



**Πολυτεχνείο Κρήτης**

**Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης**

---

*Ψηφιακά δίδυμα σε έργα υποδομών, υπάρχον κανονιστικό  
πλαίσιο και πρότυπα ISO*

*Digital twins in infrastructure projects, existing regulatory  
framework, and ISO standard*

---

Διπλωματική Εργασία

ΓΟΥΜΕΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Χανιά, Μάρτιος 2024

Copyright © Ιωάννης Γουμενάκης, 2024  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΓΟΥΜΕΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

## Ευχαριστίες:

Αρχικά, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον καθηγητή και επιβλέπων της παρούσας διπλωματικής, κ. Γεώργιο Σταυρουλάκη, ο οποίος με καθοδήγησε και με συμβούλευσε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συνάδελφους κα Μπόβολου και κυ Ανδρεούλα, από των οποίων τις διπλωματικές εργασίες άντλησα αρκετές πληροφορίες και ιδέες για την σύνταξη της δικής μου. Τέλος, θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όλους εκείνους που με στήριξαν και ήταν δίπλα μου καθ' όλη αυτή τη διαδρομή. Η ανιδιοτελής υποστήριξή τους ήταν κρίσιμη για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και την επίτευξη των στόχων μου. Η παρουσία τους μου έδωσε δύναμη και αισιοδοξία κατά τη διάρκεια των προκλήσεων που αντιμετώπισα.

## Περίληψη:

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι να μας φέρει όλους πιο κοντά με την τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων και με τους κλάδους στους οποίους τα ΨΔ είναι πάρα πολύ χρήσιμα και τα συναντάμε σήμερα.

Παρουσιάζονται αρκετά παραδείγματα από τομείς που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ΨΔ και αναφέρονται τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση του και τα οφέλη που έχει ο εκάστοτε χρήστης. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην χρήση των ΨΔ στον κατασκευαστικό τομέα και πιο συγκεκριμένα στην εφαρμογή αυτών σε έργα υποδομών κάνοντας και μία σύντομη αναφορά στο φράγμα του Αποσελέμη στο Ηράκλειο το οποίο έχει ενσωματώσει αυτή την νέα και γρήγορα εξελισσόμενη τεχνολογία με σκοπό την αδιάκοπη και αποδοτικότερη λειτουργία του.

Καθώς όμως η τεχνολογία των ΨΔ εξελίσσεται, οι επιχειρήσεις οφείλουν να λαμβάνουν τα απαραίτητα μέτρα για να μετριάσουν τους νομικούς κινδύνους και να διασφαλίσουν την ομαλή και ασφαλή υλοποίηση Ψηφιακών Διδύμων.

Συνεπώς δίνεται μεγάλη έμφαση στο κανονιστικό πλαίσιο που πρέπει να ακολουθείται με σκοπό την αποφυγή ορισμένων δυσμενών καταστάσεων όπως ασαφείς συμβάσεις και νομικές διαμάχες, αθέμητη κοινοποίηση προσωπικών δεδομένων, αναξιόπιστες και ανακριβείς πληροφορίες κ.α.

Ταυτόχρονα γίνεται αναφορά και στα αντίστοιχα πρότυπα ISO που υπάρχουν και πάνω στα οποία έχουν στηριχθεί τα ψηφιακά δίδυμα.

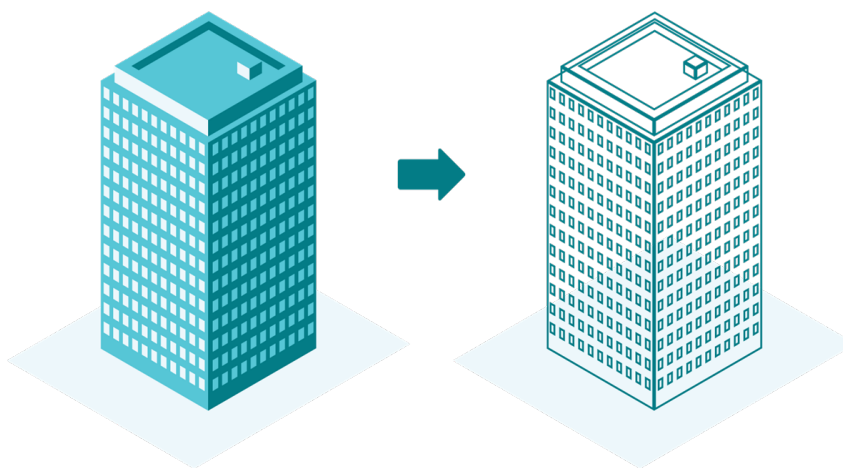
## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ψηφιακά δίδυμα</b>	
1.1 Εισαγωγή στα ψηφιακά δίδυμα .....	6
1.2 Απόκτηση και ανάλυση δεδομένων.....	10
1.3 Χρήση μοντέλων τρισδιάστατης αναπαράστασης σε ΨΔ από φυσικό πρωτότυπο.....	11
1.4 Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε μεγαλύτερα μοντέλα.....	13
1.5 Βιομηχανία και ψηφιακά δίδυμα .....	15
1.6 Ψηφιακά δίδυμα και συστήματα σωληνώσεων .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ισχύοντες νόμοι και ISO</b>	
2.1 Νομικό πλαίσιο .....	18
2.2 ΨΔ στο κατασκευαστικό κλάδο (AEC) και πρωτόκολλα ISO .....	21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Φράγμα Αποσελέμη</b>	
3.1 Γενικές πληροφορίες .....	33
3.2 Σχέδια Δικτύου και πηγές δεδομένων.....	34
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα</b>	
<b>Βιβλιογραφία</b>	

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΔΥΜΑ

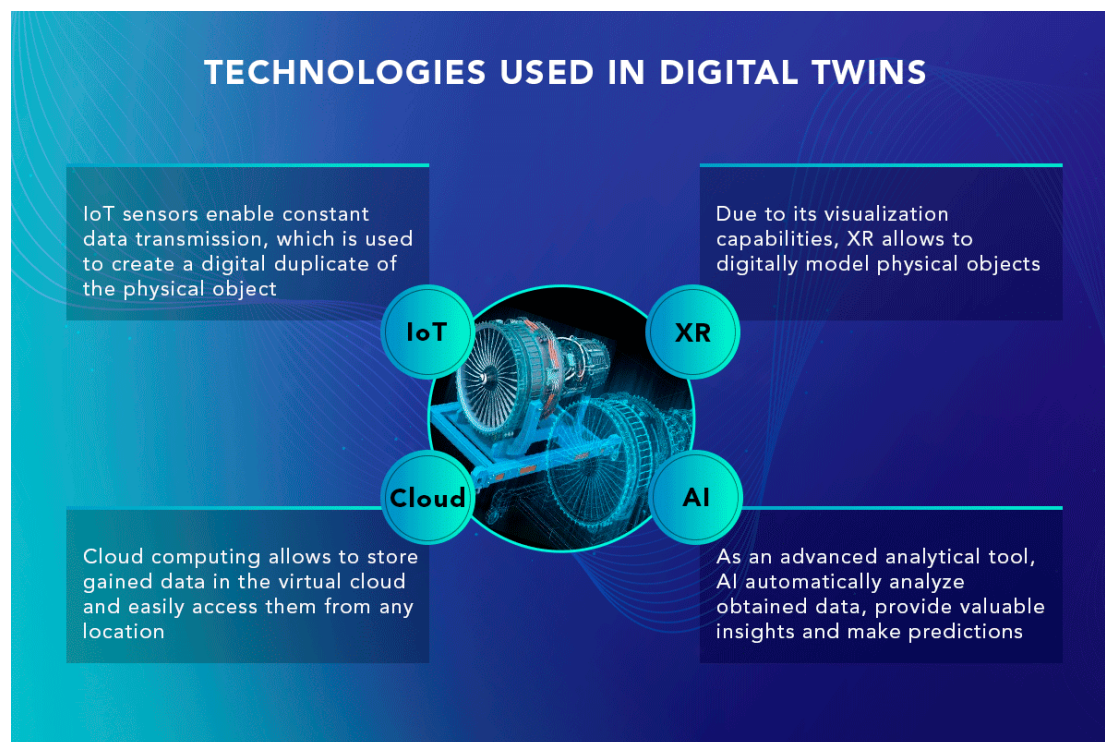
### 1.1 Εισαγωγή στα Ψηφιακά δίδυμα

Μια ανερχόμενη τεχνολογική εξέλιξη, τα Ψηφιακά Δίδυμα (ΨΔ) προσδοκά να προκαλέσει ριζοσπαστικές αλλαγές στην κατασκευαστική διαδικασία και στην παρακολούθηση κτιρίων, μηχανών και υποδομών με άμεσα οφέλη την εξοικονόμηση κόστους, τη βελτίωση του διαχωρισμού των ατομικών εργασιών και τη μείωση του ρίσκου στις οικοδομικές εργασίες ή κατασκευές. Αποτελεί ένα οργανικό σύνολο ενός φυσικού περιουσιακού στοιχείου και αντικατοπτρίζει την ψηφιοποιημένη αναπαράστασή του. Τα μέρη του κάθε αντικειμένου ή εξαρτήματος ελέγχονται με ειδικούς αισθητήρες, οι οποίοι προωθούν δεδομένα και λαμβάνουν εντολές μέσω αμφίδρομων αλληλεπιδράσεων. (Tao F., et.al. 2018).



Εικόνα 1. Παράδειγμα ψηφιακού δίδυμου

Σαν ορισμός το ψηφιακό δίδυμο μπορεί να εκφραστεί ως ένα ψηφιακό προφίλ που αναπαριστά τη συμπεριφορά ενός φυσικού αντικειμένου ή μιας διαδικασίας στο παρελθόν, στην τρέχουσα χρονική στιγμή αλλά και στο μέλλον. Το ΨΔ βασίζεται στη συνεχή μετάδοση μεγάλου όγκου, πραγματικών δεδομένων που συλλέγονται από αισθητήρες από όλα τα μέρη ή συστήματα που αποτελούν το φυσικό αντικείμενο. Μέσω αυτής της διαδικασίας μπορεί να δημιουργηθεί ένα ψηφιακό αντίγραφο του αντικειμένου και συνεπώς να γίνει αναπαράσταση των διαφόρων λειτουργιών-διαδικασιών, συμβάλλοντας σε συλλογή σημαντικών πληροφοριών για την απόδοση του συστήματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η έγκαιρη αντικατάσταση ενός εξαρτήματος ή μιας μηχανής που φαίνεται ότι έχει καταπονηθεί σε μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 2. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία και χρήση ενός ΨΔ

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία μοντελοποίησης, απόκτησης και μεταφοράς δεδομένων επέτρεψαν την ανάπτυξη της έννοιας των ψηφιακών διδύμων. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πιστού με το πρωτότυπο μοντέλου του φυσικού περιουσιακού στοιχείου, το οποίο έχει τη δυνατότητα της συνεχούς αναπροσαρμογής στις αλλαγές από το φυσικό περιβάλλον ή τις λειτουργικές διεργασίες για την παροχή του καλύτερου αποτελέσματος (Parris et al, 2016). Τα ΨΔ μπορούν να βελτιωθούν από την συνεχή ροή δεδομένων στις προσαρμογές τους στο περιβάλλον, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της αποτελεσματικής προσομοίωσης των δεδομένων που λαμβάνονται με χρήση ενσωματωμένων αισθητήρων.

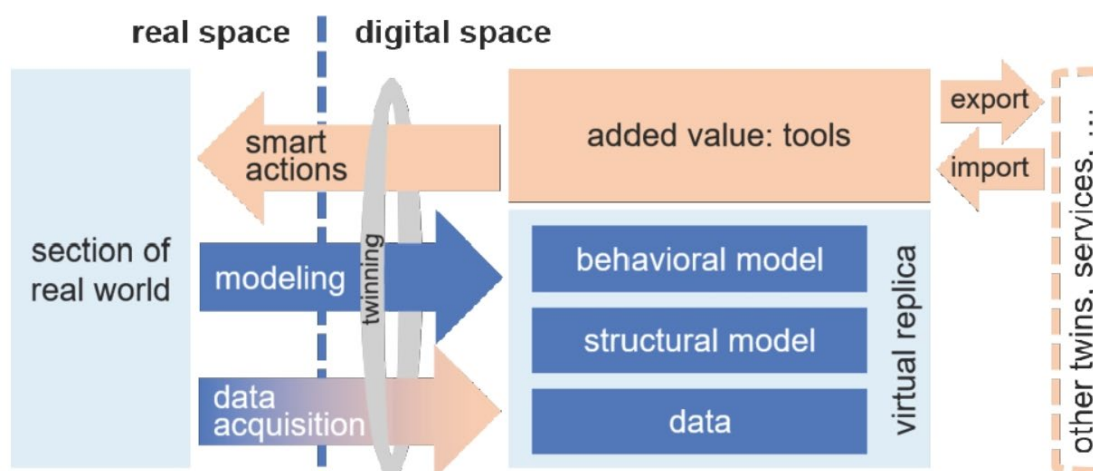
Σε κάθε έργο, όπως η «έξυπνη κατασκευή» και οι «έξυπνες πόλεις» η εφαρμογή ενός συστήματος ΨΔ απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία, τη συντήρηση και τη βελτίωσή του. Τα ΨΔ έχουν τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα μοντέλα έργου (μακέτα) και να ενσωματώσουν τη διαδικασία σχεδίασης με υπολογιστή (CAD). Στην κατασκευή δίνουν τη δυνατότητα ταχύτατης διόρθωσης λαθών της σχεδίασης μειώνοντας το κόστος αλλά και την αποφυγή καθυστερήσεων στην εκτέλεση του έργου. Τέλος, η λειτουργία και η συντήρηση επωφελείται από την διαρκή εποπτεία για έγκαιρη επισκευή και αποφυγή μεγαλύτερων βλαβών. Συνεπώς, το ΨΔ προτείνεται για την αντιμετώπιση των προκλήσεων σε όλο το φάσμα των τομέων αρχιτεκτονικής-μηχανικής- κατασκευής (Architecture- Engineering- Construction).





Εικόνα 3. Ψηφιακά δίδυμα και έξυπνες πόλεις

Η διασφάλιση της δια-λειτουργικότητας (interoperability), μεταξύ όλων των σταδίων (Εικ. 1) της ζωής ενός κτιρίου επιβάλλει την επιβολή συγχρόνων προτύπων τυποποίησης και αναδεικνύεται ως κρίσιμο εργαλείο για τη διευκόλυνση της επιτυχούς ολοκλήρωσης των συστημάτων ΨΔ. Η μελέτη στα υπάρχοντα μοντέλα ΨΔ δημιουργεί πρότυπα, που ανοίγουν το δρόμο για μελλοντικές προσπάθειες τυποποίησης ή αναθεώρηση των υπάρχων αντλώντας γνώσης από τα δεδομένα τους. Επιπλέον, η διεξαγωγή μιας συστημική ανασκόπησης των προτύπων που σχετίζονται με ψηφιακά δίδυμα μπορεί να παράσχει πολύτιμες πληροφορίες για ερευνητές και προμηθευτές ψηφιακών δίδυμων που επιδιώκουν να εμβαθύνουν και να εφαρμόσουν αυτή την τεχνολογία.



Εικόνα 4: Παράδειγμα λειτουργίας Ψηφιακού Διδύμου

Η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων στον κατασκευαστικό κλάδο συγκεκριμένα, ανοίγει άνευ προηγουμένου ευκαιρίες για καινοτόμα προγνωστικά μοντέλα. Αυτή η ριζοσπαστική τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους να μοντελοποιήσουν διάφορες πτυχές των έργων τους, αποφέροντας μια σειρά από οφέλη.



Παρέχοντας τις κατάλληλες πληροφορίες και τα αναλυτικά στοιχεία σε πραγματικό χρόνο, αρχιτέκτονες, μηχανικοί και εργολάβοι μπορούν να αξιοποιήσουν τα ΨΔ για να λάβουν βέλτιστες και έγκυρα ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή πόρων, τον προγραμματισμό εργασιών και γενικά τις διάφορες λειτουργικές προκλήσεις που δημιουργούνται σε κάθε σύνθετο έργο. Η πρόσβαση στα ιστορικά δεδομένα του έργου και στις τρέχουσες συνθήκες του εργοταξίου δίνει τη δυνατότητα στις ομάδες σχεδιασμού να είναι συνεπείς στις προθεσμίες και να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά τα κονδύλια ή κεφαλαία για το έργο.

Οι πιθανές εφαρμογές των ψηφιακών διδύμων στην κατασκευή είναι πρωτόγνωρες και εντυπωσιακές.

- Οι διαχειριστές έργων μπορούν να χρησιμοποιήσουν ΨΔ για να προσομοιώσουν διαφορετικά σενάρια, όπως την αλλαγή του καιρού μέσα σε μία μέρα ή ανά τακτά χρονικά διαστήματα ή τις αλλαγές στο εργατικό δυναμικό, και να βγάλουν ένα σαφές συμπέρασμα σχετικά με τους προϋπολογισμούς των έργων καθώς και τα χρονοδιαγράμματα που ορίζονται.
- Ενσωματώνοντας κατάλληλους αισθητήρες που παρακολουθούν στοιχεία της κατασκευής, όπως η μηχανική απόκριση καθώς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία μέσα στα κτίρια με την πάροδο του χρόνου καταφέρνουν να δημιουργήσουν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα. Έτσι καθιστάτε ευκολότερη η εις βάθος κατανόηση της κατάστασης της δομής καθώς και ο χρόνος που χρειάζεται για την ολοκλήρωση του έργου.
- Επίσης, τα ΨΔ ενσωματώνουν την παρακολούθηση των προμηθειών υλικών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου, από την προμήθεια έως την εγκατάσταση και πέραν αυτού. Συνεπώς, μπορούν να κάνουν σε πραγματικό χρόνο αξιολόγηση της πορείας ενός έργου με το κατάλληλο εξοπλισμό για την συλλογή αναλυτικών στοιχείων. Τα αναλυτικά στοιχεία που προέρχονται από τα ψηφιακά δίδυμα παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την εξοικονόμηση κόστους σε όλα τα στάδια ανάπτυξης ενός κτιρίου.

