά τα πλεονεκτήματα που έχει προσφέρει το BIM στον κατασκευαστικό τομέα, κατά την ολιγοετή χρήση του, έχουν προκύψει κάποια ζητήματα που έχουν να κάνουν με την ασφάλεια των πληροφοριών και των ατόμων που έχουν πρόσβαση σε αυτές, αλλά και με την ανάληψη ευθύνης σε ότι έχει να κάνει με τις αλλαγές και τις προσθήκες στο μοντέλο.

Λύση σ' αυτούς τους προβληματισμούς δύναται να δώσει η τεχνολογία του Blockchain, όπως φαίνεται και μέσα απ' την πρακτική εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε. Αυτά που επιτυγχάνονται απ' το συνδυασμό του BIM με το Blockchain είναι:

- Η προβολή των αρχείων και των πληροφοριών μόνο εξουσιοδοτημένων χρηστών.
- Η καταγραφή στο blockchain, του ιστορικού μίας τροποποίησης (upload) , καθώς και οι πληροφορίες σχετικά με το ποιος έκανε την εκάστοτε αλλαγή και ποια χρονική στιγμή.
- Τα έξυπνα συμβόλαια μειώνουν τις δαπάνες των συναλλαγών που σχετίζονται με τη σύναψη συμβάσεων, σε σχέση με τα παραδοσιακά συμβόλαια και κάνουν την διαδικασία πιο γρήγορη και αυτοματοποιημένη.
- Ένα ιστορικό αρχείο, παρέχει ουσιαστική ιχνηλασιμότητα και δυνατότητα ελέγχου για δραστηριότητες όπως χρονοσήμανση, συναλλαγές, συμβόλαια, αποθετήρια

πληροφοριών κ.λπ. Το blockchain μπορεί να αυξήσει τη διαφάνεια μέσω του αμετάβλητου καθολικού του, για κάθε τύπο συμφωνίας και συναλλαγής σε ένα κατασκευαστικό έργο. Το γεγονός αυτό, ενισχύει την εμπιστοσύνη για την αυθεντικότητα των πληροφοριών (ποιος έκανε τι και πότε). Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τυχόν νομικά επιχειρήματα που ενδέχεται να προκύψουν σχετικά με την ανταλλαγή πληροφοριών, καθώς επιτρέπει την ιχνηλασιμότητα των σφαλμάτων και αυξάνει τον έλεγχο της ευθύνης.

- Η βελτιωμένη ροή εργασίας, μέσω της ενθάρρυνσης πιο ανοιχτών περιβαλλόντων εργασίας. Αυτή η δυνατότητα, συνδέεται με το ρόλο που μπορεί να παίξει το blockchain στην αύξηση της συνεργασίας και της διαφάνειας, καθώς και της προσωπικής ευθύνης και του ελέγχου του έργου. Κατά συνέπεια, το ενδιαφέρον και η απορρόφηση της τεχνολογίας του BIM μπορεί να μεγαλώσει, λόγω της ανάγκης για ασφαλή, κοινή χρήση πληροφοριών ανάμεσα στους συμμετέχοντες.
- Η μείωση του χρόνου που σπαταλάται στην ανίχνευση σφαλμάτων και στην ταυτοποίηση του υπεύθυνου.

9.2 Προβληματισμοί, περαιτέρω έρευνα

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας και με την γενικότερη ενασχόληση με την τεχνολογία του blockchain, προέκυψαν κάποιοι προβληματισμοί, που χρίζουν περαιτέρω διερεύνησης. Οι σημαντικότεροι απ' αυτούς, είναι οι ακόλουθοι:

