



**Πολυτεχνείο Κρήτης**

**Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης**

---

*Ψηφιακά δίδυμα και εφαρμογή αυτών σε τμήμα υδραυλικού δικτύου  
με σκοπό την πρόβλεψη μελλοντικών αστοχιών.*

*Digital twins and application of them in part of hydraulic net for the  
prediction of future failures.*

---

Διπλωματική Εργασία

ΓΟΥΜΕΝΑΚΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ

Χανιά, Δεκέμβριος 2023

Copyright Ελευθέριος Γουμενάκης, 2023  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μηχανικούς του φράγματος για τις πληροφορίες που μας έδωσαν, τη συνάδελφο κα Μπόβολου η οποία στην διπλωματική της εργασία πραγματοποίησε τη μελέτη από την οποία προέκυψαν οι πιέσεις στις οποίες βασιστήκα και πάνω από όλους τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρουλάκη για την βοήθεια του καθώς και για την υπομονή και την κατανόηση που μας έδειξε.

## Περίληψη:

Σκοπός αυτής της 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.

Βασικό αντικείμενο και παράδειγμα εφαρμογής των μεθόδων της εργασίας αποτελεί το Φράγμα Αποσελέμη και συγκεκριμένα ο αγωγός ο οποίος ενώνει αυτό με το Ηράκλειο και τις γύρω περιοχές τις οποίες τροφοδοτεί. Το φράγμα αυτό έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης προηγούμενων φοιτητών και αποτελέσματα δικά τους θα χρησιμοποιήσουμε εμείς προκειμένου να ελέγξουμε την πιθανότητα ένα συγκεκριμένο σημείο πάνω στον αγωγό να παρουσιάσει κάποιο σφάλμα με την πάροδο του χρόνου. Για την πραγματοποίηση της μελέτης θα χρησιμοποιήσουμε δεδομένα πιέσεων που έχουν προκύψει από την ανάλυση που έχει πραγματοποιήσει συνάδελφος μας στο Epanet χρησιμοποιώντας δεδομένα παροχών που δόθηκαν από τους μηχανικούς του Φράγματος. Κατάλληλο πρόγραμμα για την εκτέλεση της ανάλυσης τάσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων ορίστηκε το Simscape το οποίο είναι ιδανικό για τέτοιας μορφής προβλήματα και παρέχει δωρεάν αναγνωριστική χρήση στους υποψήφιους συνδρομητές του για την διεκπεραίωση των πρώτων προσομοιώσεων.

Ολοκληρώνοντας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, λαμβάνοντας υπόψιν τα διαγράμματα Τάσης / διάρκεια ζωής, που περιγράφουν το φαινόμενο της κόπωσης για το υλικό από το οποίο αποτελείται ο αγωγός.

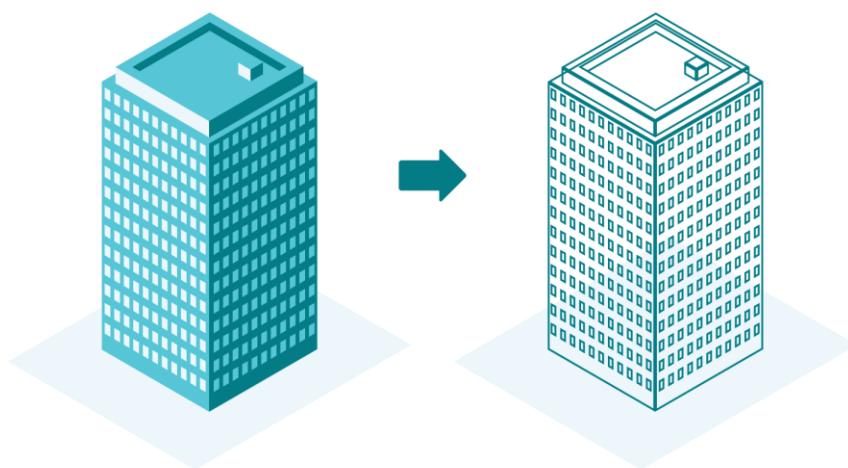
## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περίληψη.....	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ψηφιακά δίδυμα</b>	
1.1 Εισαγωγή στα ψηφιακά δίδυμα .....	5
1.2 Απόκτηση και ανάλυση δεδομένων.....	8
1.3 Χρήση μοντέλων τρισδιάστατης αναπαράστασης σε ΨΔ από φυσικό πρωτότυπο.....	9
1.4 Η ενσωμάτωση των ψηφιακών διδύμων σε μεγαλύτερα μοντέλα.....	11
1.5 Βιομηχανία και ψηφιακά δίδυμα .....	13
1.6 Ψηφιακά δίδυμα και συστήματα σωληνώσεων .....	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Φράγμα Αποσελέμη</b>	
2.1 Γενικές πληροφορίες .....	15
2.2 Σχέδια Δικτύου και πηγές δεδομένων.....	16
2.3 Δομή και τρόπος λειτουργίας.....	19
2.4 Ανάλυση των Ιδιοτήτων των Σιδηροσωλήνων για Ύδρευση .....	20
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Σχεδιασμός</b>	
3.1 Διαγράμματα Τάσης/κύκλων .....	24
3.2 SIMSCALE .....	25
3.3 Ανάλυση μέσω προγράμματος SIMSCALE.....	28
3.4.1 Περίπτωση χρήσης του Σωλήνα για αποθήκευση ενέργειας (Αντλιοσταμείωση).....	36
3.4.2 Οφέλη ενός συστήματος αντλιοσταμείωσης στην Κρήτη.....	37
3.5 Τεχνικά χαρακτηριστικά σωλήνα .....	38
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συμπεράσματα.....</b>	<b>41</b>
<b>Βιβλιογραφία</b>	

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

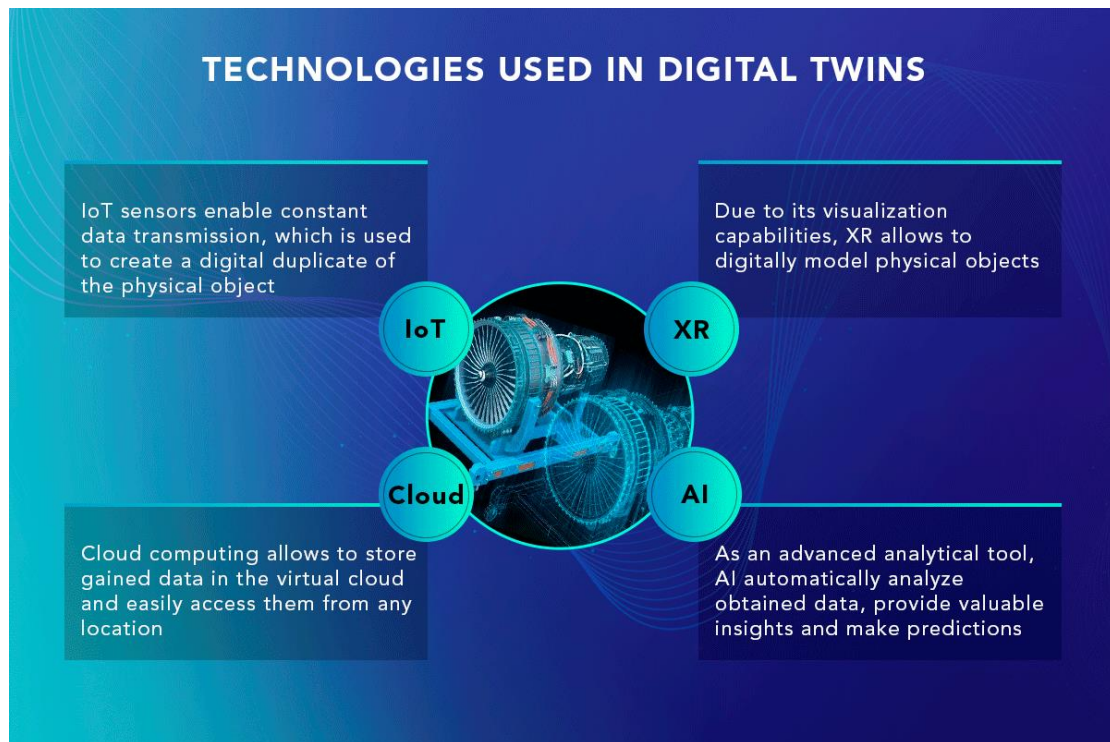
### 1.1 Εισαγωγή στα Ψηφιακά δίδυμα

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 διδύμου

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

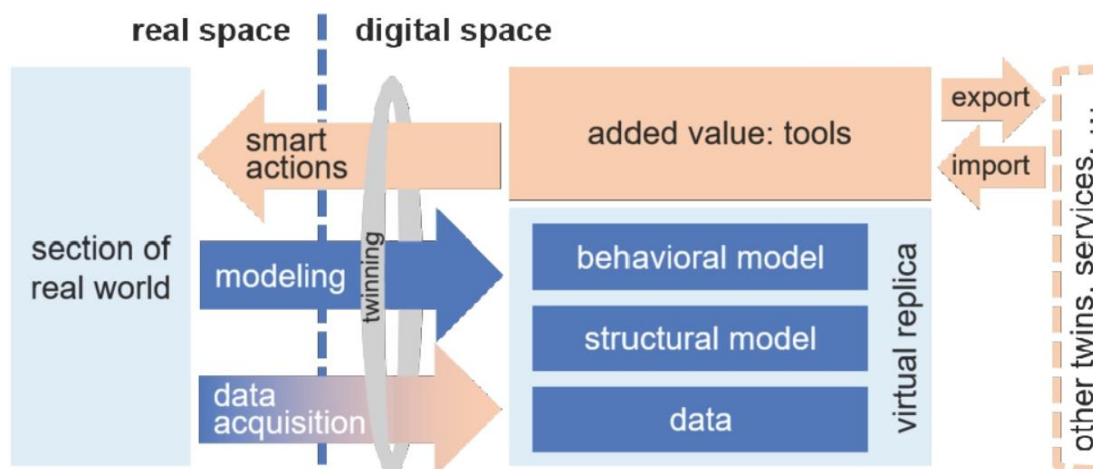
Οι εξελίξεις στην τεχνολογία μοντελοποίησης, απόκτησης και μεταφοράς δεδομένων επέτρεψαν την ανάπτυξη της έννοιας των ψηφιακών διδύμων. Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την ανάπτυξη ενός πιστού με το πρωτότυπο μοντέλου του φυσικού περιουσιακού στοιχείου, το οποίο έχει τη δυνατότητα της συνεχούς αναπροσαρμογής 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 τον αντίκτυπο των καιρικών συνθηκών ή τις αλλαγές προσωπικού, και να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις τους στα συνολικά χρονοδιαγράμματα και τους προϋπολογισμούς.
- Με την ενσωμάτωση κατάλληλων αισθητήρων που παρακολουθούν, μεταξύ άλλων, την μηχανική απόκριση και περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία μέσα στα κτίρια με την πάροδο του χρόνου, μπορούν να δημιουργηθούν ακριβή τρισδιάστατα μοντέλα, διευκολύνοντας την εις βάθος κατανόηση της κατάστασης της δομής και την πρόοδο προς 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. Περιλαμβάνουν αυξημένη ακρίβεια στην πρόβλεψη αποτελεσμάτων.
2. Σφαιρική κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων.
3. Αποτελεσματική χρήση πόρων, βελτιωμένη διαχείριση χρονοδιαγράμματος.
4. Μειωμένους κινδύνους που σχετίζονται με συγκεκριμένες δραστηριότητες.
5. Γρήγορους χρόνους απόκρισης στις προκλήσεις.
6. Τελικά αυξημένη κερδοφορία για 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. Αυτού του είδους μοντέλα δεν μπορούν να ενημερωθούν σε πραγματικό χρόνο και δεν μπορούν να μεταφερθούν σε διαφορετικά σενάρια με αποτέλεσμα το κόστος εργασίας για τη δημιουργία μιας βάσης ειδικών γνώσεων να είναι υψηλό. (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, επιτρέποντας 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.

Η μοντελοποίηση βάσει ανάγνωσης δεδομένων μπορεί να λύσει αυτά τα προβλήματα και είναι κατάλληλη για μη γραμμικά, πολλαπλών περιορισμών μοντέλα σε κατασκευές. Μερικές τεχνικές που μπορούν να ενσωματωθούν είναι οι τεχνικές : 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 είναι δυσκολότερη από την δυνατότητα ερμηνείας. (LI XH 2022)

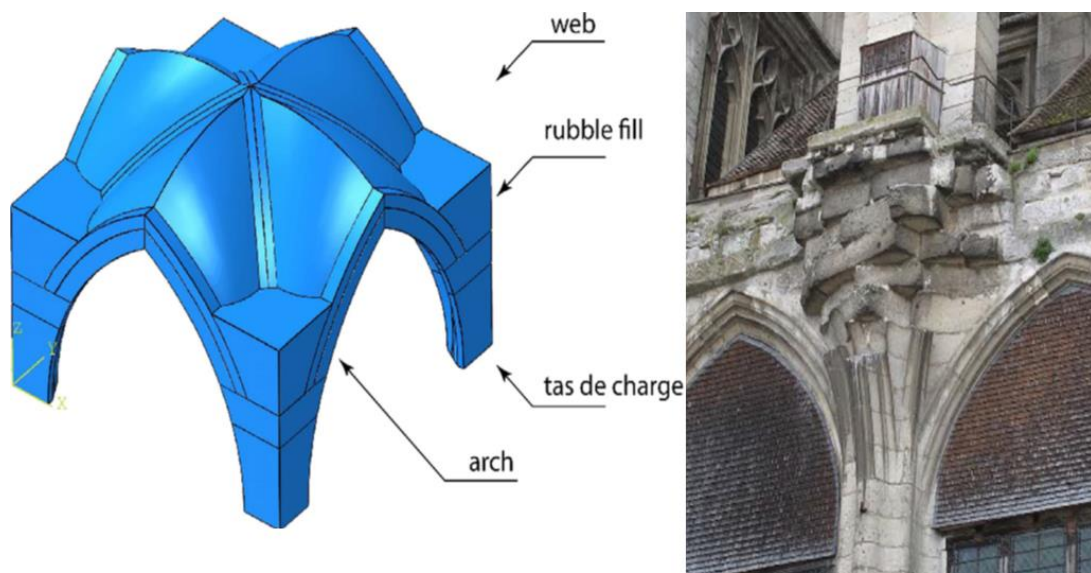
Η απόκτηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τα τρέχοντα κατασκευαστικά έργα έχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως βελτιωμένη απόδοση, μειωμένη σπατάλη υλικών, ταχύτερους χρόνους ολοκλήρωσης και υψηλότερα πρότυπα ποιότητας. Επιπλέον, με τις σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις, μπορούν να συνδυάζουν τις δυνατότητές τους με μεγάλες βάσεις δεδομένων και συστήματα τεχνητής νοημοσύνης (AI), που προσφέρουν στα μοντέλα ψηφιακών διδύμων την αποτελεσματικότητα να μειώσουν σημαντικά το κόστος, διασφαλίζοντας παράλληλα τη συμμόρφωση με τα πρωτόκολλα ασφαλείας. Είναι σαφές λοιπόν ότι τα ψηφιακά δίδυμα έχουν πολλά να προσφέρουν τόσο τώρα όσο και στο μέλλον της ανάπτυξης της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

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

Η δυνατότητα ακριβής αναπαράστασης του πραγματικού με την δημιουργία του ψηφιακού είναι ένα βασικό χαρακτηριστικό των ψηφιακών διδύμων. Η διαφορά του από άλλα μοντέλα αλλά 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 αντικείμενου 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.

Στο πλαίσιο των προσομοιώσεων που βασίζονται σε δεδομένα αισθητήρων, όπως είναι αναμενόμενο για ένα ΨΔ, η είσοδος για την προσομοίωση εξαρτάται από την ποιότητα του αισθητήρα, την 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. Επιπλέον, τα ΨΔ 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.

