

Digital Twins in Construction

Κυριακίδης Φώτιος, Νιάκα Μυρτώ, Πετρακίδου Φωτεινή Ηλιάνα

ics20030@uom.edu.gr

iis21075@uom.edu.gr

iis21047@uom.edu.gr

Διδάσκων Καθηγητής:
Κωνσταντίνος Ψάννης
kpsannis@uom.edu.gr

Περίληψη

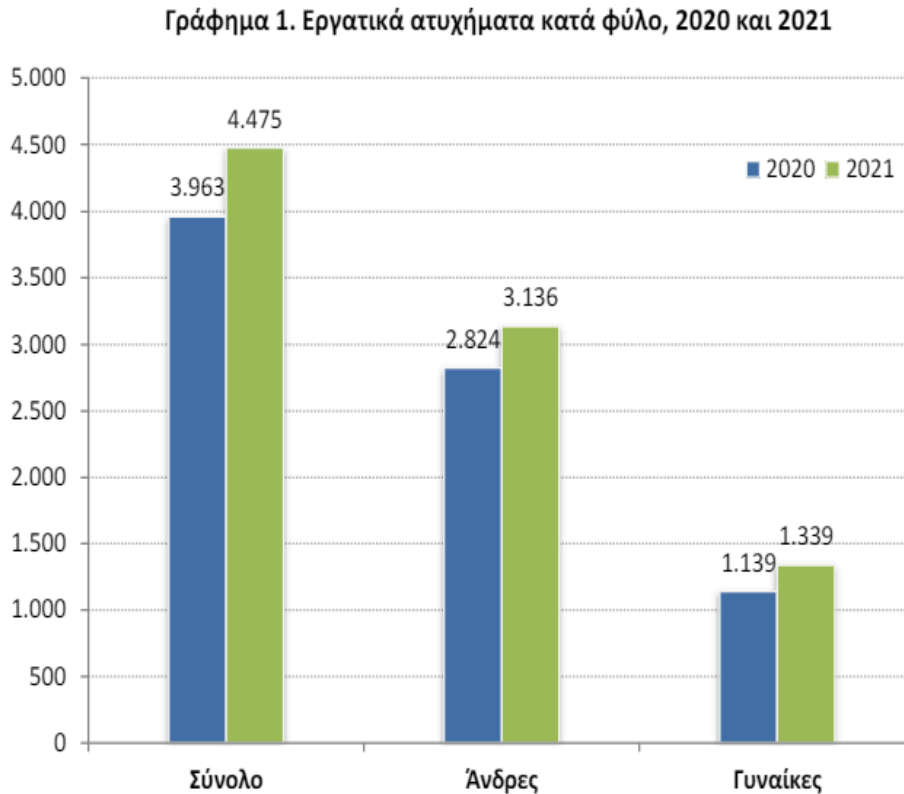
Οι τεχνολογίες Digital Twin (DT) φέρνουν επανάσταση στις υποδομές κατασκευών και μεταφορών, βελτιώνοντας αποδεδειγμένα την ασφάλεια και την αποδοτικότητα. Στην ασφάλεια των κατασκευών, τα συστήματα DT αξιοποιούν δεδομένα και προσομοιώσεις σε πραγματικό χρόνο για τον προληπτικό εντοπισμό πιθανών κινδύνων, όπως παρατηρήθηκε σε επιτυχημένα έργα κατασκευής σηράγγων. Πέρα από την ασφάλεια, τα συστήματα DT, όπως το DiTES στις κατασκευές εκτός εργοταξίου, αυτοματοποιούν τη συλλογή δεδομένων και χρησιμοποιούν τη μηχανική μάθηση για τη βελτιστοποίηση του προγραμματισμού της παραγωγής, οδηγώντας σε σημαντική αύξηση της αποδοτικότητας. Η φιλικότητα των συστημάτων DT προς τον χρήστη είναι υψίστης σημασίας και οι αρχές ανθρωποκεντρικού σχεδιασμού διασφαλίζουν την επιτυχή υιοθέτηση από κρίσιμες ομάδες χρηστών, όπως οι υπεύθυνοι ασφάλειας κατασκευών. Καθώς η τεχνολογία DT ωριμάζει παράλληλα με τις εξελίξεις στην τεχνητή νοημοσύνη, τα μεγάλα δεδομένα και τις τεχνολογίες αισθητήρων, μπορούμε να περιμένουμε ένα μελλοντικό κύμα καινοτόμων εφαρμογών που θα φέρουν περαιτέρω επανάσταση στους τομείς αυτούς, με τελικό αποτέλεσμα ασφαλέστερα, αποτελεσματικότερα και βιώσιμα έργα υποδομής.