Συμπερασματικά κάποια πλεονεκτήματα που μπορούν να προσφέρουν τα ψηφιακά δίδυμα στην κατασκευαστική βιομηχανία είναι τα εξής:

1. Η πρόβλεψη αποτελεσμάτων με αυξημένη ακρίβεια.
2. Σφαιρική κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων.
3. Η χρήση πόρων με τρόπο αποτελεσματικό για την βελτιωμένη διαχείριση χρονοδιαγράμματος.
4. Οι δραστηριότητες που εξελίσσονται περιέχουν μικρότερο κίνδυνο.
5. Οι προκλήσεις που προκύπτουν αντιμετωπίζονται γρήγορα και αποτελεσματικά.
6. Καταλήγει σε αυξημένη κερδοφορία για τις επιχειρήσεις που αξιοποιούν με επιτυχία αυτήν την τεχνολογία.

## 1.2 Απόκτηση και ανάλυση δεδομένων

Οι δύο κοινές μέθοδοι μοντελοποίησης που επικρατούν μεταξύ των μελετών είναι η μοντελοποίηση βασισμένη στη γνώση (Zheng M. & Tian L. 2021) και μοντελοποίηση βάσει δεδομένων (Yi Qin et.al. 2021, M. Yin, et.al 2021). Το μοντέλο μπορεί να κατασκευαστεί με δυο τρόπους εμπειρικής γνώσης (knowledge Base) ή/και από ανάγνωση δεδομένων (data-driven) κατά τη λήψη. Και οι δυο τρόποι επιδιώκουν την βελτίωση της ακρίβειας και της ερμηνείας του μοντέλου.

Η πρώτη μέθοδος χρησιμοποιεί εμπειρικά δεδομένα και μοντέλα. Στην περίπτωση της μεθόδου βασισμένη στη γνώση το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται άμεσα ερμηνεύσιμο. Τα συγκεκριμένα έχουν υψηλό κόστος εργασίας για τη δημιουργία ειδικής βάσης γνώσεων καθώς δεν μπορούν να ενημερωθούν σε πραγματικό χρόνο και δεν μπορούν να μεταφερθούν σε διαφορετικά σενάρια . (PU Zhi-Qiang 2021)

Η απόκτηση δεδομένων διαδραματίζει βασικό ρόλο στην παροχή ακριβών γνώσεων σχετικά με την απόδοση των ψηφιακών διδύμων σε κατασκευαστικά έργα. Με την απόκτηση σχετικών δεδομένων με διάφορα μέσα, όπως αισθητήρες, έρευνες κ.λ.π., είναι δυνατή η ανάλυση των τάσεων με την πάροδο του χρόνου και ο εντοπισμός ζητημάτων που θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών ή διαδικασιών. Οι τεχνικές ανάλυσης δεδομένων είναι επίσης απαραίτητες για την πρόβλεψη αποτελεσμάτων όπως υπερβάσεις κόστους, καθυστερήσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και άλλους κινδύνους που σχετίζονται με το συγκεκριμένο έργο.

Με προηγμένα εργαλεία ανάλυσης και προγνωστικά μοντέλα, είναι δυνατή η ακριβής πρόβλεψη πιθανών προβλημάτων πριν καν προκύψουν και επιτρέπονται έτσι έγκαιρα διορθωτικά μέτρα. Επιπλέον, η χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης διασφαλίζει ότι οι προβλέψεις γίνονται πιο ακριβείς αποκτώντας εμπειρία και με την πάροδο του χρόνου.

Τα προβλήματα αυτά μπορούν να λυθούν μέσα από την μοντελοποίηση βάση ανάγνωσης η οποία είναι κατάλληλη για μη γραμμικά, πολλαπλών περιορισμών μοντέλα σε κατασκευές. Μερικές τεχνικές που μπορούν να ενσωματωθούν είναι οι ακόλουθες: βαθιάς μάθησης (Deep Learning), τεχνητών νευρωνικών δικτύων, ενίσχυση βαθιάς μάθησης (reinforcement deep learning) . Οι τελευταίες μελέτες σημειώνουν επίσης ότι η μέθοδος μοντελοποίησης έχει υψηλές απαιτήσεις στην αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων και καθίσταται δυσκολότερη από την δυνατότητα ερμηνείας. (Li XH 2022)

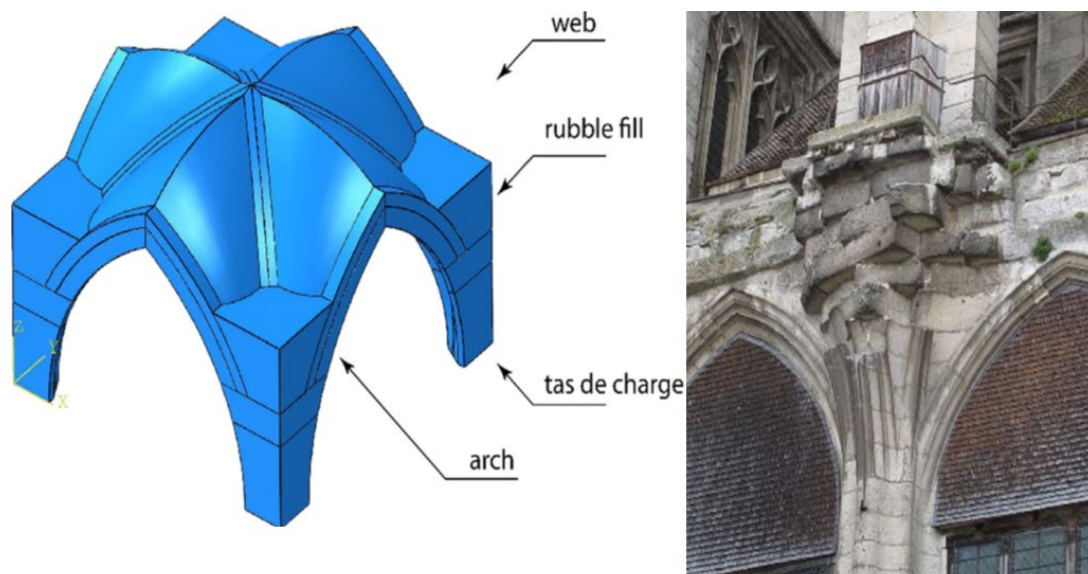
Η απόκτηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα τρέχοντα κατασκευαστικά έργα έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως βελτιωμένη απόδοση, μειωμένη σπατάλη υλικών, ταχύτερους χρόνους ολοκλήρωσης και υψηλότερα πρότυπα ποιότητας. Πλέον, με τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις είναι δυνατό να συνδυάζουν

τις δυνατότητές τους με μεγάλες βάσεις δεδομένων και συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (ΑΙ) με στόχο να προσφέρουν στα μοντέλα ψηφιακών διδύμων την αποτελεσματικότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος, διασφαλίζοντας παράλληλα τη συμμόρφωση με τα πρωτόκολλα ασφαλείας. Γίνεται σαφές λοιπόν ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν πολλά να προσφέρουν τόσο στο τώρα όσο και στο μέλλον της ανάπτυξης της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

### 1.3 Χρήση μοντέλων τρισδιάστατης αναπαράστασης σε ΨΔ από φυσικό πρωτότυπο

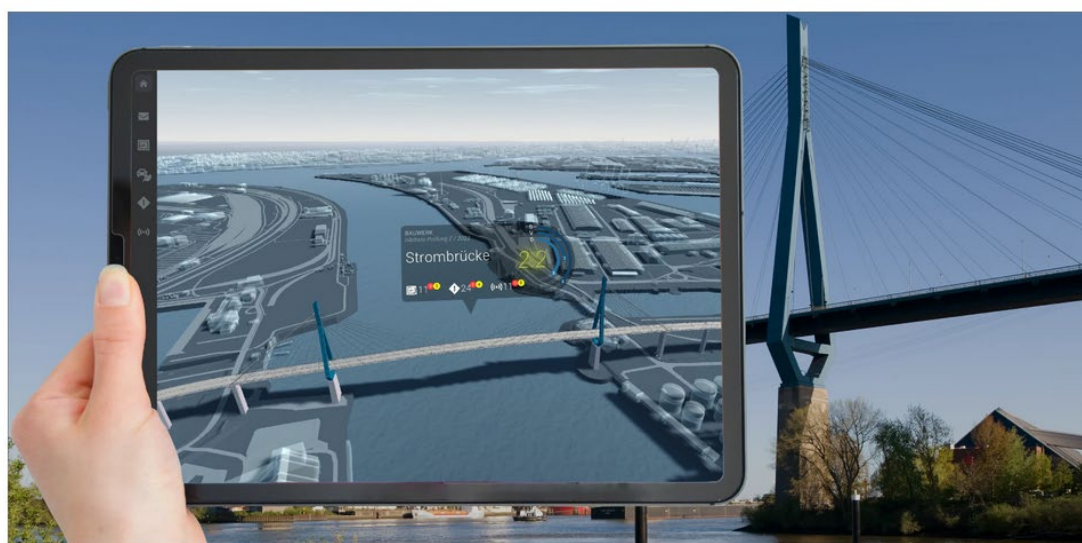
Βασικό χαρακτηριστικό των ψηφιακών διδύμων είναι η δυνατότητα ακριβής αναπαράστασης του πραγματικού με την δημιουργία του ψηφιακού. Η διαφορά του από άλλα μοντέλα καθώς και αυτό που το κάνει να ξεχωρίζει είναι ότι ένα ΨΔ θα πρέπει να είναι σε θέση να προσομοιώνει τα πράγματα του πραγματικού κόσμου με το «υψηλότερο επίπεδο πιστότητας». (M.batty 2018) Οι ερευνητές M. Schluse et al. 2018 βλέπουν δυνατότητες στην ανάπτυξη «πειραματικών» ΨΔ, τα οποία θα χρησιμοποιούνταν για τη μετατόπιση ενός φυσικού αντικειμένου στον εικονικό κόσμο, χρησιμοποιώντας τα λεγόμενα «εικονικά δοκιμαστικά κρεβάτια», αξιοποιώντας έτσι πλήρως τη μηχανική που βασίζεται στην προσομοίωση. Ενώ αυτό το υψηλής πιστότητας εικονικό περιβάλλον φαίνεται σίγουρα εφικτό σε μικρότερες κλίμακες για μαζική παραγωγή (Anderl, S.H.R. 2018), οι προσδοκίες είναι διαφορετικές όταν επεκτείνεται σε μεγαλύτερα κτίρια, ολόκληρες υποδομές ή συνοικίες πόλεων. Έτσι, το επίπεδο των εφαρμογών προσομοίωσης και τα αντίστοιχα επίπεδα ακρίβειας αναμένεται να διαφέρουν ανά τομέα και περίπτωση χρήσης. Η πλατφόρμα που φιλοξενεί ένα ψηφιακό δίδυμο πρέπει επομένως να είναι προσαρμόσιμη σε αυτές τις ανάγκες.

Όσον αφορά τις προσομοιώσεις που βασίζονται σε δεδομένα αισθητήρων η είσοδος για την προσομοίωση εξαρτάται από συντελεστές όπως η ποιότητα του αισθητήρα, η ακρίβειά του και πολλά άλλα. Μέσω της χρήσης προηγμένων εργαλείων σχεδίασης (CAD), τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν την ακριβή αναπαραγωγή υπάρχοντων αντικειμένων, καθώς και λεπτομερείς απεικονίσεις των προτεινόμενων έργων πριν από την έναρξη. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ακρίβεια κατά την ανάλυση πιθανών κινδύνων εντός των κατασκευαστικών σχεδίων και παρέχει την ευκαιρία εντοπισμού ζητημάτων πριν καν αυτά προκύψουν. Ακόμα τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση κόστους μέσω βελτιστοποιημένων διαδικασιών όπως η επιλογή υλικού, η βελτιστοποίηση προγραμματισμού, η κατανομή πόρων κ.λπ., βοηθώντας τις ομάδες να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την πρόοδο του έργου καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του.



Εικόνα 5: (Δεξιά) Παράδειγμα αυτόματης δημιουργίας δομικών μοντέλων σε θόλους από τοιχοποιία στον Καθεδρικό Ναό του Μιλάνου.

Κατά τις φάσεις κατασκευής τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν τεράστια αξία στον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων. Ωστόσο αυτά τα μοντέλα είναι απαραίτητο να παραμένουν ενημερωμένα, κάνοντας επιτόπιες αλλαγές σε πραγματικό χρόνο μέσω συστημάτων συνεχούς παρακολούθησης τα οποία συνδέονται με βάσεις δεδομένων ψηφιακών διδύμων. Οι προσαρμογές που βασίζονται στις τρέχουσες συνθήκες είναι αυτοματοποιημένες, έτσι ώστε οι ενδιαφερόμενοι να έχουν πλήρη ορατότητα σε πραγματικά γεγονότα που λαμβάνουν χώρα στο χώρο ανά πάσα στιγμή. Αυτά τα χαρακτηριστικά δίνουν στις ομάδες άμεση πρόσβαση σε ακριβείς πληροφορίες οι οποίες διασφαλίζουν την επιτυχή ολοκλήρωση των έργων ενώ μειώνουν το κόστος που σχετίζεται με ανακριβείς προβλέψεις ή εσφαλμένες υποθέσεις που γίνονται κατά τις παραδοσιακές μεθόδους εργασίας.



Εικόνα 6: 3D αναπαράσταση γέφυρας



Η ταχύτητα με την οποία εξελίσσονται τα ψηφιακά δίδυμα στον κατασκευαστικό κλάδο είναι πολλά υποσχόμενη και μπορεί να φέρει επανάσταση στον σχεδιασμό, την κατασκευή και την συντήρηση κτηρίων. Όσο η τεχνολογία αυτή γίνεται πιο διαδεδομένη τόσο πιο ζωτικής σημασίας γίνεται και η εφαρμογή κατάλληλων κανονισμών και προτύπων για την εξασφάλιση ασφαλών κατασκευαστικών πρακτικών.

Το Ψηφιακό Δίδυμο δεν είναι μία ακόμα βάση δεδομένων, ένα ακόμη πρόγραμμα ή κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD (computer-aid design). Αποτελεί ένα εικονικό μοντέλο ενός φυσικού συστήματος που παρέχει πληροφορίες σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου. Ως στόχοι ενός ψηφιακού διδύμου μπορούν να αναφερθούν η παροχή έγκαιρης προειδοποίησης για τυχόν αστοχίες, η συνεχής πρόβλεψη και η δυναμική βελτιστοποίηση με ιδιαίτερη έμφαση στην επίτευξη μετρήσιμων αποτελεσμάτων. Μπορούμε πλέον να βελτιώσουμε τα πρότυπα ασφαλείας για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς με την ενημέρωση των οικοδομικών κωδίκων για την προσαρμογή της τεχνολογικής προόδου. Τέλος, δίνεται η δυνατότητα να διασφαλιστεί η τήρηση των οικοδομικών κανονισμών με την ενοποίηση συστημάτων ψηφιακής συμμόρφωσης και παρέχοντας παράλληλα ακριβείς πληροφορίες για την πρόοδο κάθε τοποθεσίας.

#### 1.4 Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε μεγαλύτερα μοντέλα

Το δομικό στοιχείο ενός ψηφιακού διδύμου είναι η δημιουργία ενός μοντέλου για ένα στοιχείο (πχ ένα σύστημα σωληνώσεων). Δίνεται η δυνατότητα να συνδυαστούν πολλά δομικά στοιχεία για να διαμορφώσουν μια δομή, η οποία κλιμακώνεται σε μια ολόκληρη εγκατάσταση απαιτώντας τον λιγότερο δυνατό χρόνο και πόρους για την εύρεση, τον καθαρισμό και τη χαρτογράφηση δεδομένων. Το βήμα της δημιουργίας ενός μοντέλου δεδομένων αναφοράς θα πρέπει να αποτελεί τυπικό μέρος της μεταφοράς δεδομένων, από πηγές σε εφαρμογές, εντός της βάσης δεδομένων που υπάρχει, καθώς θα αντιπροσωπεύει την αρχή ενός επαναχρησιμοποιήσιμου μοντέλου δεδομένων.

