



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

Διπλωματική Εργασία

**Από την παραδοσιακή λιμενική εργασία στη “Smart
Port” πραγματικότητα: Ανθρώπινο δυναμικό, ΑΙ
και μετά-Covid εποχή**

Χούσος Θεμιστοκλής

Επιβλέπων:

Χλωμούδης Κωνσταντίνος

Πειραιάς

MΑΡΤΙΟΣ 2026

ΔΗΛΩΣΗ ΑΥΘΕΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ / ΖΗΤΗΜΑΤΑ COPYRIGHT

Το άτομο το οποίο εκπονεί την Διπλωματική Εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στην βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (εμπορικός, μη κερδοσκοπικός ή εκπαιδευτικός), 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 ΕΔιΕ του ΔΠΜΣ σύμφωνα με τον Κανονισμό Λειτουργίας του ΔΠΜΣ 'Διοίκηση στη Ναυτική Επιστήμη και Τεχνολογία'.

Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

- ΜΕΛΟΣ Α': ΧΛΩΜΟΥΔΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

- ΜΕΛΟΣ Β': ΘΕΟΤΟΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

- ΜΕΛΟΣ Γ': ΛΑΓΟΥΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

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

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Το λιμάνι από την αρχή	7
1.1 Η Εξέλιξη των Λιμανιών από την 1η έως την 4η Γενιά	8
1.2 Η εμφάνιση των Smart Ports και ο ρόλος της τεχνολογίας	8
1.3 Ο ρόλος του COVID-19 στην πραγματικότητα των λιμένων	10
1.4 Αποτελέσματα COVID-19 στα λιμενικά συστήματα	10
1.4.1 Αποτελέσματα COVID-19 στα containerships	11
1.4.1.1. Τι είναι τα εμπορευματοκιβώτια	12
1.4.2 Επιπτώσεις στην αγορά χύδην ξηρού φορτίου	13
1.4.3 Επιπτώσεις του Covid στην Dry Bulk αγορά-Σύγκριση με τη Liner αγορά	14
1.5 Ερωτήματα- Σκοπός χρησιμότητας διπλωματικής εργασίας	15
1.5.1 Ερευνητικό ερώτημα	15
1.5.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	16
1.5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση	16
2.1 Η παραδοσιακή Λιμενική Εργασία και η εξέλιξη του με τη πάροδο του χρόνου	18
2.2 Σύγχρονη εποχή - Αναβάθμιση υποδομών Λιμένα	20
2.3 Internet of Things (IoT)	20
2.4 Digital Twin (DT)	21
2.5 Blockchain	23
2.5.1 Πλεονεκτήματα Blockchain	24
2.5.2 Μειονεκτήματα Blockchain	24
2.6 Τεχνητή Νοημοσύνη- Artificial Intelligence	25
2.6.1 Πλεονεκτήματα Τεχνητής Νοημοσύνης	25
2.7 Οι νέες τεχνολογίες που εγκαθιδρύθηκαν	26
2.8 Δυσκολίες εγκαθίδρυσης των Smart Ports-Λύσεις που προσφέρουν	27
2.9 Το λιμενικό ανθρώπινο δυναμικό στη πάροδο του χρόνου	31
CASE STUDY- ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ROTTERDAM	33
3.1 Εισαγωγή	33
3.1.1 Τεχνολογίες των Terminals του Rotterdam	34
3.2 Αυτοματοποιημένα οχήματα (AGVs), Γερανοί (STS) , Λειτουργικά συστήματα Τερματικών (TOS)	34
3.2.2 Σένσορες και συστήματα Ελέγχου	35
3.2.3 Επεκτάσεις και pure τεχνολογία - APMT MVII	35
3.2.4 Διαχείριση Logistics και Time Slot Control	36

3.2.5 Digital Twin (DT) και Προγνωστική Προσομοίωση.....	36
3.2.6 Blockchain και Διαλειτουργικότητα.....	36
3.3 ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	36
3.4 Κριτική αξιολόγηση – Πλεονεκτήματα και περιορισμοί του Ρότερνταμ Smart Port....	37
3.5 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	39
3.6 Τελικά Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης του Λιμένα Ρότερνταμ.....	40
4. Επιβεβαίωση της θεωρίας υποστήριξης των ‘έξυπνων λιμένων’	41
Βιβλιογραφία	43

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ-ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ-ΣΧΗΜΑΤΩΝ

1.ΣΧΗΜΑ Οι Δραστηριότητες του λιμένα 3 ^{ης} Γενιάς.....	9
2. ΓΡΑΦΗΜΑ:Επιπτώσεις στη διακίνηση φορτίων λόγω COVID-19.....	13
3.ΠΙΝΑΚΑΣ Υπολογισμοί UNCTAD περί επιπτώσεων Covid-19 στη χύδην αγορά.....	14
4 ΠΙΝΑΚΑΣ Υπολογισμοί UNCTAD περί επιπτώσεων Covid-19 στη αγορά εμπορευματοκβωτίων.....	14
5. ΕΙΚΟΝΑ Internet of Things.....	20
6. ΕΙΚΟΝΑ Internet of Things in a society.....	22
7.ΕΙΚΟΝΑ Λιμένας του Ρότερνταμ.....	32

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει το μέλλον της λιμενικής εργασίας εν μέσω των σύγχρονων τεχνολογικών αλλαγών που προκαλούνται από την αυτοματοποίηση, τον ψηφιακό μετασχηματισμό και την Τεχνητή Νοημοσύνη, καθώς και τις μεταβολές που επιταχύνθηκαν μετά την πανδημία COVID-19. Η πανδημία ανέδειξε την επιτακτική ανάγκη για ενισχυμένη ανθεκτικότητα και προσαρμοστικότητα στις λιμενικές δραστηριότητες, δρώντας ως επιταχυντικός παράγοντας για την υιοθέτηση ψηφιακών εργαλείων αλλά και την περεταίρω ωρίμανση του μοντέλου των <<Έξυπνων Λιμένων>>. Στο πλαίσιο αυτό περιγράφεται η ιστορική εξέλιξη των λιμένων από την αρχαιότητα έως τη σύγχρονη εποχή με έμφαση στις τεχνολογικές καινοτομίες που καθόρισαν την λειτουργία τους όπως η χρήση εμπορευματοκιβωτίων, η χρήση μηχανημάτων ανύψωσής αλλά και συστημάτων ελέγχου και διοίκησης.

Ακολουθεί η διερεύνηση της πορείας προς την μετάβαση των Έξυπνων Λιμένων, καθώς η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το Δίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα ψηφιακά δίδυμα (Digital Twins) και οι πλατφόρμες ανάλυσης πληροφοριών αναδιαμορφώνουν τις λειτουργίες των λιμανιών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση του Λιμένα του Ρότερνταμ, ο οποίος αποτελεί ένα από τα πλέον χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής προηγμένων συστημάτων αυτοματοποίησης και ψηφιακής διαχείρισης. Επιπλέον, η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στο πώς αυτές οι καινοτομίες επιδρούν στο εργατικό δυναμικό, φέρνοντας αλλαγές στα απαραίτητα προσόντα, στις εργασιακές συνθήκες και στην περαιτέρω διαμόρφωση του ρόλου των απασχολούμενων εντός του σημερινού λιμενικού περιβάλλοντος.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Έξυπνο Λιμάνι, Ψηφιοποίηση, COVID-19, Ρότερνταμ, Ανθρώπινο Δυναμικό

This study examines the future of port work amid contemporary technological changes brought about by automation, digital transformation, and artificial intelligence, as well as the changes that have accelerated since the COVID-19 pandemic. The pandemic has highlighted the urgent need for enhanced resilience and adaptability in port activities, acting as an accelerator for the adoption of digital tools and the further maturation of the "Smart Ports" model. In this context, the historical development of ports from antiquity to the modern day is described, with an emphasis on the technological innovations that have defined their operation, such as the use of containers, lifting equipment, and control and management systems.

Further investigation of the path towards Smart Ports is required, as the integration of technologies such as the Internet of Things (IoT), Digital Twins, and information analysis platforms are reshaping port activities. Particular emphasis is placed on the analysis of the port of Rotterdam, which is one of the most characteristic examples of the application of advanced automation and digital management systems. In addition, this study focuses on how these

innovations affect the workforce, bringing about changes in the required skills, working conditions, and the further shaping of the role of workers in the current port environment.

KEYWORDS: Smart port, Digitalization, COVID-19, Rotterdam, Human resources

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή κο Χλωμούδη Κ. για την μεταφορά γνώσεων, την καθοδήγηση του και τον σχολιασμό του επί του συγκεκριμένου θέματος στην εργασία αυτή. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κύριο Λαγούδη Ι. και τον κύριο Θεοτοκά Ι. Επιπλέον, θα ήθελα να πω ενα ευχαριστώ σε όλους τους διδάσκοντες του προγράμματος για την καθοδήγηση και την υποστήριξη που παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου πορείας στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα αυτό.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη μου προς την οικογένειά μου για την αμέριστη υποστήριξη, την υπομονή και την ενθάρρυνση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών και της εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ-Η ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ

1.Το λιμάνι από την αρχή

Με τον όρο λιμάνι από τα χρόνια της αρχαιότητας αναφερόμαστε στον ασφαλή όρμο στον οποίο κατευθύνονται τα πλοία προκειμένου να προφυλαχτούν από καιρικές αλλαγές αλλά κυρίως και για ενέργειες ανεφοδιασμού και πράξεις εμπορικής φύσεως.

Ο ακριβής ορισμός του λιμανιού αναφέρεται στην φυσική ή (πλέον) τεχνητή παραθαλάσσια περιοχή που επιτρέπει την αγκυροβόληση πλοίων με σκοπό την προστασία του από καιρικές συνθήκες. Λόγω των διάφορων συνθήκων που έχουν επηρεάσει τη κάθε εποχή ο όρος αυτός είχε διαφορές, όπως πχ να προστεθεί στον όρο και ο πιθανός λιμένας σε ένα ποτάμι, λίμνη κλπ.

Οι λιμένες μπορούν να διαταχθούν σε διαφορετικές κατηγορίες με βάση την ιστορική-χρονολογική σειρά:

Φυσικοί Λιμένες: αφορά την κατηγορία των φυσικών ορμών που σχηματίστηκαν από τη θάλασσα και ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε ώστε να προστατέψει τα πλοία από φυσικά φαινόμενα. Με την πάροδο των χρόνων δημιουργήθηκαν τα πρώτα τεχνικά λιμάνια με το πρώτο να καταγράφεται από τους Κρήτες το 2000 π.Χ..

Παραδοσιακά Λιμάνια: ακολουθεί την ίδια λογική με αυτή του φυσικού λιμανιού αλλά με την τεράστια διαφορά ότι έχει κατασκευαστεί και διαμορφωθεί από τον άνθρωπο με σκοπό τον ελλιμενισμό των πλοίων σε συγκεκριμένες περιοχές. Αυτό είχε σκοπό την εκμετάλλευση του γεωγραφικού τόπου στο οποίο ήταν χτισμένο το λιμάνι για εμπορικούς λόγους όπως φορτοεκφόρτωση και αποθήκευση αγαθών.

Σύγχρονα λιμάνια: Αφορά τους λιμένες της σημερινής εποχής οι οποίοι συνδέουν την θαλάσσια με την χερσαία τεχνολογία μεταφοράς. Πέρα από την κλασσική λειτουργία του λιμανιού για προστασία από καιρικά φαινόμενα, τα σύγχρονα λιμάνια αποσκοπούν στην εξυπηρέτηση του επιβάτη αλλά και την σύνδεση του με την ενδοχώρα. Παράλληλα, πλέον δύναται η δυνατότητα να υπάρχουν τερματικοί σταθμοί (Terminals), όπου ο καθένας εξυπηρετεί διαφορετικού είδους εμπόρευμα (Dry, Containers etc) , διαφορετικού είδους πλοίο (tanker , bulk carrier, containership) και διαφορετικού είδους μέγεθος πλοίου (panamax , aframax, handysize).

Επομένως, αντιλαμβανόμαστε ότι σε ένα περιβάλλον το οποίο εξελίσσεται και μεταβάλλεται συνεχώς τα λιμάνια καλούνται να παίξουν ένα ρολό διαφορετικό από του παραδοσιακού, καθώς πλέον δεν εξυπηρετούν μόνο το βασικό αρχέγονο σκοπό, αλλά αποτελούν κρίκο μιας ευρύτερης αλυσίδας συνδυασμένων μεταφορών.

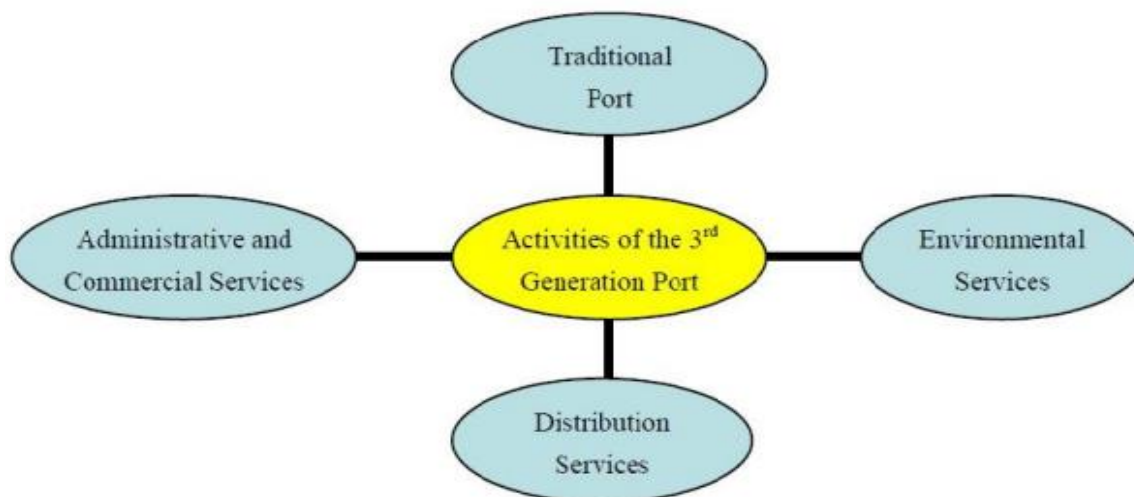
1.1 Η Εξέλιξη των Λιμανιών από την 1η έως την 4η Γενιά

Η πρώτη κατηγοριοποίηση των λιμένων έγινε από τον ΟΗΕ (*UNCTAD*) το 1992, βάσει τριών βασικών κριτηρίων: την αναπτυξιακή πολιτική, την επέκταση δραστηριοτήτων και την οργανωτική προσέγγιση κάθε λιμένα. Με βάση αυτά, τα λιμάνια κατατάσσονται σε τέσσερις γενιές.

- Τα λιμάνια *πρώτης γενιάς* (μέχρι το 1960) λειτουργούσαν απλά ως σημεία φορτοεκφόρτωσης, χωρίς διασύνδεση με την πόλη ή ιδιωτική συμμετοχή.
- Τα λιμάνια *δεύτερης γενιάς* εξελίχθηκαν σε εμπορικά και βιομηχανικά κέντρα, με συνεργασία με την τοπική κοινωνία και ανάγκη για μεγαλύτερα πλοία.
- Τα λιμάνια *τρίτης γενιάς* εντάχθηκαν πλήρως στη διεθνή εφοδιαστική αλυσίδα, με χρήση τεχνολογίας και παροχή εξειδικευμένων υπηρεσιών *logistics*, ενώ διαφοροποιήθηκαν στρατηγικά από τις προηγούμενες γενιές.
- Τέλος, τα λιμάνια *τέταρτης γενιάς* χαρακτηρίζονται από καινοτομία, αυτοματοποίηση και συνεργασία μεταξύ λιμένων. Αποτελούν κόμβους γνώσης και τεχνολογίας, όπως δείχνει η περίπτωση Κοπεγχάγης–Μάλμε, που συνεργάζονται στρατηγικά για την αντιμετώπιση ανταγωνιστικών προκλήσεων.

1.2 Η εμφάνιση των Smart Ports και ο ρόλος της τεχνολογίας

Αρχικά πρέπει να γίνει σαφές η εξέλιξη η οποία έγινε από την 3η γενιά στην 4η γενιά λιμένων. Η τρίτη γενιά η οποία ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980 φέρνει νέες ιδεολογίες, έναν γενικό φιλελευθερισμό και την ενδυνάμωση του ιδιωτικού τομέα στους λιμένες, οι οποίοι πλέον αναπτύσσονται λόγω της χρήσης των εμπορευματοκιβωτίων. Τα λιμάνια της τρίτης γενιάς εξελίσσονται σε επιχειρηματικούς και μεταφορικούς κόμβους ως κρίκοι της παγκόσμιας εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι κρίκοι αυτοί, με επίκεντρο τις δραστηριότητες της τρίτης γενιάς, περιλαμβάνουν τα παραδοσιακά λιμάνια ως βασικό τους στοιχείο, καθώς και περιβαλλοντικές, εμπορικές, διοικητικές και διανεμητικές υπηρεσίες (*Pardali A. 2005, σελ.22*). Με απλά λόγια, τα λιμάνια πλέον συνδέονται με την ενδοχώρα και αναπτύσσονται τα λεγόμενα *dry ports*, τα οποία λειτουργούν ως κέντρα *logistics* και διανομής, με βασικό φορτίο τα *containers*.



ΟΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΙΜΕΝΑ 3ΗΣ ΓΕΝΙΑΣ

Από την άλλη μεριά οι λιμένες 4ης γενιάς χαρακτηρίζονται ως ‘κέντρα πληροφορίας και γνώση’. Πλέον το προσωπικό δεν αποτελείται από απλούς λιμενεργάτες δίχως μορφωτικό επίπεδο και εξειδίκευση. Η εργασία στο λιμάνι θεωρείται απαιτητική, καθώς χρειάζεται γνώσεις σε κάθε της πτυχή. Η διαχείριση δεδομένων, η υψηλή εξάρτηση από κεφάλαια και η εκτεταμένη χρήση ειδικά διαμορφωμένων τερματικών, καθιστά το εξειδικευμένο προσωπικό ζήτημα ζωτικής σημασίας.

Οι βασικές λειτουργίες του λιμένα με το πέρασμα του χρόνου αλλάζουν. Με διαφορετικό τρόπο γινόταν το φόρτωμα του πλοίου το 1900 που γέμιζαν τα πλοία με σακιά, αλλιώς το 1970, με την αρχή των πρώτων container, και αλλιώς, το πλέον 2026, όπου τα ρομπότ γερανοφόροι έχουν αναλάβει την πλειοψηφία του φόρτου εργασίας. Πράγματι, η χρήση ρομποτικών γερανών (Automated Quay Cranes ή ASC-Automated Stacking Cranes) για τη πλήρως αυτόνομη μετακίνηση εμπορευματοκιβωτίων σε ειδικά διαμορφωμένα terminals είναι η καθημερινότητα ενός λιμανιού της 4ης γενιάς. Τέτοιους γερανούς έχουν λιμάνια όπως το Busan, το Rotterdam κ.ά. Παράλληλα, ολοκληρωμένα δίκτυα συνεργαζόμενων λιμένων, όπως πχ το Κοπεγχάγη- Μάλμε με κοινή διοίκηση, είναι ένα άλλο στοιχείο το οποίο οδηγεί σε μια νέα τέταρτη γενιά.

Γενικότερα, σε σχέση με τις πιο παλαιές γενεές δίνεται πλέον ιδιαίτερη σημασία στην έννοια των Logistics. Πλέον δεν υπάρχει μόνο η λογική του συντομότερου δρομολογίου στην φιλοσοφία των Logistics. Δίνεται βάρος στην αποδοτικότητα, τόσο του πλοίου, όσο και των λιμένων. Η 4η γενιά των λιμανιών έχει ως απώτερο σκοπό να εκμηδενίσει όσο γίνεται περισσότερο το χρόνο ελλιμενισμού. Αυτό καθίσταται δυνατόν με την αυτοματοποίηση διαδικασιών πριν καν μπει το πλοίο στο λιμάνι (operators, ρυμουλκά, πιλότοι), καθώς και με τη βοήθεια γερανών και διάφορων άλλων συστημάτων, τα οποία έχουν πλέον σαν βοηθό την συνεισφορά του AI (Artificial Intelligence).

Συμπερασματικά, οι λιμένες 4ης γενιάς μπορούν να χαρακτηριστούν ως Smart ports, καθώς ξεφεύγουν εντελώς από το πρότυπο του παρελθόντος, όπου ο ελλιμενισμός θεωρείτο μια χρονοβόρα διαδικασία υλοποιημένη από εργάτες. Πλέον υπάρχουν λιμένες οι όποιοι

επεκτείνουν το μοντέλο του λιμανιού σε ένα ευφύες και πλήρως συνδεδεμένο πλαίσιο, στο οποίο η τεχνολογία, και όχι απλώς το κεφάλαιο ή η εργασία, καθορίζει τη δυναμική και την απόδοση του λιμένα. Έτσι λειτουργούν ως Hubs σε ένα διεθνές δίκτυο, συντονίζοντας real-time δεδομένα και συνεργασία μεταξύ των εμπλεκόμενων (Πλοίου- Λιμανιού- ΙΜΟ) για μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας, της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας.

Είναι επιτακτική ανάγκη να κατανοήσουμε ότι ο όρος και γενικότερα ο εκσυγχρονισμός των λιμένων, είναι μια on-going διαδικασία. Δηλαδή, πραγματοποιείται κάθε μέρα και δεν είναι ένα ολοκληρωμένο έργο. Με άλλα λόγια, πρόκειται για μια διαδικασία η οποία εξελίσσεται και σημειώνει προόδους ανάλογους με την πρόοδο της τεχνολογίας. Όμως, πολλές φορές, υπάρχουν και συνθήκες που κρατάνε την ‘εξυπνοποίηση’ πίσω. Τέτοιες είναι γεωπολιτικές συνθήκες όπως πόλεμοι (Ρωσία-Ουκρανία, Ιράν-Ισραήλ), οικονομικές συνθήκες (δασμοί Trump) καθώς και απρόβλεπτες συνθήκες όπως ο COVID-19 ο οποίος σάρωσε τον πλανήτη αφήνοντας θετικά και αρνητικά αποτελέσματα.

1.3 Ο ρόλος του COVID-19 στην πραγματικότητα των λιμένων

Ξεκινώντας από τα βασικά, η COVID-19 είναι μια νόσος που προέρχεται από έναν ιό που λέγεται κορονοϊός ή αλλιώς SARS-CoV-2. Πρόκειται για έναν ιό ο οποίος μέχρι το 2019 δεν είχε μελετηθεί από τους επιστήμονες. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην Κίνα το 2019 στην περιοχή Γιουχάν. Μετά από 4 μήνες ο ιός αυτός ανακηρύσσεται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας ως πανδημία. Πρόκειται για μια νόσο η οποία μεταδίδεται μέσω του στόματος, με βήξιμο και με την ομιλία ή μέσω της μύτης με τα σταγονίδια σάλιου από το φτερνίσματα.

Οι επιπτώσεις που αφήνει ο COVID-19 είναι καταστροφικές σε όλους τους τομείς. Οι κυβερνήσεις σχεδόν όλων των χωρών έκριναν ως επιτακτική ανάγκη την καραντίνα του πληθυσμού με κατοίκων περιορισμούς και εξόδους μόνο για απαραίτητες ενέργειες. Πλέον η δουλειά των ανθρώπων περιορίστηκε αποκλειστικά από την τηλεργασία, στην οποία οι εργαζόμενοι ήταν υποχρεωμένοι να δουλεύουν από το σπίτι μέσω ψηφιακών πλατφορμών. Όπως είναι αναμενόμενο, αυτό στην αρχή ήταν ένα τεράστιο πρόβλημα καθώς υπήρχαν πάρα πολλά θέματα στην υλοποίηση αυτού του έργου. Αυτά αφορούσαν είτε τη ταχύτητα του ιντερνέτ, είτε την απουσία εξοπλισμού ή εξοικείωσης με τα υπολογιστικά συστήματα. Με τον καιρό, αυτά τα προβλήματα ξεπεράστηκαν και οι εργασίες του πληθυσμού αρχίσαν να αυτοματοποιούνται.

Η αυτοματοποίηση ξεκίνησε με την ανάπτυξη διάφορων εργαλείων που θα μπορούσαν να αποτελέσουν την πλατφόρμα εργασίας για διάφορες εταιρείες από σχεδόν όλους τους τομείς εργασιακής απασχόλησης. Τέτοιες εφαρμογές ήταν το Zoom, το Webex κλπ. Παράλληλα υπήρξαν αυτοματισμοί και ευκολία σε υπηρεσίες υγείας.

1.4 Αποτελέσματα COVID-19 στα λιμενικά συστήματα

Με την καραντίνα να αποτελεί τεράστιο πρόβλημα για το τομέα της ναυτιλίας, σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της φυσικής επαφής, η στροφή σε πλατφόρμες online για αιτήσεις, άδειες εισόδου και εξόδου, πληρωμές και ανταλλαγή εγγράφων κατέστη η μονή εφικτή λύση. Έτσι, σταδιακά αναπτύχθηκε η χρήση Port Community Systems (PCS) και Maritime Single Window. Αυτή η σύνδεση μπορεί να αφορά, για παράδειγμα, μια ναυτιλιακή εταιρεία που επιθυμεί να ενημερωθεί για τα λιμενικά τέλη, έναν πράκτορα που αναζητά λεπτομέρειες για

ένα συγκεκριμένο σκάφος που τον απασχολεί, αλλά και πλήθος άλλων παραγόντων που θα ήθελαν να έρθουν σε επαφή με τη λιμενική εγκατάσταση για διεκπεραίωση εγγράφων.

Παράλληλα, με τους περιορισμούς μετακίνησης και τους αυστηρούς ελέγχους σε λιμάνια, οδηγήθηκαν οι φορείς σε τηλεργασία του προσωπικού. Αυτοματοποιημένες πύλες, οι οποίες απαιτούσαν ειδικά καρτελάκια ή ειδικούς κωδικούς μείωσαν αισθητά τους χρόνους που απαιτούσαν η γραφειοκρατία και οι χειροκίνητοι έλεγχοι. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκαν νέες θέσεις εργασίας για ανθρώπους εξοικειωμένους με την τεχνολογία, οι οποίοι θα μπορούσαν remote να κινήσουν τις απαραίτητες διαδικασίες για τα καρτελάκια ή τους κωδικούς αυτούς. Χάρη σε αυτούς καθώς και στην ύπαρξη των ειδικών εφαρμογών, οι διαδικασίες μειώθηκαν έως και 60% σε διαδικαστικό χρόνο.

Ακόμα, με την εμφάνιση τόσο γρήγορης και εναλλασσόμενης ροής πληροφορίας, βρέθηκαν πολλά κενά στα υπάρχοντα συστήματα. Η πλειοψηφία των ήδη υπάρχοντων δεδομένων είχε συστημικά λάθη και πολλές φορές προκαλούσε σφάλματα. Μερικές φορές, τα σφάλματα ήταν τέτοια ώστε προκαλούσαν ολικό σφάλμα στην ιστοσελίδα ή ακόμα και στον server. Έτσι, για ακόμα μια φορά, οι υπεύθυνοι του λιμένα έπρεπε να βρουν λύση ώστε να μπορέσουν να αποφύγουν τέτοιες καταστάσεις. Ειδικότερα, μεγάλα λιμάνια όπως ο Πειραιάς, το Σεούλ και το Qingdao τα οποία καθημερινά έχουν δεκάδες εκατοντάδες πλοία και επιπροσθέτως χιλιάδες αγαθά (ειδικά Containers), έπρεπε με αστραπιαίους ρυθμούς να καταπολεμήσουν συστημικά λάθη τα οποία θα αποτελούσαν εμπόδιο στην εύρυθμη λειτουργία. Για τον λόγο αυτόν, εφαρμόστηκαν συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο (real-time-monitoring) που εντόπιζαν άμεσα δυσλειτουργίες στα δίκτυα ενώ οι διαδικασίες μεταφόρτωσης δεδομένων πέρασαν σε υποδομές σύννεφου (Cloud) με τη δυνατότητα της άμεσης ανάκτησης. Αυτό γινόταν με την καταγραφή των δεδομένων σε μεγάλους servers. Έτσι περιορίζεται ο κίνδυνος διακοπής της λειτουργίας.

Παράλληλα, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στη διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πλατφορμών που χρησιμοποιούνται από πλοιοκτήτες, τελωνεία και εταιρείες logistics. Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη ενιαίων ψηφιακών οικοσυστημάτων με πρότυπα επικοινωνίας που μειώνουν τα λάθη και επιτρέπουν την ασφαλή ανταλλαγή δεδομένων.

1.4.1 Αποτελέσματα COVID-19 στα containerships

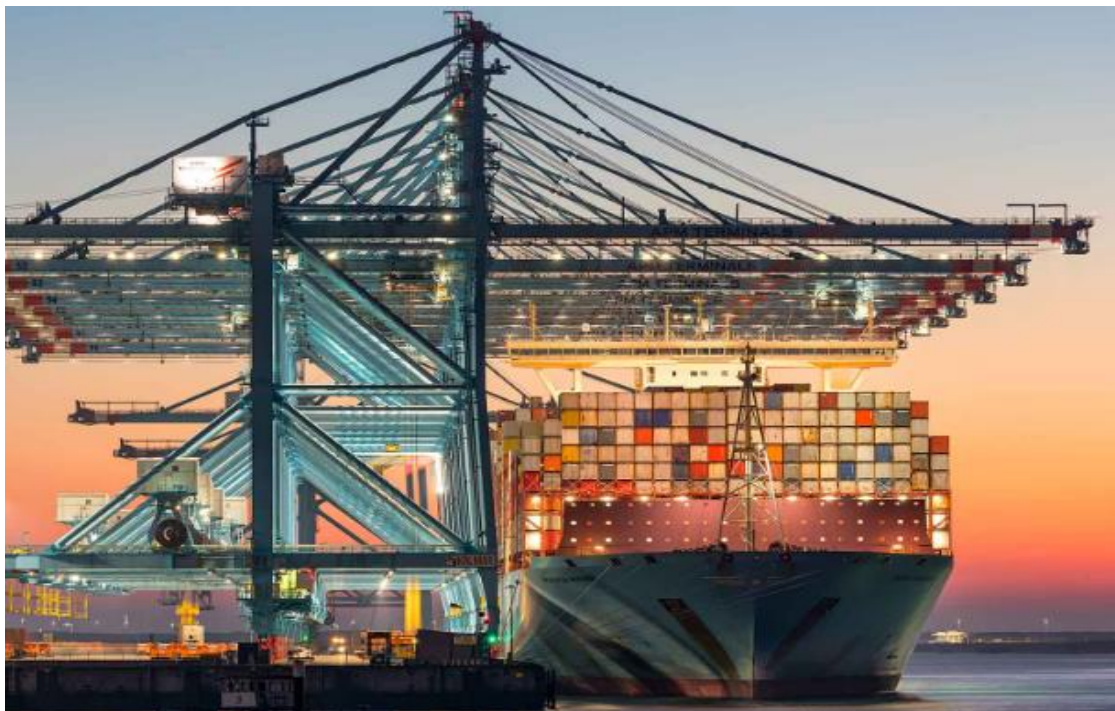
Έχουμε φτάσει σε ένα σημείο όπου το εμπόριο μεταξύ ηπείρων και χωρών γίνεται κατά κύριο λόγο μέσω της ναυτιλίας. Λογού χάρη, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι μεταφορές που γίνονται μέσω θαλάσσης αγγίζουν το 64% και από αυτές, οι εσωτερικές είναι στο 40%, ενώ οι εξωτερικές στο 90%. Κυρίως υπεύθυνος για αυτή την κατάσταση είναι η αγορά των container η οποία όλο και ανθίζει. Μεγάλο και αποφασιστικό ρόλο σε αυτό είχε η εφεύρεση του κιβωτίου θαλάσσιας μεταφοράς (container) και στη συνέχεια, των reefer container, τα οποία επιτρέπουν την μεταφορά εμπορευμάτων, πάσης φύσεως, που απαιτούν ψύξη. Παρ'όλα αυτά, ακόμα και αυτή η ζωτικής σημασίας αγορά, δέχτηκε μεγάλο πλήγμα από τον κορονοϊό.

1.4.1.1. Τι είναι τα εμπορευματοκιβώτια

Μέχρι το 1955 τα περισσότερα εμπορεύματα συσκευαζόντουσαν σε σακιά, τα οποία με αρκετά αργούς και σταθερούς ρυθμούς φορτώνονταν στο αμπάρι των πλοίων από τους λιμενεργάτες. Μετά από τον απαιτούμενο χρόνο του ταξιδιού, η ίδια διαδικασία έπρεπε να επαναληφθεί αντιστρόφως. Αυτή την κατάσταση θέλησε να εκμεταλλευτεί ο Malcolm McLean το 1956, ο οποίος είχε την ευφυή ιδέα να εφεύρει έναν πιο δραστικό τρόπο φόρτωσης και εκφόρτωσης των εμπορευμάτων από τα πλοία. Έτσι, σκέφτηκε να κατασκευάσει ένα μεταλλικό κουτί, το οποίο θα είχε μεγαλύτερες διαστάσεις από τα σακιά, και το οποίο, μέσω ειδικών γερανών, θα φορτώνεται στα πλοία. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χώρου, χρόνου, κόστους και εργατικού δυναμικού. Η ιδέα του αυτή, όχι απλά εφαρμόζεται, αλλά 70 χρόνια μετά, υπάρχουν κάθε στιγμή στη θάλασσα γύρω στα 5 εκατομμύρια containers και ο συνολικός τους αριθμός να ξεπερνάει τα 17 εκατομμύρια.

1.4.1.2 Τύποι εμπορευματοκιβωτίων

Τα εμπορευματοκιβώτια διαχωρίζονται ανάλογα με το πλάτος και το ύψος τους. Υπάρχουν τα 20 TEU (twenty-foot equivalent unit) και τα 40 TEU (twenty-foot equivalent unit). Πλέον υπάρχουν παρόμοια, ακριβώς ίδιων διαστάσεων, κιβώτια, με τη διαφορά ότι αυτά έχουν ενσωματωμένο σύστημα ψύξης για τη μεταφορά προϊόντων σε ελεγχόμενη θερμοκρασία, η οποία φτάνει από τους -30 έως και τους +30 Βαθμούς Κελσίου.



