

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ



ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ

ΣΠΟΥΔΩΝ στη ΝΑΥΤΙΛΙΑ

ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΔΥΜΟ ΛΙΜΕΝΩΝ

Σταυριανάκης Δημήτριος

Διπλωματική Εργασία που υποβλήθηκε στο
Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του
Πανεπιστημίου Πειραιώς ως μέρος των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ναυτιλία.

Πειραιάς

Ιανουάριος 2023

«Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μηκερδοσκοπικός, εκπαιδευτικός, ερευνητικός), της φύσης του υλικού, που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες ή χάρτες), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή στη γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

«Η παρούσα Διπλωματική Εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή που ορίστηκε από τη ΓΣ του Τμήματος Ναυτιλιακών Σπουδών Πανεπιστημίου Πειραιώς σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ναυτιλία.

Τα μέλη της Επιτροπής:

- Μαρία Μποϊλέ (Επιβλέπουσα)
- Αλέξανδρος Αρτίκης (Αν. Καθηγητής)
- Στέφανος Χατζηνικολάου (Επικ. Καθηγητής)

Η έγκριση της Διπλωματικής Εργασίας από το Τμήμα Ναυτιλιακών Σπουδών του Πανεπιστημίου Πειραιώς δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.»

Στην Μητέρα μου.

Περίληψη

Η τεχνολογία των Ψηφιακών Διδύμων (Digital Twins) είναι ένας ταχέως αναπτυσσόμενος τομέας που έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στον τρόπο λειτουργίας των λιμένων. Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια εικονική αναπαράσταση ενός φυσικού στοιχείου, όπως ένας λιμένας, που επιτρέπει την παρακολούθηση, την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση της κίνησης πλοίων, φορτίου και ανθρώπων μέσω ενός λιμανιού, καθώς και για τη βελτίωση της ασφάλειας, της αποτελεσματικότητας και της βιωσιμότητας. Με την αυξανόμενη ζήτηση για ψηφιοποίηση στη ναυτιλιακή βιομηχανία, η εφαρμογή της τεχνολογίας ψηφιακών διδύμων στα λιμάνια γίνεται πιο διαδεδομένη. Η παρούσα εργασία στοχεύει στη διερεύνηση της εφαρμογής της τεχνολογίας ψηφιακών διδύμων στα λιμάνια, με επίκεντρο τα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας, που είναι τα τρία μεγαλύτερα λιμάνια της χώρας. Επιπλέον, παρουσιάζεται μια μελέτη εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων (digital twins) στα λιμάνια, αντλώντας πληροφορίες για την εφαρμογή της τεχνολογίας στον ευρύτερο κλάδο της Ναυτιλίας. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι τεχνολογίες των Digital Twins που μπορούν να εφαρμοστούν στα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση η οποία ενέχει στοιχεία συστηματικής βιβλιογραφίας (άρθρων και πληροφοριών από τη διεθνή βιβλιογραφία που σχετίζονται με το θέμα) και κριτικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων αυτής, συμβάλλει στην διερεύνηση της εφαρμογής στα τρία βασικά λιμάνια της χώρας μας.

Λέξεις Κλειδιά: Ψηφιακά Δίδυμα, Λιμάνια, Ναυτιλία, Ελλάδα

Abstract

Digital Twins technology is a rapidly growing field that has the potential to revolutionize the way ports operate. A digital twin is a virtual representation of a physical component, such as a port, that allows its operations to be monitored, analyzed and optimized in real time. This technology can be used to simulate and optimize the movement of ships, cargo and people through a port, and to improve safety, efficiency and sustainability. With the increasing demand for digitization in the shipping industry, the technology of digital twins in ports is becoming more widespread. This paper aims to investigate the application of the above technology in ports, focusing on the ports of Piraeus, Thessaloniki and Patras, which are the three largest ports of Greece. This paper presents a study on the application of digital twins in ports, with an emphasis on digital twins technology in shipping. Specifically, Digital Twins technologies that can be applied in the ports of Piraeus, Thessaloniki and Patras are being examined. The method used in this work is the bibliographic review of studies, articles and information from the international literature related to the topic.

Keywords: Digital Twins, Ports, Shipping, Greece

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
1. Εισαγωγή	9
2. Ψηφιακό Δίδυμο (Digital Twin, DT)	12
2.1. Η Έννοια του Ψηφιακού Δίδυμου (Digital Twin, DT)	12
2.2. Οφέλη Ψηφιακών Διδύμων	12
2.3. Διαφορά Μεταξύ Μοντέλου και Ψηφιακού Δίδυμου	13
2.4. Τύποι Ψηφιακών Διδύμων	14
2.5. Επίπεδα Ολοκλήρωσης	15
2.6. Πρόοδος και Ωριμότητα της Τεχνολογίας Ψηφιακών Διδύμων	16
2.7. Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων	17
2.7.1. Έξυπνες Πόλεις και Αστικοί Χώροι	18
2.7.2. Τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης και Ψηφιακά Δίδυμα	24
2.7.3. Μοντέλο Πληροφοριών Κτιρίων	25
2.7.4. Εφοδιαστική Αλυσίδα και Εμπορευματικές Μεταφορές.....	26
3. Εφαρμογές Ψηφιακού Διδύμου στον Τομέα της Ναυτιλίας	29
2.1. Ψηφιακός Μετασχηματισμός και Ναυτιλιακός Τομέας	30
3.2. Ναυτιλία και Θαλάσσιες Μεταφορές	30
3.3. Πρότυπα για την Υποστήριξη Ψηφιακών Διδύμων	32
3.4. Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων στο Ναυτιλιακό Τομέα	33
3.4.1. Βελτιστοποίηση λιμένων και τερματικών Εγκαταστάσεων.....	34
3.4.2. Κατανόηση της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης κατάστασης	34
3.4.3. Βελτιστοποίηση των ροών εμπορευματοκιβωτίων στην αλυσίδα εφοδιασμού από άκρο σε άκρο	35
4. Εφαρμογή Digital Twins στα Λιμάνια.....	37
4.1. Εφαρμογή Digital Twin σε Συστήματα Logistics.....	37
4.2. Ενοποίηση Ψηφιακών Δεδομένων	39

4.3.	Κατασκευή Μοντέλου Πληροφοριών	39
4.4.	Κατασκευή Πλατφόρμας Υπηρεσιών Εφαρμογής	39
4.5.	Διαχείριση με Βάση DT στο Ρότερνταμ	41
4.6.	Διαχείριση με Βάση DT σε Λιμάνια της Κίνας	44
4.7.	Επικοινωνία και Κοινοχρησία Δεδομένων Βάσει DT	48
	4.7.1. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι του Αμβούργου	48
	4.7.2. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι της Βαρκελώνης	50
4.8.	Οπτικοποίηση βάσει DT και Πρόβλεψη Κινδύνου	52
	4.8.1. Εφαρμογή DT στο Λιμένα του Λιβόρνο	53
4.9.	Διαχείριση Βάσει DT για Προστασία του Περιβάλλοντος και Βιωσιμότητα	62
	4.9.1. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι της Βαλένθια	62
	4.9.2. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι του Ουλου της Φινλανδίας	63
	5. Εφαρμογή Ψηφιακών Διδύμων σε Ελληνικά Λιμάνια	66
5.1.	Γενική Περιγραφή των Λιμένων του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρα.....	66
5.2.	Αναγκαιότητα Ψηφιακού Μετασχηματισμού των Λιμανιών του Πειραιά της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας	66
5.3.	Προτάσεις Εφαρμογής DT στα Λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας	67
6.	Συμπεράσματα	72
	Βιβλιογραφία	75

1. Εισαγωγή

Τα λιμάνια είναι ζωτικής σημασίας υποδομές για το διεθνές εμπόριο, καθώς λειτουργούν ως πύλες εισόδου και εξόδου εμπορευμάτων από χώρες. Είναι σημαντικά όχι μόνο για την μεταφορά και διακίνηση των εμπορευμάτων, αλλά και για την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας. Διακρίνονται κυρίως για τη διακίνηση φορτίου και επιβατών και παρέχουν βασικές υπηρεσίες όπως αποθήκευση και μεταφορά εμπορευμάτων. Αποτελούν δε θεμελιώδη παράγοντα απασχόλησης και συμβάλλουν στην ανάπτυξη των τοπικών κοινωνιών. Η Ελλάδα, λόγω του ότι βρίσκεται σε στρατηγική θέση στη Μεσόγειο, ελέγχει σημαντικούς εμπορικούς δρόμους (κόμβος προς μαύρη θάλασσα, ανατολική Μεσόγειο και Ευρωπαϊκές ακτές) και αποτελεί βασικό παράγοντα στην παγκόσμια οικονομία (Gekas, 2008). Τα λιμάνια της χώρας μας διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο τόσο στην οικονομία της όσο και διεθνώς εδώ και αιώνες, λειτουργώντας ως πύλες για το εμπόριο μεταξύ Ευρώπης, Ασίας και Αφρικής. Ειδικότερα, τα λιμάνια του Πειραιά και της Θεσσαλονίκης είναι από τα πιο πολυσύχναστα λιμάνια της Μεσογείου και θεωρούνται σημαντικοί κόμβοι εμπορίου και μεταφορών στην περιοχή (Polyzosetal., 2008). Αυτό βέβαια δεν οφείλεται μόνο στην έκταση τους και τις υποδομές που αναπτύσσουν, αλλά και στην στρατηγική τους θέση. Ωστόσο, για να συνεχίσει η Ελλάδα να ανταγωνίζεται στην παγκόσμια αγορά, είναι απαραίτητο πλέον να επιταχυνθεί ο εκσυγχρονισμός των λιμένων της και να περάσουν από μια ψηφιακή μετάβαση. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή νέων τεχνολογιών και ψηφιακών συστημάτων για την αύξηση της αποτελεσματικότητας και τη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ των ενδιαφερομένων (Gekas, 2008). Για παράδειγμα, η εφαρμογή ψηφιακών πλατφορμών για την παρακολούθηση και διαχείριση φορτίου, καθώς και η αυτοματοποίηση διαφόρων λιμενικών λειτουργιών, όπως η διαχείριση της κυκλοφορίας των πλοίων, μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία του λιμένα (Haraldsonetal., 2019).

Η ψηφιοποίηση των λιμένων χαρακτηρίζεται από πολλούς ως μια παγκόσμια τάση καθώς πολλά λιμάνια αναζητούν τρόπους για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα και να μειώσουν το κόστος. Η τεχνολογία όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, η Τεχνητή Νοημοσύνη, τα δίκτυα Blockchain και 5G υιοθετούνται από λιμάνια σε όλο τον κόσμο για τη βελτίωση των λειτουργιών και των υπηρεσιών τους. Αυτό θα επιτρέψει στα λιμάνια να χειρίζονται μεγαλύτερους όγκους φορτίου και επιβατών, να μειώσουν τους χρόνους αναμονής και να αυξήσουν την ασφάλεια. Συμπερασματικά,

τα λιμάνια αποτελούν ουσιαστικό συστατικό του διεθνούς εμπορίου και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας

(Agarwalaetal., 2021).

Με βάση την παραπάνω διαπίστωση, η Ελλάδα, ως βασικός παίκτης στη Μεσόγειο, κατέχει ηγετικό ρόλο στην περιοχή και τα λιμάνια της αποτελούν σημαντικούς κόμβους εμπορίου και μεταφορών. Αυτό καθιστά ακόμα πιο επιτακτική την ανάγκη για εκσυγχρονισμό σε όλα τα επίπεδα ώστε να διατηρηθεί το γεωπολιτικό μας πλεονέκτημα.

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία των digital twins έχει εφαρμοστεί στα λιμάνια και τη ναυτιλία με σκοπό τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη βελτιστοποίηση των λειτουργιών. Τα digital twins είναι ένα εικονικό αντίγραφο ενός φυσικού συστήματος, όπως ένα λιμάνι ή ένα πλοίο, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση και την ανάλυση πραγματικών σεναρίων. Η digital twins τεχνολογία επιτρέπει στα λιμάνια να προσομοιώνουν και να δοκιμάζουν διαφορετικά λειτουργικά σενάρια σε ένα εικονικό περιβάλλον, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών και στη μείωση του κόστους (Gurumurthy&Bharthur, 2019).

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης digital twins στα λιμάνια είναι ότι επιτρέπει καλύτερο σχεδιασμό και αποτελεσματικότερη λήψη αποφάσεων. Με την προσομοίωση διαφορετικών σεναρίων, τα λιμάνια μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση πόρων, όπως εξοπλισμό διακίνησης φορτίου και να βελτιώσουν τη ροή των εμπορευμάτων μέσω του λιμένα. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της συμφόρησης και των καθυστερήσεων και στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης του λιμανιού (Zhouetal., 2021).

Ένα άλλο πλεονέκτημα των digital twins είναι ότι επιτρέπει την παρακολούθηση και την ανάλυση των λιμενικών λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους φορείς εκμετάλλευσης λιμένων να εντοπίζουν σημεία συμφόρησης και αναποτελεσματικότητας σε πραγματικό χρόνο και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα για τη βελτίωση της απόδοσης. Επιπλέον, η χρήση ψηφιακών δίδυμων επιτρέπει την πρόβλεψη και την άμεση απόκριση σε τυχόν συμβάντα όπως ακραία καιρικά φαινόμενα ή μηχανικές βλάβες (Pangetal., 2021).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αναλυθεί η τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων, να αναδειχθεί η σημασία τους πρωτίστως σε γενικό επίπεδο και στη πορεία να το εξειδικευθεί στην εφαρμογή τους στη Ναυτιλία και στα λιμάνια. Οφείλουμε να κατανοήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά ενός digital twin, τις δυνατότητες που μας προσφέρει και πως μπορούμε να τις αξιοποιήσουμε και να επωφεληθούμε (μέσα από παραδείγματα όπως οι περιπτώσεις λιμανιών που έχουν εφαρμοστεί). Απαντώντας στα παραπάνω θα προσπαθήσουμε να κατανοήσουμε αν θα μπορούσε να αποβεί αποτελεσματικό το εγχείρημα μιας τέτοιας πρωτοβουλίας στα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας και με τι κόστος. Το ερευνητικό μας ερώτημα θα πρέπει να εστιάσει σε δύο σκέλη. Αφενός στην κατανόηση της έννοιας του ψηφιακού διδύμου και της εφαρμογής του στο χώρο των λιμένων, αφετέρου στο αν η χώρα μας έχει τη δυνατότητα να ισχυροποιηθεί μέσα από τη χρήση του ή όχι και με ποιες τεχνολογίες. Η ανάλυση που παρουσιάζεται στην εργασία βασίζεται σε βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετών, άρθρων και πληροφοριών από τη διεθνή βιβλιογραφία που σχετίζεται με το ζήτημα.

2. Ψηφιακό Δίδυμο (DigitalTwin, DT)

2.1. Η Έννοια του Ψηφιακού Δίδυμου (DigitalTwin, DT)

Οι έννοιες του Ψηφιακού Δίδυμου (DigitalTwin, DT) μπορεί να διαφέρουν για κάθε τομέα εφαρμογής, ανάλογα με τις συγκεκριμένες χρήσεις, μεθόδους, πρωτόκολλα και τεχνολογίες ενεργοποίησης και αυτό οφείλεται κυρίως στη φύση των πληροφοριών από κάθε τομέα. Όπως αναφέρεται (Quirketal., 2020), ο κάθε τομέας θα καθορίσει το πλαίσιο για την ανάπτυξη ενός DT σε ένα δομημένο περιβάλλον ανάλογα με τις απαιτήσεις της επιχειρηματικής υπόθεσης. Ωστόσο, υπάρχει ένα γενικό πλαίσιο για την αρχιτεκτονική DT που αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία: τον φυσικό κόσμο, τον εικονικό κόσμο και τη σύνδεση μεταξύ των δύο (Campos-Ferreiraetal., 2019).

Κάθε στοιχείο διαμορφώνεται ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του σχεδιαστή, ωστόσο, ορισμένα βασικά στοιχεία που είναι κοινά περιλαμβάνουν το φυσικό δίδυμο, το ψηφιακό δίδυμο, αισθητήρες στον φυσικό κόσμο για συλλογή πληροφοριών από το πραγματικό περιβάλλον, δυνατότητες κεντρικής επεξεργασίας, δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, δυνατότητες μηχανικής μάθησης (machinelearning, ML), τεχνητή νοημοσύνη (artificialintelligence AI), μεγάλα δεδομένα (bigdata), ασφάλεια δεδομένων και διεπαφές επικοινωνίας όπως το διαδίκτυο, το Bluetooth, κ.λπ. Ένα σημαντικό μέρος της αρχιτεκτονικής DT περιλαμβάνει επίσης την οπτικοποίηση (visualization) δεδομένων για τον χρήστη. Αυτή η αρχιτεκτονική του DT παρουσιάζεται στο Σχ.1, όπου ο φυσικός κόσμος αποτελείται από το φυσικό αντικείμενο ή τη διαδικασία, τους αισθητήρες, τους ενεργοποιητές καθώς και τις δυνατότητες επεξεργασίας. Ο ψηφιακός κόσμος αποτελείται από το ίδιο το ψηφιακό δίδυμο, τη μηχανική μάθηση και τις δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων και τις βάσεις δεδομένων. Και τα δύο συνδέονται στο στοιχείο επικοινωνίας όπου είναι διαθέσιμα πολλά πρωτόκολλα και διεπαφές όπως WiFi, Bluetooth και ενσύρματες συνδέσεις. Για τον χρήστη, αυτή η αρχιτεκτονική επιτρέπει συνεχή παρακολούθηση και οπτικοποίηση.

Ωστόσο, η σύγχρονη κατάσταση στο αντικείμενο των DT ταξινομεί και ορίζει τα DT με βάση τον τομέα εφαρμογής και τα επίπεδα ολοκλήρωσης τους (Singhetal., 2021).

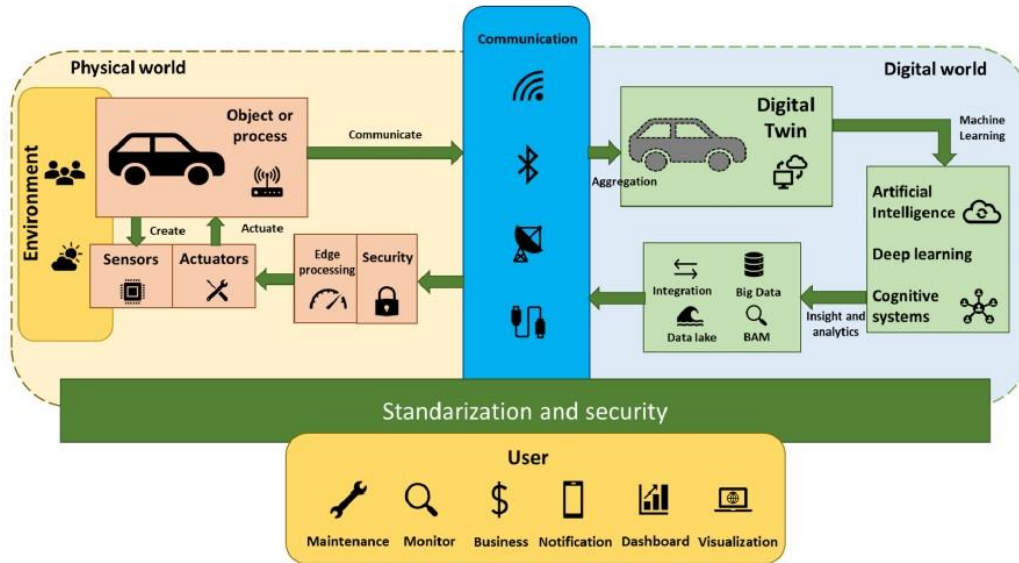
2.2.Οφέλη Ψηφιακών Διδύμων

Στην παραπάνω παράγραφο προσπαθήσαμε να κατανοήσουμε την έννοια του ψηφιακού διδύμου δίνοντας τον βασικό ορισμό του. Τα ψηφιακά δίδυμα συνδυάζουν τον εικονικό και τον φυσικό κόσμο και επιτρέπουν λεπτομερείς αναλύσεις που προκύπτουν από τα συλλεχθέντα δεδομένα, καθώς και τη χρήση συστημάτων παρακολούθησης για την αντιμετώπιση προβλημάτων πολλές φορές πριν αυτά εμφανιστούν. Χρησιμοποιώντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, προσομοίωση και μηχανική μάθηση, τα ψηφιακά δίδυμα επιτρέπουν σε επιχειρήσεις και οργανισμούς να μεγιστοποιήσουν την αποτελεσματικότητα, να αναπτύξουν νέες ευκαιρίες και να δημιουργήσουν λεπτομερείς προσομοιώσεις. Στην πραγματικότητα, τα ψηφιακά δίδυμα εκσυγχρονίζουν ολόκληρη τη διαδικασία με την οποία οι οργανισμοί συλλαμβάνουν, αναλύουν και ερμηνεύουν δεδομένα, διασφαλίζοντας πιο αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.

2.3.Διαφορά Μεταξύ Μοντέλου και Ψηφιακού Δίδυμου

Τα ψηφιακά δίδυμα έχουν πολλά βασικά χαρακτηριστικά που τα διαφοροποιούν από τα τυπικά μοντέλα, ένα κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι το ψηφιακό δίδυμο πρέπει να συσχετιστεί με ένα αντικείμενο και επίσης θα πρέπει να υπάρχει μια ακριβής αναπαραγωγή της φυσικής οντότητας, είτε πρόκειται για λιμάνι, εργοστάσιο, οποιαδήποτε κτίριο ή εγκατάσταση. Επιπλέον, ένα ψηφιακό δίδυμο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (α) Είναι ένα μοντέλο του αντικειμένου, (β) Υπάρχει ένα εξελισσόμενο σύνολο δεδομένων που σχετίζονται με το αντικείμενο και (γ) οι χρήστες έχουν ένα μέσο δυναμικής ενημέρωσης ή προσαρμογής του μοντέλου σύμφωνα με τα δεδομένα.

Ως εκ τούτου, ένα σημαντικό πρόσθετο όφελος από τη χρήση ενός ψηφιακού διδύμου σε σύγκριση με ένα βασικό μοντέλο είναι η χρήση εξελισσόμενων δεδομένων, καθώς παρέχει μια ακριβή περιγραφή των αντικειμένων που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.



Σχ. 1. Αρχιτεκτονική Ψηφιακού Διδύμου.

[file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-KR2MPAI4\)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf](file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-KR2MPAI4)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf)

2.4. Τύποι Ψηφιακών Διδύμων

- Ψηφιακή δίδυμη παρουσία (Digital twin instance, DTI): Μια ψηφιακή δίδυμη παρουσία περιγράφεται ως ένας τύπος ψηφιακού δίδυμου που αντιπροσωπεύει το φυσικό αντίστοιχό του σε όλο τον κύκλο ζωής του (Singhetal., 2021), που σημαίνει ότι υπάρχει συνεχής παρακολούθηση της κατάστασης του φυσικού δίδυμου και τυχόν αλλαγές ή εξέλιξη που βιώνει το φυσικό δίδυμο θα επηρεάσει το ψηφιακό δίδυμο. Με αυτή την έννοια, επί της ουσίας συνοδεύει ένα προϊόν ή μια διαδικασία από την έναρξή και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του, ενώ παρακολουθεί και προβλέπει τη συμπεριφορά του. Σε γενικές περιπτώσεις, είναι χρήσιμο να επικυρωθεί η αναμενόμενη συμπεριφορά και απόδοση ενός προϊόντος ή αντικειμένου.
- Ψηφιακό δίδυμο πρωτότυπο (Digital twin prototype, DTP): Όταν πρόκειται για διαδικασίες κατασκευής και παραγωγής προϊόντων, ένα ψηφιακό δίδυμο πρωτότυπο συλλέγει και αποθηκεύει πολύτιμες πληροφορίες και χαρακτηριστικά σχετικά με το φυσικό δίδυμο. Ορισμένα δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (computer aided design, CAD), τιμολόγιο υλικών (bill of materials, BOM), σχέδια ή ακόμα και πληροφορίες που θα συνδέουν τη διαδικασία κατασκευής με τους

ενδιαφερόμενους της αλυσίδας παραγωγής (Singhetal., 2021). Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του DT, το DTP είναι σε θέση να προσομοιώνει σενάρια κατασκευής και να εκτελεί δοκιμές επικύρωσης, αξιολόγηση και ακόμη και δοκιμές ποιοτικού ελέγχου πριν από την ίδια τη διαδικασία κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση μειώνει αποτελεσματικά το κόστος παραγωγής και τον χρόνο λειτουργίας εντοπίζοντας ελαττώματα ή πιθανούς κινδύνους του φυσικού δίδυμου πριν από την παραγωγή. Με αυτή την έννοια, τα DTP μπορούν επίσης να ονομαστούν πειραματικά DT όπου, σύμφωνα με την εργασία(Dahmen & Rossmann, 2018) γίνεται διαθέσιμο ένα εικονικό πρωτότυπο του οποίου το επίπεδο λεπτομέρειας αυξάνεται διαδοχικά, ενώ τα αποτελέσματα εικονικών δοκιμών δίνουν μια αρκετά αξιόπιστη ένδειξη σχετικά με την ποιότητα σχεδιασμού και μειώνουν τον αριθμό των συνήθως ακριβών πρωτότυπων χρήσης hardware (hardware prototypes).

- Ψηφιακό δίδυμο επιδόσεων (Performance digitaltwin, PDT): Σε πραγματικές και απρόβλεπτες συνθήκες για φυσικά δίδυμα, το PDT είναι σε θέση να παρακολουθεί, να συγκεντρώνει και να αναλύει δεδομένα από προϊόντα (Singhetal., 2021). Με τη συγκέντρωση έξυπνων δυνατοτήτων, το PDT είναι σε θέση να επεξεργάζεται τις πληροφορίες που παρακολουθούνται από το φυσικό αντίστοιχο και να παράγει δεδομένα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, τη δημιουργία στρατηγικής συντήρησης και την εξαγωγή συμπερασμάτων από την απόδοση ενός προϊόντος (Sharmaetal., 2022).

2.5.Επίπεδα Ολοκλήρωσης

Τα ακόλουθα επίπεδα ολοκλήρωσης παρουσιάζονται σε αύξουσα σειρά, που σημαίνει ότι τα ψηφιακά μοντέλα είναι τα λιγότερο ολοκληρωμένα και τα ψηφιακά δίδυμα είναι τα πιο ολοκληρωμένα, όπως προτείνεται στην εργασία (Sharmaetal., 2022).

- Ψηφιακό μοντέλο: Στη βασική του ιδέα, το ψηφιακό μοντέλο δεν θα ενσωματώσει καμία αυτόματη ροή πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο στον εικονικό κόσμο. Αυτό σημαίνει ότι ο εικονικός και ο φυσικός κόσμος δεν

συνδέονται αυτόματα, επομένως οποιαδήποτε αλλαγή πρέπει να αντικατοπτρίζεται μέσω μη αυτόματης τροποποίησης.

- Ψηφιακή σκιά: Η ψηφιακή σκιά θα ενσωματώσει μονοκατευθυντική αυτόματη ροή πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο στον εικονικό κόσμο (Juarezetal., 2021). Αυτό αντιπροσωπεύεται καλύτερα από ένα σύστημα όπου οι αισθητήρες μετρούν πληροφορίες από το φυσικό μοντέλο και μεταφέρουν σήματα στο εικονικό μοντέλο. Εφόσον η διαδικασία είναι αυτόματη, το επίπεδο ολοκλήρωσης προσδιορίζεται ως ψηφιακή σκιά.
- Ψηφιακό δίδυμο: Ένα πλήρως ενσωματωμένο δίδυμο όπου ο εικονικός και ο φυσικός κόσμος αλληλεπιδρούν με αμφίδρομο τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι οι πληροφορίες ρέουν αυτόματα προς και από κάθε κόσμο. Σε αυτήν την περίπτωση, οι πληροφορίες που ρέουν από τον εικονικό κόσμο θα είναι χρήσιμες για την πραγματοποίηση αλλαγών στο φυσικό μοντέλο ή για την εντολή στους ενεργοποιητές ώστε να εκτελέσουν μια λειτουργία. Αντίθετα, τα δεδομένα από το φυσικό δίδυμο μπορεί να επηρεάσουν αυτόματα το εικονικό δίδυμο με τέτοιο τρόπο ώστε το εικονικό δίδυμο να αντιπροσωπεύει με ακρίβεια την τρέχουσα κατάσταση και την εξέλιξη του φυσικού του αντίστοιχου.