Λέξεις κλειδιά: Ανάλυση Δεδομένων, Διαδικασίες BIM, Εικονική Πραγματικότητα, Μοντελοποίηση ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Προβλήματα:

Μέχρι και σήμερα η ασφάλεια στα κατασκευαστικά έργα δεν είναι δεδομένη. Δεκάδες ατυχήματα συνεχίζουν να γίνονται κάθε χρόνο τα οποία επί το πλείστον είναι σοβαρά και πολλές φορές καταλήγουν σε θάνατο. Το 2021 31 εργαζόμενοι έχασαν την ζωή τους μετά από ατυχήματα στον εργασιακό τους χώρο, ενώ το 2020 ήταν 51 τα θύματα. Το 2022 104 εργάτες έχασαν την ζωή τους από εργατικά ατυχήματα και 140 τραυματίστηκαν σοβαρά. Η Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) έκανε μία έρευνα σχετικά με τα εργατικά ατυχήματα του έτους 2021. Ο παρακάτω πίνακας συγκρίνει τα ατυχήματα των ετών 2020 και 2021 και τα διαχωρίζει με βάση το φύλο.

Πίνακας 1:Εργατικά ατυχήματα 2020-2021



Στόχοι:

Εξειδίκευση των εργατών για να μπορούν να ανταπεξέλθουν στα ανάλογα πόστα που τους έχουν ανατεθεί, αλλά και εκπαίδευση αποφυγής και αντιμετώπισης κρίσεων όπως για παράδειγμα ατυχήματα ή βλάβες του εξοπλισμού με στόχο την σωστή και προσεκτική λειτουργία του εργοταξίου. Εξοπλισμός: Οι συνθήκες εργασίας και ο εξοπλισμός πρέπει να ακολουθούν το πρότυπο του EU - OSHA (European Agency for Safety and Health at Work) και μέσω του ψηφιακού διδύμου να παρέχεται όποιο είδος επιπλέον εξοπλισμού που μπορεί να χρειαστεί κάθε εργαζόμενος ανάλογα με το πόστο του για να γίνει ασφαλέστερες οι συνθήκες εργασίας.

Λύσεις:

Συνδυασμός των ψηφιακών διδύμων (Digital Twins) και του B.I.M. για την πραγματοποίηση ελέγχων που αφορούν την σταθερότητα και την ασφάλεια τόσο της κατασκευής όσο και των ανθρώπων που θα εργαστούν σε αυτή. Ακόμη, πρόβλεψη και αποφυγή πιθανών σφαλμάτων στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση των εργασιών αλλά και συχνών ανθρώπινων λαθών με σοβαρές συνέπειες. Τέλος χρήση

των ψηφιακών διδύμων για παρακολούθηση της κατάστασης των μηχανημάτων, πρόληψη βλαβών που μπορούν να προκαλέσουν ατυχήματα.

Το B.I.M (Building Information Modeling) είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον τομέα της κατασκευής και του σχεδιασμού κτιρίων επιτρέπει στους εμπλεκόμενους στο έργο (αρχιτέκτονες, μηχανικούς, κατασκευαστές κ.λπ.) να δημιουργούν και να διαχειρίζονται ένα ψηφιακό μοντέλο του κτιρίου ή του έργου κατασκευής. Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία του κτιρίου, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, τις διαστάσεις, τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες του.

Ακολουθεί η δομή της παρουσίασης που θα αναλυθεί περαιτέρω στην συνέχεια

Μεθοδολογία: Γνωρίζοντας την κατάσταση που επικρατεί σε εργοστάσια και εργοτάξια και κάνοντας μια αναζήτηση για τα ποσοστά ατυχημάτων που γίνονται σε αυτούς τους χώρους, καθώς και διαβάζοντας έρευνες άλλων ανθρώπων για το πως τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν στην μείωση ατυχημάτων, αποφασίσαμε να ασχοληθούμε με την ασφάλεια των εργαζομένων στους χώρους δουλειάς τους.

Αποτελέσματα: Η μελέτη της δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου που θα προλαμβάνει κενά ασφαλείας, ελαττωματικά μηχανήματα, μη ασφαλή κτίρια με σκοπό την πρόληψη και κάλυψη, αντικατάσταση και ενίσχυση ή αποκατάσταση των μη ασφαλών χώρων εργασίας .

Συμπεράσματα: Μετά από μελέτη, ερευνών και άρθρων, καταλήγουμε στο ότι μέσω της χρήσης του ψηφιακού διδύμου θα μειωθούν τα εργατικά ατυχήματα λόγω της εξειδίκευσης των εργατών, την άμεση αντικατάσταση ελαττωματικών μηχανημάτων κ.α.

Προτάσεις/Έρευνες: Εδώ θα δούμε προτάσεις ερευνών για επιπλέον μελέτη.