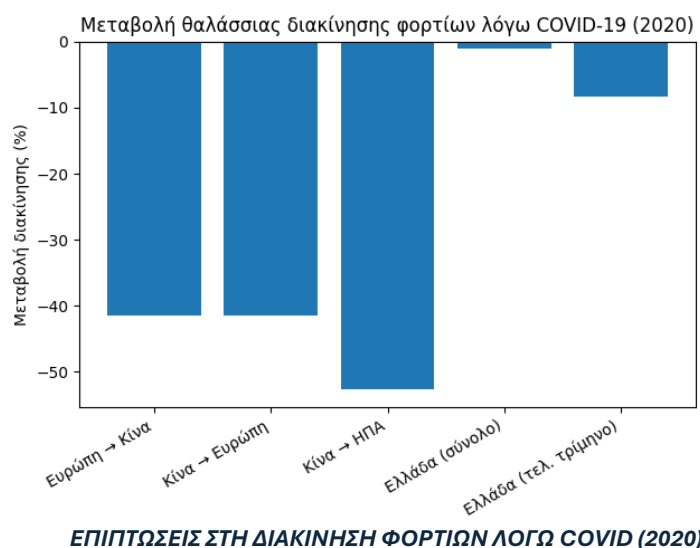
1.4.1.3 Επιπτώσεις στην αγορά των εμπορευματοκιβωτίων

Σύμφωνα με τον *Οικονομικό Ταχυδρόμο (OT, 2021)* η διακίνηση το 2020 ήταν μικρότερη. Πιο συγκεκριμένα, τα δρομολόγια των πλοίων από την Ευρώπη προς την Κίνα και τις ΗΠΑ ήταν μειωμένα σε σχέση με το 2019. Επίσης, από την Κίνα στη Ευρώπη καταγράφηκε μείωση 41,5% ενώ στην αντίθετη πλευρά έπεσε κατά 52,7%. Αυτή η εξέλιξη αφορά όλα τα πλοία. Όσον αφορά τα δρομολόγια από Ευρώπη προς ΗΠΑ και αντίστροφα, η κατάσταση ήταν η ίδια. Αντίθετα, η διακίνηση στην Ελλάδα σύμφωνα με την μελέτη GREPORT (*Πάλλης Α. Βαγγέλης Γ., 2021*) δεν επηρεάστηκε σημαντικά κατά την πανδημία του COVID19. Μειώθηκε μόλις κατά 1% σε σχέση με το 2019 και πιο συγκεκριμένα, από τον Μάρτιο μέχρι τον Αύγουστο, τα πλοία που επισκέπτονταν το λιμάνι ήταν περισσότερα. Ωστόσο, δεν ισχύει το ίδιο για το τελευταίο τρίμηνο του 2019, καθώς καταγράφηκε μείωση κατά 8,3%.

1.4.2 Επιπτώσεις στην αγορά χύδην ξηρού φορτίου

Τι είναι το χύδην και ξηρό φορτίο

Αγαθά τα οποία μεταφέρονται ‘χύμα’ σε μεγάλες δεξαμενές φορτίου, οι οποίες καλύπτονται και μεταφέρονται, ονομάζονται χύδην φορτία. Σε αντίθεση με τα εμπορευματοκιβώτια, τα αγαθά στη προκειμένη περίπτωση δεν περιέχονται σε κάποια συσκευασία και φορτώνονται κατευθείαν σε αμπάρι (Hold). Χαρακτηρίζονται από ομοιογένεια, συχνά με τη μορφή σωματιδίων, και μετριοούνται σε deadweight tonnage (DWT). Τέτοια αγαθά είναι τα σιτηρά, το κάρβουνο, τα σιδηρομεταλλεύματα, ο βωξίτης, η ζάχαρη και άλλα πολλά ακόμα. Τέλος τα πλοία τα οποία συνεχώς αυξάνουν το μέγεθος τους ονομάζονται Bulk carriers και υπάρχουν διάφορες κατηγορίες ανάλογα το φορτίο το οποίο μεταφέρουν.



1.4.3 Επιπτώσεις του Covid στην Dry Bulk αγορά-Σύγκριση με τη Liner αγορά

Στην περίπτωση των πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου η επίδραση του ιού ήταν σοβαρή. Επηρέασε κυρίως την αγορά της Λατινικής Αμερικής σε ποσοστό μείωσης 21,6% όπως και της Αυστραλίας με ποσοστό -18,6%. Οι περιοχές αυτές, και κυρίως η Βραζιλία, είναι περιοχές με σημαντικές εξαγωγές ξηρών φορτίων χύδην (η Βραζιλία εξάγει κυρίως σιδηρομεταλλεύματα και ορυκτά σε χώρες της Ανατολής). Όσον αφορά την Ευρώπη, τα πράγματα ήταν σχετικά καλύτερα σε ποσοστό -11,4%, επηρεάζοντας μεγάλα λιμάνια όπως το Ρότερνταμ, του Αντβερμπ, του Αμβούργου και φυσικά του Πειραιά. Χώρες της Άπω Ανατολής είχαν μείωση της τάξεως του 3,6%. Εν τω μεταξύ, στην Βόρεια Αμερική, ο αριθμός των πλοίων παρέμεινε σταθερός δίχως μεγάλες επιπτώσεις. Το δεύτερο τρίμηνο του 2020 δεν ήταν ιδανικό, αλλά επηρέασε την Άπω Ανατολή επιδερμικά με ένα ποσοστό 3,6%. Αυτό δεν ήταν αρκετό για να αντιστρέψει την θετική τάση που είχε παρατηρηθεί κατά τους πρώτους τρεις μήνες του ίδιου έτους, όπως συνέβη στην περιοχή του Κόλπου και της Νότιας Καρολίνας (Gulf & ISC region).

ALL	Australasia & Oceania	Europe & Med	Far East	Gulf & ISC	Latin America	North America	Sub Saharan Africa
Calls 2020	1.868	25.247	30.287	4.053	4.948	3.631	4.394
Calls 2019	2.294	28.507	30.225	4.006	6.309	3.632	4.761
Total	-18,6%	-11,4%	0,2%	1,2%	-21,6%	0,0%	-7,7%
Q2	-14,5%	-15,1%	-3,6%	-7,0%	-19,0%	2,8%	-1,6%

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ UNCTAD ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ COVID-19 ΣΤΗ ΧΥΔΗΝ ΑΓΟΡΑ

Όλο αυτό έρχεται σε αντίθεση με την αγορά των εμπορευματοκιβωτίων (Containerships), στην οποία στα αναπτυσσόμενα κράτη (SIDS) και στις λιγότερες ανεπτυγμένες χώρες (LDCs) υπήρξαν οι πιο απότομες μειώσεις στις προσεγγίσεις πλοίων (Calls) χύδην φορτίου. Τα ποσοστά αυτά ήταν 18%, 26,8% και 12,8% . Τέλος στις ανεπτυγμένες χώρες καταγράφηκαν μείωση 6,5% ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες μείωση 1%. (Υπολογισμοί UNCTAD , σύμφωνα με τα AIS δεδομένα από την MarineTraffic)

	Developed	Developing	LDC	In transition	SIDS
Calls 2020	45.287	103.455	3.284	5.021	917
Calls 2019	48.414	104.536	3.764	6.126	1.253
Total	-6,5%	-1,0%	-12,8%	-18,0%	-26,8%
Q2	-7,8%	-4,5%	-13,6%	-7,5%	-40,1%

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ UNCTAD ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΓΟΡΑ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ

1.5 Ερωτήματα- Σκοπός χρησιμότητας διπλωματικής εργασίας

1.5.1 Ερευνητικό ερώτημα

Από την αρχή της συγκεκριμένης εργασίας έχουμε κάνει διάφορες στάσεις σε διαφορετικά θεματικά ‘λιμάνια’. Κατανοήσαμε την αρχή των λιμένων, καθώς και πως αυτά παρήλθαν από διάφορες γενιές μέχρι την τωρινή (4η γενιά) σε σημείο εξυπνοποίησης και ολικής αλλαγής της έννοιας του λιμένα. Στη συνέχεια, μάθαμε τι είναι ο κορονοϊός (COVID-19) και πως αυτός επηρέασε τα μεγάλα λιμάνια του πλανήτη. Τέλος, είδαμε την επίδραση που είχε πάνω στις δύο μεγαλύτερες αγορές της ναυτιλίας. Έχοντας πλέον τις απαραίτητες γνώσεις μπορούμε να κατανοήσουμε ότι καθολικά τα λιμάνια εκσυγχρονίζονται και βιώνουμε την αλλαγή κάθε μέρα που περνάει.

Για την πληρέστερη διερεύνηση του παραπάνω ερωτήματος, η ανάλυση οργανώνεται γύρω από τα ακόλουθα επιμέρους ερευνητικά ερωτήματα:

- Ποιες τεχνολογικές και οργανωτικές μεταβολές χαρακτηρίζουν τη σύγχρονη λιμενική λειτουργία στο πλαίσιο των Smart Ports;
- Πώς μετασχηματίζονται οι απαιτήσεις δεξιοτήτων, το μορφωτικό επίπεδο και ο ρόλος του ανθρώπινου δυναμικού;
- Σε ποιον βαθμό η τεχνητή νοημοσύνη υποστηρίζει ή αναδιαμορφώνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στα λιμάνια;
- Πώς αποτυπώνονται οι παραπάνω αλλαγές σε ένα σύγχρονο ευρωπαϊκό λιμάνι μέσω της μελέτης περίπτωσης του Λιμένα του Ρότερνταμ;

Φυσικά, είναι λογικό να ανακύψει το ερώτημα ποιες ακριβώς τεχνολογίες αυτοματοποίησης και τεχνητής νοημοσύνης ενσωματώνονται στους σημερινούς λιμένες, αυτούς που αποκαλούμε «Εξυπνους Λιμένες» ("Smart Ports"). Επιπρόσθετα, εγείρεται το ενδιαφέρον για το πώς κάθε επιμέρους τερματικός σταθμός (terminal) μεταβάλλει τη συνολική σημασία του λιμενικού συγκροτήματος μέσω της εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών. Επιπλέον, το ανθρώπινο στοιχείο σε αυτό το νέο τοπίο χρήζει διερεύνησης, όπως και η ανάγκη εντοπισμού των δυσκολιών που αναδύονται από τη μελέτη ενός αντιπροσωπευτικού διεθνούς παραδείγματος, καθώς και των βελτιωτικών απαντήσεων που προκύπτουν από την πορεία του λιμανιού προς τον εκσυγχρονισμό (την περίπτωση μελέτης του Ρότερνταμ).

Κατόπιν, θα προβούμε σε διερεύνηση των παραπάνω ζητημάτων, τόσο αυτών που επηρεάζονται άμεσα όσο και όσων ακολουθούν. Τελικά, θα καταλήξουμε σε μια αξιολόγηση σχετικά με την αναγκαιότητα ή μη του να καταστούν οι λιμενικές εγκαταστάσεις «έξυπνες».

1.5.2 ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η πρωταρχική επιδίωξη της παρούσας μελέτης συνίσταται στη διερεύνηση του τρόπου αλληλεπίδρασης μεταξύ των τεχνολογικών καινοτομιών και της ανθρώπινης συνιστώσας, εντός του πλαισίου της τρέχουσας λιμενικής λειτουργίας. Συγκεκριμένα, οι ειδικοί στόχοι που επιδιώκονται είναι οι εξής:

- να αναδείξει τις βασικές διαστάσεις του μετασχηματισμού των λιμένων προς το μοντέλο του Smart Port
- να εξεταστεί η αλλαγή στην αποστολή και στις αναγκαίες ικανότητες του εργατικού δυναμικού,
- οφείλει να διερευνηθεί η διαδικασία μέσω της οποίας η τεχνητή νοημοσύνη επιδρά στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων διατηρώντας παράλληλα την εποπτεία από τον άνθρωπο,
- είναι απαραίτητη η γεφύρωση της θεωρητικής ανάλυσης με την εμπειρική εφαρμογή μέσω της εξέτασης ενός συγκεκριμένου παραδείγματος (Λιμάνι Ρότερνταμ)

1.5.3 Μεθοδολογική προσέγγιση

Στην παρούσα μελέτη, ενσωματώνεται μια μικτή μεθοδολογία έρευνας, ποιοτικής φύσης, η οποία εξασφαλίζει τη σύνθεση θεωρητικής θεμελίωσης και την πρακτική διερεύνηση πεδίου. Εκτελείται ενδεδειγμένη ανασκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας, όπου περιλαμβάνονται δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, ακαδημαϊκά άρθρα, εκθέσεις διεθνών φορέων, καθώς και κανονιστικά έγγραφα που άπτονται του ψηφιακού μετασχηματισμού των λιμενικών εγκαταστάσεων, της ενσωμάτωσης της τεχνητής νοημοσύνης, και των επιπτώσεων αυτών των εξελίξεων στο εργατικό δυναμικό. Η εν λόγω βιβλιογραφική εξέταση υπερβαίνει την απλή παράθεση των τεχνολογικών καινοτομιών, επικεντρώνοντας αντιθέτως στην κριτική αξιολόγηση των οργανωτικών, κοινωνικών και εργασιακών προεκτάσεων αυτών.

Σε αυτό το δεύτερο στάδιο διερεύνησης, το εγχείρημα χρησιμοποιεί τη μελέτη περίπτωσης για πρωταρχικό μέσο εξέτασης, καθώς επιλέγει να εστιάσει στο λιμάνι του Ρότερνταμ, βλέποντάς το ως χαρακτηριστικό υπόδειγμα ενός σύγχρονου, "έξυπνου" λιμένα. Η όλη εξέταση στηρίζεται σε στοιχεία που έχουν ήδη συλλεχθεί, αντλούμενα από επίσημα κείμενα σχεδιασμού της αρμόδιας λιμενικής αρχής, αναφορές για τη βιωσιμότητα, τεχνικές αναλύσεις και δημοσιευμένες ακαδημαϊκές εργασίες. Ο σκοπός είναι να αποκαλυφθεί η διαδικασία με την οποία οι τεχνολογικές καινοτομίες ενσωματώνονται στον τρόπο λήψης αποφάσεων και πώς, ως αποτέλεσμα, αναδιαμορφώνεται η θέση και η λειτουργία του ανθρώπου στην όλη διαδικασία. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση της ενσωμάτωσης ψηφιακών και συστημάτων υποβοήθησης αποφάσεων εντός του λιμένα του Ρότερνταμ, στηρίζεται σε έρευνες που εστιάζουν στη σημασία των συστημάτων βασισμένων σε δεδομένα και της συνεργασίας πολλαπλών φορέων για την εκτέλεση των λιμενικών δραστηριοτήτων. Αυτές οι μελέτες φωτίζουν τις επιπτώσεις στην οργάνωση και τις μεταβαλλόμενες προδιαγραφές ικανοτήτων που αντιμετωπίζει το εργατικό δυναμικό (*Delft University of Technology, 2021*). Παράλληλα,

η αξιολόγηση που παρουσιάζεται σε επιστημονικές επιθεωρήσεις εντός του πεδίου της ναυτιλιακής και λιμενικής τεχνικής, όπως το περιοδικό «*Maritime Science and Engineering*», βοηθά στην ένταξη του Ρότερνταμ στο ευρύτερο διεθνές πλαίσιο των Έξυπνων Λιμένων. Αυτό υπογραμμίζει την ηγετική του θέση ως προς την υιοθέτηση ψηφιακών μεθόδων, περιλαμβάνοντας τα συστήματα Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), τα ψηφιακά αντίγραφα (Digital Twins) και τα εργαλεία διοίκησης που βασίζονται σε δεδομένα (Valenzuela-Silva, 2021· Kuipers & Zuidwijk, 2020).

Εν κατακλείδι, η διερεύνηση που εστιάζει σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένα σε δεδομένα και πολύ-πρακτορικές (multi-agent) αρχιτεκτονικές, εντός των εγκαταστάσεων του Ρότερνταμ, διακοσμείται με σκοπό να τονίσει τον εν ενεργεία ρόλο των αυτοματοποιημένων μηχανισμών και του τρόπου που αλληλοεπιδρούν με την εποπτεία που ασκεί ο άνθρωπος. Κατ' επέκταση, η επιλογή του Λιμένος του Ρότερνταμ ως αντικείμενο ανάλυσης δικαιολογείται, αφενός, λόγω της καινοτόμου φύσεως του εγχειρήματος και, αφετέρου, διότι προσφέρει το υπόβαθρο για την εξαγωγή ευρύτερων συναγωγών αναφορικά με την εξέλιξη των εργασιών στους λιμένες και τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στο σημερινό ευρωπαϊκό λιμενικό τοπίο.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ-Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΩΝ

2.1 Η παραδοσιακή Λιμενική Εργασία και η εξέλιξη του με τη πάροδο του χρόνου

Η παραδοσιακή λιμενική εργασία και η πρόοδος της ανά τα χρόνια

Η ραχοκοκαλιά του διεθνούς εμπορίου ήταν και είναι η παραδοσιακή λιμενική εργασία, με τους εργάτες, λιμενεργάτες συγκεκριμένα, να διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη φόρτωση και εκφόρτωση πλοίων. Αναφερόμαστε σε μια εποχή στην οποία δεν υπήρχε η αυτοματοποίηση και δεν υπήρχαν τα εμπορευματοκιβώτια που σήμερα έχουν διευκολύνει την 'δουλειά'. Κάποτε η εργασία στον λιμένα ήταν η πιο απλή εργασία που μπορούσε να κάνει κάποιος. Τα βασικά κριτήρια ήταν: αντοχή στο βάρος και στις πολλές ώρες εργασίας.