2.6.Πρόοδος και Ωριμότητα της Τεχνολογίας Ψηφιακών Διδύμων

Σύμφωνα με μια έκθεση (Evansetal., 2019), η παγκόσμια αγορά DT αποτιμήθηκε σε 3,8 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ το 2019 και αναμένεται να φτάσει τα 35,8 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2025. Η πλειονότητα των μεγάλων βιομηχανικών εταιρειών αναμένεται να υιοθετήσει τις τεχνολογίες DT προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά τους, αλλά λιγότερο από το 5% των εταιρειών έχουν εφαρμόσει κάποια από τις τεχνολογίες DT αυτή τη στιγμή. Μια πολύ χρήσιμη συνεισφορά της εργασίας (Evansetal., 2019), σχετίζεται με την ταξινόμηση πολλών επιπέδων ωριμότητας για DTs όπως παρουσιάζονται στον Πίν. 1, τα οποία είναι αγνωστικά του κλάδου ή των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των μοντέλων. Στη μέχρι σήμερα βιβλιογραφία, η πλειονότητα των εννοιών DT βρίσκεται στα επίπεδα ωριμότητας 0-3 και λίγες έχουν ξεκινήσει την ενσωμάτωση με ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο λόγω της σημαντικής πρόκλησης της συλλογής, φιλτραρίσματος και

επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθώς και των δυσλειτουργιών της συσκευής και κακής βαθμονόμησης που μπορεί να δημιουργήσει ανωμαλίες ή έλλειψη σημείων δεδομένων. Η μοντελοποίηση τρισδιάστατης προσομοίωσης με την παράμετρο του χρόνου είναι η προτιμώμενη προσέγγιση μέχρι σήμερα, λόγω της διαθεσιμότητας πολλαπλών σεναρίων what-if που τροφοδοτούνται από πραγματικά σύνολα δεδομένων.

Πίν. 1. Επίπεδα ωριμότητας για ψηφιακά δίδυμα

Επίπεδο	Αρχή	Χρήση
0	Λήψη πραγματικότητας (π.χ. σύννεφο σημείων, drones, φωτογραμμετρία ή σχέδια/σκίτσα)	Υπάρχουσα έρευνα
1	Δισδιάστατος χάρτης/σύστημα ή μοντέλο 3D (π.χ., βάσει αντικειμένων, χωρίς μεταδεδομένα ή μοντέλα πληροφοριών κτιρίου)	Σχεδιασμός/βελτιστοποίηση και συντονισμός
2	Σύνδεση μοντέλου με μόνιμα (στατικά) δεδομένα, μεταδεδομένα και μοντέλο πληροφοριών κτιρίου (BIM), Στάδιο 2 (π.χ. έγγραφα, σχέδια, συστήματα διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων)	4D/5D προσομοίωση, σχεδιασμός/διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, BIMStage 2
3	Εμπλουτισμός με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο (IoT, αισθητήρες)	Λειτουργική αποτελεσματικότητα
4	Αμφίδρομη ενοποίηση και αλληλεπίδραση δεδομένων	Απομακρυσμένες λειτουργίες.έλεγχος του φυσικού από το ψηφιακό
5	Αυτόνομες λειτουργίες και συντήρηση	Πλήρης αυτοδιοίκηση με πλήρη εποπτεία και διαφάνεια

Μεταφρασμένο

[file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-KR2MPAI4\)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf](file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-KR2MPAI4)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf)

2.7.Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων

Η γενική εφαρμογή των DTs μπορεί να βρεθεί από τη βιομηχανία σε πλατφόρμες διαχείρισης κύκλου ζωής, στην προγνωστική συντήρηση ακόμα και στην αυτοκινητοβιομηχανία Σε πιο πρόσφατες εφαρμογές του αναφέρουμε ενδεικτικά την γεωργία, την υγειονομική περίθαλψη, τις επιχειρήσεις, κατασκευές, εκπαίδευση, εξόρυξη, ανίχνευση φυσικών καταστροφών, επικοινωνία και ασφάλεια (Rathoreetal., 2021). Επιπρόσθετα αποτελεί πολυσήμαντη η χρήση DT για δίκτυα τροφοδοσίας και εξυπηρέτηση σε βιομηχανικές λειτουργίες (Buchholz&Briggs, 2020). Τέλος, τα πεδία εφαρμογής των DT και μεγάλων

δεδομένων χρησιμοποιούν διαφορετικές τεχνικές εξόρυξης δεδομένων για πρόβλεψη, ταξινόμηση και βελτιστοποίηση, μεθόδους απόκτησης δεδομένων και μοντελοποίηση, καθώς και την υποδομή και τεχνολογίες επικοινωνίας (Rathoreetal., 2021). Στις επόμενες παραγράφους θα προσπαθήσουμε να «ακτινογραφήσουμε» το ψηφιακό μας εργαλείο μέσα από την χαρτογράφηση του σε βασικούς τομείς της δημόσιας ζωής.

Στο σημείο αυτό, οφείλουμε να αποτυπώσουμε τις απαντήσεις μας για το ερώτημα του «τι είναι ένα ψηφιακό δίδυμο;». Με βάση τη παραπάνω ανάλυση μπορούμε να συμπεράνουμε πως το ψηφιακό δίδυμο αποτελεί ένα σύνολο πληροφοριών που διαμορφώνουν τον συνδετικό κρίκο ανάμεσα στον φυσικό κόσμο και τον εικονικό κόσμο. Η συλλογή δεδομένων και πληροφοριών από το φυσικό περιβάλλον, σε πραγματικό χρόνο και η ψηφιακή τους μετατροπή σε ένα παράλληλο ψηφιακό περιβάλλον αποτελεί κάτι παραπάνω από αυτό που θα λέγαμε κοινώς μια «προσομοίωση». Και αυτό οφείλεται στο γεγονός πως έχει καταφέρει να εξελιχθεί από μια ψηφιακή αποτύπωση της πραγματικότητας, σε ένα εργαλείο μοντελοποίησης και προβλεψιμότητας που μπορεί να συμβάλλει σε ριζικές τροποποιήσεις στον πραγματικό κόσμο βελτιώνοντας κατά πολύ τη καθημερινότητα μας. Επιπλέον, μια τέτοια δυνατότητα συμβάλλει θετικά στο να ελαχιστοποιεί την ανθρώπινη παρέμβαση στην εξέλιξη και την ροή μιας λειτουργίας.

Στις επόμενες ενότητες θα αναλύσουμε τα επίπεδα ανάπτυξης ενός ψηφιακού διδύμου που θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε την μετάβαση τους και στην Ναυτιλία.

2.7.1. Έξυπνες Πόλεις και Αστικοί Χώροι

Μια έξυπνη πόλη ορίζεται ως μια *στρατηγική προσέγγιση για την ενοποίηση δεδομένων και ψηφιακών τεχνολογιών για τη διασφάλιση της βιωσιμότητας, της ευημερίας των πολιτών και της οικονομικής ανάπτυξης του αστικού περιβάλλοντος*(Ivanovetal., 2020), όπου τα DT είναι τα δομικά στοιχεία των έξυπνων γειτονιών και χώρων. Μερικές από τις δραστηριότητες που έχουν δει μια πρόσφατη αύξηση στην ενσωμάτωση της έννοιας DT είναι οι έξυπνες πόλεις και ο σχεδιασμός τους. Εκτός από την εστίαση γύρω από τα έξυπνα ψηφιακά κτίρια, τη συντήρηση και τη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων τους,

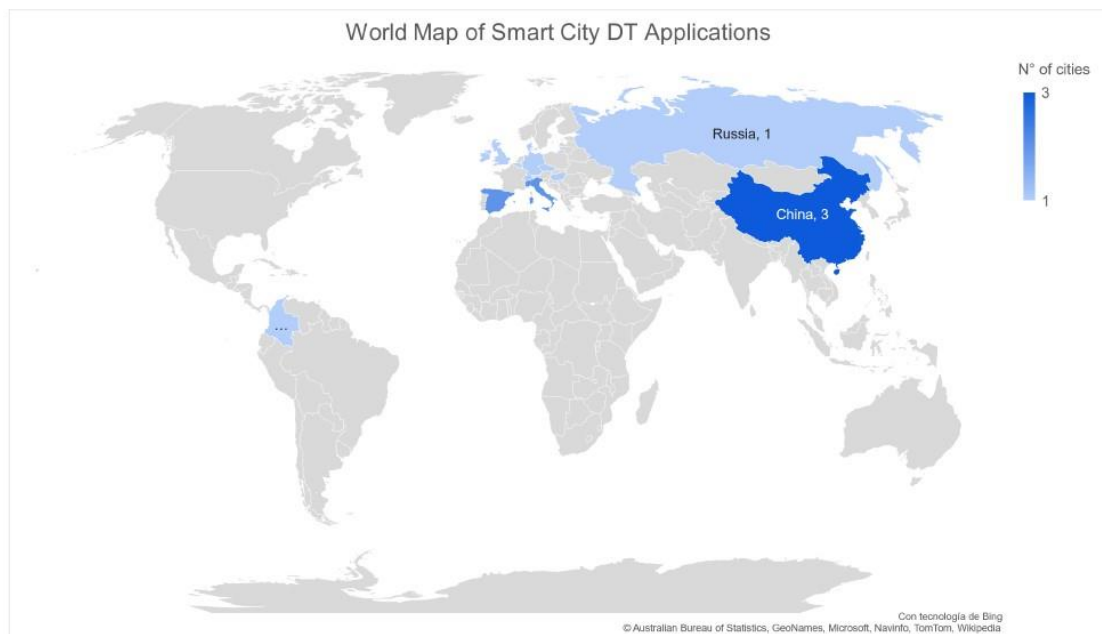
πραγματοποιείται επίσης μια στροφή προς το ψηφιακό αντίγραφο ολόκληρων γειτονιών ή τις λεγόμενες έξυπνες ψηφιακές δίδυμες πόλεις. Τα DT σε κλίμακα πόλης χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής, της κινητικότητας και των υπηρεσιών των πολιτών (Wright&Davidson, 2020) με τέτοιο τρόπο ώστε οι τεχνολογικές εξελίξεις να είναι ανθρωποκεντρικές και να βελτιώνουν την ποιότητα ζωής των πολιτών παρά να στοχεύουν στο να επιτυγχάνουν οικονομική αποδοτικότητα (Dembski et al., 2020). Το Σχ.2 παρουσιάζει στοιχεία εφαρμογών έξυπνων ψηφιακών δίδυμων πόλεων που αναπτύσσονται σε διάφορες χώρες παγκοσμίως, όπου παρατηρείται ότι υπάρχει αξιοσημείωτη αύξηση της πυκνότητας στην Ευρώπη και την Κίνα. Για παράδειγμα στη μελέτη (Ghandaret et al., 2021) παρουσιάζονται οι έννοιες DT έξυπνων πόλεων που αναπτύσσονται στην Κίνα, η οποία παρουσιάζει την υψηλότερη συχνότητα από όλες τις χώρες. Άλλες δημοσιεύσεις παρουσιάζουν προόδους σε πόλεις όπως η Μπογκοτά (OchoaGuevara et al., 2018), το Ελσίνκι (Anttiroiko, 2016), η Μπρέσια (Tagliabue et al., 2021), η Βαλένθια (ConejosFuertes et al., 2020), το Ιρκούσκ (Tomini et al., 2020), το Δουβλίνο (White et al., 2021). Πρόσφατες προσεγγίσεις και πρωτοβουλίες όπως το Open Cities Planner της Bentley στο Ελσίνκι της Φινλανδίας ¹ εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες υπολογιστικού νέφους χρησιμοποιώντας λύσεις τρισδιάστατης απεικόνισης που βασίζονται στο δίκτυο με ενοποιημένα δεδομένα για επικοινωνία και συνεργασία. Αυτό οφείλεται κυρίως στον σημαντικό υπολογιστικό φόρτο που δημιουργείται από μεγάλα σύνολα δεδομένων και σημεία cloud, ο οποίος όμως μπορεί εύκολα να παρέχει μια ισχυρή υπηρεσία cloud με μια διεπαφή δικτύου. Οι ψηφιακοί δίδυμοι του Microsoft Azure² είναι μια προσέγγιση που ενσωματώνει διαφορετικά στοιχεία και περιβάλλοντα που κυμαίνονται από εργοστάσια και κτίρια έως στάδια και ακόμη και πόλεις και αποκτούν πληροφορίες από προηγούμενα ανόμοιες συσκευές και επιχειρηματικά συστήματα. Το επόμενο βήμα που φαίνεται να κάνει το Azure DT είναι η παρακολούθηση διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο ακόμη και σε πολλά εργοστάσια ή πόλεις σε όλο τον κόσμο, με λιγότερη έμφαση σε όλες τις λεπτομέρειες της τρισδιάστατης μοντελοποίησης και περισσότερη εστίαση στη λειτουργική βελτίωση και τελειοποίηση. Αντίθετα, η Dassault Systems ³ ανεβάζει την εμπειρία σε ένα νέο επίπεδο

¹ <https://www.bentley.com/wp-content/uploads/eBook-OpenCities-Planner-EN.pdf>

² <https://azure.microsoft.com/en-us/products/digital-twins/>

³ <https://discover.3ds.com/beyond-digital-twin>

ενσωματώνοντας την εικονική πραγματικότητα (virtualreality, VR) μαζί με την τρισδιάστατη απόδοση του συστήματος. Επιπλέον, οι Schrotter&Hürzeler, (2020) αναφέρουν ότι τα δεδομένα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμα για πολλούς χρήστες, μέσω μιας προηγμένης γεωπύλης σε μια παρουσίαση τρισδιάστατων χωρικών μοντέλων Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος (Geographical Information System, GIS). Οι Beil&Kolbe (2020) αναφέρουν τα πρότυπα τρισδιάστατης μοντελοποίησης DT στο πλαίσιο έξυπνων πόλεων, όπως τα αρχεία γεωγραφικών δεδομένων (geographic data files, GDF), τα πρότυπα CityGML, OpenDRIVE και OpenGeospatial Consortium (OGC), όπως το Landinfra.



Σχ. 2. Παγκόσμιος χάρτης εφαρμογών ψηφιακών διδύμων έξυπνων πόλεων.

[file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-KR2MPAI4\)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf](file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-KR2MPAI4)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf)

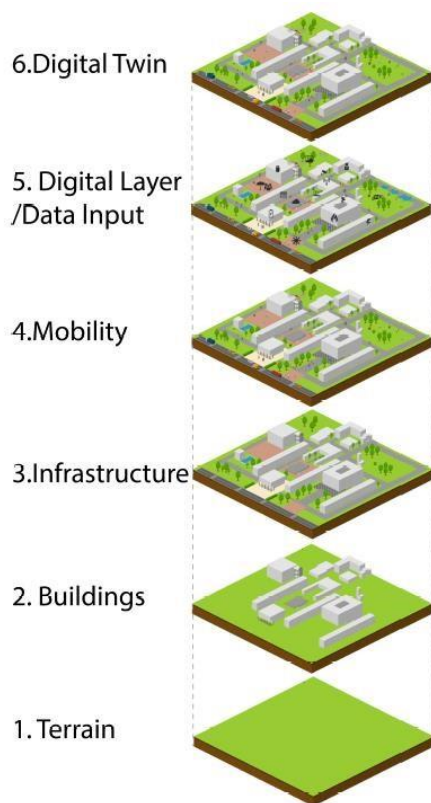
Επί του παρόντος, οι επιστήμονες και ερευνητές έχουν μείνει πίσω σε σύγκριση με βιομηχανικές ηγετικές εταιρίες, οι οποίες προχωρούν προς τη λεπτομερή μοντελοποίηση προσομοίωσης χωρίς να εξετάζουν τα αληθινά και ισχυρά ερευνητικά ερωτήματα σχετικά με την ικανότητα τέτοιων συστημάτων που τροφοδοτούνται από μεγάλα δεδομένα και AI, αυτό το γεγονός σε ορισμένες περιπτώσεις αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό κενό που χρειάζεται να καλυφθεί. Έχουν ληφθεί διάφορες προσεγγίσεις για την έναρξη της κατασκευής των DT πόλεων με ενσωμάτωση δεδομένων από

διάφορες πηγές, αλλά αυτή η προσέγγιση δημιουργεί τεράστια λειτουργικά δεδομένα και θέτει νέες προκλήσεις για τη διάγνωση και την πρόγνωση (Qi et al., 2021). Η διάγνωση και η πρόγνωση που βασίζεται σε μεγάλα δεδομένα πρέπει να είναι το κύριο αντικείμενο της έρευνας, συμπεριλαμβανομένου του αλγοριθμικού σχεδιασμού, της εξαγωγής χαρακτηριστικών, της βελτίωσης της απόδοσης κ.λπ. Όσον αφορά το επίπεδο κοινωνικής ετοιμότητας (societal readiness level, SRL) για αυτόν τον τύπο DT, η συνεκτίμηση των συμφερόντων όλων των συμμετεχόντων και των ενδιαφερομένων και η εξισορρόπηση της χρησιμότητάς τους αποτελεί πρόκληση που πρέπει να επιλυθεί.

Οι White et al. (2021), αναφέρουν το γεγονός ότι οι πόλεις γίνονται όλο και πιο έξυπνες και παράγουν πληροφορίες από ποικίλες πηγές όπως η κυκλοφορία, οι μεταφορές, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η παροχή υπηρεσιών κοινής ωφελείας, η παροχή νερού και η διαχείριση απορριμμάτων. Η χρήση των τεχνικών μηχανικής μάθησης (machine learning, ML) και βαθιάς μάθησης (deep learning, DL) έχει γίνει πιο σχετική καθώς οι έξυπνες πόλεις έχουν γίνει πηγές για εξόρυξη δεδομένων και ML (White et al., 2021). Οι συγγραφείς ορίζουν και περιγράφουν μια έξυπνη πόλη DT με έξι επίπεδα, όπως φαίνεται στο Σχ.3. Τα επίπεδα πηγάζουν από το πιο βασικό μέχρι το ψηφιακό επίπεδο προσθέτοντας πληροφορίες για διαφορετικά στοιχεία ενός αστικού χώρου, όπως κτίρια, υποδομές και κινητικότητα. Τέλος, το ψηφιακό επίπεδο έχει αυτόματη συνδεσιμότητα με το τελευταίο επίπεδο, το ψηφιακό δίδυμο όπου οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσομοίωση σεναρίων και βαθιά ανάλυση και μελέτες με χρήση ML και DL. Στην πειραματική διάταξη (White et al., 2021), το DT του αστικού χώρου χρησιμοποιεί πληροφορίες από τρεις πηγές: πολίτες, δεδομένα που λαμβάνονται μέσω Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) από έξυπνες συσκευές και αισθητήρες και δεδομένα 3D και αστικής κινητικότητας που ενεργοποιούνται από το DT. Η προαναφερόμενη εργασία παρουσιάζει μια προηγμένη και μοναδική εφαρμογή της τεχνολογίας DT για την εκτέλεση τρισδιάστατων προσομοιώσεων μιας πόλης κάτω από διαφορετικά σενάρια όπως σχεδιασμός κτιρίων και υποδομών, φυσικές καταστροφές (πλημμύρες) και προσομοιώσεις χώρων πρασίνου.

Αξίζει να αναφερθεί ότι στο δήμο Αθηναίων για παραδείγμα, υπήρξε πρόβλεψη για την υλοποίηση μιας σειράς μεγάλων έργων βασισμένα σε μελέτες από την τεχνική ομάδα του δήμου και της περιφέρειας Αττικής. Ένα τέτοιο έργο αποτελεί και η πεζοδρόμηση μέρους των κεντρικών αρτηριών της Αθήνας, ο φερόμενος «μεγάλος περίπατος». Ανεξαρτήτως του αποτελέσματος της έκβασης, αν αναλογιστούμε πόσο χρήσιμο θα ήταν ένα εργαλείο ψηφιακού διδύμου, στο οποίο θα μπορούσαμε να διαμορφώσουμε την κάτοψη και το ανάγλυφο της πρωτεύουσας ώστε να αντιληφθούμε κατά πόσο θα ήταν αποδοτικό ένα τέτοιο έργο τόσο για τους πεζούς επισκέπτες, όσο και την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Σε αυτό το εγχείρημα πρέπει να συμπεριλάβουμε όλους τους δυνατούς παράγοντες που παίζουν ρόλο όπως τον μόνιμο πληθυσμό που διασχίζει τις κεντρικές αρτηρίες της Αθήνας (περί 3,5 εκατομμύρια πολίτες με βάση την απογραφή του 2021), μέχρι και τις υπάρχουσες χωροταξικές υποδομές. Όλα αυτά τα δεδομένα αν έχουν συλλεχθεί από ένα σύστημα πληροφοριών που μπορεί να διαμορφώσει τα κατάλληλα σενάρια υλοποίησης ενός σχεδίου, μπορεί να μας προσφέρει σαφέστερη εικόνα από τις τεχνικές μελέτες ακόμα και των πιο έμπειρων μηχανικών.

Ωστόσο, σε μια πιο προηγμένη και πολύπλοκη εργασία (Nativietal., 2021) για τις υλοποιήσεις DT, παρουσιάζεται η πρωτοβουλία DestinationEarth. Η ευρωπαϊκή πρωτοβουλία επιδιώκει να αναπτύξει μια κατανεμημένη και διεθνή πλατφόρμα γνώσης για τη διευκόλυνση της πολυμερούς συνεργασίας και συνεργασιών, ανταλλαγής πληροφοριών, βέλτιστων πρακτικών και συμβουλών πολιτικής μεταξύ των κρατών μελών των Ηνωμένων Εθνών, της κοινωνίας των πολιτών, του ιδιωτικού τομέα, της επιστημονικής κοινότητας και άλλων ενδιαφερόμενων μερών (Nativietal., 2021). Σε αυτή την πρωτοβουλία, οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του συνόλου των φυσικών και κοινωνικών φαινομένων που χαρακτηρίζουν το σύστημα της Γης, μια κατηγορία οντοτήτων που περιλαμβάνει τις τοπικές και παγκόσμιες αλλαγές που επηρεάζουν τους φυσικούς κύκλους, τις βαθιές διαδικασίες και τις διασυνδέσεις με την ανθρώπινη κοινωνία.



Σχ. 3. *Επίπεδα ολοκλήρωσης ψηφιακών διδύμων έξυπνης πόλης.*

https://www.researchgate.net/figure/Layers-Required-to-Develop-a-Digital-Twin-Smart-City_fig1_348382801

[file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20\(LAPTOP-KR2MPAI4\)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf](file:///C:/Users/jimst/Dropbox/My%20PC%20(LAPTOP-KR2MPAI4)/Downloads/remotesensing-14-01335.pdf)

Άλλες εφαρμογές των DTs για έξυπνες πόλεις μπορούν να βρεθούν στην εργασία (Leeetal., 2020), όπου οι συγγραφείς αναφέρουν ότι οι πιο πρόσφατες υλοποιήσεις έξυπνων πόλεων επιδιώκουν να χρησιμοποιήσουν τις πληροφορίες που συλλέγονται από πληροφορίες αισθητήρων IoT σε πραγματικό χρόνο για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, τη βιωσιμότητα και την ασφάλεια των αστικών χώρων μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος και την κατανάλωση πόρων. Η μελέτη αποδεικνύει την εφαρμογή μιας προσομοίωσης πολλαπλών παραδειγμάτων σε ένα DT έξυπνης πόλης για παρακολούθηση πολιτών, όπου οι πληροφορίες χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία συμπερασμάτων σχετικά με την πρόληψη του εγκλήματος, τη διαχείριση της κυκλοφορίας, τη χρήση ενέργειας και τη μείωση των απορριμμάτων σε έναν αστικό χώρο (Leeetal., 2020). Οι συγγραφείς συζητούν ότι οι προκλήσεις μιας φυσικής υλοποίησης του συστήματος θα ήταν η ανάλυση τέτοιων μεγάλων ροών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η αξιοπιστία και η πιστότητα των δεδομένων μέτρησης και η πρόκληση της ανάπτυξης προσομοιώσεων για πολύπλοκα δυναμικά περιβάλλοντα. Με

αυτή την έννοια, η ανάπτυξη τεχνικών πολλαπλών παραδειγμάτων για προσομοίωση βοηθά στην υπέρβαση των εν λόγω προκλήσεων.

Οι μέθοδοι παράδοσης κατ' απαίτηση όπως το AmazonPrime, το Deliveroo, το UberEats κ.λπ. αποκτούν σημαντική ώθηση, οδηγώντας σε αύξηση των προσωπικών ταξιδιών κατά παραγγελία στις πόλεις. Η πολυπλοκότητα της μοντελοποίησης όλης αυτής της συμπεριφοράς αντιπροσωπεύει επί του παρόντος μια μοναδική πρόκληση. Οι Marcucci et al. (2020), καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι *‘χωρίς μια κατάλληλη θεωρία και γνώση σε σχέση με τις σχέσεις που συνδέουν την πραγματικότητα με τα συμφοραζόμενα και την επιλογή/συμπεριφορά, δεν είναι δυνατό να γίνει κατανοητό τι συμβαίνει στον πραγματικό κόσμο. Επομένως, η κοινή χρήση της συμπεριφοράς και τα μοντέλα προσομοίωσης θα πρέπει να χαρακτηρίζουν ένα DT εντός μιας προσέγγισης LivingLab, ώστε να προσομοιώνουν αποτελεσματικές, καλά ενημερωμένες και συμμετέχουσες διαδικασίες σχεδιασμού, αλλά και να προβλέψουν τόσο τη συμπεριφορά όσο και τις αντιδράσεις σε δομικές αλλαγές και την εφαρμογή μέτρων πολιτικής’*. Επιπλέον, η εφαρμογή μεγάλων δεδομένων σε εφαρμογές αστικού χώρου επιτρέπει την παρακολούθηση των προτύπων συμπεριφοράς και του τρόπου ζωής και την αλληλεπίδρασή τους με τον πληθυσμό, την οικονομική ανάπτυξη, τις κατασκευές και τις υποδομές (Ivanov et al., 2020). Ο Russell (2020) βαθμολογεί τη συνάφεια των εφαρμογών διαφορετικών τύπων δεδομένων σε τρέχουσες και μελλοντικές έξυπνες πόλεις σε ποσοστά, με τα πέντε κορυφαία σύνολα δεδομένων που βαθμολογούνται ως:

- Δεδομένα υποδομής =91% (όπως δεδομένα από κυκλοφοριακή κίνηση, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, βιομηχανικές συσκευές).
- Δεδομένα αισθητήρων =88% (συλλέγονται από οικιακές συσκευές και έξυπνους οδομετρητές).
- Δεδομένα έξυπνης πόλης IoT =86% (δεδομένα που συλλέγονται από έξυπνα και συνδεδεμένα δίκτυα αισθητήρων σε μεγάλες υπηρεσίες κοινής ωφέλειας όπως η ενέργεια, το φυσικό αέριο και το νερό).
- Δεδομένα μέσω κοινωνικής δικτύωσης =86% (από ιστότοπους όπως LinkedIn, Facebook, Twitter, Pinterest κ.λπ.).
- Διαδικτυακές πηγές =85% (από μηχανές αναζήτησης και ιστότοπους όπως το Google και το YouTube).

2.7.2. Τεχνολογίες Τηλεπισκόπησης και Ψηφιακά Δίδυμα

Ένα σημαντικό μέρος της ανάλυσής αφορά τη διερεύνηση του τρόπου συλλογής δεδομένων από τους αισθητήρες και τις κύριες προκλήσεις, όπως: κόστος, αξιοπιστία και βαθμονόμηση αισθητήρων, σύνδεση αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο στο cloud ή σε εξωτερικούς διακομιστές.