Έρευνες

Η αναδυόμενη έρευνα σχετικά με τις τεχνολογίες Digital Twin (DT) αναδεικνύει τις δυνατότητες μετασχηματισμού τους για τους τομείς των κατασκευών και των υποδομών μεταφορών. Στην ασφάλεια των κατασκευών, τα συστήματα DT προσφέρουν μια αλλαγή προς την κατεύθυνση της προληπτικής διαχείρισης κινδύνων. Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με εικονικές προσομοιώσεις για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων για την ασφάλεια πριν από την εκδήλωση συμβάντων/ατυχημάτων.

1η Έρευνα Literature Review of Digital Twins Applications in Construction Workforce Safety

Το άρθρο εξετάζει την προσέγγιση του ψηφιακού διδύμου (DT) για τη βελτίωση της ασφάλειας των κατασκευών. Οι τρεις μέθοδοι που αναφέρονται για την επίλυση αυτού του προβλήματος είναι οι εξής:

1. Αυτοματοποιημένη ανίχνευση μη ασφαλών συμπεριφορών: χρήση τρισδιάστατων καμερών και αισθητήρων για την παρακολούθηση των ενεργειών των εργαζομένων και τον εντοπισμό μη ασφαλών συμπεριφορών, όπως π.χ. η εργασία χωρίς ιμάντα.
2. Εικονική προσομοίωση κατασκευών (VCS) και τεχνολογία οπτικοποίησης: δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου του εργοταξίου και προσομοίωση των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων ασφαλείας πριν αυτά εμφανιστούν και στη βελτίωση της εκπαίδευσης σε θέματα ασφαλείας μέσω προσομοιώσεων VR.
3. Σχεδιασμός ασφαλείας με BIM: μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη φάση πριν από την κατασκευή για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου μοντέλου του κατασκευαστικού έργου. Αυτό το μοντέλο μπορεί στη συνέχεια να ενσωματωθεί με το ψηφιακό δίδυμο για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων ασφαλείας κατά το στάδιο του σχεδιασμού. Οι κανόνες και οι κανονισμοί

ασφαλείας μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στο μοντέλο BIM για τον αυτόματο έλεγχο για παραβιάσεις του κώδικα.

2η ερευνα A Conceptual Framework for Construction Safety Training using Dynamic Virtual Reality Games and Digital Twins

Προτείνεται μια μέθοδος για τη βελτίωση της εκπαίδευσης σε θέματα ασφάλειας στις κατασκευές με τη χρήση της δυναμικής εκπαίδευσης εικονικής πραγματικότητας (Dynamic VR Training). Η μέθοδος αυτή αξιοποιεί τα ψηφιακά δίδυμα (DT) για τη δημιουργία πιο ρεαλιστικών και αποτελεσματικών περιβαλλόντων εκπαίδευσης.

- Συλλογή δεδομένων: Συλλέγονται πληροφορίες σχετικά με το κατασκευαστικό έργο από διάφορες πηγές, όπως: σχέδια του έργου, τρέχουσα κατάσταση κατασκευής, κανονισμοί ασφαλείας
- Δημιουργία ψηφιακού δίδυμου: Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός ψηφιακού αντιγράφου του εργοταξίου, το οποίο αποτελεί ουσιαστικά τον ψηφιακό δίδυμο.
- Ανάπτυξη εκπαιδευτικών σεναρίων VR: Με βάση τις πληροφορίες από τον ψηφιακό δίδυμο, δημιουργούνται εκπαιδευτικά σενάρια VR τα οποία είναι ειδικά για το πραγματικό περιβάλλον εργασίας που θα αντιμετωπίσουν οι εκπαιδευόμενοι.
- Εκπαίδευση VR και αξιολόγηση επιδόσεων
- Ανατροφοδότηση και βελτίωση: Τα δεδομένα από την εκπαίδευση VR χρησιμοποιούνται για ενημέρωση του ψηφιακού δίδυμου με τυχόν θέματα ασφάλειας που εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης

3η ερευνα A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management

Αυτό το άρθρο προτείνει ένα νέο σύστημα για τη βελτίωση της ασφάλειας στην κατασκευή σήραγγων με τη χρήση μιας πλατφόρμας έγκαιρης προειδοποίησης και διαχείρισης της ασφάλειας που βασίζεται σε ένα ψηφιακό δίδυμο (DT) πολλαπλών πληροφοριών. Ο τρόπος λειτουργίας του είναι η συλλογή και μετάδοση πληροφοριών πολλαπλών πηγών: το σύστημα βασίζεται σε ένα δίκτυο πολυλειτουργικών σταθμών βάσης που είναι εγκατεστημένοι στο εσωτερικό της σήραγγας για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από διάφορες πηγές, όπως: αισθητήρες που παρακολουθούν τις συνθήκες του περιβάλλοντος βράχου, δεδομένα εξοπλισμού, θέση του εργαζομένου. Τα δεδομένα αυτά διαβιβάζονται στη συνέχεια για περαιτέρω ανάλυση, δημιουργία και ενσωμάτωση ψηφιακού δίδυμου. Τα δεδομένα που συλλέγονται χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός εικονικού αντιγράφου του εργοταξίου κατασκευής της σήραγγας, ουσιαστικά ενός ψηφιακού δίδυμου. Αυτός ο ψηφιακός δίδυμος ενημερώνεται συνεχώς με πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, δημιουργώντας μια δυναμική αναπαράσταση του φυσικού περιβάλλοντος. Έγκαιρη προειδοποίηση και αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης: Η πλατφόρμα αναλύει τα δεδομένα από τη φυσική σήραγγα και τον ψηφιακό δίδυμο για τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων για την ασφάλεια. Με βάση αυτή την ανάλυση, το σύστημα εκδίδει έγκαιρες προειδοποιήσεις τεσσάρων επιπέδων:

- Πληροφορίες - Κανονική λειτουργία
- Προσοχή - Εντοπισμός δυνητικού προβλήματος
- Προειδοποίηση - Απαιτείται επείγουσα δράση
- Κίνδυνος - Απαραίτητη η άμεση εκκένωση

Η πλατφόρμα διαθέτει επίσης ενσωματωμένα σχέδια αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης που μπορούν να δρομολογηθούν με βάση το επίπεδο προειδοποίησης. Η πλατφόρμα επιτρέπει την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και διαχείριση της διαδικασίας κατασκευής της σήραγγας. Αυτό επιτρέπει στους μηχανικούς και το προσωπικό ασφαλείας να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα ακόμη και αν δεν είναι φυσικά παρόντες στο εργοτάξιο. Το άρθρο αναφέρει μια

επιτυχημένη εφαρμογή αυτού του συστήματος στο έργο της σήραγγας Dongtianshan στην Κίνα, όπου προέβλεψε μια πιθανή κατάρρευση της σήραγγας και επέτρεψε την έγκαιρη εκκένωση, αποτρέποντας θύματα.

4η Έρευνα Digital twin for production estimation, scheduling and real-time monitoring in offsite construction. Το άρθρο αυτό προσδιορίζει την ανάγκη για βελτιωμένη εκτίμηση και προγραμματισμό της παραγωγής στις εκτός εργοταξίου κατασκευές λόγω της εγγενούς μεταβλητότητας και αβεβαιότητας στις κατασκευαστικές εργασίες. Οι συγγραφείς προτείνουν μια νέα λύση με τη χρήση ενός ψηφιακού διδύμου που ονομάζεται DiTES (Dynamic Integrated Time Estimation System). Το οποίο θα λειτουργεί ως εξής:

- Λήψη δεδομένων: π.χ αισθητήρες υπερήχων για παρακολούθηση της προόδου εργασιών σε πραγματικό χρόνο
- Ενσωμάτωση μηχανικής μάθησης: π.χ. μοτίβα χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με τους μελλοντικούς χρόνους διεργασιών, βελτιώνοντας την ακρίβεια των εκτιμήσεων.
- Τρισδιάστατη προσομοίωση: Δημιουργεί ένα ψηφιακό αντίγραφο του δαπέδου του εργοστασίου εντός του ψηφιακού διδύμου. Αυτό το εικονικό περιβάλλον επιτρέπει την προσομοίωση των χρονοδιαγραμμάτων παραγωγής με βάση δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και προβλεπόμενα δεδομένα.

Το άρθρο αναγνωρίζει ότι το DiTES βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης, αλλά υπογραμμίζει τα πιθανά οφέλη του: βελτιωμένη ακρίβεια, παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, μειωμένη χειρωνακτική εργασία. Οι συγγραφείς σκοπεύουν να αξιολογήσουν την απόδοση του DiTES σε έναν ημιαυτόματο σταθμό εργασίας για την κατασκευή ξύλινων τοίχων και να συζητήσουν τις επιπτώσεις για την εκτός εργοταξίου κατασκευαστική βιομηχανία σε μελλοντικές ενότητες του άρθρου.

5η Έρευνα Research on the Design of Digital Twin System for Construction Safety

Το παρόν άρθρο επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός συστήματος ψηφιακών διδύμων προσανατολισμένου στις κατασκευές για τη βελτίωση της διαχείρισης της ασφάλειας στον κατασκευαστικό κλάδο. Τα βασικά σημεία είναι τα:

- Μονάδες ψηφιακού διδύμου: δεδομένα μοντελοποίησης κτιριακών πληροφοριών (BIM), δεδομένα αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο από το εργοτάξιο, εργαλεία εντοπισμού και ανάλυσης κινδύνων ασφαλείας
- Σχεδιασμός της εμπειρίας χρήστη (UX): Το σύστημα θα πρέπει να σχεδιαστεί με γνώμονα τις ανάγκες των χρηστών, ιδίως των υπευθύνων ασφαλείας. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας διαδραστικής διεπαφής που είναι εύκολη στη χρήση και την κατανόηση.
- Καινοτομία: Αυτή η έρευνα είναι η πρώτη που συνδυάζει την τεχνολογία ψηφιακών διδύμων ειδικά με τη διαχείριση της ασφάλειας στις κατασκευές υποδομών.