- Ο κατασκευαστικός κλάδος συνήθως αργεί να υιοθετήσει νέες τεχνολογίες και είναι ιστορικά ανθεκτικός στις αλλαγές, αφού όλοι εμπιστεύονται το παλιό σύστημα με τα εγγενή του ελαττώματα και μπορεί ακόμη και να είναι βαθιά επιφορτισμένοι με τον μετριασμό αυτών των σφαλμάτων. Συνεπώς, ενδέχεται να μην επιτευχθεί η πλήρης έκταση των οφελών που θα μπορούσαν να προκύψουν.
- Η ετοιμότητα για την εισήγηση της τεχνολογίας του blockchain στον κατασκευαστικό κλάδο, απαιτεί επαρκώς εξειδικευμένους ανθρώπους που έχουν εκπαιδευτεί σ' αυτές τις τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας κωδικοποίησης έξυπνων συμβάσεων, καθώς μια κακώς προγραμματισμένη σύμβαση θα μπορούσε να είναι καταστροφική. Παρ'όλ'αυτά, η τεχνολογική κατάσταση του κατασκευαστικού κλάδου, δεν είναι επαρκώς ψηφιοποιημένη για να αξιοποιήσει πλήρως τις τεχνολογίες blockchain και η εφαρμογή είναι πιθανό να είναι δαπανηρή. Παράλληλα, το BIM είναι από μόνο του ένα σύγχρονο τεχνολογικό επίτευγμα, που χρειάζεται ακόμα χρόνο και εκπαίδευση για τη σωστή χρήση του, γεγονός που εντείνεται με την ενσωμάτωση μιας ακόμα νέας τεχνολογίας σε αυτό. Απαιτείται επιπλέον επένδυση για την εγκατάσταση νέων λογισμικών αλλά και για την εκπαίδευση και την απόκτηση εμπειρίας του ανθρώπινου δυναμικού.

Μερικά ερωτήματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Κατανομή κινδύνου. Ποιος φέρει τον κίνδυνο δυσλειτουργιών και σφαλμάτων λογισμικού, της ασφάλειας στον κυβερνοχώρο και της εμπιστευτικότητας, δηλαδή ποιος ελέγχει και παρακολουθεί την πρόσβαση (στην περίπτωση της πρακτικής εφαρμογής ο owner); Παράλληλα, λόγω των αμετάβλητων δεδομένων μιας αλυσίδας blockchain και των διαφορετικών διαδικασιών και ορολογίας, καθώς και την απουσία κοινών προτύπων, εάν τα μέρη δεν διευκρινίσουν εξαρχής το επιδιωκόμενο πεδίο χρήσης και τις συμφωνημένες διαδικασίες, υπάρχει κίνδυνος αποτυχίας της τεχνολογίας να μην εκπληρώσει τους επιδιωκόμενους σκοπούς, λόγω κακής διαχείρισης προσδοκιών και επακόλουθων διαφωνιών. Συνεπώς, είναι ζωτικής σημασίας τα μέρη να διασφαλίζουν με σαφήνεια τους κινδύνους και τις ευθύνες τους σε γραπτή σύμβαση.
- Ενώ η αμετάβλητη φύση του Blockchain και των έξυπνων συμβολαίων είναι ένα πλεονέκτημα, είναι επίσης μια πιθανή αδυναμία όσον αφορά τη μακροπρόθεσμη, μεταβλητή και πολύπλοκη φύση των κατασκευαστικών έργων. Αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εξέταση του τρόπου και της έκτασης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί το Blockchain ή/και τα έξυπνα συμβόλαια στις διαδικασίες ενός έργου.
- Μήπως με όλον αυτόν τον έλεγχο και τις ευθύνες που επωμίζονται οι χρήστες, περιορίζεται τελικά η ελευθερία στο περιβάλλον εργασίας και στην πραγματικότητα είναι διστακτικοί να εκφράσουν και να πράξουν αυτά που σκέφτονται ;

Όλα αυτά είναι ζητήματα πρέπει να διερευνηθούν, προκειμένου να ξεπεραστούν τα εμπόδια που εμφανίζονται, να καταφέρει η τεχνολογία να λειτουργήσει επιτυχώς και να επωφεληθεί ο κατασκευαστικός τομέας από όλα της τα πλεονεκτήματα.