Επιπλέον, σε μια αξιολόγηση λύσεων ανίχνευσης και ανάλυσης δεδομένων για έξυπνες πόλεις, αναφέρεται ότι οι έξυπνες πόλεις DT προσφέρουν έναν τρόπο συλλογής και χειρισμού δεδομένων για αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων (Russell, 2020). Μερικές από τις πιο σχετικές λύσεις για τους αστικούς χώρους, την κινητικότητα και τις έννοιες DT του πολίτη είναι:

- Παραγωγή ενέργειας με βάση τη ζήτηση σε πραγματικό χρόνο =86% (χρησιμοποιώντας αισθητήρες IoT έξυπνων πόλεων για τον προσδιορισμό της ζήτησης και της παραγωγής ενέργειας).
- Wearables για απομακρυσμένα διαγνωστικά ασθενών =94% (ανοίγοντας τις δυνατότητες της έννοιας της ανθρώπινης DT).
- Αισθητήρες σώματος για παρακολούθηση χρόνιων παθήσεων =88% (wearable συσκευές).
- Πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τις δημόσιες συγκοινωνίες και την κυκλοφορία =96% (χρησιμοποιώντας τεχνολογίες έξυπνης ανίχνευσης για τη βελτίωση της υποδομής των δημόσιων μεταφορών και της κινητικότητας).
- Προγνωστική συντήρηση για συστήματα διαχείρισης κτιρίων =91% (ενσωμάτωση τεχνολογιών ML και AI για την επεξεργασία πραγματικών πληροφοριών).
- Drones για επιτόπιες επιθεωρήσεις =88% (με χρήση εργαλείων όπως κάμερες, LIDAR και αισθητήρες υπερήχων, τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαχείριση και παρακολούθηση ιδιοκτησίας).

Άλλες πηγές δεδομένων περιλαμβάνουν προσωπικές αναλύσεις (δεδομένα υγείας, παραγωγικότητα, φυσική κατάσταση, κ.λπ.) και βίντεο μεγάλου όγκου, εικόνες, ψηφιακό κείμενο και ήχο (από CCTV και δημόσια/ιδιωτικά αρχεία) (Russell, 2020). Επιπλέον, τα υψηλά επίπεδα πιστότητας αντιπροσωπεύουν μερικούς από τους σημαντικότερους περιορισμούς για την εξέλιξη των DT στο επόμενο επίπεδο

(Jones et al., 2020). Η λεπτομερής μοντελοποίηση όλων των στοιχείων ενός πραγματικού συστήματος απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύ, αποθήκευση και κίνηση δεδομένων και χειρισμό σε τακτική βάση. Η υποδομή που απαιτείται για να επιτευχθεί αυτό το υψηλό επίπεδο απόδοσης δεν είναι διαθέσιμη για πολλούς τομείς όπως οι έξυπνες πόλεις. Τα σύνολα μεγάλων δεδομένων θα πρέπει να παρακολουθούνται στενά όσον αφορά την ακρίβεια, τη συχνότητα και το επίπεδο συμφωνίας μεταξύ όλων των ενδιαφερομένων.

2.7.3. Μοντέλο Πληροφοριών Κτιρίων

Οι Kaewunruen et al. (2018), έχουν προτείνει μια αξιολόγηση DT του κτιρίου καθαρής μηδενικής ενέργειας (net-zero energy building, NZEB) για υπάρχοντα κτίρια. Η προσέγγιση είναι να συνδυαστεί ένα νέο διάγραμμα ροής με ένα Μοντέλο Πληροφοριών Κτιρίων (Building Information Model, BIM), το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την πλήρη οπτικοποίηση κάθε επιλογής, την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερομένων και την ακριβή εκτίμηση του σχετικού κόστους και των σχετικών τεχνικών ζητημάτων που αντιμετωπίζονται κατά την παραγωγή ενός NZEB σε μια προκαθορισμένη τοποθεσία. Οι Tagliabue et al. (2021), παρουσιάζουν τη χρήση DT για την αξιολόγηση βιωσιμότητας ενός εκπαιδευτικού κτιρίου σε συνδυασμό με μια δυναμική προσέγγιση με δυνατότητα IoT. Αυτή είναι μια από τις λίγες προσεγγίσεις μέχρι σήμερα που έχει μετατοπιστεί προς ένα επίπεδο ωριμότητας 3 με την ενοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο με το φυσικό μοντέλο DT του κτιρίου. Μερικοί ερευνητές έφεραν πρόσφατα την έννοια του DT ακόμη περαιτέρω (Yitmen et al., 2021), δημιουργώντας τα λεγόμενα γνωστικά ψηφιακά δίδυμα (cognitive digital twins, CDTs) με σκοπό την ενσωμάτωση γνωστικών ικανοτήτων για τον εντοπισμό περίπλοκων και απρόβλεπτων ενεργειών και τον λόγο για στρατηγικές δυναμικής βελτιστοποίησης διεργασιών για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων στον κύκλο ζωής του κτιρίου διαχείρισης (building life cycle management, BLM). Η μελέτη βασίστηκε σε έρευνες με ειδικούς του κλάδου για να επικεντρωθεί στη δυνατότητα εφαρμογής του κύκλου ζωής και στην ενσωμάτωση του μοντέλου CDT στην πράξη.

Η ίδια τάση και τα ίδια ερευνητικά ερωτήματα έχουν συζητηθεί στην εργασία (Godager et al., 2021) οι οποίοι επικεντρώθηκαν στο επιχειρηματικό BIM (enterprise BIM, EBIM) ως μια αναδυόμενη ιδέα για την υποστήριξη της

επιχειρηματικής διαχείρισης σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής των κτιρίων και των υποδομών. Οι συγγραφείς υπογραμμίζουν τη σημασία τόσο των διαθέσιμων όσο και των ελλειπόντων προτύπων που σχετίζονται με την αποτελεσματική εφαρμογή του EBIM μέσω μιας μελέτης περίπτωσης. Ωστόσο, οι Tagliabue et al. (2021), παρουσιάζουν ένα πλαίσιο για την εφαρμογή βιώσιμων ψηφιακών δίδυμων (sustainable digital twin, SDT) σε ένα εκπαιδευτικό κτίριο στην Ιταλία. Αυτή η εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη του SDT στο πλαίσιο μιας πράσινης ιδέας BIM που δημιουργείται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19650-3:2020 του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (International Standardization Organization, ISO)⁴(Tagliabue et al., 2021), που σχετίζεται με την οργάνωση και την ψηφιοποίηση πληροφοριών για κτίρια και δομικά και μηχανολογικά έργα (Tagliabue et al., 2021). Αν και δεν σχετίζεται ρητά με τα DT, αυτή η προσέγγιση τυποποίησης είναι το κλειδί για την ευρεία εφαρμογή των DT.

2.7.4. Εφοδιαστική Αλυσίδα και Εμπορευματικές Μεταφορές

Τα Logistics είναι ένας από τους μεγαλύτερους τομείς στους οποίους τα DT σημειώνουν σημαντική πρόοδο καθώς ο τομέας εμπορευματικής μεταφοράς και εφοδιαστικής αλυσίδας απαιτεί μια πιο προσεκτική ματιά στη λήψη αποφάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο. Και αυτό γιατί οι μεταφορείς και οι εταιρείες ολοκληρωμένης διαχείρισης πρέπει να ενεργούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και να επιλέγουν συγκεκριμένους τρόπους μεταφοράς που υπακούουν σε αυστηρούς κανονισμούς για αποφυγή συμφόρησης. Για παράδειγμα, οι Carvalho e tal. (2020), παρήγαγαν ένα πραγματικό επιχειρηματικό σενάριο όπου ένα μοντέλο τεσσάρων γωνιών επιτρέπει τη συγχρονικότητα (synchromodality) σε όλο το δίκτυο logistics μιας βιομηχανικής μονάδας και των παρόχων της. Επίσης οι συγγραφείς πρότειναν κυρίως δίκτυα συνεργασίας μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών της εφοδιαστικής που παρέχουν διαλειτουργική, χαμηλού κόστους, αξιόπιστη και ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων, χωρίς να απαιτείται σημαντική ανάπτυξη στην τεχνολογία της πληροφορίας (ΤΠ).

Οι Gutierrez-Franco et al. (2021), επικεντρώνονται στις λειτουργίες του τελευταίου μιλίου και προτείνουν ένα πλαίσιο βάσει δεδομένων και μοντέλων για να υποστηρίξει

⁴ <https://www.iso.org/standard/75109.html>

τη λήψη αποφάσεων για αστική διανομή στην πόλη Μπογκοτά της Κολομβίας. Με αυτή την έννοια, το ψηφιακό δίδυμο τροφοδοτείται από δεδομένα πραγματικής ανίχνευσης (GPS, RFID και εξυπηρέτηση πελατών) και χρησιμοποιώντας μοντέλα βελτιστοποίησης και ML, προσομοιώνει διαφορετικές καταστάσεις και παράγει πληροφορίες που μπορούν να υποστηρίξουν τη λήψη αποφάσεων σε λειτουργίες του τελευταίου μιλίου για τους λιανοπωλητές. Με αυτόν τον τρόπο, η μεθοδολογία προορίζεται να δημιουργήσει πιθανά σενάρια με δυνατότητα δράσης για την αντιμετώπιση άμεσων και διαφορετικών περιστάσεων (Gutierrez-Francoetal., 2021). Τα κύρια σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: ένα δίκτυο ενδιαφερομένων, ο οργανισμός λιανικής, ο αριθμός των οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν, η χρήση της χωρητικότητας των πόρων και το κόστος του στόλου. Η έννοια του DT σε αυτή την εργασία έχει μια ειδική συμπεριφορά και ονομασία καθώς αντιπροσωπεύει έναν προσομοιωτή που μπορεί να προβλέψει μελλοντικά σενάρια και μπορεί να σχεδιάσει στρατηγικές για τις πιο πιθανές καταστάσεις για τους αποστολείς διαφόρων οχημάτων σε επιχειρήσεις (π.χ. λιανική, εταιρείες logistics, εστιατόρια). Η μελέτη χρησιμοποιεί επιχειρησιακή έρευνα, βαθιά μάθηση (deep learning, DL) και μοντελοποίηση βάσει δεδομένων, η οποία είναι ένας μοναδικός συνδυασμός χωρίς καμία τρισδιάστατη μοντελοποίηση ή ρεαλιστικές διατάξεις πόλεων που εμπλέκονται στην εργασία.

Οι Panetal. (2021), αναφέρουν ότι *‘για την προώθηση της ανταγωνιστικότητας των υπηρεσιών, οι έμποροι λιανικής και οι πάροχοι υπηρεσιών logistics έχουν αφιερώσει σημαντικές προσπάθειες για την ανάπτυξη υπηρεσιών ταχείας εκπλήρωσης, π.χ. παράδοση την ίδια ή την επόμενη ημέρα, μέσω ενός καναλιού διανομής παντού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε νέες προκλήσεις εφοδιαστικής, όπως κατακερματισμένες και μειωμένες αποστολές, υψηλότερη συχνότητα παράδοσης, μικρότερος χρόνος παράδοσης, μεγάλες διακυμάνσεις και αβέβαιες απαιτήσεις και επιστροφές’*. Αυτό προκύπτει ως αποτέλεσμα της σύγχρονης συμπεριφοράς ηλεκτρονικού εμπορίου που απαιτεί αυξανόμενο κατακερματισμό, πολυπλοκότητα και επίπεδο ολοκλήρωσης των DT. Πρόσφατες εργασίες σχετικά με τα λιμάνια (Yaoetal., 2021), αναφέρουν ότι τα DT για λιμένες θα πρέπει να επικεντρώνονται στην ψηφιοποίηση λιμένων και στις ανάγκες ολοκληρωμένης διαχείρισης, με βάση την πλατφόρμα BIM, ένα σύστημα ευρετηρίου αγκύρωσης, κρηπιδώματος, μηχανημάτων λιμένων και υποδομής και να ενσωματώνουν αποτελεσματικά την ανίχνευση των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό,

εργαλεία λογισμικού όπως τα Anylogic, Simio, Arena και Transmodeler μπορούν να χρησιμοποιηθούν για οπτικοποίηση και συντονισμό διαχείρισης σκηνής, πλήρη σκηνή της διαδικασίας ανάπτυξης του λιμανιού και ενσωμάτωση του σχεδιασμού, της κατασκευής και των μελλοντικών λειτουργιών του λιμανιού.

Μια άλλη πρόκληση σχετίζεται με την πολυπλοκότητα του πολεοδομικού σχεδιασμού στις μεγαλופόλεις (Panetal., 2021) που καθυστερεί σημαντικά όλες τις εργασίες μεταφοράς εμπορευμάτων και υλικοτεχνικής υποστήριξης, όπως στο παράδειγμα του Σιάτλ όπου τα φορτηγά οχήματα ξοδεύουν το 28% του χρόνου ταξιδιού τους για να βρουν διαθέσιμο χώρο στάθμευσης. Μια αντίστοιχη πρόκληση πολεοδομικού σχεδιασμού αποτελεί και η περιοχή του Πειραιά, που εκτός από το μεγαλύτερο λιμάνι της Ελλάδας είναι και μια από τις παλαιότερες πόλεις της ανατολικής Μεσογείου. Μικρότερος χώρος, διπλάσιος πληθυσμός, υπερδιπλάσιος όγκος δραστηριοτήτων είναι μερικά από τα πάγια προβλήματα στον δόμηση της περιοχής.

3. Εφαρμογές Ψηφιακού Δίδυμου στον Τομέα της Ναυτιλίας

Οι λιμένες εμπορευματοκιβωτίων αποτελούν ουσιαστικό στοιχείο στο δίκτυο της εφοδιαστικής αλυσίδας και λόγω της πολυπλοκότητας τους ως πολυσύχναστες παγκόσμιες λιμενικές υποδομές, περιέχουν πολλά διαφορετικά στοιχεία, όπως:

- Αποθήκες
- Γερανοί & εξοπλισμός πρόσδεσης, ελλιμενισμού, εκφόρτωσης & φόρτωσης
- Εμπορευματοκιβώτια
- Σκάφη
- Τράκτορες&Φορτηγά
- Φορτηγά παράδοσης
- Διασύνδεση μεκόμβους αεροδρομίων
- Τερματικά σιδηροδρόμωνκ.λπ.

Για ένα λιμάνι, ένας ψηφιακός δίδυμος θα είναι επομένως η πλήρης εικονική αναπαραγωγή ολόκληρου του φυσικού δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο σχεδιασμός και η δημιουργία του ψηφιακού δίδυμου θα επιτρέψει στις λιμενικές αρχές να προσομοιώσουν τη διαδικασία κατασκευής και λειτουργίας και να οπτικοποιήσουν τα διάφορα στοιχεία υποδομής σε πραγματικό χρόνο.

Η χρήση συστημάτων ψηφιακού δίδυμου είναι μέρος μιας συνολικής στρατηγικής ένα χαρακτηριστικό του έξυπνου λιμένα (smartport).⁵ Ένας έξυπνος λιμένας είναι πράσινος, ψηφιακός και περισσότερο συνδεδεμένος με τα logistics, τα βιομηχανικά περιβάλλοντα και τους πόρους βιώσιμης ανάπτυξης, καθώς πρόκειται για αυτοματοποιημένα λιμάνια που χρησιμοποιούν νέες τεχνολογίες ενώ φροντίζουν περισσότερο το θαλάσσιο περιβάλλον.

Οι τεχνολογίες των έξυπνων λιμενων περιλαμβάνουν αναλυτική μεγάλων δεδομένων (BigData), AI, InternetofThings (IoT), τεχνολογία blockchain και σύνδεση 5G.

Οι ψηφιακοί δίδυμοι είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τη βελτίωση των διαδικασιών και των επιχειρηματικών επιδόσεων σε λιμάνια και άλλους κλάδους. Επιπλέον, μπορούν να βοηθήσουν τον ναυτιλιακό τομέα να αποκτήσει μακροπρόθεσμη επίγνωση της κατάστασης, κατανοώντας το περίπλοκο οικοσύστημα στο οποίο δραστηριοποιείται. *Η τεχνολογία ψηφιακών διδύμων βοηθά τους λιμένες να επιτύχουν*

επιχειρηματική αποδοτικότητα και ταυτόχρονα να προστατεύσουν το θαλάσσιο οικοσύστημά.

2.1. Ψηφιακός Μετασχηματισμός και Ναυτιλιακός Τομέας

Τα λιμάνια διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στο παγκόσμιο οικονομικό σύστημα, καθώς περίπου το 90% των εμπορευμάτων διεθνώς μεταφέρεται, φορτώνεται και εκφορτώνεται σε τερματικούς σταθμούς λιμένων. Τα τελευταία χρόνια, τα λιμάνια και οι ναυτιλιακές εταιρείες έχουν αγκαλιάσει την ατζέντα της ψηφιοποίησης, επιδιώκοντας να αξιοποιήσουν Τεχνολογία Τεχνητής Νοημοσύνης (AI) και λύσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τη βελτίωση της ανταγωνιστικότητας και την επίτευξη μεγαλύτερης βιωσιμότητας, ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η χρήση της τεχνολογίας Ψηφιακών Διδύμων είναι ένα λογικό επόμενο βήμα για τον ναυτιλιακό τομέα. Η επεξεργασία και η ανάλυση σημαντικών όγκων δεδομένων μπορεί να αποτελέσει μια πραγματική δοκιμασία για τις λιμενικές αρχές και τις ναυτιλιακές εταιρείες. Ωστόσο, οι ψηφιακοί δίδυμοι λαμβάνουν ναυτιλιακά δεδομένα που είναι

⁵ <https://sinay.ai/en/smart-port-101-what-is-a-smart-port/>

δύσκολο να κατανοηθούν και τα μετατρέπουν σε κατανοητά δεδομένα, αυξάνοντας την επιχειρηματική αποδοτικότητα και μειώνοντας τον κίνδυνο.

Τα οφέλη από τη χρήση της τεχνολογίας ψηφιακών διδύμων δεν περιορίζονται στις υλικοτεχνικές λειτουργίες, καθώς αυτή η τεχνολογία μπορεί να αναλύσει πώς διάφοροι παράμετροι θα επηρεάσουν τις δραστηριότητες των λιμένων, να προστατεύσει τις περιβαλλοντικές ζώνες χάρη στα ισχυρά εργαλεία AI και να μοιράζεται και να συνεργάζεται εύκολα με τους παράγοντες της παγκόσμιας αλυσίδας εφοδιασμού.

3.2.Ναυτιλία και Θαλάσσιες Μεταφορές

Οτιδήποτε ή οποιαδήποτε δραστηριότητα σχετίζεται με τη ναυσιπλοΐα, την θαλάσσια μεταφορά ανθρώπων και εμπορευμάτων κ.λπ., τόσο στα εσωτερικά όσο και στα διεθνή ύδατα, αντιπροσωπεύεται από τη ναυτιλιακή βιομηχανία⁶. Σε παγκόσμιο επίπεδο, περίπου το 80% του εμπορίου κατ' όγκο και το 70% κατ' αξία μεταφέρεται δια θαλάσσης, σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη (ΟΗΕ) (UNCTAD, 2021), καθιστώντας τη ναυτιλία το πιο σημαντικό μέσο μεταφοράς εμπορευμάτων. Η κύρια εφαρμογή της DT στον ναυτιλιακό κλάδο επικεντρώνεται στην αύξηση της αξιοπιστίας των

περιουσιακών στοιχείων, στη βελτίωση της συντήρησης και στη μείωση του λειτουργικού κόστους.

Η Στρατιωτική Διοίκηση Sealift, ο κορυφαίος οργανισμός για την παροχή στρατιωτικών πλοίων μεταφοράς στο Ναυτικό και το Υπουργείο Άμυνας των Ηνωμένων Πολιτειών, με τη βοήθεια της GeneralElectric, κατασκευάζει ένα DT για τα πολεμικά φορτηγά πλοία⁷. Τα δεδομένα που συλλέγονται από θαλάσσιο εξοπλισμό, όπως κινητήρες μεταβλητής συχνότητας, κινητήρες πρόωσης, κινητήρες ντίζελ και γεννήτριες, χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της απόδοσης του σκάφους σε πραγματικό χρόνο έναντι της υπολογιζόμενης και τυχόν αποκλίσεις απόδοσης που υποδεικνύουν πιθανή αστοχία στους κινητήρες ή άλλες κρίσιμες υποδομές αναφέρονται και επιλύονται έγκαιρα, βελτιώνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα, την αποτελεσματικότητα, τις λειτουργίες και την ετοιμότητα των στοιχείων ενεργητικού και των αποστολών τους. Το DT καθιστά επίσης δυνατή την απομακρυσμένη παρακολούθηση και διάγνωση.

⁶ What is the Maritime Industry? <https://www.northeastmaritime.com/blog/what-is-the-maritimeindustry/>

Το 2019 η DNV GL, δημιουργός του εργαλείου ανάλυσης DTWindGEMINI, επίσης οκορυφαίος νηογνώμονας στον κόσμο και αναγνωρισμένος σύμβουλος για τη ναυτιλιακή βιομηχανία, εφάρμοσε την τεχνολογία DT σε ένα από τα μεγαλύτερα γερανοφόρα πλοία στον κόσμο. Το σκάφος απαιτεί συνεχείς επιθεωρήσεις λόγω της μεγάλης ανυψωτικής του ικανότητας 14.000 τόνων, γεγονός που θέτει το σκάφος υπό υψηλή φόρτιση. Το DT διευκολύνει την υποβολή εκθέσεων, την αξιολόγηση προβλημάτων, τον προγραμματισμό συντήρησης και την προγνωστική ανάλυση, γεγονός που οδηγεί σε τεράστια εξοικονόμηση κόστους⁷. Η DNV GL πιστεύει ότι η DT μπορεί να αποφέρει σημαντικά οφέλη σε όλους όσους εμπλέκονται στη ναυτιλιακή βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένων των πλοιοκτητών, των κατασκευαστών εξοπλισμού, των αρχών, των πανεπιστημίων, των ναυτιλιακών ακαδημιών και των συμβουλευτικών υπηρεσιών (DanishMaritimeAuthority, 2018).

Η τεχνολογία DT δεν περιορίζεται μόνο σε σκάφη και πλοία, αλλά βρίσκει εφαρμογές και στα λιμάνια. Το λιμάνι του Ρότερνταμ (Boyles, 2019) που φιλοδοξεί να είναι το πρώτο ψηφιακό λιμάνι ως το 2030, διαθέτει αισθητήρες σε όλες τις αποβάθρες του που

⁷

GE Aviation. GE signs Digital Contract with Military Sealift Command to Improve Mission Readiness. 2018. <https://www.geaviation.com/press-release/digital-solutions/ge-signs-digital-contract-military-sealift-commandimprovemission>

συγκεντρώνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για το περιβάλλον που περιλαμβάνουν τις συνθήκες του νερού, τη θερμοκρασία του αέρα, την ταχύτητα του ανέμου, την υγρασία, τη θολότητα, την αλατότητα του νερού, τη ροή, τα επίπεδα, τις παλίρροιες και τα ρεύματα. Το λιμάνι διαθέτει ακόμη και τα 'Ψηφιακά Δελφίνια', έξυπνους τοίχους αποβάθρας και σημαδούρες εξοπλισμένους με αισθητήρες. Επιπλέον, το λιμάνι του Ρότερνταμ διαθέτει ένα φυσικό εμπορευματοκιβώτιο, το Container 42, εξοπλισμένο με ποικιλία αισθητήρων το οποίο με χρήση τεχνητής νοημοσύνης καταγράφει τις συνθήκες μεταφοράς, αποθήκευσης και επεξεργασίας, στοιχεία που επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση του χρόνου απόπλου του σκάφους και πολλών άλλων παραμέτρων της μεταφοράς.

⁷ DNV supplies ShipManager Hull software to realize Saipem 7000's digital twin <https://www.dnv.com/news/dnv-supplies-shipmanager-hull-software-to-realize-saipem-7000-s-digitaltwin-154798>

3.3.Πρότυπα για την Υποστήριξη Ψηφιακών Διδύμων

Παραδοσιακά, η μοντελοποίηση δεδομένων χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των βασικών συνιστωσών σε ένα πρότυπο και για τη διασφάλιση της συμβατότητας μεταξύ των προτύπων. Στη συνέχεια, ακολούθησαν προσπάθειες καθορισμού τυποποιημένων διεπαφών για επικοινωνία, τα λεγόμενα API (Application Protocol Interfaces). Στη σημερινή εποχή τα δεδομένα έχουν διπλό ρόλο: την επεξεργασία συναλλαγών και την ανάλυση δεδομένων, όπως αυτή που διευκολύνεται από ένα ψηφιακό δίδυμο. Ένα ψηφιακό δίδυμο είναι μια οντότητα στον κυβερνητικό (cyber)κόσμο, που πρέπει να υποστηρίζεται από τυποποιημένες ροές ψηφιακών δεδομένων που χρησιμοποιούν τυποποιημένα API. Πρέπει να επανασχεδιασθούν ορισμένες επιχειρηματικές διαδικασίες για να υποστηριχθεί η δημιουργία δεδομένων που προέρχονται από αισθητήρες IoT που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία και λειτουργία των ψηφιακών διδύμων, έτσι ώστε να γίνουν ισχυρά εργαλεία για την ανάλυση και τον μετριασμό της διαχείρισης κινδύνου, καθώς και αποτελεσματικά βοηθήματα λήψης αποφάσεων Για την προετοιμασία για την εποχή των ψηφιακών διδύμων, διάφοροι φορείς τυποποίησης, όπως τα UN/CEFACT⁸, GS1⁹, WCO¹⁰ και DCSA¹¹ έχουν αναπτύξει διάφορα στοιχεία για την υποστήριξη της ιδέας των ψηφιακών διδύμων, συγκεκριμένα το μοντέλο δεδομένων Smart Container UN/CEFACT και την υποδομή συνδεσιμότητας DCSA IOT, αλλά εξακολουθούν να χρειάζονται επιπλέον πρότυπα για την κατασκευή και την πλήρη ανάπτυξη των

ψηφιακών διδύμων. Τα πρότυπα πρέπει να εξυπηρετούν τόσο τις συναλλαγές του σήμερα όσο και τα ψηφιακά δίδυμα του μέλλοντος. Τα ψηφιακά δίδυμα του ναυτιλιακού τομέα θα μπορούσαν να χρησιμεύσουν ως σημαντικό θεμέλιο για τη λήψη στρατηγικών και επιχειρησιακών αποφάσεων για να καταστεί δυνατή η οικολογικά βιώσιμη και οικονομικά βιώσιμη θαλάσσια μεταφορά.

3.4.Εφαρμογές Ψηφιακών Διδύμων στο Ναυτιλιακό Τομέα

Τα DTs είναι μια αναγνωρισμένη ευκαιρία για τη βελτίωση του ναυτιλιακού τομέα. Σύμφωνα με τον έγκυρο ναυτιλιακό ιστότοπο safety4sea: *‘Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι*

⁸ <https://unece.org/trade/uncefact>

⁹ <https://www.gs1us.org/>

¹⁰ <https://www.wcoomd.org/>

¹¹ <https://dcsa.org/>

το ψηφιακό δίδυμο είναι το μέλλον. Η δυνατότητα πρόβλεψης πιθανών κινδύνων και δημιουργίας της βέλτιστης σχεδίασης, θα βελτιώσει σημαντικά την ασφάλεια και τη λειτουργία. Με το στοιχείο του αγνώστου να περιορίζεται σημαντικά σημαντικά, το ψηφιακό δίδυμο ως concept μπορεί να βοηθήσει τη ναυτιλιακή βιομηχανία να αξιοποιήσει καλύτερα την ψηφιοποίηση και τη μετάβαση σε μια νέα εποχή¹². Κάποιοι τομείς που αναμένεται ότι θα ωφεληθούν από τα ψηφιακά δίδυμα είναι η βελτιστοποίηση του στόλου, η βελτιστοποίηση των λιμένων, η βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας από άκρο σε άκρο και η αύξηση της επίγνωσης της κατάστασης των βασικών ενδιαφερομένων.