Τα ψηφιακά δίδυμα προσφέρουν «τεράστια αξία» στον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων κατά τις φάσεις κατασκευής. Ωστόσο αυτά τα μοντέλα πρέπει να παραμένουν ενημερωμένα, μπορώντας να κάνουν επιτόπιες αλλαγές σε πραγματικό χρόνο μέσω συστημάτων συνεχούς παρακολούθησης που 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 ταχεία πρόοδος των ψηφιακών δίδυμων στον κατασκευαστικό κλάδο υπόσχεται πολλά και έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τρόπο που σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε και διαχειριζόμαστε κτίρια. Καθώς αυτή η τεχνολογία γίνεται πιο διαδεδομένη είναι ζωτικής σημασίας η εφαρμογή κατάλληλων κανονισμών και προτύπων για την εξασφάλιση ασφαλών κατασκευαστικών πρακτικών.

Το Ψηφιακό Δίδυμο δεν είναι ένα ακόμη πρόγραμμα, μία απλή βάση δεδομένων ή κάποιο σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD (computer-aid design). Είναι ένα εικονικό μοντέλο ενός φυσικού συστήματος που παρέχει πληροφορίες σε όλο τον κύκλο ζωής του έργου. Ως στόχοι ενός ΨΔ μπορούν να αναφερθούν η παροχή έγκαιρης προειδοποίησης για τυχόν αστοχίες, η συνεχής πρόβλεψη και η δυναμική βελτιστοποίηση με ιδιαίτερη έμφαση στην επίτευξη μετρήσιμων αποτελεσμάτων. Με την ενημέρωση των οικοδομικών κωδίκων για την προσαρμογή της τεχνολογικής προόδου μπορούμε να βελτιώσουμε τα πρότυπα ασφαλείας για όλους τους εμπλεκόμενους φορείς. Επιπλέον, η ενοποίηση συστημάτων ψηφιακής συμμόρφωσης μπορεί να διατηρήσει αποτελεσματικά τα έργα σε καλό δρόμο, διασφαλίζοντας την τήρηση των οικοδομικών κανονισμών παρέχοντας παράλληλα ακριβείς πληροφορίες για την πρόοδο κάθε τοποθεσίας.

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

Η δημιουργία ενός μοντέλου για ένα στοιχείο (πχ ένα σύστημα σωληνώσεων ) είναι το δομικό στοιχείο ενός ΨΔ. Πολλά δομικά στοιχεία συνδυάζονται για να διαμορφώσουν μια δομή, η οποία κλιμακώνεται σε μια ολόκληρη εγκατάσταση ξοδεύοντας λιγότερο 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.

Μόλις οριστεί ένα μοντέλο δεδομένων που θα χρησιμεύει ως στοιχείο αναφοράς, μπορούμε 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.

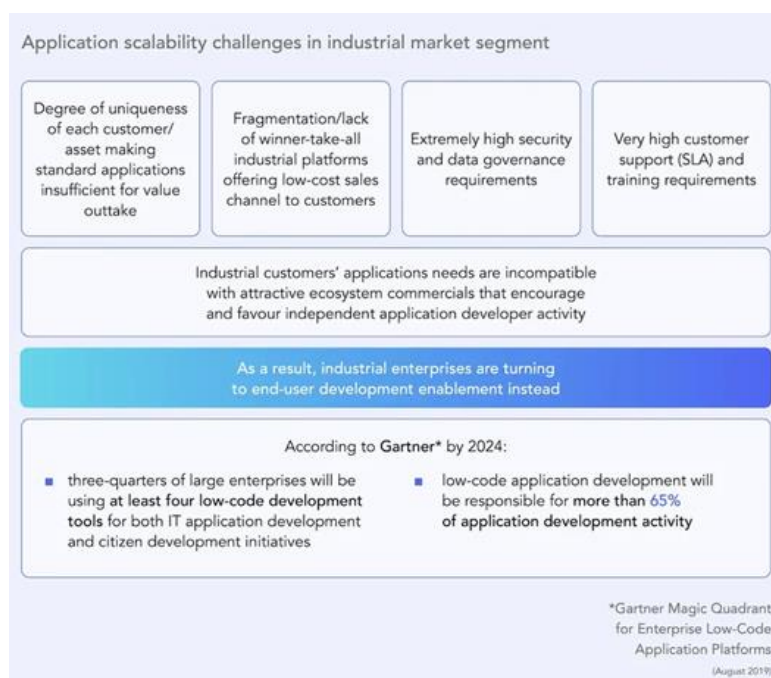
Η ψηφιοποίηση του τρόπου λειτουργίας των επιχειρήσεων δεν έχει να κάνει με το τι μπορεί να κάνει η τεχνολογία. Το Industrial DataOps επικεντρώνεται στη διευκόλυνση, προς όλους τους ενδιαφερομένους σε έναν οργανισμό, να δημιουργούν προϊόντα δεδομένων και να λαμβάνουν αποφάσεις βάσει δεδομένων. Η ευκολία είναι η βασική έννοια που πρέπει να γίνει αποδεκτή από όλους τους ενδιαφερόμενους. Για να λειτουργήσει αυτό το καταναμημένο μοντέλο παρατίθενται στη συνέχεια προτεινόμενες λύσεις :

- Θα πρέπει να καθορίζει και να ενημερώνει ποια δεδομένα πρέπει να προστεθούν σε βάσεις δεδομένων και πώς σχετίζονται με τις επιχειρηματικές ανάγκες για ΨΔ και λύσεις.
- Προϋποθέτει τον προσδιορισμό αλλά και παρακολούθηση όποιου έχει πρόσβαση στα δεδομένα καθώς και όποιου θα μπορούσε να ενδιαφέρεται για αυτά.
- Διασταύρωση και εποπτεία για τα οποιαδήποτε ποιότητας δεδομένων μπορεί να αναμένεται.
- Καθορισμός για το προϊόν δεδομένων, που σχετίζεται ή παράγεται χρησιμοποιώντας άλλα προϊόντα 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, κάθε λύση έχει συγκεκριμένες προσδοκίες και απαιτήσεις σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο υποτίθεται ότι θα δομηθούν και θα μοντελοποιηθούν τα δεδομένα, και για το σκοπό αυτό, το Cognite Data Fusion® παρέχει ένα ευέλικτο πλαίσιο μοντελοποίησης δεδομένων που επιτρέπει τη σαφή περιγραφή τόσο διαφορετικών προοπτικών. (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 (Α.Ι.) 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.

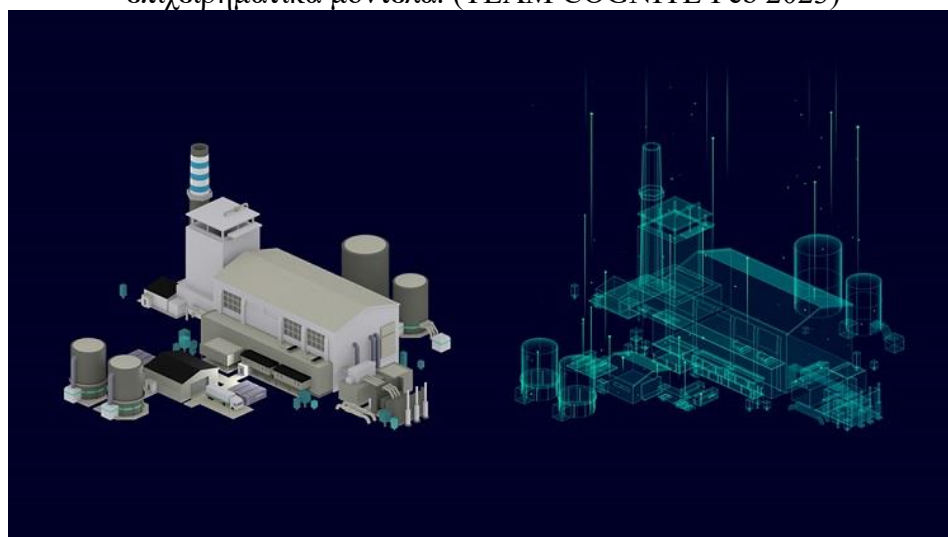




Εικόνα 7: Οι απαιτήσεις των πελατών για λύσεις βελτιστοποίησης περιουσιακών στοιχείων με μεγάλο αντίκτυπο είναι πολύ ετερογενείς ή απαιτούν σημαντική προσαρμογή. Αναπαραγωγή από (Cognite team 2023)

## 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 επιτυγχάνει την ενοποίηση μικρότερων μοντέλων προκειμένου να καταφέρει να εκπληρώσει τον σκοπό για τον οποίο δημιουργήθηκε και να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. 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 εταιρείες που αναπτύσσουν ένα βιομηχανικό ψηφιακό δίδυμο θα έχουν επιτέλους πραγματικό έλεγχο των δεδομένων τους—την ικανότητα να κατανοούν από πού προέρχονται, πόσο αξιόπιστα είναι και πώς να τα εμπλουτίζουν με την πάροδο του χρόνου. Θα είναι επίσης οι πρώτοι που θα κλιμακώσουν τις επιτυχημένες λύσεις πάνω σε αυτά τα δεδομένα, τα οποία πρέπει να είναι η προτεραιότητα οποιασδήποτε πρωτοβουλίας ψηφιοποίησης. Ωστόσο, κάθε χώρα ή οργανισμός μπορεί να επιλέγει αυτόνομα τα πρωτόκολλα ασφαλείας δεδομένων.

Το ψηφιακό δίδυμο είναι δυναμικό και αρκετά ευέλικτο επειδή πρέπει να καλύπτει τις ανάγκες μιας αυξανόμενης ποικιλίας χρηστών και μοντέλων. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο η δημιουργία νομικού πλαισίου είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ενός βιομηχανικού ΨΔ, 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 ΨΔ διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Ειδικότερα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα συστήματα σωληνώσεων. Τα συστήματα σωληνώσεων είναι ακριβά στη λειτουργία και τη συντήρηση. Χωρίς σαφή κατανόηση του κόστους, είναι δύσκολο να ληφθούν εμπεριστατωμένες αποφάσεις. 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. Χωρίς να γνωρίζουμε το κόστος ισχύος για ένα συγκεκριμένο είδος, δεν υπάρχει τρόπος να καθοριστεί ο τρόπος μείωσης του κόστους και συνεπώς να αυξήσουμε την κερδοφορία.

Το ΨΔ εκτελεί δυναμικά ένα ενεργειακό ισοζύγιο που υπολογίζει πόση ενέργεια καταναλώνεται από τα στοιχεία της αντλίας και πόση ενέργεια χρησιμοποιείται από τα στοιχεία διεργασίας και ελέγχου. Χρησιμοποιώντας το κόστος ισχύος και τις πληροφορίες εισόδου από τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης, το ΨΔ μπορεί να παρέχει μια κατάσταση κερδών και ζημιών για το συνολικό σύστημα σωληνώσεων ή το κόστος για κάθε στοιχείο εξοπλισμού του συστήματος.

Το κόστος συντήρησης μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας λογισμικό διαχείρισης συντήρησης για την παρακολούθηση της εργασίας που εκτελείται. Αν δεν υπάρχει μέθοδος σύγκρισης του κόστους συντήρησης για ένα συγκεκριμένο είδος εξοπλισμού με παρόμοιο εξοπλισμό, είναι δύσκολο να βελτιωθεί το κόστος συντήρησης. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα λειτουργίας της εγκατάστασης και ΨΔ, μπορεί να προσδιοριστεί η τρέχουσα κατάσταση της υγείας του συστήματος, μαζί με κάθε στοιχείο εξοπλισμού. 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. Πρέπει να λαμβάνουν τις αποφάσεις τους με βάση μετρήσιμα αποτελέσματα με στόχο τη μείωση των προγραμματιστών διακοπών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Φράγμα Αποσελέμη

### 2.1 Γενικές πληροφορίες.



Εικόνα 10: Φωτογραφία του φράγματος

Το φράγμα του Αποσελέμη στη περιοχή του Αγίου Νικολάου, Νότια Κρήτης που είναι το ενδιαφέρον αυτής της εργασίας 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,



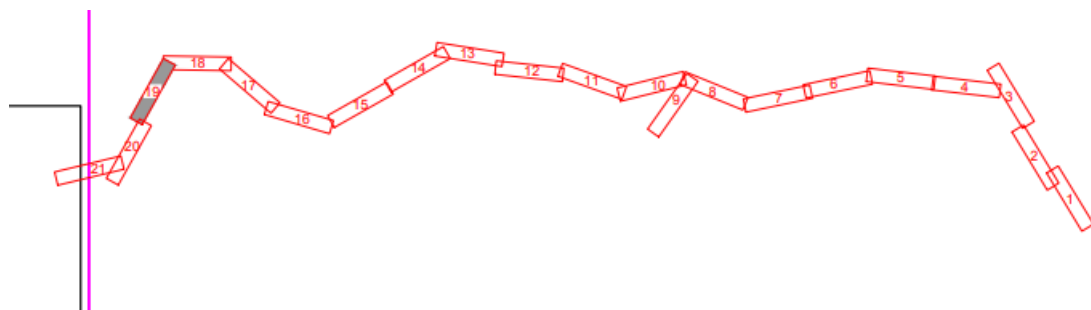
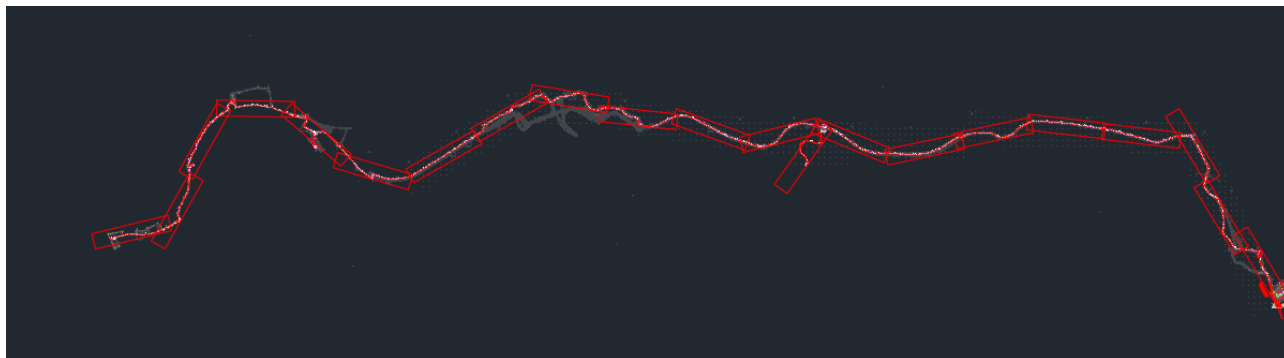
μήκος στέψης, 660 μέτρα, όγκο αναχώματος 3.500.000 κυβικά μέτρα και όγκο ταμιευτήρα 27.300.000 κυβικά μέτρα[6].