Η αρχή γίνεται από την αρχαιότητα κιόλας όταν άρχισαν οι πρώιμοι λαοί να ανταλλάζουν εμπορεύματα μεταξύ τους. Τρανά παραδείγματα λαών που ξεκίνησαν την εμπορευματική ανταλλαγή αγαθών είναι οι Έλληνες (τότε Σπαρτιάτες, Αθηναίοι και Κρήτες), οι Ρωμαίοι και οι Αιγύπτιοι. Το εμπόριο μέσω θαλάσσης βοήθησε τους λαούς αυτούς να ακμάσουν και να διαμορφώσουν σπουδαίες οικονομίες. Σε αυτά τα χρόνια, όπου τα πλοία ήταν πολύ πιο μικρά σε μέγεθος, τα εμπορεύματα που φόρτωναν ήταν περιορισμένα. Αυτά αποτελούνταν κυρίως από κρασί, ξύλα, μέταλλα, ορυκτά κλπ. Περιορισμένος ήταν και ο τρόπος που μπορούσε να κουβαλήσει κάποιος το εμπόρευμα από τον τόπο αποθήκευσης στην αποβάθρα, έπειτα στο πλοίο και τέλος στον προορισμό του. Ο παραδοσιακός, χειρωνακτικός τρόπος ήταν αυτός που επικρατούσε, με αποτέλεσμα οι εργάτες να κουβαλούν χιλιάδες τσουβάλια, σάκους και αμφορείς. Το εμπόριο στην αρχαία Αθήνα κυλάει τόσο ομαλά, πράγμα που οδηγεί στην 'άνθιση' του λιμένα, με αποτέλεσμα ήδη τον 5ο αιώνα, να υπάρχουν οι πρώτες αποβάθρες και οι πρώτες αποθήκες κοντά σε αυτές.

Τόσο στην αρχαιότητα όσο και στον μεσαίωνα αλλά και μέχρι τη δεκαετία του 1960, η λιμενική εργασία είναι επάγγελμα το οποίο στο ολοκληρωτικό του σύνολο αποτελούνταν από φτωχούς εργάτες ή αγρότες που δούλευαν εποχικά. Λόγω του χαμηλού βιοτικού επιπέδου και των συχνών παρεξηγήσεων που προκύπταν στις εργασιακές σχέσεις, η απασχόληση χαρακτηριζόταν από έλλειψη σταθερότητας. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα κάθε πρωί να μαζεύονται εκατοντάδες άνθρωποι στις πύλες του λιμένα και να περιμένουν να σταθούν τυχεροί μήπως και τους επιλέξει κάποιος εργοδότης. Την ίδια στιγμή και εν αντιθέσει με τη φτώχεια και την απαξίωση του προσωπικού, τα λιμάνια διαρκώς μεγάλωναν και άνθιζαν. Πλέον υπάρχουν και τα υπερατλαντικά ταξίδια, στα οποία τα πλοία μεταφέρουν πολλά περισσότερα εμπορεύματα σε πολλά περισσότερα λιμάνια. Στην Γένοβα, τη Βενετία και τη Μασσαλία έχουν αρχίσει και χτίζονται μόνιμα πέτρινα κρηπιδώματα για την ασφαλή πρόσδεση πλοίων. Παράλληλα αναπτύσσονται τεχνικά έργα τα οποία βοηθούν στη προστασία από κύματα και καταιγίδες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο λιμενοβραχίονας στη Ρόδο.

Σταδιακά πλέον μπαίνουμε στην αρχή της βιομηχανικής επανάστασης και αυτό δεν αφήνει ανεπηρέαστα τα λιμάνια. Το κορυφαίο εργαλείο το οποίο εγκαθίσταται σε όλα τα λιμάνια με γοργούς ρυθμούς είναι οι γερανοί και μηχανισμοί ανύψωσης (cranes). Παράλληλα, αναπτύχθηκαν οι τροχοφόροι γερανοί (treadwheel cranes) που κινούνταν ή από τους εργάτες ή από ζωική δύναμη, με σκοπό τον εκμηδενισμό των χρόνων φορτοεκφόρτωσης. Αυτοί τοποθετούνταν είτε πάνω σε πύργους είτε σε πλωτές εξέδρες (floating cranes), επιτρέποντας πιο εύκολη ανύψωση βαρέων φορτίων (π.χ. πέτρα, ξυλεία, κρασιά)

Μια άλλη διάπλαση η οποία έγινε και έφερε εφορεία τόσο στην πολιτεία όσο και στους αρμόδιους των λιμανιών ήταν τα τελωνεία. Μέσω αυτών, τα εμπορεύματα ελέγχονταν και φορολογούνταν, αναλόγως του τόπου προέλευσής τους και της ποσότητάς τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Fondaco dei Tedeschi (13ος αιώνας) που είχε καταφέρει να συνδυάσει την αποθήκη του με το τελωνείο [*Lane, Venice: A Maritime Republic (1973)*].

Τέλος, εξελίχθηκαν τεχνολογίες με ρίζες ήδη από την αρχαιότητα, όπως οι φάροι – όπου αρχικά χρησιμοποιούνταν πυρσοί για την καθοδήγηση των πλοίων – αλλά και συστήματα μέτρησης του βυθού, που βοηθούσαν στην αποφυγή προσάραξης. Αποκορύφωμα της τεχνολογικής επανάστασης στον τομέα των λιμένων είναι, όπως αναλύσαμε και στην εισαγωγή, η εφεύρεση των εμπορευματοκιβωτίων (Containers). Η εφεύρεση αυτή ήταν τόσο αποκαλυπτική που ώθησε την αγορά στη δημιουργία νέων ειδών πλοίου, νέων υποδομών στα λιμάνια, νέων τεχνολογιών και προφανώς μιας νέας αγοράς.

Εν κατακλείδι, η περίοδος που ακολούθησε την πρώτη Βιομηχανική επανάσταση σηματοδότησε μια κρίσιμη καμπή για την εξέλιξη των θαλάσσιων λιμένων. Η προοδευτική υιοθέτηση μηχανημάτων ανύψωσης (γερανών), μηχανολογικών μέσων, και η δημιουργία δομημένων τελωνειακών συστημάτων, άλλαξαν ριζικά τον τρόπο διακίνησης των φορτίων. Αυτή η μετάβαση επιταχύνθηκε σημαντικά με την υιοθέτηση των κοντέινερ, τα οποία επέβαλαν επαναστατικές μεθοδολογίες για την τοποθέτηση, εκφόρτωση και τον έλεγχο των προϊόντων, περιορίζοντας την εξάρτηση από την αποκλειστικά χειρωνακτική προσπάθεια για μεταφορά και φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων. Κατά συνέπεια, οι λιμενικές λειτουργίες απέκτησαν αυξημένη δομή και ικανότητα πρόβλεψης, ενώ ταυτόχρονα η τεχνολογία ενδυναμώθηκε ως ο πρωταρχικός μοχλός για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ασφάλειας εντός των λιμενικών εγκαταστάσεων.

Αυτή η αλλαγή, τόσο σε επίπεδο δομής όσο και σε επίπεδο τεχνολογίας, οδήγησε σε αξιοσημείωτες μεταβολές και για το εργατικό δυναμικό, αφού καταγράφηκε μια σαφής άνοδος στις ανάγκες για εξειδικευμένες τεχνικές ικανότητες και ένα υψηλότερο ελάχιστο εκπαιδευτικό υπόβαθρο. Οι εργαζόμενοι στις αποβάθρες βρέθηκαν αντιμέτωποι με την ανάγκη να υιοθετήσουν νέες αρμοδιότητες σχετικές με τη διαχείριση μηχανολογικού εξοπλισμού, την επίβλεψη των διακινούμενων εμπορευμάτων και την τήρηση των υφιστάμενων κανονισμών από την πλευρά των αρχών και των τελωνείων. Παρότι η μετάβαση αυτή περιόρισε τη ζήτηση για ανειδίκευτη εργασία, δημιούργησε ταυτόχρονα προϋποθέσεις για την αναβάθμιση της επαγγελματικής θέσης ενός σημαντικού μέρους του εργατικού δυναμικού. Το ιστορικό αυτό παράδειγμα αναδεικνύει ότι οι τεχνολογικές τομές στα λιμάνια συνοδεύονται από βαθιές

μεταβολές στον τρόπο εργασίας και προετοιμάζει το έδαφος για την κατανόηση της σύγχρονης εποχής, όπου η αναβάθμιση των λιμενικών υποδομών και η ψηφιοποίηση επαναπροσδιορίζουν εκ νέου τη σχέση ανθρώπου και τεχνολογίας.

2.2 Σύγχρονη εποχή - Αναβάθμιση υποδομών Λιμένα

Με την πάροδο του χρόνου η τεχνολογία δεν έκανε απλά βήματα αλλά άλματα με αποτέλεσμα σχεδόν κανένας τομέας να μην μπορεί να εκσυγχρονιστεί. Ο εξοπλισμός τόσο των πλοίων όσο και της ενδοχώρας του λιμανιού με ιντερνέτ κατάφερε να εκμηδενίσει το χρόνο επικοινωνίας που απαιτούνταν τόσο μεταξύ πλοίου-λιμανιού όσο και του λιμανιού-αρμόδιων φορέων. Έτσι, πέρα από τεχνολογίες βαρέας δύναμης (πχ εκσυγχρονισμένα cranes), τα λιμάνια εξοπλίστηκαν με τη καλύτερη εφεύρεση του 20ου αιώνα: το ιντερνέτ.

Πλέον όμως τα λιμάνια δεν περιορίζονται σε τεχνολογίες βαριάς μηχανικής, αλλά αξιοποιούν και άλλες ψηφιακές καινοτομίες με σκοπό την βελτίωση της αποδοτικότητας, της ασφάλειας και της βιωσιμότητας. Όντας στο 2026, η τεχνητή νοημοσύνη (AI- Artificial Intelligence) είναι το πιο πολυσυζητημένο θέμα και ζούμε την εγκαθίδρυση και μονιμοποίηση του στη ζωή μας. Παράλληλα ολοένα και περισσότερο αξιοποιούνται τεχνολογίες όπως το Internet of Things (IoT), το Digital Twin καθώς και το Blockchain, τα οποία έχουν αρχίσει να μεταμορφώνουν ριζικά τον τρόπο που λειτουργούν τα λιμάνια, δημιουργώντας τις βάσεις για τα λεγόμενα “έξυπνα λιμάνια” (smart ports).

2.3 Internet of Things (IoT)

Σύμφωνα με το IBM, ο όρος αναφέρεται σε ένα δίκτυο φυσικών συσκευών όπως αισθητήρες σε γερανούς, κοντέινερ και οχήματα συλλέγοντας δεδομένα για τοποθεσίες, κατάσταση και λειτουργία. Παράλληλα, αυτοί οι αισθητήρες και τα οχήματα διαθέτουν το ανάλογο λογισμικό και τη συνδεσιμότητα δικτύου που τους επιτρέπει τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων. Το IoT μπορεί να συμβάλει στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας των λιμένων μέσω του εκμηδενισμού του χρόνου ελλιμενισμού. Επιπρόσθετα, μπορεί να αποφευχθεί ο συνωστισμός και η συμφόρηση του λιμανιού, κυρίως από πλοία εμπορευματοκιβωτίων, καθώς τα trackers ενημερώνουν έγκαιρα το λιμάνι για επικείμενες αφίξεις.



INTERNET OF THINGS

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονίσουμε ότι για να λειτουργήσει ομαλά το παραπάνω σύστημα έχουν συμβάλει οι ναυτιλιακές και οι κανόνες του άκρως αυστηρού IMO (International Maritime Organization) . Από τη μια οι ναυτιλιακές θέλουν να έχουν συνεχώς ‘μάτια’ επάνω στα πλοία τους, τόσο για την ασφάλεια του πληρώματος όσο και του ίδιου του πλοίου και του φορτίου. Από την άλλη, ο IMO αναγκάζει τα πλοία πλέον να έχουν τα πιο εκσυγχρονισμένα συστήματα AIS (συστήματα αναγνώρισης πλοίων που μεταδίδουν και λαμβάνουν δεδομένα θέσης, πορείας και ταχύτητας σε πραγματικό χρόνο).

Επομένως, ενώ η τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) παρέχει τη δυνατότητα για αδιάλειπτο έλεγχο και διαχείριση του εξοπλισμού, η ουσιαστική της χρησιμότητα αναδύεται μόνον όταν συνδυάζεται με την ανθρώπινη συμμετοχή. Ο ρόλος των εργαζομένων μετασχηματίζεται: δεν εξαλείφονται, αλλά αναβαθμίζονται σε ρόλους επίβλεψης και ανάλυσης, αναλαμβάνοντας την ευθύνη για αποφάσεις που λαμβάνονται άμεσα, γεγονός που καθιστά την ακριβή λήψη αποφάσεων καθοριστική.

2.4 Digital Twin (DT)

Το Digital Twin είναι μια αρκετά επαναστατική εφεύρεση που βοηθάει, κυρίως, στην πρόληψη ατυχημάτων. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα ψηφιακό αντίγραφο (replica) ενός φυσικού συστήματος, στην προκειμένη περίπτωση ενός λιμανιού που ενημερώνεται ζωντανά από αισθητήρες IoT (Internet of Things) και άλλα δεδομένα. Το Digital Twin μπορεί να εφαρμοστεί και σε μικρότερης κλίμακας συστήματα, όπως αυτό ενός γερανού ή ακόμα και ενός πλοίου. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι δεν είναι λίγες οι ναυτιλιακές εταιρείες που πλέον φαίνονται διατεθειμένες να επενδύσουν σε συστήματα Digital Twin στα πλοία τους.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το Digital Twin (DT) βασίζεται αρκετά στο Internet of Things. Αυτό αποτελεί το πρώτο από τα 3 βασικά μέρη λειτουργίας του DT. Πλέον οι λιμένες εξοπλίζουν σχεδόν όλα τα μηχανήματα τους με σένσορες μέτρησης και αποστολής δεδομένων.

Αυτοί μετράνε στοιχεία όπως τη θερμοκρασία, τις δονήσεις τόσο μέσα στη θάλασσα όσο και έξω, ή την υγρασία σε κρίσιμα σημεία.

Το δεύτερο μέρος αποτελεί το Edge computing, το οποίο επεξεργάζεται δεδομένα πραγματικού χρόνου με σκοπό την αποφυγή καθυστερήσεων και σφαλμάτων σε κρίσιμες περιπτώσεις, όπως σε μια ισχυρή καταιγίδα, με αλγορίθμους που επανασχεδιάζουν την διαδρομή. Κάπου εδώ πλέον κάνει την είσοδο της δυναμικά και η τεχνητή νοημοσύνη, η οποία μέσω αυτών των αλγορίθμων κάνει rerooting την διαδρομή και προτείνει δράσεις ώστε να οδηγηθεί το πλοίο αρχικά στο terminal και έπειτα να κυλήσουν όλα με την μέγιστη ασφάλεια.

Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη (AI) βοηθάει και δέχεται βοήθεια από τους αισθητήρες αυτούς, καθώς το τρίτο κομμάτι του Digital Twin αποτελούν οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης. Ουσιαστικά, ζωντανά δεδομένα συγκρίνονται τόσο μεταξύ τους, όσο και με αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα, με σκοπό να προβλέπουν τα πιθανά αποτελέσματα μιας δράσης στο λιμάνι. Μερικά από αυτά είναι η φθορά κινητήρων, καθώς και πιθανές βλάβες άλλων μηχανημάτων όπως γερανοί, τροχοφόρα, ρυμουλκά ή η συμμόρφωση των πλοίων που εισέρχονται στο λιμάνι σε νόμους περί ρύπων αλλά και η συμμόρφωση σε κάποιο τερματικό σταθμό. Στο Ρότερνταμ η χρήση ψηφιακού διδύμου μείωσε τον χρόνο αναμονής των πλοίων κατά 30%, προβλέποντας καλύτερα παλιρροϊκά μοτίβα και ενημερώνοντας το πλοίο τόσο για αυτά, όσο και για τη διαθεσιμότητα πρόσδεσης.



Η επιχειρησιακή επίδραση των ψηφιακών διδύμων είναι αρκετά σημαντική:

- Το Digital Twins μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές CO₂ κατά 30-55 εκατομμύρια τόνους ετησίως ενώ κατά 7 εκατομμύρια στα λιμάνια που δένουν τα πλοία.
- Οι IoT-συνδεδεμένες εφοδιαστικές αλυσίδες αναμένεται να εξοικονομήσουν στον κλάδο περίπου **1,9 τρισεκατομμύρια δολάρια** μέσω βελτιστοποίησης αποθεμάτων, καυσίμων και εργατικού κόστους (McKinsey, 2024).

Ενώ το σχέδιο των ψηφιακών διδύμων ευδοκίμει σε τεράστιο βαθμό, δεν παραλείπονται και κάποιες προκλήσεις. Αρχικά, ένα τεράστιο εμπόδιο είναι ότι λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων που παράγονται οι λιμένες απαιτείται να διαθέτουν τεράστιο αριθμό servers και διαθέσιμου χώρου σε αυτούς. Παράλληλα, παρότι αυτό το πρόβλημα πια αντιμετωπίζεται, δημιουργείται άλλο. Οι ναυτιλιακές δεν έχουν εξοπλίσει τα πλοία τους με συστήματα εναρμόνισης με τα ψηφιακά δίδυμα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν τα συστήματα του πλοίου να συγχρονιστούν με αυτά του λιμανιού. Τέλος, τα ψηφιακά δίδυμα είναι εξοπλισμός προηγμένης και ‘ευαίσθητης’ τεχνολογίας που απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό. Η εύρεση του τόσο εξειδικευμένου προσωπικού αποτελεί τεράστιο τροχοπέδη για το τμήμα διοίκησης προσωπικού των λιμένων. Μια πιθανή λύση που εξετάζεται από μεγάλους λιμένες όπως το Ρότερνταμ και το Αντβερμπ, είναι να εκπαιδεύει το προσωπικό της κατευθείαν πάνω στα συστήματα αυτά υπό τις οδηγίες ειδικών.