- Βελτιστοποίηση στόλου

Συνήθως, μια ναυτιλιακή εταιρεία εξυπηρετεί πολλούς πελάτες ταυτόχρονα και οι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικές ναυτιλιακές εταιρείες ταυτόχρονα. Έτσι, μια ναυτιλιακή εταιρεία πρέπει να διατηρήσει και να αυξήσει την ανταγωνιστικότητα της, βελτιστοποιώντας τον στόλο της όσον αφορά τα πλοία (και τον αντίστοιχο εξοπλισμό τους) και την ικανότητα μεταφοράς φορτίου τους. Αυτή η ανάγκη θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί από ένα ψηφιακό δίδυμο που βασίζεται σε ιστορικά δεδομένα και συνεχείς προβλέψεις ναυτιλιακών συναλλαγών. Αυτό θα μπορούσε να αποτελέσει τη βάση της στρατηγικής για λήψη αποφάσεων δοκιμάζοντας μια ποικιλία σεναρίων για εμπορικά πρότυπα και στόλους ναυτιλίας.

Επιπλέον, ένα ψηφιακό δίδυμο για τη βελτιστοποίηση του στόλου θα μπορούσε επίσης να βελτιώσει τη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων κάτω από ποικίλους παράγοντες, όπως καιρικές συνθήκες που δημιουργούν απρόβλεπτες καταστάσεις και διάφορες επιλογές που πρέπει να επανεξεταστούν γρήγορα.

¹² <https://safety4sea.com/cm-the-digital-twin-concept-explained/>

3.4.1. Βελτιστοποίηση λιμένων και τερματικών Εγκαταστάσεων

Η αποδοτικότητα των λιμένων βασίζεται στην εξισορρόπηση της ζήτησης και της προσφοράς με ευέλικτο τρόπο και στην ενοποίηση σε ολόκληρο το σύστημα μεταφορών (Bechaetal., 2020a). Ένας λιμένας εξαρτάται από μια συνεχή εισερχόμενη και εξερχόμενη ροή φορτίων και επιβατών που φτάνουν και αναχωρούν με διαφορετικά μέσα μεταφοράς. Σε ότι αφορά το στρατηγικό σχεδιασμό, ένα λιμάνι και οι εταίροι του πρέπει να αποτυπώσουν το ιστορικό, το συνεχές και προβλεπόμενο μελλοντικό εμπόριο σε ένα ψηφιακό δίδυμο. Ένα τέτοιο μοντέλο θα πρέπει να ενσωματώνει τις διαφορετικές παραμέτρους και τις σχέσεις που πρέπει να περιλαμβάνουν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων των λιμένων στις στρατηγικές τους αποφάσεις, όπως επενδύσεις σε υποδομές, σχεδιασμός λιμένων και χωρητικότητα τερματικού σταθμού. Συνήθως, τα ερωτήματα που πρέπει να απαντήσει ένα τέτοιο μοντέλο είναι πόσες θέσεις ελλιμενισμού χρειάζονται για να επιτύχει τους στόχους του λιμανιού ή πόσος χερσαίος χώρος χρειάζεται για να επιτραπεί σε διαφορετικούς πελάτες να αποθηκεύουν το φορτίο τους καθώς αυτό μετακινείται μεταξύ των υπηρεσιών μεταφοράς, είτε αποστολής είτε άλλους τρόπους λειτουργίας.

Ένα ψηφιακό δίδυμο, που τροφοδοτείται από πολλαπλές ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και ιστορικών βάσεων δεδομένων, είναι επίσης ένα εργαλείο επιχειρησιακού σχεδιασμού για το συντονισμό και το συγχρονισμό των λιμενικών λειτουργιών (Lindetal., 2018), και θα μπορούσε να είναι ένα ουσιαστικό θεμέλιο για τις διαδικασίες εικονικής άφιξης, τη μείωση των εκπομπών από τη ναυσιπλοΐα (Watsonetal., 2015) και για το συνδυασμό με χερσαίες μεταφορές για την υποστήριξη της αποτελεσματικής χρήσης φορτηγών, τρένων και υποδομών για διαφορετικές ανάγκες.

3.4.2. Επίγνωση της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης κατάστασης

Οι ιδιοκτήτες φορτίου, οι αγοραστές μεταφορών και οι τελικοί πελάτες αναζητούν βελτιωμένη ορατότητα και δυνατότητα προβλέψεων σχετικά με την κατάσταση της μεταφοράς των εμπορευμάτων κατά τη μετακίνησή τους από την προέλευση στον προορισμό. Για να ενισχυθεί η επίγνωση της κατάστασης για αυτές τις ομάδες, είναι εφικτό να εξεταστεί η παράλληλη σύνδεση των σχετικών ψηφιακών διδύμων, έτσι ώστε οι επιπτώσεις μιας καθυστέρησης σε ένα στάδιο να μπορούν να αναλυθούν διεξοδικά, να γίνουν προσαρμογές και να βελτιωθεί η επίγνωση της κατάστασης. Τα συνδεδεμένα

ψηφιακά δίδυμα είναι ένα εργαλείο για τη διερεύνηση της συντονισμένης ανάπτυξης επενδύσεων υποδομής σε ένα δίκτυο λιμένων που αλληλεπιδρούν συχνά, έτσι ώστε οι βασικοί ενδιαφερόμενοι να αποκτούν επίσης μακροπρόθεσμη επίγνωση της κατάστασης. Αυτό τους επιτρέπει να λαμβάνουν από κοινού απόφαση για την εξυπηρέτηση των κοινών στόχων του οικοσυστήματος, όπως η ελαχιστοποίηση των εκπομπών στα λιμάνια. Η κατανόηση ενός πολύπλοκου κόσμου που αλληλεπιδρά ξεπερνά όλο και περισσότερο τις γνωστικές δυνατότητες των ανθρώπων και πρέπει να δημιουργηθούν και να χρησιμοποιηθούν μοντέλα υψηλής πιστότητας των φυσικών διαδικασιών και οντοτήτων, που θα επιτρέψει στα μοντέλα να αντιλαμβάνονται την κατάσταση του παρόντος και του μέλλοντος.

3.4.3. Βελτιστοποίηση των ροών εμπορευματοκιβωτίων στην αλυσίδα

εφοδιασμού από άκρο σε άκρο

Πρόσφατα, εισήχθησαν έξυπνα κοντέινερ που υποστηρίζουν πρότυπα συνδεσιμότητας IoT. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις χρήσης για έξυπνα εμπορευματοκιβώτια που βοηθούν στη βελτίωση διαφόρων παραμέτρων στον κλάδο των μεταφορών. Οι ροές δεδομένων που δημιουργούνται από τα έξυπνα κοντέινερ αποτελούν πολύτιμη είσοδο για τη βελτιστοποίηση του στόλου, τη βελτιστοποίηση λιμένων και τερματικών και την επίγνωση της κατάστασης. Τα εμπορευματοκιβώτια διέρχονται από πολλούς κόμβους μεταφορών, τα διαχειρίζονται διαφορετικοί μεταφορείς (του ίδιου και διαφορετικού τύπου) στην αλυσίδα εφοδιασμού από άκρο σε άκρο. Ως αποτέλεσμα, τα δεδομένα που παράγονται από διασυνδεδεμένα κοντέινερ με αισθητήρες και με δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων, είναι μια πολύτιμη πηγή δεδομένων για ψηφιακά δίδυμα, είτε ανακτώνται από αρχεία δεδομένων είτε αντιμετωπίζονται σε πραγματικό χρόνο ως ροή δεδομένων.

Ένα ψηφιακό δίδυμο για βελτιστοποίηση της εφοδιαστικής αλυσίδας θα παρέχει στους αγοραστές και στους συντονιστές μεταφορών, ευκαιρίες για να βελτιστοποιήσουν την επιλογή του τρόπου μεταφοράς και της διαδρομής για την εξυπηρέτηση των πελατών τους. Τα συνδεδεμένα εμπορευματοκιβώτια αποτελούν ηλεκτρονική αναγκαιότητα για «έξυπνες» αλυσίδες εφοδιασμού (Bechaetal., 2020b) και είναι βασικό δομικό στοιχείο για ψηφιακές δίδυμες αλυσίδες εφοδιασμού. Τέλος, πολύτιμο εργαλείο θα αποτελούσε και η εισαγωγή ενσωματωμένου συστήματος εντοπισμού (GPS), ώστε να έχουν οι

πελάτες (και εν γένει οι εμπλεκόμενοι) διαρκή εικόνα της διαδικασίας της μεταφοράς του εμπορεύματος τους

4. Εφαρμογή DigitalTwins στα Λιμάνια

Ως κεντρικοί κόμβοι για το διεθνές εμπόριο, τα λιμάνια διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στο παγκόσμιο σύστημα εφοδιαστικής αλυσίδας. Ωστόσο, η ανάλυση του ρυθμού και του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας τους αποτελεί σημείο που απαιτεί συνεχή επίβλεψη για τη διοίκηση τους. Η επιστημονική, παρακολούθηση των λιμενικών λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο, αφενός μπορεί να διασφαλίσει ότι τα λιμάνια έχουν επαρκή μεταφορική ικανότητα και αφετέρου μπορεί να αποφύγει την περιττή κατασκευή. Καθώς η ψηφιακή οικονομία γίνεται ένα πλεονέκτημα για την παγκόσμια ανάπτυξη, οι Ηνωμένες Πολιτείες, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Ευρωπαϊκή Ένωση και άλλες χώρες είχαν διαδοχικά προτείνει να αναπτύξουν δυναμικά την ψηφιακή οικονομία και να προωθήσουν την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών, όπως τα ψηφιακά δίδυμα με κάθε είδους βιομηχανίες, την προώθηση της ψηφιοποίησης, τη δικτύωση και την τεχνητή ευφυΐα σε διάφορους κλάδους της βιομηχανίας. Ως εκ τούτου, η υιοθέτηση της τεχνολογίας του ψηφιακού δίδυμου μπορεί να δώσει λύση και να δημιουργήσει ένα πλαίσιο για την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων. Διαμορφώνοντας ένα μοντέλο ανάπτυξης λιμένων που συνδυάζει εικονική πραγματικότητα και τεχνητή νοημοσύνη, μπορεί να πραγματοποιηθεί η διαχείριση ολόκληρου του κύκλου ζωής και η λήψη αποφάσεων κατασκευής έργων του λιμένα ώστε στη συνέχεια να μετασηματισθεί σε έξυπνο λιμάνι με βελτιστοποιημένη κατανομή πόρων και έξυπνο προγραμματισμό logistics, έτσι ώστε να προωθήσει τον εκσυγχρονισμό της ικανότητας διακυβέρνησης και τη μείωση του κόστους ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδα.

4.1. Εφαρμογή DigitalTwin σεΣυστήματα Logistics

Στον τομέα των logistics, τα digital twins μπορούν να ενεργήσουν σε διάφορα σενάρια εφαρμογών σε ολόκληρη την εφοδιαστική αλυσίδα όπως στην διαχείρισης στόλου εμπορευματοκιβωτίων, της παρακολούθησης αποστολών και της παρακολούθησης logistics. Για παράδειγμα, οι αισθητήρες IoT που τοποθετούνται σε μεμονωμένα εμπορευματοκιβώτια μπορούν να δείχνουν τη θέση τους και να παρακολουθούν τη ζημιά ή τη μόλυνση του φορτίου. Αυτά τα δεδομένα λειτουργίας και αποθήκευσης θα εισρεύσουν σε ένα ψηφιακό δίδυμο του κοντέινερ στο δίκτυο, το οποίο χρησιμοποιεί μηχανική μάθηση για να διασφαλίσει ότι τα κοντέινερ διαχειρίζονται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά. Τα Digital Twins μπορούν να εφαρμοστούν όχι μόνο σε ένα μόνο περιουσιακό στοιχείο, αλλά και σε ολόκληρο το δίκτυο logistics, καθιστώντας εύκολη

τη λήψη προβλέψεων και αυτόνομων αποφάσεων σχετικά με το απόθεμα ή τη διανομή (DHL, 2019). Ως εκ τούτου, η τεχνολογία DT είναι πολύ κατάλληλη για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη κόμβων logistics και δικτύων logistics όπως οι λιμένες. Στο Σχ. 4 παρουσιάζονται τα στοιχεία που αποτελούν το DT ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας.



Σχ. 4. Ένα παράδειγμα των στοιχείων που εμπλέκονται σε ένα ψηφιακό δίδυμο ενός δικτύου εφοδιαστικής αλυσίδας.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας ψηφιακού δίδυμου στον τομέα των λιμένων μπορεί να επικεντρωθεί στις ανάγκες ψηφιοποίησης και ολοκληρωμένης διαχείρισης, με βάση την πλατφόρμα BIM, να διευθετήσει πλήρως το σύστημα δεικτών χωρικής και χρονικής συσχέτισης αγκυροβόλησης, κρηπιδώματος, μηχανημάτων και υποδομής λιμένων και να ενσωματώσει αποτελεσματικά τις πληροφορίες ανίχνευσης των δεδομένων με χρήση κατάλληλου λογισμικού όπως τα Anylogic, Simio, Arena, Transmodeler για την προσομοίωση της διαδικασίας κατασκευής και λειτουργίας του λιμένα, για την πραγματοποίηση εικονικοποίησης στοιχείων υποδομής λιμένων, την επίβλεψη κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, την οπτικοποίηση σκηνής και το συντονισμό διαχείρισης, την διαδικασία ανάπτυξης λιμένα και την ενσωμάτωση του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας του. Το προαναφερόμενο περιεχόμενο εφαρμογής περιλαμβάνει τις ακόλουθες πτυχές:

Θα πρέπει να παρέχονται υποδομές όπως ιστοσελίδες, εγκαταστάσεις και εξοπλισμός για το μοντέλο ψηφιακού δίδυμου έξυπνου λιμένα, συμπεριλαμβανομένων κέντρων παρακολούθησης και ελέγχου, πόρων υπολογιστικού νέφους, αίθουσες υπολογιστών, εξοπλισμού και υλικού ηλεκτρονικών υπολογιστών, εξοπλισμού δικτύου κ.λπ., για την υποστήριξη της λήψης δεδομένων, της μετάδοσης, της αποθήκευσης, της επεξεργασίας και παρακολούθησης.

4.2.Ενοποίηση Ψηφιακών Δεδομένων

Τα δεδομένα στους λιμένες περιλαμβάνουν τους συμβατικούς τύπους δεδομένων όπως τα παραδοσιακά δεδομένα τοπογραφίας και χαρτογράφησης, αλλά και τα νέα δεδομένα τοπογραφίας και χαρτογράφησης, δεδομένα τρισδιάστατων μοντέλων όπως 3D GIS, BIM, φωτογραφία, σύννεφο σημείων λέιζερ, δεδομένα γεωγραφικής θέσης με βάση το διαδίκτυο, δεδομένα αντίληψης σε πραγματικό χρόνο με βάση το διαδίκτυο των πραγμάτων, δεδομένα λειτουργίας λιμένων, δεδομένα βιομηχανίας και μη δομημένα βίντεο, εικόνες, έγγραφα κ.λπ.

4.3.Κατασκευή Μοντέλου Πληροφοριών

Με τη χρήση τεχνολογιών BIM και GIS για την αντιστοίχιση εικόνων και φωτογραφιών, τεχνολογίας χαρτογράφησης υφής, τεχνικών βελτιστοποίησης και αποθήκευσης τρισδιάστατων μοντέλων, όπως η τεχνολογία μοντελοποίησης, θα μπορέσουμε να διακρίνουμε σε παραμέτρους το μοντέλο πληροφοριών. Η ζώνη φόρτωσης και εκφόρτωσης, οι προβλήτες, τα κτίρια, οι χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, ο χώρος πρασίνου θα σχηματίσουν ένα ποσοτικό μοντέλο πληροφοριών και δεικτών λιμένα, του οποίου ο συγχρονισμός μπορεί να έχει πρόσβαση σε πολλά από τα κύρια λειτουργικά στοιχεία των πληροφοριών, παρέχοντας ψηφιακή δίδυμο λιμένα από το εσωτερικό προς το εξωτερικό.

Τα δεδομένα από αισθητήρες και το σύστημα IoT θα πρέπει να επεξεργάζονται γρήγορα, να συγχωνεύονται και να παρουσιάζονται σε πραγματικό χρόνο στην πλατφόρμα του μοντέλου ώστε να παρέχεται οπτικοποίηση και παρακολούθηση λειτουργίας της ροής της κυκλοφορίας και της λειτουργίας των μεταφορών (και άλλων παραμέτρων όπως το μέγεθος μόλυνσης κλπ.). Στο Σχ. 5 φαίνεται ένα σύστημα προσομοίωσης εικονικού λιμένα εμπορευματοκιβωτίων.

4.4. Κατασκευή Πλατφόρμας Υπηρεσιών Εφαρμογής

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, είναι απαραίτητο να επεκταθεί η πλατφόρμα εφαρμογών σχεδιασμού λιμένων. Πριν από κάθε σχεδιασμό λιμενικού έργου και της κατασκευής του, θα πρέπει να ελέγχεται εκ των προτέρων η επίδραση και οι επιπτώσεις της ανάπτυξης του. Μέσω του ψηφιακού μοντέλου λιμένα, κάθε φορά που οι προσαρμογές προγραμματισμού και οι αλλαγές προγράμματος μπορούν να προβλέψουν εκ των προτέρων τον αντίκτυπο στο συνολικό μοτίβο ανάπτυξης του λιμένα. Η κατάσταση του λιμένα μπορεί να εμφανιστεί πλήρως κατά τη λειτουργία του, επίσης μπορεί να αναλυθεί το σημείο συμφόρησης της λειτουργίας του και μπορούν να βελτιωθούν η αποτελεσματικότητα και η χωρητικότητα του.



Σχ. 5. Σύστημα προσομοίωσης εικονικού λιμένα εμπορευματοκιβωτίων ITOS για την πρώτη φάση του λιμένα Yangshan της Σαγκάης

Με βάση τα βασικά χαρακτηριστικά του λιμένα ως σημαντικού κόμβου εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η τεχνολογία ψηφιακών διδύμων είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για το σύστημα λιμένων. Οι Yaoetal. (2021), αναφέρουν ότι η τεχνολογία DT θα πρέπει να συνδυαστεί με την τρέχουσα κατασκευή έξυπνου λιμένα για περαιτέρω εξερεύνηση και να συνδεθεί στενά και βαθιά με τη νέα γενιά τεχνολογίας πληροφοριών, βασισόμενη σε νέες τεχνολογίες όπως μεγάλα δεδομένα, IoT και AI για την κατασκευή λιμένων στο φυσικό και εικονικό κόσμο. Το μοντέλο DT μπορεί να διερευνήσει πλήρως την αξία των δεδομένων αυτόματου συστήματος ταυτοποίησης πλοίων (automatic identification system, AIS) και είναι απαραίτητο για να αναπτυχθεί

στοχευμένη και συστηματική τεχνολογία προσομοίωσης, ώστε να προσομοιωθούν τα τρέχοντα σενάρια λειτουργίας του λιμένα, να προβλεφθεί η κατάλληλη κατεύθυνση της ορθολογικής μελλοντικής ανάπτυξης του λιμένα με αποτέλεσμα να εγγυώνται τη διεθνή μεταφορά εμπορευμάτων σημαντικού όγκου.

Με βάση το Ψηφιακό Δίδυμο και τα σχετικά μοντέλα που βασίζονται σε αυτό μπορεί να αναπτυχθεί μια πλήρως ανεπτυγμένη διαχείριση έξυπνων λιμένων, ώστε το προσωπικό έξυπνων λιμένων να οργανώνει και να διαχειρίζεται τις διεργασίες του λιμένα λαμβάνοντας υπόψη το περιβάλλον στο οποίο πραγματοποιούνται αυτές οι λειτουργίες. Οι γενικές διαδικασίες λιμένων περιλαμβάνουν τη διακίνηση και αποθήκευση φορτίου (π.χ. ξηρό χύμα), τη μεταφορά φορτίου (φόρτωση και εκφόρτωση), τη μη χύδην αποθήκευση και λειτουργία χημικών, τον εξοπλισμό διακίνησης φορτίου, τις λειτουργίες σιδηροδρόμων και φορτηγών, τροφοδοσία οχημάτων και εξοπλισμού, δίκτυα πληροφοριών, κτίρια & συντήρηση εδάφους και περιβαλλοντική διαχείριση επικίνδυνων και μη αποβλήτων που παράγονται από τις λιμενικές δραστηριότητες.

4.5. Διαχείριση με Βάση DT στο Ρότερνταμ

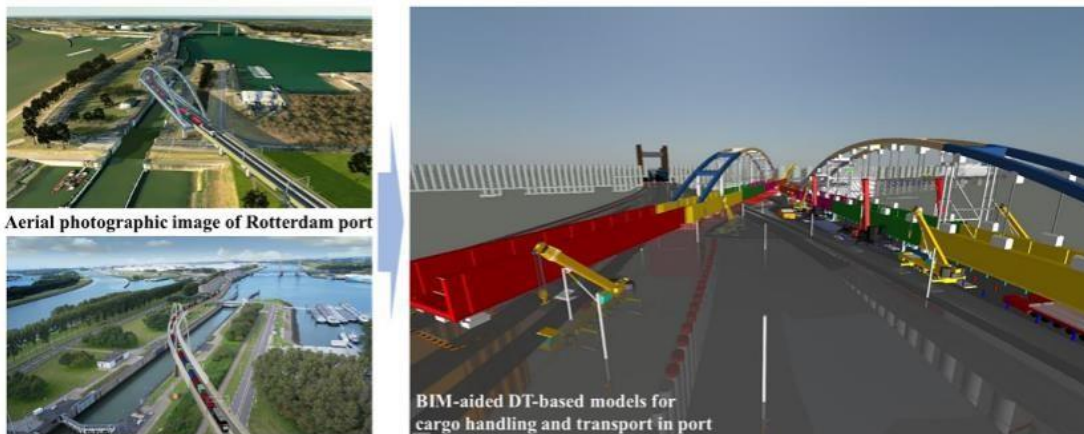
Η διαχείριση φορτίου είναι η πιο βασική επιχείρηση που λειτουργεί σε διεθνή έξυπνα λιμάνια. Τα μοντέλα που βασίζονται στο DT επιτρέπουν την αποτελεσματική λειτουργία γερανών και άλλου εξοπλισμού διακίνησης φορτίου, αλλά και διασφαλίζουν ότι ο σχετικός εξοπλισμός συντηρείται σωστά, βοηθώντας τους χειριστές τερματικών να αυξήσουν την απόδοση και την παραγωγικότητα. Το σύστημα DT μπορεί να βοηθήσει στην λειτουργία αυτή, με χρήση δικτυωμένου εξοπλισμού διακίνησης φορτίου για να διεκπεραιωθούν οι εργασίες σε πραγματικό χρόνο. Στο έξυπνο λιμάνι της Valencia (Lindetal., 2018; Barbieri & Gutierrez, 2021) το τερματικό εμπορευματοκιβωτίων χρησιμοποιεί ένα παρόμοιο σύστημα όπου πάνω από 200 γερανοί, φορτηγά και περονοφόρα ανυψωτικά έχουν τοποθετηθεί με αισθητήρες υψηλής ακρίβειας που συγκεντρώνουν πληροφορίες σχετικά με τη θέση του εξοπλισμού, την κατάσταση των τερματικών και την κατανάλωση ενέργειας. Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας της διακίνησης φορτίου δεν είναι η μόνη συμβολή των μοντέλων που βασίζονται σε DT στις λιμενικές εμπορευματικές μεταφορές. Τα μοντέλα που βασίζονται στο DT μπορούν να καθοδηγήσουν σωστά φορτηγά και τρένα στα λιμάνια και να βελτιστοποιήσουν τη διαδρομή ώστε να ελαχιστοποιείται η

συμφόρηση. Ένα άλλο παράδειγμα είναι ο λιμένας της Σιγκαπούρης, αυτό το έξυπνο λιμάνι δοκιμάζει ένα σύστημα παρακολούθησης της κυκλοφορίας που βασίζεται σε αυτό το μοντέλο (Ivars-Baidaletal., 2021). Το σύστημά του είναι σε θέση να παρακολουθεί την κίνηση ενός φορτηγού σε πραγματικό χρόνο στο λιμάνι της Σιγκαπούρης, να το ειδοποιεί όταν το όχημα πλησιάζει τις βασικές εγκαταστάσεις του και να του δίνει οδηγίες για το πώς να προχωρήσει. Το λιμάνι της Σιγκαπούρης, από την άλλη πλευρά, έχει εγκαταστήσει ενσωματωμένους αισθητήρες παρακολούθησης της κυκλοφορίας κατά μήκος του κύριου δρόμου του, οι οποίοι συνδέονται με την πλατφόρμα του Orbit 3DM ContentManager για να βοηθήσουν στην επιτάχυνση του κύκλου εργασιών των φορτηγών (D'Amicoetal., 2021). Εκτός από τον πιο αποτελεσματικό χειρισμό φορτίου, τα έξυπνα λιμάνια πρέπει να βελτιώσουν τον χειρισμό των πληροφοριών φορτίου, συμπεριλαμβανομένων των εμπορικών αδειών, των αδειών εισαγωγής και εξαγωγής, του εκτελωνισμού, την πληρωμή τελωνείου κ.λπ. Το σύστημα DT θα πρέπει να μπορεί να διανείμει δεδομένα σε πολλές τοποθεσίες, γεγονός που όχι μόνο επιταχύνει την επεξεργασία πληροφοριών, αλλά μειώνει επίσης τον κίνδυνο παραβίασης δεδομένων. Το μοντέλο που βασίζεται σε DT σε συνδυασμό με την τεχνολογία Blockchain μπορεί να επιφέρει σημαντική εξοικονόμηση σε αποστολές, ναυτιλιακές γραμμές, λιμάνια, τερματικά και τελωνειακές αρχές σε κόστος εργασίας και λειτουργίας ανά εμπορευματοκιβώτιο. Αυτός ο έξυπνος λιμένας χρησιμοποιεί μοντέλο με βάση το DT σε συνδυασμό με το Blockchain για να εγγυηθεί τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων και να παρακολουθήσει την κατάσταση των εμπορευμάτων (Alamousetal., 2020).