Με τον ορισμό ενός μοντέλου δεδομένων που θα χρησιμεύει ως στοιχείο αναφοράς δίνεται η δυνατότητα να προχωρήσουμε στην εκτέλεση και την κλιμάκωση. Η ταχεία ανάπτυξη - κλιμάκωση καθίσταται δυνατή, με την αυτόματη συμπλήρωση βάσεων δεδομένων για συγκεκριμένες λύσεις, με την εφαρμογή αναγνώρισης προτύπων χρησιμοποιώντας τεχνητή νοημοσύνη και με την ενίσχυση εκμάθησης. Η δημιουργία προτύπων για κάθε περίπτωση χρήσης ενσωματώνει μεγάλο μέρος της πολυπλοκότητας της εφαρμογής απευθείας στο επίπεδο των δεδομένων, καθιστώντας δυνατή την κλιμάκωση της οπτικοποίησης των δεδομένων από έναν σε χιλιάδες πίνακες εργαλείων ή αλλιώς σε αναλυτικά μοντέλα σε λίγες ώρες.

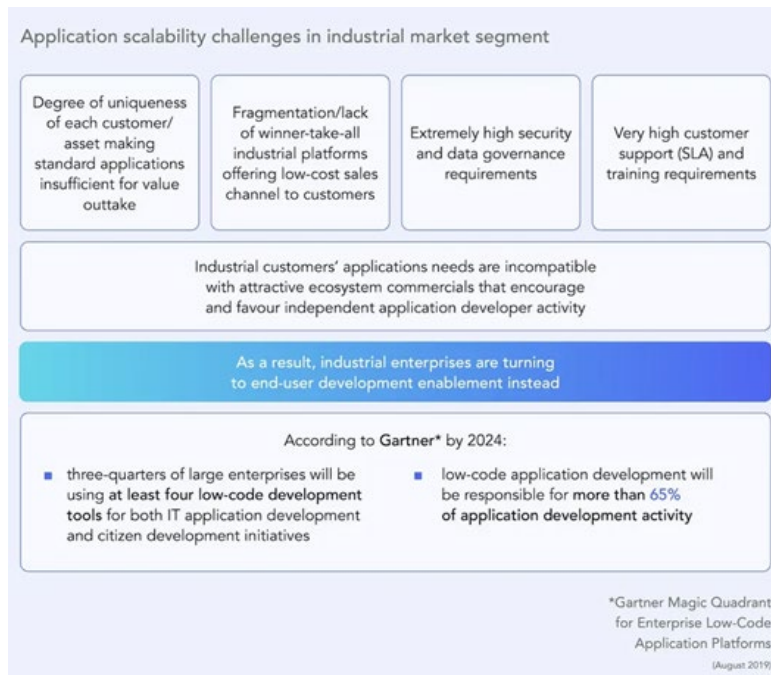
Το τι μπορεί να κάνει η τεχνολογία δεν επηρεάζεται από την ψηφιοποίηση του τρόπου λειτουργίας. Το Industrial DataOps επικεντρώνεται στο να διευκολύνει όλους τους ενδιαφερομένους σε έναν οργανισμό, να δημιουργούν προϊόντα δεδομένων και να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων. Η ευκολία είναι η βασική έννοια που

πρέπει να γίνει αποδεκτή από όλους τους ενδιαφερόμενους. Στη συνέχεια προτείνονται λύσεις για να λειτουργήσει αυτό το καταναμημένο μοντέλο :

- Καθορισμός και ενημέρωση των δεδομένων που πρέπει να προστεθούν σε βάσεις δεδομένων και ο συσχετισμός τους με τις επιχειρηματικές ανάγκες για ψηφιακά δίδυμα και λύσεις.
- Προϋπόθεση για τον προσδιορισμό οποιαδήποτε πρόσβασης στα δεδομένα καθώς και ενδιαφέροντος για αυτά.
- Διασταύρωση και εποπτεία για τα οποιαδήποτε ποιότητας δεδομένων .
- Καθορισμός για το προϊόν δεδομένων, που σχετίζεται ή παράγεται με την χρήση άλλων προϊόντων δεδομένων.
- Συνεχής επικοινωνία με το δίκτυο του «θεματοφύλακα δεδομένων» για να βεβαιωθεί ότι η καινοτομία και η συνεργασία συμβαίνει με αποτελεσματικό τρόπο στους διάφορους τομείς δεδομένων.

Στην πράξη το Cognite Data Fusion® παρέχει ένα ευέλικτο πλαίσιο μοντελοποίησης δεδομένων που επιτρέπει τη σαφή περιγραφή τόσο διαφορετικών προοπτικών καθώς κάθε λύση έχει συγκεκριμένες προσδοκίες και απαιτήσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο υποτίθεται ότι θα δομηθούν και θα μοντελοποιηθούν τα δεδομένα. (Cognite team 2023)

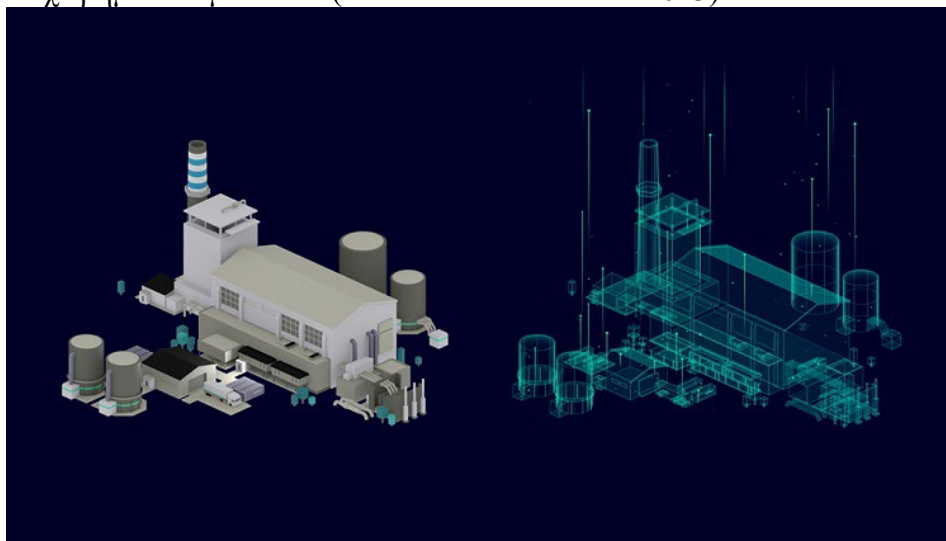
Το βήμα της δημιουργίας ενός μοντέλου δεδομένων ως σημείο αναφοράς ή ως πρωτότυπο θα πρέπει να αποτελεί τυπικό μέρος της μεταφοράς δεδομένων από πηγές/αισθητήρες σε εφαρμογές εντός της βάσης δεδομένων, καθώς θα αντιπροσωπεύει την αρχή ενός επαναχρησιμοποιούμενου στοιχείου δεδομένων, για παράδειγμα, η δημιουργία ενός μοντέλου για ένα στοιχείο και η μετέπειτα ενσωμάτωσή του σε μια ολόκληρη εγκατάσταση. Μόλις διαμορφωθεί ένα πρωτότυπο μοντέλο, μπορούμε να προχωρήσουμε στην εκτέλεση αλλά και την διεύρυνση σε μεγαλύτερο μοντέλο που να καλύπτει μεγαλύτερο εύρος της κατασκευής. Η ταχεία ανάπτυξη και η κλιμάκωση καθίστανται δυνατή με την αυτόματη συμπλήρωση σε πολυπλοκότερα μοντέλα για κάθε περίπτωση χρήσης με συγκεκριμένες λύσεις και την εφαρμογή αναγνώρισης προτύπων με τεχνητή νοημοσύνη και με ενίσχυση εκμάθησης. Η είσοδος στις διεργασίες των δυνατοτήτων του λογισμικού τεχνητής νοημοσύνης (A.I.) και της μηχανικής μάθησης (ML) έχει ήδη ξεκινήσει χωρίς όμως να έχει αντικαταστήσει τις τρέχουσες εφαρμογές και τα συστήματα πηγής στο τομέα των κατασκευών της αρχιτεκτονικής-μηχανικής-κατασκευαστικής (AEC) και κλιμακώνεται σε εκατοντάδες περιπτώσεις χρήσης.



Εικόνα 7: Οι απαιτήσεις των πελατών για λύσεις βελτιστοποίησης περιουσιακών στοιχείων με μεγάλο αντίκτυπο είναι πολύ ετερογενείς ή απαιτούν σημαντική προσαρμογή. Αναπαραγωγή από (Cognite team 2023)

## 1.5 Βιομηχανία και ψηφιακά δίδυμα

Ένα βιομηχανικό ψηφιακό δίδυμο μιας κατασκευής ή ενός υποσυστήματος (πχ υδραυλικά του κτηρίου) είναι ένα εργαλείο που μπορούν να χρησιμοποιήσουν οι κατασκευαστικές εταιρείες για να φτάσουν σε μεγαλύτερο επίπεδο κατανόησης και ελέγχου σχετικά με τις εξελίξεις της κατασκευής και τις δραστηριότητές τους, ανακαλύπτοντας πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών, την αύξηση του χρόνου λειτουργίας και τις πρωτοποριακές αλλαγές στα επιχειρηματικά μοντέλα. (TEAM COGNITE Feb 2023)



Εικόνα 8. ΨΔ στην βιομηχανία



Ένα ΨΔ προκειμένου να εκπληρώσει τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε και να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα πρέπει να επιτύχει την ενοποίηση μικρότερων μοντέλων. Κατά τη δημιουργία ενός βιομηχανικού ψηφιακού δίδυμου, η πληθώρα των δεδομένων που περιγράφουν τη κατασκευαστική πραγματικότητα είναι κρίσιμη για τη δημιουργία περισσότερων συσχετισμών μεταξύ των πηγών δεδομένων.

Οι οργανισμοί οι οποίοι ασχολούνται με την ανάπτυξη ενός ψηφιακού δίδυμου το οποίο απευθύνεται σε βιομηχανίες θα μπορούν επιτέλους να ελέγχουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, να κατανοούν από πού προέρχονται, την αξιοπιστία τους και πώς να τα εμπλουτίζουν με την άροδο του χρόνου. Ακόμα θα είναι οι πρώτοι που θα επιταχύνουν τις επιτυχημένες λύσεις πάνω σε αυτά τα δεδομένα, τα οποία πρέπει να είναι η προτεραιότητα οποιασδήποτε πρωτοβουλίας ψηφιοποίησης. Ωστόσο, τα πρωτόκολλα ασφαλείας δεδομένων θα πρέπει να επιλέγονται ανεξάρτητα κάθε χώρα ή οργανισμό.

Για την κάλυψη μιας αυξανόμενης ποσότητας χρηστών και δεδομένων το ψηφιακό δίδυμο θα πρέπει να είναι δυναμικό και αρκετά ευέλικτο. Γι αυτόν τον λόγο, η δημιουργία νομικού πλαισίου είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ψηφιακού δίδυμου στην βιομηχανία, καθιστώντας το αρκετά ευέλικτο και επεκτατικό ώστε να χειρίζεται τις πολυπλοκότητες των τρέχουσων λειτουργιών και ικανό να προβλέπει τις απαιτήσεις για λειτουργίες που βασίζονται σε δεδομένα στο ψηφιοποιημένο βιομηχανικό μέλλον. (TEAM COGNITE Feb 2023)

## 1.6 Ψηφιακά δίδυμα και συστήματα σωληνώσεων



Εικόνα 9. Ψηφιακή αναπαράσταση δικτύου σωληνώσεων

Τα ψηφιακά δίδυμα παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα συστήματα σωληνώσεων. Τέτοιου είδους συστήματα σωληνώσεων είναι ακριβά στη λειτουργία και τη συντήρηση και είναι δύσκολο να ληφθούν εμπεριστατωμένες αποφάσεις χωρίς σαφή κατανόηση του κόστους. Το μεγαλύτερο μέρος του λειτουργικού κόστους για

ένα κλασσικό σύστημα ύδρευσης είναι η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας. Συχνά το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας δεν αποδίδεται σε συγκεκριμένο εξοπλισμό, αντίθετα θεωρείται ως κόστος επιχειρηματικής δραστηριότητας και κατανέμεται στους διάφορους χρήστες. Δεν μπορεί να καθοριστεί τρόπος μείωσης του κόστους χωρίς να είναι γνωστό το κόστος ισχύος για ένα συγκεκριμένο είδος συνεπώς γίνεται δύσκολη και η αύξηση της κερδοφορίας.

Το ψηφιακό δίδυμο εκτελεί δυναμικά ένα ενεργειακό ισοζύγιο που υπολογίζει την ποσοτική κατανάλωση ενέργειας εξαιτίας της αντλίας και συνολική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται από τα στοιχεία διεργασίας και ελέγχου. Το ψηφιακό δίδυμο έχει τη δυνατότητα να παρέχει σαφής εικόνα επί των κερδών και των ζημιών για μέρος ή το σύνολο του συστήματος σωληνώσεων χρησιμοποιώντας το κόστος ισχύος και τις πληροφορίες εισόδου από τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης.

Με τη χρήση λογισμικού διαχείρισης συντήρησης για την παρακολούθηση της εργασίας που εκτελείται μπορεί να προσδιοριστεί το κόστος συντήρησης. Είναι δύσκολο να βελτιωθεί το κόστος συντήρησης αν δεν υπάρχει μέθοδος σύγκρισης του κόστους συντήρησης για ένα συγκεκριμένο είδος εξοπλισμού με παρόμοιο εξοπλισμό. Συνεπώς με την χρήση δεδομένων λειτουργίας της εγκατάστασης και ψηφιακών διδύμων, μπορεί να προσδιοριστεί η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του συστήματος καθώς και κάθε στοιχείο εξοπλισμού. Έτσι όταν το σύστημα δεν λειτουργεί όπως έχει σχεδιαστεί, παραδίδεται ένα μήνυμα και μπορεί να ξεκινήσει διορθωτική ενέργεια.

Υπάρχουν πολλές εργασίες που απαιτούνται από τους οικονομικούς και τεχνικούς κλάδους για το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση συστημάτων σωληνώσεων. Συχνά αυτές οι ομάδες λειτουργούν σε συνθήκες απόλυτης απομόνωσης και πειθαρχίας κοιτάζοντας ένα πρόβλημα μόνο μέσα από το πρίσμα της ομάδας τους. Για παράδειγμα, εάν μια εγκατάσταση ενδιαφέρεται να μειώσει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να υπάρχει ελεύθερη ανταλλαγή ιδεών μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων ομάδων. Για τη μείωση των απρογραμμάτιστων διακοπών θα πρέπει στο εξής να λαμβάνουν τις αποφάσεις τους με βάση μετρήσιμα αποτελέσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Ισχύοντες νόμοι και ISO

### 2.1 Νομικό πλαίσιο

Η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές και επομένως είναι σχετική με όλους τους κλάδους και τους τομείς. Ενώ η τεχνολογία βρίσκεται επί του παρόντος στη πρωτότυπη της φάση, αρχίζουμε να βλέπουμε μια σειρά από συναρπαστικές (και πρωτοποριακές) εφαρμογές της σε όλο τον κόσμο. Από νομική άποψη, το ερώτημα είναι πώς θα ρυθμιστεί και θα ελέγχεται αυτή η νέα τεχνολογία και ποιοι κίνδυνοι προκύπτουν από την αυξημένη χρήση.

Όσο γίνεται πιο διαδεδομένη η χρήση των ψηφιακών διδύμων ταυτόχρονα κρίνεται απαραίτητο και αναπτύσσεται το ρυθμιστικό πλαίσιο γύρω από τη χρήση τους. Οι επιχειρήσεις θα πρέπει να έχουν επίγνωση των κινδύνων που συνεπάγονται με τη δημιουργία και τη χρήση ενός ΨΔ.

Η ραγδαία υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων φέρνει στο προσκήνιο σημαντικές προκλήσεις και παράλληλα ανοίγει τον δρόμο για νέες ευκαιρίες. Η προστασία των ευαίσθητων δεδομένων που αποθηκεύονται και μεταδίδονται στο περιβάλλον ενός ΨΔ αποτελεί καίριο ζήτημα. Η κυβερνοασφάλεια οφείλει να αποτελεί ύψιστη προτεραιότητα για τις επιχειρήσεις, θωρακίζοντας τα ψηφιακά δίδυμα από κακόβουλες επιθέσεις.

Παράλληλα, η ακρίβεια στη συλλογή δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή σφαλμάτων κατά τη μοντελοποίηση, τα οποία δύναται να έχουν σοβαρές νομικές επιπτώσεις. Η ειλικρινής και λεπτομερής καταγραφή δεδομένων θεμελιώνει την αξιοπιστία του ΨΔ και διασφαλίζει την ορθότητα των προβλέψεων.

Επιπλέον, η σαφής ρύθμιση πνευματικής ιδιοκτησίας, ιδιοκτησίας και αδειοδότησης αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ομαλή λειτουργία του ΨΔ. Η οριοθέτηση των δικαιωμάτων και ευθυνών όλων των εμπλεκόμενων μερών διασφαλίζει την ηθική και νόμιμη χρήση του ψηφιακού διδύμου.

Η κατανομή του κινδύνου αποτελεί ένα ακόμα καίριο ζήτημα. Η ευθύνη για την ακρίβεια και αξιοπιστία των δεδομένων οφείλει να κατανέμεται δίκαια, λαμβάνοντας υπόψη τον ρόλο και τις αρμοδιότητες κάθε αναλυτή.