Τέλος εδώ θα πρέπει να σχολιαστεί μια κρίσιμη λεπτομέρεια- Η τεχνολογία δεν παίρνει μόνη της αποφάσεις αναιρώντας τον ανθρώπινο παράγοντα. Αντίθετα η ανθρώπινη παρέμβαση είναι ανάγκη καθώς οι εργαζόμενοι καλούνται να ερμηνεύσουν τα δεδομένα, να προβλέψουν πιθανά προβλήματα και να σχεδιάσουν βελτιώσεις. Αυτό σημαίνει ότι ο ρόλος τους μετατρέπεται από εκτελεστικό σε στρατηγικό, απαιτώντας ανώτερου επιπέδου δεξιότητες, τεχνολογική επάρκεια και ικανότητες επίλυσης προβλημάτων. Με πιο απλά λόγια, χρειάζεται ο σωστός άνθρωπος στη συγκεκριμένη θέση. Παράλληλα, η δυνατότητα προσομοίωσης μειώνει τα περιθώρια σφάλματος, αλλά ταυτόχρονα θέτει το ερώτημα για το ποιοι αποφασίζουν πότε και πώς θα εφαρμοστούν οι προτάσεις του ψηφιακού μοντέλου — δηλαδή, η ανθρώπινη κρίση παραμένει αδιαπραγμάτευτη, και η εκπαίδευση σε στρατηγική διαχείριση καθίσταται κρίσιμη.

2.5 Blockchain

Το Blockchain θεωρείται σήμερα ως η πέμπτη εξέλιξη της ηλεκτρονικής επεξεργασίας δεδομένων. Ο πρώτος ορισμός είναι από το 2008 από τον Satoshi Nakamoto, ο οποίος το περιέγραψε ως ένα σύστημα ηλεκτρονικών συναλλαγών μετρητών peer-to-peer. Στη ναυτιλία, το blockchain είναι μία βάση δεδομένων, στην οποία αποθηκεύονται πληροφορίες με τρόπο που δημιουργείται μία συνεχής αλυσίδα δεδομένων και στη συνέχεια ομαδοποιούνται προκειμένου να σχηματίσουν συστοιχίες (blocks). Η τεχνολογία που υποστηρίζει, ονομάζεται τεχνολογία κατανεμημένου καθολικού (distributed ledger technology). Ουσιαστικά πρόκειται

για ένα ψηφιακό ‘τετράδιο’ στο οποίο καταγράφονται όλες οι συναλλαγές δίχως να μπορούν να διαγραφούν ή παραλλαχτούν τα περιεχόμενα που αναγράφονται μέσα σε αυτά.

2.5.1 Πλεονεκτήματα Blockchain

Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι περισσότερα από τα μειονεκτήματα της . Αρχικά συμβάλει στη μείωση της γραφειοκρατίας που απαιτείται. Εάν αναλογιστούμε πόσες πλευρές χρειάζεται να συμφωνήσουν για την είσοδο ενός πλοίου στο λιμάνι. Για παράδειγμα απαιτείται να εμπλακούν οι πράκτορες, η ναυτιλιακή, οι αρμόδιοι του λιμανιού και άλλοι πολλοί. Το blockchain βοηθάει στη μείωση της γραφειοκρατίας ανάμεσα σε όλους αυτούς τους εμπλεκόμενους. Ταυτόχρονα συμβάλλει και στην μείωση του χρόνου καθυστέρησης στα τελωνεία λόγω λιγότερων λαθών και κόστους. Όταν ένα πλοίο φτάσει σε λιμάνι, το blockchain μπορεί να εκτελεί αυτόματα ,έλεγχο εγγράφων, πληρωμή τελών λιμανιού ,αποδέσμευση φορτίου. Απαραίτητα έγγραφα πλέον δεν χάνονται εφόσον όλα είναι καταγεγραμμένα ηλεκτρονικά. Επιπλέον οι πληρωμές γίνονται πολύ πιο γρήγορα (Bill of lading) και άμεσα λόγω του ότι όλες οι απαραίτητες πληροφορίες είναι μέσα στο Blockchain. Τέλος η εικόνα της ασφάλειας συναλλαγών είναι καλύτερη μιας και το ‘τετράδιο’ αυτό διασφαλίζει ότι δεν πρόκειται για απάτες. Η πλήρη διαφάνεια όλων των πλευρών είναι υποχρεωτική.

2.5.2 Μειονεκτήματα Blockchain

Από την άλλη πλευρά τα προβλήματα που εμποδίζουν πλήρως το Blockchain να ευδοκιμήσει πλήρως είναι κλασσικά και τετριμμένα. Αρχικά το υψηλό κόστος ενέργειας το οποίο είναι απαραίτητο για ένα τέτοιο σύστημα. Μαζί με αυτό προφανώς προκύπτει και το γιγαντιαίο κόστος που χρειάζεται για ένα τέτοιο σύστημα. Η δυσκολία της κλιμάκωσης αυτής της αλυσίδας είναι ανησυχητική γιατί όσο μεγαλώνει το δίκτυο τόσο πιο αργές θα είναι οι συναλλαγές. Έτσι όσο μεγαλώνει το δίκτυο τόσο αυξάνεται το κόστος και μειώνεται η ταχύτητα διαδικασιών. Τέλος προκύπτουν πολύ συχνά προβλήματα νομικού χαρακτήρα και ρυθμιστικά εμπόδια, λόγω του ότι πολύ συχνά οι ναυτιλιακές δεν θέλουν πολύς κόσμος να έχει πρόσβαση στα αρχεία αυτά ενώ ένα άλλο πρόβλημα είναι η έλλειψη τεχνογνωσίας και διαχείρισης του συγκεκριμένου ‘κοινόχρηστου’ χαρτοφυλακίου.

2.5.3 Συμπέρασμα περί Blockchain

Η τεχνολογία Blockchain θεμελιώνει την ασφάλεια, τη διαφάνεια και την αδυναμία αλλαγής στα αρχεία των συναλλαγών και της μετακίνησης αγαθών, επιτρέποντας, κατ' αρχήν, την αυτοματοποίηση διεργασιών που άλλοτε απαιτούσαν ανθρώπινη επιβεβαίωση. Παρόλα αυτά, η ουσιαστική της χρησιμότητα αναδεικνύεται όταν την εξετάσουμε υπό το πρίσμα της ανθρώπινης παρέμβασης: το ανθρώπινο δυναμικό είναι αυτό που επιβλέπει την άπογη λειτουργία του δικτύου, χειρίζεται τις αποκλίσεις και καθορίζει την ενσωμάτωση των

πληροφοριών στις εργασίες ρουτίνας. Συμπερασματικά, αυτό που προκύπτει είναι πως η τεχνολογία δεν εξαλείφει την ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό, αλλά απεναντίας, αναβαθμίζει τη θέση του σε θεμελιώδη παράγοντα για τη διατήρηση της αξιοπιστίας και την τήρηση των κανονιστικών πλαισίων. Παράλληλα αυτή η κατάσταση γεννά δυσκολίες στον τομέα της εκπαίδευσης και της διοίκησης. Απαιτείται η κατοχή ικανοτήτων για την αντίληψη της θεμελιώδους δομής του Blockchain, την παρακολούθηση των μεταφορών αξίας και τη διασφάλιση της πιστότητας των καταχωρήσεων. Συγκεκριμένα, η διαρκής παρατήρηση των συναλλαγών είναι ίσως το κρισιμότερο σημείο, διότι στο πρόσφατο παρελθόν, υπήρξαν αρκετά περιστατικά όπου σημειώθηκε σκόπιμη αλλοίωση συναλλαγών και χειραγώγηση με στόχο την απόσπαση της προσοχής των υπευθύνων. Έτσι, η τεχνολογία μετατρέπεται σε μέσο που ενεργοποιεί τον άνθρωπο στη διαδικασία της κρίσης και της απόφασης, αντί να τον εκτοπίζει.

2.6 Τεχνητή Νοημοσύνη- Artificial Intelligence

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει ξεπεράσει το ρόλο του συμπληρωματικού εργαλείου και πλέον αποτελεί ίσως το βασικότερο εφόδιο ενός λιμένα. Μέχρι το τέλος του 2028 θεωρείται δεδομένο ότι τα μεγαλύτερα λιμάνια του κόσμου θα έχουν αντικαταστήσει τουλάχιστον το 60% των μηχανημάτων τους με σύγχρονα τα οποία υποστηρίζουν την συνδρομή της τεχνητής νοημοσύνης . Αυτά τα συστήματα συνδυάζουν ετερογενείς πηγές δεδομένων, ιστορικά πρότυπα της ναυτικής επιστήμης, ζωντανά σήματα AIS (Automatic Identification System) τοπικά μετεωρολογικά μοντέλα. Για παράδειγμα, η πλατφόρμα της Mearsk ,ενός κολοσσού της ναυτιλίας, Captain Peter μείωσε τη κατανάλωση του καυσίμου εντός των λιμένων κατά 12% το 2023, ρυθμίζοντας δυναμικά την ταχύτητα των πλοίων σύμφωνα με τα παλιρροϊκά ρεύματα και τη συμφόρηση στα λιμάνια. Αυτό όμως έγινε ,τουλάχιστον στο Ρότερνταμ, με τη συνδρομή χρήσης πλατφόρμας AI το οποίο προειδοποίησε τους αρμόδιους του λιμανιού για πιθανή συμφόρηση καθώς και για πιθανές μεταβολές του καιρού.

2.6.1 Πλεονέκτηματα Τεχνητής Νοημοσύνης

Η ενσωμάτωση της Τεχνητής Νοημοσύνης στα σημερινά λιμενικά συγκροτήματα επιφέρει αξιόλογα οφέλη όσον αφορά τη βελτίωση της αποδοτικότητας, την τακτοποίηση των εργασιών και την υποστήριξη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μέσω της ανάλυσης τεράστιων ποσοτήτων πληροφοριών που συλλέγονται από πληθώρα πηγών –συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων, συστημάτων εφοδιαστικής αλυσίδας, δικτύων μετακινήσεων και πλατφορμών διαχείρισης εμπορευματοκιβωτίων– τα συστήματα AI είναι ικανά να διαμορφώνουν εξαιρετικά ακριβείς προβλέψεις αναφορικά με την κίνηση των φορτίων, την εναλλαγή των οχημάτων και τη διάρκεια της αναμονής. Λύσεις όπως το Captain Peter της Maersk ,που αναφέρθηκε παραπάνω, καταδεικνύουν πως η τεχνητή νοημοσύνη δεν περιορίζεται στον ρόλο ενός πρόσθετου βοηθήματος, αλλά λειτουργεί ως κεντρικός άξονας ο οποίος εναρμονίζει ποικίλες ροές δεδομένων και ενδυναμώνει τη λήψη κρίσιμων επιχειρησιακών επιλογών.

Επιπροσθέτως, η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης συνεισφέρει στην άνοδο της ποιότητας των εργασιακών συνθηκών για το ανθρώπινο κεφάλαιο. Η αυτοματοποίηση κάποιων επαναλαμβανόμενων ή επισφαλών ενεργειών ελαχιστοποιεί την έκθεση των

εργαζομένων σε απειλές και ανυψώνει το μέτρο της ασφάλειας εντός των λιμενικών υποδομών. Παράλληλα, ο χαρακτήρας της απασχόλησης μεταλλάσσεται, καθώς οι εργαζόμενοι καλούνται να καλλιεργήσουν νέες ψηφιακές ικανότητες και τεχνολογικές γνώσεις, αναλαμβάνοντας κυρίως καθήκοντα επιτήρησης, διοίκησης των συστημάτων και ανάλυσης πληροφοριών. Ως εκ τούτου, το εργατικό δυναμικό δεν τίθεται σε αντικατάσταση, αλλά υφίσταται ποιοτική αναβάθμιση, συμμετέχοντας πιο έμπρακτα στην διαδικασία λήψης αποφάσεων και στον χειρισμό των πολύπλοκων λιμενικών εργασιών. Η σπουδαιότητα αυτών των τεχνολογικών εργαλείων φάνηκε εντονότερα κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19, οπότε τα λιμάνια όφειλαν να διατηρήσουν τη λειτουργικότητά τους με μειωμένη φυσική παρουσία προσωπικού, γεγονός που υπογράμμισε την καθοριστική συμβολή των ψηφιακών μέσων στη διασφάλιση της επιχειρησιακής συνέχειας.

2.7 Οι νέες τεχνολογίες που εγκαθιδρύθηκαν

Η υιοθέτηση ΑΙ στη ναυτιλία δεν αφορά μόνο την εξοικονόμηση κόστους, αλλά και τον εκ νέου ορισμό της διαχείρισης κινδύνων. Τα παραδοσιακά αντιδραστικά μοντέλα, αντικαθίστανται από προτασιακή ανάλυση (prescriptive analytics). Πλέον μεγάλο ποσοστό των μηχανημάτων του λιμένα έχουν αντικατασταθεί. Μερικές από τις τεχνολογίες που έχουν εγκατασταθεί είναι:

- *Βελτιστοποίηση αφίξεων και αναχωρήσεων εμπορικών πλοίων*
Με ειδικά σχεδιασμένους αλγόριθμους το machine learning επεξεργάζεται τα AIS δεδομένα, καιρικές αλλαγές και παλιρροϊκά δεδομένα. Με αυτό το τρόπο το ΑΙ προβλέπει με τρομερή ακρίβεια την αναμενόμενη ώρα άφιξης και οι αρμόδιοι (πχ ρυμουλκά, Terminal) είναι προετοιμασμένοι και αναμένουν το πλοίο. Έτσι αποφεύγεται η συμφόρηση, ο χρόνος αναμονής και η ρύποι που δημιουργούνται από την αναμονή των πλοίων
- *Διαχείριση Φορτοεκφόρτωσης*
Οι αλγόριθμοι Reinforcement Learning συγχρονίζουν μια γκάμα μηχανημάτων, χειριστές φορτηγών, και αυτόνομων τροχοφόρων οχημάτων. Οι διαδικασίες φορτοεκφόρτωσης εκμηδενίζονται με τη δυνατότητα ακόμα και της ταυτόχρονης φόρτωσης ενός μέρους του πλοίου και εκφόρτωσης ενός άλλου. Η ύπαρξη του Digital Twin σε τέτοιες περιπτώσεις εκμηδενίζει την δημιουργία λάθους. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι οι περισσότερες τεχνολογίες φορτοεκφόρτωσης έχουν αναπτυχθεί σε Terminal εμπορευματοκιβωτίων μιας και το μεγαλύτερο μέρος του εμπορίου γίνεται μέσω των containers. Έτσι με την χρήση της τεχνητής

νοημοσύνης οι υποδομές χρησιμοποιούνται στο έπακρο και οι ροές κίνησης γίνονται χωρίς καθυστερήσεις.

- *Προβλεπτική συντήρηση*

Με την υποστήριξη του Digital Twin και σε συνδυασμό με τους αισθητήρες του IoT η τεχνητή νοημοσύνη διενεργεί τακτικό ,σχεδόν καθημερινό, έλεγχο στον εξοπλισμό του λιμανιού. Εντοπίζει φθορές σε μηχανικά μέρη και στέλνει ειδοποίηση στο αρμόδιο εργατικό προσωπικό. Παράλληλα με τη χρήση γερανών, τροχοφόρων κλπ. γίνεται συνεχής έλεγχος για υπερθέρμανση. Αποτέλεσμα αυτών των ενεργειών είναι το σχεδόν μηδενικό Downtime λόγω κάποιας βλάβης.

- *Μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος*

Το ΑΙ υπολογίζει δυναμικά την ταχύτητα και τα βέλτιστα δρομολόγια ώστε να μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές CO₂. Το Ρότερνταμ έχει υιοθετήσει πολλές τέτοιες τεχνολογικές πλατφόρμες συμβάλλοντας στην πράσινη ναυτιλία.

- *Ασφάλεια και διαχείριση κινδύνων*

Συνδυάζοντας real-time δεδομένα (κάμερες, drones, αισθητήρες), η ΑΙ εντοπίζει πιθανούς κινδύνους όπως υπερσυμφόρηση, εργατικά ατυχήματα ή διαρροές επικίνδυνων φορτίων.

- *Αποφυγή ατυχημάτων κατά τον ελλιμενισμό*

Παραδοσιακά ο τρόπος με τον οποίο ένα πλοίο έδενε στο λιμένα ήταν με το πιλοτάρισμα του καπετάνιου και με τη βοήθεια πιλότου του λιμανιού καθώς και των ρυμουλκών. Παρόλα τα μέτρα υπήρξαν διάφορα προβλήματα συγκρούσεων. Πλέον με διάφορους αισθητήρες και σε συνδυασμό με την ανάπτυξη διάφορων πλατφορμών τα ρυμουλκά προβλέπουν τα παλιρροϊκά κύματα και στέλνουν ανάλογες οδηγίες στον πιλότο που συνδράμει τον καπετάνιο στο δέσιμο του πλοίου. Με αυτό το τρόπο εκμηδενίζονται τυχόν προβλήματα.