Στην εποχή μας, με την ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογίας ψηφιακών πληροφοριών, η λιμενική βιομηχανία ξεκινά ένα καινοτόμο ταξίδι συνδεδεμένης ναυτιλίας (Pengetal, 2019, Olba et al, 2019). Ακριβώς όπως η τεχνολογία χωρίς οδηγό στις χερσαίες μεταφορές, τα συνδεδεμένα πλοία σε ένα έξυπνο λιμάνι μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα και να επικοινωνούν μεταξύ τους για την αποφυγή συγκρούσεων. Το λιμάνι του Ρότερνταμ, καλύπτει μια έκταση πάνω από 106,2km² και εξυπηρετεί σχεδόν 30.000 πλοία κάθε χρόνο, και υφίσταται μια μεταμόρφωση ώστε να ψηφιοποιηθεί. Στόχος του Λιμένα του Ρότερνταμ είναι να ενισχύσει την ικανότητα των σκαφών να εισέρχονται και να εξέρχονται αυτόνομα από το λιμάνι το 2030. Για να γίνει πραγματικότητα ένα τόσο μεγάλο όραμα, η διοίκηση του λιμένα του Ρότερνταμ στοχεύει να το μετατρέψει εκτός από φυσικό και σε ψηφιακό λιμάνι με τεχνολογία DT που βασίζεται σε

BIM(Witte et al., 2018; Pauwelsetal., 2017). Οι οπτικοποιήσεις που βασίζονται σε DT έξυπνων λιμένων βασίζονται σε μοντέλα σχεδίασης 3D με τη βοήθεια υπολογιστή που εξάγονται από BIM ή προσαρμοσμένα μοντέλα 3D. Ωστόσο, οι πληροφορίες που παρέχονται από το BIM συχνά περιορίζονται σε επίπεδο εγκατάστασης ή κτιρίου, ενώ λείπουν πληροφορίες δυναμικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για το προσωπικό, τα υλικά και τον επιτόπιο εξοπλισμό. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, η τεχνολογία IoT χρησιμοποιείται για να επιτρέψει την εγκατάσταση αισθητήρων κατά μήκος των τοίχων της προβλήτας, των σημείων πρόσδεσης και των δρόμων, τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα, σε μήκος 42km στην ακτογραμμή του έξυπνου λιμανιού. Αυτοί οι αισθητήρες συλλέγουν υδρολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα όπως η παλίρροια, το παλιρροιακό ρεύμα, η θερμοκρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η στάθμη του νερού, η διαθεσιμότητα πρόσβασης και η ορατότητα. Οι πληροφορίες αγαθών, εξοπλισμού και επιτόπιου προσωπικού μεταδίδονται στους διακομιστές του πληροφοριακού συστήματος μέσω ετικέτας αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) (Costinetal., 2018), συσκευές ανίχνευσης, κωδικό QR γρήγορης απόκρισης, τεχνολογία αντίληψης όπως π.χ. επιτήρηση βίντεο, πραγματοποιώντας έτσι την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο βασικών πληροφοριών, πληροφοριών τοποθεσίας και κατάστασης μεταφοράς των παρακολουθούμενων αντικειμένων. Το DT σε συνδυασμό με το λογισμικό διαχείρισης BIM μπορεί να κινητοποιήσει μια ποικιλία δικτύων αισθητήρων εντός του έξυπνου λιμανιού για να δημιουργήσει μια προβολή μοντέλων σε πραγματικό χρόνο. Το Σχ. 6 δείχνει το μοντέλο DT του λιμανιού του Ρότερνταμ, η ψηφιοποίηση και ο αυτοματισμός επιτρέπουν τη συνεργασία σε ένα όλο και πιο περίπλοκο περιβάλλον. Το BIM και η εργασία με μοντέλα που βασίζονται σε DT (Abbassietal., 2015; Alkbariehetal., 2020) βοηθούν τη λιμενική αρχή του Ρότερνταμ με τη διαχείριση διαφόρων στοιχείων (όπως αποβάθρες, χώροι αποθήκευσης κ.λπ.) με τη βοήθεια πληροφοριών. Τα δεδομένα που συλλέγονται αναλύονται από τον διακομιστή cloudIoT της IBM, ώστε να μετατραπούν σε δεδομένα υποστήριξης αποφάσεων για τη μείωση του χρόνου αναμονής των πλοίων, τη βελτιστοποίηση του ελλιμενισμού και του χειρισμού φορτίου. Όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με την ταχύτητα του ανέμου σε πραγματικό χρόνο, τη σχετική υγρασία, τη στάθμη της θάλασσας, τον ρυθμό ροής και την παλίρροια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της ορατότητας στην περιοχή του λιμανιού μια δεδομένη ημέρα, ενώ ταυτόχρονα υπολογίζεται το ύψος

κεφαλής των σκαφών. Υπό ευνοϊκές συνθήκες θαλασσινού νερού και καιρού, ο ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου των πλοίων μπορεί γενικά να μειωθεί, ενώ το ωφέλιμο φορτίο κάθε σκάφους μπορεί να βελτιωθεί, διασφαλίζοντας έτσι την ασφαλή άφιξη των εμπορευμάτων. Τα δεδομένα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο μπορούν να τεθούν υπό επεξεργασία με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης (AI) και εξόρυξης δεδομένων, πριν από την πρόβλεψη των υδρολογικών και ανεμολογικών συνθηκών για να καθοριστεί εάν τα σκάφη εισέρχονται ομαλά. Επιπλέον, η αρχή του Ρότερνταμ παρουσίασε την 1η έκδοση του προγράμματος εφαρμογής DT, η οποία συνδυάζει δημόσια δεδομένα με δεδομένα που ανακτώνται απευθείας από τις συμμετέχουσες εταιρείες και προβλέψεις από εφαρμογές AI (Abagloetal., 2017) για τη δημιουργία ακριβών πληροφοριών διαχείρισης. Οι εφαρμογές διαχείρισης που βασίζονται σε DT επιτρέπουν στους χρήστες να επεξεργάζονται ένα βέλτιστο σχέδιο, να το εκτελούν και να παρακολουθούν τις δραστηριότητες του port καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του λιμένα.



Σχ. 6. Τρισδιάστατο μοντέλο DT βασισμένο σε BIM του λιμένα του Ρότερνταμ.

4.6. Διαχείριση με Βάση DT σε Λιμάνια της Κίνας

Το σύστημα που βασίζεται σε DT έχει τη δυνατότητα να συλλέγει μαζικά δεδομένα ολόκληρης της διαδικασίας του αυτοματοποιημένου τερματικού εμπορευματοκιβωτίων πριν από τη δημιουργία μιας μεγάλης βάσης γνώσης δεδομένων για έξυπνη λήψη αποφάσεων. Τα μοντέλα που βασίζονται σε DT μπορούν να ολοκληρώσουν τη συλλογή δεδομένων μετά την εκφόρτωση των εμπορευματοκιβωτίων, αλλά και να διευκολύνουν τη σύνοψη και την εμφάνιση δεικτών που σχετίζονται με τα κοντέινερ. Η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT

δημιουργεί προφίλ για κάθε κοντέινερ που εισέρχεται και εξέρχεται στο έξυπνο λιμάνι, αυτή η πλατφόρμα υλοποιείται σύμφωνα με το σενάριο All Element Scene (AES). Το AES είναι ένα είδος διαδραστικής τρισδιάστατης σκηνής προσομοίωσης που δημιουργείται από υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο με βάση πραγματικές γεωγραφικές πληροφορίες και διάφορα στοιχεία του φυσικού κόσμου (Liu et al., 2013). Μόλις εφαρμοστεί στην κατασκευή μοντέλων που βασίζονται σε DT, το AES είναι σε θέση να διευκολύνει την απρόσκοπτη κλιμάκωση, έτσι ώστε να επιτευχθεί πλήρως ψηφιακή αποκατάσταση. Το AES παρέχει πλήρη υποστήριξη τόσο για μείωση σε επίπεδο cm όσο και για ανάλυση 4K, με υψηλή ακρίβεια. Μπορεί να πραγματοποιήσει τη δυναμική προσομοίωση εμπορευματοκιβωτίων, οχημάτων, προσωπικού λειτουργίας κ.λπ. Συγχρονίζει επίσης τα μετεωρολογικά δεδομένα του πραγματικού κόσμου, την τροχιά των οχημάτων εμπορευματοκιβωτίων και τον μηχανισμό των γερανών (Kumar et al., 2020; Szpytko and Duarte, 2019). Η τρισδιάστατη σκηνή σε μοντέλα έξυπνου λιμένα που βασίζονται σε DT φορτώνεται στη μονάδα επεξεργασίας γραφικών (graphics processing unit, GPU) του διακομιστή cloud, ο οποίος πραγματοποιεί προσομοίωση διαχείρισης κύκλου ζωής από φορτίο έως αποθήκευση, από φόρτωση και εκφόρτωση, αποθήκευση και αναχώρηση.



Container terminal operations are simulated by DT-based models

DT-driven management for container terminal in Mawan Port of China



Container storage is monitored by DT-driven management platform

Σχ. 7. Μοντέλα DT που βασίζονται στο AES για διαχείριση σε πραγματικό χρόνο του λιμένα Mawan, Κίνα.

Το Σχ. 7 δείχνει μοντέλα που βασίζονται σε DT και πλατφόρμα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο για το λιμάνι Mawan στην Κίνα. Η περιοχή αυτού του έξυπνου λιμανιού που καλύπτει σχεδόν 1 εκατομμύριο τετραγωνικά μέτρα κλωνοποιείται μέσω της πλατφόρμας DT της σκηνής AES, με την πραγματική μορφή του εδάφους και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά του να έχουν αποθηκευτεί με ακρίβεια. Εν τω μεταξύ, μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (unmanned aerial vehicle, UAV) με αισθητήρες, χρησιμοποιούνται για τη δυναμική δημιουργία και συγχρονισμό των μοντέλων των εμπορευματοκιβωτίων που βασίζονται σε DT, δημιουργώντας τελικά ένα DT 1:1 για περισσότερα από 100.000 εμπορευματοκιβώτια στο τερματικό του λιμένα Mawan. Η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT παρέχει μια πλήρη διεπαφή η οποία περιλαμβάνει ένα σύνολο διεπαφών προγραμματισμού που έχουν αναπτυχθεί σε JavaScript για να

μεσολαβούν μεταξύ ιστοσελίδων και διακομιστή απόδοσης cloud. Χρησιμοποιείται για την κλήση της σκηνής δράσης του διακομιστή απόδοσης νέφους σε εφαρμογή Ιστού, για την ολοκλήρωση της αλληλεπίδρασης 3D σκηνής βάσει DT και τη διεξαγωγή αμφίδρομης αλληλεπίδρασης. Η διεπαφή API έχει πρόσβαση σε διάφορα είδη πληροφοριών πλαισίου (δεδομένα χαρακτηριστικών όπως κάτοχος κουτιού, τύπος κουτιού, μέγεθος κουτιού, αριθμός κουτιού και άλλα, καθώς και τοποθεσία κουτιού κ.λπ.). Η λιμενική αρχή του Mawan εισάγει τα χαρακτηριστικά και τα δεδομένα τοποθεσίας σύμφωνα με τις δέουσες απαιτήσεις, μετά από τα οποία μπορεί να δημιουργήσει το κοντέινερ που ταιριάζει με αυτά τα χαρακτηριστικά σε καθορισμένη τοποθεσία στην πλατφόρμα που βασίζεται στο DT. Η πλατφόρμα μπορεί επίσης να αποδώσει τις πληροφορίες σχετικά με το λογότυπο του κοντέινερ, το χρώμα και τους ιδιοκτήτες κοντέινερ και να εκτυπώσει τον αριθμό του κοντέινερ, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη αναγνωσιμότητα των πληροφοριών. Κάνοντας απευθείας κλικ από σκηνή που βασίζεται σε DT, το προσωπικό διαχείρισης του λιμένα Mawan είναι σε θέση να κατανοήσει όλες τις κοινώς χρησιμοποιούμενες πληροφορίες των εμπορευματοκιβωτίων, ενώ απαλλάσσεται από την κουραστική δουλειά της συμβουλευτικής σε διάφορες φόρμες και της αναζήτησης από το σύστημα. Τα μοντέλα που βασίζονται σε DT δίνουν σε κάθε κοντέινερ του λιμένα Mawan τη δική του ταυτότητα. Σε συνδυασμό με IoT και χωροχρονικά δεδομένα, τα μοντέλα που βασίζονται σε DT γενικά ακολουθούν φυσικά χαρακτηριστικά και λειτουργικούς κανόνες, παρέχουν χωροχρονική στάση και κατάσταση κίνησης σε πραγματικό χρόνο για τα συνδεδεμένα στοιχεία (ρυμουλκούμενα, γέφυρες αποβάθρας, γέφυρες πύργων, πλοία κ.λπ.) και πραγματοποιούν αποκατάσταση ακριβείας. Η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT παρέχει τυποποιημένες διεπαφές API για την κίνηση του μηχανολογικού εξοπλισμού της γέφυρας προκυμαίας, της γέφυρας πεδίου και του τρέιλερ, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας ρύθμισης διαφορετικών παραμέτρων κίνησης, σε μια προσπάθεια να πραγματοποιηθεί αμφίδρομος συγχρονισμός επικοινωνίας μεταξύ πραγματικού εξοπλισμού και μοντέλων. Όπως φαίνεται στο Σχ. 7, κάθε γέφυρα κρηπιδώματος στην πλατφόρμα που κινείται με DT μπορεί να επιλεγεί κάνοντας μερικά κλικ. Τα μοντέλα εξοπλισμού περιλαμβάνουν ρυθμίσεις παραμέτρων όπως θέση καροτσιού, θέση τρόλεϊ και μεγάλη γωνία βραχίονα. Λόγω των συνεχών εισερχόμενων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ο εξοπλισμός του άξονα αποβάθρας στο βασισμένο σε DT μοντέλο, μπορεί να ανταποκριθεί στη λειτουργική διαδικασία σε

πραγματικό χρόνο και να πραγματοποιήσει την αποκατάσταση της πραγματικής δυναμικής κίνησης. Η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT υποστηρίζει επίσης την εισαγωγή προγνωστικών δεδομένων για την εκτέλεση οπτικών προσομοιώσεων της επιχειρησιακής διαδικασίας κίνησης εμπορευματοκιβωτίων για την αξιολόγηση της σκοπιμότητας του σχεδίου διαχείρισης του λιμένα Mawan. Για παράδειγμα, η προσομοίωση πολλαπλής προβολής της λειτουργίας του τρέιλερ μεταφοράς κοντέινερ στο τερματικό λειτουργεί ως βασικός σύνδεσμος για την ενίσχυση της απόδοσης ροής του κοντέινερ. Σε μοντέλα που βασίζονται σε τρέιλερ DT (SzpytkoandDuarte, 2020), η προγραμματισμένη διαδρομή βάσει οδηγιών και η πραγματική διαδρομή λειτουργίας που εκτελεί το τρέιλερ μπορούν να προβληθούν από διαφορετικές προοπτικές, έτσι ώστε να βοηθηθεί το προσωπικό να ελέγξει εάν υπάρχει απόκλιση και να δώσει έγκαιρη προειδοποίηση στα τρέιλερ που κινούνται κατά παράβαση των σχετικών κανόνων. Κατά την αφαίρεση και την πρόβλεψη του σχεδίου αποθήκης εμπορευματοκιβωτίων, η πλατφόρμα DT διαιρεί εύλογα την περιοχή σύμφωνα με τις τρέχουσες και μελλοντικές πληροφορίες εμπορευματοκιβωτίων, αποδίδοντας έτσι μια κατάλληλη θέση για κάθε εμπορευματοκιβώτιο για τη βελτίωση του ποσοστού χρήσης της χερσαίας επιφάνειας αποθήκευσης. Τα μοντέλα που βασίζονται σε DT προσφέρουν στο λιμάνι Mawan μια εξαιρετικά υψηλή πρακτική αξία για τη λειτουργία από το προσωπικό καθώς μπορεί να ελέγξει τη συνολική κατάστασή του, οι χειριστές μπορούν να παρατηρήσουν το αποτέλεσμα εκτέλεσης κάποιας διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο και να δώσουν έγκαιρα σχόλια, ενώ οι χειριστές εμπορευματοκιβωτίων μπορούν να ελέγξουν γρήγορα το απόθεμα με ένα κλικ. Επιπλέον, το διοικητικό προσωπικό παρακολουθεί την κατάσταση του τερματικού εμπορευματοκιβωτίων σε πραγματικό χρόνο μέσω της πλατφόρμας DT για να διασφαλίσει την ασφαλή αποθήκευση των εμπορευματοκιβωτίων. Στο μέλλον, ένας μεγάλος αριθμός διεπαφών API θα χρησιμοποιηθεί για τη διευκόλυνση των χειριστών του λιμένα Mawan για την εισαγωγή περισσότερων τύπων επιχειρηματικών δεδομένων και τη βελτίωση της επεκτασιμότητας των μοντέλων και της πλατφόρμας που βασίζονται σε DT μέσω μεγάλων δεδομένων και AI.

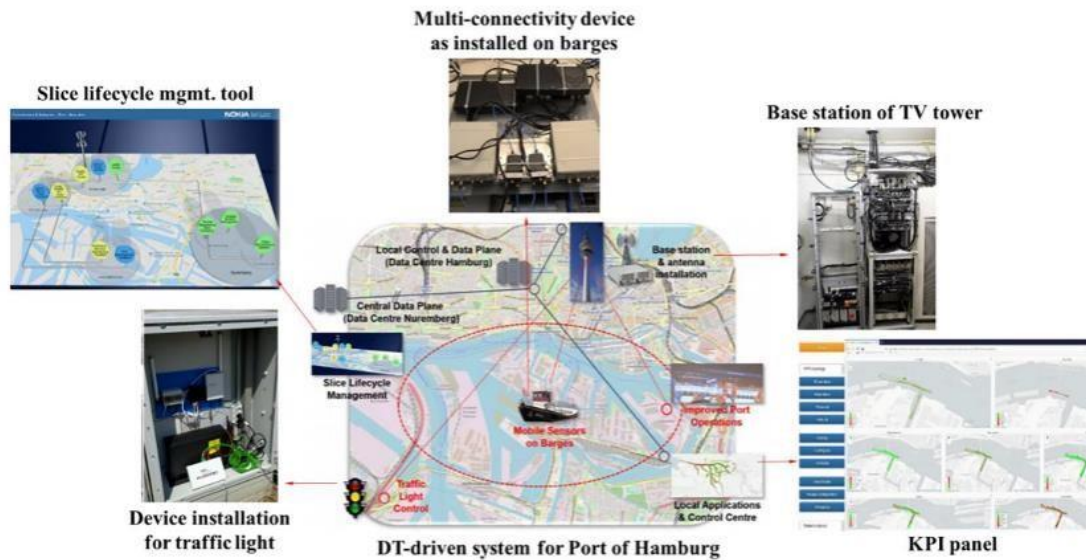
4.7.Επικοινωνία και Κοινοχρησία Δεδομένων Βάσει DT

4.7.1. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι του Αμβούργου

Η τεχνολογία DT υλοποιεί την επικοινωνία και την κοινή χρήση δομένων πιο επιλεκτικά. Η ενσωμάτωση του μοντέλου με βάση το DT με την πλατφόρμα του, διασφαλίζει ότι το προσωπικό στην αλυσίδα μεταφορών του έξυπνου λιμένα είναι σωστά ενημερωμένο. Η ανταλλαγή πληροφοριών και η διασύνδεση επηρεάζουν τον στόχο να γίνει πιο έξυπνη η διαχείριση της θύρας. Η λιμενική αρχή παρέχει ένα εξαιρετικό παράδειγμα αποτελεσματικής και βιώσιμης εφαρμογής νέων λύσεων ανταλλαγής πληροφοριών (Darkoetal., 2020) και αποτελεί ένα κέντρο λύσεων για διάφορα ερωτήματα, θαλάσσια μεταφορά και ακτοπλοΐα, ασφάλεια, σιδηροδρομικές, λιμενικές εγκαταστάσεις, διαχείριση ακινήτων και οικονομικές συνθήκες στην περιοχή. Προκειμένου να βελτιωθεί η ταχύτητα και η αποτελεσματικότητα της συσχέτισης μεταξύ μοντέλων που βασίζονται σε DT και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία 5ης γενιάς κινητής επικοινωνίας (5G) στα μοντέλα που βασίζονται σε DT, όπως για παράδειγμα συμβαίνει με τη λιμενική αρχή του Αμβούργου η οποία έχει ενσωματώσει επιτυχώς την τεχνολογία αυτή. Η αρχιτεκτονική δικτύου κινητής τηλεφωνίας με τη βοήθεια 5G δοκιμάζεται σε μοντέλα που βασίζονται σε DT του λιμένα του Αμβούργου, τα οποία έχουν αναπτύξει τρία μέρη για την αντιμετώπιση διαφορετικών απαιτήσεων εντός της περιοχής λιμένα, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.

- ΜΕΡΟΣ I: Μια εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (Karkaevaetal., 2021) που έχει σχεδιαστεί για τη σύνδεση ενός συστήματος φωτεινών σηματοδοτών με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας σκαφών του Λιμένα του Αμβούργου, σε μια προσπάθεια βελτίωσης της ροής κυκλοφορίας εντός της περιοχής του λιμένα.
- ΜΕΡΟΣ II: Μια βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση για κινητά (Guptaetal., 2021) που εξυπηρετεί τη διαδραστική λειτουργία επαυξημένης πραγματικότητας (Augmentedreality, AR) για ομάδες μηχανικών για τη βελτίωση ορισμένων λειτουργιών τερματικών του λιμένα του Αμβούργου (π.χ. συντήρηση περιουσιακών στοιχείων, διαχείριση).
- ΜΕΡΟΣ III: Μια μαζική επικοινωνία μηχανών (Mancusoetal., 2019) που αναπτύχθηκε για τη σύνδεση περιβαλλοντικών αισθητήρων που είναι

εγκατεστημένοι σε κινητές φορηγίδες στο σύννεφο εφαρμογών της λιμενικής αρχής του Αμβούργου για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας στην περιοχή του λιμένα.



Σχ. 8. Σχηματική ρύθμιση και χρήση δοκιμής με βάση το σύστημα DT για το λιμάνι του Αμβούργου.

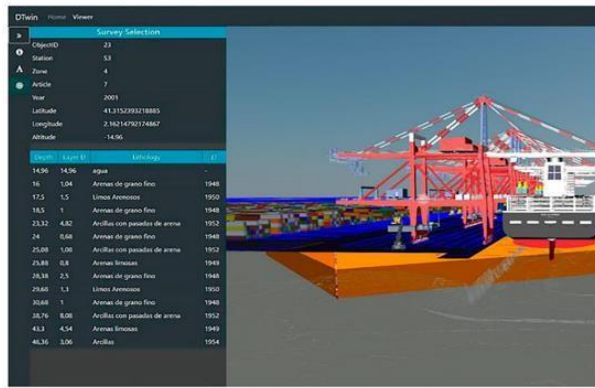
Το λιμάνι του Αμβούργου ενσωματώνει πολλά ανεξάρτητα μοντέλα που βασίζονται σε DT με σύστημα 5G για να σχηματίσει μια διασυνδεδεμένη πλατφόρμα διαθέσιμη σε ολόκληρη την περιοχή. Η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT συγκεντρώνει δεδομένα από διαφορετικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, φορητών συσκευών και βάσεων δεδομένων. Αυτή η ψηφιακή πλατφόρμα βοηθά τη λιμενική αρχή του Αμβούργου και τους συνεργάτες της να βελτιώσουν τις Λιμενικές Μεταφορές και Λειτουργία (Port Transportation and Operation, PTO), ενώ συλλέγει πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο για να ελαχιστοποιήσει τα σημεία συμφόρησης κυκλοφορίας στις πύλες αποθήκης και τερματικού σταθμού. Χάρη στο δίκτυο 5G, η πλατφόρμα που βασίζεται στο DT έχει δυνατότητες γεωτροπισμού για τον εντοπισμό των εισερχόμενων φορηγών, διευκολύνοντας το λιμάνι να προγραμματίζει την κυκλοφορία φορηγών εμπορευματοκιβωτίων πιο αποτελεσματικά. Με το δίκτυο 5G ενσωματωμένο σε μοντέλα που βασίζονται σε DT, το λιμάνι του Αμβούργου διατηρεί έξυπνο έλεγχο σε κάθε κινούμενο αντικείμενο. Αυτό σημαίνει αναβάθμιση των υπηρεσιών με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης του ελέγχου των φωτεινών σηματοδοτών για καλύτερη ροή κυκλοφορίας και της ενσωμάτωσης

κινητών αισθητήρων σε φορητές που συνδέονται μέσω δικτύου 5G (Oneletal., 2019). Με μεγαλύτερο εύρος ζώνης, μπορούν να υλοποιηθούν εικόνες AR και εικονικής πραγματικότητας (virtual reality, VR), γωνιακού εύρους 360° του λιμανιού του Αμβούργου, οι οποίες μπορούν να παρακολουθούνται όλες μέσω του συστήματος DT.

4.7.2. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι της Βαρκελώνης

Ως το μεγαλύτερο έξυπνο λιμάνι της Ισπανίας, το λιμάνι της Βαρκελώνης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια μεταφορά εμπορευμάτων και logistics, διαχειριζόμενο 63 εκατομμύρια τόνους φορτίου κάθε χρόνο. Χάρη στα δεδομένα που συλλέγονται με χρήση της αρχιτεκτονικής δικτύου 5G¹³, η κατασκευή μοντέλων που βασίζονται στο DT έχει συμβάλει σημαντικά στην επιτυχή διαχείριση. Στο πρώτο στάδιο, έχοντας συγκεντρωθεί όλες οι πληροφορίες σχετικά με το λιμάνι της Βαρκελώνης και τα μοντέλα που βασίζονται στο DT, οι διαχειριστές λιμένα μπορούν να αναπαράγουν την κατάσταση των ΡΤΟ ανά πάσα στιγμή σε έναν χάρτη δύο διαστάσεων (2D). Για την προώθηση της διαχείρισης και της λήψης αποφάσεων στο λιμάνι της Βαρκελώνης, η λιμενική αρχή βελτιστοποιεί περαιτέρω τα αριθμητικά της μοντέλα που βασίζονται στην τεχνολογία DT, με μεγάλη πρόκληση και σκοπό τη βελτίωση της αναπαράστασης των λιμενικών δραστηριοτήτων, τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τα μοντέλα και τη διαχείριση του λιμανιού της Βαρκελώνης πιο έξυπνα. Όπως φαίνεται στο Σχ. 9, το λιμάνι της Βαρκελώνης συνεχίζει να εκμεταλλεύεται την ταχεία ανάπτυξη του DT για να ολοκληρώσει τη διαδικασία βελτιστοποίησης της περιοχής έξυπνων λιμένων.

¹³ Nokia drives key European research project 5G-MoNArch to bring 5G mobile network architecture from concept to real world, <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2017/08/22/nokia-driveskey-european-research-project-5g-monarch-to-bring-5g-mobile-network-architecture-from-concept-to-real-world/>



Implementation of DT-driven management for data communication and sharing in Port of Barcelona, Spain

Σχ. 9. Επικοινωνία και κοινοχρησία δεδομένων βάσει DT για τη διαχείριση του λιμένα της Βαρκελώνης στη ζώνη της πόλης.

Στην αρχική φάση, η λιμενική αρχή της Βαρκελώνης χρησιμοποιεί γεωγραφικά γραφικά και τεχνολογία απόκτησης βίντεο υψηλής ευκρίνειας (VanderBergetal., 2012) για να παρουσιάσει μια τρισδιάστατη αναπαράσταση της περιοχής του λιμανιού της Βαρκελώνης σε ψηφιακή μορφή. Στην περιοχή λειτουργίας έχουν προστεθεί αισθητήρες οι οποίοι συνδέονται με προηγμένες επικοινωνίες 5G και Wi-Fi, με αυτόν τον τρόπο οι επικοινωνίες πραγματικού χρόνου βελτιώθηκαν σημαντικά. Οι πρόσθετοι αισθητήρες σημαίνουν περισσότερα δεδομένα για PTO, ωστόσο το μεγάλο πλήθος δεδομένων περιορίζει την ικανότητα της λιμενικής αρχής να έχει μια έγκαιρη επεξεργασία αυτών των πληροφοριών ώστε να χρησιμοποιηθούν από ένα ευφυές σύστημα για εξαγωγή αποφάσεων. Τα περισσότερα συστήματα AI που βασίζονται σε δεδομένα υλοποιούνται μέσω καινοτομιών σε εφαρμογές αισθητήρων που μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλους όγκους επιχειρηματικών δεδομένων υπερβαίνοντας την απλή ανίχνευση PTO και τις δυνατότητες δυαδικής λειτουργίας. Για το λόγο αυτό, η λιμενική αρχή της Βαρκελώνης υιοθετεί την πλατφόρμα AI TensorFlow, που επιτρέπει στους αισθητήρες να κάνουν ερμηνεία με έγκυρα δεδομένα και να λαμβάνουν αποφάσεις αυτόματα (Goeletal., 2020). Στη συνέχεια, με βάση την ανάλυση εικόνας και βίντεο, η πλατφόρμα AI TensorFlow λειτουργεί σαν ένας ισχυρός ανιχνευτής που μπορεί να πραγματοποιήσει μέτρηση, να ανιχνεύσει αλλαγές, να στείλει μηνύματα και να ειδοποιήσει, να μετρήσει τον διαθέσιμο χώρο, με τις λειτουργίες αυτές, οι φορείς εκμετάλλευσης λιμένων είναι σε θέση να βελτιώσουν τη ροή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στην πραγματικότητα, ο πρωταρχικός στόχος της δημιουργίας τεχνικής

καινοτομίας από το μοντέλο DT του λιμένα της Βαρκελώνης είναι η αναπαράσταση επίκαιρων δεδομένων εντός πλαισίου του λιμένα. Η διαφάνεια των PTOs για τους τελικούς χρήστες βελτιώνεται παρέχοντας πληροφορίες σχετικές με τις επιχειρήσεις σε πραγματικό χρόνο, εφαρμόζοντας έτσι την πλήρη πρόβλεψη της διαδικασίας φόρτωσης και εκφόρτωσης πλοίων, καθώς και την παράδοση και παραλαβή εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι της Βαρκελώνης. Τα μοντέλα που βασίζονται σε DT και η οπτική διεπαφή παρέχουν λεπτομερή δεδομένα για όλη την εισερχόμενη και εξερχόμενη κίνηση. Σε συνδυασμό με δεδομένα από το τελωνείο, επιτρέπουν ακριβείς προβλέψεις 24 έως 48 ωρών για την κίνηση του λιμένα της Βαρκελώνης, βελτιώνοντας τη διαχείριση των τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων για την αύξηση του όγκου του. Επιπλέον, συνεισφέρει στο έργο των διαχειριστών του λιμανιού της Βαρκελώνης να λαμβάνουν αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο και να εγγυώνται την ασφάλεια των επισκεπτών και των εργαζομένων. Εν τω μεταξύ, η βελτιστοποιημένη διαχείριση βάσει DT συμβάλλει στη βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας των έξυπνων PTO.