9.2.1 Προτάσεις

Για την βελτίωση της πρακτικής εφαρμογής που πραγματοποιήθηκε, θα μπορούσε το δίκτυο blockchain να συνδέεται απ' ευθείας με την πλατφόρμα του BIM. Δηλαδή, τα αρχεία που θα επιθυμούν οι χρήστες να μοιραστούν με τους υπόλοιπους συμμετέχοντες, θα αποθηκεύονται μέσω του website κατευθείαν στον χώρο του BIM και δεν θα υπάρχει λόγος ύπαρξης ενός δεύτερου cloud. Παράλληλα, το δίκτυο του blockchain θα συνεχίσει να λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο. Θα συνδέεται και θα επικοινωνεί με το website και θα καταγράφει τις ίδιες πληροφορίες, δηλαδή τον υπεύθυνο για την αποθήκευση ενός αρχείου στο BIM (cloud), τη χρονική στιγμή, το hash του αρχείου κλπ. Αυτός ο συνδυασμός του blockchain με το BIM, θα ήταν πιο απλός και πιο εύχρηστος, παρ'όλ'αυτά η διαδικασία δημιουργίας αυτού του project, απαιτεί προχωρημένες προγραμματιστικές γνώσεις.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Nationalbimstandard.org. 2022. *Frequently Asked Questions About the National BIM Standard-United States™ | National BIM Standard - United States*. [online] Available at: <<https://www.nationalbimstandard.org/faqs#faq1>> [Accessed 11 February 2022].
- [2] Estman, C., 1975. The use of computers instead of drawings in building design. Volume 63, Number 3, p.46-50.
- [3] Eastman, C., 2011. *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2nd ed. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- [4] Hourigan.group. 2022. *5 Fundamentals of BIM for Improved Design and Construction*. [online] Available at: <<https://www.hourigan.group/blog/5-fundamentals-of-bim-for-improved-design-and-construction/>> [Accessed 1 March 2022].
- [5] NBS. “NBS International BIM Report 2016.” NBS, www.theNBS.com, 25 Feb. 2016, www.thenbs.com/knowledge/nbs-international-bim-report-2016.. Accessed 12 Mar. 2022.
- [6] Jung, Wooyoung, and Ghang Lee. “The Status of BIM Adoption on Six Continents.” *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 9, no. 5, 2 Mar. 2015, pp. 512–516, publications.waset.org/10001095/the-status-of-bim-adoption-on-six-continents. Accessed 12 Mar. 2022.
- [7] Mathews, Malachy, et al. “BIM Blockchain: A Solution to the Trust Problem in Collaboration?” *Conference Papers*, 28 Aug. 2017, arrow.tudublin.ie/bescharcon/26/, 10.21427/D73N5K. Accessed 25 Aug. 2022
- [8] “Blockchain, Explained.” *Investopedia*, 16 Feb. 2022, www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp.
- [9] Goyal, Swati. “The History of Blockchain Technology: Must Know Timeline.” *101 Blockchains*, 101 Blockchains, 3 Nov. 2018, 101blockchains.com/history-of-blockchain-timeline/. Accessed 12 Mar. 2022.

- [10] Binance Academy. "How Does Blockchain Work?" *Binance Academy*, 24 Aug. 2021, academy.binance.com/en/articles/how-does-blockchain-work. Accessed 27 Mar. 2022.
- [11] Security, Savvy. "Decoded: Examples of How Hashing Algorithms Work." *Savvy Security*, 22 Oct. 2020, cheapsslsecurity.com/blog/decoded-examples-of-how-hashing-algorithms-work/. Accessed 27 Mar. 2022.
- [12] Rhodes, Delton. "Cryptographic Hash Functions Explained: A Beginner's Guide." *Komodo Academy / En*, 16 Dec. 2021, komodoplatfrom.com/en/academy/cryptographic-hash-function/. Accessed 28 Mar. 2022.
- [13] Ledger. "What Are Public Keys and Private Keys?" *Ledger*, 23 Oct. 2019, www.ledger.com/academy/blockchain/what-are-public-keys-and-private-keys. Accessed 30 Mar. 2022.
- [14] Hayes, Adam. "Blockchain Explained." *Investopedia*, 5 Mar. 2022, www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp#toc-what-is-a-blockchain-platform. Accessed 31 Mar. 2022.
- [15] Chawla, Vishal. "What Are the Top Blockchain Consensus Algorithms?" *Analytics India Magazine*, 20 Jan. 2020, analyticsindiamag.com/blockchain-consensus-algorithms/. Accessed 1 Apr. 2022.
- [16] Academy Binance. "What Is a Blockchain Consensus Algorithm?" *Binance Academy*, 16 Mar. 2022, <https://academy.binance.com/en/articles/what-is-a-blockchain-consensus-algorithm>
- [17] Levi, Stuart D., and Alex B. Lipton. "An Introduction to Smart Contracts and Their Potential and Inherent Limitations." *Harvard.edu*, 26 May 2018, corpgov.law.harvard.edu/2018/05/26/an-introduction-to-smart-contracts-and-their-potential-and-inherent-limitations/ . Accessed 4 Apr. 2022.
- [18] Antonopoulos, Andreas M, et al. *Mastering Ethereum : Building Smart Contracts and DApps*. Beijing ; Boston ; Farnham ; Sebastopol ; Tokyo, O'reilly, Copyright, 2019.
- [19] CFI. "Smart Contracts - Overview, Uses, Benefits, Limitations." *Corporate Finance Institute*, < corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/deals/smart-contracts/ >. Accessed 4 Apr. 2022.