2.8 Δυσκολίες εγκαθίδρυσης των Smart Ports-Λύσεις που προσφέρουν

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα έξυπνα λιμάνια σε όρους όπως η αποδοτικότητα, η ασφάλεια και η βιωσιμότητα, η εγκαθίδρυση τους συνοδεύεται από αρκετές και σημαντικές προκλήσεις. Από το γιγαντιαίο κόστος κατασκευής, την αναδιαμόρφωση της ενδοχώρας στα προβλήματα διεθνών κανονισμών και στην ασφάλεια καθώς και την υποστήριξη από άλλες δομές. Με λίγα λόγια μπορεί τα έξυπνα λιμάνια να είναι πλέον στη καθημερινή πραγματικότητα αλλά καθίσταται πολύ δύσκολο να συνεχίσει η ανάπτυξη τους σε όλα τα λιμάνια του κόσμου. Μερικές από τις προκλήσεις που εμποδίζουν την εκσυγχρόνιση και ανάπτυξη των λιμένων είναι:

- *Προβλήματα υποδομών*

Οι υποδομές μπορεί να μεταβάλλονται ώστε να είναι σε θέση να συμβαδίζουν με τη βιομηχανία μεταφορών. Η στρατηγική για τη δημιουργία ενός Smart Port ενσωματώνει την ιδέα ότι οι κάτοικοι και γενικότερα η τοπική κοινωνία είναι σύμφωνη με αυτό. Πολλές φορές, αν όχι όλες, υπάρχουν πολλές αντιδράσεις σχετικά με την επιπλέον ανάπτυξη υποδομών με την υποψία και ανησυχία περισσότερης φασαρίας, εκπομπών και διάφορων άλλων που μπορούν να επηρεάσουν την ψυχρόσυνθεση των κατοίκων. Σαν **λύση** τα έξυπνα λιμάνια για να καλύψουν την αυξανόμενη ανάγκη επέκτασης αποφάσισαν να συγχωνευτούν σε ένα Smart Port City Complex. Για παράδειγμα, το Le Havre HAROPA μετασχηματίζεται σε Smart Port city που περιλαμβάνει τα λιμάνια Le Havre, Rouen και Παρίσι. Παράλληλα για την αποφυγή συμφόρησης έχουν διαμορφωθεί ειδικά εργαλεία που αποτρέπουν την φασαρία και την εκπομπή πολλών ρύπων.

- *Παγκόσμιο εμπόριο*

Με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αυξάνεται και το διεθνές εμπόριο. Αποτέλεσμα αυτού είναι η επιπλέον πίεση στα λιμάνια τα οποία δεν διαθέτουν συστημικούς τρόπους εξυπηρέτησης των απαιτούμενων πλοίων. Η **λύση** που προσφέρουν τα Smart Ports είναι να μπορούν μέσα από ειδικές πλατφόρμες να παρακολουθούν τη θέση του πλοίου σε πραγματικό χρόνο να υπολογίζουν ακριβώς το ETA (αναμενομένη ώρα άφιξης) αποτρέποντας την συμφόρηση και την εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων πλοίων την ημέρα.

- *Οικονομικά*

Το κόστος για την ανάπτυξη ενός Smart port είναι υπέρογκο και πολλές φορές κρίνεται αναγκαία ή η περικοπή πόρων ή η ολική ακύρωση του έργου. Τα αναγκαία έξοδα αφορούν ανάπτυξη αλγορίθμων και ειδικών πλατφόρμων, βαρέων μηχανημάτων αλλά και εύρεση εξειδικευμένου προσωπικού. Ως **λύση** προτείνεται η σταδιακή κατασκευή του έξυπνου λιμανιού τηρώντας μια σειρά προτεραιοτήτων σε εργαλεία τα οποία θα κριθούν ως επιτακτικής ανάγκης ή όχι. Έτσι θα διαμοιραστεί το υπέρογκο πόσο και το υποψήφιο λιμάνι θα αποκτήσει τα απαραίτητα εργαλεία ώστε να αυξήσει τη παραγωγικότητα του.

- *Συμμόρφωση με κανονισμούς*

Ο διεθνής οργανισμός Ναυτιλίας (IMO) πλέον το 2026 έχει δημοσιεύσει αρκετούς νόμους περί εκπομπών ρύπων και άλλων βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον, που υποχρεώνει τόσο τα λιμάνια όσο και τις ναυτιλιακές, ακολουθώντας και τα πλοία τους, να συμμορφωθούν και να αναπτύξουν τεχνολογίες μείωσης ρύπων καθώς και λυμάτων στο νερό. Ως **λύση** προτείνεται ότι στα 'έξυπνα λιμάνια' γίνεται χρήση αισθητήρων για συνεχή μέτρησης ποιότητας του νερού, του αέρα και του θορύβου σε πραγματικό χρόνο. Έτσι εξασφαλίζεται η συμμόρφωση και αποφεύγονται πρόστιμα από την πολιτεία και τον IMO.

- *Ασφάλεια*

Η εργασία στα λιμάνια είναι επικίνδυνη. Οι διαρροές τοξικών ουσιών ή τα ατυχήματα με βαριά μηχανήματα είναι πιθανά σενάρια. Η λύση που δίνουν τα Smart Ports είναι η χρήση AI και αυτοματισμού η οποία μειώνει την ανθρώπινη έκθεση σε κινδύνους, ενώ τα συστήματα σε πραγματικό χρόνο μπορούν να προβλέψουν και να αποτρέψουν ατυχήματα.

Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζει ένα απλό λιμάνι είναι αρκετές με αποτέλεσμα πολλές φορές να υπάρχει πρόβλημα στην εύρυθμη λειτουργία του. Η λύση είναι η ολική ή σταδιακή μεταβολή σε Smart Port και στις τεχνολογίες που αυτό προσφέρει. Η μετάβαση δεν γίνεται σε μια μέρα. Χρειάζεται η σωστή ανάλυση από αρμόδιους και σχεδιασμός με βάση τις ανάγκες του κάθε λιμένα (Sinay, 2021)

Στο πλαίσιο αυτό, η αξιοποίηση προηγμένων ψηφιακών εργαλείων και μοντέλων ανάλυσης δεδομένων καθίσταται καθοριστική για τη βελτιστοποίηση των λιμενικών διαδικασιών. Λόγω του ότι κρίνεται δύσκολη η ολική στροφή ενός λιμένα σε Smart μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα, υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που με ήπιο και πιο οικονομικό τρόπο μπορούν να αλλάξουν την εικόνα του εκάστοτε λιμένα. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές είναι:

- μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης δεδομένων, όπως τα νευρωνικά δίκτυα sequence-to-sequence για την πρόβλεψη της ζήτησης φορτηγών ανά ώρα (με ποσοστό επιτυχίας κοντά στο 91% στις δοκιμές στο λιμάνι του Ροτερνταμ),
- μοντέλα θεωρίας ουρών M/M/S το οποίο είναι ένα μαθηματικό μοντέλο της θεωρίας ουρών που χρησιμοποιείται για την ανάλυση συστημάτων στα οποία πολλοί χρήστες ή οχήματα περιμένουν για εξυπηρέτηση από πολλαπλά σημεία εξυπηρέτησης. Στη λιμενική λειτουργία θα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό χρόνων αναμονής, μήκους ουρών και αποδοτικότητας υποδομών, όπως πύλες εισόδου ή γερανοί, με στόχο τη βελτιστοποίηση της ροής και των σχεδιαγραμμάτων αναχώρησης στις θύρες εισόδου,
- μοντέλα κυκλοφορίας βάσει δεδομένων και γραφημάτων για τη μέτρηση των «τετρεμένων (idle) ωρών οχημάτων» ή του κοινωνικού κόστους εντός του δικτύου που συνδέει το λιμάνι με την ενδοχώρα και
- μέθοδοι πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης (NSGA-II) οι οποίες ισορροπούν οικονομικές επιβαρύνσεις και οφέλη για τους διαχειριστές των σταθμών, τους μεταφορείς και τους αρμόδιους φορείς διαχείρισης κυκλοφορίας, καθιστώντας σαφείς τις ανταλλαγές και τις συνέπειες κάθε πολιτικής (όπως η ανακατανομή των καθορισμένων ωρών πρόσβασης ή η αλλαγή της διαθεσιμότητας των γερανών από την πλευρά της ενδοχώρας).

Δια της παρούσης μεθοδολογίας, ο βασισμένος σε δεδομένα τρόπος προσέγγισης επιτελεί ρόλο ουσιαστικού «συνδετικού κρίκου» μεταξύ της κλασικής πρακτικής γνώσης και των συστημάτων λήψης αποφάσεων ενισχυμένων με Τεχνητή Νοημοσύνη: ο υπολογιστικός μηχανισμός δημιουργεί εκτιμήσεις υψηλής πιστότητας (όπως ο όγκος των οχημάτων, οι χρόνοι

αναμονής, ή οι επιπτώσεις στο δίκτυο) μαζί με προτεινόμενες παρεμβάσεις. Αυτές ενσωματώνουν τις προτιμήσεις και τους περιορισμούς των φορέων μεταφοράς (μέσω ενός μοντέλου κόστους επαναπρογραμματισμού που προκύπτει από την ανάλυση δεδομένων). Παράλληλα, ο ανθρώπινος παράγοντας καθορίζει την τελική στρατηγική, λαμβάνοντας υπ' όψιν τους επιδιωκόμενους σκοπούς, τους περιορισμούς και τις αρχές ισοτιμίας/βιωσιμότητας. Συμπερασματικά, το όλο εγχείρημα τεκμηριώνει πώς μικρής κλίμακας, στρατηγικά τοποθετημένες μετατοπίσεις των αιτημάτων σε περιόδους χαμηλότερης ζήτησης μπορούν να επιφέρουν σημαντική μείωση των περιόδων αναμονής και αύξηση της αποδοτικότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με σαφή αποσαφήνιση της κατανομής του κόστους και των ανταλλαγμάτων ανάμεσα στα εμπλεκόμενα μέρη, καθιστώντας δυνατή την υιοθέτησή του σε ένα ψηφιακό ομοίωμα (digital twin) που αναπαριστά το σύνολο του συστήματος του λιμένα και της ενδοχώρας. Όσον αφορά στους ανθρώπινους πόρους, το εν λόγω άρθρο (Delft, 2023) αναδεικνύει και 'μας ενημερώνει', για το γεγονός πως οι όποιες κρίσεις τελικά λαμβάνονται μέσω ανθρώπινης βούλησης και εποπτείας (παραδείγματος χάριν, η αξιολόγηση καταστάσεων που μεγιστοποιούν το όφελος για όλους χωρίς να βλάπτουν κανέναν, ή η δομή των συστημάτων κατανομής των ωφελειών και των επιβαρύνσεων) αντιμετωπίζονται με μεγάλη προσοχή, δεδομένο που καταδεικνύει ότι ο ανθρώπινος παράγοντας εξακολουθεί να αποτελεί καθοριστικό στοιχείο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η φύση των απαιτούμενων ρόλων να μετατοπίζεται από την απλή διεκπεραίωση καθηκόντων στην ικανότητα αποκωδικοποίησης των αποτελεσμάτων των μοντέλων, στην αποτελεσματική διαχείριση των συμβιβασμών (trade-offs), και στην αρμονική συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών, ειδικά στις περιπτώσεις όπου πρέπει να εφαρμοστούν μηχανισμοί επιβράβευσης ή αντισταθμιστικών οφελών για όσους φέρουν το βάρος των οικονομικών και ψυχολογικών επιπτώσεων της αναπροσαρμογής (αρνητική χρησιμότητα/disutility).

Βάσει της δημοσίευσης με τίτλο *A Data-Driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals: A case study for the Port of Rotterdam* (2023), η οποία προέρχεται από το Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας του Ντελφτ, η εισαγωγή μεθόδων Τεχνητής Νοημοσύνης και συστημάτων αυτόματης λειτουργίας στις σύγχρονες λιμενικές εγκαταστάσεις επιφέρει ριζική αλλαγή στον τρόπο που λαμβάνονται τόσο οι λειτουργικές όσο και οι μακροπρόθεσμες διοικητικές αποφάσεις. Η παλαιότερη μέθοδος, η οποία στηριζόταν κυρίως στην συσσωρευμένη γνώση και την προσωπική κρίση των υπευθύνων, εκσυγχρονίζεται σε ένα μοντέλο που δίνει προτεραιότητα στα δεδομένα, ευθυγραμμισμένο με την έννοια του «Εξυπνου Λιμένα». Ωστόσο, η παρουσία του ανθρώπου παραμένει αναντικατάστατη και διαμορφώνεται ένα υβριδικό μοντέλο, στο οποίο άνθρωπος και τεχνολογία συνυπάρχουν προσθέτοντας αξία ο ένας στον άλλον. Η ενίσχυση της λήψης αποφάσεων μέσω της Τεχνητής Νοημοσύνης εκδηλώνεται πρακτικά με τη χρήση εξελεγμένων υπολογιστικών αρχιτεκτονικών, οι οποίες συνδυάζουν αταίριαστες ομάδες δεδομένων —για παράδειγμα, στοιχεία διακίνησης, κίνησης οχημάτων και δραστηριοτήτων στα σημεία εισόδου/εξόδου— και ως αποτέλεσμα παράγουν τόσο εκτιμήσεις μελλοντικών τάσεων όσο και σαφείς συστάσεις για την ανάληψη ενεργειών, πάντοτε υπό την επίβλεψη ανθρώπινου παράγοντα.

2.9 Το λιμενικό ανθρώπινο δυναμικό στη πάροδο του χρόνου

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, κατά τις αρχικές φάσεις εξέλιξης των λιμενικών συστημάτων, η επιχειρησιακή τους λειτουργία στηριζόταν σε σημαντικό βαθμό στην προσωπική σωματική προσπάθεια και στη συσσωρευμένη πρακτική γνώση όσων εργάζονταν σε αυτά. Το ανθρώπινο δυναμικό που στελέχωνε τις λιμενικές υποδομές απαρτιζόταν κυρίως από άτομα των οποίων οι αρμοδιότητες περιστρέφονταν γύρω από τον χειρισμό των φορτίων με τα χέρια—συγκεκριμένα, τη διαδικασία φόρτωσης, εκφόρτωσης και τη μεταφορά των διακινούμενων αγαθών. Τότε, οι ανάγκες όσον αφορά την επίσημη κατάρτιση και την εξειδίκευση ήταν σχετικά χαμηλές, δεδομένου ότι η γνώση που αποκτιόταν μέσω της εμπειρίας, η σωματική δύναμη και η εναρμόνιση με τις καθιερωμένες μεθόδους εργασίας κρίνονταν ως πλήρως ικανοποιητικές προϋποθέσεις για την επιτυχή διεκπεραίωση των ανατεθειμένων εργασιών.

Ωστόσο, καθώς ο χρόνος περνούσε, αρχίζε να γίνεται σταδιακή εισαγωγή μηχανοποιημένων εργαλείων σε συνδυασμό με δομημένα συστήματα λειτουργίας, η οποία επέφερε τις πρώτες αλλαγές στην φύση της δουλειάς των λιμένων. Η αργή ενσωμάτωση καινούργιων τεχνολογιών, μηχανημάτων και τρόπων διαχείρισης άλλαξε σταδιακά την ποιότητα των εργασιών, μειώνοντας ως ένα σημείο την αποκλειστική ενασχόληση με τη σωματική εργασία. Κατά αυτόν τον τρόπο, το συνηθισμένο μοντέλο του λιμενεργάτη άρχισε να αλλάζει μορφή, υποδηλώνοντας την αρχή μιας μεγαλύτερης στροφής προς ένα λιμάνι που στηρίζεται περισσότερο στην οργάνωση και την τεχνολογική υποστήριξη.

Έτσι στη σημερινή ναυτιλιακή δραστηριότητα, η σωματική κόπωση εκπίπτει του ρόλου της ως το πρωταρχικό στοιχείο απασχόλησης, με την έμφαση να μετατοπίζεται προς την απόκτηση εξειδικευμένων γνώσεων μέσω δομημένης κατάρτισης, την πλήρη αντίληψη των τρόπων λειτουργίας των συστημάτων, καθώς και την αδιαπραγμάτευτη εφαρμογή των θεσπισμένων κανονισμών ασφαλείας και επιμελητείας.

Αυτή η πρόοδος αλλάζει δραστικά το εκπαιδευτικό υπόβαθρο που απαιτείται πλέον για την εργασία στα λιμάνια. Η ολοκλήρωση της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας βαθμίδας εκπαίδευσης, η κατοχή εξειδικευμένων δεξιοτήτων και η διαρκής επιμόρφωση έχουν καταστεί θεμελιώδεις προϋποθέσεις για την είσοδο στον εργασιακό χώρο και τη διατήρηση αυτών των θέσεων. Ταυτόχρονα, η ολοένα και μεγαλύτερη δυσκολία των λιμενικών δραστηριοτήτων καθιστά επιτακτική την απαίτηση για προσωπικό που θα διαθέτει ικανότητες οργάνωσης, διοίκησης και ψηφιακής τεχνογνωσίας, ικανό να χειρίζεται δεδομένα, να συντονίζει ενέργειες με διάφορους συμμετέχοντες και να δραστηριοποιείται σε περιβάλλοντα όπου η τεχνολογία παίζει κυρίαρχο ρόλο. Επομένως, οι εργαζόμενοι στα λιμάνια μεταβάλλονται σταδιακά, τόσο ως προς το μορφωτικό τους υπόβαθρο όσο και ως προς την ποικιλία των επαγγελματικών θέσεων που αναδύονται.