4.8.Οπτικοποίηση βάσει DT και Πρόβλεψη Κινδύνου

Η βελτιστοποίηση πρόβλεψης είναι μία από τις χαρακτηριστικές εφαρμογές της διαχείρισης μέσω DT στον έξυπνο λιμένα. Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο που βασίζεται σε DT, είναι δυνατή η εκ των προτέρων πρόβλεψη βλαβών και η μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας της διαδικασίας PTO. Είναι χρήσιμο για τη διαχείριση του εξοπλισμού της περιοχής, την παρακολούθηση Γερονοφόρων οχημάτων, την εκτέλεση προγνωστικών προσομοιώσεων και την περαιτέρω βελτιστοποίηση της διαχείρισης στα λιμάνια. Τα μοντέλα που βασίζονται σε DT χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της υπολειπόμενης ωφέλιμης ζωής του εξοπλισμού και του προσδιορισμού του κατάλληλου χρόνου για τη συντήρηση ή την αντικατάστασή του. Οι μεταβλητές όπως οι καιρικές συνθήκες, η κατάσταση των πλοίων, το μέγεθος των εμπορευματοκιβωτίων ή οι παράγοντες απόδοσης χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιήσουν εκατοντάδες προγνωστικά μοντέλα κυκλοφορίας, προκειμένου να αξιολογηθεί η ετοιμότητα και οι απαραίτητες προσαρμογές στα τρέχοντα καθορισμένα σημεία διαχείρισης λιμένα. Αυτή η εφαρμογή DT οδηγεί το προσωπικό του λιμανιού στη βελτιστοποίηση των λειτουργιών του, με στόχο τον μετριασμό του κινδύνου, την απόκτηση αποτελεσματικότητας του συστήματος, τη μείωση του κόστους και τη διασφάλιση της

ασφάλειας, ενώ η υιοθέτηση του DT επιτρέπει στους εργαζόμενους να λειτουργούν στη διασταύρωση του κυβερνοχώρου και του φυσικού κόσμου (Telukdarieetal., 2018). Σε αντίθεση με τα φορτία που μεταφέρονται σε τυπικά εμπορευματοκιβώτια, ο τύπος φορτίου στο έξυπνο λιμάνι, χαρακτηρίζεται από ακανόνιστες και μη τυποποιημένες γεωμετρικές όπως σωλήνες, γερανοί, εξαρτήματα για βιομηχανικά μηχανήματα και άλλα. Αυτό οδηγεί σε αναποτελεσματικότητα και προβλήματα αξιολόγησης, κατά τη διαχείριση φορτίων στην αποβάθρα και στις φάσεις φόρτωσης/εκφόρτωσης σε πλοία. Οι μηχανικοί που είναι επιφορτισμένοι με τον αυτοματισμό και τις λειτουργίες τερματικού εστιάζουν σε τρία μέρη των μοντέλων που βασίζονται σε DT. Στο πρώτο μέρος συμπεριλαμβάνεται η πρόβλεψη με ένα στατικό μοντέλο που βασίζεται σε υπάρχοντα δεδομένα, το δεύτερο μέρος δημιουργεί ένα δυναμικό μοντέλο χρησιμοποιώντας πρόγραμμα που βασίζεται σε DT και υποστηρίζει χειροκίνητα ΡΤΟ και το τελευταίο μέρος είναι η δημιουργία αυτοματοποιημένων αλγορίθμων σε μοντέλα που βασίζονται σε DT. Παρέχοντας ασύρματο έλεγχο στις υπάρχουσες τεχνολογίες, η καθυστέρηση επικοινωνίας αυξάνεται σημαντικά σε σύγκριση με το τυπικό Ethernet (Shirowzhanetal., 2020).

4.8.1. Εφαρμογή DT στο Λιμένα του Λιβόρνο

Το λιμάνι του Λιβόρνο χρησιμεύει ως πειραματική περιοχή που καλύπτεται από ένα δίκτυο 5G, όπως φαίνεται στο Σχ. 10. Μέσω της συνδεσιμότητας 5G, η λιμενική αρχή του Λιβόρνο επιτρέπει λήψη μαζικών δεδομένων από έξυπνους αισθητήρες, τρισδιάστατη ανίχνευση και εμβέλεια φωτός (lightdetectionandranging, LiDAR) και κάμερες ευρείας δυναμικής περιοχής (widedynamicrange, WDR) (Jazdi et al., 2021) στην επιχειρησιακή περιοχή. Σύμφωνα με μετρήσεις, με ένα ιδανικό Wi-Fi, παρατηρείται μείωση 0,05% σε σχέση με την περίπτωση Ethernet αναφοράς (Martinoet al., 2020). Αυτή η διαφορά είναι υψηλότερη για περιπτώσεις μη βελτιστοποιημένου Wi-Fi και ιδιωτικής μακροπρόθεσμης εξέλιξης (LTE) 4G (0,31% και 0,38%, αντίστοιχα). Στην περίπτωση 5G, τα συνολικά δεδομένα φαίνεται να είναι συγκρίσιμα με την περίπτωση αναφοράς Ethernet (0,01%), τα οποία είναι πολύ καλύτερα από ό,τι είχε προβλεφθεί για άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Τα δεδομένα που καταγράφονται μέσω 5G τροφοδοτούν το σύστημα DT, το οποίο επεξεργάζεται ένα εικονικό αντίγραφο της περιοχής του λιμένα του Λιβόρνο σε πραγματικό χρόνο.



Σχ. 10. Οπτικοποίηση και κύρια στοιχεία διαχείρισης με βάση το DT στο λιμάνι του Λιβόρνο.

Η μοντελοποίηση με βάση το DT διεξάγεται για τους εξωτερικούς χώρους του λιμανιού του Λιβόρνο όπου αποθηκεύονται τα γενικά φορτία. Όπως φαίνεται στο Σχ. 10, υπάρχει μια δορυφορική άποψη της πραγματικής περιοχής του λιμένα του Λιβόρνο που έχει κατασκευαστεί από μοντέλα που βασίζονται σε DT. Εν τω μεταξύ, ένα άλλο βασικό στοιχείο για τα μοντέλα που βασίζονται σε DT είναι η μοντελοποίηση φορτίου όπως π.χ. σε εμπορευματοκιβώτια. Μπορεί να φανεί το λιμάνι του Λιβόρνο όπου τα αποθηκευμένα εμπορεύματα παρακολουθούνται από ένα σύνολο καμερών WDR. Αυτές οι συσκευές χειρίζονται φωτεινές και σκοτεινές συνθήκες ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την αποτύπωση της κατάστασης λειτουργίας στον εξωτερικό χώρο του λιμένα του Λιβόρνο, όπου η ένταση και η κατεύθυνση του φωτός αλλάζουν συνεχώς λόγω των καιρικών συνθηκών και της ώρας της ημέρας. Οι κάμερες WDR διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις εργασίες εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης, οι οποίες μοντελοποιούνται και στο εικονικό σενάριο DT. Ο ακριβής εντοπισμός των προϊόντων είναι θεμελιώδης για τη βελτιστοποίηση του χώρου αποθήκευσης και για τη γρήγορη ανάκτηση των κατάλληλων αντικειμένων την κατάλληλη στιγμή για αποτελεσματική φόρτωση των σκαφών. Οι κάμερες WDR που μεταδίδουν βίντεο είναι ενεργοποιημένες μέσω της συνδεσιμότητας 5G για να διαθέτουν μια εφαρμογή λογισμικού υπεύθυνη για την αναγνώριση αντικειμένων και θέσεων. Τα διαθέσιμα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο καταγράφονται από τις κάμερες και τους αισθητήρες WDR του λιμένα του Λιβόρνο από οχήματα που λειτουργούν στην επιχειρησιακή περιοχή. Το σύστημα διαχείρισης για το έργο DT, βασίζεται σε AI και

αναπτύχθηκε από την Ericsson, καθορίζει τη σειρά των εργασιών και των δραστηριοτήτων logistics που συσχετίζονται με μια ροή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο. Τα καθήκοντα συνίστανται στη μετακίνηση, την ανίχνευση και τον εντοπισμό περονοφόρων ανυψωτικών οχημάτων και φορτίων, καθώς και απογραφές εμπορευμάτων, παραγγελίες φόρτωσης και εκφόρτωσης πλοίων. Τα καθήκοντα περιλαμβάνουν επίσης τον εντοπισμό συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, όπως η χρήση γερανών και η μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων στο λιμάνι του Λιβόρνο, όπως αυτά με επισήμανση υψηλού κινδύνου. Η λεπτομερής προβολή όλων των γεγονότων βάσει DT επιτρέπει στο σύστημα AI να παρέχει σχόλια σχετικά με τις διαδικασίες και να μοιράζεται ζωντανές ενημερώσεις με τους επόπτες. Η λιμενική αρχή του Λιβόρνο αναπτύσσει μια πλατφόρμα διαχείρισης, η οποία παρέχει κατ' απαίτηση αναγνώριση οχημάτων στην επιχειρησιακή περιοχή για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Επίσης έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα εντοπισμού θέσης βασισμένο σε τεχνολογία στερεοσκοπικής όρασης, που εγγυάται μια εκτίμηση βαθμολόγησης με υψηλή ακρίβεια όταν τα φορτία είναι μακριά και υπό γωνία με κάμερες WDR. Επιπλέον, η εφαρμογή VR χρησιμοποιείται από χειριστές για εικονική πλοήγηση σε μοντέλα που βασίζονται σε DT (Holfeld et al., 2016). Όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με ψηφιακά αντικείμενα προσδιορίζονται στη βάση δεδομένων, π.χ. ταυτότητα, περιεχόμενο, ιδιότητες, βάρος, κ.λπ., τα δεδομένα αυτά εμφανίζονται σε ένα εικονικό πρόχειρο που μπορεί να επεξεργασθεί σε περιβάλλον VR. Το σύστημα VR αναπτύσσει επίσης τον συγκεκριμένο αλγόριθμο που καθιστά δυνατή την επίτευξη μιας αυτοματοποιημένης και βέλτιστης ταξινόμησης των φορτίων και επιτρέπει τον ποιοτικό έλεγχο επιθεωρώντας τερματικά εικονικά από απομακρυσμένη τοποθεσία. Ο αλγόριθμος είναι πλήρως ενσωματωμένος με εφαρμογές VR, έτσι ώστε το αποτέλεσμα της βέλτιστης ταξινόμησης να είναι ορατό σε πλατφόρμα που βασίζεται σε DT πριν εκτελεστεί στο πεδίο. Πρόκειται για έναν πολύ ρεαλιστικό τρόπο επίσκεψης στην επιχειρησιακή περιοχή, με το προσωπικό όμως να παραμένει στην αίθουσα ελέγχου, έτσι επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της διαχείρισης για τους χειριστές. Επιπλέον, το DT του λιμένα του Λιβόρνο περιέχει συγκεκριμένες εφαρμογές AR για οδηγούς περονοφόρων ανυψωτικών μηχανημάτων (Wang et al., 2019; Mogensen et al., 2021). Κατά την οδήγηση αυτών των οχημάτων, οι οδηγοί είναι εξοπλισμένοι με ένα ανθεκτικό έξυπνο σετ κατασκευασμένο για προστατευτικές ανάγκες, μέσω του οποίου μπορούν να δουν γραφικές πινακίδες και οδηγίες μεταφοράς εμπορευμάτων που πρέπει

να μετακινηθούν στη συνέχεια. Αυτές οι οδηγίες εμφανίζονται στον χειριστή για την πραγματική περιοχή του λιμένα. Η οπτικοποίηση βάσει DT αποτελεί τεχνολογική εξέλιξη για την ενίσχυση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας, τη διαχείριση μεγάλων δεδομένων, την αποφυγή τυχαίων συμβάντων, την πρόληψη απωλειών και την πρόβλεψη κινδύνου.

Το τερματικό του λιμένα του Λιβόρνο τώρα λειτουργεί ως πειραματική περιοχή που καλύπτεται από ένα δίκτυο δεδομένων 5G, αισθητήρες 3DLIDAR, κάμερες ευρείας δυναμικής εμβέλειας (wide dynamic range, WDR) και ένα πολυεπίπεδο σύστημα ελέγχου. Μέσω της συνδεσιμότητας 5G, έχει γίνει δυνατή η λήψη μαζικών δεδομένων από έξυπνους αισθητήρες, στην περιοχή προς το σύστημα ελέγχου και η παροχή αναλύσεων με πολλές μορφές στο προσωπικό.

Το σύστημα ελέγχου λειτουργίας του λιμένα, είναι βασισμένο σε τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence, AI), σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Ericsson για το συγκεκριμένο έργο. Το σύστημα ελέγχου έχοντας τα δεδομένα διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο, καθορίζει τη σειρά των εργασιών και των δραστηριοτήτων logistics, συσχετίζοντας σε πραγματικό χρόνο μια ροή πληροφοριών που καταγράφεται από έξυπνους αισθητήρες, από κάμερες αλλά και από οχήματα που κινούνται στην περιοχή. Τα καθήκοντα των εργασιών logistics, περιλαμβάνουν τον εντοπισμό φορτίων καθώς και την απογραφή εμπορευμάτων, την αποστολή περονοφόρων ανυψωτικών οχημάτων τη μετακίνηση φορτίων, καθώς και τις παραγγελίες φόρτωσης και εκφόρτωσης πλοίων. Αυτό σημαίνει τον καθορισμό συγκεκριμένων δραστηριοτήτων, όπως η χρήση γερανών και η μετακίνηση ιδιαίτερων φορτίων όπως αυτά με επισήμανση «υψηλού κινδύνου». Η λεπτομερής προβολή όλων των γεγονότων στο λιμένα επιτρέπει στο σύστημα AI να παρέχει επισημάνσεις σχετικά με τις διαδικασίες και να μοιράζεται σε πραγματικό χρόνο ενημερώσεις με τους εφόπτες των λιμένων.

Το σύστημα ελέγχου λειτουργίας είναι συνδεδεμένο με την πλατφόρμα ελέγχου της Λιμενικής Αρχής, η οποία παρέχει κατ' απαίτηση αναγνώριση οποιωνδήποτε διαθέσιμων οχημάτων στην περιοχή του λιμένα για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εργασίας. Επιπλέον, ένα σύστημα εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας που βασίζεται σε τεχνικές πολλαπλής στερεοσκοπικής όρασης εξασφαλίζει ακριβή εκτίμηση θέσης ακόμα και όταν τα φορτία είναι μακριά και οι εικόνες έχουν ληφθεί υπό γωνία λόγω της θέσης των καμερών.

Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω του 5G τροφοδοτούν μια ψηφιακή δίδυμη μηχανή, που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Ericsson, η οποία επεξεργάζεται ένα εικονικό αντίγραφο της περιοχής του λιμένα σε πραγματικό χρόνο.

Το πρώτο στοιχείο που έχει μοντελοποιηθεί είναι ο υπαίθριος χώρος του λιμανιού όπου αποθηκεύονται τα γενικά φορτία εμπορευμάτων. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μια εικόνα του ψηφιακού δίδυμου της περιοχής και, στο ένθετο, μια δορυφορική άποψη της πραγματικής περιοχής μέσα στο τερματικό του λιμανιού. Ένα δεύτερο σημαντικό στοιχείο για την ψηφιακή αναπαράσταση δίδυμων είναι η μοντελοποίηση φορτίου όπως ξύλινα κιβώτια. Αν αυτό μεταφερθεί στο πλαίσιο ενός πραγματικού παραδείγματος, τότε το παρακάτω σχήμα δείχνει ένα σύνολο πλαισίων στο σενάριο ψηφιακού δίδυμου και, στο ένθετο, τα πραγματικά κουτιά που είναι αποθηκευμένα στο dock.

Η περιοχή όπου αποθηκεύονται τα εμπορεύματα παρακολουθείται από ένα σύνολο καμερών και οι κάμερες διαμορφώνονται επίσης στο εικονικό σενάριο ψηφιακού δίδυμου. Ο ρόλος των καμερών είναι ιδιαίτερα σημαντικός στις εργασίες εντοπισμού θέσης και παρακολούθησης. Η λειτουργία του ακριβούς εντοπισμού της θέσης (**localization**) των αγαθών είναι θεμελιώδους σημασίας για τη βελτιστοποίηση του χώρου αποθήκευσης και για τη γρήγορη ανάκτηση του κατάλληλου αντικειμένου την κατάλληλη στιγμή για αποτελεσματική διεκπεραίωση εργασιών, όπως η φόρτωση του πλοίου. Οι κάμερες μέσω συνδεσιμότητας 5G μεταδίδουν βίντεο σε μια εφαρμογή λογισμικού που είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση αντικειμένων και τη θέση τους. Το παρακάτω πραγματικό παράδειγμα στο περιβάλλον του λιμένα, διευκρινίζει την λειτουργία του συστήματος:

- Ένα κιβώτιο φορτίου παραλαμβάνεται από ένα φορητό, το κιβώτιο αναγνωρίζεται και καταχωρείται από το σύστημα ελέγχου σε μια βάση δεδομένων.
- Στη συνέχεια, ένα διαθέσιμο περονοφόρο ανυψωτικό όχημα μεταφέρει το φορτίο στον αποθηκευτικό χώρο. Μόλις η πλησιέστερη κάμερα εντοπίσει το περονοφόρο όχημα που φτάνει στον αποθηκευτικό χώρο, μπορεί να ξεκινήσει η παρακολούθηση του περονοφόρου και του φορτίου.
- Το φορτίο παρακολουθείται από την κάμερα μέχρι τον προορισμό του, όπου αποθηκεύεται προσωρινά.

- Χρησιμοποιώντας τεχνολογία επαυξημένης πραγματικότητας (augmented reality, AR), ο χειριστής του περονοφόρου οχήματος κατευθύνεται στη συνέχεια προς το χώρο αποθήκευσης, όπου θα τοποθετήσει το κιβώτιο φορτίου λαμβάνοντας τις απαραίτητες πληροφορίες από το σύστημα ελέγχου.
- Όταν τοποθετείται το φορτίο, οι κάμερες χρησιμοποιούνται για τον διασταυρούμενο έλεγχο της τελικής θέσης του φορτίου. Στη συνέχεια, η νέα θέση καταχωρείται στη βάση δεδομένων.
- Οποιαδήποτε επόμενη αλλαγή θέσης παρακολουθείται επίσης από τις κάμερες. Όταν το ίδιο κιβώτιο μετακινηθεί ξανά, οι κάμερες αναγνωρίζουν ότι πραγματοποιείται μια ενέργεια στο αντικείμενο και παρακολουθούν την κίνησή του και στη συνέχεια καταχωρείται η νέα θέση.
- Κατά τη φάση φόρτωσης ενός πλοίου, περονοφόρα ανυψωτικά αποστέλλονται στον αποθηκευτικό χώρο για να παραλάβουν τα εμπορεύματα που θα φορτωθούν. Όταν το περονοφόρο ανυψωτικό εισέρχεται στην περιοχή αποθήκευσης, το σύστημα ελέγχου παρέχει πληροφορίες AR στον οδηγό σχετικά με τη θέση του φορτίου που θα επιλέξει. Η λειτουργία παρακολουθείται και ελέγχεται αυτόματα από το σύστημα ελέγχου, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που παρέχονται από τις κάμερες.

Οι κάμερες που χρησιμοποιούνται είναι τύπου WDR, αυτές οι ειδικές συσκευές μπορούν να χειριστούν φωτεινές και σκοτεινές συνθήκες ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την τέλεια λειτουργία ακόμα και σε εξωτερικούς χώρους όπου η ένταση και η κατεύθυνση του φωτός αλλάζουν συνεχώς λόγω των καιρικών συνθηκών και της ώρας της ημέρας.

Η κλωνοποίηση της περιοχής του λιμανιού και των γενικών εμπορευματικών μεταφορών στο ψηφιακό δίδυμο καθιστά δυνατή την παροχή στους χειριστές του τερματικού σταθμού με έξυπνες εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας (virtual reality, VR) και AR.

Εικονική Πραγματικότητα και DT

Η εφαρμογή VR, επιτρέπει στους χειριστές να πλοηγούνται εικονικά μέσα στο ψηφιακό δίδυμο μοντέλο και για την εφαρμογή της χρησιμοποιούνται συσκευές κεφαλής γυαλιών Oculus, όπου το δεξί χειριστήριο του Oculus χρησιμοποιείται για να κατευθύνει έναν πράσινο εικονικό δείκτη λέιζερ στο επιθυμητό φορτίο, για παράδειγμα

ένα κιβώτιο τοποθετημένο στον αποθηκευτικό χώρο. Στη συνέχεια όλες οι πληροφορίες που σχετίζονται με αυτό το πλαίσιο προσδιορίζονται στη βάση δεδομένων, όπως αναγνωριστικό, περιεχόμενο, διαστάσεις, βάρος κ.λπ. και αυτά τα δεδομένα εμφανίζονται σε ένα εικονικό πρόχειρο που μπορεί να τύχει επεξεργασίας στο περιβάλλον VR μέσω του αριστερού ελεγκτή. Είναι ένας πολύ ρεαλιστικός τρόπος εικονικής "επίσκεψης" του χώρου αποθήκευσης παραμένοντας στο back-office με σημαντική αύξηση της ασφάλειας για τους χειριστές τερματικών σταθμών. Κατευθύνοντας ένα εικονικό λέιζερ σε έναν πόλο κάμερας στο εικονικό περιβάλλον, είναι δυνατό να προβληθεί στο πρόχειρο τι καταγράφει η κάμερα εκείνη τη στιγμή από την κορυφή του πόλου. Με αυτήν την τεχνική δίνεται στο χειριστή η δυνατότητα να προβεί σε επισκόπηση του χώρου αποθήκευσης απευθείας μέσα στην εφαρμογή VR. Εκτός από το λογισμικό που είναι αφιερωμένο στην εικονική αναπαράσταση της περιοχής, έχει επίσης αναπτυχθεί ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος που καθιστά δυνατή την επίτευξη μιας αυτοματοποιημένης και βέλτιστης ταξινόμησης των φορτίων στην περιοχή και τον έλεγχο ποιότητας με εικονική επιθεώρηση του χώρου αποθήκευσης και συνολικά του λιμένα εικονικά από κάποιον απομακρυσμένο ιστότοπο. Ο αλγόριθμος είναι πλήρως ενσωματωμένος με την εφαρμογή VR, ώστε το αποτέλεσμα της βέλτιστης ταξινόμησης να είναι ορατό στο ψηφιακό δίδυμο πριν εκτελεστεί στο πεδίο.

Επαυξημένη Πραγματικότητα στις Λιμενικές Λειτουργίες

Το σύστημα ελέγχου του λιμένα περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη εφαρμογή AR για τους οδηγούς περονοφόρου, όπου οι χειριστές αυτών των οχημάτων κατά την οδήγησή τους, είναι εξοπλισμένοι με ένα στιβαρό έξυπνο σκεπασμένο κεφάλι AR, κατασκευασμένο για βιομηχανικές ανάγκες όπου τα προστατευτικά κράνη είναι υποχρεωτικά. Μέσω του σκεπασμένου κεφαλιού, οι χειριστές περονοφόρων μπορούν να δουν γραφικές πινακίδες και οδηγίες για το φορτίο που πρέπει να μετακινηθούν στη συνέχεια. Αυτές οι οδηγίες εμφανίζονται πάνω από την εικόνα που βλέπει ο χειριστής για τον πραγματικό κόσμο. Αυτό το βίντεο με το επαυξημένο περιεχόμενο δημιουργείται αξιοποιώντας τη ροή βίντεο που καταγράφεται από τις κάμερες WDR που παρακολουθούν όλα τα αντικείμενα στην περιοχή αποθήκευσης. Η ετερογενής ροή δεδομένων κατασκευάζεται από ένα λογισμικό που εκτελείται σε ένα υπολογιστικό νέφος (cloud) στις εγκαταστάσεις, το οποίο επεξεργάζεται εικόνες, αναγνωρίζει αντικείμενα, καθορίζει οδηγίες για τα

προγράμματα οδήγησης (π.χ. κατεύθυνση) και σε πραγματικό χρόνο παρέχει την εικόνα που προβάλλεται στη συσκευή κεφαλής του χειριστή του περνοφόρου.

Αυτή η συγκεκριμένη εφαρμογή AR είναι ιδιαίτερα απαιτητική όσον αφορά τις ανάγκες συνδεσιμότητας για το δίκτυο 5G, καθώς η ανταλλαγή συνεπών ροών βίντεο απαιτεί αυστηρή απόδοση υψηλής ταχύτητας και χαμηλής καθυστέρησης, έτσι ώστε να συσχετίζονται οι ροές δεδομένων από τις διάφορες πηγές. Αυτή η συσχέτιση πρέπει να είναι αρκετά γρήγορη ώστε να παρέχει στους χειριστές τις ενδείξεις AR σε συγχρονισμό με τον πραγματικό κόσμο.

Αρχιτεκτονική Δικτύου 5G του Λιμένα

Το δίκτυο 5G NR που είναι εγκατεστημένο στην περιοχή του λιμένα βασίζεται στην αρχιτεκτονική 3GPP R15 Option 3.x που βασίζεται στο Ericsson AIR 6488 που λειτουργεί στα 3,7 GHz. Το gNodeB είναι ένα Ericsson Baseband 6630 εγκατεστημένο στην ίδια καμπίνα εξοπλισμού όπου βρίσκεται και η πλατφόρμα cloud.

Το 5G NR για κάλυψη επιπέδου χρήστη υποστηρίζεται από LTE σε αρχιτεκτονική μη αυτόνομη NSA. Αυτή είναι η καλύτερη επιλογή για μια αρχική ανάπτυξη 5G όπου ένας χειριστής έχει ήδη κάλυψη 4G στην περιοχή. Η υποδομή εκτελεί όλες τις περιπτώσεις Λειτουργιών Εικονικού Δικτύου (Virtual Network Functions, VNF) που υποστηρίζουν τον εικονικό πυρήνα για να παρέχει λειτουργίες επιπέδου χρήστη και επιπέδου ελέγχου, σύμφωνα με το πλαίσιο του καταναμημένου υπολογιστικού νέφους.