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 (ΕΕΝ), την κτιριακή υποδομή της εγκατάστασης Επεξεργασίας Νερού (ΕΕΝ), το υδραγωγείο από την ΕΕΝ μέχρι το 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)

## 2.2 Σχέδια Δικτύου και πηγές δεδομένων.

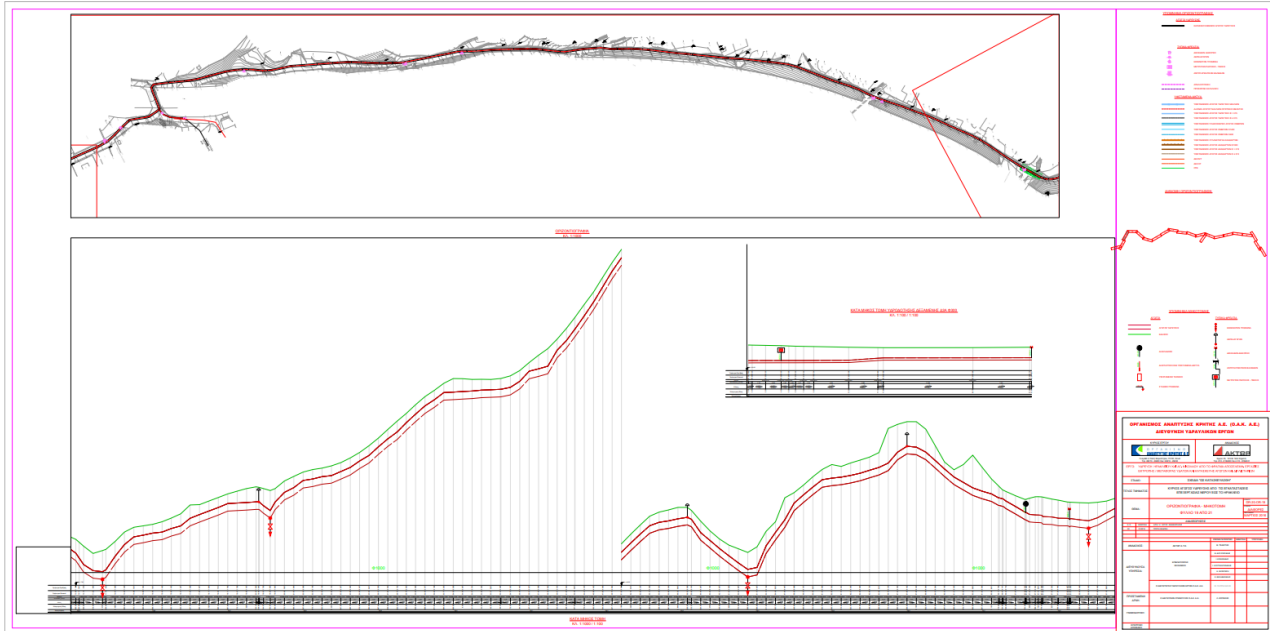
Έπειτα από επικοινωνία με τους μηχανικούς του φράγματος, καθώς και με συναδέλφους που ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο θέμα παλαιότερα , καταφέραμε να αποκτήσουμε σχέδια και μετρήσεις του φράγματος που μας ήταν απαραίτητα για τη διεκπεραίωση της εργασίας. Παρακάτω δίδεται το συνολικό σχέδιο του φράγματος το οποίο περιέχει τον κύριο αγωγό καθώς και τις διακλαδώσεις του.



Εικόνα 11,12 : 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 13 : 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 άρα 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
	ΛΕΩΝΑΣ 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 $\Phi \leq 315$
	ΔΕΗ ΜΤ
	ΔΕΗ ΧΤ
	ΟΤΕ

ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣΑΓΩΓΟΙ

	ΑΓΩΓΟΣ ΥΔΡΕΥΣΗΣ
	ΕΔΑΦΟΣ
	ΔΙΑΚΛΑΔΩΣΗ
	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΜΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ
	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΤΕΧΝΙΚΟ
	ΣΤΑΘΜΗ ΠΥΘΜΕΝΑ

ΤΥΠΙΚΑ ΦΡΕΑΤΙΑ

	ΕΚΚΕΝΩΤΩΝ ΠΥΘΜΕΝΑ
	ΑΕΡΕΞΑΓΩΓΩΝ
	ΔΙΚΛΕΙΔΩΝ ΔΙΑΚΟΠΗΣ
	ΑΝΤΙΠΛΗΓΜΑΤΙΚΩΝ ΒΑΛΒΙΔΩΝ
	ΜΕΤΡΗΤΩΝ ΠΑΡΟΧΗΣ - ΠΙΕΣΗΣ

Εικόνα 14,15 : Υπομνήματα

Εδώ θα θέλαμε να κάνουμε μία αναφορά στην Πτυχιακή της κας Μπόβολου πάνω στην οποία έχουμε βασιστεί και έχουμε αντλήσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την διεξαγωγή της ανάλυσης που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε.

Στα πλαίσια της προ αναφέρουσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε η δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου για το δίκτυο υδροδότησης από το φράγμα Αποσελέμη προς το Ηράκλειο, χρησιμοποιώντας το λογισμικό ανοιχτού κώδικα EPANET. Η εργασία περιλαμβάνει τη ψηφιακή αναπαράσταση του δικτύου, ενώ γίνεται ανάλυση με βάση πραγματικές μετρήσεις. Ο κύριος στόχος είναι η δημιουργία ενός εικονικού δικτύου το οποίο θα λειτουργεί ακριβώς όπως το πραγματικό, επιδιώκοντας τον εντοπισμό περιοχών με υψηλή πίεση ή έντονες μεταβολές πίεσης. Παρέχονται παραδείγματα αναλύσεων για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, εξετάζεται η δυνατότητα πρόβλεψης πιέσεων σε μη προσβάσιμα σημεία, καθώς και η υποστήριξη προληπτικής συντήρησης. Το EPANET, ως δημοφιλές λογισμικό ανοιχτού κώδικα, παρέχει εύρος δυνατοτήτων για την προσομοίωση υδραυλικής συμπεριφοράς και ποιότητας του νερού σε υδραυλικά δίκτυα. Η εργασία αναδεικνύει την ευρεία χρησιμότητα του EPANET, χρησιμοποιούμενο από μηχανικούς και συμβούλους για σχεδίαση, βελτιστοποίηση και πρόβλεψη καταστάσεων έκτακτης ανάγκης σε υδραυλικά δίκτυα.

## 2.3 Δομή – Τρόπος λειτουργίας.

Το δίκτυο του φράγματος αποτελείται από τον κύριο αγωγό μήκους 25,9 χιλιομέτρων , δευτερεύοντες αγωγούς υδροδότησης κοντινών περιοχών και τις ανοιχτές δεξαμενές. Το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένος ο αγωγός είναι ο χάλυβας , με πάχος ελάσματος 10 έως 11 χιλιοστά και διάμετρο 900-1100 χιλιοστά για τον κύριο αγωγό και 200 έως 900 χιλιοστά για τους δευτερεύοντες. Οι διακλαδώσεις διέρχονται από τις περιοχές Αγριανά ( part1) , Ανάληψη (part3), Γούβες (part4) Γούρνες (part 9) , Ηρακλείου Δ3Α ( part 19) και Ηρακλείου Δ4 (part 21) .

Σε κάθε διακλάδωση στα πρώτα μέτρα υπάρχουν βάνες διακοπής και φρεάτια μέτρησης και ελέγχου , αλλιώς ΦΜΕ από όπου λαμβάνονται οι απαραίτητες μετρήσεις για τις παροχές τις οποίες και θα χρησιμοποιήσουμε στην ανάλυση μας. Σε οποιοδήποτε αγωγό του υδραγωγείου Αποσελέμη η ροή είναι από τον αγωγό προς τις καταναλώσεις οι οποίες λειτουργούν (ΦΜΕ1, ΦΜΕ2, ΦΜΕ2Α, ΦΜΕ5, ΦΜΕ10, ΦΜΕ11). Συνολικά υπάρχουν 11 ΦΜΕ για τα οποία οι μηχανικοί τους φράγματος μας παρέχουν τις μετρήσεις για ένα ολόκληρο ημερολογιακό έτος. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται σε συχνότητα 5 λεπτών και έχουν μονάδα μέτρησης Ηρ. Δυστυχώς δεν υπάρχουν τα δεδομένα για τα ΦΜΕ 2 , ΦΜΕ 6 , ΦΜΕ 9 , ΦΜΕ 11.

Ακόμα υπάρχουν 2 διακλαδώσεις οι οποίες οδηγούν στα φρεάτια διακοπής και ελέγχου ( ΦΔΕ ) του δικτύου . Σε κάθε μια από αυτές ο αγωγός εισέρχεται από μία ανοικτή δεξαμενή του δικτύου των οποίων η είσοδος και η έξοδος βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο με στόχο τη διακοπή της συνέχειας του δικτύου και την πτώση της αντίστοιχης στατικής πίεσης. Επομένως η στατική πίεση στο τμήμα ΦΔΕ 1 - ΦΔΕ 2 είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του τμήματος ΕΕΝ-ΦΔΕ2 και

μεγαλύτερη από αυτή του τμήματος ΦΔΕ2 – Ηράκλειο. Οι δεξαμενές του δικτύου είναι όλες ανοικτές επομένως η πίεση που ασκείται σε αυτές εξαρτάται μόνο από την υψομετρική διαφορά της επιφάνειας με το βυθό.

Ονομασία Κόμβου	Επεξήγηση
ΠΑΡ. ΦΜΕ1 ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΑΓΡΙΑΝΩΝ
ΠΑΡ. ΦΜΕ2 ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΑΝΑΛΗΨΗΣ
ΠΑΡ. ΦΜΕ2Α ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΓΟΥΒΩΝ
ΠΑΡ. ΦΜΕ3 ΗΡ	ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΔΕ1 ΗΡ
ΠΑΡ. ΦΜΕ4 ΗΡ	ΕΞΟΔΟΣ ΑΠΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΔΕ1 ΗΡ
ΠΑΡ. ΦΜΕ5 ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΓΟΥΡΝΩΝ
ΠΑΡ. ΦΜΕ6 ΗΡ	ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ
ΠΑΡ. ΦΜΕ7 ΗΡ	ΕΙΣΟΔΟΣ ΣΤΗ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΔΕ2 ΗΡ
ΠΑΡ. ΦΜΕ8 ΗΡ	ΕΞΟΔΟΣ ΑΠΟ ΔΕΞΑΜΕΝΗ ΦΔΕ2ΗΡ
ΠΑΡ. ΦΜΕ9 ΗΡ	ΑΝΕΝΕΡΓΗ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ
ΠΑΡ. ΦΜΕ10ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ Δ3Α
ΠΑΡ. ΦΜΕ11ΗΡ	ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ Δ4

Εικόνα 16.

## 2.4 Ανάλυση των Ιδιοτήτων των Σιδηροσωλήνων για Ύδρευση



Εικόνα 17. Σιδηροσωλήνες μεταφοράς πόσιμου νερού

Οι σιδηροσωλήνες αποτελούν ουσιαστικό στοιχείο στα συστήματα ύδρευσης, διακίνησης υγρών και μεταφοράς υγρών και αερίων. Η επιλογή του σωστού υλικού για την κατασκευή των σιδηροσωλήνων και η κατάλληλη συντήρηση αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του συστήματος ύδρευσης. Στο πλαίσιο αυτό, αναλύουμε αναλυτικά τις ιδιότητες των σιδηροσωλήνων που χρησιμοποιούνται για ύδρευση, καθώς και τους παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο ζωής και τις πιθανές αστοχίες τους.

Ιδιότητες των Σιδηροσωλήνων για Ύδρευση:

## 1. Υλικό:

- Οι σιδηροσωλήνες για ύδρευση συνήθως κατασκευάζονται από χάλυβα ή σιδηρούχο χάλυβα. Ο χάλυβας είναι ένα κράμα από σίδηρο και άνθρακα, το οποίο προσφέρει ανθεκτικότητα και αντοχή στις διάφορες συνθήκες.
- Η αντοχή στη διάβρωση είναι μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες του χάλυβα. Ο χάλυβας μπορεί να αντέξει τις επιπτώσεις της διάβρωσης, η οποία μπορεί να προκαλέσει καταστροφική διάβρωση των υλικών που δεν είναι ανθεκτικά σε αυτήν.
- Η αντοχή στην πίεση είναι επίσης κρίσιμη. Οι σιδηροσωλήνες πρέπει να αντέχουν στην πίεση που ασκείται από το νερό κατά τη μεταφορά του. Ο χάλυβας προσφέρει αυτήν την αντοχή, εξασφαλίζοντας την ασφάλεια και τη σταθερότητα του συστήματος ύδρευσης.

## 2. Διαστάσεις και σχήμα:

- Διαστάσεις: Οι σιδηροσωλήνες κατασκευάζονται σε διάφορα διαστασιακά ύψη, διαμέτρους και πάχη για να εξυπηρετούν διάφορες απαιτήσεις. Οι διαστάσεις πρέπει να είναι κατάλληλες για να αντέχουν την πίεση του ύδατος και να εξασφαλίζουν τη σταθερή ροή. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγάλη ροή, χρησιμοποιούνται σιδηροσωλήνες με μεγαλύτερες διαμέτρους.
- Σχήματα: Οι σιδηροσωλήνες μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα ανάλογα με την εφαρμογή. Οι συνήθεις τύποι συμπεριλαμβάνουν τους σωλήνες με κυκλική διατομή, οι οποίοι είναι οι πλέον κοινοί, αλλά υπάρχουν επίσης ορισμένοι σιδηροσωλήνες με τετραγωνική, οβάλ, ή άλλα πολυγωνικά σχήματα.
- Πάχος σωλήνα: Ο πάχος του τοιχώματος του σωλήνα ποικίλλει και επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες. Οι σιδηροσωλήνες με μεγαλύτερο πάχος είναι πιο ανθεκτικοί στις υψηλές πιέσεις, ενώ οι σιδηροσωλήνες με λεπτότερο μπορεί να χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπου απαιτείται ελαφρότερο βάρος.
- Συνδέσεις: Οι σιδηροσωλήνες μπορούν να έχουν διάφορους τύπους συνδέσεων, όπως συγκολλημένες, βιδωτές, ή ρεκτιφιέ. Οι συνδέσεις επηρεάζουν τη στεγανότητα και την αξιοπιστία του συστήματος ύδρευσης.

## 3. Αντοχή στην κόπωση:

- Κύκλος Φορτίου: Ο κύκλος φορτίου αναφέρεται στον κύκλο φόρτωσης και εκφόρτωσης που υφίστανται οι σωλήνες κατά τη λειτουργία του υδραυλικού συστήματος. Αυτό περιλαμβάνει την πίεση που ασκείται από το νερό κατά την διάρκεια της ροής του, καθώς και τυχόν αλλαγές στην πίεση και τις πιέσεις που προκύπτουν από διάφορα γεγονότα, όπως διακυμάνσεις της ροής, αναγκαιότητα να αντιμετωπιστεί ύπαρξη προβλημάτων, ή ανάγκη για αυξημένη πίεση.
- Κόπωση: Η κόπωση αναφέρεται στην αλλαγή της δομής και της αντοχής του υλικού λόγω των κυκλικών φορτίων. Σε συστήματα ύδρευσης, οι σιδηροσωλήνες υπόκεινται σε επανειλημμένη πίεση και εκτόνωση, πράγμα που μπορεί να οδηγήσει σε κόπωση εάν το υλικό δεν είναι επαρκώς ανθεκτικό.
- Καταστροφική Κόπωση: Η καταστροφική κόπωση αναφέρεται στην αποτυχία του υλικού λόγω υπερβολικής κόπωσης, που μπορεί να οδηγήσει σε ρήξη ή ατύχημα. Στην περίπτωση των σιδηροσωλήνων, καταστροφική κόπωση μπορεί να προκαλέσει διαρροή νερού ή ακόμα και κατάρρευση του συστήματος.
- Για την πρόληψη της κόπωσης και τη διασφάλιση της αντοχής των σιδηροσωλήνων, είναι σημαντικό να επιλέγονται σωλήνες με κατάλληλα υλικά, πάχος τοίχου και διαστάσεις, καθώς και να πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι και συντηρήσεις. Επίσης, η σχεδίαση του υδραυλικού συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη την



κατανομή των φορτίων και να περιλαμβάνει απορρόφηση των πιέσεων και εξομάλυνση των κυκλικών διακυμάνσεων, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα κόπωσης των σιδηροσωλήνων.