Συγχρόνως, η αναβάθμιση των θαλάσσιων λιμενικών εγκαταστάσεων δεν προχωρά χωρίς να εγείρονται κοινωνικά και εργασιακά ζητήματα προς αντιμετώπιση. Ένα τμήμα του εργατικού δυναμικού αντιμετωπίζει δυσκολίες στην προσαρμογή στις νεότερες προδιαγραφές, είτε

εξαιτίας της ανεπαρκούς δυνατότητας πρόσβασης σε δομές κατάρτισης είτε λόγω ηλικιακών και καθιερωμένων δομικών λόγων του συστήματος. Η εντονότερη στροφή προς την εξειδικευμένη γνώση δρα, σε κάποιες καταστάσεις, ως φραγμός για εργαζομένους χωρίς ειδικές δεξιότητες, προκαλώντας αναδιαμόρφωση των εργασιακών δεσμών. Παράλληλα, για εκείνους τους εργαζόμενους που είναι ικανοί να ανταποκριθούν στις νέες απαιτήσεις, αυτή η μετάβαση συνοδεύεται από μεγαλύτερη ασφάλεια στον χώρο εργασίας, βελτιώσεις στις συνθήκες απασχόλησης και αναγνώριση της επαγγελματικής τους αξίας.

Ολοκληρωτικά, η τρέχουσα εξέλιξη των λιμενικών εγκαταστάσεων αποδεικνύει πως η εκσυγχρονιστική τεχνολογική αναβάθμιση των βάσεων αυτών συντονίζεται με την αδιάκοπη αναδιάρθρωση του ανθρώπινου παράγοντα και του απαιτούμενου επιπέδου εκπαίδευσης. Οι λιμένες πλέον λειτουργούν σαν πολυδιάστατα συστήματα παραγωγής, όπου η εξειδίκευση, η εκπαίδευση και η ευελιξία προσαρμογής αποκτούν πρωταρχική θέση. Αυτή η διάσταση είναι παραστατικότερη εντός της σημερινής λιμενικής λειτουργίας και εν συνεχεία διαμορφώνει τη βάση για τη μετέπειτα εξέταση του λιμένα του Ρότερνταμ, όπου η ανανέωση των εγκαταστάσεων συνδέεται άρρηκτα με την έξυπνη διαχείριση του εργατικού δυναμικού.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ- Η ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ROTTERDAM

CASE STUDY- ΛΙΜΑΝΙ ΤΟΥ ROTTERDAM



ΛΙΜΕΝΑΣ ΤΟΥ ΡΟΤΕΡΝΤΑΜ

3.1 Εισαγωγή

Το λιμάνι του Ρότερνταμ είναι από τα μεγαλύτερα τόσο στην Ευρώπη όσο και στον κόσμο. Κυρίως εξειδικεύεται στα εμπορευματοκιβώτια λόγω του ότι τα περισσότερα πλοία αυτού του είδους έχουν το Ρότερνταμ ως τον πλησιέστερο λιμένα από το ταξίδι τους από την Αμερική. Για αυτό το λόγο οι υπεύθυνοι του λιμανιού του Ρότερνταμ θεώρησαν ως επιτακτική ανάγκη την αναβάθμιση των υποδομών και κυρίως αυτών που αφορούσαν τα terminals των containers εφόσον είναι το κυριότερο φορτίο που εισέρχεται στο λιμένα. Επενδύθηκαν τεράστια ποσά και έτσι το λιμάνι του Ρότερνταμ πήρε επάξια το τίτλο του πρώτου Smart Port της μεσογείου με άλλα ,μικρότερα, να ακολουθούν μετά από το παράδειγμά του. Κατά κύριο λόγο οι επενδύσεις αποδόθηκαν σε:

- **Ψηφιακές πλατφόρμες βελτιστοποίησης των Port Calls:** Πλατφόρμα PortXchange (Just In Time) για συγχρονισμό όλων των εμπλεκόμενων για τη μείωση αναμονών και εκπομπών. Άλλες πλατφόρμες που αναπτύχθηκαν ήταν η Port Community System (Portbase) για ανταλλαγή δεδομένων του οικοσυστήματος του λιμένα με περισσότερες από 40 υπηρεσίες και η Nextlogic η οποία στην ουσία είναι ένας αλγόριθμος - υπηρεσία ολοκληρωμένου συστήματος για την εξυπηρέτηση των ποταμιών (εσωτερικής

ναυσιπλοΐας - Barges) . Η τελευταία λειτουργεί όλο το εικοσιτετράωρο και περισσότερο από το 60% της εσωτερικής κίνησης δηλώνεται ότι περνά από αυτή τη πλατφόρμα.

- **Internet Of Things (IoT):** Ουσιαστικά πρόκειται για ένα πλήρως διασυνδεδεμένο σύστημα αισθητήρων το οποίο ελέγχει κάθε σπιθαμή του λιμένα και τη παρακολούθηση μεταβλητών όπως ο καιρός, ο άνεμος, η ορατότητα, η παλίρροια, τα ρεύματα, οι εκπομπές τόσο των πλοίων όσο και του λιμανιού γενικά. Παράλληλα το IoT προσφέρει tracking της συντήρησης που χρειάζονται τα μηχανήματα αλλά και τη τεχνολογία Asset Monitoring για την παρακολούθηση υποδομών (πχ κρηπιδωμάτων) με δορυφορικές μετρήσεις και tilt sensors.
- **Digital Twin (DT) :** Δημιουργία ενός ψηφιακού διδύμου (ρέπλικας) με την αντιγραφή κάθε λεπτομέρειας του λιμένα με σκοπό τον έλεγχο και την πρόληψη ατυχημάτων. Το μοντέλο αυτό αντλεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από όλες τις διαθέσιμες πηγές (πλοία, λιμάνια, γερανοί, τροχοφόρα ρυμουλκά κλπ.)
- **Αυτόνομη ναυσιπλοΐα, Drones και 5G:** Διάφορα αυτόνομα σκάφη με κάμερες και αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα και παράλληλα εκπαιδεύουν τους αλγόριθμους αυτόνομης ναυσιπλοΐας. Παράλληλα Drones συνδράμουν σε διάφορες επιχειρήσεις του λιμένα (επιθεωρήσεις, επιτήρηση, επείγουσες καταστάσεις, micro-logistics) με την βοήθεια του δικτύου 5G με BVLOS (Beyond Vision Line Of Sight) με σκοπό την παρακολούθηση όλου του λιμανιού με το οικοσύστημα Drone Port Rotterdam.

3.1.1 Τεχνολογίες των Terminals του Rotterdam

Όπως αναφέραμε προηγουμένως, το Ρότερνταμ αποτελεί το πλησιέστερο ευρωπαϊκό λιμάνι για τα containerships που προσεγγίζουν από τα αμερικανικά λιμάνια – και όχι μόνο. Η στρατηγική του σημασία δεν οφείλεται μόνο στο μέγεθός του, αλλά και στην άμεση δυνατότητα μεταφοράς των εμπορευμάτων στην ενδοχώρα και, στη συνέχεια, προς τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες μέσω ενός εκτεταμένου δικτύου αυτοκινητοδρόμων. Ως φυσικό επακόλουθο, τα container terminals του λιμανιού έχουν εκσυγχρονιστεί με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας, μετατρέπόμενα σε σύγχρονα smart terminals με τεχνολογίες όπως είναι προφανώς η τεχνητή νοημοσύνη και ότι αυτή επιφέρει μαζί της (IoT, DT) αλλά και σύγχρονης μορφής εργαλεία και οχήματα (AGVs, STS) τα οποία θα δούμε παρακάτω.

3.2 Αυτοματοποιημένα οχήματα (AGVs), Γερανοί (STS), Λειτουργικά συστήματα Τερματικών (TOS)

Ξεκινώντας από τα βασικά τα terminals (τα δύο μεγαλύτερα ονομάζονται APM και RWG στην περιοχή Maasvlakte 2) χρειάζονται όσο το δυνατόν πιο γρήγορα συστήματα γερανών και

μηχανήματων. Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν οι STS (Ship to Shore Cranes) οι οποίοι είναι μεγάλοι γερανοί οι οποίοι με τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης είναι αυτόνομοι και λειτουργούν χωρίς κάποιον οδηγό αλλά υπό την επίβλεψη ενός οδηγού remotely. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε ειδικές περιπτώσεις δίδεται η επιλογή ημο-αυτόματης λειτουργίας των γερανών. Οι χειριστές τους συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένα κέντρα ελέγχου, παρακολουθώντας τη λειτουργία μέσω ψηφιακών συστημάτων και καμερών υψηλής ανάλυσης. Η τεχνολογία αυτή αυξάνει την ακρίβεια των κινήσεων, μειώνει τον χρόνο εξυπηρέτησης των πλοίων και συμβάλλει στη βελτίωση της ασφάλειας των εργαζομένων. Παράλληλα τα containers μεταφέρονται κατά πλειοψηφία , με εξαίρεση επικίνδυνα φορτία, από AGVs (Automated Guided Vehicles) τα οποία είναι ηλεκτρικά , χωρίς οδηγό, στα ανάλογα terminals. Όλα αυτά απαιτούν ειδικό και εξειδικευμένο προσωπικό το οποίο είναι στα ειδικά κεντρικά control rooms. Οι ίδιοι διαχειρίζονται φορτία που αποτελούν αποκλειστικά εξαίρεση στον γενικό κανόνα. Τέλος τα TOS (Terminal Operating Systems) ,στην Maasvlakte 2, αποτελούν την «ψηφιακή καρδιά» της λειτουργίας ενός σύγχρονου λιμενικού σταθμού. Αυτά τα συστήματα είναι υπεύθυνα για την ενορχήστρωση όλων των ενεργειών που εκτελούνται στο λιμάνι, συμπεριλαμβανομένων του χειρισμού των εμπορευμάτων, του χρονοπρογραμματισμού των αυτόματων γερανών, της μετακίνησης των αυτόνομων οχημάτων (AGVs) και της γενικής ροής των κοντέινερ. Μέσω του Συστήματος Διαχείρισης Τερματικού Σταθμού (TOS), συλλέγονται και επεξεργάζονται πληροφορίες άμεσα, δίνοντας τη δυνατότητα στους υπεύθυνους του λιμένα να χαράσσουν γρηγορότερες και πιο σωστές στρατηγικές. Στην περίπτωση του Ρότερνταμ, τα εν λόγω συστήματα διασυνδέονται με άλλες ψηφιακές υποδομές και τεχνολογίες, όπως το Internet of Things και οι μηχανισμοί ανάλυσης δεδομένων, ενισχύοντας έτσι την ολοκληρωμένη ψηφιακή μεταμόρφωση των λιμενικών δραστηριοτήτων.

3.2.2 Σένσορες και συστήματα Ελέγχου

Όλα τα προηγούμενα αλλά και τα επόμενα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στα Terminals είναι εξοπλισμένα με αισθητήρες και σένσορες που καθοδηγούνται μέσω επαγωγικών βρόχων στο έδαφος και ασύρματων συστημάτων. Αυτό επιτρέπει τεράστια ακρίβεια και αποφυγή σφαλμάτων. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί πλατφόρμες του IoT που συγκεντρώνουν τα δεδομένα και παράγουν μοντέλα πρόγνωσης και real-time analytics.

3.2.3 Επεκτάσεις και pure τεχνολογία - APMT MVII

Παρότι το Terminal του AMPT Maasvlakte 2 (APMT MVII) είναι το μεγαλύτερο στο λιμάνι του Ρότερνταμ πρόκειται να προβεί σε επέκταση μέχρι το τέλος του 2026 , διπλασιάζοντας τη χωρητικότητα του σε 5,4 εκατ. TEU. Παράλληλα έχει εγκατεστημένες τις προαναφερόμενες τεχνολογίες αλλά θέλει να εξοπλιστεί και με καινούριες. Μια από αυτές είναι το Rocsys ,σύστημα αυτόματης φόρτισης του κινητού ηλεκτρικού εξοπλισμού, όπως πχ του αυτοματοποιημένου οχήματος και το ATTS (Autonomous Terminal Tractors) για σύνδεση με σιδηροδρομικές ζώνες που οδηγούν στην ενδοχώρα αλλά και self driving φορτηγών με αυτόνομη φόρτιση και λειτουργία. Τέλος είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το συγκεκριμένο Terminal λειτουργεί χωρίς CO2 εκπομπές. Η τάση είναι καθαρής ενέργειας από ηλεκτρικές -hybrid μηχανές που μειώνουν τις εκπομπές κατά 60-80%

3.2.4 Διαχείριση Logistics και Time Slot Control

Μια από τις πλατφόρμες που έχει αναπτυχθεί αφορά το Quick Decision Support. Αφορά δηλαδή μεγάλα δεδομένα και τη μοντελοποίηση των logistics που διευθετεί τα time-slots των φορτηγών. Με απλά λόγια η πλατφόρμα βρίσκει σε πολύ γρήγορους χρόνους ποια είναι τα διαθέσιμα φορτηγά με σκοπό την αποσυμφόρηση και την αποτελεσματικότητα. Άλλες πλατφόρμες όπως η Next Generation Logistics συγκεντρώνουν λεπτομέρειες docking location, φορτίου και παράγουν βέλτιστα πλάνα φόρτωσης/εκφόρτωσης, διαχειριζόμενες εκατομμύρια containers ετησίως — επιτυγχάνοντας μείωση χρόνων μεταφοράς κατά 20%.

3.2.5 Digital Twin (DT) και Προγνωστική Προσομοίωση

Η τεχνολογία του ψηφιακού διδύμου, όπως έχουμε δει και προηγουμένως, δημιουργεί ένα αντίγραφο του εκάστοτε γερανού, μηχανήματος ή ακόμα και ολόκληρου του λιμανιού. Αυτό έχει ως στόχο το monitoring, την ανάλυση και πρόβλεψη λειτουργιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι το DT μπορεί να γίνει και τμηματικά, δηλαδή να κάνει ρέπλικα για κάθε terminal ξεχωριστά και ταυτόχρονα. Παράλληλα το ψηφιακό δίδυμο επιτρέπει maintenance based on condition. Δηλαδή συντήρηση ανάλογα την κατάσταση και όχι με το παραδοσιακό μοντέλο προγραμματισμένων ελέγχων συντήρησης στο οποίο πολλές φορές μπορεί να γινόταν κάποια πιθανή αναβολή λόγω τεράστιου φόρτου εργασίας ή δυσμενών συνθηκών.

3.2.6 Blockchain και Διαλειτουργικότητα

Τα εμπορευματοκιβώτια που εξυπηρετούν τα terminals καθημερινά είναι χιλιάδες, πράγμα που σημαίνει ότι ο όγκος γραφειοκρατίας είναι τεράστιος. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιείται το Blockchain το οποίο επιτρέπει την καταγραφή των δεδομένων μέσω ειδικών πλατφόρμων. Οι πλατφόρμες αυτές έχουν διασύνδεση με τα συστήματα του λιμένα (PCS) και επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων με APIs, EDI και standards. Έτσι υπάρχει πλήρη διαφάνεια μεταξύ των εμπλεκόμενων φορέων. Ταυτόχρονα τα έγγραφα φορτωτικών, συναλλαγματικές και έγγραφα τεκμηρίωσης καταγράφονται από το Blockchain και διαμοιράζονται.

3.3 ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Η περίπτωση του Ρότερνταμ φανερώνει πως η ψηφιοποίηση των λιμενικών εγκαταστάσεων αναδιαμορφώνει τη θέση του ανθρώπινου παράγοντα: μετατοπίζεται από την απλή διεκπεραίωση στην στρατηγική σχεδίαση, από τη χειρωνακτική εργασία στην κριτική ανάλυση και την επίβλεψη. Παράλληλα, αυτή η εξέλιξη γεννά καινούργιες ανάγκες όσον αφορά την κατάρτιση, τη συνεργατική δράση και τον ορθολογικό χειρισμό των υπαρχουσών ικανοτήτων. Συνεπώς, η τεχνολογία, αντί να εκτοπίσει το ανθρώπινο δυναμικό, καταλήγει να είναι ένα μέσο που ενδυναμώνει την ικανότητα λήψης αποφάσεων και βελτιώνει την αποδοτικότητα, με τη

δέσμευση όμως πως το εργατικό προσωπικό θα έχει λάβει την απαιτούμενη επιμόρφωση και στήριξη.

Ο εκσυγχρονισμός τεχνολογίας και η επέκταση των εγκαταστάσεων του τερματικού APMT MVII στο λιμάνι του Ρότερνταμ επιφέρουν αξιοσημείωτες και άμεσες επιπτώσεις στο εργατικό δυναμικό. Σύμφωνα με την έρευνα των *Valenzuela-Silva και συνεργατών (2022)*, η θέσπιση συστημάτων αυτοματισμού και νεότερων ψηφιακών μέσων μειώνει την απαίτηση για χειρωνακτικές διεργασίες, αλλά παράλληλα συνεπάγεται τη δημιουργία νέων ρόλων, οι οποίοι απαιτούν εξειδικευμένες γνώσεις, κυρίως όσον αφορά την επίβλεψη λειτουργιών και την επεξεργασία πληροφοριών. Βασισμένοι σε άλλη έρευνα με τίτλο *“A Data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals”*, που εκπονήθηκε από το Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας του Delft το 2021, παρατηρείται το εξής: Παρόλο που υπάρχουν συστήματα που αναλαμβάνουν τον αυτοματισμό διαδικασιών, όπως είναι η ρύθμιση των χρονοθυρίδων (time slots) και η τελειοποίηση της κίνησης των εμπορευμάτων, η τελική αρμοδιότητα για τις αποφάσεις παραμένει στον ανθρώπινο παράγοντα. Οι εργάτες καλούνται να αναπροσαρμόσουν τη θέση τους, μεταβαίνοντας από την απλή εκτέλεση σε ρόλους που απαιτούν ανάλυση, στρατηγικό σχεδιασμό και επίβλεψη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της αξιοποίησης πληροφοριών που προέρχονται από τεχνολογίες IoT, ψηφιακά αντίγραφα (Digital Twins) και τα συστήματα διαχείρισης τερματικού (TOS), με σκοπό την εξασφάλιση της βέλτιστης λειτουργίας του λιμενικού συγκροτήματος.