Οι λειτουργίες στο επίπεδο του χρήστη είναι διασυνδεδεμένες μέσω ενός διακομιστή εφαρμογών με τις υπολογιστικές δυνατότητες της τοπικής υποδομής επεξεργασίας που είναι απαραίτητες για τις περιπτώσεις χρήσης. Η επιλογή ενός τοπικού 5G vEPC που τοποθετείται μαζί με τον ράδιο εξοπλισμό και τη διεπαφή πομποδέκτη 5G σχετίζεται τεχνικά ώστε να διασφαλίζονται απαιτήσεις χαμηλής καθυστέρησης και υψηλής απόδοσης, για το σκοπό αυτό ο τοπικός τερματισμός του επιπέδου χρήστη επιτρέπει στην εφαρμογή να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στις εφαρμογές χρήστη. Επιπλέον, η διεπαφή πομποδέκτη 5G NR έχει σχεδιαστεί για να μειώνει τη συνεισφορά του λανθάνοντος χρόνου πρόσβασης του πομποδέκτη στον συνολικό χρόνο καθυστέρησης από άκρο σε άκρο επικοινωνίας. Τα υψηλά επίπεδα απόδοσης στο τμήμα ραδιοεπικοινωνίας διασφαλίζονται με τη χρήση τμημάτων ευρύτερου φάσματος που είναι αφιερωμένα στην κάλυψη NR σύμφωνα με τα διαθέσιμα κανάλια LTE. Σε μια πιθανή εξέλιξη, η υλοποίηση μέρους ή όλων των λειτουργιών που διέπουν το

επίπεδο ελέγχου δικτύου θα μπορούσε να συγκεντρωθεί στο κεντρικό δίκτυο, αφήνοντας τοπικά μόνο τις λειτουργίες που είναι αφιερωμένες στον χειρισμό του επιπέδου χρήστη.

Η συνεχής και συχνή ανταλλαγή τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων μεταξύ αισθητήρων (συμπεριλαμβανομένων των καμερών), του συστήματος ελέγχου και των εφαρμογών VR/AR θέτει αυστηρές απαιτήσεις στο δίκτυο 5G. Ο στόχος καθυστέρησης από άκρο σε άκρο τίθεται στα 10 χιλιοστά του δευτερολέπτου (milliseconds), επειδή ο προϋπολογισμός χρόνου που επιβάλλεται παρέχει ομαλή ανάδραση σε AR στον οδηγό περονοφόρου στα 50 milliseconds, αλλά ο χρόνος επεξεργασίας λογισμικού AR απορροφά το 80 τοις εκατό αυτού του χρονικού προϋπολογισμού (δηλαδή 40 milliseconds). Οι κάμερες WDR που χρησιμοποιούνται για εντοπισμό θέσης, παρακολούθηση και AR μεταδίδουν μια συνεχή ροή δεδομένων περίπου 10 Mbps σε ζεύξη με το σύστημα ελέγχου. Η κλιμάκωση της διάστασης της περίπτωσης χρήσης σε μια μεγαλύτερη περιοχή θα απαιτούσε πολλές κάμερες με αθροιστικό ρυθμό εκατοντάδων megabit ανά δευτερόλεπτο σε ζεύξη με το σύστημα ελέγχου.

Οφέλη του Ψηφιακού Διδύμου και Άλλων Τεχνολογιών στις Λιμενικές Λειτουργίες

Το συνολικό πιλοτικό λιμενικό σύστημα αναμένεται να αποφέρει σημαντικά οφέλη στο λιμάνι, όπου μεταξύ άλλων περιλαμβάνονται:

- Μείωση της φάσης καταχώρησης από 3 λεπτά σε 2 λεπτά
- Μείωση του μέσου χρόνου εκτέλεσης της μετακίνησης ενός αντικειμένου από το σημείο A στο B με περονοφόρο ανυψωτικό από 8 λεπτά σε 7 λεπτά
- Μείωση του χώρου που καταλαμβάνεται στη φάση αποθήκευσης κατά 10 τοις εκατό, για παράδειγμα από 5000τμ σε 4500τμ
- Μείωση των χρόνων εκφόρτωσης/φόρτωσης ενός πλοίου γενικού φορτίου από κατά μέσο όρο 18 ώρες σε 16 ώρες, που σημαίνει ότι ο σχετικός χρόνος αδράνειας στο αγκυροβόλιο μειώνεται από 36 ώρες σε 34 ώρες

Για το τελευταίο όφελος που αφορά τη φόρτωση πλοίου, η εξοικονόμηση χρόνου μπορεί να μεταφραστεί άμεσα σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τους πλοιοκτήτες. Επιπλέον, περισσότερα πλοία θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν κατά τη διάρκεια του έτους, αυξάνοντας τη χωρητικότητα του λιμανιού χωρίς να χρειάζεται να διευρυνθούν οι υπάρχοντες τερματικοί σταθμοί.

Όλα αυτά τα κέρδη απόδοσης έχουν επίσης ως αποτέλεσμα τη μείωση των μετακινήσεων κατά τη διακίνηση φορτίου. Αυτό μπορεί να βελτιστοποιήσει σημαντικά τη συνολική διαδικασία, μειώνοντας την κατανάλωση καυσίμου καθώς και τις σχετικές εκπομπές CO₂ κατά 8,2%, όπως αναφέρεται στην αναφορά Λιμένας του Μέλλοντος (PortoftheFuture)¹⁴.

Τα λιμάνια είναι πύλες προς τον κόσμο που έχουν μεγάλη σημασία σε ένα διασυνδεδεμένο και παγκοσμιοποιημένο σενάριο χρήσης. Μία από τις κύριες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σήμερα τα λιμάνια είναι πώς μπορούν να εξελιχθούν

ώστε να γίνουν πιο αποτελεσματικά, ανταγωνιστικά και βιώσιμα. Το 5G είναι μια σύγχρονη πλατφόρμα καινοτόμου επικοινωνίας δεδομένων και διαδικτύωσης, η οποία παρουσιάζει αύξηση της λειτουργικής απόδοσης, χαμηλή καθυστέρηση δικτύου, υψηλή χωρητικότητα και μεγαλύτερη ευελιξία,. Η τεχνητή νοημοσύνη, η λειτουργία σε μονάδα ελέγχου, καθώς και η χρήση προηγμένων υπηρεσιών βασισμένων σε AR και VR επιτρέπουν ταχύτερη και καλύτερη διαχείριση του γενικού φορτίου και βελτιστοποιούν τις λειτουργίες εντός του τερματικού σταθμού.

Για τα αποτελέσματα που επιτεύχθηκαν, η Ericsson έλαβε το σημαντικό Βραβείο Βιομηχανικής Ενεργειακής Απόδοσης (IndustrialEnergyEfficiencyAward) κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης HannoverMesseDigitalDays τον Ιούλιο 2020. Η δοκιμή 5G που βρίσκεται σε εξέλιξη στο Λιβόρνο αποτελεί επίσης μέρος του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή έργου H2020 Corealis.¹⁵

4.9. Διαχείριση Βάσει DT για Προστασία του Περιβάλλοντος και Βιωσιμότητα

4.9.1. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι της Βαλένθια

Εκτός από τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια, τα βασικά κριτήρια για την αξιολόγηση της ποιότητας ανάπτυξης ενός έξυπνου λιμανιού παγκόσμιας κλάσης περιλαμβάνουν την περιβαλλοντική του κατάσταση. Είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για να καθοριστεί εάν το έξυπνο λιμάνι επιτυγχάνει μια καλή ισορροπία μεταξύ των οικονομικών συμφερόντων και της βιώσιμης ανάπτυξης στο μέλλον. Το κλειδί της διαχείρισης που βασίζεται σε DT για την προστασία του περιβάλλοντος

¹⁴ <https://www.ericsson.com/en/cases/2019/increasing-the-efficiency-of-port-operations>

¹⁵ <https://cordis.europa.eu/project/id/768994>

λιμένων αναμένεται να περιλαμβάνει κύριες πηγές (π.χ. δοχεία επικίνδυνων χημικών), την ποιότητα του περιβάλλοντος, τη διαχείριση των εκκενώσεων ρύπων και την περιβαλλοντική απόκριση έκτακτης ανάγκης, κ.λπ. Η βελτιστοποίηση πόρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη ροή δεδομένων. Ως εκ τούτου, διάφορα περιβαλλοντικά δεδομένα του λιμένα, συμπεριλαμβανομένων των δεδομένων πηγής ρύπανσης, μετεωρολογικών δεδομένων, περιβαλλοντικών δεδομένων και άλλων, συλλέγονται από εξοπλισμό ανίχνευσης. Στη συνέχεια, το σύστημα που βασίζεται σε DT χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, σύγχρονης περιγραφής και δυναμικής πρόβλεψης των παραμέτρων της περιβαλλοντικής διαχείρισης λιμένων. Εν τω μεταξύ, η διαχείριση μέσω DT, με τεχνολογία δικτύου, βοηθά το λιμάνι να μειώσει την κατανάλωση και τη σπατάλη ενέργειας. Στο λιμάνι της

Βαλένθια, η διαχείριση μέσω DT παρακολουθεί δυναμικά το σύστημα φωτισμού, παρέχοντας υπηρεσία φωτισμού μόνο όταν τα οχήματα πλησιάζουν σε αποβάθρες. Η λιμενική αρχή της Βαλένθια εξοικονομεί σχεδόν το 80% της κατανάλωσης ενέργειας μετά την υιοθέτηση του δυναμικού ευαίσθητου συστήματος φωτισμού (Quietal., 2019). Χρησιμοποιώντας τη διαχείριση με DT για την επιτήρηση drones, οι οθόνες στο λιμάνι μπορούν να ελέγχουν για διαρροή καυσίμου, να παρακολουθούν πετρελαιοκηλίδες στην επιφάνεια της θάλασσας και να επιβλέπουν τον καθαρισμό, μειώνοντας αποτελεσματικά το κόστος της περιβαλλοντικής διαχείρισης.

4.9.2. Εφαρμογή DT στο Λιμάνι του Ουλτι της Φινλανδίας

Στη Φινλανδία, η λιμενική αρχή του Ουλου ελπίζει να επιτύχει την ολοκληρωμένη παρακολούθηση της περιβαλλοντικής προστασίας και βιωσιμότητας, με σκοπό τη βελτίωση της διαχείρισης στις διαδικασίες PTO. Το λιμάνι του Ουλου δημιουργεί μοντέλα που βασίζονται σε DT που επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων δυναμικής παρακολούθησης περιβάλλοντος σε πραγματικό χρόνο μέσω διαδραστικής πλατφόρμας που βασίζεται σε DT. Με την ενσωμάτωση ψηφιακής αναπαράστασης, περιβαλλοντικών δεδομένων και δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που παρακολουθούνται από εξοπλισμό και αισθητήρες IoT, αυτά τα δεδομένα πηγής πολλαπλών σημείων μπορούν να αναπαρασταθούν σε μοντέλα που βασίζονται σε DT, βελτιώνοντας έτσι την αποτελεσματικότητα της περιβαλλοντικής προστασίας των λιμένων. Τα προηγμένα μοντέλα που βασίζονται σε DT και οι προβλέψεις τους,

βοηθούν την λιμενική αρχή του Ουλου να διαμορφώσει καλύτερα περιβαλλοντικά σχέδια και βιώσιμες μετρήσεις για ΡΤΟ και να βελτιστοποιήσει τη χρήση της υποδομής και των περιουσιακών στοιχείων του λιμένα. Με τη βοήθεια της σκανδιναβικής εταιρείας οπτικού σχεδιασμού Sitowise¹⁶, το λιμάνι Ουλου έχει εφαρμόσει τα δικά του μοντέλα που βασίζονται σε DT. Τα μοντέλα καλύπτουν όλα τα βασικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένης της δομής των αντικειμένων και του περιβάλλοντος της περιοχής λιμένα, και μπορούν να περιγράψουν με σαφήνεια οι εσωτερικές σχέσεις και οι νόμοι στη λιμενική διαδικασία περιβαλλοντικής ρύπανσης. Εν τω μεταξύ, μοντέλα που βασίζονται σε DT μπορούν να εκτελεστούν για την προσομοίωση της λεκάνης απορροής ποταμού και του χωρικού περιβάλλοντος εντός της εμβέλειας αλλά και της

περιφέρειας του λιμένα Ουλου, καθώς και των χαρακτηριστικών αραίωσης και διάχυσης των ρύπων στο περιβάλλον.



Σχ. 11. Η πλατφόρμα DT «AURA» για περιβαλλοντική παρακολούθηση στο λιμάνι του Ουλου, Φινλανδία.

¹⁶ <https://www.sitowise.com/news/building-unique-dynamic-digital-twin-port-oulu>

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, οι περιβαλλοντικές μεταβλητές συλλέγονται με ακρίβεια. Το σημείο εκκίνησης είναι η συλλογή χωρικών δεδομένων από τις καταναμημένες πηγές του λιμένα Oulu και η εφαρμογή δεδομένων σε μια πλατφόρμα που ονομάζεται AURA, η οποία βασίζεται σε DT και λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο (AudouinandFinger, 2018). Η εκτεταμένη υποδομή του λιμένα Oulu περιλαμβάνει βιομηχανικά φώτα, οθόνες και συστήματα, όπου όλα παρέχουν υποστήριξη δεδομένων για πλατφόρμα που βασίζεται σε DT. Η πλατφόρμα AURA επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων, την ανάλυση και την προσομοίωση προκειμένου να αξιοποιηθούν πλήρως οι δυνατότητες των πόρων και να γίνει πιο επιστημονική διαχείριση στο λιμάνι Oulu. Υπάρχουν συνολικά τέσσερις τύποι δεδομένων από καταναμημένες πηγές για δεδομένα εισόδου προσομοίωσης μοντέλων που βασίζονται σε DT. Ο 1ος τύπος είναι το υπάρχον σύστημα ραντεβού, το οποίο περιέχει πληροφορίες για νηολογημένα πλοία για την τρέχουσα ημέρα επίσκεψης στο λιμάνι Oulu. Ο 2ος τύπος είναι τα ιστορικά δεδομένα, τα οποία αποτελούνται από χρόνους επεξεργασίας στο λιμάνι Oulu για διαφορετικά πλοία και πληροφορίες κυκλοφορίας για τη διαδρομή από τη λωρίδα εισόδου στην περιοχή ελλιμενισμού. Ο 3ος τύπος δεδομένων έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί εξωτερικές πηγές, ενώ ο 4ος είναι υπεύθυνος για την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μέσω αισθητήρων (π.χ. από κάμερες σε αισθητήρες εγγύτητας, καταγραφή των πλοίων άφιξης σε διαφορετικά στάδια διαδικασίας) (Hasanetal.2018). Τα προαναφερθέντα δεδομένα κοινοποιούνται στην πλατφόρμα AURA IoTs η οποία παρέχει προσομοιώσεις που βασίζονται σε DT, οι οποίες χρησιμοποιούν πληροφορίες εργασίας σε εξέλιξη (Hofmannand Branding, 2019) από τη βάση δεδομένων για την προετοιμασία της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος. Στη συνέχεια, αξιολογούνται διαφορετικοί αλγόριθμοι αποστολής και τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε μια εφαρμογή που βασίζεται στο Web. Χάρη στην τεχνολογία DT και την πλατφόρμα IoTs, το προσωπικό που είναι υπεύθυνο για την περιβαλλοντική επίβλεψη, τη διαχείριση και τον σχεδιασμό εμφάνισης του λιμένα Oulu είναι σε θέση να αναλύει αποτελεσματικά και διαισθητικά την απόδοση, να δοκιμάζει διάφορα σενάρια σχεδιασμού, να αξιολογεί τις συνέπειες και να παρακολουθεί τα καταναμημένα δεδομένα σε ολοκληρωμένο, οπτικό τρισδιάστατο περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, η λιμενική αρχή του Oulu είναι σε θέση να εκτελέσει καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση και να λάβει περισσότερες επιστημονικές αποφάσεις σχετικά με την περαιτέρω βιώσιμη ανάπτυξη. Επιπλέον, η διαχείριση μέσω DT

επιτρέπει σε όλους τους συμμετέχοντες των ΡΤΟ την ταυτόχρονη, άμεση πρόσβαση σε ενημερωμένες, περιεκτικές πληροφορίες που παρουσιάζονται σε ένα διαισθητικό, χωρικό οπτικό πλαίσιο. Αυτοί οι συμμετέχοντες περιλαμβάνουν πλοία, τρένα και φορτηγά, εργαζόμενους σε κατασκευαστικά έργα, στη συντήρηση περιοχής και διαχείριση απορριμμάτων, τελωνεία, προστασία έκτακτης ανάγκης και προστασία του περιβάλλοντος.

5. Εφαρμογή Ψηφιακών Διδύμων σε Ελληνικά Λιμάνια

5.1. Γενική Περιγραφή των Λιμένων του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας

Τα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας είναι τα τρία μεγαλύτερα λιμάνια της Ελλάδας και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην οικονομία της χώρας. Ο Πειραιάς είναι το μεγαλύτερο λιμάνι της Ελλάδας και ένα από τα πιο πολυσύχναστα στη Μεσόγειο. Είναι το κύριο λιμάνι της Αθήνας, της πρωτεύουσας της χώρας μας και σημαντικός κόμβος για τη διεθνή ναυτιλία. Το λιμάνι έχει μακρά ιστορία που χρονολογείται από την αρχαιότητα και έχει εκσυγχρονιστεί και επεκταθεί τα τελευταία χρόνια για να καλύψει τις απαιτήσεις της αναπτυσσόμενης ναυτιλιακής βιομηχανίας. Αποτελεί δε βασική πύλη για το εμπόριο μεταξύ Ευρώπης και Ασίας, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της ελληνικής οικονομίας (Christofakis et al., 2013).

Η Θεσσαλονίκη είναι το δεύτερο μεγαλύτερο λιμάνι στην Ελλάδα και σημαντικός κόμβος εμπορίου στα Βαλκάνια. Το λιμάνι έχει στρατηγική θέση που συνδέει το Αιγαίο με το Ιόνιο και αποτελεί εξίσου βασική πύλη για το εμπόριο μεταξύ Ευρώπης και Ασίας. Το λιμάνι της Θεσσαλονίκης είναι επίσης σημαντικός συγκοινωνιακός κόμβος για το ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο, συνδέοντας το λιμάνι με την υπόλοιπη Ελλάδα και την Ευρώπη. Το λιμάνι έχει υποστεί σημαντική ανάπτυξη και εκσυγχρονισμό τα τελευταία χρόνια, καθιστώντας το σημαντικό κόμβο για την ελληνική οικονομία (Pallis & Syriopoulos, 2007).

Η Πάτρα είναι το τρίτο μεγαλύτερο λιμάνι στην Ελλάδα και σημαντικός κόμβος εμπορίου και μεταφορών στο δυτικό τμήμα της χώρας. Το λιμάνι βρίσκεται στον Πατραϊκό Κόλπο με έντονη ναυτιλιακή και εμπορική δραστηριότητα.

Συμπερασματικά, τα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας είναι τα τρία μεγαλύτερα λιμάνια της Ελλάδας και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην οικονομία της χώρας. Αυτά τα λιμάνια έχουν μακρά ιστορία, στρατηγικές τοποθεσίες και έχουν υποστεί σημαντική ανάπτυξη και εκσυγχρονισμό τα τελευταία χρόνια, καθιστώντας τους σημαντικούς κόμβους για το διεθνές εμπόριο και τις μεταφορές. Η εφαρμογή digital twins σε αυτά τα λιμάνια θα μπορούσε να αποφέρει σημαντικά οφέλη στην ελληνική οικονομία και στην ομαλή λειτουργία του διεθνούς εμπορίου (Pallis & Vaggelas, 2017).

5.2.Αναγκαιότητα Ψηφιακού Μετασχηματισμού των Λιμανιών του Πειραιά της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός των λιμανιών του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας γίνεται ολοένα και πιο αναγκαίος καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία γίνεται πιο ψηφιοποιημένη. Η τεχνολογία Digital Twins θα μπορούσε να βοηθήσει αυτές τις θύρες να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητά τους. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των digital twins είναι η δυνατότητα βελτίωσης της ροής της κυκλοφορίας εντός των λιμένων. Συλλέγοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την κίνηση πλοίων και φορτίου, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τα λιμάνια να σχεδιάσουν και να διαχειριστούν καλύτερα τους πόρους τους, μειώνοντας τα σημεία συμφόρησης και τις καθυστερήσεις. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους για τις ναυτιλιακές εταιρείες και βελτιωμένη αξιοπιστία για τους πελάτες (Beresfordetal., 2015).

Ένα άλλο πλεονέκτημα των digital twins είναι η δυνατότητα βελτίωσης της ασφάλειας και της ασφάλειας εντός των λιμένων. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν την παρακολούθηση και τη συντήρηση κρίσιμων υποδομών, όπως γερανοί και κουκέτες, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων και διακοπής λειτουργίας (Pangetal., 2021).

Τέλος, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τα λιμάνια να γίνουν πιο βιώσιμα. Συλλέγοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την κίνηση πλοίων και φορτίου, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βοηθήσουν τα λιμάνια να κατανοήσουν καλύτερα τις περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις και να εντοπίσουν ευκαιρίες για βελτίωση. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν την παρακολούθηση και τη συντήρηση

κρίσιμων υποδομών, όπως γερανοί και κουκέτες, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων και διακοπής λειτουργίας (Taylor et al., 2019). Συμπερασματικά, ο ψηφιακός μετασχηματισμός των λιμανιών του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας είναι απαραίτητος για να παραμείνουν ανταγωνιστικά αυτά τα λιμάνια στον ψηφιοποιημένο ναυτιλιακό κλάδο. Η εφαρμογή των digital twins μπορεί να βοηθήσει αυτές τις θύρες να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια και τη βιωσιμότητά τους. Επιπλέον, μπορεί να βοηθήσει αυτά τα λιμάνια να κατανοήσουν καλύτερα και να ανταποκριθούν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των λειτουργιών τους (Beresford et al., 2015).

5.3. Προτάσεις Εφαρμογής DT στα Λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας

Τα ψηφιακά δίδυμα, γνωστά και ως DT, είναι ψηφιακά αντίγραφα φυσικών συστημάτων που επιτρέπουν την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και την ανάλυση δεδομένων. Έχουν εφαρμοστεί σε λιμάνια σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων του Αμβούργου, της Βαλένθια, του Λιβόρνο και της Βαρκελώνης. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνήσουμε τις δυνατότητες υλοποίησης digital twins στα ελληνικά λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας, χρησιμοποιώντας ως οδηγό μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής digital twins σε διεθνή λιμάνια.

Το λιμάνι του Αμβούργου είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της αποτελεσματικής και βιώσιμης εφαρμογής των ψηφιακών διδύμων σε ένα περιβάλλον λιμένα. Η λιμενική αρχή του Αμβούργου έχει ενσωματώσει με επιτυχία την τεχνολογία κινητής επικοινωνίας 5ης γενιάς (5G) στα μοντέλα της που βασίζονται σε DT, γνωστά ως 5G MoNArch. Αυτό το σύστημα συνδέει διάφορα μέρη του λιμανιού, συμπεριλαμβανομένων των φωτεινών σηματοδοτών, των ομάδων μηχανικών και των περιβαλλοντικών αισθητήρων, για να βελτιώσει τη ροή της κυκλοφορίας και τη συνολική απόδοση του λιμανιού.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του 5G MoNArch είναι η ικανότητά του να συνδέει ένα φανάρι με το κέντρο ελέγχου κυκλοφορίας σκαφών στο λιμάνι του Αμβούργου, σε μια προσπάθεια βελτίωσης της ροής κυκλοφορίας εντός της περιοχής του λιμανιού.

Επιπλέον, η βελτιωμένη ευρυζωνική σύνδεση για κινητά χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση της διαδραστικής επαυξημένης πραγματικότητας (AR) για ομάδες μηχανικών για τη βελτίωση ορισμένων διαδικασιών στο λιμάνι του Αμβούργου, όπως η συντήρηση και διαχείριση περιουσιακών στοιχείων. Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης μια μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής που συνδέει περιβαλλοντικούς αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι σε κινητές φορηγίδες με το cloud εφαρμογών της λιμενικής αρχής του Αμβούργου για τη μέτρηση της περιβαλλοντικής ποιότητας στην περιοχή του λιμανιού.

Το λιμάνι του Αμβούργου ενσωματώνει πολλά ανεξάρτητα μοντέλα που βασίζονται σε DT με σύστημα 5GMoNArch για να σχηματίσει μια διασυνδεδεμένη πλατφόρμα διαθέσιμη σε ολόκληρη την περιοχή. Αυτή η ψηφιακή πλατφόρμα συγκεντρώνει δεδομένα από διαφορετικές πηγές, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, φορητών συσκευών και βάσεων δεδομένων διαφόρων συνεργατών. Αυτό βοηθά τη λιμενική αρχή του Αμβούργου και τους εταίρους της να βελτιώσουν τις εσωτερικές διαδικασίες, ενώ συλλέγουν πληροφορίες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο για να ελαχιστοποιήσουν τα σημεία συμφόρησης στην κυκλοφορία στις πύλες αποθήκης και τερματικού σταθμού. Το 5GMoNArch περιλαμβάνει επίσης δυνατότητες γεωεντοπισμού για τον εντοπισμό των εισερχόμενων φορηγών, διευκολύνοντας το λιμάνι να σχεδιάζει την κυκλοφορία φορηγών εμπορευματοκιβωτίων πιο αποτελεσματικά.

Ένα άλλο παράδειγμα της επιτυχημένης εφαρμογής ψηφιακών διδύμων σε περιβάλλον λιμένα είναι το λιμάνι της Βαρκελώνης. Ως το μεγαλύτερο έξυπνο λιμάνι της Ισπανίας, το λιμάνι της Βαρκελώνης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια μεταφορά εμπορευμάτων και logistics, διαχειριζόμενος 63 εκατομμύρια τόνους φορτίου κάθε χρόνο. Χάρη στα δεδομένα που συλλέχθηκαν, η κατασκευή μοντέλων με βάση το DT για τη θύρα είχε σημαντική επίδραση. Στο πρώτο στάδιο, έχοντας συγκεντρωθεί όλες οι πληροφορίες σχετικά με το λιμάνι της Βαρκελώνης και τα μοντέλα που βασίζονται στο DT, οι διαχειριστές λιμένων μπορούν να αναπαράγουν την κατάσταση των διαδικασιών ανά πάσα στιγμή σε έναν χάρτη δύο διαστάσεων (2D). Αν και τα δεδομένα και τα ψηφιακά μοντέλα έχουν ήδη ωριμάσει για απλή ανάλυση, η συνάρτηση πρόβλεψης του DT που αποτυγχάνει να συλλέξει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο δεν έχει χρησιμοποιηθεί πλήρως.

Η εφαρμογή των digital twins στα ελληνικά λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας, θα μπορούσε να αποφέρει παρόμοια οφέλη σε αυτά τα λιμάνια. Τα ελληνικά λιμάνια είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομία της χώρας και η εφαρμογή ψηφιακών διδύμων θα μπορούσε να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητά τους. Χρησιμοποιώντας ως οδηγό το παράδειγμα της επιτυχημένης υλοποίησης των digital twins στο Αμβούργο και τη Βαρκελώνη, τα ελληνικά λιμάνια θα μπορούσαν να βελτιώσουν τις εσωτερικές διαδικασίες και τη ροή της κυκλοφορίας, ενώ συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να ελαχιστοποιήσουν τα σημεία συμφόρησης.

Οι περιπτώσιολογικές μελέτες για την επιτυχή εφαρμογή των digital twins στα λιμάνια του Αμβούργου και της Βαρκελώνης καταδεικνύουν τη δυνατότητα για παρόμοια οφέλη στα ελληνικά λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας. Περαιτέρω έρευνα και εφαρμογή σε αυτά τα λιμάνια θα μπορούσε να αποφέρει σημαντικά οφέλη για την ελληνική οικονομία και την ομαλή λειτουργία του διεθνούς εμπορίου.