### Χρόνος Ζωής των Σιδηροσωλήνων:

1. Προστασία από τη διάβρωση: Η προστασία των σιδηροσωλήνων από τη διάβρωση είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της αντοχής και της αντοχής στον χρόνο του υλικού. Η διάβρωση των σιδηροσωλήνων μπορεί να προκαλέσει αποδυνάμωση του υλικού, διαρροές, ή ακόμα και την αποτυχία του συστήματος ύδρευσης. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι προστασίας των σιδηροσωλήνων από τη διάβρωση, όπως επικαλυπτόμενες επιφάνειες και επίστρωση με οξειδωτικό χρώμα ή γαλβανική επίστρωση. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη ανάλυση αυτών.
  - Επικαλυπτόμενες Επιφάνειες: Η προστασία των σιδηροσωλήνων από τη διάβρωση μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση επικαλυπτόμενων επιφανειών, όπως επιστρώσεις ή επικαλύψεις. Εδώ υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι προστασίας:
  - Εποξειδική Επίστρωση: Η εποξειδική επίστρωση είναι ένα ειδικό επικαλυπτικό υλικό που εφαρμόζεται στην εξωτερική επιφάνεια των σιδηροσωλήνων. Αυτή η επίστρωση προστατεύει το υλικό από τη διάβρωση και την οξείδωση, καθιστώντας τους σιδηροσωλήνες πιο ανθεκτικούς στις επιπτώσεις του περιβάλλοντος.
  - Γαλβανική Επίστρωση: Η γαλβανική επίστρωση είναι μια διαδικασία κατά την οποία τα σιδηροσωλήνες επικαλύπτονται με στρώμα ψευδαργύρου (ψευδογαλβάνωσης). Αυτό το στρώμα προστατεύει το σίδηρο από τη διάβρωση, δημιουργώντας έναν φραγμό ανάμεσα στο μέταλλο και το περιβάλλον.



Εικόνα 18. Παράδειγμα διάβρωσης σωλήνα και συνεπώς αστοχία σημείου

2. Συντήρηση: Η τακτική συντήρηση των υδραυλικών σιδηροσωλήνων είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της μακροζωίας του υδραυλικού συστήματος. Ας αναλύσουμε τα βήματα και τα στοιχεία της τακτικής συντήρησης πιο λεπτομερώς:
  - Έλεγχος της Κατάστασης: Το πρώτο βασικό βήμα της συντήρησης είναι ο έλεγχος της κατάστασης των σιδηροσωλήνων. Αυτό περιλαμβάνει την οπτική επιθεώρηση για ορατά προβλήματα, όπως ρωγμές, διαρροές, ή σημάδια διάβρωσης. Ο έλεγχος μπορεί να πραγματοποιηθεί με το γυμνό μάτι ή με τη χρήση ειδικών μεθόδων, όπως υπέρηχοι ροής ρευστού.
  - Ανίχνευση και Αντικατάσταση Κατεστραμμένων Τμημάτων: Εάν καταστεί αναγκαίο, πρέπει να πραγματοποιηθεί ανίχνευση και αντικατάσταση τμημάτων που έχουν υποστεί βλάβη ή καταπόνηση. Αυτό περιλαμβάνει την απομάκρυνση και αντικατάσταση των κατεστραμμένων σιδηροσωλήνων με νέους, ανθεκτικούς σωλήνες.



- Επισκευή των Σημείων με Καταπόνηση: Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να απαιτείται η επισκευή τμημάτων των σιδηροσωλήνων που έχουν υποστεί καταπόνηση αλλά δεν χρειάζεται να αντικατασταθούν πλήρως. Η επισκευή περιλαμβάνει συνήθως την κοπή και τη συγκόλληση τμημάτων των σωλήνων.
- Καθαρισμός και Συντήρηση: Επιπλέον, η τακτική συντήρηση περιλαμβάνει τον καθαρισμό των σιδηροσωλήνων από αλάτι καθώς και τη διατήρηση των συνδέσεων και των βαλβίδων.

Πιθανές Αστοχίες και Προβλήματα:

1. Διαρροές: Οι διαρροές μπορεί να προκύψουν λόγω διαβρωτικών παραγόντων, υπερβολικής πίεσης ή καταπόνησης του υλικού.
2. Καταπόνηση: Ο χρόνος και οι εξωτερικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, μπορούν να προκαλέσουν καταπόνηση στους σιδηροσωλήνες, η οποία ενδέχεται να οδηγήσει σε προβλήματα.

Συμπερασματικά, οι σιδηροσωλήνες για ύδρευση είναι ουσιώδεις για την εξασφάλιση της παροχής ύδατος στα κτίρια και τις κοινότητες. Η επιλογή του σωστού υλικού, η προστασία από τη διάβρωση και η τακτική συντήρηση αποτελούν ζωτικούς παράγοντες για τη μακροζωία και αξιοπιστία του συστήματος ύδρευσης. Η παρακολούθηση και η επίλυση προβλημάτων έγκαιρα είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης λειτουργίας του συστήματος και τη μείωση του κινδύνου απώλειας ύδρευσης.



Εικόνα 19.. Παράδειγμα αστοχίας υλικού

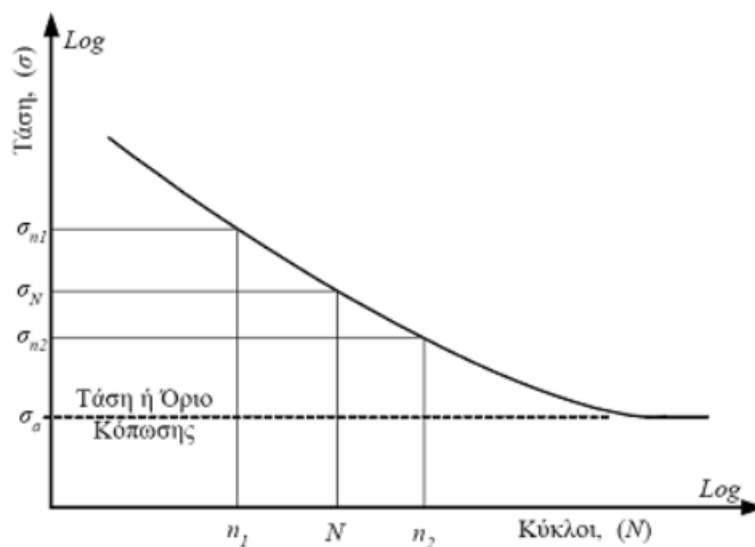


Εικόνα 20. Παράδειγμα αστοχίας υλικού

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Σχεδιασμός

### 3.1 Διαγράμματα Τάσης/κύκλων (S/N)

Μια καμπύλη S/N δείχνει τις εναλλασσόμενες τιμές τάσης σε σχέση με τον αριθμό των κύκλων που απαιτούνται για να προκληθεί η κόπωση σε ένα δεδομένο επίπεδο τάσεων. Στον άξονα Ψ προβάλλεται η εναλλασσόμενη τάση  $S$  και στο άξονα Χ ο αριθμός των κύκλων  $N$ . Μια καμπύλη S/N βασίζεται σε έναν λόγο τάσης ή μια μέση τάση. Μπορούν να οριστούν πολλαπλές καμπύλες S/N με διαφορετικούς λόγους τάσης για ένα υλικό. Οι καμπύλες S/N βασίζονται στη μέση διάρκεια ζωής κόπωσης ή σε μια δεδομένη πιθανότητα αστοχίας. Η δημιουργία τους για ένα υλικό απαιτεί πολλές δοκιμές για να διαφοροποιηθεί στατιστικά η εναλλασσόμενη τάση, η μέση τάση (ή η αναλογία τάσεων) και η μέτρηση του αριθμού των κύκλων. Παρακάτω παρατίθεται ένα παράδειγμα τέτοιου διαγράμματος.



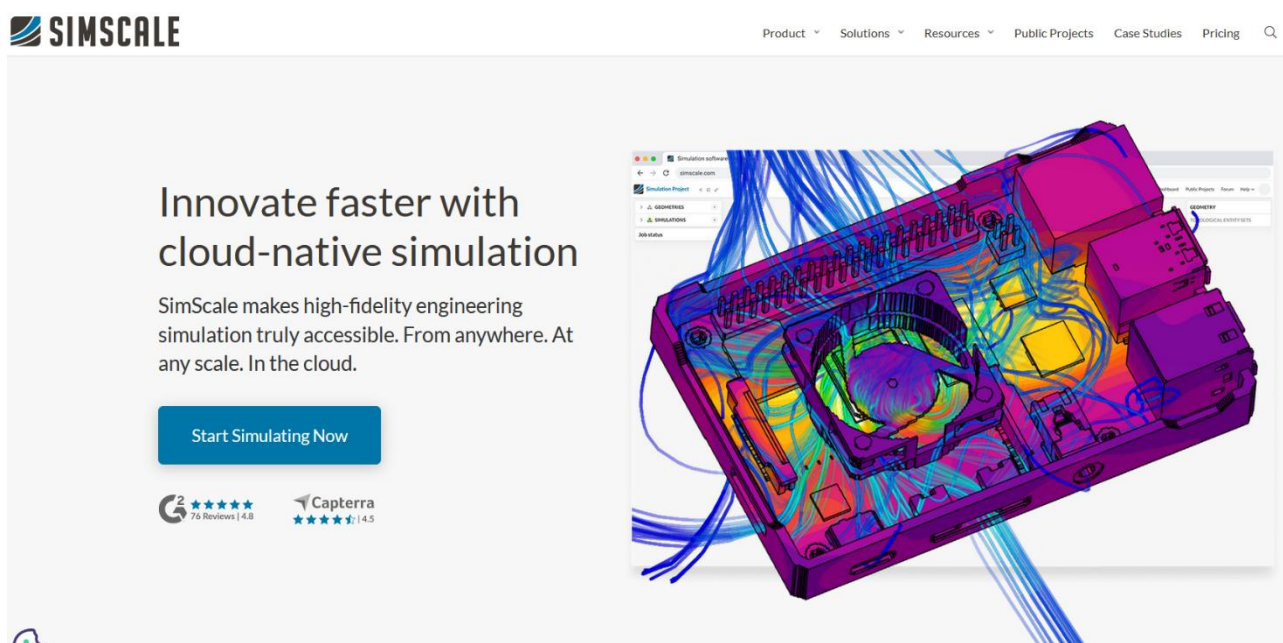
Εικόνα 21 : Παράδειγμα S/N διαγράμματος.

Το παραπάνω διάγραμμα το εμπνεύστηκε ο Wohler ο οποίος θεωρείται ο πατέρας των διαγραμμάτων τάσης / κύκλων. Το διάγραμμα προκύπτει από την σχέση  $\sigma_n = \sigma_N (N/n)^k$  όπου:

- $\sigma_n$  είναι η αντοχή κόπωσης για αστοχία στους  $n$  κύκλους
- $\sigma_N$  η τάση φόρτισης που προκαλεί αστοχία στους  $N$  κύκλους
- $k$  η κλίσης της ευθείας στο διάγραμμα S/N

Στο διάγραμμα παρατηρούμε ένα σημείο στο οποίο η καμπύλη τείνει να γίνει οριζόντια. Το σημείο αυτό είναι η ανώτατη φόρτιση που μπορεί να δεχτεί ένα υλικό χωρίς να αστοχήσει και ονομάζεται τάση ή όριο κόπωσης. Σε κάποιες περιπτώσεις ο αριθμός  $N$  μπορεί να προσεγγίσει το άπειρο.

### 3.2 SIMSCALE



Εικόνα 22 : Simscale

Το λογισμικό simscale είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης που κατασκευάστηκε για την εποχή του cloud computing. Διαθέτοντας ένα πλήρες σύνολο δυνατοτήτων ανάλυσης πεπερασμένων Στοιχείων (FEA) και Υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD) έχοντας σαν σημείο επαφής ένα πρόγραμμα περιήγησης, το Simscale καταφέρνει να προσφέρει κάτι πραγματικά καινοτόμο σε έναν ήδη ανεπτυγμένο τομέα. Είναι μια πλατφόρμα για δομική, θερμική και ρευστή ανάλυση τρισδιάστατων μοντέλων CAD, διαθέτοντας μια σειρά από μοναδικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες που εστιάζουν στην ευκολία χρήσης, την προσβασιμότητα και την επεκτασιμότητα. Η χρήση του γίνεται εξολοκλήρου στο διαδίκτυο κάτι που δίνει τη δυνατότητα σε άτομα με υπολογιστή μέτριας τεχνολογίας να αξιοποιήσουν όλες του τις δυνατότητες.

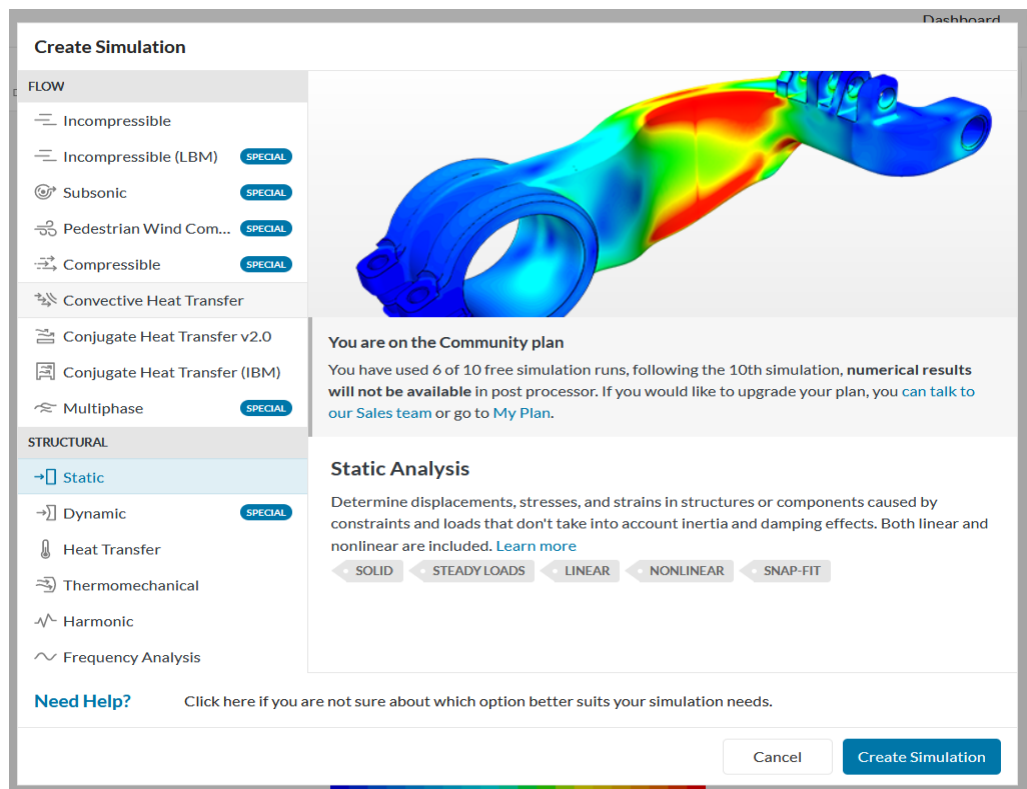
Μετά από μια προσομοίωση, τα αποτελέσματα αποθηκεύονται στο Simscale, καθιστώντας εύκολη την πρόσβαση σε αυτά για οποιονδήποτε χρήστη. Η ευκολία κοινής χρήσης της εξόδου μιας προσομοίωσης είναι τόσο απλή όσο η αποστολή ενός συνδέσμου. Όχι μόνο δεν χρειάζεται να ασχοληθεί ο χρήστης με την αποστολή αρχείων μέσω email, αλλά μπορεί οποιονδήποτε να δει τα δεδομένα χωρίς ειδικά προγράμματα – μόνο ένα πρόγραμμα περιήγησης.

Το Simscale προσφέρει μόνο δυνατότητες προσομοίωσης, χωρίς τρόπο να ενημερώσει κάποιος το σχέδιό του αφού το αναλύσει, ωστόσο η διασύνδεση με ειδικά εργαλεία CAD είναι η απάντηση σε αυτό το δίλημμα. Με πρόσθετα τόσο για το Onshape όσο και για το Fusion 360 της Autodesk, τα

δεδομένα CAD μπορούν εύκολα να εξαχθούν από το λογισμικό CAD στο Simscape, να αναλυθούν και στη συνέχεια να επιστραφούν στο περιβάλλον CAD για τυχόν απαραίτητες τροποποιήσεις σχεδιασμού.