- [20] Nzuva, Silas. “Smart Contracts Implementation, Applications, Benefits, and Limitations.” *Journal of Information Engineering and Applications*, Sept. 2019. Accessed 22 Aug. 2022.
- [21] Obafemi, Faith. “Blockchain Applications in Your Business: Platform Considerations.” *Flexiple.com*, flexiple.com/blockchain/blockchain-applications-in-business-public-vs-private/. Accessed 23 Aug. 2022.
- [22] “Public, Private, Permissioned Blockchains Compared.” *Investopedia*, 29 June 2021, www.investopedia.com/news/public-private-permissioned-blockchains-compared/. Accessed 6 Apr. 2022.
- [23] Iredale, Gwyneth. “Public vs Private Blockchain: How Do They Differ?” *101 Blockchains*, 10 Jan. 2021, 101blockchains.com/public-vs-private-blockchain/. Accessed 7 Apr. 2022.
- [24] Nitish Singh. “Benefits of Blockchain Technology.” *101 Blockchains*, 101 Blockchains, 4 Nov. 2019, 101blockchains.com/benefits-of-blockchain-technology/. Accessed 12 Apr. 2022.
- [25] IBM. “Benefits of Blockchain - IBM Blockchain.” *Www.ibm.com*, 2022, www.ibm.com/topics/benefits-of-blockchain. Accessed 12 Apr. 2022.
- [26] Wikipedia. “Διαδίκτυο των πραγμάτων.” *Wikipedia.org*, Wikimedia Foundation, Inc., Feb. 2018, el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CF%84%CF%89%CE%BD_%CF%80%CF%81%CE%B1%CE%B3%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD. Accessed 16 Apr. 2022.
- [27] Jaoude, Joe Abou, and Raafat Saade. “Business Applications of Blockchain Technology – a Systematic Review.” *IEEE Access*, 1 Mar. 2019, pp. 1–1, 10.1109/access.2019.2902501. Accessed 15 Apr. 2022.
- [28] leally.ru. “Όπου χρησιμοποιείται το Blockchain - η χρήση της τεχνολογίας Blockchain σε διάφορους τομείς. Πού χρησιμοποιείται το Blockchain; Εφαρμογή της τεχνολογίας Blockchain στις επιχειρήσεις.” *Leally.ru*, 2022, leally.ru/el/windows/gde-primenyaetsya-blokchein-ispolzovanie-tehnologii-blokchein-v-raznyh/. Accessed 15 Apr. 2022.
- [29] Ghaffari, Zahra, et al. *On the Application Areas of Blockchain*. 2016.

- [30] Park, Arim, and Huan Li. "The Effect of Blockchain Technology on Supply Chain Sustainability Performances." *Sustainability*, vol. 13, no. 4, 5 Feb. 2021, p. 1726, 10.3390/su13041726. Accessed 18 Apr. 2022.
- [31] Safa, Mahdi, et al. "Incorporating Blockchain Technology in Construction Management." *Strategic Direction*, vol. 35, no. 10, 14 Oct. 2019, pp. 1–3, 10.1108/sd-03-2019-0062. Accessed 19 Apr. 2022.
- [32] Nawari, Nawari O., and Shriram Ravindran. "Blockchain and Building Information Modeling (BIM): Review and Applications in Post-Disaster Recovery." *Buildings*, vol. 9, no. 6, 19 June 2019, p. 149, 10.3390/buildings9060149. Accessed 19 Apr. 2022.
- [33] Microsoft. "Visual Studio Code." *Visualstudio.com*, 14 Apr. 2016, code.visualstudio.com/docs/editor/whyvscode.
- [34] "Ganache | Overview - Truffle Suite." *Trufflesuite.com*, TRUFFLE SUITE, trufflesuite.com/docs/ganache/.
- [35] Cryptopedia Staff. "The MetaMask Extension: What Is MetaMask Used For?" *Gemini*, 21 Dec. 2021, www.gemini.com/cryptopedia/what-is-metamask-how-to-use-metamask-extension. Accessed 17 Aug. 2022.