6η Έρευνα Digital Twins in Design and Construction

Το άρθρο αναλύει μεταξύ άλλων τις τρέχουσες εφαρμογές της DT στις υποδομές μεταφορών: σχεδιασμός (προσομοίωση της συμπεριφοράς του συστήματος για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων πριν από την κατασκευή), κατασκευή (βελτίωση της συνεργασίας και της επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων, παρακολούθηση της προόδου της κατασκευής και εντοπισμός πιθανών προβλημάτων για τη μείωση του κόστους και τη βελτίωση της ασφάλειας), λειτουργία και συντήρηση (παρακολούθηση επιδόσεων σε πραγματικό χρόνο για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων πριν αυτά εμφανιστούν).

Μεθοδολογία: Συγχώνευση τεχνολογιών για ένα προληπτικό μέλλον

Ο κατασκευαστικός κλάδος, ενώ είναι ζωτικής σημασίας για την κοινωνική ανάπτυξη, αντιμετωπίζει εγγενείς κινδύνους. Εδώ, μια συνεργαστική προσέγγιση που χρησιμοποιεί τέσσερις βασικές τεχνολογικές εξελίξεις μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τα πρότυπα ασφαλείας. Πρώτον, τα ψηφιακά δίδυμα - εικονικά αντίγραφα φυσικών μηχανημάτων - προσφέρουν παρακολούθηση της 'υγείας' των μηχανημάτων σε πραγματικό χρόνο. Η προγνωστική ανάλυση που είναι ενσωματωμένη σε αυτά τα δίδυμα μπορεί να προβλέψει δυσλειτουργίες ή βλάβες του εξοπλισμού, επιτρέποντας την προληπτική συντήρηση και την πρόληψη ατυχημάτων που προκύπτουν από ελαττωματικά εργαλεία. Αυτό προάγει μια προληπτική κουλτούρα ασφαλείας, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα ξαφνικής βλάβης του εξοπλισμού που θα μπορούσε να τραυματίσει τους εργαζόμενους. Δεύτερον, η οπτική προσομοίωση κατασκευών (VCS) αξιοποιεί τεχνολογίες τρισδιάστατης μοντελοποίησης και εικονικής πραγματικότητας (VR). Με την ψηφιακή αναπαραγωγή των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων, οι πιθανοί κίνδυνοι και τα ανθρώπινα λάθη μπορούν να εντοπιστούν πριν συμβούν στο πραγματικό εργοτάξιο. Αυτό επιτρέπει την πραγματοποίηση προσαρμογών στη φάση του σχεδιασμού, όπως η βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας ή η εφαρμογή πρόσθετων μέτρων προστασίας από πτώσεις. Αυτή η προληπτική προσέγγιση μετριάξει την ανάγκη για αντιδραστικές παρεμβάσεις ασφαλείας αφού έχει ήδη συμβεί ένα ατύχημα. Τρίτον, η ενσωμάτωση συστημάτων συλλογής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενισχύει περαιτέρω την ασφάλεια. Οι αισθητήρες και οι συσκευές διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) μπορούν να παρακολουθούν διάφορες παραμέτρους στο εργοτάξιο, όπως η θέση των εργαζομένων, οι καιρικές συνθήκες και η χρήση του εξοπλισμού. Αναλύοντας αυτά τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προηγμένοι αλγόριθμοι μπορούν να αξιολογούν και να ενημερώνουν συνεχώς το προφίλ κινδύνου του εργοταξίου. Αυτό επιτρέπει τον εντοπισμό αναδυόμενων προβλημάτων ασφαλείας που μπορεί να μην είχαν προβλεφθεί αρχικά, επιτρέποντας τη λήψη προληπτικών μέτρων. Τέλος, η τεχνολογία εικονικής πραγματικότητας (VR) μπορεί να αξιοποιηθεί για εμβυθιστική εκπαίδευση σε θέματα ασφαλείας. Τοποθετώντας τους εργαζόμενους σε προσομοιωμένα επικίνδυνα σενάρια, η εικονική πραγματικότητα μπορεί να παρέχει ένα ασφαλές και ελεγχόμενο περιβάλλον για την εξάσκηση των πρωτοκόλλων ασφαλείας και των διαδικασιών έκτακτης ανάγκης. Αυτή η προσέγγιση βιωματικής μάθησης προάγει τη βαθύτερη κατανόηση των αρχών της ασφαλείας, οδηγώντας σε βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και μετριασμό των κινδύνων στο πραγματικό εργοτάξιο. Συμπερασματικά, συνδυάζοντας όλα τα παραπάνω, ο κατασκευαστικός κλάδος μπορεί να πετύχει ένα μεγάλο βήμα προς ένα ασφαλέστερο εργασιακό περιβάλλον. Αυτή η πολύπλευρη προσέγγιση διαθέτει τεράστιες δυνατότητες για την προστασία των εργαζομένων, την πρόληψη των ατυχημάτων και τελικά τη συμβολή σε μια πιο ανθρώπινη και βιώσιμη κατασκευαστική βιομηχανία.