Άλλη μια απόδειξη της σύγχρονης επίγνωσης του Simscape που είναι εκπληκτικό να ληφθεί υπόψη είναι η γιγάντια βιβλιοθήκη του με περιεχόμενο που βασίζεται στην κοινότητα χρηστών του. Πάνω από 100.000 μηχανικοί, σχεδιαστές και επιστήμονες έχουν δημιουργήσει και έχουν μοιραστεί έργα προσομοίωσης όλων των τύπων, από τη μοντελοποίηση ενός συστήματος εξαερισμού μεγάλης κλίμακας έως τη δομική ακεραιότητα μιας θήκης τηλεφώνου που πέφτει

Εμείς θα χρησιμοποιήσουμε τη λειτουργία που έχει το Simscape για να πραγματοποιεί στατική προσομοίωση εικ.15. Στη συνέχεια επιλέγουμε τη γεωμετρία του αντικειμένου στο οποίο θέλουμε να κάνουμε την ανάλυση, ορίζουμε το μέγεθος της επιτάχυνσης της βαρύτητας και την κατεύθυνση στην οποία ασκείται καθώς και το υλικό από το οποίο αποτελείται. Έπειτα είναι η ώρα να καθορίσουμε τις οριακές συνθήκες τις οποίες μελετάμε κάθε φορά. Ορίζουμε τις πιέσεις που θέλουμε να εφαρμόσουμε καθώς και την στήριξη του αγωγού ο οποίος στην περίπτωση μας βρίσκεται μέσα στο έδαφος οπότε δεν υπάρχει πιθανότητα περιστροφής. Τέλος δημιουργούμε τη δομή του αντικειμένου και τρέχουμε την ανάλυση.



**Material**

Search...

▼ **DEFAULT**

- Nickel
- PA
- PET
- PLA
- PP
- PVC
- Platinum
- Rubber
- Silicon
- Silver
- Steel**
- Tin
- Titanium
- Wood

> **MY MATERIALS**

**Steel**

Material behavior	Linear elastic	▼
Directional dependency	Isotropic	▼
(E) Young's modulus	2.05e+11	Pa
(ν) Poisson's ratio	0.28	
(ρ) Density	7870	kg/m <sup>3</sup>

Apply Cancel

Εικόνα 23,24

Von misses stress.

Η τάση Von Mises είναι μια τιμή που χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί εάν ένα δεδομένο υλικό θα διαρρέψει ή θα σπάσει και είναι αναλλοίωτη, δηλαδή ανεξάρτητη του συστήματος αναφοράς που έχει επιλεγθεί. Χρησιμοποιείται κυρίως για όλκιμα υλικά, όπως μέταλλα. Το κριτήριο απόδοσης Von Mises δηλώνει ότι εάν η τάση αυτή ενός υλικού υπό φορτίο είναι ίση ή μεγαλύτερη από το όριο διαρροής του ίδιου υλικού υπό απλή τάση, τότε το υλικό θα διαρρέψει.

Για στατικά φορτία όπως την περίπτωση της πίεσης σε αγωγούς η **Von mises stress** ορίζεται ως  $\sigma_{\text{von mises}} = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 + 3\tau^2)^{1/2}$  όπου  $\tau$ : τάση πρόσκρουσης,  $\sigma_1 = P(d/2t)$  μέγιστη τάση και  $\sigma_2 = -P(d/2t)$  η ελάχιστη τάση.

P: πίεση

d: διάμετρος αγωγού

t: πάχος του τοιχώματος του αγωγού

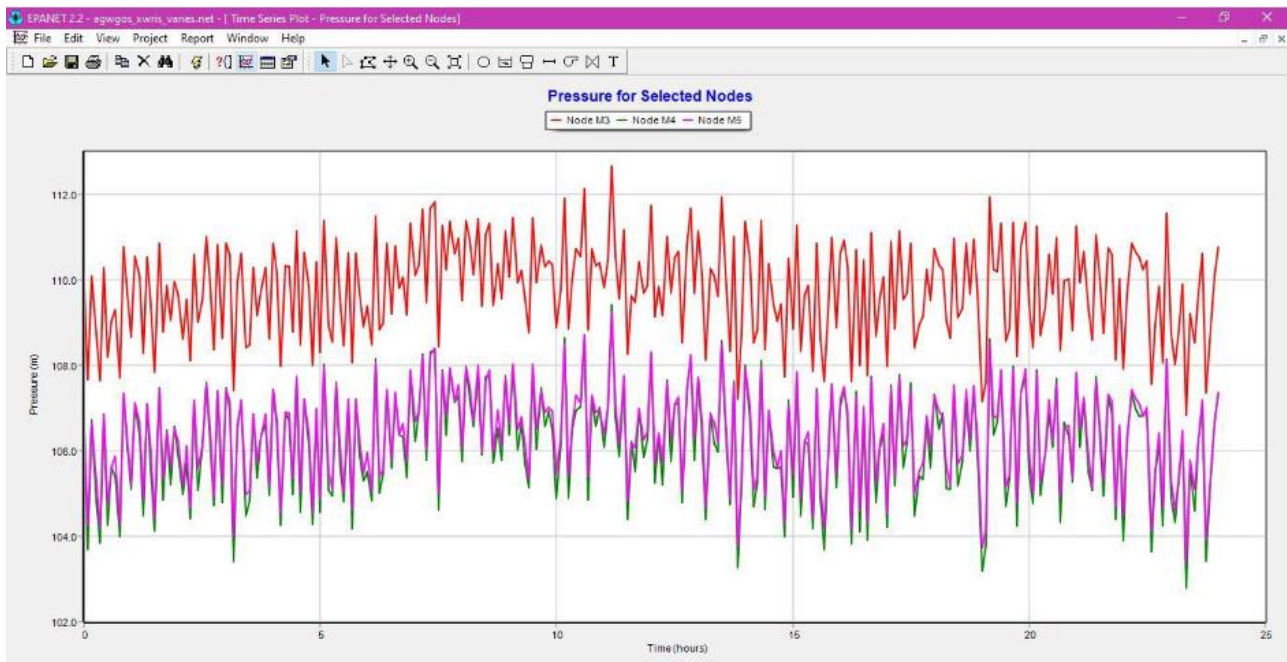
### 3.3 Ανάλυση μέσω προγράμματος SIM SCALE

Στόχος της εργασίας είναι να μελετήσουμε τον αγωγό και να εντοπίσουμε αν υπάρχει η πιθανότητα σημείο/α πάνω σε αυτόν να εμφανίσει κάποια κόπωση καθώς και μετά από πόσους κύκλους ζωής του υλικού θα συμβεί αυτό. Για την ανάλυση πάρθηκε το σημείο στο οποίο ο αγωγός διακλαδώνεται προς την έξοδο για Γούρνες και είναι το part 9 πάνω στο σχέδιο . Στο σημείο αυτό ο κύριος αγωγός έχει διάμετρο 1m και πάχος 1cm ενώ ο δευτερεύων έχει διάμετρο 0.9m και το ίδιο πάχος. Τα δεδομένα πιέσεων που χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν από την ανάλυση την οποία είχε πραγματοποιήσει η συνάδελφος κα Μπόβολου στην δική της πτυχιακή εργασία πάνω στο φράγμα Αποσελέμη. Τα δικά της αποτελέσματα είχαν προέλθει μέσω ανάλυση στο πρόγραμμα EPANET μετρήσεων από παροχές στα Φρεάτια Μέτρησης Ελέγχου ( ΦΜΕ ) οι οποίες δόθηκαν από τους μηχανικούς του Φράγματος και αναφέρονται σε χρονική περίοδο ενός χρόνου. Η συχνότητα μετρήσεων είναι ορισμένη κάθε 5 λεπτά.

Παρακάτω παρατίθεται διάγραμμα πίεσης που προκύπτει από το EPANET για τις πιέσεις που ασκούνται τριγύρω από τα ΦΜΕ3, ΦΜΕ4, ΦΜΕ5. Εμείς θα πάρουμε από αυτές τις μετρήσεις τον μέσο όρο , την υψηλότερη και την χαμηλότερη πίεση για κάθε ΦΜΕ και μέσω του SIMSCALE θα προσπαθήσουμε να καταλήξουμε σε ένα αποτέλεσμα.

Σαν υψηλότερη πίεση παίρνουμε την τιμή 112,5 (έχοντας ως μονάδα μέτρησης mH<sub>2</sub>O) για το ΦΜΕ3 , 107 για το ΦΜΕ4 και 109 για το ΦΜΕ5. Σαν χαμηλότερη πίεση παίρνουμε 107,5 για το ΦΜΕ3 , 102,5 για το ΦΜΕ4 και 103,5 για το ΦΜΕ5. Σαν μέση πίεση παίρνουμε 110 για το ΦΜΕ3 , 106,5 για το ΦΜΕ5 και 105 για το ΦΜΕ4.



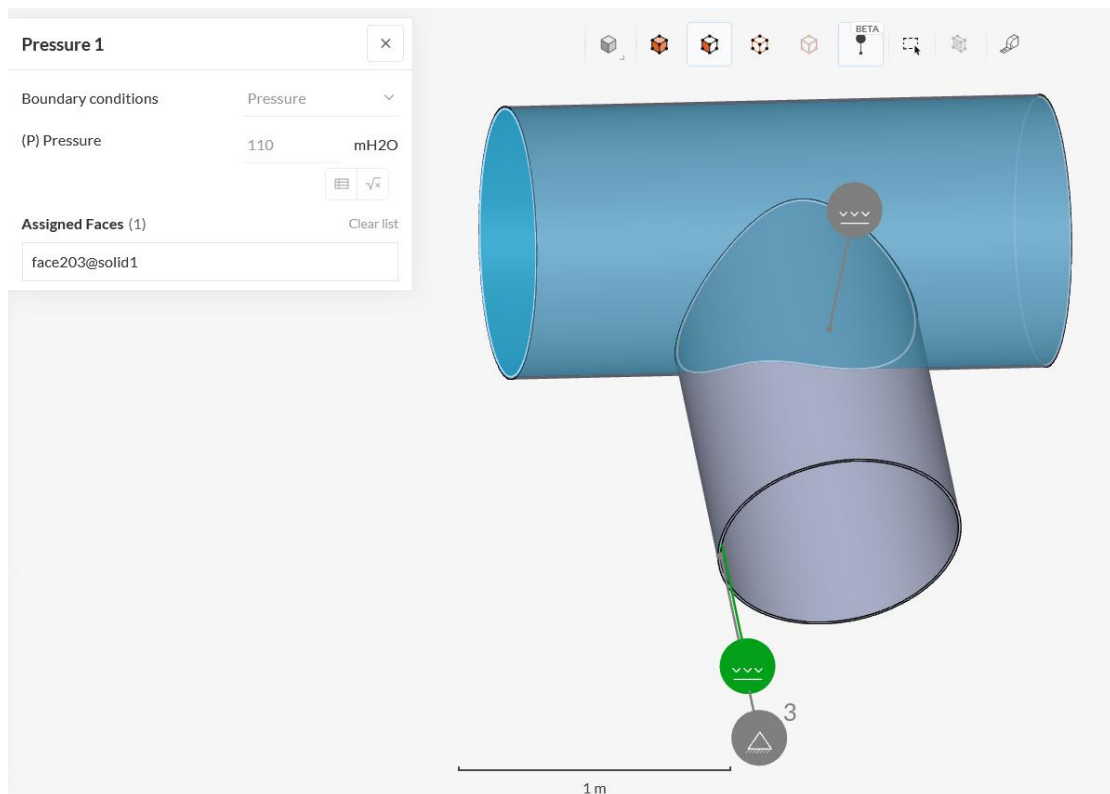


Εικόνα 25: Διάγραμμα Πίεσης - Χρόνος για ΦΜΕ 3,4,5 από Epanet.

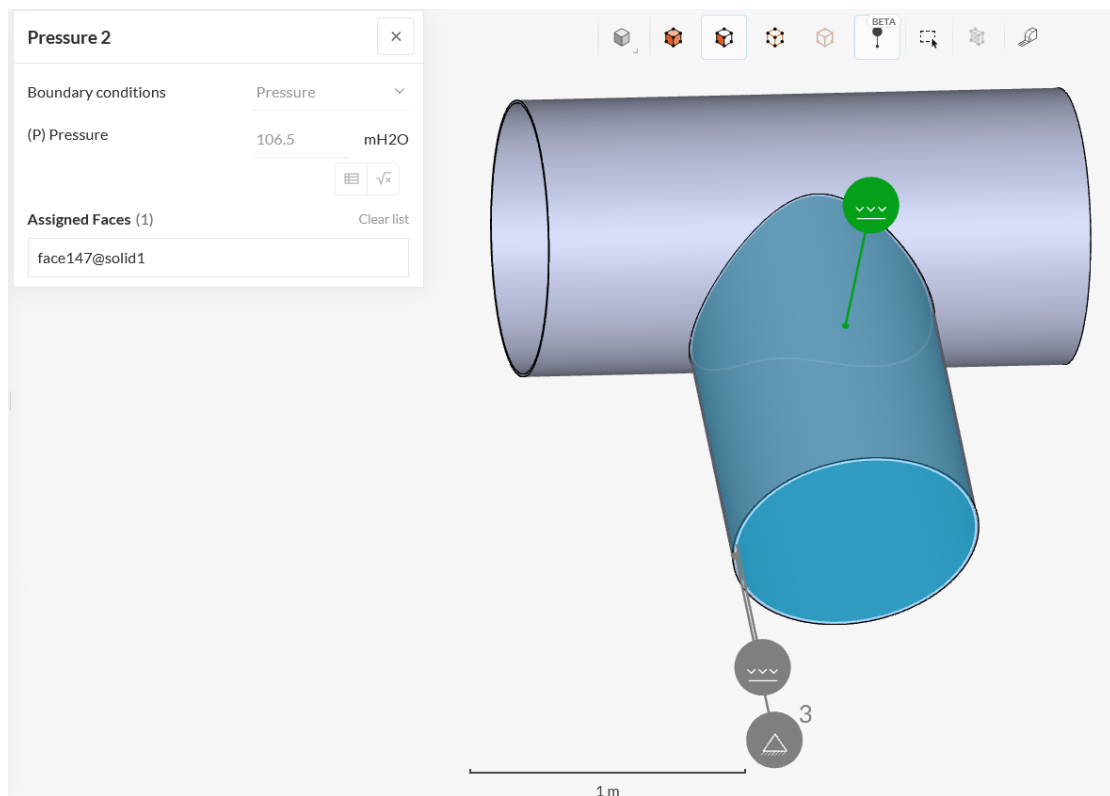
### Μέση πίεση:

Σε αυτήν περίπτωση έχουμε ορίσει σαν πίεση εισόδου τα 110mH<sub>2</sub>O και σαν πίεση εξόδου τα 106,5 Mh<sub>2</sub>O. Η πίεση ασκείται σε όλη την εσωτερική επιφάνεια του αγωγού όπως φαίνεται στις εικόνες 28 και 29. Για υλικό το οποίο ασκεί την πίεση διαλέγουμε το νερό. Ακόμα σε όλες τις περιπτώσεις προϋποθέτουμε ότι ο αγωγός παρά την πίεση που του ασκείται παραμένει σταθερός και δεν μετακινείται καθώς είναι λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια της Γης και κάθετα πάνω σε στηρίγματα. Αυτό καθορίζεται με την οριακή συνθήκη **fixed support** η οποία εφαρμόζεται στην λεπτή πλευρά του πάνω στην 'τομή' με τον υπόλοιπο αγωγό και περιορίζει όλους τους βαθμούς εξωτερικής ελευθερίας του στο 0. Γενικά το **fixed support** χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση ενός μοντέλου το οποίο συνδέεται εν μέρη ή εξ ολοκλήρου με μία άκαμπτη επιφάνεια ,όπως τα στηρίγματα στη δική μας περίπτωση , όπου η όποια πίεση που μπορεί να ασκηθεί δεν θα επιφέρει κάποια παραμόρφωση.