Όπως παρατηρείται (καθότι είναι μια διαδικασία σε εξέλιξη) με την Τεχνητή Νοημοσύνη, υπάρχει μια υστέρηση μεταξύ της ανάπτυξης της νέας τεχνολογίας και του ρυθμού με τον οποίο το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο συμβαδίζει με αυτήν την πρόοδο. Υποψιαζόμαστε ότι το ίδιο θα συμβεί και εδώ. Το ρυθμιστικό πλαίσιο στο οποίο θα λειτουργούν τα ΨΔ δεν έχει ακόμη αναπτυχθεί, αλλά κάποια στιγμή, οι κυβερνήσεις και τα δικαστήρια θα αναγκαστούν να καλύψουν το δικονομικό κενό και την έλλειψη κανονιστικού πλαισίου και να θέσουν σε εφαρμογή το απαραίτητο ρυθμιστικό πλαίσιο και νομοθεσία. Ίσως ακόμη περισσότερο από την τεχνητή νοημοσύνη και το IoT (δίκτυο των πραγμάτων), το ρυθμιστικό πλαίσιο που

απαιτείται για τα ψηφιακά δίδυμα θα είναι δύσκολο να δημιουργηθεί και ακόμη πιο δύσκολο να επιβληθεί. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι με τις τεχνολογικές εξελίξεις έρχεται και νομικός κίνδυνος.

Παρακάτω παραθέτουμε ποιοι θεωρούμε ότι είναι οι 6 κορυφαίοι κίνδυνοι που σχετίζονται με τα ψηφιακά δίδυμα.

1. Συμβατικός κίνδυνος λόγω απουσίας ρυθμιζόμενου νομικού πλαισίου:

Αναλυτικότερα, ο συμβατικός κίνδυνος επίκειται ενόψει της απουσίας ξεκάθਾਰου ρυθμιζόμενου νομικού πλαισίου ενώ είναι ακόμη πιο σημαντικό οι συμβάσεις να συντάσσονται προσεκτικά. Οι συμβάσεις θα πρέπει να καλύπτουν τους σημαντικότερους κινδύνους και να κατανέμουν σαφώς την ευθύνη στους κατάλληλους ενδιαφερόμενους. Αυτό πιθανότατα θα είναι σε άμεσο ανταγωνισμό με την ανάγκη η σύμβαση να είναι ευέλικτη και ικανή να προσαρμοστεί στη μεταβαλλόμενη τεχνολογία.

2. Διαφωνίες ιδιοκτησίας για το ψηφιακό δίδυμο και πνευματική ιδιοκτησία:

Η διευκρίνιση της ιδιοκτησίας του ΨΔ και συνεπώς η διαχείριση των δεδομένων δημιουργεί ένα από τα πιο σημαντικά ερωτήματα που θα πρέπει να απαντηθεί, το οποίο είναι, σε ποιον ανήκει το εκάστοτε «ψηφιακό δίδυμο» και ποιοι έχουν τη δυνατότητα να το αξιοποιήσουν; Αυτό το ερώτημα γίνεται ακόμη πιο σημαντικό όταν τα ψηφιακά δίδυμα συνδέονται και αλληλεπιδρούν με άλλα ΨΔ, δημιουργώντας ένα σύνθετο και πολύ-επίπεδο σύστημα όσον αφορά σε ποιον ανήκει κάθε περιουσιακό στοιχείο, σε ποιον ανήκει η πνευματική ιδιοκτησία που δημιουργείται και ίσως το πιο σημαντικό, ποιος είναι υπεύθυνος εάν κάτι δεν λειτουργεί με το προβλεπόμενο τρόπο. Όλα αυτά θα πρέπει να διέπονται από μια περίπλοκη συμβατική ρύθμιση, η οποία είναι πιθανό να είναι αμφιλεγόμενη.

3. Ανησυχίες για το απόρρητο σχετικά με προσωπικά και εμπιστευτικά δεδομένα:

Τα ΨΔ αποθηκεύουν μεγάλη ποσότητα δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, πολλά από τα οποία θα είναι προσωπικά δεδομένα ή εμπιστευτικές πληροφορίες. Οι τρέχοντες κανόνες επεξεργασίας πληροφοριών περιορίζουν τη μη ουσιαστική κοινή χρήση τους, ωστόσο τα ψηφιακά δίδυμα επωφελούνται από την κοινή χρήση πληροφοριών. Οι χρήστες ψηφιακών δίδυμων πρέπει να βεβαιωθούν ότι υπάρχουν ισχυρές διαδικασίες διακυβέρνησης δεδομένων για τη διαχείριση και τον έλεγχο της κοινής χρήσης τους.

4. Την ανάγκη για ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα για τη λήψη αποφάσεων:

Η λήψη αποφάσεων με τη χρήση ΨΔ, όπως και με την τεχνητή νοημοσύνη, λαμβάνει αποφάσεις με βάση ένα συνεχώς εξελισσόμενο σύνολο δεδομένων. Η τροφοδοσία δεδομένων στο ψηφιακό δίδυμο πρέπει να είναι ακριβής, πλήρης και

ενημερωμένη για να διασφαλίζεται ότι η έξοδος του είναι αξιόπιστη. Η αναξιόπιστη εισαγωγή δεδομένων κινδυνεύει να οδηγήσει σε ανακριβή αποτελέσματα. Επίσης, σημαντικό είναι ότι τα ΨΔ αποθηκεύουν τεράστιες ποσότητες πολύτιμων δεδομένων σε κάθε χρονική στιγμή από τους αισθητήρες. Εάν οι επιχειρήσεις επιθυμούν να δημιουργήσουν εμπιστοσύνη και να ενθαρρύνουν την υιοθέτηση της συγκεκριμένης τεχνολογίας, πρέπει να τεθούν σε εφαρμογή κατάλληλες δικλίδες και συστήματα ασφαλείας και να ενημερώνονται τακτικά για να εξελίσσονται παράλληλα με την τεχνολογία. Στην Ελλάδα, το καθεστώς που στηρίζεται το ΨΔ είναι ο νομός που αφορά την προστασία δεδομένων 4727/2020 (αρ.50) και ο νόμος ο οποίος σχετίζεται με τις κατασκευές 4495/2017 με την αναθεώρηση που έγινε στον 5037/ 2023 .Διάφορα αλλά πρότυπα ορίζονται μέσα από τις συμβάσεις του έργου με τον αναθέτοντος εργολάβο.

#### 5. Ευπάθειες στον κυβερνοχώρο που εκθέτουν πολύτιμα δεδομένα:

Στον κλάδο των τεχνικών έργων στην Ελλάδα η εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων είναι σε εμβρυικό στάδιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιφύλαξη των ειδικών Dr. Μπριλάκης, dr. Αγαπάκη και κ. Πρασσά για την υιοθέτηση των ΨΔ καθώς δεν είναι οικείο καν το BIM( Building information modeling). Φυσικά δεν αποκλείεται να υιοθετηθεί στα τεχνικά έργα της Ελλάδας η τεχνολογία των ΨΔ πριν την καθολική εφαρμογή του BIM εφόσον υπάρξει η ανάλογη εκπαιδευτική υποστήριξη σε μηχανικούς και εταιρείες. Απαιτείται να γίνουν αρκετά βήματα για να επιτευχθεί εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών, όπως να αποτελέσει βασική υποχρέωση από τον κυβερνητικό τομέα η ανάπτυξη τους νομοθετικά όπως γίνεται στο εξωτερικό με το BIM.

#### 6. Πολυπλοκότητα της διασυνοριακής ανταλλαγής δεδομένων χωρίς παγκόσμιο ρυθμιστικό πλαίσιο:

Τέλος, το νομικό καθεστώς πρέπει να περιλαμβάνει τη κοινή χρήση δεδομένων ανά πλατφόρμα ή ανά μοντέλα ψηφιακών διδύμων. Η τεχνολογία αυτή δρα σαν πλατφόρμα που μπορεί να λειτουργεί από δεδομένα συλλεγμένα σε πραγματικό χρόνο και ταυτόχρονα να αλληλοεπιδρά σε πολλές διαφορετικές δικαιοδοσίες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, αποτελεί ερωτηματικό ποιο καθεστώς ισχύει. Ελλείπει οιοιουδήποτε ρυθμιστικού πλαισίου, πόσο μάλλον ενός παγκόσμιου αποδεκτού πλαισίου, η διασυνοριακή ανταλλαγή δεδομένων προσθέτει άλλο ένα επίπεδο πολυπλοκότητας σε ένα ήδη πολύπλοκο προφίλ κινδύνου. Καθώς τα ψηφιακά δίδυμα συνεχίζουν να αυξάνονται σε δημοτικότητα σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένου του κατασκευαστικού κλάδου, οι επιχειρήσεις θα πρέπει να έχουν επίγνωση και να μετριάσουν τους νομικούς κινδύνους που συνδέονται με τη χρήση τους.

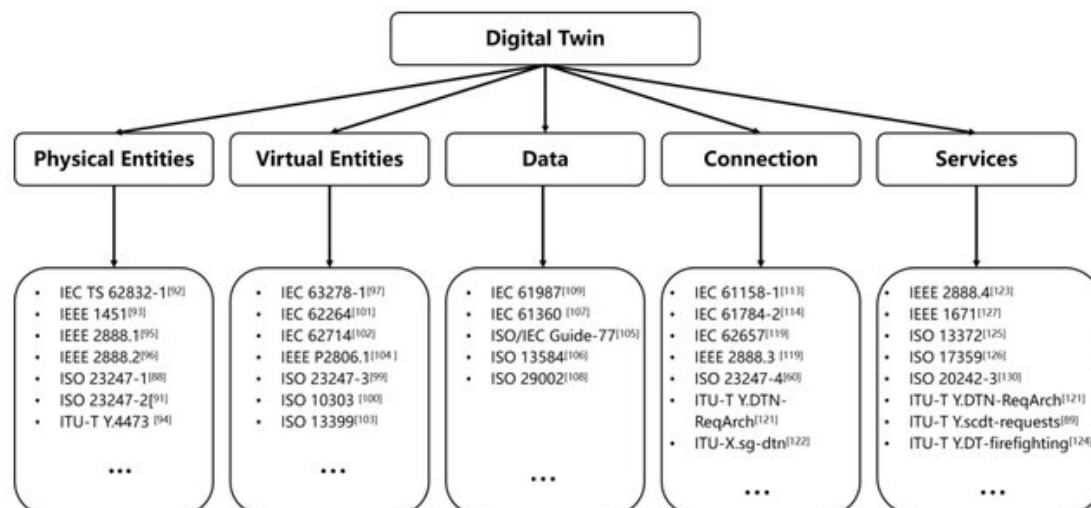


## 2.2 ΨΔ στο κατασκευαστικό κλάδο (AEC) και πρωτόκολλα ISO

Ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (ISO) είναι ένας διεθνής οργανισμός θέσπισης προτύπων που αποτελείται από εκπροσώπους και εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης. Όσον αφορά τα ψηφιακά δίδυμα, το ISO δίνει μεγαλύτερη προσοχή στη βιομηχανία και στα σχετικά πεδία, τα συστήματα αυτοματισμού και την τεχνική ενσωμάτωσης.

Το έργο της προετοιμασίας των Διεθνών Προτύπων πραγματοποιείται συνήθως μέσω τεχνικών επιτροπών. Κάθε όργανο μέλος που ενδιαφέρεται για ένα θέμα για το οποίο έχει συσταθεί τεχνική επιτροπή έχει το δικαίωμα να εκπροσωπείται σε αυτήν την επιτροπή.

Στις εργασίες συμμετέχουν και διεθνείς οργανισμοί, κυβερνητικοί και μη, σε συνεργασία με τον ISO. Ο ISO συνεργάζεται στενά με τη Διεθνή Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) για όλα τα θέματα ηλεκτροτεχνικής τυποποίησης. Οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη αυτού του εγγράφου και εκείνες που προορίζονται για την περαιτέρω συντήρησή του περιγράφονται στις Οδηγίες



Εικόνα 10. Κανονιστικό πλαίσιο ΨΔ

### ISO/IEC

Η «επιτροπή 184» (ISO/TC 184) ήταν η πρώτη επιτροπή που ανέπτυξε το πρότυπο για τα ψηφιακά δίδυμα και η τέταρτη υποεπιτροπή που δημοσίευσε την πρώτη σειρά ΨΔ για εφαρμογή στην κατασκευή, και υπάρχουν αρκετά πρότυπα τυποποίησης ΨΔ από έρευνες που σχετίζονται με βιομηχανικά δεδομένα και συστήματα που δημιουργούνται από την επιτροπή και που είναι ακόμη υπό ανάπτυξη. Δημιουργήθηκε επίσης μια ομάδα εργασίας με το όνομα ISO/IEC JTC 1/SC 41/WG6 η οποία εστιάζει συγκεκριμένα στην τυποποίηση ψηφιακών δεδομένων (standards), συμπεριλαμβανομένων των εννοιών, της ορολογίας, τις πρότυπες περιπτώσεις χρήσης και συναφείς τεχνολογίες του ΨΔ. (Kai Wang et.al. 2022) Η σύνταξη εγγράφων, που υποδεικνύει τις απαραίτητες συστάσεις, προορίζεται κυρίως για άτομα που εμπλέκονται στην προμήθεια, το σχεδιασμό, την κατασκευή ή/και τη θέση σε λειτουργία κτισμένων περιουσιακών στοιχείων. Επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνει και

ΓΟΥΜΕΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

εμπλεκόμενους στην παροχή δραστηριοτήτων διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων των λειτουργιών και της συντήρησης.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας των ΨΔ για τις επιχειρησιακές διαδικασίες στον τομέα των ακινήτων επιφέρει ενίσχυση στη διαχείριση τους κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των κτισμάτων με την χρήση μοντέλων δομικών πληροφοριών (ΜΔΠ ή BIM). Αυτές οι διαδικασίες μπορούν να προσφέρουν ευεργετικά επιχειρηματικά αποτελέσματα στους ιδιοκτήτες/διαχειριστές περιουσιακών στοιχείων, τους πελάτες, τις αλυσίδες εφοδιασμού τους και όσους εμπλέκονται στη χρηματοδότηση έργων, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης των ευκαιριών, της μείωσης του κινδύνου και της μείωσης του κόστους μέσω της παραγωγής και χρήσης μοντέλων πληροφοριών περιουσιακών στοιχείων και έργων.

Η τεχνολογία των ψηφιακών δίδυμων ξεπερνά τα χρονικά περιθώρια κατασκευής των κτιρίων και μπορεί να ακολουθεί καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του κτίσματος καταγράφοντας τις πληροφορίες για όλες τις σχετικές διεργασίες ή αλλαγές. Αυτό έχει ευρεία εφαρμογή σε όλα τα περιουσιακά στοιχεία και κατασκευαστικά έργα όλων των μεγεθών και όλων των επιπέδων πολυπλοκότητας. Αυτό περιλαμβάνει μεγάλα κτίσματα, δίκτυα υποδομής, μεμονωμένα κτίρια και κομμάτια υποδομής καθώς και τα έργα ή το σύνολο των έργων που τα παραδίδουν. Ωστόσο, οι έννοιες και οι αρχές που περιλαμβάνονται, θα διαφοροποιούνται με τρόπο ανάλογο και κατάλληλο με την κλίμακα και την πολυπλοκότητα του περιουσιακού στοιχείου ή του έργου και τις τεχνολογίες (πχ. τρισδιάστατη εκτύπωση) ή τεχνικές κατασκευής (αφορά σε αρχιτεκτονικές τεχνικές) της εποχής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν το κτίσμα παραδίδεται σε μικρές ή μεσαίες επιχειρήσεις που διορίζονται κυρίως για τη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων ή την παράδοση έργων ανακαίνισης.

Είναι επίσης σημαντική η προμήθεια και η κινητοποίηση των μερών που έχουν οριστεί ως περιουσιακά στοιχεία ή έργα για να ενσωματωθούν όσο το δυνατόν περισσότερο με τις υπάρχουσες διαδικασίες και τις ανάλογες τεχνικές προδιαγραφές. Οι ειδικές απαιτήσεις για τη διαχείριση πληροφοριών κατά την παράδοση των κτισμένων περιουσιακών στοιχείων παρέχονται στο ISO 19650-2. (Ashtarout Ammar *et al.* 2022)

Η πραγματική απόδοση των κατασκευασμένων προϊόντων δεν μπορεί να διαπιστωθεί χωρίς κατανόηση του πλαισίου χρήσης τους και στο δομημένο περιβάλλον δεν είναι δυνατό να έχουμε μια αρκετά ακριβή εικόνα της απόδοσης των περιουσιακών στοιχείων χωρίς να κατανοήσουμε την απόδοση σε επίπεδο εξαρτημάτων. Το Πρωτόκολλο Apollo είναι μια φυσική εξέλιξη του Εθνικού προγράμματος δράσης του Ηνωμένου Βασιλείου για τα ΨΔ.

Τα ΨΔ υπόσχονται τη καλύτερη λήψη αποφάσεων, διαθέτοντας τα πιο έγκαιρα και έγκυρα δεδομένα την κάθε στιγμή. Ωστόσο, μέχρι τώρα έχουν αναπτυχθεί ψηφιακά δίδυμα μέσα σε περιορισμένα δομημένες εγκαταστάσεις με ιδιωτικά επιλεγμένα πρότυπα και διαδικασίες, όχι με διεθνείς κοινής αποδοχής πρότυπα και κανόνες. Για παράδειγμα, η κατασκευή ανέπτυξε ένα πλαίσιο ψηφιακού διδύμου το ISO-23247, το οποίο έχει θέσει τον πήχη για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, ενώ το δομημένο περιβάλλον έχει θέσει τα θεμέλια για τον ορισμό των ψηφιακών διδύμων με το πρότυπο Flex 260.