Σύγκριση

Τα ερευνητικά άρθρα που εξετάστηκαν παρουσιάζουν τις πολύπλευρες εφαρμογές της τεχνολογίας Digital Twin (DT) στις κατασκευές. Μια βασική διάκριση έγκειται στην πρωταρχική τους εστίαση: Οι έρευνες 1-3 δίνουν προτεραιότητα στην ασφάλεια, χρησιμοποιώντας καινοτόμες τεχνικές όπως η αυτοματοποιημένη ανίχνευση κινδύνων και η εκπαίδευση VR. Η έρευνα 4, αντίθετα, στοχεύει στην αποδοτικότητα της παραγωγής σε κατασκευές εκτός εργοταξίου μέσω ενός νέου συστήματος (DiTES) που βρίσκεται υπό ανάπτυξη. Οι έρευνες 5 και 6 περιλαμβάνουν ευρύτερες πτυχές - η έρευνα 5 διερευνά τον σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης της ασφαλείας στις κατασκευές με μια προσέγγιση που επικεντρώνεται στον χρήστη, ενώ η έρευνα 6 εμβαθύνει στις ποικίλες εφαρμογές των DT στον τομέα των υποδομών μεταφορών. Ειδικότερα, η έρευνα 3 ξεχωρίζει για την επιτυχή εφαρμογή της σε πραγματικό κόσμο, αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα των DT για την προληπτική διαχείριση της ασφαλείας. Αυτή η συγκριτική ανάλυση υπογραμμίζει την ευελιξία των DT στις κατασκευές, αντιμετωπίζοντας τόσο τις ανησυχίες για την ασφάλεια όσο και την αποδοτικότητα της παραγωγής μέσω ενός συνδυασμού ανάλυσης δεδομένων, τεχνολογίας VR και

αρχών σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη. Όλοι οι ερευνητικοί τομείς υπογραμμίζουν συλλογικά τις μετασχηματιστικές δυνατότητες των DT για την επανάσταση στον κατασκευαστικό κλάδο.

Πίνακας 1: Σύγκριση ερευνών

Metrics	Research 1	Research 2	Research 3	Research 4	Research 5	Research 6	Η ιδέα μας
Focus	Αναγνώριση κινδύνων	Εκπαίδευση στην ασφάλεια με VR	Ασφάλεια στην κατασκευή τούνελ	Υπολογισμός και προγραμματισμός παραγωγής	Σχεδιασμός συστήματος διαχείρισης ασφάλειας	Applications of DT in transport infrastructure Εφαρμογές DT στις υποδομές μεταφορών	Πρόληψη κινδύνων και συγχώνευση τεχνολογιών DT, VCS, VR, IOT
DT Application	Αυτοματοποιημένος εντοπισμός, VCS & BIM	VR εκπαιδευτικά σενάρια βασισμένα σε digital twin του εργοταξίου	Δεδομένα πολυ-αισθητήρων και ανάλυση πραγματικού χρόνου για έγκυρη ενημέρωση	Απόκτηση δεδομένων, μηχανική μάθηση για πρόβλεψη και τρισδιάστατη προσομοίωση για προγραμματισμό	BIM δεδομένα, δεδομένα αισθητήρων πραγματικού χρόνου & εργαλεία ανάλυσης ασφάλειας	Φάσεις σχεδίασης, κατασκευής, λειτουργίας & συντήρησης	Παρακολούθηση πραγματικού χρόνου των μηχανημάτων, οπτικοποίηση κατασκευών, συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τεχνολογία VR για εκπαίδευση
Data Source	3D κάμερες & αισθητήρες, πλάνα του πρότζεκτ	Πλάνα του πρότζεκτ, κατάσταση της κατασκευής, κανονισμοί	Πολυλειτουργικές βάσεις αλ (αισθητήρες, εξοπλισμός, θέσεις εργαζομένων)	Αισθητήρες για παρακολούθηση πραγματικού χρόνου	BIM δεδομένα, δεδομένα αισθητήρων πραγματικού χρόνου	Υπάρχοντα δεδομένα από DT εφαρμογές	Αισθητήρες, πλάνα του πρότζεκτ και συσκευές IoT