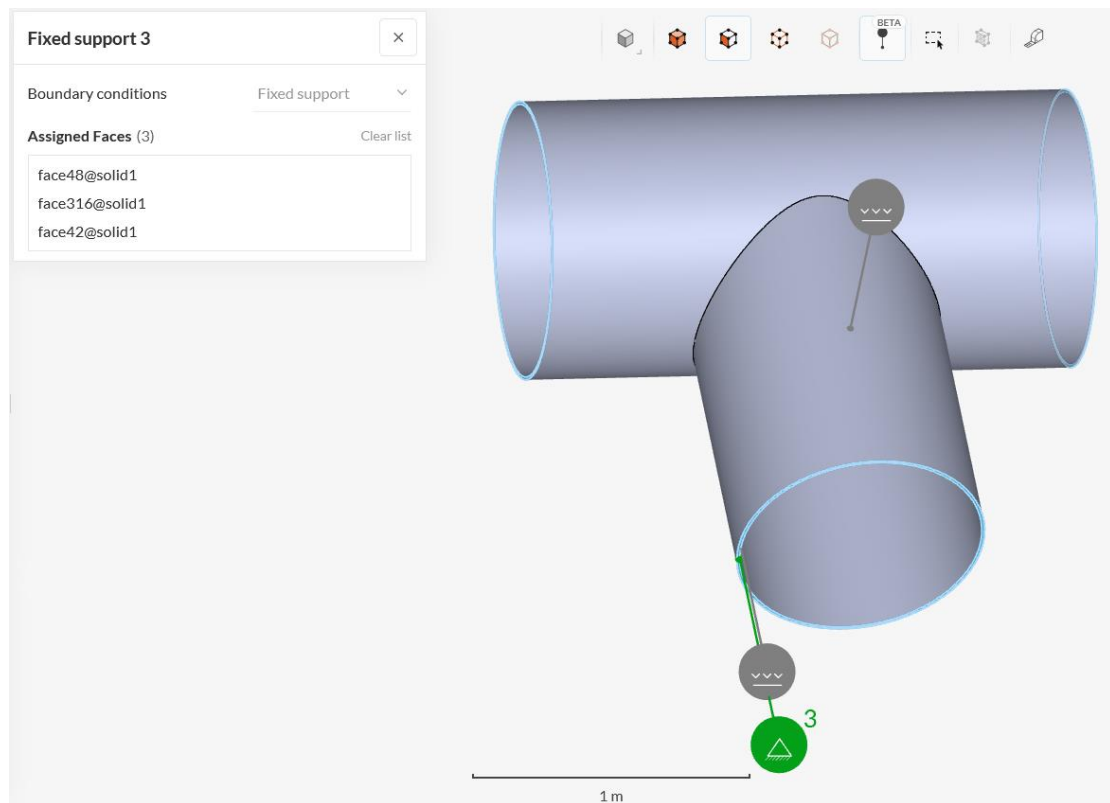




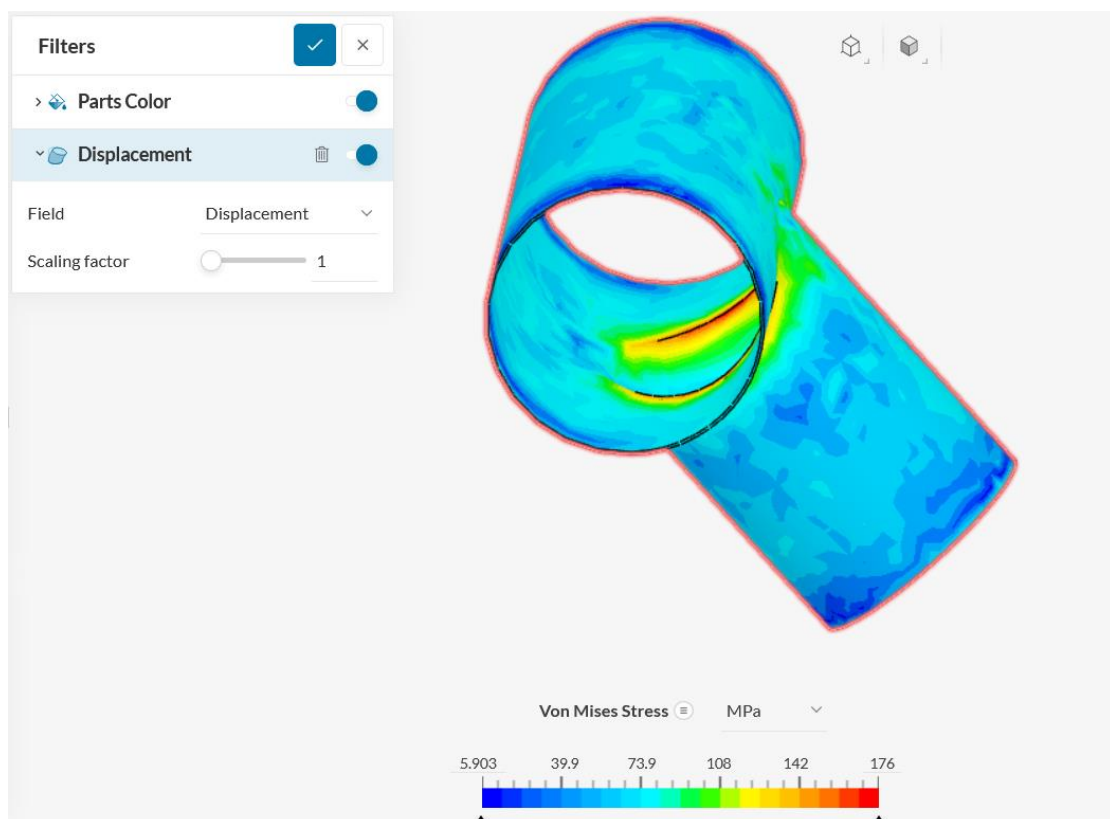
Εικόνα 26 : Πίεση εισόδου



Εικόνα 27 : Πίεση εξόδου



Εικόνα 28 : Στηρίγματα αγωγού



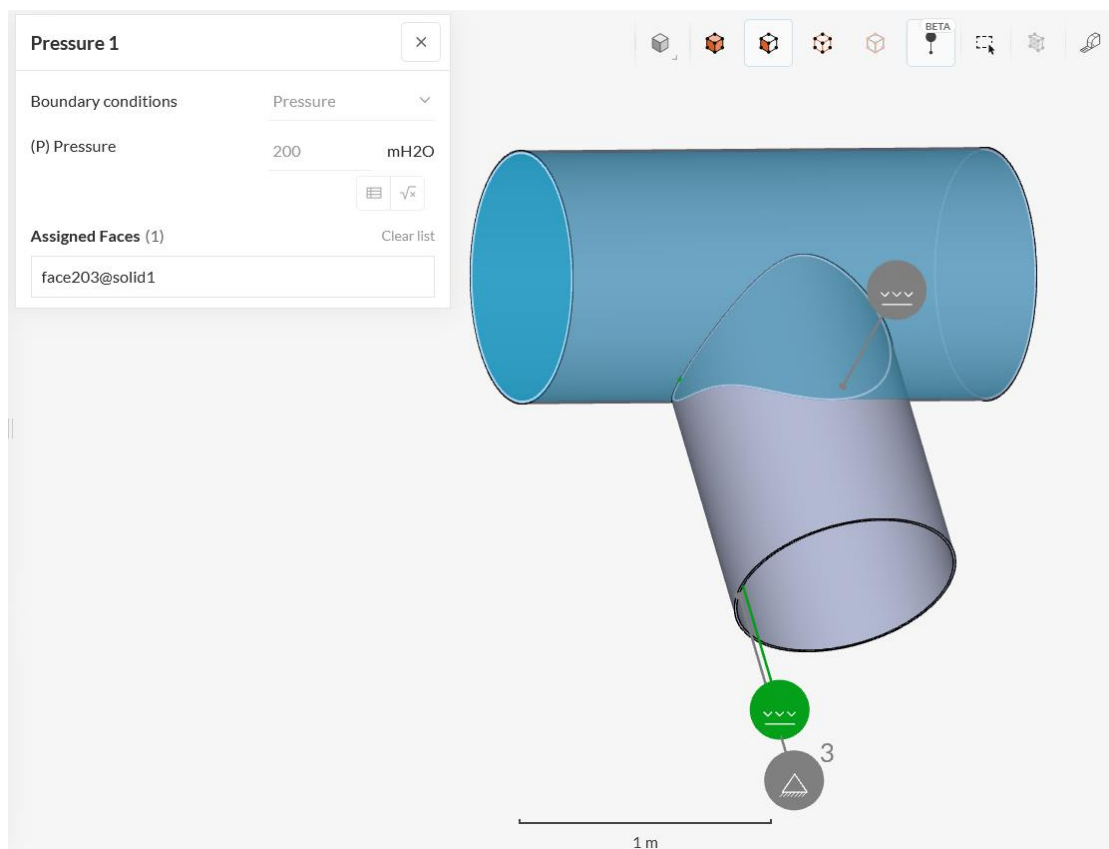
Εικόνα 29:: Αποτελέσματα μελέτης

Το αποτέλεσμα της μελέτης σε αυτήν περίπτωση παρατίθεται παραπάνω στην εικ.31. Παρατηρούμε ότι η υψηλότερη τάση που ασκείται στον αγωγό σε αυτήν την περίπτωση είναι 176 Μpa και αυτή όπως και όλες οι πιο υψηλές τιμές παρατηρούνται στο σημείο της διακλάδωσης όπως είναι και λογικό. Η τάση αυτή σύμφωνα με το s/η διάγραμμα για το συγκεκριμένο υλικό είναι μακριά από το να προκαλέσει κάποια παραμόρφωση στον αγωγό καθώς αυτό για να συμβεί θα πρέπει να ασκηθούν πέρα από  $10^7$  κύκλοι φόρτισης στο υλικό το οποίο είναι ουσιαστικά αδύνατο.

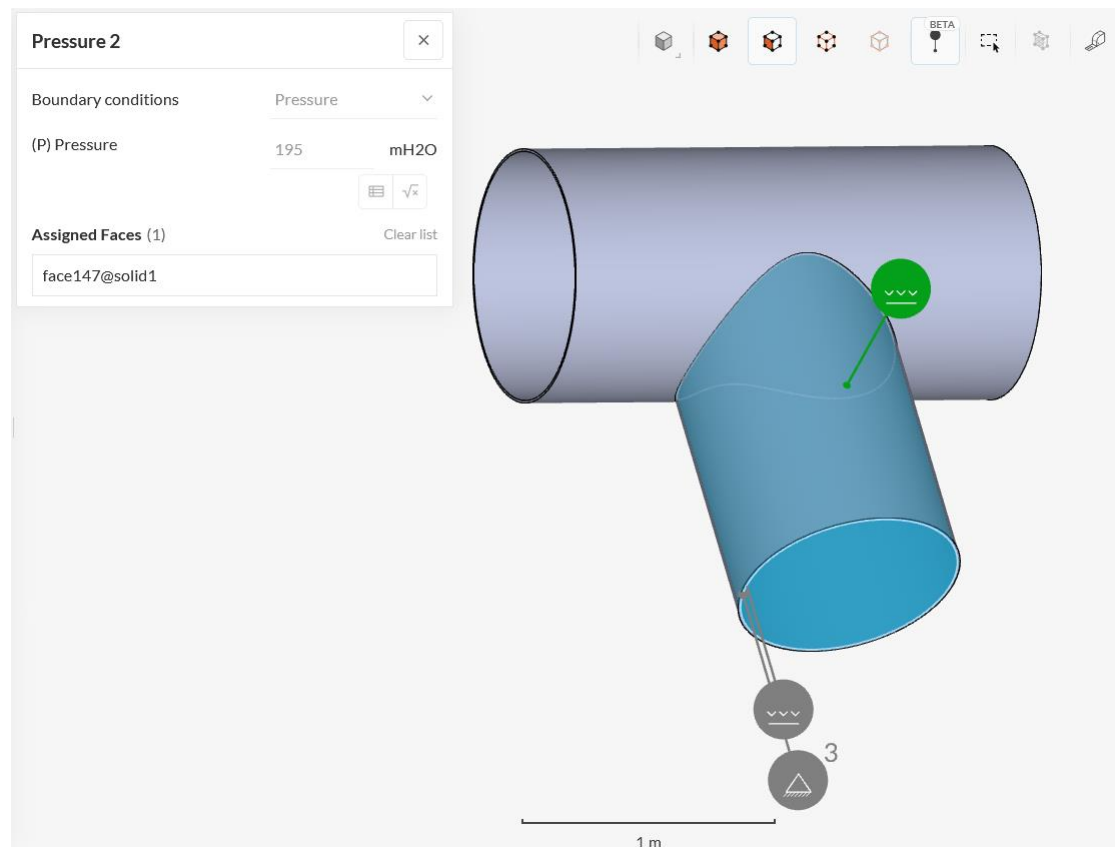
#### Πολύ υψηλή θεωρητική πίεση:

Τα πραγματικά δεδομένα οδηγούν σε αποτέλεσμα που για το υλικό το οποίο μελετάμε έχουν μηδενικές πιθανότητες αστοχίας. Επομένως προκειμένου να ελέγξουμε την πιθανότητα να αστοχήσει ποτέ το υλικό αποφασίσαμε να κάνουμε την ανάλυση μας σε πρώτη φάση για τον ίδιο αγωγό όμως με πολύ υψηλότερες πιέσεις σε δεύτερη φάση μελετώντας έναν αγωγό ίδιου υλικού και πάχους άλλα με μικρότερη διάμετρο ( την μισή ) .

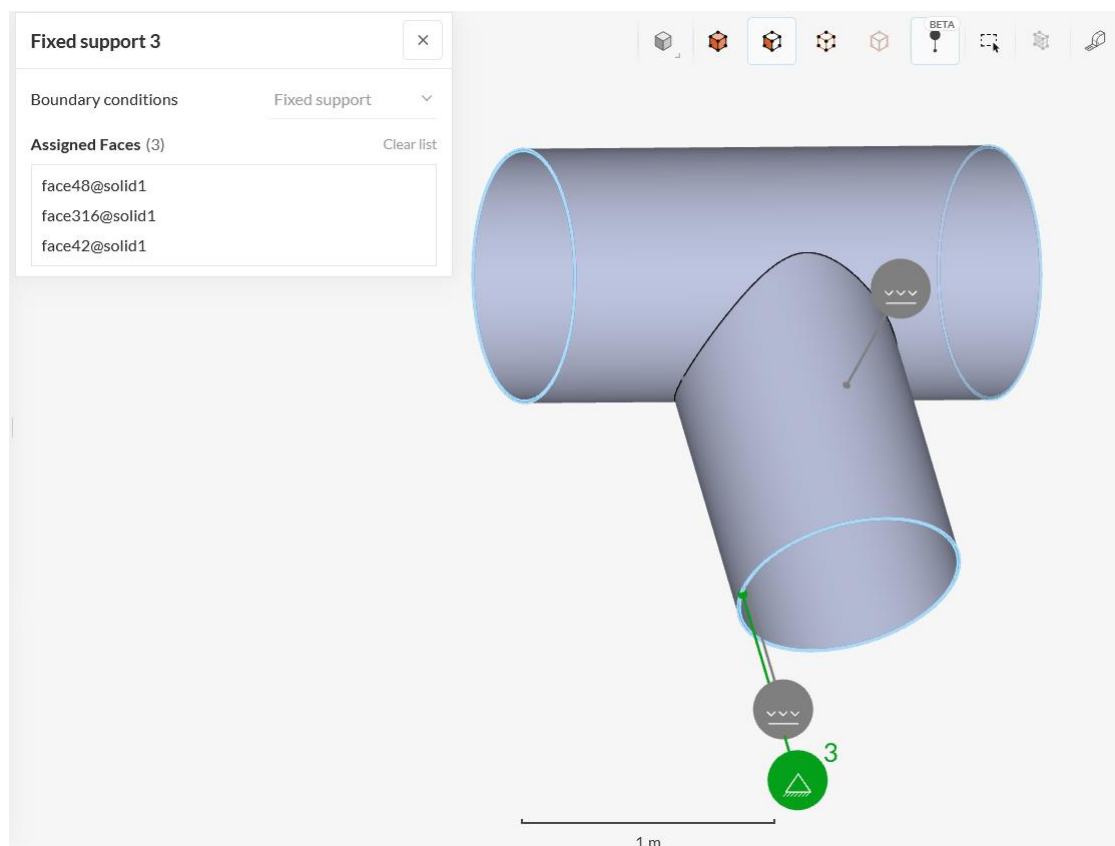
Πολύ υψηλή θεωρητική πίεση για τον ίδιο αγωγό :Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόστηκαν πολύ υψηλές πιέσεις εισόδου και εξόδου της τάξης των 200mH2O και 195mH2O αντίστοιχα. Το υλικό το οποίο ασκεί την πίεση παρέμεινε το ίδιο όπως και ο αγωγός.