Μέσα στο δομημένο περιβάλλον, τα ψηφιακά δίδυμα προσθέτουν μακροχρόνια ανθεκτικότητα στην υποδομή μέσω της διαχείρισης της απόδοσης των περιουσιακών τους στοιχείων. Οι Αρχές Gemini έθεσαν τις ηθικές βάσεις για την ανάπτυξη συνδεδεμένων ψηφιακών διδύμων εντός του δομημένου περιβάλλοντος. Τώρα το Πρωτόκολλο Apollo θα πρέπει να ενσωματώσει τους τομείς της παραγωγής και του δομημένου περιβάλλοντος που υποστηρίζονται από τον τομέα της τεχνολογίας.

Πρωτοβουλίες από τους επαγγελματίες του χώρου προτρέπουν στη δημιουργία του Apollo Forum, που υποστηρίζεται από ηγέτες σε όλους τους τομείς της μεταποίησης, του δομημένου περιβάλλοντος και της τεχνολογίας. Αποστολή του θα είναι να δημιουργήσει και να καθορίσει το Πρωτόκολλο Apollo για τη γεφύρωση τομέων, ξεδιαλύνοντας και ευθυγραμμίζοντας πολιτιστικούς, διαδικαστικούς και τεχνολογικούς παράγοντες. (Henry Fenby-Taylor 2021)

Τα πρότυπα ISO δημιουργούνται έπειτα από την διαμόρφωση κανόνων για την ασφάλεια, την πρόληψη ατυχημάτων και την διασφάλιση της ακεραιότητας. Ένα μοντέλο ψηφιακού διδύμου βοηθά στην ανίχνευση ανωμαλιών στις διαδικασίες παραγωγής για την επίτευξη λειτουργικών στόχων, όπως έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, προληπτική συντήρηση, προσαρμογή κατά τη διαδικασία, ανάλυση μεγάλων βάσεων δεδομένων (Big Data) και μηχανική μάθηση (Machine learning). Ένα ψηφιακό δίδυμο παρακολουθεί το εκάστοτε αισθητήρα από απόσταση σε πραγματικό χρόνο. Το εκάστοτε στοιχείο, αναμεταδίδει τα επιχειρησιακά και περιβαλλοντικά δεδομένα εκείνης της στιγμής. Η προσβασιμότητα στη διαδικασία και την εκτέλεση παρέχεται από ένα μοντέλο ψηφιακού διδύμου το οποίο βελτιστοποιεί την κατασκευαστική λειτουργία και την επιχειρηματική συνεργασία.

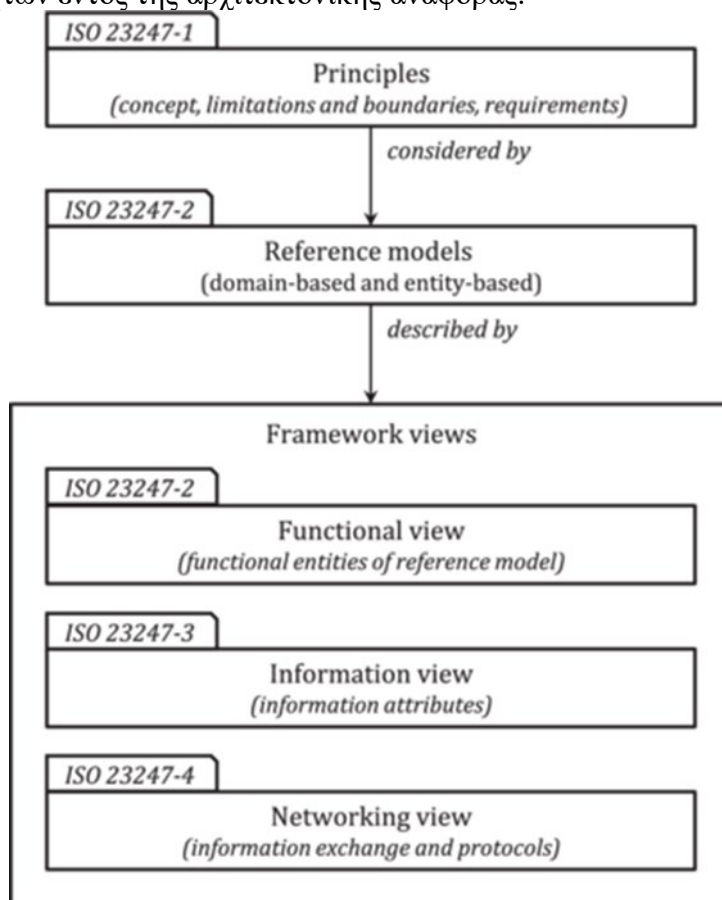
Μερικά από τα σημαντικότερα πρότυπα ISO είναι τα παρακάτω :

ISO 23247: Ορίζει ένα πλαίσιο για την υποστήριξη της δημιουργίας ψηφιακών διδύμων μέσω διακριτών κατασκευαστικών στοιχείων, συμπεριλαμβανομένων του ανθρώπινου δυναμικού, του εξοπλισμού, των υλικών, των διαδικασιών παραγωγής, των εγκαταστάσεων, του περιβάλλοντος, των προϊόντων και των υποστηρικτικών εγγράφων. Ο τύπος κατασκευής που υποστηρίζεται από μια εφαρμογή του πλαισίου ISO 23247 εξαρτάται από τα πρότυπα και τις τεχνολογίες που είναι διαθέσιμες, για τη μοντελοποίηση των παρατηρήσιμων κατασκευαστικών στοιχείων. Διαφορετικοί τομείς παραγωγής μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά πρότυπα δεδομένων. Το πλαίσιο, δηλαδή το έγγραφο, δεν ορίζει συγκεκριμένες μορφές βάσεων δεδομένων και πρωτόκολλων επικοινωνίας.

Τα πεδία των τεσσάρων μερών αυτής της σειράς ορίζονται παρακάτω:

- ISO 23247-1: Γενικές αρχές και απαιτήσεις για την ανάπτυξη ψηφιακών διδύμων στην κατασκευή.
- ISO 23247-2: Αρχιτεκτονική αναφορά με λειτουργικές όψεις.
- ISO 23247-3: Κατάλογος βασικών χαρακτηριστικών των πληροφοριών για τα παρατηρήσιμα κατασκευαστικά στοιχεία.

- ISO 23247-4: Τεχνικές απαιτήσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οντοτήτων εντός της αρχιτεκτονικής αναφοράς.



Εικόνα 11: Το διάγραμμα για το ISO 23247 που αφορά την κατασκευή κτιρίων με ΨΔ. Ειδικότερα, το ISO-23237-1 περιλαμβάνει τις βασικές αρχές και απαιτήσεις. Το 2ο σκέλος αφορά την βάση δεδομένων της αρχιτεκτονικής του κτιρίου και τις λειτουργικές όψεις. Το Τρίτο σκέλος περιέχει τον κατάλογο βασικών χαρακτηριστικών πληροφοριών για τα παρατηρήσιμα κατασκευαστικά στοιχεία και το τελευταίο αφορά τις τεχνικές απαιτήσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οντοτήτων εντός της αρχιτεκτονικής αναφοράς.

Στην Εικόνα γίνεται αναπαράσταση της λειτουργίας με ISO 23247 για την χρήση στην κατασκευή κτιρίων με ΨΔ. Ειδικότερα, το ISO-23237-1 περιλαμβάνει τις βασικές αρχές και απαιτήσεις. Το 2ο σκέλος αφορά την βάση δεδομένων της αρχιτεκτονικής του κτιρίου και τις λειτουργικές όψεις. Το Τρίτο σκέλος περιέχει τον κατάλογο βασικών χαρακτηριστικών πληροφοριών για τα παρατηρήσιμα κατασκευαστικά στοιχεία και το τελευταίο αφορά τις τεχνικές απαιτήσεις για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ οντοτήτων εντός της αρχιτεκτονικής αναφοράς.

- ISO 19650: Αφορά το διαχειριστικό κομμάτι για την διαχείριση των πληροφοριών για τα ολοκληρωμένα περιουσιακά στοιχεία καθ' όλο τον κύκλο ζωής. Το Μοντέλο Πληροφοριών Κτιρίου (building information management) παρέχει ένα πλαίσιο για αποτελεσματική συνεργασία, ανταλλαγή πληροφοριών και διαχείριση δεδομένων μεταξύ διαφόρων ενδιαφερομένων που εμπλέκονται στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία κτιρίων και υποδομών. Σε αυτό το σημείο να ξεκαθαρίσουμε πως το building information modelling (BIM) είναι ένα υποσύνολο του ΨΔ, στατικής χρονικής διάρκειας - συνήθως κατά τη φάση σχεδιασμού και κατασκευής. Το ISO 19650 αποτελείται από δύο μέρη:

- ISO 19650-1: Έννοιες και αρχές: Αυτό το μέρος του προτύπου καθορίζει τις έννοιες και τις αρχές της διαχείρισης πληροφοριών χρησιμοποιώντας το BIM. Καθορίζει την ορολογία, τους ρόλους, τις αρμοδιότητες και τις διαδικασίες που εμπλέκονται στην υλοποίηση του BIM.
- ISO 19650-2: Φάση παράδοσης των στοιχείων του ενεργητικού: Αυτό το μέρος εστιάζει στη φάση παράδοσης των περιουσιακών στοιχείων, που περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως η έναρξη του έργου, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η παράδοση. Παρέχει καθοδήγηση σχετικά με τις απαιτήσεις πληροφοριών, τις μορφές ανταλλαγής και τις συνεργατικές διαδικασίες για την εξασφάλιση αποτελεσματικής διαχείρισης πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.
- Το ISO-19650 στοχεύει στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, στη μείωση των λαθών και στη βελτίωση στη λήψη αποφάσεων, προωθώντας συνεπείς και δομημένες πρακτικές διαχείρισης πληροφοριών. Διευκολύνει την ανταλλαγή ακριβών και αξιόπιστων πληροφοριών μεταξύ των συμμετεχόντων στο έργο, επιτρέποντας καλύτερη συνεργασία και συντονισμό.

Με την τήρηση του ISO - 19650, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την επικοινωνία, να αποφύγουν την απώλεια δεδομένων και να βελτιώσουν τις ροές εργασίας. Το πρότυπο συμβάλλει στη δημιουργία σαφών πληροφοριών, τυποποιημένων μορφών δεδομένων και αποτελεσματικών πρακτικών τεκμηρίωσης, διασφαλίζοντας ότι οι σωστές πληροφορίες είναι διαθέσιμες στους κατάλληλους ενδιαφερόμενους τη σωστή στιγμή. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ISO-19650 αντικατέστησε το παλαιότερο βρετανικό πρότυπο «BS 1192» και τη δημόσια διαθέσιμη προδιαγραφή PAS 1192-2, τα οποία χρησιμοποιούνταν ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο πριν από την εισαγωγή του διεθνούς προτύπου.

- ISO 16739: Γνωστό και ως Industry Foundation Classes (IFC), είναι ένα πρότυπο για την αναπαράσταση και την ανταλλαγή δεδομένων σχετικά με κτίρια και κατασκευαστικά στοιχεία. Το IFC διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στα ψηφιακά δίδυμα, καθώς επιτρέπει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών λογισμικών και πλατφόρμων, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα μπορούν να ανταλλάσσονται και να χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά σε περιβάλλον ψηφιακών διδύμων.
- ISO 8000: Είναι το παγκόσμιο κανονιστικό πλαίσιο για την ποιότητα δεδομένων και είναι απαραίτητο κατά την εφαρμογή των ψηφιακών διδύμων. Σκοπός του είναι να περιγράψει τα χαρακτηριστικά και να καθορίσει τις απαιτήσεις για τη δίκαιη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ επιχειρήσεων και οργανισμών.

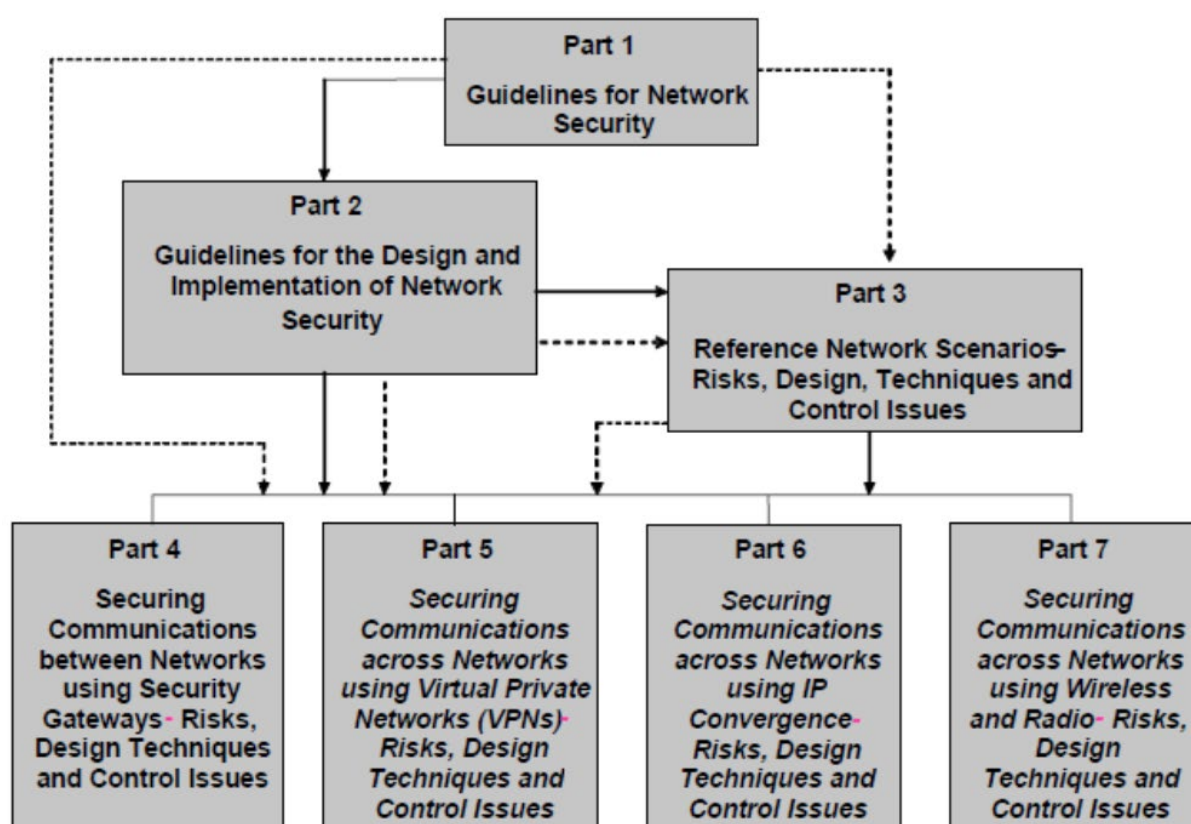
Στον αντικειμενοστραφή προγραμματισμό, χρησιμοποιούνται γραφικές τεχνικές για την περιγραφή των οντοτήτων που χαρακτηρίζονται από ορισμένες ιδιότητες και συμπεριφορές. Η ενοποιημένη γλώσσα μοντελοποίησης (UML) είναι η ευρέως επίσημη γλώσσα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για όλα τα είδη μοντελοποίησης αντικειμένων (μοντελοποίηση πληροφοριών, δεδομένα μοντελοποίησης, κ.λπ.).

- ISO 24156: Περιγράφει την εφαρμογή των συμβόλων UML παρέχοντας ένα προφίλ UML που ορίζεται από το χρήστη για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης εννοιών. Αυτό το προφίλ χρησιμοποιεί ξανά σύμβολα UML ανεξάρτητα από τη κανονική σημασιολογία τους και αναπαριστούν ορολογικά διαγράμματα εννοιών σύμφωνα με τις αρχές του ISO 1087-1 και του ISO 704. Η χρήση των συμβόλων UML δεν έχει σκοπό την αντικατάσταση των παραδοσιακών εννοιολογικών διαγραμμάτων, αλλά προορίζεται να είναι μια εναλλακτική και συμπληρωματική σημειογραφία. Αυτό το μέρος του ISO 24156 στοχεύει να προωθήσει τη χρήση της ανάλυσης εννοιών κατά την ανάπτυξη εννοιολογικών διαγραμμάτων (συμπεριλαμβανομένων των εννοιολογικών μοντέλων), μοντέλων πληροφοριών και μοντέλων δεδομένων.
- ISO 18101 : Για ψηφιακά δίδυμα που περιλαμβάνουν γεωχωρικά δεδομένα, το ISO 18101 παρέχει οδηγίες για την αξιολόγηση της ποιότητας των γεωαναφερόμενων δεδομένων.
- ISO 27001 : Καθορίζει τις απαιτήσεις για δημιουργία, εφαρμογή, παρακολούθηση, συντήρηση και συνεχής βελτίωση της διαχείρισης και της ασφάλειας των πληροφοριών στο πλαίσιο του οργανισμού. Περιλαμβάνει επίσης απαιτήσεις για την αξιολόγηση και την αντιμετώπιση κινδύνων για την ασφάλεια των πληροφοριών προσαρμοσμένων στις ανάγκες της οργάνωσης. Οι απαιτήσεις που ορίζονται στο ISO 27001:2013 είναι γενικές και προορίζεται να εφαρμοστούν σε όλους τους οργανισμούς, ανεξαρτήτως τύπου, μεγέθους ή φύσης τους.
- ISO 27002: Παρέχει συστάσεις βέλτιστης αξιοποίησης, όσον αφορά την διαχείριση της ασφάλειας των πληροφοριών, για χρήση από αυτούς που είναι υπεύθυνοι για την έναρξη, την εφαρμογή ή τη διατήρηση ISMS. Αυτό το πρότυπο περιέχει 14 ρήτρες ελέγχου ασφαλείας, που περιέχουν συνολικά 35 κύριες κατηγορίες ασφαλείας και 113 χειριστήρια. Δίνει οδηγίες για την οργάνωση της ασφάλειας των πληροφοριών καθώς και πρακτικές διαχείρισης ασφαλείας, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής, υλοποίησης και διαχείρισης της λήψης ελέγχων, λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια πληροφοριών σε επικίνδυνο περιβάλλον.
- ISO 27019: Προορίζεται να βοηθήσει οργανισμούς στην ενεργειακή βιομηχανία, να ερμηνεύσει και να εφαρμόσει το ISO/IEC 27002 για την εξασφάλιση ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου πληροφοριών. Η διαχείριση της ασφάλειας παρουσιάζει θεμελιωδώς τις ίδιες προκλήσεις διαχείρισης κινδύνου σε όλα τα πλαίσια, αλλά η φύση σε πραγματικό χρόνο των συστημάτων ελέγχου διεργασιών, η ασφάλεια και η περιβαλλοντική κρισιμότητα κάνουν μερικές από τις προκλήσεις ιδιαίτερα ακραίες για τους οργανισμούς στην ενεργειακή βιομηχανία. Αυτό το

πρότυπο θα παρέχει επομένως πρόσθετες και πιο συγκεκριμένες οδηγίες σχετικά με τις πληροφορίες διαχείρισης ασφάλειας, σε σύγκριση με αυτή που παρέχεται από ISO 27002.