Innovation	Εφαρμογές υπαρχουσες τεχνολογίες (3D cameras, BIM) για παρακολούθηση ασφάλειας	Ενσωμάτωση του VR training με το Digital Twin	Ανάλυση δεδομένων πραγματικού χρόνου & έγκυρη προειδοποίηση για την ασφάλεια του τούνελ	Μηχανική μάθηση για την πρόβλεψη του χρόνου διεργασίας στον προγραμματισμό παραγωγής	Σχεδιασμός με επίκεντρο τον χρήστη για το σύστημα διαχείρισης της ασφάλειας	Ανάλυση των σημερινών εφαρμογών DT στις υποδομές μεταφορών	Εστιάζει στην παρακολούθηση των μηχανημάτων σε πραγματικό χρόνο & συνδυάζει πρακτικά προληπτικά μέτρα και την εκπαίδευση των εργαζομένων
------------	--	---	---	--	---	--	--

Αυτή η έρευνα που διερευνά ένα αυτοματοποιημένο σύστημα εντοπισμού κινδύνων με τη χρήση VCS, BIM και σύντηξης αισθητήρων υπόσχεται πολλά για τον κατασκευαστικό κλάδο. Η αξία της έγκειται στην εφαρμογή καθιερωμένων τεχνολογιών για έναν νέο σκοπό - εντοπισμός κινδύνων σε πραγματικό χρόνο και πρόληψη ατυχημάτων. Το σύστημα αξιοποιεί τρισδιάστατες κάμερες και διάφορους επιτόπιους αισθητήρες για την καταγραφή του δυναμικού περιβάλλοντος, ενώ η BIM παρέχει ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό αντίγραφο της προγραμματισμένης κατασκευής. Με τη συγχώνευση αυτών των δεδομένων, το σύστημα μπορεί να εντοπίσει προληπτικά πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια πριν από την εκδήλωση περιστατικών. Αυτή η προληπτική προσέγγιση αποτελεί σημαντική πρόοδο σε σχέση με τα παραδοσιακά αντιδραστικά μέτρα ασφαλείας που παρεμβαίνουν μετά από ένα ατύχημα. Επιπλέον, η ενσωμάτωση δεδομένων BIM επιτρέπει μια πιο ολιστική κατανόηση του εργοταξίου. Η ανάλυση της προγραμματισμένης διάταξης μαζί με τις πληροφορίες αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να αποκαλύψει κινδύνους που σχετίζονται με το σχεδιασμό, επιτρέποντας στρατηγικές μετριασμού κατά τη φάση του ίδιου του σχεδιασμού. Αυτή η εστίαση στην πρόληψη των ατυχημάτων συνολικά έχει τη δυνατότητα να μειώσει σημαντικά τους τραυματισμούς και τους θανάτους των εργαζομένων. Θεωρούμε ότι είναι η καλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες γιατί ειδικεύεται στην αναγνώριση των κινδύνων. Πριν απλά προσπαθήσει να βρει τρόπους αντιμετώπισης εστιάζει στον εντοπισμό όλων των πιθανών κινδύνων και μάλιστα αξιοποιώντας ήδη υπάρχουσες και γνωστές σε όλους τεχνολογίες.

Αποτελέσματα

Η έρευνα που παρατίθεται στην παρούσα ανάλυση αναδεικνύει τις τεχνολογίες ψηφιακών διδύμων (DT) ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τη βελτίωση της ασφάλειας στον κατασκευαστικό κλάδο. Αυτά τα συστήματα DT υπερβαίνουν τις παραδοσιακές προσεγγίσεις για την ασφάλεια προσφέροντας δυνατότητες προληπτικής διαχείρισης κινδύνων. Με την ενσωμάτωση της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με εικονικές προσομοιώσεις, τα συστήματα DT μπορούν να εντοπίσουν πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια πριν από την εκδήλωση των ατυχημάτων. Αυτό επιτρέπει την εφαρμογή προληπτικών μέτρων όπως η εκπαίδευση των εργαζομένων, η επιδιόρθωση και η αντικατάσταση των προβληματικών μηχανημάτων πριν αυτά προκαλέσουν ατυχήματα και η παρακολούθηση της τήρησης των μέτρων ασφαλείας στο χώρο του εργοταξίου, μειώνοντας σημαντικά τον κίνδυνο ατυχημάτων και τραυματισμών στα εργοτάξια. Επιπλέον, με την αυτοματοποίηση της συλλογής δεδομένων μέσω τεχνολογιών όπως η παρακολούθηση μέσω υπολογιστή, τα συστήματα DT εξαλείφουν την ανάγκη για χειροκίνητες επιθεωρήσεις, οι οποίες μπορεί να είναι χρονοβόρες και να εκθέτουν τους εργαζόμενους σε περιττούς κινδύνους. Ακόμη, οι αρχές σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη (UX) που τονίζονται στην ανάπτυξη των συστημάτων DT μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι υπεύθυνοι ασφαλείας έχουν πρόσβαση σε διαισθητικές και φιλικές

προς τον χρήστη διεπαφές. Αυτό προωθεί την καλύτερη επικοινωνία και συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών, ενισχύοντας περαιτέρω τις πρακτικές ασφάλειας σε όλη τη διαδικασία κατασκευής. Συνολικά, η εφαρμογή των τεχνολογιών DT έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μια σημαντική αλλαγή παραδείγματος στην ασφάλεια των κατασκευών, οδηγώντας σε ένα ασφαλέστερο περιβάλλον εργασίας για όλο το προσωπικό στα εργοτάξια.