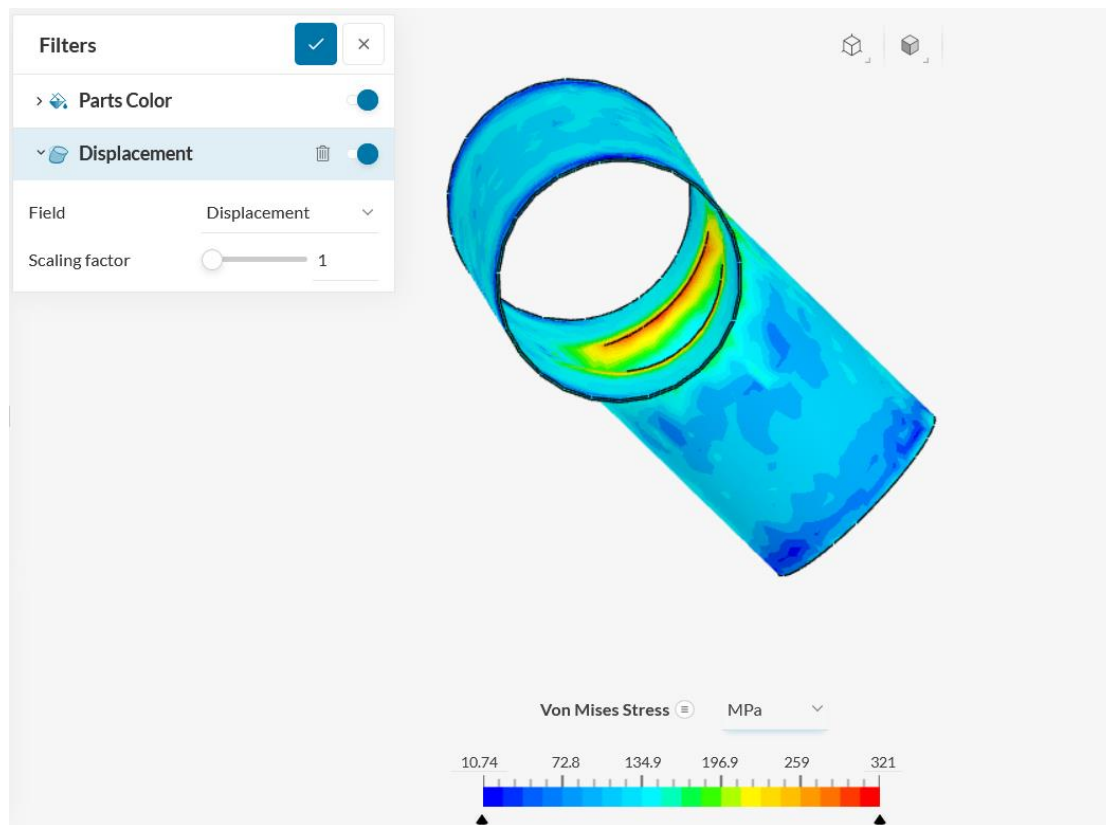
Εικόνα 30 : Υψηλή πίεση εισόδου



Εικόνα 31 : Υψηλή πίεση εξόδου



Εικόνα 32 : Στήριξη αγωγού

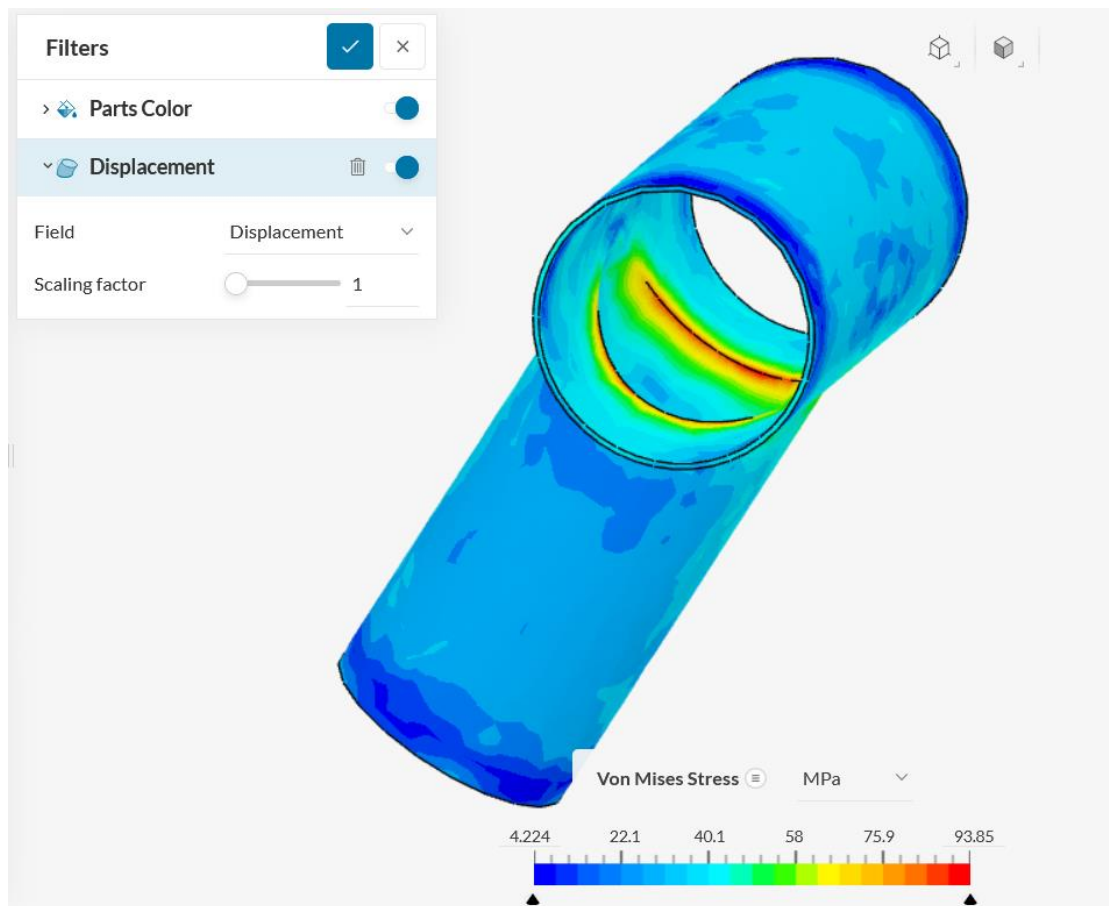


Εικόνα 33 : Αποτέλεσμα ανάλυσης

Το αποτέλεσμα της μελέτης σε αυτήν περίπτωση παρατίθεται παραπάνω στην εικ.35 . Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη τάση που ασκείται στον αγωγό σε αυτήν την περίπτωση είναι 321 Mpa και αυτή όπως και όλες οι πιο υψηλές τιμές παρατηρούνται στο σημείο της διακλάδωσης όπως είναι και λογικό. Αυτήν τη φορά η τάση που ασκείται είναι αρκετά μεγαλύτερη από πριν και ειδικά στο σημείο όπου παρατηρείται η μέγιστη τιμή αυξάνεται αρκετά η πιθανότητα παραμόρφωσης. Στην προκειμένη περίπτωση σύμφωνα με το ίδιο s/n διάγραμμα η πιθανότητα παραμόρφωσης συναντάται μετά από  $10^4$  κύκλους φόρτισης του υλικού , νούμερο αρκετά μεγάλο και αυτήν την φορά , που είναι και πάλι δύσκολο αλλά όχι απίθανο να μπορούσε να συμβεί.

#### Αγωγός με ίδια διάμετρο και μισό πάχος τοιχώματος:

Σε αυτήν την περίπτωση θα γίνει ανάλυση σε αγωγό με τη μισή διάμετρο ( 0.5 και 0,45 μέτρα αντίστοιχα ) και ίδιο πάχος τοιχώματος .Οι πιέσεις που θα ασκηθούν και εδώ θα είναι και πάλι ο μέσος όρος των πιέσεων που προέκυψαν σε αυτό το τμήμα σύμφωνα με την ανάλυση της κας Μπόβολου ενώ το τμήμα θα στηριχθεί και πάλι στα ίδια σημεία θεωρώντας και πάλι ότι βρίσκεται πάνω σε στηρίγματα και δεν είναι απλά αφημένος στο έδαφος.



Εικόνα 34: Αποτέλεσμα Ανάλυσης

Τα αποτελέσματα της μελέτης σε αυτήν την περίπτωση παρατίθενται στην εικόνα 36 . Παρατηρούμαι ότι μειώνοντας στο μισό τις διαμέτρους των μερών του τμήματος μας , η ασκούμενη τάση μειώθηκε στο σχεδόν στο ήμισυ , γεγονός φυσιολογικό αν σκεφτεί κανείς τον τύπο του Von misses stress που είδαμε παραπάνω. Επομένως καταλαβαίνουμε ότι σε αυτήν περίπτωση ο αγωγός σύμφωνα με το  $s/n$  διάγραμμα του υλικού είναι πολύ μακριά από το να εμφανίσει παραμόρφωση.

### 3.4.1 Περίπτωση χρήσης του Σωλήνα για αποθήκευση ενέργειας (Αντλιοσταμείωση)

Σε αυτήν την περίπτωση θα μελετήσουμε την περίπτωση ο συγκεκριμένος αγωγός να λειτουργεί με αντίθετη κατεύθυνση και να μεταφέρει νερό από το Ηράκλειο προς την εγκατάσταση επεξεργασίας νερού (ΕΕΝ) χωρίς να παρεμβάλλονται στην πορεία του οι υπάρχουσες ανοικτές δεξαμενές. Με αυτό τον τρόπο θα επιτυγχάναμε αποθήκευση ενέργειας με αντλιοσταμείωση.



Εικόνα 35. Ταμιευτήρας χρησιμοποιούμενος για αντλιοσταμείωση έχοντας περιμετρικά του φωτοβολταϊκά πάνελ για παραγωγή πράσινης ενέργειας

Η λειτουργία της αντλιοσταμείωσης απαιτεί δυο δεξαμενές με διαφορά υψομέτρου, γεωμορφολογικό ανάγλυφο που η χώρα μας διαθέτει εν αφθονία. Όταν υπάρχει περίσσεια ενέργειας στο δίκτυο, η ενέργεια αυτή χρησιμοποιείται για να αντλήσει νερό από τον «κάτω» προς τον «άνω» ταμιευτήρα. Όταν στο δίκτυο υπάρχει υψηλή ζήτηση, το νερό επανέρχεται στον χαμηλότερο ταμιευτήρα παράγοντας υδροηλεκτρική ενέργεια. Με αυτόν τον απλό τρόπο, η ενέργεια που «περισεύει» αποθηκεύεται προσωρινά για να μετατραπεί σε υδροηλεκτρική ενέργεια, όταν το δίκτυο την χρειαστεί.

Η αντλιοσταμείωση είναι η πλέον δοκιμασμένη μέθοδος, η οποία αντιπροσωπεύει το 97% της παγκόσμιας αποθήκευσης. Ο λόγος είναι ότι βασίζεται στη δοκιμασμένη τεχνολογία της υδροηλεκτρικής παραγωγής, έχει δυνατότητα μαζικής αποθήκευσης, τεράστιο χρόνο ζωής που υπερβαίνει τα 50 χρόνια και κυρίως αποτελεί υποδομή με υψηλή εγχώρια προστιθέμενη αξία, η οποία δημιουργεί συνθήκες ενεργειακής ανεξάρτησης από εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα και τεχνολογίες.

Καθώς όλο και περισσότερα κράτη στρέφονται σε εγχώριες πηγές πράσινης ενέργειας (αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκοί σταθμοί, υδροηλεκτρικά φράγματα κλπ) έτσι ώστε να διασφαλίσουν φιλική προς το περιβάλλον ενέργεια αλλά και ενεργειακή ανεξαρτησία και ανταγωνιστικό κόστος για τις οικονομίες τους, υπάρχει μια αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Αυτό συμβαίνει διότι οι ΑΠΕ αν και αποτελούν μια οικονομική και πράσινη μορφή παραγωγής ενέργειας συμβάλουν αρνητικά στην σταθερότητα του δικτύου διότι η παραγωγή τους εξαρτάται από πολλούς



παράγοντες και στην περίπτωση των Αιολικών και ΦΒ συστημάτων δεν είναι συνεχής αλλά διακοπτόμενη.

Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν περίοδοι που η ζήτηση ενέργειας θα είναι μεγάλη αλλά η παραγωγή μικρή οδηγώντας αναπόφευκτα σε ενδεχόμενη ενεργειακή κρίση και διατάραξη της σταθερότητας του δικτύου. Θα υπάρξουν όμως και περιπτώσεις που η παραγωγή θα είναι μεγάλη και η ζήτηση μικρή οπότε η περίσσεια ενέργεια θα χάνεται.

Αυτό έχει οδηγήσει τους διαχειριστές των δικτύων ηλεκτρισμού ανά τον κόσμο να επισημαίνουν την ανάγκη η πράσινη εγκατεστημένη ισχύς να συνοδεύεται από αντίστοιχου μεγέθους μονάδες αποθήκευσης ενέργειας προκειμένου να αποφευχθούν τέτοιου είδους προβλήματα.

### 3.4.2 Οφέλη ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης στην Κρήτη

Τα οφέλη ενός συστήματος αντλησιοταμίευσης σε ένα δίκτυο όπως αυτό της Κρήτης είναι πολλά.

Η Κρήτη όντας νησί είναι αποκομμένη από την υπόλοιπη Ηπειρωτική Ελλάδα. Αυτό έχει οδηγήσει στον κορεσμό του ηλεκτρικού δικτύου ως προς τις ΑΠΕ που μπορούν να εγκατασταθούν. Αυτό συμβαίνει διότι με το να μην είναι διασυνδεδεμένη με την υπόλοιπη Ελλάδα, δεν μπορεί να διοχετευθεί κάπου η περίσσεια ηλεκτρική ενέργεια με αποτέλεσμα να χάνεται.

Η χρήση λοιπόν του δικτύου ύδρευσης του Αποσελέμη ως ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας θα βοηθούσε πολύ στον αποκορεσμό του δικτύου και συνεπώς στην δυνατότητα ένταξης νέων συστημάτων ΑΠΕ στην περιοχή της Κρήτης, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή πράσινης, φιλικής προς το περιβάλλον ενέργειας. Για να συμβεί όμως κάτι τέτοιο θα πρέπει αρχικά να δούμε κατά πόσο το ήδη υπάρχον σύστημα επεξεργασίας και διανομής νερού που υπάρχει στον νομό Ηρακλείου και τροφοδοτεί τις πόλεις του Ηρακλείου και του Αγίου Νικολάου θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για κάτι τέτοιο καθώς ο αρχικός σχεδιασμός του ήταν απλά για την παροχή πόσιμου νερού στις γύρω περιοχές.