- **ISO 27033:** Η σύνδεση μεταξύ διαφορετικών δικτύων ή ακόμα και μέσα στο ίδιο το δίκτυο, είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την εφαρμογή της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων και αυτό καθιστά απαραίτητη την ασφάλεια του δικτύου κατά το σχεδιασμό, την υλοποίηση, τη διαχείριση και την λειτουργία των συστημάτων. Το ISO 27033 επικεντρώνεται λοιπόν σε αυτό ακριβώς το κομμάτι.

Παρακάτω παρατίθεται ένα σχήμα που απεικονίζει τη λογική του ISO 27033



Εικόνα 12: Δομή του ISO 27033

- **ISO 24772:** Καθορίζει τα τρωτά σημεία του λογισμικού της γλώσσας προγραμματισμού τα οποία θα πρέπει να αποφευχθούν κατά την ανάπτυξη συστημάτων, όπου σίγουρη συμπεριφορά απαιτείται για την ασφάλεια. Γενικότερα αυτός ο κανόνας δεν αφορά σε λογισμικό μηχανικής ή θέματα διαχείρισης αντίθετα επιδιώκει να αποφύγει τη συζήτηση σχετικά με το πού τελειώνει ο σχεδιασμός και ξεκινάει η εφαρμογή, θεραπεύοντας επιλεγμένα ζητήματα που κάποιος μπορεί να εξετάσουν σαν ζητήματα σχεδιασμού παρά ως ζητήματα κωδικοποίησης. Παρέχει στους χρήστες μια γλώσσα προγραμματισμού απαλλαγμένη από τρωτά σημεία.



- ISO 27036: Προσφέρει καθοδήγηση για την αξιολόγηση και την αντιμετώπιση πιθανών κινδύνων, συμπεριλαμβανομένης την απόκτηση αγαθών και πληροφοριών από τους προμηθευτές. Το περιεχόμενο του αφορά τις σχέσεις μεταξύ επιχειρήσεων και είναι το παρακάτω:
  - Υπηρεσίες τεχνητής νοημοσύνης καθώς και λειτουργιών του cloud.
  - Άλλες επαγγελματικές υπηρεσίες όπως: φύλακες, καθαρίστριες, υπηρεσιών συντήρησης, υπηρεσιών παροχής επαγγελματικών συμβουλών, βιομηχανία, logistic και άλλα.
  - Προϊόντα και υπηρεσίες κατά παραγγελία όπου ο αγοραστής ορίζει πλήρως τις απαιτήσεις και συχνά έχει ενεργό ρόλο στην σχεδιασμό του προϊόντος.
  - Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας όπως ηλεκτρική ενέργεια και νερό
- ISO 27035: Οι έλεγχοι ασφάλειας πληροφοριών είναι ατελείς σε διάφορους τομείς: Οι έλεγχοι μπορεί να κατακλυστούν ή να υπονομευτούν (π.χ ικανοί χάκερ, απατεώνες ή κακόβουλο λογισμικό), να αποτυγχάνουν στην υπηρεσία (π.χ. αποτυχίες ελέγχου ταυτότητας), να λειτουργούν μερικώς ή κακώς (π.χ. αργή ανίχνευση ανωμαλίας), ή να είναι ελλιπείς (πχ. δεν έχει (ακόμα) εφαρμοστεί πλήρως, δεν είναι [ακόμα] πλήρως- έτοιμη, ή ακόμη και ποτέ δεν λήφθηκε λόγω αστοχιών κατά τον εντοπισμό και την ανάλυση κινδύνου). Κατά συνέπεια, περιστατικά ασφάλειας πληροφοριών είναι βέβαιο ότι θα συμβούν σε κάποιο βαθμό, ακόμη και σε οργανισμούς που λαμβάνουν την ασφάλεια των πληροφοριών τους εξαιρετικά σοβαρά. Η αποτελεσματική διαχείριση περιστατικών περιλαμβάνει ανίχνευση και ανορθωτικούς χειρισμούς σχεδιασμένους να αναγνωρίζουν και να ανταποκρίνονται σε γεγονότα και συμβάντα, ελαχιστοποιώντας τις αρνητικές επιπτώσεις, συγκεντρώνοντας αποδεικτικά στοιχεία (όπου υπάρχουν) και σε εύθετο χρόνο «μαθαίνοντας τα μαθήματα τους» όσον αφορά την προτροπή βελτιώσεων στο ISMS, συνήθως βελτιώνοντας τους προληπτικούς ελέγχους ή άλλες θεραπείες κινδύνου.

Τα περιστατικά ελλιπής ασφάλειας συνήθως περιλαμβάνουν την εκμετάλλευση προηγούμενων μη αναγνωρισμένων ή και μη ελεγχόμενων ευπαθειών , άρα διαχείριση ευπάθειας (π.χ. εφαρμογή- εισαγωγή σχετικών ενημερώσεων κώδικα ασφαλείας σε συστήματα πληροφορικής και διευθυνσιοδότηση σε αδύναμα σημεία ελέγχου στις επιχειρησιακές και διαχειριστικές διαδικασίες) σημαίνει εν μέρει προληπτικές και εν μέρει διορθωτικές δράσεις.

Περιλαμβάνονται 5 βασικά στάδια στη διαχείριση συμβάντων ασφαλείας:

1. Προετοιμασία για την αντιμετώπιση περιστατικών πχ. προετοιμασία για ένα περιστατικό πολιτικής διαχείρισης και δημιουργία μιας αρμόδιας ομάδας για την αντιμετώπιση περιστατικών.
2. Αναγνώριση και αναφορά περιστατικών ασφάλειας πληροφοριών.
3. Αναγνώριση περιστατικών και λήψη απόφασης για το πως αυτά θα αντιμετωπιστούν .
4. Ανταπόκριση σε περιστατικά , αναγνώριση , έρευνα και αντιμετώπιση τους.

5. Συνειδητοποίηση του τι θα μπορούσε να γίνει καλύτερα κάνοντας ριζικές αλλαγές που βελτιώνουν τη διαδικασία.
- ISO 55000: Ο οργανισμός μπορεί να βελτιώσει τις οικονομικές του επιδόσεις παρακολουθώντας τα στοιχεία της συσκευής του και αναπτύσσοντας ένα πρόγραμμα στρατηγικής συντήρησης. Κατά τη διαδικασία της απόφασης για επένδυση, το κατάλληλο σύστημα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων μπορεί να δει αξιόπιστα δεδομένα και ακόμη να προσομοιώσει αλλαγές περιουσιακών στοιχείων μετά από κάποια νέα επένδυση, πχ. εγκατάσταση νέου εργοστασίου και αντικατάσταση μιας γραμμής παραγωγής. Επιπλέον, μια καλή διαχείριση περιουσιακών στοιχείων μπορεί να παρέχει τις πληροφορίες για τη διαχείριση γνωστών κινδύνων και την ανάλυση πιθανών κινδύνων. Για παράδειγμα, μπορεί να υποδεικνύει και να εκτιμά τα αποτελέσματα κατά τη διαδικασία παραγωγής και να εκτιμά αν αυτή πρέπει να διακοπεί λόγω ατυχημάτων ή αστοχιών του συστήματος. Επιπλέον η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων μπορεί να βοηθήσει στην αύξηση της ικανοποίησης των εργαζομένων καθώς και τη δημόσια φήμη του οργανισμού. Πιο πρακτικά, μια σαφής επίδειξη των περιουσιακών στοιχείων και η κατάστασή τους μπορεί να δείξει συμμόρφωση στις ρυθμιστικές αρχές, που είναι επίσης πολύ σημαντικό θέμα στη συμμόρφωση του ελέγχου ασφαλείας.

Η εισαγωγή των ΨΔ στην κατασκευή κτιρίων επιφέρει επαναστατικές αλλαγές στον τρόπο παρακολούθησης και διαχείρισης των περιουσιακών στοιχείων. Διερευνούμε πως τα οφέλη των ΨΔ κατά την εφαρμογή τους στο κατασκευαστικό κλάδο κτιρίων επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα, την ακρίβεια και την εξερεύνηση επιλόγων στην κατασκευή, από το σχέδιο έως την πράξη. Η χρήση των ΨΔ προσφέρει σημαντικά οφέλη αποδοτικότητας με την βελτιστοποίηση και τον εξορθολογισμό στις υπάρχουσες διαδικασίες μέσω διαδικασιών εισαγωγής δεδομένων. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για χρονοβόρες μεθόδους μοντελοποίησης και μειώνει την ανάγκη για φυσική παρουσία στο εργοτάξιο με συνεπεία την εξοικονόμηση κόστους και πόρων. Επιπλέον, η δυνατότητα απομακρυσμένης προβολής και ανάλυσης της απόδοσης των περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει τον γρήγορο εντοπισμό των περιοχών που απαιτούν προσοχή και επιτρέπει ενημερωμένες εκτιμήσεις κινδύνου και μελλοντικό σχεδιασμό με βάση τις πιο ενημερωμένες διαθέσιμες πληροφορίες.

Η ακρίβεια που παρέχουν τα ΨΔ είναι ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα, καθώς επιτρέπουν την παρακολούθηση και ανάλυση των περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να εντοπίζουν με ακρίβεια περιοχές που απαιτούν άμεση προσοχή, βελτιώνοντας τη συντήρηση και τη λειτουργική απόδοση. Αυτά τα ιστορικά δεδομένα είναι σημαντικά για την βέλτιστη παροχή πληροφοριών και την ορθότερη επιλογή αποφάσεων.

Τα ΨΔ προσφέρουν επίσης προαιρετικές διαδικασίες και εφαρμογές στη λειτουργικότητά τους, επιτρέποντας την προσαρμογή για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών του κλάδου. Για παράδειγμα, ορισμένα μοντέλα ΨΔ αντικατοπτρίζουν παθητικά την κατάσταση των φυσικών περιουσιακών στοιχείων, ενώ άλλα μπορούν ενεργά να κάνουν αλλαγές στα περιουσιακά στοιχεία για να διατηρήσουν τις βέλτιστες συνθήκες. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στα ψηφιακά δίδυμα να παρέχουν



εξειδικευμένες λύσεις για διάφορες βιομηχανίες. Στον κατασκευαστικό κλάδο, αυτά τα οφέλη μεταφράζονται σε αποτελεσματική παρακολούθηση και διαχείριση κτιρίων και συγκροτημάτων. Επιπλέον, δίνουν τη δυνατότητα στους ενδιαφερόμενους να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων, να βελτιστοποιούν τις διαδικασίες συντήρησης και να βελτιώνουν τη συνολική λειτουργική απόδοση, βελτιώνοντας τελικά τα αποτελέσματα του έργου και την απόδοση του κτιρίου.

Η νομοθέτηση και τα πρότυπα λειτουργίας αποτελούν τα δομικά στοιχεία για την διαμόρφωση του κανονιστικού πλαισίου των ΨΔ όπως αυτά θα εφαρμόζονται στις οικοδομικές κατασκευές και στη διαχείριση κτιρίων. Η νέες τεχνολογικές εξελίξεις, όπως IoT, μηχανική μάθηση, τεχνητή νοημοσύνη, blockchain θα είναι άμεσα συνδεδεμένες με την εξέλιξη των ΨΔ. Ωστόσο αυτό είναι πέρα από το θέμα αυτής τη εργασίας.

Οι εξελίξεις σε προηγμένα λογισμικά, σε πρότυπα κατασκευαστικά πλαίσια και τεχνολογικά εργαλεία παρακολούθησης (αισθητήρες) έχουν αλλάξει δραστικά τον τρόπο με τον οποίο η βιομηχανία (αρχιτεκτονική- μηχανική- κατασκευή, AEC) λειτουργεί. Ο τομέας της διαχείρισης των κτιριακών στοιχείων (FM), που παρακολουθεί ολόκληρη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους, και ιδιαίτερα στην αυτοματοποίηση των δραστηριοτήτων τους προσδοκά σε λύσεις για τη βελτίωση της αποδοτικότητας στην εργασία κατά τη φάση Operation and management (O&M).

Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO-41011, 2017), το FM ορίζεται ως «η οργανωτική λειτουργία που ενσωματώνει ανθρώπους, τόπο και διαδικασία μέσα στο δομημένο περιβάλλον με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων και την παραγωγικότητα της βασικής επιχείρησης». Η φάση O&M έχει λάβει μεγάλη προσοχή σε σύγκριση με άλλες φάσεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, από τότε που αντιπροσωπεύει περίπου το 80% του κόστους ολόκληρου του κύκλου ζωής του κτιρίου (P. Cholakakis 2017) και θεωρείται ως το μεγαλύτερο - περίπου 15–25 φορές από το σχέδιο και τις κατασκευαστικές φάσεις (K.O. Roper, et.al., 2014).

Η τοποθεσία, η διαχείριση των εγγραφών O&M και ο συντονισμός διαφορετικών μορφών δεδομένων που λαμβάνονται από διάφορα συστήματα γίνεται ακόμη δυσκολότερος (E.M. Wetzel, et.al. 2015). Ως εκ τούτου, η συμβατική προσέγγιση στα FM που βασίζεται στη χειρωνακτική εργασία μπορεί να υποστεί πολλές ελλείψεις όπως σημαντικός αριθμός σφαλμάτων, χαμένος χρόνος και κόστος και απώλεια δεδομένων. (P. Demian, 2014) Αυτά τα ζητήματα επιβάλλουν μεγάλες προκλήσεις για να διασφαλίσουν την επαρκή διαχείριση και συνεπώς καλή απόδοση του κτιρίου για τους ιδιοκτήτες και τους ενοίκους.

Μέσω εμπειρικών στοιχείων και δεδομένων που καταγράφονται τα ΨΔ μπορούν να αντιμετωπίσουν, με τη βέλτιστη μέθοδο, τις δυσκολίες στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, αλλά και στην προγνωστική συντήρηση, στη λήψη αποφάσεων και στην μείωση κόστους. Ωστόσο, η σύζευξη με τις υπόλοιπες λειτουργίες των ΨΔ και το υψηλό κόστος ενσωμάτωσης εμποδίζουν την ευρύτερη εφαρμογή τους. Τα εμπόδια αυτά υποδηλώνουν την έλλειψη προτύπων και διαδικασιών δια λειτουργικότητας για αντιμετώπιση.

Ως εκ τούτου, ο κλάδος των FM πρέπει να θεσπίσει ένα σύνολο προτύπων/κατευθυντήριων γραμμών για την ασφάλεια, το απόρρητο των δεδομένων και τη διαλειτουργικότητα (E.A. Pärn, et.al. 2017). Σε περιπτώσεις, όπως στις ΗΠΑ που το κόστος φτάνει τα 50.000 \$ για την αντιμετώπιση πολιτιστικών, ηθικών και νομικών ζητημάτων, δημιουργείται ένα αποθαρρυντικό εμπόδιο τους πιθανούς πελάτες των ΨΔ. Η μετάβαση σε προηγμένα συστήματα είναι σημαντικό δοκιμαστικό πεδίο εκτός από την προ απαιτούμενη επαλήθευση, η οποία εξετάζει τη συμβατότητα διαφορετικών μορφών δεδομένων με το κανονιστικό πλαίσιο.

Είναι σημαντικό να έχουμε μια εικόνα για τις τρέχουσες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανάπτυξη ΨΔ στη κατασκευή και στα δίκτυα σωληνώσεων. Στον τομέα των κατασκευαστικών έργων, η επιτυχής εφαρμογή των ΨΔ συνοδεύεται από το μερίδιο των προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστικές εταιρείες. Αυτή η ενότητα εμβαθύνει στις κύριες προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν κατά την ενσωμάτωση ψηφιακών δίδυμων στην κατασκευή.