Με βάση τα οφέλη της τεχνολογίας digital twins που συζητήθηκαν παραπάνω, υπάρχουν αρκετές συγκεκριμένες προτάσεις για την εφαρμογή έξυπνων τεχνολογιών

- Παρακολούθηση πλοίων και φορτίου σε πραγματικό χρόνο: Η εφαρμογή της τεχνολογίας digital twins στα λιμάνια του Πειραιά, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας θα επέτρεπε την παρακολούθηση πλοίων και φορτίου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα επέτρεπε στα λιμάνια να σχεδιάζουν και να διαχειρίζονται καλύτερα τους πόρους τους, μειώνοντας τα σημεία συμφόρησης και καθυστερήσεις και βελτιώνοντας την αξιοπιστία για τους πελάτες.
- Ασφάλεια και επιτήρηση: Η τεχνολογία Digital twins μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ασφάλειας και της επιτήρησης εντός των λιμένων. Τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την κίνηση πλοίων και φορτίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση πιθανών απειλών για την ασφάλεια. Επιπλέον, τα ψηφιακά δίδυμα μπορούν να βελτιώσουν την παρακολούθηση και τη συντήρηση κρίσιμων υποδομών, όπως γερανοί και κουκέτες, μειώνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων και διακοπής λειτουργίας.

- Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Η τεχνολογία Digital twins μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των λιμένων. Αυτό θα επιτρέψει στα λιμάνια να κατανοήσουν καλύτερα τον αντίκτυπό τους και να εντοπίσουν ευκαιρίες για βελτίωση. Ιδιαίτερα την εποχή που η κλιματική αλλαγή μετατρέπεται σε κλιματική κρίση, ψηφιακά εργαλεία που ερμηνεύουν το περιβαλλοντικό μας αποτύπωμα (footprint), είναι παραπάνω από αναγκαία.
- Προγνωστική συντήρηση: Η τεχνολογία Digitaltwins μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προγνωστική συντήρηση ζωτικής σημασίας υποδομής στα λιμάνια, όπως γερανοί και κουκέτες, για μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας και βελτίωση της απόδοσης.
- Έξυπνος έλεγχος κυκλοφορίας: Η εφαρμογή ψηφιακής διπλής τεχνολογίας σε συνδυασμό με την τεχνολογία 5G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ροής της κυκλοφορίας εντός των λιμένων. Αυτό θα επέτρεπε στα λιμάνια να σχεδιάζουν και να διαχειρίζονται την κυκλοφορία φορτηγών εμπορευματοκιβωτίων πιο αποτελεσματικά, μειώνοντας τα σημεία συμφόρησης και τις καθυστερήσεις.
- Ενσωμάτωση AR/VR: Με μεγαλύτερο εύρος ζώνης, οι εικόνες AR και εικονικής πραγματικότητας (VR) 360 των θυρών θα μπορούσαν να υλοποιηθούν και να παρακολουθούνται μέσω του ψηφιακού διπλού συστήματος, παρέχοντας βελτιωμένη προβολή των λειτουργιών της θύρας, επιτρέποντας καλύτερη λήψη αποφάσεων και παρακολούθηση.

6. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, καθίσταται προφανές πως υπάρχει ανάγκη εκσυγχρονισμού των λιμένων σε έξυπνα λιμάνια λόγω των αυξανόμενων απαιτήσεων και πιέσεων στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Ο κλάδος αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η αύξηση του παγκόσμιου εμπορίου, ο αυξανόμενος όγκος φορτίου και η ανάγκη για πιο αποτελεσματικές και βιώσιμες λειτουργίες. Το ψηφιακό δίδυμο αποτελεί απαραίτητο ψηφιακό εργαλείο που έχει έναν διττό σκοπό. Πρώτον, να συμβάλλει με τη χρήση της τεχνολογίας στην επίτευξη των παραπάνω. Δεύτερον, να αποτελέσει εκείνο το ψηφιακό εργαλείο που θα οδηγήσει σταδιακά στην μεταβατική εποχή πριν τη ψηφιακή ολοκλήρωση.

Στην παρούσα εργασία, αναπτύξαμε κατά το δυνατόν σαφέστερο τρόπο την ερμηνεία του ψηφιακού διδύμου τόσο εν τη γενέσει του και την ανάπτυξη του σε άλλους τομείς πέραν της ναυτιλίας, όσο και στην εξιδεικευμένη λειτουργία του μέσα σε αυτή.

Οι δυνατότητες που μας προσφέρει ένα DT είναι αρκετά πολύτιμες αν αντιληφθεί κανείς τη σημασία που αποδίδουν ναυτιλιακές εταιρίες που επιλέγουν να το υιοθετήσουν στο λειτουργικό τους σύστημα. Η εφαρμογή τους τόσο στα πλοία τα οποία αποτελούν πηγή κεφαλαίου μιας ναυτιλιακής εταιρίας, όσο και στα λιμάνια που είναι ο κόμβος που πραγματοποιούνται οι εμπορικές συναλλαγές, αποδεικνύει την πρόοδο όπου έχει σημειωθεί στον τομέα της Ναυτιλίας κάνοντας πιο ασφαλείς και αποτελεσματικές τις λειτουργίες λιμένων και πλοίων, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσει την ποιότητα ζωής τόσο στη στεριά όσο και στη θάλασσα. Τέλος, η επιτυχής έκβαση τέτοιων πρωτοβουλιών εκπέμπουν ένα αίσθημα εμπιστοσύνης ώστε να γίνονται πιο κερδοφόρες εμπορικές συναλλαγές χωρίς ρίσκο κινδύνου. Σπεύδουμε να τονίσουμε πως κίνδυνος δεν αφορά μόνο στην ασφαλή μεταφορά πληρώματος και εμπορεύματος και στην διανομή του στην ενδοχώρα, αλλά και στην χρονική συνέπεια που εναλλακτικά ελλοχεύει ο κίνδυνος της ακύρωσης μιας παραγγελίας.

Για να αντιπαραβάλω τον παραπάνω ισχυρισμό με ένα επαρκές παράδειγμα, αν εφαρμόζαμε την ψηφιακή παρακολούθηση των πλοίων καθώς και τη ροή των εργασιών στο λιμένα, θα μπορούσαμε να εντοπίσουμε αδυναμίες που προκαλούν τεχνικά προβλήματα, συμφόρηση, διπλάσιο χρόνο, υπερδιπλάσιο κόστος και αρνητικά

συμπεράσματα. Εντοπίζοντας τις παραπάνω αδυναμίες, έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε εκείνες τις απαραίτητες ενέργειες που θα βοηθήσουν στην διόρθωση των «κακώς κειμένων».

Με ένα τέτοιο μέτρο, θα μπορούσαμε να προβλέψουμε την εύστοχη ή άστοχη έκβαση του έγκαιρα πρώτου προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε ενέργεια. Τα έξυπνα λιμάνια χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνολογίες όπως digital twins , IoT και 5G για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας των λιμενικών λειτουργιών. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της ροής της κυκλοφορίας, τη βελτίωση της ασφάλειας και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Αυτή η τάση παρατηρείται παγκοσμίως καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία ψηφιοποιείται ολοένα και περισσότερο. Πολλά λιμάνια σε όλο τον κόσμο επενδύουν σε έξυπνες τεχνολογίες για να βελτιώσουν την ανταγωνιστικότητά τους και να προσελκύσουν περισσότερες επιχειρήσεις. Η εφαρμογή έξυπνων λιμένων μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κόστους, στην αύξηση της αποδοτικότητας και στη βελτίωση της εξυπηρέτησης πελατών.

Υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των χωρών σε αυτόν τον τομέα, καθώς τα λιμάνια ανταγωνίζονται για να προσελκύσουν περισσότερες επιχειρήσεις και να γίνουν η προτιμώμενη πύλη για το διεθνές εμπόριο. Οι χώρες επενδύουν στον εκσυγχρονισμό των λιμανιών τους για να προσελκύσουν περισσότερες επιχειρήσεις και να αυξήσουν την ανταγωνιστικότητά τους. Η εφαρμογή έξυπνων λιμένων μπορεί να βοηθήσει τις χώρες να μειώσουν το κόστος, να αυξήσουν την αποδοτικότητα και να βελτιώσουν την εξυπηρέτηση των πελατών, γεγονός που μπορεί να τις κάνει πιο ελκυστικές για τις ναυτιλιακές εταιρείες και τους ιδιοκτήτες φορτίου.

Η Ελλάδα είναι όντως ηγετική χώρα στον κλάδο της ναυτιλίας, με μακρά ιστορία και παράδοση στη ναυτιλία. Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη εκσυγχρονισμού των λιμένων της σε έξυπνα λιμάνια και υιοθέτησης νέων τεχνολογιών προκειμένου να διατηρήσει την ανταγωνιστική της θέση στον παγκόσμιο ναυτιλιακό κλάδο. Εκσυγχρονίζοντας τα λιμάνια της σε έξυπνα λιμάνια, η Ελλάδα μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα και την ανταγωνιστικότητα των λιμανιών της, κάτι που θα

προσελκύσει περισσότερες επιχειρήσεις και θα αυξήσει το μερίδιό της στην παγκόσμια ναυτιλιακή αγορά.

Επιπλέον, η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στα λιμάνια της μπορεί να βοηθήσει την Ελλάδα να βελτιώσει την περιβαλλοντική της βιωσιμότητα και να ανταποκριθεί στις αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών και των ρυθμιστικών φορέων. Αυτό θα κάνει τα λιμάνια της Ελλάδας πιο ελκυστικά για ναυτιλιακές εταιρείες, ιδιοκτήτες φορτίου και άλλους ενδιαφερόμενους φορείς.

Το ψηφιακό δίδυμο λιμένων είναι τομή για τα λιμάνια και την Ναυτιλία. Και η ιστορία το δικαιώνει!

Βιβλιογραφία

- Abaglo, A. J., Bonalda, C., & Pertusa, E. (2017). Environmental Digital Model: Integration of BIM into environmental building simulations. *Energy Procedia*, 122, 1063-1068.
- Abbassi, R., Khan, F., Garaniya, V., Chai, S., Chin, C., & Hossain, K. A. (2015). An integrated method for human error probability assessment during the maintenance of offshore facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 94, 172-179.
- Agarwala, P., Chhabra, S., & Agarwala, N. (2021). Using digitalisation to achieve decarbonisation in the shipping industry. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(4), 161-174.
- Akbarieh, A., Jayasinghe, L. B., Waldmann, D., & Teferle, F. N. (2020). BIM-based end-of-lifecycle decision making and digital deconstruction: Literature review. *Sustainability*, 12(7), 2670.
- Alamouh, A. S., Ballini, F., & Ölçer, A. I. (2020). Ports' technical and operational measures to reduce greenhouse gas emission and improve energy efficiency: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111508.
- Anttiroiko, A. V. (2016). City-as-a-platform: The rise of participatory innovation platforms in Finnish cities. *Sustainability*, 8(9), 922.
- Audouin, M., & Finger, M. (2018). The development of Mobility-as-a-Service in the Helsinki metropolitan area: A multi-level governance analysis. *Research in Transportation Business & Management*, 27, 24-35.
- Autiosalo, J., Vepsäläinen, J., Viitala, R., & Tammi, K. (2019). A feature-based framework for structuring industrial digital twins. *IEEE access*, 8, 1193-1208.
- Barbieri, G., & Gutierrez, D. A. (2021). A GEMMA-GRAFCET methodology to enable digital twin based on real-time coupling. *Procedia Computer Science*, 180, 13-23.
- Becha H., Frazier T., Voorspuij J, and Schroder M., (2020b) Standardized Container IoT is Key for "Smart" Supply Chains. *The Maritime Executive*, 27/05-2020 <https://www.maritime-executive.com/editorials/standardized-iot-for-containers-is-the-key-for-smart-supply-chains-1>

- Becha H., Lind M., Simha A., Bottin F. (2020a) Smart ports: On the move to becoming global logistics information exchange hubs, Smart Maritime Network, 20/4-2020 <https://smartmaritimenetwork.com/2020/04/20/smart-ports-on-the-move-to-become-global-logistics-information-exchange-hubs/>
- Beil, C., & Kolbe, T. H. (2020). Combined Modelling Of Multiple Transportation Infrastructure Within 3d City Models And Its Implementation In CITYGML 3.0. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 6.
- Beresford, A., Paspaliari, P., Pettit, S. J., & Choi, K. Y. (2015). Piraeus and Thessaloniki ports: performance and development.
- Boyles R., (2019). *How the Port of Rotterdam is using IBM digital twin technology to transform itself from the biggest to the smartest.*
IBM <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/iot-digital-twin-rotterdam/>
- Buchholz, S., & Briggs, B. (2020). Tech Trends 2020. *Deloitte Insights*, 7.
- Campos-Ferreira, A. E., Lozoya-Santos, J. D. J., Vargas-Martínez, A., Mendoza, R., & Morales-Menéndez, R. (2019). Digital twin applications: A review. *Mem. Del Congr. Nac. Control Autom*, 2, 606-611.
- Carvalho, A., Melo, P., Oliveira, M. A., & Barros, R. (2020, June). The 4-corner model as a synchromodal and digital twin enabler in the transportation sector. In *2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (pp. 1-8). IEEE.
- Christofakis, M., Tassopoulos, A., & Moukas, B. (2013). Port activity evolution: the initial impact of economic crisis on major Greek ports. *European Transport Research Review*, 5(4), 195-205.
- Conejos Fuertes, P., Martínez Alzamora, F., Hervás Carot, M., & Alonso Campos, J. C. (2020). Building and exploiting a Digital Twin for the management of drinking water distribution networks. *Urban Water Journal*, 17(8), 704-713.
- Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in construction*, 94, 257-281.
- D'Amico, G., Szopik-Depczyńska, K., Dembińska, I., & Ioppolo, G. (2021). Smart and sustainable logistics of Port cities: A framework for comprehending enabling factors, domains and goals. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102801.

- Dahmen, U., & Rossmann, J. (2018, October). Experimentable digital twins for a modeling and simulation-based engineering approach. In *2018 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)* (pp. 1-8). IEEE.
- Danish Maritime Authority, (2018). *Digital Twins for Blue Denmark*, Report No.: 2018-0006, Rev. A. <https://www.iims.org.uk/wp-content/uploads/2018/04/Digital-Twin-report-for-DMA.pdf>
- Darko, A., Chan, A. P., Yang, Y., & Tetteh, M. O. (2020). Building information modeling (BIM)-based modular integrated construction risk management—Critical survey and future needs. *Computers in Industry*, *123*, 103327.
- De Martino, M., Magnotti, F., & Morvillo, A. (2020). Port governance and value creation in the supply chain: The case of Italian ports. *Case Studies on Transport Policy*, *8*(2).
- Dembski, F., Wössner, U., Letzgus, M., Ruddat, M., & Yamu, C. (2020). Urban digital twins for smart cities and citizens: The case study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*, *12*(6), 2307.
- DHL, (2019). *Digital Twins In Logistics: A DHL perspective on the impact of digital twins on the logistics industry*. DHL Trend Research. <https://www.dhl.com/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/globe-digital-twins-in-logistics.pdf>
- Evans, S., Savian, C., Burns, A., & Cooper, C. (2019). Digital twins for the built environment: an introduction to the opportunities, benefits, challenges and risks. *Built Environmental News*.
- Gekas, A. (2008). A sector “most beneficial to commerce”: marine insurance companies in nineteenth-century Greek port cities. *Entrepreneurial history discussion Papers*.
- Ghandar, A., Ahmed, A., Zulfiqar, S., Hua, Z., Hanai, M., & Theodoropoulos, G. (2021). A decision support system for urban agriculture using digital twin: A case study with aquaponics. *Ieee Access*, *9*, 35691-35708.
- Godager, B., Onstein, E., & Huang, L. (2021). The concept of enterprise BIM: Current research practice and future trends. *IEEE Access*, *9*, 42265-42290.
- Goel, P., Jain, P., Pasman, H. J., Pistikopoulos, E. N., & Datta, A. (2020). Integration of data analytics with cloud services for safer process systems, application

- examples and implementation challenges. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 68, 104316.
- Gupta, R., Reebadiya, D., & Tanwar, S. (2021). 6G-enabled edge intelligence for ultrareliable low latency applications: Vision and mission. *Computer Standards & Interfaces*, 77, 103521.
- Gurumurthy, A., & Bharthur, D. (2019). Impact of Digitalisation in the Ports Sector. *Artificial Intelligence In India*, 5.
- Gutierrez-Franco, E., Mejia-Argueta, C., & Rabelo, L. (2021). Data-driven methodology to support long-lasting logistics and decision making for urban lastmile operations. *Sustainability*, 13(11), 6230.
- Haraldson, S., Lind, M., Karlsson, M., Bach, A., Woxenius, J., & Gonzalez-Aregall, M. (2019). Digitalisation and automation in small and medium sized Swedish ports (SMPs). *Lighthouse reports*.
- Hasan, R., Hossain, M., & Khan, R. (2018). Aura: An incentive-driven ad-hoc IoT cloud framework for proximal mobile computation offloading. *Future Generation Computer Systems*, 86, 821-835.
- Hofmann, W., & Branding, F. (2019). Implementation of an IoT-and cloud-based digital twin for real-time decision support in port operations. *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 2104-2109.
- Holfeld, B., Wieruch, D., Wirth, T., Thiele, L., Ashraf, S. A., Huschke, J., ... & Ansari, J. (2016). Wireless communication for factory automation: An opportunity for LTE and 5G systems. *IEEE Communications Magazine*, 54(6), 36-43.
- Ivanov, S., Nikolskaya, K., Radchenko, G., Sokolinsky, L., & Zymbler, M. (2020, November). Digital twin of city: Concept overview. In *2020 Global Smart Industry Conference (GloSIC)* (pp. 178-186). IEEE.
- Ivars-Baidal, J. A., Celdrán-Bernabeu, M. A., Femenia-Serra, F., Perles-Ribes, J. F., & Giner-Sánchez, D. (2021). Measuring the progress of smart destinations: The use of indicators as a management tool. *Journal of Destination Marketing & Management*, 19, 100531.
- Jazdi, N., Talkhestani, B. A., Maschler, B., & Weyrich, M. (2021). Realization of AI-enhanced industrial automation systems using intelligent Digital Twins. *Procedia CIRP*, 97, 396-400.

- Jones, D., Snider, C., Nassehi, A., Yon, J., & Hicks, B. (2020). Characterising the Digital Twin: A systematic literature review. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 29, 36-52.
- Juarez, M. G., Botti, V. J., & Giret, A. S. (2021). Digital twins: Review and challenges. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 21(3).
- Kaewunruen, S., Rungskunroch, P., & Welsh, J. (2018). A digital-twin evaluation of net zero energy building for existing buildings. *Sustainability*, 11(1), 159.
- Kapkaeva, N., Gurzhiy, A., Maydanova, S., & Levina, A. (2021). Digital platform for maritime port ecosystem: Port of Hamburg case. *Transportation Research Procedia*, 54, 909-917.
- Kumar, K., Ramkumar, K. R., & Kaur, A. (2020). A lightweight AES algorithm implementation for encrypting voice messages using field programmable gate arrays. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Lee, S., Jain, S., Zhang, Y., Liu, J., & Son, Y. J. (2020). A Multi-Paradigm Simulation for the Implementation of Digital Twins in Surveillance Applications. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (pp. 79-84). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
- Lim, K. Y. H., Zheng, P., & Chen, C. H. (2020). A state-of-the-art survey of Digital Twin: techniques, engineering product lifecycle management and business innovation perspectives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(6), 1313-1337.
- Lind, M., Bjørn-Andersen, N., Ward, R., Watson, R. T., Bergmann, M., & Andersen, T. (2018). Synchronization for Port Effectiveness. *The Journal of Ports and Terminals*, (79), 82-84.
- Liu, L., Wang, K. Y., & Yip, T. L. (2013). Development of a container port system in Pearl River Delta: path to multi-gateway ports. *Journal of Transport Geography*, 28, 30-38.
- Mancuso, V., Quirós, M. P., Midoglu, C., Moulay, M., Comite, V., Lutu, A., ... & Hirsch, T. (2019). Results from running an experiment as a service platform for mobile broadband networks in Europe. *Computer Communications*, 133, 89-101.
- Marcucci, E., Gatta, V., Le Pira, M., Hansson, L., & Bråthen, S. (2020). Digital Twins: A Critical Discussion on Their Potential for Supporting Policy-Making and Planning in Urban Logistics. *Sustainability*, 12(24), 10623.

- Mogensen, R. S., Rodriguez, I., Schou, C., Mortensen, S., & Sørensen, M. S. (2021). Evaluation of the impact of wireless communication in production via factory digital twins. *Manufacturing Letters*, 28, 1-5.
- Nativi, S., Mazzetti, P., & Craglia, M. (2021). Digital ecosystems for developing digital twins of the earth: The destination earth case. *Remote Sensing*, 13(11), 2119.
- Ochoa Guevara, N. E., Diaz, C. O., Dávila Sguerra, M., Herrera Martinez, M., Acosta Agudelo, O., Ríos Suarez, J. A., ... & López Garcia, A. C. (2018). Towards the design and implementation of a Smart City in Bogotá, Colombia.
- Olba, X. B., Daamen, W., Vellinga, T., & Hoogendoorn, S. P. (2019). Multi-criteria evaluation of vessel traffic for port assessment: A case study of the Port of Rotterdam. *Case Studies on Transport Policy*, 7(4), 871-881.
- Onel, L., López, A., Alves, H., Nardelli, P.H.J., Latva-aho, M., (2019). Hybrid resource scheduling for aggregation in massive machine-type communication networks. *Ad Hoc Networks*, 94, 101932.
- Pallis, A. A., & Syriopoulos, T. (2007). Port governance models: financial evaluation of Greek port restructuring. *Transport Policy*, 14(3), 232-246.
- Pallis, A. A., & Vaggelas, G. K. (2017). A Greek prototype of port governance. *Research in transportation business & management*, 22, 49-57.
- Pan, S., Zhou, W., Piramuthu, S., Giannikas, V., & Chen, C. (2021). Smart city for sustainable urban freight logistics. *International Journal of Production Research*, 59(7), 2079-2089.
- Pang, T. Y., Pelaez Restrepo, J. D., Cheng, C. T., Yasin, A., Lim, H., & Miletic, M. (2021). Developing a digital twin and digital thread framework for an 'Industry 4.0' Shipyard. *Applied Sciences*, 11(3), 1097.
- Pauwels, P., Zhang, S., & Lee, Y. C. (2017). Semantic web technologies in AEC industry: A literature overview. *Automation in construction*, 73, 145-165.
- Peng, P., Poon, J. P., Yang, Y., Lu, F., & Cheng, S. (2019). Global oil traffic network and diffusion of influence among ports using real time data. *Energy*, 172, 333342.
- Polyzos, S., Niavis, S., & Minetos, D. (2008, May). The Ports of North Greece and their importance for the economic development of South-Eastern Europe. In *4th international conference of aseco on development cooperation and competitiveness Bucharest academy of economic studies* (pp. 474-488).

- Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., ... & Nee, A. Y. C. (2021). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, 58, 3-21.
- Qiu, C., Zhou, S., Liu, Z., Gao, Q., & Tan, J. (2019). Digital assembly technology based on augmented reality and digital twins: a review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1(6), 597-610.
- Quirk, D., Lanni, J., & Chauhan, N. (2020). Digital Twins: Details Of Implementation: Part 2. *ASHRAE Journal*, 62(10), 20-25.
- Raes, L., Michiels, P., Adolphi, T., Tampere, C., Dalianis, T., Mcaleer, S., & Kogut, P. (2021). DUET: a framework for building secure and trusted digital twins of smart cities. *IEEE Internet Computing*, 1-9.
- Ran, Y., Zhou, X., Lin, P., Wen, Y., & Deng, R. (2019). A survey of predictive maintenance: Systems, purposes and approaches. *arXiv preprint arXiv:1912.07383*.
- Rathore, M. M., Shah, S. A., Shukla, D., Bentafat, E., & Bakiras, S. (2021). The role of ai, machine learning, and big data in digital twinning: A systematic literature review, challenges, and opportunities. *IEEE Access*, 9, 32030-32052.
- Russell, H. (2020). Sustainable Urban Governance Networks. *Geopolitics, History, and International Relations*, 12(2), 9-15.
- Schrotter, G., & Hürzeler, C. (2020). The digital twin of the city of Zurich for urban planning. *PGF—Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*, 88(1), 99-112.
- Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, 100383.
- Sharma, M., & George, J. P. (2018). Digital twin in the automotive industry: Driving physical-digital convergence. *Tata Consultancy Services White Paper*.
- Shirowzhan, S., Tan, W., & Sepasgozar, S. M. (2020). Digital twin and CyberGIS for improving connectivity and measuring the impact of infrastructure construction planning in smart cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 240.
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, 4(2), 36.

- Szpytko, J., & Duarte, Y. S. (2019). Digital twins model for cranes operating in container terminal. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 25-30.
- Szpytko, J., & Duarte, Y. S., (2021). A digital twins concept model for integrated maintenance: a case study for crane operation. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 32(7), 1863-1881.
- Tagliabue, L. C., Cecconi, F. R., Maltese, S., Rinaldi, S., Ciribini, A. L. C., & Flammini, A. (2021). Leveraging digital twin for sustainability assessment of an educational building. *Sustainability*, 13(2), 480.
- Taylor, N., Human, C., Kruger, K., Bekker, A., & Basson, A. (2019, October). Comparison of digital twin development in manufacturing and maritime domains. In *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing* (pp. 158-170). Springer, Cham.
- Telukdarie, A., Buhulaiga, E., Bag, S., Gupta, S., & Luo, Z. (2018). Industry 4.0 implementation for multinationals. *Process Safety and Environmental Protection*, 118, 316-329.
- Tomin, N., Kurbatsky, V., Borisov, V., & Musalev, S. (2020). Development of digital twin for load center on the example of distribution network of an urban district. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 209, p. 02029). EDP Sciences.
- UNCTAD (2021), *Review of Maritime Transport 2021*, United Nations.
<https://unctad.org/webflyer/review-maritime-transport-2021>
- Van den Berg, R., De Langen, P. W., & Costa, C. R. (2012). The role of port authorities in new intermodal service development; the case of Barcelona Port Authority. *Research in Transportation Business & Management*, 5, 78-84.
- Wang, H., Hu, J., Wan, W., Gui, H., Qin, F., Yu, F., ... & Lü, L. (2019). A wide dynamic range and high resolution all-fiber-optic turbidity measurement system based on single photon detection technique. *Measurement*, 134, 820-824.
- Wang, K., Hu, Q., Zhou, M., Zun, Z., & Qian, X. (2021). Multi-aspect applications and development challenges of digital twin-driven management in global smart ports. *Case Studies on Transport Policy*, 9(3), 1298-1312.
- Watson, R., Holm, H., & Lind, M. (2015). Green steaming: A methodology for estimating carbon emissions avoided. *36th International Conference on Information Systems*, Fort Worth

- White, G., Zink, A., Codecá, L., & Clarke, S. (2021). A digital twin smart city for citizen feedback. *Cities*, *110*, 103064.
- Witte, P., Slack, B., Keesman, M., Jugie, J. H., & Wiegmans, B. (2018). Facilitating start-ups in port-city innovation ecosystems: A case study of Montreal and Rotterdam. *Journal of Transport Geography*, *71*, 224-234.
- Wright, L., & Davidson, S. (2020). How to tell the difference between a model and a digital twin. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, *7*(1), 1-13.
- Yao, H., Wang, D., Su, M., & Qi, Y. (2021, March). Application of Digital Twins in Port System. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1846, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Yao, H., Wang, D., Su, M., & Qi, Y. (2021, March). Application of Digital Twins in Port System. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1846, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- Yitmen, I., Alizadehsalehi, S., Akıner, İ., & Akıner, M. E. (2021). An adapted model of cognitive digital twins for building lifecycle management. *Applied Sciences*, *11*(9), 4276.
- Zhou, C., Xu, J., Miller-Hooks, E., Zhou, W., Chen, C. H., Lee, L. H., ... & Li, H. (2021). Analytics with digital-twinning: A decision support system for maintaining a resilient port. *Decision Support Systems*, *143*, 113496.