Συμπεράσματα

Η προτεινόμενη ιδέα για την δημιουργία ασφαλέστερων εργοταξίων στο μέλλον με την χρήση των DT απέχει πολύ από την πραγματοποίησή της. Τα μέτρα ασφαλείας αμφισβητούνται και παραβλέπονται, συχνά και από τους ίδιους τους εργαζόμενους, ενώ η εγκατάσταση ενός DT για την παρακολούθηση και τον συντονισμό όσων έχουν ήδη αναφερθεί δεν είναι οικονομικά πραγματοποιήσιμη για όλους. Ωστόσο για εμάς μεγαλύτερη αξία έχουν οι ανθρώπινες ζωές και η διασφάλισή της ασφάλειάς τους. Η έρευνά μας παρέχει μία συνοπτική ανάλυση των προτάσεων άλλων ερευνητών αλλά και της δικής μας. Η χρήση B.I.M. και DT θα συντελέσουν, στον ασφαλέστερο σχεδιασμό, στην παρακολούθηση και καταγραφή της κατάστασης των μηχανημάτων ανά πάσα στιγμή και στον έλεγχο της τήρησης των μέτρων ασφαλείας.

Προτάσεις/Ερευνες

Η ανάλυση αυτή παρέχει μια ματιά στις δυνατότητες των τεχνολογιών Digital Twin για τον μετασχηματισμό των τομέων των κατασκευών. Ωστόσο, αυτό είναι μόνο η αρχή. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τη διερεύνηση των πλήρων δυνατοτήτων του DT και της ενσωμάτωσής του με αναδυόμενες τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη και τα Big Data. Σε αυτή την ενότητα θα προταθούν συγκεκριμένες ερευνητικές κατευθύνσεις που εμβαθύνουν σε αυτόν τον τομέα, για να σας βοηθήσουν να αποκτήσετε μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα DT μπορούν να φέρουν επανάσταση σε αυτούς τους κλάδους.

Hossein Omrany, Karam M. Al-Obaidi, Amreen Husain, Amirhosein Ghaffarianhoseini Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10908>

Ramy Al-Sehrawy, Bimal Kumar, Digital Twins in Architecture, Engineering, Construction and Operations. A Brief Review and Analysis, https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-51295-8_64

Mohamed Nour El-Din, Pedro F. Pereira, João Poças Martins, Nuno M. M. Ramos, Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications, <https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2155>

Βιβλιογραφία:

1. Lei Hou, Shaoze Wu, Guomin Zhang, Yongtao Tan (2020) Literature Review of Digital Twins Applications in Construction Workforce Safety. https://www.researchgate.net/publication/348143417_Literature_Review_of_Digital_Twins_Applications_in_Construction_Workforce_Safety
2. Zijian Ye, Ying Ye, Chengping Zhang, Zhiming Zhang, Wei Li, Xuejie Wang, Lei Wang, Libin Wang (2023) A digital twin approach for tunnel construction safety early warning and management <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361522001798>
3. Fatima Alsakka, Haitao Yu, Ibrahim El-Chami, Farook Hamzeh, Mohamed Al-Hussein (2024) Digital twin for production estimation, scheduling and real-time monitoring in offsite construction <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835224002948>
4. Wenjuan Wang, Qasim Zaheer, Shi Qiu, Wei-Dong Wang, Chengbo Ai, Jin Wang, Sicheng Wang, Wenbo Hu (2023) Digital Twins in Design and Construction https://www.researchgate.net/publication/376264340_Digital_Twins_in_Design_and_Construction

5. Yutong Liu (2022) Research on the Design of Digital Twin System for Construction Safety
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10070318>
6. Aparna Harichandran, Karsten Winther Johansen, Emil Lybaek Jacobsen, Jochen Teizer (2021) A Conceptual Framework for Construction Safety Training using Dynamic Virtual Reality Games and Digital Twins
https://www.researchgate.net/publication/356065915_A_Conceptual_Framework_for_Construction_Safety_Training_using_Dynamic_Virtual_Reality_Games_and_Digital_Twins
7. ΕΛΣΤΑΤ
<https://www.statistics.gr/documents/20181/5af59afd-0598-4622-2593-0fcbed3d3178>