Πρώτον, οι κατασκευαστικές εταιρείες ενδέχεται να αντιμετωπίσουν έλλειψη συμβατικής ενημέρωσης όταν υιοθετούν ψηφιακά δίδυμα. Η κατανόηση της περιπλοκότητας των συμβολαίων είναι απαραίτητη σε κάθε κατασκευαστικό έργο και η εισαγωγή μίας νέας τεχνολογίας όπως τα ΨΔ μπορεί να αλλάξει σημαντικά τις καθιερωμένες διαδικασίες. Ωστόσο, διατηρώντας ένα ολοκληρωμένο αρχείο του πεδίου εφαρμογής του έργου και των βασικών προδιαγραφών του πελάτη μπορούν να διευκολύνουν την τήρηση των απαιτήσεων του κτιρίου, διασφαλίζοντας την αμοιβαία κατανόηση μεταξύ όλων των εμπλεκόμενων παρατάξεων.

Μια κοινή πρόκληση που αντιμετωπίζουν οι κατασκευαστικές εταιρείες είναι η έλλειψη επάρκειας στην αποτελεσματική αξιοποίηση δεδομένων. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως δυσκολίες στην απόκτηση ουσιαστικών συμπερασμάτων από δεδομένα, διαφορές μεταξύ συστημάτων διαχείρισης δεδομένων και πληροφοριών (IT), απαρχαιωμένη η ελλιπής τεχνολογία και ανεπαρκή πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η υιοθέτηση λύσεων, το οποίο ενσωματώνεται άψογα με άλλες ροές δεδομένων, μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και στον εξορθολογισμό της χρήσης δεδομένων.

Επιπλέον, η μετάβαση σε συστήματα Building Information Modelling (BIM) αποτελεί ένα ακόμη εμπόδιο για τις κατασκευαστικές εταιρείες. Πολλές εταιρείες εξακολουθούν να βασίζονται στην φθηνότερη τεχνολογία του δισδιάστατου σχεδιασμού για κρίσιμα έργα και η υιοθέτηση του BIM απαιτεί την ενσωμάτωση πιο εξελιγμένης τρισδιάστατης τεχνολογίας, σε αύλου και υλικού εξοπλισμού και επίσης εκπαίδευση προσωπικού σε νέα σύνολα δεξιοτήτων για μοντελοποίηση και την εξειδίκευση σε διαφορετικά συστήματα.

Ακόμα, ορισμένα κατασκευαστικά έργα δεν διαθέτουν δομημένες διαδικασίες ανταλλαγής δεδομένων και επίλυσης προβλημάτων, γεγονός που καθιστά την ενσωμάτωση των ψηφιακών δίδυμων ένα επιπλέον εμπόδιο για τους ενδιαφερόμενους. Ωστόσο, η εφαρμογή ψηφιακών δίδυμων μπορεί να ξεπεράσει αυτήν την πρόκληση εγκαθιστώντας μια ενιαία πηγή έγκυρων και έγκαιρων πληροφοριών, διασφαλίζοντας την ευθυγράμμιση μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων,

συμπεριλαμβανομένων των εργολάβων, των επιθεωρητών και των πελατών, καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου.

Τέλος όπως προαναφέρθηκε, οι οικονομικές απαιτήσεις μπορεί επίσης να προβληματίσουν τις κατασκευαστικές εταιρείες που σκέπτονται τον ψηφιακό μετασχηματισμό. Η αρχική επένδυση σε ψηφιακά δίδυμα μπορεί να αντιμετωπιστεί με απροθυμία λόγω ανταγωνιστικών δημοσιονομικών απαιτήσεων. Ωστόσο, η σημαντική εξοικονόμηση πόρων που προκύπτουν από τη μειωμένη επανεπεξεργασία, τη βελτιωμένη συνεργασία και τα ελαχιστοποιημένα έξοδα ταξιδιού θα δικαιολογήσουν περισσότερο από τα μακροπρόθεσμα οφέλη από την υιοθέτηση ψηφιακών διδύμων σε κατασκευαστικά έργα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Φράγμα Αποσελέμη

### 3.1 Γενικές πληροφορίες.



Εικόνα 13: Φωτογραφία του φράγματος

Το φράγμα του Αποσελέμη στη περιοχή του Αγίου Νικολάου, Νότια Κρήτης που είναι και ελληνικό παράδειγμα σύγχρονου έργου υποδομής, το οποίο μπορεί να γίνει πρότυπο εφαρμογής ΨΔ. Το 2006 υπογράφηκε μία σύμβαση με τίτλο έργου «Υδρευση Ηρακλείου – Αγ. Νικολάου από το φράγμα Αποσελέμη – Εργασίες εκτροπής μεταφοράς υδάτων και κατασκευής αγωγών και διωλιστηρίων» με σκοπό την κάλυψη των αναγκών ύδρευσης των νομών Ηρακλείου και Αγίου Νικολάου. Η κατασκευή του φράγματος Αποσελέμη ολοκληρώθηκε το 2012 και βρίσκεται 1.2χλμ. νοτιοδυτικά από τις Ποταμιές Ηρακλείου, συνολικά 30km ανατολικά του Ηρακλείου. Η χωρητικότητα του ανέρχεται στα 27,3 εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Η κατασκευή του φράγματος Αποσελέμη περιλαμβάνει τη δημιουργία χωμάτινου φράγματος ύψους 62,5 μέτρων και ανώτατο όριο στάθμης τα 221 μέτρα. Ο ταμιευτήρας του Φράγματος Αποσελέμη υδροδοτεί το υδραγωγείο Ηρακλείου σε έκταση 74 χιλ., έξι δήμους και 19 οικισμούς. Η έκταση επιφάνειας είναι 1928 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με πλάτος βάσης 320 μέτρα, μήκος στέψης, 660 μέτρα, όγκο αναχώματος 3.500.000 κυβικά μέτρα και όγκο ταμιευτήρα 27.300.000 κυβικά μέτρα[6].

Ο ταμιευτήρας του φράγματος Αποσελέμη σε καθημερινή βάση γεμίζει με 500.000 κυβικά μέτρα νερού. Σε περίπτωση έντονων βροχοπτώσεων ο ταμιευτήρας του φράγματος υπερχειλίζει. Για παράδειγμα το 2020 το συγκεκριμένο φράγμα είχε υπερχειλίσει δυο φορές, συγκρατώντας πάνω από 6 εκ. κυβικά μέτρα νερού επιπλέον.

Το δίκτυο άρχισε να λειτουργεί το 2015 και από τότε το φράγμα καλύπτει μέρος των αναγκών ύδρευσης των υδροδοτούμενων πόλεων του Ηρακλείου, της Χερσονήσου και του Αγ. Νικολάου. Το έργο περιλαμβάνει τον αγωγό μεταφοράς νερού από το Φράγμα έως την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Νερού (EEN), την κτιριακή υποδομή της εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού (EEN), το υδραγωγείο από την EEN μέχρι το

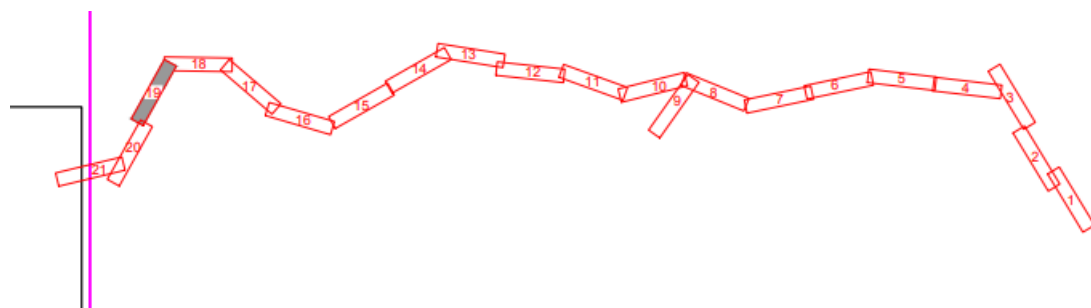
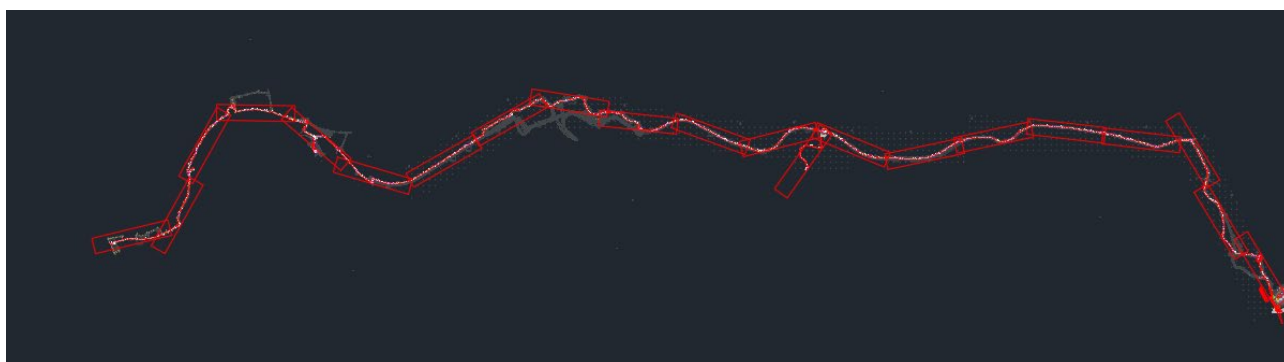
ΓΟΥΜΕΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Ηράκλειο, και το αντίστοιχο υδραγωγείο από την ΕΕΝ μέχρι τον Άγιο Νικόλα. Για την κατασκευή διατήρηση και λειτουργία του έργου ο αρμόδιος φορέας ονομάζεται Οργανισμός Ανάπτυξης Κρήτης (ΟΑΚ). (Ζαφειρόπουλος 2020)

### 3.2 Σχέδια Δικτύου και πηγές δεδομένων.

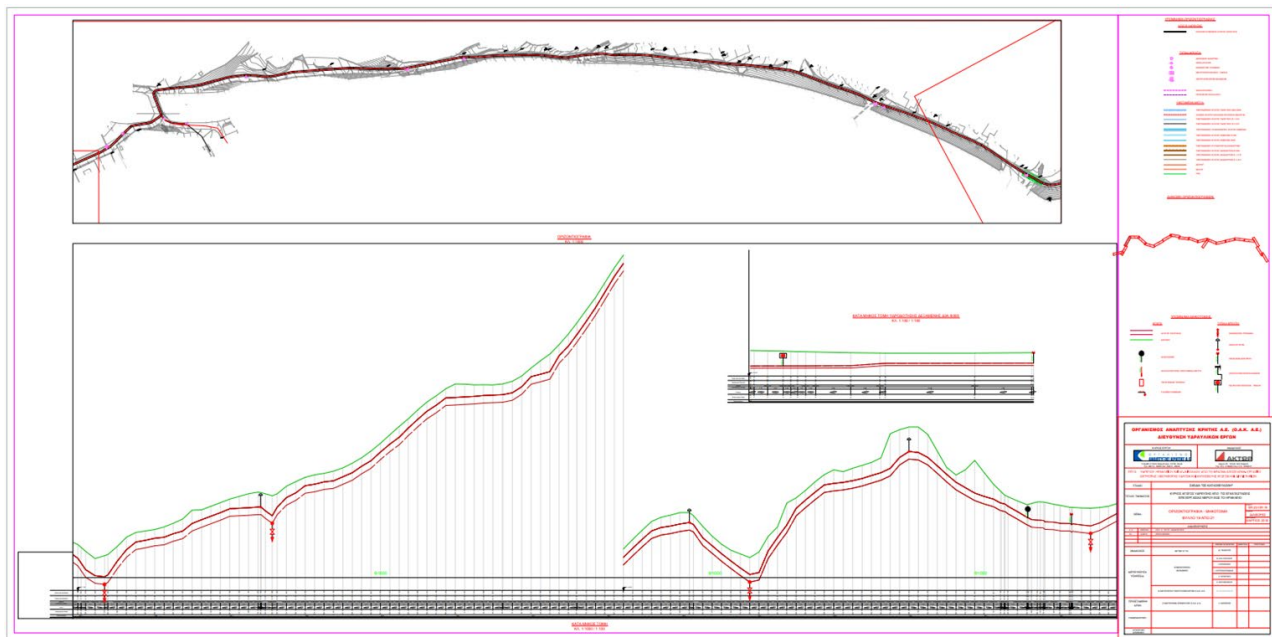
Έπειτα από επικοινωνία με τους μηχανικούς του φράγματος, καθώς και με συναδέλφους που ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο θέμα παλαιότερα, καταφέραμε να αποκτήσουμε σχέδια και μετρήσεις του φράγματος που μας ήταν απαραίτητα για τη διεκπεραίωση της εργασίας.

Παρακάτω δίδεται το συνολικό σχέδιο του φράγματος το οποίο περιέχει τον κύριο αγωγό καθώς και τις διακλαδώσεις του.



Εικόνα 14,15 : Σχέδια του φράγματος στο AutoCAD με επιμέρους τμήματα.

Στη συνέχεια το σχέδιο χωρίζεται σε 21 επιμέρους κομμάτια, για κάθε ένα από τα οποία έχουν δοθεί τα σχέδια σε μορφή pdf καθώς και σε dwg. Παρακάτω παρατίθεται το part9 πάνω στο οποίο βρίσκεται και η διακλάδωση του φράγματος στην οποία έχουμε επιλέξει να κάνουμε την ανάλυση μας.



Εικόνα 16 : Τμήμα 9 σχεδίου του φράγματος

Στο πάνω κομμάτι μπορεί κανείς να δει την οριζοντιογραφία ενός τμήματος του φράγματος, δηλαδή μια κάτοψη του συγκεκριμένου σημείου, η οποία περιέχει διάφορα τοπογραφικά σχέδια με το τι βρίσκεται περιμετρικά από το συγκεκριμένο τμήμα.

Από την άλλη στο κάτω τμήμα διακρίνεται η μηκοτομή του φράγματος από την οποία μας παρέχονται δεδομένα σχετικά με τα υψομετρικά του κάθε σημείου. Όπως γίνεται αντιληπτό κατά μήκος του υδραυλικού δικτύου το υψόμετρο του εδάφους αυξομειώνεται το ίδιο και του αγωγού με αποτέλεσμα στα σημεία με την απότομη μεταβολή να ασκούνται ισχυρότερες δυνάμεις πίεσης από το ρευστό οι οποίες σε συνδυασμό και με την μορφολογία του αγωγού στα συγκεκριμένα σημεία καθιστούν πιθανότερη την δημιουργία κόπωσης.

Στα δεξιά του σχεδίου βρίσκεται στην πάνω μεριά το υπόμνημα της οριζοντιογραφίας όπου επεξηγείται ο κατασκευασμένος αγωγός ύδρευσης, τα υφιστάμενα δίκτυα και τα τυπικά φρεάτια ενώ στην κάτω μεριά συναντάμε το υπόμνημα της μηκοτομή όπου υπάρχει ο συμβολισμός για τους αγωγούς και τα τυπικά φρεάτια.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣΑΓΩΓΟΙ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ

ΤΥΠΙΚΑ ΦΡΕΑΤΙΑ

ΔΙΚΛΕΙΔΩΝ ΔΙΑΚΟΠΗΣ



ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΩΝ



ΕΚΚΕΝΩΤΩΝ ΠΥΘΜΕΝΑ



ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ - ΠΙΕΣΗΣ



ΑΝΤΙΠΛΗΓΜΑΤΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ



ΑΠΑΛΛΟΤΡΙΩΣΗ



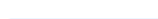
ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΚΑΤΑΛΗΨΗ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ ΜΑΛΛΙΩΝ



ΑΞΟΝΑΣ ΑΓΩΓΟΥ ΜΑΛΛΙΩΝ ΟΡΙΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ  $\Phi > 315$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ  $\Phi \leq 315$ 

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΠΛΑΚΟΣΚΕΠΗΣ ΑΓΩΓΟΣ ΟΜΒΡΙΩΝ



ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΟΜΒΡΙΩΝ D1400



ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΟΜΒΡΙΩΝ D400



ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΡΑΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi 1000$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi > 315$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi \leq 315$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi \leq 315$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi > 315$ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΣ ΑΓΩΓΟΣ ΑΚΑΘΑΡΤΩΝ  $\Phi \leq 315$ 

ΔΕΗ ΜΤ



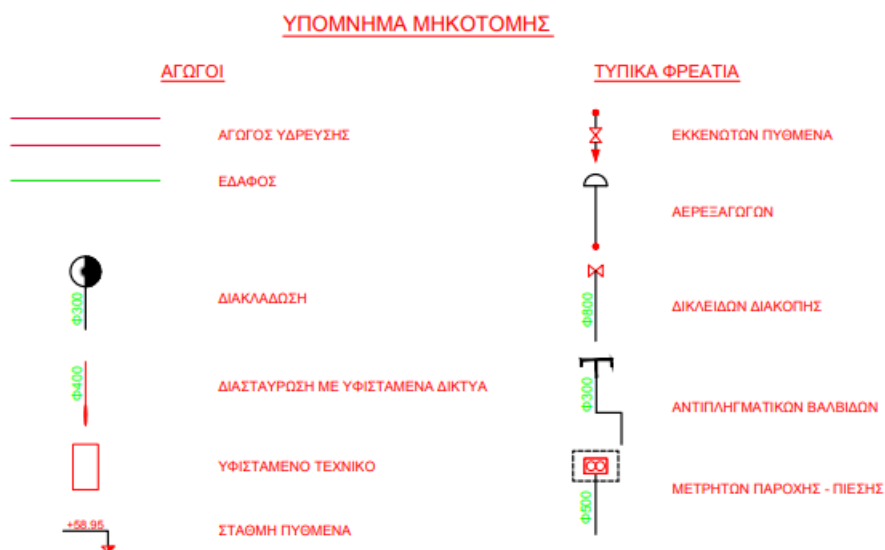
ΔΕΗ ΧΤ



ΟΤΕ







Εικόνα 17 : Υπομνήματα

Εδώ θα θέλαμε να κάνουμε μία αναφορά στην Πτυχιακή της κας Μπόβολου πάνω στην οποία έχουμε βασιστεί και έχουμε αντλήσει κάποιες απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία του ΨΔ και του δικτύου γενικότερα.