Θα χρειαστεί λοιπόν να εξετάσουμε το ενδεχόμενο ροής του νερού μέσα στον αγωγό χωρίς την ελάττωση στην πίεση που προκαλούν οι δεξαμενές. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των δυνάμεων που δέχεται ο αγωγός, φαινόμενο που καθιστά αναγκαίο τον υπολογισμό της υδροστατικής πίεσης που χρειάζεται να ασκηθεί προκειμένου το νερό να ανέβει στο ΕΕΝ (139.84Μ) από το υψόμετρο στο οποίο καταλήγει ο αγωγός λίγο έξω από το Ηράκλειο ( 101,11μ). Εδώ παρατηρούμε ότι η υψομετρική διαφορά των δύο αυτών σημείων είναι περίπου στα 40m. Συνεπώς μιλάμε για ένα σύστημα μεσαίου μεγέθους.

Ο τύπος υπολογισμού της υδροστατικής πίεσης είναι :

$$P = \rho * g * h \text{ όπου}$$

P : Υδροστατική πίεση

$\rho$  : η πυκνότητα του νερού  $1000\text{kg/m}^3$

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας  $9,8\text{ m/s}^2$

h : η υψομετρική διαφορά από το σημείο αναφοράς ( στην δική μας περίπτωση θα οριστεί το σημείο στο οποίο καταλήγει ο αγωγός στο Ηράκλειο )

$$\text{Οπότε } P = \rho * g * h = 1000\text{kg/m}^3 * 9,8\text{ m/s}^2 * 38,76\text{m} = 379.848\text{ kg/(m * s}^2\text{)}$$

Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι σε N , όμως αν το λάβουμε ανά τετραγωνικό μέτρο τότε θα πάρουμε αποτέλεσμα σε Pa που είναι και το ζητούμενο μας.

Άρα η πίεση είναι  $379.848\text{ Pa} = 0,379848\text{ Mpa} = 38,734\text{ Mh}_2\text{O}$  , νούμερο το οποίο σύμφωνα με τις αναλύσεις που έγιναν στις προηγούμενες περιπτώσεις είναι πολύ μικρό για να προκαλέσει κάποια δυσμορφία στο υλικό του σωλήνα που μας αφορά.

### 3.5 Τεχνικά Χαρακτηριστικά σωλήνα

Για την κατασκευή των σωλήνων του αγωγού που συνδέει το φράγμα Αποσελέμη με το Ηράκλειο χρησιμοποιήθηκαν χαλυβδοελάσματα ποιότητας υλικού σύμφωνα με το DIN 1626 ST37. Τα χαλυβδοελάσματα αυτά είναι πιστοποιημένα από το χαλβουργείο προέλευσης κατά EN 10204 . Για τον έλεγχο τους πραγματοποιήθηκαν δειγματοληπτικές καταστροφικές δοκιμές (1 εφελκυσμός, 1 κάμψη, χημική ανάλυση) για κάθε διαφορετική χύτευση χαλυβδοελασμάτων, σύμφωνα με τα πρότυπα και συνθήκες που προβλέπει το DIN 1626. Τα πάχη των χαλυβδосωλήνων και οι ονομαστικές διαμέτροι των σωλήνων είναι σύμφωνα με τα ΕΛΟΤ 496 και 497 αντίστοιχα (με εξαίρεση τους αγωγούς ονομαστικής διαμέτρου Φ1100 και Φ1300 οι οποίοι δεν περιέχονται στα παραπάνω πρότυπα ΕΛΟΤ) και όπως ορίζονται παρακάτω. Στη δική μας περίπτωση ( διακλάδωση Γουρνών ) μας αφορούν οι διαμέτροι Φ1000 και Φ900 με αντίστοιχο πάχος ελάσματος στα 10mm .

Ονομαστική διάμετρος (χλσ)	Εξωτερική διάμετρος (χλσ)	Πάχος χαλυβδοελάσματος (χλσ)
300	323.9	5.0
400	406.4	6.3
500	508.0	6.3
600	610.0	6.3
700	711.0	6.3
800	813.0	8.0
900	914.0	10.0
1000	1016.0	10.0
1100	1120.0	11.0
1200	1220.0	12.0

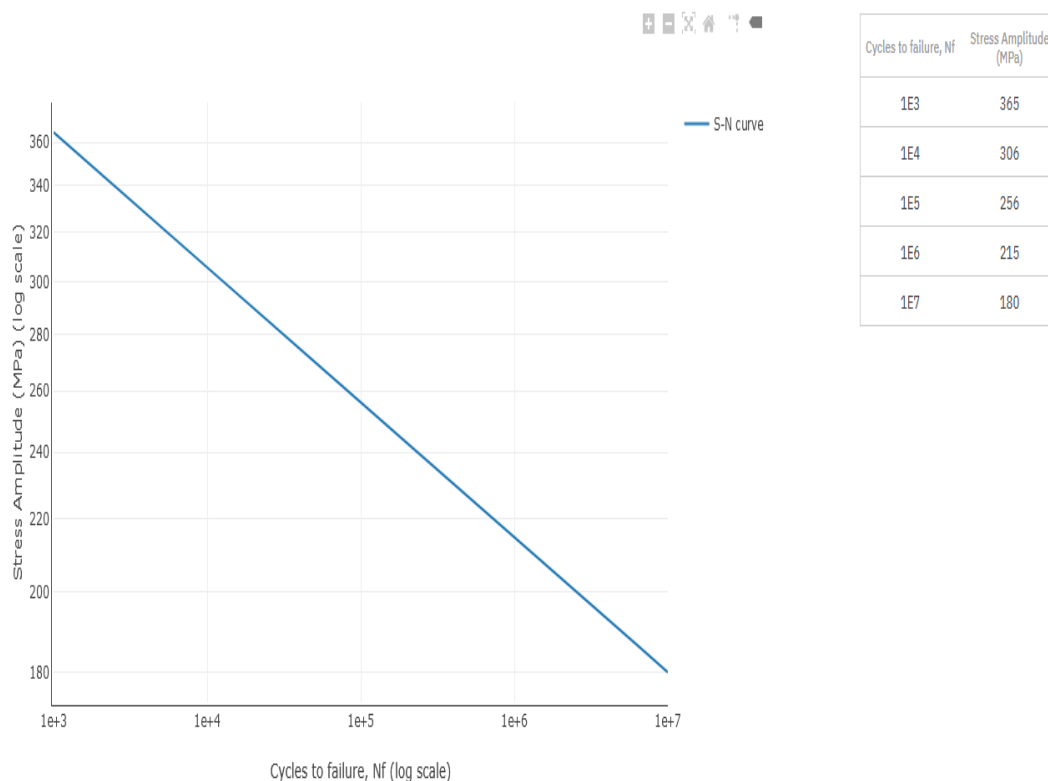
Εικόνα 36:

Πίνακας εξωτερικής διαμέτρου – Πάχους ελάσματος.

Για αγωγούς τύπου κατά DIN 1626 ST37 ισχύουν τα παρακάτω ανώτερα όρια διαρροής . Όταν η πίεση που ασκείται στα τοιχώματα του σωλήνα περάσει τις παρακάτω τιμές η πίεση παύει να είναι ελαστική και γίνεται πλέον πλαστική , γεγονός που οδηγεί τον αγωγό σε σφάλμα. Εμάς μας ενδιαφέρουν οι τιμές για θερμοκρασία κάτω από 50 βαθμούς Κελσίου και για πάχος τοιχώματος μικρότερο των 16mm.

Steel grade according to the above table		Mechanical and technological properties								
		Tensile strength Rm For Product thickness in mm			Upper yield point ReH for product thickness in mm					
		< 1	≥3 ≤100	>100	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100
Code No.	Material No.	N/mm2			N/mm2					
St.33	1.0035	310 up to 540	290 upto 510	-	185	175	-	-	-	-
St.37-2	1.0037	360 upto 510	340 upto 470	by agreemrnt	235	225	215	205	195	by agreement
USt.37-2	1.0036									
RSt.37-2	1.0038									
St.37-3	1.0116	430 upto 580	410 upto 540		235	225	215	215		
St.44-2	1.0044									
St.44-3	1.0144	430 upto 580	410 upto 540		275	265	255	245	235	
St.52-3	1.0570	510 upto 680	490 upto 630		355	345	335	325	315	
St.50-2	1.0050	490 upto 660	470 upto 610		295	285	275	265	255	
St.60-2	1.0060	590 upto 770	570 up to 710		335	325	315	305	295	
St 70-2	1.0070	690 upto 900	670 upto 830		365	355	345	335	325	

Εικόνα 37 : Πίνακας αντιστοιχίας χάλυβα – ορίου διαρροής και αντοχής σε εφελκυσμό



Εικόνα 38 : S/N διάγραμμα αντοχής σε εφελκυσμό για χάλυβα ST37.

Η εικ.28 είναι ένα διάγραμμα Τάσης – Κύκλων ζωής που δείχνει την αντοχή σε εφελκυσμό για τον χάλυβα ST37 με πάχος μικρότερο από 16mm . Το όριο διαρροής είναι το μέγεθος της δύναμης που ασκείται προκειμένου ένα αντικείμενο να παραμορφώνεται πλαστικά χωρίς κάποια αύξηση στην υπάρχουσα φόρτιση. Μετράται με τον προσδιορισμό της τάσης στην οποία ένα υλικό εμφανίζει μια καθορισμένη ποσότητα πλαστικής παραμόρφωσης (συνήθως 0,2% ή 0,5%). Είναι μια

κρίσιμη παράμετρος για υλικά που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές και εξαρτήματα όπου η πλαστική παραμόρφωση είναι ανεπιθύμητη. Βοηθά στον προσδιορισμό του μέγιστου φορτίου που μπορεί να αντέξει ένα υλικό χωρίς να υποστεί μόνιμη παραμόρφωση.

Από την άλλη το όριο αντοχής σε εφελκυσμό είναι μια κρίσιμη παράμετρος για υλικά που χρησιμοποιούνται σε κατασκευές και εξαρτήματα όπου η πλαστική παραμόρφωση είναι ανεπιθύμητη. Βοηθά στον προσδιορισμό του μεγάλου φορτίου που μπορεί να αντέξει ένα υλικό χωρίς να υποστεί μόνιμη παραμόρφωση. Ωστόσο, δεν υποδεικνύει σε ποιο σημείο το υλικό θα παραμορφωθεί μόνιμα. Άρα το όριο διαρροής σχετίζεται με την έναρξη της πλαστικής παραμόρφωσης, ενώ η αντοχή σε εφελκυσμό σχετίζεται με τη μέγιστη τάση που μπορεί να αντέξει ένα υλικό πριν από την αστοχία. Και οι δύο ιδιότητες είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση και το σχεδιασμό υλικών για διάφορες εφαρμογές.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα

Η επιλογή του κατάλληλου σημείου για να κάνουμε την ανάλυση έγινε σύμφωνα με τα κάτωθι κριτήρια:

- Προτιμήθηκε σημείο το οποίο να βρίσκεται σε κάποια διακλάδωση του αγωγού προκειμένου να δούμε πως αντιδράει το υλικό στα σημεία που στρίβει ο αγωγός .
- Επιλέχθηκε αγωγός υπό έντονη κλίση εδάφους για να είναι πιο έντονη η πίεση που ασκείται.
- Υποχρεωτικό κριτήριο ορίστηκε το σημείο που θα επιλεγόταν να έχει τριγύρω του φρεάτια μέτρησης και ελέγχου τα οποία να είναι όμως λειτουργικά ούτως ώστε να έχουμε τα πραγματικά δεδομένα για να γίνει η ανάλυση όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στις αναλύσεις που πραγματοποιήσαμε , λαμβάνοντας υπόψιν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σωλήνα του αγωγού στο σημείο που επιλέξαμε, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η πιθανότητα σφάλματος εξαιτίας της πίεσης που ασκείται στο σημείο αυτό είναι μηδαμινές. Παρατηρούμε ασφαλώς ότι η πίεση που ασκείται σε όλες τις περιπτώσεις είναι υψηλότερη στο σημείο της διακλάδωσης , εκεί που στρίβει ο αγωγός, γι αυτό το λόγο άλλωστε επιλέξαμε να μελετήσουμε τέτοιου είδους σημείο. Η αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί είναι εξαιρετικά υψηλή και πολύ μακριά από τις πιέσεις που ασκούνται στο δίκτυο σύμφωνα με τις πραγματικές παροχές που έχουν δώσει οι μηχανικοί του φράγματος για τον Μάιο του 2021. Ακόμα και στην ακραία θεωρητική περίπτωση πολύ υψηλής πίεσης , στην οποία και κάναμε την ανάλογη ανάλυση, η ασκούμενη πίεση που προέκυψε ήταν κατά πολύ μακριά από την χαμηλότερη τιμή που μπορεί να οδηγήσει σε κόπωση για  $10^7$  κύκλους ζωής. Επομένως η μελέτη που έγινε σχετικά με τις ανάγκες που θα κάλυπτε το φράγμα στις περιοχές αυτές ήταν πλήρως σωστή και ορθώς επιλέχθηκε σωλήνας αυτού του υλικού. Συνεπώς η πιθανότητα να σφάλει κάποια στιγμή ο αγωγός θα οφείλεται εξολοκλήρου σε άλλες παράγοντες όπως γεωλογικοί παράγοντες , ακραίες καιρικές συνθήκες , αμέλεια μελλοντικής εκσκαφής κ.τ.λ.



Σαν μελλοντικό αντικείμενο μελέτης θα μπορούσε να είναι τι θα γινόταν στην περίπτωση που είχε χρησιμοποιηθεί κάποιο άλλο είδους χάλυβα ή γενικά αγωγός από κάποιο άλλο υλικό. Εναλλακτικά θα μπορούσε να γίνει μια θεωρητική μελέτη για την περίπτωση που αγωγός ίδιου υλικού αλλά είτε μικρότερης εξωτερικής διαμέτρου είτε μικρότερου πάχους, έπρεπε να καλύψει τις υπάρχουσες ανάγκες του δικτύου.

## Βιβλιογραφία:

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

«Simscale: An Overview of CAE in the cloud» <https://fastwayengineering.com/simscale-overview-cae-cloud/>

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.jobbe.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>

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)

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

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>

« 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\\_UOrbcfczOkOT5dweNoGJoRcBwWot30F9KHh93MIhBORhn9yLw](https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/11997?fbclid=IwAR2DiD3O_UOrbcfczOkOT5dweNoGJoRcBwWot30F9KHh93MIhBORhn9yLw)

«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>

«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/>

«**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/>

»<https://www.steelindiaco.net/din-2391-st37-pipe-tube.html>

DIN 2391 ST 37 Welded Pipe, DIN 2391 ST 37 Seamless Pipe manufacturer  
<://www.varneyinc.com/7-signs-of-pipe-corrosion/>

<https://www.sci40.com/english/publications/?fbclid=IwAR2EKJSAZIr01lPAUoFNshI0tCpBVsmoPZJuBQWxpOWDLZT9G1Ax6PJ03Ak>

## 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://www.ergotaxiaka.gr/kataskeyi-toy-fragmatos-aposelemi/>

Εικόνες 11-15 από αρχείο μηχανικών του φράγματος

Εικόνα 16: <https://www.steelindiaco.net/din-2391-st37-pipe-tube.html>

Εικόνα 17: <https://www.varneyinc.com/7-signs-of-pipe-corrosion/>

18-19

Εικόνα 20 : <http://users.uniwa.gr/vmouss/ebooks/fmndt/sections/107SNWohler.html>

Εικόνες 21 έως 34 εκτός της 25 είναι από την ανάλυση μας στο Simscales

Εικόνα 25 : Αποτελέσματα από την διπλωματική της κα Μπόβολου

Εικόνα 35: <https://www.liberal.gr/epiheiriseis/antlisiertamieysi-h-ellada-metashimatizetai-sti-fysiki-mpataria-tis-eyropis>

Εικόνα 36 : Δεδομένα από μηχανικό φράγματος κ. Βασίλειο Δουλγεράκη



Εικόνα 37: <https://sazvarsazeh.azarestan.com/wp-content/uploads/2022/02/DIN-17100-1980-Steels-for-General-Structural-Purposes.pdf>

Εικόνα 38 : Από αναζήτηση στο total material για σωλήνα από υλικό st37 din 1626