Η προαναφέρουσα εργασία εστιάζει στην ανάπτυξη ενός ψηφιακού διδύμου (ΨΔ) για το δίκτυο υδροδότησης που εκτείνεται από το φράγμα Αποσελέμη έως το Ηράκλειο. Σκοπός της εργασίας είναι η δημιουργία μίας ρεαλιστικής ψηφιακής απεικόνισης του δικτύου, η οποία θα δύναται να προσομοιώνει με ακρίβεια τη λειτουργία του πραγματικού δικτύου.

Η υλοποίηση του ΨΔ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ανοιχτού κώδικα EPANET. Το EPANET αποτελεί ένα δημοφιλές εργαλείο για την προσομοίωση της υδραυλικής συμπεριφοράς και της ποιότητας του νερού σε υδραυλικά δίκτυα.

Βασικά βήματα υλοποίησης:

- Ψηφιακή αναπαράσταση: Το δίκτυο υδροδότησης ψηφιοποιήθηκε με λεπτομέρεια, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα δομικά στοιχεία, όπως αγωγοί, κόμβοι, αντλίες, δεξαμενές κ.λπ.
- Εισαγωγή δεδομένων: Συλλέχθηκαν και εισήχθησαν στο ΨΔ πραγματικά δεδομένα, όπως παροχές, πιέσεις, υψομετρικές διαφορές, κ.λπ.
- Ανάλυση και βαθμονόμηση: Το ΨΔ βαθμονομήθηκε με βάση πραγματικές μετρήσεις, διασφαλίζοντας την ακρίβεια των προσομοιώσεων.

### Δυνατότητες και οφέλη:

- Εντοπισμός περιοχών με υψηλή πίεση: Το ΨΔ δύναται να εντοπίσει σημεία του δικτύου όπου η πίεση υπερβαίνει τα επιτρεπτά όρια, θέτοντας σε κίνδυνο την ακεραιότητα του δικτύου.
- Πρόβλεψη πιέσεων: Το ΨΔ μπορεί να προβλέψει τις πιέσεις σε μη προσβάσιμα σημεία του δικτύου, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τη διαχείριση του δικτύου.
- Προληπτική συντήρηση: Το ΨΔ μπορεί να αξιοποιηθεί για τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων πριν αυτά εκδηλωθούν, επιτρέποντας την έγκαιρη και αποτελεσματική συντήρηση του δικτύου.
- Βελτιστοποίηση λειτουργίας: Το ΨΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου, μειώνοντας το κόστος λειτουργίας και αυξάνοντας την αποδοτικότητα.

Συμπερασματικά, η δημιουργία και η χρήση ενός ΨΔ για το δίκτυο υδροδότησης Αποσελέμη στο Ηράκλειο προσφέρει σημαντικά οφέλη. Το ΨΔ αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την αποτελεσματική διαχείριση του δικτύου, συμβάλλοντας στην πρόληψη προβλημάτων, στην εξοικονόμηση πόρων και στη βελτίωση της ποιότητας του παρεχόμενου νερού. Γι' αυτό και το δίκτυο αποσελέμη αποτελεί ένα χρήσιμο παράδειγμα για την υλοποίηση ΨΔ σε δίκτυα υδροδότησης.

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα

Τα Ψηφιακά Δίδυμα (ΨΔ) σε έργα υποδομών προσφέρουν οφέλη σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου, από τον σχεδιασμό και την κατασκευή έως τη λειτουργία και τη συντήρηση. Βελτιώνουν την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα των έργων και παρέχουν μια ρεαλιστική ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού έργου, επιτρέποντας προσομοιώσεις και ανάλυση δεδομένων.

Το υφιστάμενο κανονιστικό πλαίσιο για τα ΨΔ σε έργα υποδομών είναι κατακερματισμένο και ελλιπές. Υπάρχουν διάφορα πρότυπα και κατευθυντήριες γραμμές που καλύπτουν διάφορες πτυχές των ΨΔ, αλλά δεν υπάρχει μια ενιαία, ολοκληρωμένη προσέγγιση. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σε εφαρμογή διάφορες πρωτοβουλίες για την προώθηση της υιοθέτησης των ΨΔ, όπως το πρόγραμμα Horizon 2020.

Η Διεθνής Οργάνωση Τυποποίησης (ISO) έχει αναπτύξει μια σειρά από πρότυπα για τα ΨΔ, όπως το ISO 19863-1:2020 και το ISO 23247-1:2020. Τα πρότυπα ISO παρέχουν ένα κοινό πλαίσιο για την ανάπτυξη και τη χρήση ΨΔ. Η υιοθέτηση των προτύπων ISO μπορεί να συμβάλει στην ομοιομορφία και τη διαλειτουργικότητα των ΨΔ.

Απαιτείται ένα πιο ολοκληρωμένο κανονιστικό πλαίσιο για τα ΨΔ σε έργα υποδομών. Η Ευρωπαϊκή Ένωση και οι εθνικές κυβερνήσεις πρέπει να συνεργαστούν για να αναπτύξουν ένα σαφές και συνεκτικό κανονιστικό πλαίσιο. Η υιοθέτηση των προτύπων ISO πρέπει να ενθαρρύνεται για να διασφαλιστεί η ομοιομορφία και η διαλειτουργικότητα των ΨΔ. Είναι απαραίτητη η ανάπτυξη δεξιοτήτων και εκπαίδευσης για την προώθηση της υιοθέτησης των ΨΔ.

Συμπέρασμα; Τα ΨΔ έχουν τη δυνατότητα να μεταμορφώσουν τον τομέα των έργων υποδομών. Για να γίνει όμως κάτι τέτοιο απαιτείται ένα ευνοϊκό κανονιστικό πλαίσιο και η υιοθέτηση προτύπων για να αξιοποιηθούν πλήρως τα οφέλη των ΨΔ.

## Κεφάλαιο 6ο : Βιβλιογραφία

Διπλωματική κας Διονυσίας Μπόβολου: (2022) «Ανάλυση υδραυλικού δικτύου υπό πίεση με χρήση τεχνολογίας ψηφιακών διδύμων» <https://dias.library.tuc.gr/view/94126>

Security\_Standards\_White\_Paper\_for\_Sino\_German\_I40\_IM.pdf

«Knowledge-based Digital Twin Model Evolution Management Method for Mechanical Products» <https://ieeexplore.ieee.org/document/9540181>

Menglei Zheng and Ling Tian (2021) ‘Knowledge-based Digital Twin Model Evolution Management Method for Mechanical Products’, 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI) [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1109/DTPI52967.2021.9540181>

Tadele Belay Tuli et al. (2021) ‘Knowledge-Based Digital Twin for Predicting Interactions in Human-Robot Collaboration’, IEEE [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1109/ETFA45728.2021.9613342>

Tadele Belay Tuli et al. (2022) ‘A knowledge graph based construction method for Digital Twin Network’, IEEE [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1109/DTPI52967.2021.9540177>

Yi Qin, Xingguo Wu, and Jun Luo (no date) ‘Data-Model Combined Driven Digital Twin of Life-Cycle Rolling Bearing’, IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(3), pp. 1941–0050. Available at: <https://doi.org/10.1109/TII.2021.3089340>

PBC today (2023) ‘What is the role of digital twins in construction?’, pbc today online, March. Available at: <https://www.pbctoday.co.uk/news/digital-construction/challenges-benefits-future-technology-digital-twins-in-construction/121958/>

M.batty (2018) ‘Digital twins Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science’, (45), p.817-820, Available at: <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>

M. Schluse et al. (2018) ‘Experimentable digital twins—streamlining simulation-based systems engineering for industry 4.0’, IEEE Transactions on Industrial Informatics, (14), pp. 1722–1731. Available at: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2804917>

Anderl, S.H.R. (2018) ‘Digital twin – proof of concept’, Manufacturing Letters, (15), pp. 64–66. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006>

E.A. Patterson., Bankhead M. and R.J. Taylor (2016) ‘Aframework for an integrated nuclear digital environment’, Prog. Nucl. Energy, (87), pp. 97–103. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2015.11.009>

K. Ding, H. Shi, J. Hui, Y. Liu, B. Zhu, F. Zhang, W. Cao (2018) ‘Smart steel bridge construction enabled by BIM and Internet of Things in industry 4.0: a framework’, IEEE, IEEE 15th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2018.8361339>

TEAM COGNITE (Feb 2023) ‘Open Industrial Digital Twin’. Available at: <https://www.cognite.com/en/blog/open-industrial-digital-twin#unpacking-the-operational-digital-twin>

Jianfeng Zhao et al. (2022) ‘Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes’, Journal of Building Engineering, 49(104028), p. 3. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2022.104028>

Singh, M. et al. (2021) ‘Digital Twin: Origin to Future’, Appl. Syst. Innov., 4(36). Available at: <https://doi.org/10.3390/asi4020036>

Mosca, E.I., Capolongo, S. (2020). Universal Design-Based Framework to Assess Usability and Inclusion of Buildings. In: Gervasi, O., et al. Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020. ICCSA 2020. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12253. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_22)

Jansson, G., Johnsson, H. and Engström, D., 2014. Platform use in systems building. Construction management and economics, 32(1-2), pp.70-82.  
Ζαφειρόπουλος Α.Ε. 2017 Υπηρεσίες Ασφάλειας & Ελέγχου. Φράγμα Αποσελέμη Ηρακλείου Κρήτης.  
<https://zarifopoulos.com/portfolio/security-systems-aposelemis/>

Q. Qi and T. Hu et.al. (2021) ‘Enabling technologies and tools for digital twin’, (58), pp. 3–21. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>

Rafael Sacks et al. (2020) ‘Construction with digital twin information systems.’, Cambridge university Press [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1017/dce.2020.16>

‘What Trends to Expect in the PropTech Industry in 2023’ (2023). Available at: <https://proptechvc.com/blog/proptech-industry-trends-2023>

Obinna C. Madubuike, Chimay J. Anumba, and Rana Khallaf (2022) ‘A REVIEW OF DIGITAL TWIN APPLICATIONS IN CONSTRUCTION’. Available at: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.008>

Shu Tang, Dennis R., and Xinghua Gao (2019) ‘A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends’, 101, pp. 127–139. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>



Mohamed Nour El-Din et al. (2022) ‘Digital Twins for Construction Assets Using BIM Standard Specifications’, *Buildings*, 12(22), p. 2155. Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings12122155>

Kai Wang, Yamin Wang, and Yizheng Li (2022) ‘A review of the technology standards for enabling digital twin’. Available at: <https://digitaltwin1.org/articles/2-4>

Arup (no date) ‘Digital twins’. Available at: <https://www.arup.com/services/digital/digital-twin>.

The Apollo Protocol: unifying digital twins across sectors published by the Institution of Engineering and Technology (IET) <https://www.theiet.org/media/10434/the-apollo-protocol-unifying-digital-twins-across-sectors.pdf>

Kapteyn MG and Willcox KE (2021) ‘Predictive Digital Twins: Where Dynamic Data- Driven Learning Meets Physics-Based Modeling.’, Springer Cham, (232), pp. 1–13. Available at: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-61725-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61725-7_1)

Kai Wang, Yamin Wang, and Yizheng Li (2022) ‘A review of the technology standards for enabling digital twin’. Available at: <https://digitaltwin1.org/articles/2-4>

Simmons+Simmons (2022) ‘Digital twins: a new frontier’, June. Available at: <https://www.simmons-simmons.com/en/publications/cl4y3j6t419y60a941c9isvys/digital-twins-a-new-frontier>

K.O. Roper, R. Payant, (2014), *The Facility Management Handbook*, Amacom.  
E.M. Wetzel, W.Y. Thabet, (2015) The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes, *Autom. Construct.* 6 12–24, Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580515001971>

P. Demian, D. Walters, (2014) The advantages of information management through building information modelling, *Construct. Manag. Econ.* 32 (12) 1153–1165. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2020.106282>

International Organisation for Standardisation, ISO 41011: facility management—vocabulary  
<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/68167/3bec41b3c6a64fd881b735dd3ec1ae74/ISO-41011-2017.pdf> 2017

ISO 23247-1; 2021 Automation Systems and Integration—Digital Twin Framework for Manufacturing—Part 1: Overview and General Principles. ISO: Geneva, Switzerland.

« Review of Computational Mechanics, Optimization, and Machine Learning Tools for Digital Twins Applied to Infrastructures» [https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/11997?fbclid=IwAR2DiD3O\\_UOrbcf-czOkoT5dweNoGJoRcBwWot30F9KHh93MIhBORhn9yLw](https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/11997?fbclid=IwAR2DiD3O_UOrbcf-czOkoT5dweNoGJoRcBwWot30F9KHh93MIhBORhn9yLw)

«Study of Fatigue Fractography of Mild Steel Used in Automotive Industry»  
[https://www.researchgate.net/publication/331801986\\_Study\\_of\\_Fatigue\\_Fractography\\_of\\_Mild\\_Steel\\_Used\\_in\\_Automotive\\_Industry#pf4](https://www.researchgate.net/publication/331801986_Study_of_Fatigue_Fractography_of_Mild_Steel_Used_in_Automotive_Industry#pf4)

«Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 1: Overview and general principles »  
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:23247:-1:ed-1:v1:en>

Διπλωματική εργασία κ Τριαδά Δίπλα:  
[https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/55278/thesis\\_dipla.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/55278/thesis_dipla.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

«Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries»  
<https://www.iso.org/standard/70303.html>

«ISO 8000: the international data quality standard»  
<https://www.koiosmasterdata.com/wp-content/uploads/2020/01/IOGP-CFIHOS-knowledge-sharing-presentation-ISO-8000-Peter-Eales-20120124.pdf>

«Automation systems and integration — Digital twin framework for manufacturing —» [http://www.haopipe.com/upLoad/news/month\\_1311/201311282349251738.pdf](http://www.haopipe.com/upLoad/news/month_1311/201311282349251738.pdf)

«Digital Twin» <https://www.esri.com/en-us/digital-twin/overview>

«3D DIGITAL TWIN»  
<https://arrival3d.com/digital-twin/>

«A review of the technology standards for enabling digital twin»  
[https://www.researchgate.net/publication/359518803\\_A\\_review\\_of\\_the\\_technology\\_standards\\_for\\_enabling\\_digital\\_twin\\_version\\_1\\_peer\\_review\\_awaiting\\_peer\\_review\\_Digital\\_Twin/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/359518803_A_review_of_the_technology_standards_for_enabling_digital_twin_version_1_peer_review_awaiting_peer_review_Digital_Twin/figures?lo=1)

«How to Create a Digital Twin»  
<https://www.resonai.com/blog/how-to-create-a-digital-twin>

«Digital Twin Use Cases and Applications»<https://softengi.com/blog/use-cases-and-applications-of-digital-twin/>

«What is the comprehensive digital twin?»  
<https://blogs.sw.siemens.com/xcelerator/2022/02/09/what-is-the-comprehensive-digital-twin/>

<https://www.costain.com/news/news-releases/costain-s-strategic-partnership-with-microsoft-helping-to-deliver-capex-and-opex-savings-to-anglian-water/>

«A review of the technology standards for enabling digital twin»  
<https://digitaltwin1.org/articles/2-4>

## Βιβλιογραφία Εικονών

Εικόνα 1: <https://www.resonai.com/blog/how-to-create-a-digital-twin>

Εικόνα 2: <https://softengi.com/blog/use-cases-and-applications-of-digital-twin/>

Εικόνα 3: <https://www.esri.com/en-us/digital-twin/overview>

Εικόνα 4 : <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/auto-2021-0104/html>

Εικόνα 5 : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045794920300857>

Εικόνα 6 : <https://www.aecbytes.com/feature/2022/SmartBRIDGE-Hamburg.html>

Εικόνα 7 : <https://www.cognite.com/en/blog/open-industrial-digital-twin#unpacking-the-operational-digital-twin>.

Εικόνα 8: <https://blogs.sw.siemens.com/xcelerator/2022/02/09/what-is-the-comprehensive-digital-twin/>

Εικόνα 9: <https://www.costain.com/news/news-releases/costain-s-strategic-partnership-with-microsoft-helping-to-deliver-capex-and-opex-savings-to-anglian-water/>

Εικόνα 10: <https://digitaltwin1.org/articles/2-4>

Εικόνα 11 : <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:23247:-1:ed-1:v1:en>

Εικόνα 13 : <https://www.ergotaxiaka.gr/kataskeyi-toy-fragmatos-aposelemi/>

Εικόνες 14-18 από αρχείο μηχανικών του φράγματος