Επιπλέον, η μελέτη των καινοτόμων πλαισίων στο Ρότερνταμ και τη Βαλένθια (*Mendes Constante, 2020*) καταδεικνύει πως η ομαλή υιοθέτηση καινούριων τεχνολογιών δεν είναι συνάρτηση μόνο της υλικοτεχνικής υποδομής, αλλά εξαρτάται και από τη δυνατότητα του ανθρώπινου δυναμικού να προσαρμοστεί και να συνεργαστεί με τα νέα συστήματα. Η διεύρυνση του MVII και η εισαγωγή εφαρμογών όπως αυτοκατευθυνόμενα οχήματα (AGVs), γερανοί STS, μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) και αισθητήρες με τεχνολογία IoT, μεταβάλλουν ουσιαστικά το είδος των εργασιών: η αποδέσμευση από τις χειρωνακτικές διεργασίες συνεπάγεται αυξημένες ανάγκες για κριτική σκέψη, επίβλεψη και λήψη αποφάσεων, γεννώντας ταυτόχρονα την επιτακτική ανάγκη για διαρκή κατάρτιση και αναδιάταξη δεξιοτήτων. Η πρακτική εμπειρία που αποκομίστηκε από το Ρότερνταμ υποδεικνύει πως η τεχνολογία δεν λειτουργεί ως αντικαταστάτης του εργαζομένου, αλλά ως παράγοντας αναβάθμισής του σε βασικό στρατηγικό άξονα λειτουργίας, όπου πλέον η κριτική αξιολόγηση, η ανάλυση και ο συντονισμός των ικανοτήτων αποτελούν πρωταρχικές αρμοδιότητες, όπως ακριβώς επισημαίνεται και στις προαναφερθείσες δημοσιεύσεις.

3.4 Κριτική αξιολόγηση – Πλεονεκτήματα και περιορισμοί του Ρότερνταμ Smart Port

Λαμβάνοντας υπ' όψη τα στοιχεία και τις διαπιστώσεις που αφορούν τον τεχνολογικό εκσυγχρονισμό και την αναπροσαρμογή των καθηκόντων των εργαζομένων, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια ενδελεχής μελέτη των θετικών πτυχών και των δεσμεύσεων που συνοδεύουν το Έξυπνο Λιμάνι του Ρότερνταμ, με σκοπό τον προσδιορισμό της τελικής επίπτωσης της τεχνολογίας στην εργατική δύναμη.

Η πορεία του λιμανιού του Ρότερνταμ ως "Εξυπνο Λιμάνι" καταδεικνύει ξεκάθαρα τα οφέλη που προκύπτουν από τον εκσυγχρονισμό μέσω της τεχνολογίας και τον ψηφιακό μετασχηματισμό των λειτουργιών. Σύμφωνα με την έκδοση "Smart Port Perspectives" (Kuipers & Zuidwijk, 2020), η ενσωμάτωση λύσεων όπως το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τα Ψηφιακά Δίδυμα, πλατφόρμες Διαχείρισης Terminal (TOS), αυτόνομα οχήματα (AGVs) και εξελιγμένα συστήματα αισθητήρων οδηγεί σε αποτελεσματικότερη διαχείριση των εργασιών φόρτωσης/εκφόρτωσης, επιτάχυνση της ροής εμπορευμάτων, λεπτομερέστερο σχεδιασμό των εγκαταστάσεων και ελαχιστοποίηση των λαθών που προκαλούνται από ανθρώπινη παρέμβαση. Επιπλέον, όπως υπογραμμίζει ο Constante (2020) στη μελέτη "*Innovation ecosystems in ports: a comparative analysis of Rotterdam and Valencia*", η ένταξη των τεχνολογιών στο οικοσύστημα του λιμένα ενισχύει την συνεργασία μεταξύ εργαζομένων, τεχνολογικών συστημάτων και διαχειριστικών οργάνων, δημιουργώντας μια πιο ευέλικτη και προσαρμοστική λειτουργία που μπορεί να ανταποκριθεί σε αυξημένες απαιτήσεις διακίνησης και παγκόσμιες προκλήσεις.

Παράλληλα, τα ίδια άρθρα επισημαίνουν τους περιορισμούς και τις προκλήσεις που συνοδεύουν την τεχνολογική εξυπνοποίηση. Στο άρθρο των Kuipers & Zuidwijk (2020) αναφέρεται ότι η υψηλή εξάρτηση από τεχνολογικά συστήματα αυξάνει την πολυπλοκότητα των λειτουργιών και δημιουργεί ανάγκες συνεχούς συντήρησης και εκπαίδευσης προσωπικού. Σύμφωνα με τον Constante (2020), παρόλο που η καινοτομία μέσω της τεχνολογίας ενισχύει τη στρατηγική προσέγγιση και την παραγωγικότητα, εγκυμονεί κινδύνους αποκλεισμού για όσους διαθέτουν περιορισμένες δεξιότητες, γεγονός που βαθαίνει τις υπάρχουσες ανισότητες και καθιστά επιτακτική την ανάγκη για επανεκπαίδευση και αναβάθμιση των ικανοτήτων. Περαιτέρω, οι επενδύσεις σε υλικοτεχνική υποδομή, όπως είναι η διεύρυνση των εγκαταστάσεων του τερματικού MVII, επισύρουν σημαντικές χρηματοδοτικές δαπάνες, και η πλήρης εκμετάλλευσή τους τίθεται υπό την αίρεση της ικανότητας του εργατικού δυναμικού να ενσωματωθεί αρμονικά με τα νεότερης τεχνολογίας συστήματα.

Εν κατακλείδι, η περίπτωση του Ρότερνταμ καταδεικνύει πως η εισαγωγή νέων τεχνολογιών συνεπάγεται βελτιώσεις στην αποδοτικότητα, την ασφάλεια και την ευελιξία. Ωστόσο, η τελική επιτυχία πηγάζει, σε κρίσιμο βαθμό, από την ικανότητα του ανθρώπινου δυναμικού να εκπαιδευτεί, να προσαρμοστεί και να διαχειριστεί τις νέες απαιτούμενες δεξιότητες, φέροντας τον παράγοντα "άνθρωπος" στο επίκεντρο της αξιοποίησης των καινοτομιών (Kuipers & Zuidwijk, 2020· Constante, 2020).

3.5 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΡΓΑΝΩΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η ενσωμάτωση της τεχνολογικής αλλαγής από το εργατικό δυναμικό του Λιμανιού του Ρότερνταμ δεν παρουσίασε σταθερότητα ή ομαλή εξέλιξη· αντιθέτως, εμφάνισε αξιοσημείωτες αποκλίσεις βασιζόμενες σε παράγοντες όπως η ηλικία, η προηγούμενη εργασιακή διαδρομή και το επίπεδο εκπαίδευσης του προσωπικού. Συγκεκριμένα, οι εργαζόμενοι μεγαλύτερης ηλικίας, μαζί με τμήμα του προσωπικού μέσης ηλικίας που διέθετε βαθιά εξοικείωση με τις κλασικές λιμενικές διεργασίες, επέδειξαν αρχικά μια στάση επιφυλακτικότητας απέναντι στην εισαγωγή λύσεων αυτοματισμού, ψηφιακών εφαρμογών και συστημάτων λήψης αποφάσεων βασιζόμενων σε αλγορίθμους. Αυτή η διστακτικότητα πήγαζε, πέραν του αναμενόμενου άγχους για πιθανή απώλεια απασχόλησης, και από την αίσθηση ότι η συσσωρευμένη, πρακτική γνώση –που για δεκαετίες αποτελούσε θεμέλιο του λιμενικού επαγγέλματος– κινδύνευε να υποτιμηθεί. Συνεπώς, στην αρχική φάση, η τεχνολογία αντιμετωπίστηκε περισσότερο ως μια επιβαλλόμενη εξωτερική δύναμη παρά ως ένα μέσο που θα ενδυνάμωνε την ανθρώπινη συνεισφορά.

Αυτή η αλλαγή έφερε μαζί της σημαντικά εμπόδια όσον αφορά την αφομοίωση των καινούργιων μεθόδων, διότι χρειάστηκε διάστημα για να οικοδομηθεί η πεποίθηση τόσο για τις καινοτομικές λύσεις όσο και για τις δομικές αποφάσεις της διοίκησης του λιμένα. Όπως τεκμηριώνεται στη σχετική έρευνα για τα έξυπνα λιμάνια και τα καινοτόμα περιβάλλοντα (βλ. *Constante, Innovation ecosystems in ports: Smart Port Perspectives*), η θριαμβευτική πορεία του Ρότερνταμ δεν πηγάζει μόνο από την τεχνολογική υπεροχή, αλλά και από την ταυτόχρονη διοχέτευση πόρων σε πλαίσια μάθησης, περαιτέρω εξειδίκευσης και θεσμικής επικοινωνίας με την εργαζόμενη δύναμη. Η αργή διαδικασία εξοικείωσης με τα ψηφιακά αντίγραφα, τις εγκαταστάσεις IoT και τα εργαλεία διαχείρισης που εστιάζουν στα δεδομένα επέτρεψε στο προσωπικό να κατανοήσει πως η θέση τους δεν καταργείται, αλλά μεταλλάσσεται: από την απευθείας διεκπεραίωση επικίνδυνων ή μονότονων καθηκόντων, σε έργα εποπτείας, συγχρονισμού και κατανόησης πολύπλοκων πληροφοριακών ροών.

Σε αυτό το σημείο, η πρόοδος των όρων κάτω από τους οποίους εκτελείται η δουλειά, μαζί με τη θεμελιώδη ενδυνάμωση της διατηρησιμότητας των θέσεων εργασίας, υπήρξαν εξαιρετικά σημαντικές. Η άμβλυνση του σωματικού φορτίου, ο διαχωρισμός του προσωπικού από περιοχές με αυξημένο ρίσκο, καθώς και η ένταξη συστημάτων που λειτουργούν αυτόνομα ή ημιαυτόνομα, επέφεραν μια ξεκάθαρη αλλαγή στους βασικούς στόχους: πλέον, η ύπαρξη και η ακεραιότητα του ανθρώπου τίθενται στον πυρήνα των ενδιαφερόντων, σε αντίθεση με παλαιότερες εποχές που η παραγωγικότητα συχνά επισκίαζε την μέριμνα για την ασφάλεια του εργαζόμενου. Υπό αυτό το πρίσμα, η καινοτομία δρα ως ασπίδα που περιβάλλει την ανθρώπινη συμμετοχή, αντί ως απλή αντικατάστασή της. Η σταδιακή κατανόηση αυτής της νέας ισορροπίας εδραίωσε την αποδοχή των μεταβολών και καλλιέργησε ανώτερα επίπεδα επαγγελματικής πληρότητας, δεδομένου ότι η δραστηριότητα στο λιμάνι συνδέεται πλέον με αυξημένη προστασία, σταθερότητα και βελτιωμένη ποιότητα ζωής.

Εν κατακλείδι, τα διδάγματα από το Ρότερνταμ φανερώνουν πως η ενσωμάτωση της καινοτομίας μέσω της τεχνολογίας στο εργατικό δυναμικό δεν συμβαίνει αυθόρμητα·

αντιθέτως, αποτελεί απόρροια διαλεκτικών διεργασιών, εξέλιξης των δομών του οργανισμού και ουσιαστικής επιβεβαίωσης της σημασίας του ανθρώπου. Μόνο όταν η τεχνολογική εξέλιξη πλαισιώνεται από εκτίμηση της προϋπάρχουσας ανθρώπινης γνώσης, από χρηματοδότηση της μάθησης και από προτεραιότητα στην ασφάλεια, παύει να είναι αιτία ανησυχίας και μεταμορφώνεται σε θεμέλιο ισορροπίας και μακροπρόθεσμης ευημερίας.

3.6 Τελικά Συμπεράσματα μελέτης περίπτωσης του Λιμένα Ρότερνταμ

Η εξέταση του λιμενικού συστήματος του Ρότερνταμ ενισχύει την υπόθεση που παρουσιάστηκε σε προηγούμενα κεφάλαια της παρούσας μελέτης, αναφορικά με τα smart ports και την αλλαγή στον τομέα του εργατικού δυναμικού. Από τα πρώτα βήματα της λειτουργίας των λιμανιών, όπου η εργασία βασιζόταν κυρίως στη χειρωνακτική προσπάθεια, στη σωματική δομή και σε βασικές ικανότητες, η έλευση των πρώτων γερανών, μηχανολογικού εξοπλισμού και τελωνειακών διαδικασιών αύξησε την ανάγκη για υψηλότερο επίπεδο κατάρτισης των εργαζομένων και καθιέρωσε την έννοια της εξειδίκευσης, επιταχυνόμενη ειδικά με την υιοθέτηση των εμπορευματοκιβωτίων. Σήμερα, η ψηφιοποίηση και τα Smart Ports, όπως αυτός του Ρότερνταμ, προχωρούν ένα βήμα παραπέρα: η ενσωμάτωση IoT, Digital Twins, TOS, AGVs, drones και AI μετασχηματίζει τον ρόλο των εργαζομένων, επιτρέποντας τη μετακίνηση από εκτελεστικούς σε στρατηγικούς και αναλυτικούς ρόλους, όπου η ανθρώπινη κρίση αξιοποιείται για τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (Valenzuela-Silva et al., 2022; Delft University of Technology, 2021).

Η εκσυγχρονισμένη τεχνολογία και η διεύρυνση των δυνατοτήτων του σταθμού APMT MVII αποδεικνύουν πως η υιοθέτηση νέων ιδεών δεν αντικαθιστά το ανθρώπινο δυναμικό, αλλά του προσθέτει ισχύ. Οι εργαζόμενοι κάνουν χρήση πληροφοριών που προέρχονται από δίκτυα αισθητήρων, ψηφιακά αντίγραφα (Digital Twins) και τεχνητή νοημοσύνη, ώστε να εναρμονίζουν σύνθετες λειτουργίες, όπως ο χειρισμός των εμπορευματοκιβωτίων και η εκτίμηση της άφιξης των πλοίων, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγικότητα και προσαρμοστικότητα (Mendes Constante, 2020; Kuipers & Zuidwijk, 2020). Ταυτόχρονα, η πρακτική εμπειρία που αποκτήθηκε στο Ρότερνταμ υποδεικνύει κάτι: για να στεφθεί με επιτυχία η ενσωμάτωση των τεχνολογικών καινοτομιών, κρίνεται αναγκαία η διαρκής επιμόρφωση και η βελτίωση των υπάρχουσών ικανοτήτων (αναπροσανατολισμός ή εξειδίκευση), με τον θεμελιώδη στόχο το τεχνολογικό εργαλείο να ενισχύει την ανθρώπινη κρίση, αντί να την εκτοπίζει.

Συνολικά, η μετάβαση από τα πρώτα λιμάνια με χειρωνακτική εργασία στις σημερινές υποδομές Smart Ports υπογραμμίζει ότι η πραγματική αξία ενός λιμένα έγκειται στη συνδυαστική αξιοποίηση υποδομών, τεχνολογιών και ανθρώπινου δυναμικού. Η περίπτωση του Ρότερνταμ επιβεβαιώνει ότι η ψηφιοποίηση και η αυτοματοποίηση προσφέρουν αποτελεσματικότητα και ευελιξία, αλλά η βιωσιμότητα και η αξιοπιστία του συστήματος εξαρτώνται καθοριστικά από τον άνθρωπο, την εκπαίδευσή του και τη δυνατότητά του να αξιοποιεί τα δεδομένα για τη λήψη στρατηγικών αποφάσεων. Τα συμπεράσματα αυτά συνάδουν με τις θεωρίες και τα ευρήματα των μελετημένων *άρθρων* (Valenzuela-Silva et al.,

2022; Kuipers & Zuidwijk, 2020; Mendes Constante, 2020) και παρέχουν ένα πρότυπο για άλλους λιμένες που επιδιώκουν τη μετάβαση σε ολοκληρωμένα, δεδομένα-καθοδηγούμενα Smart Ports.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΩΡΙΑΣ

4. Επιβεβαίωση της θεωρίας υποστήριξης των ‘έξυπνων λιμένων’

Η ανάλυση του λιμανιού του Ρότερνταμ δείχνει με μεγάλη σαφήνεια ότι η θεωρία των Smart Ports δεν αποτελεί μια μελλοντική προοπτική που ίσως συμβεί, αλλά μια πραγματικότητα με άμεσα και μετρήσιμα αποτελέσματα. Πλέον έχουν αναπτυχθεί τεχνολογίες όπως αυτοματοποιημένα συστήματα χειρισμού φορτίων, πληροφοριακά συστήματα ERP ,πλατφόρμες δεδομένων , τα ψηφιακά δίδυμα , το IoT και τέλος η τεχνητή νοημοσύνη (AI). Αυτά έχουν καταστήσει το λιμάνι του Ρότερνταμ , που μελετήσαμε, και άλλα πλέον να λειτουργούν ως ένα βαθμό ως αυτοματοποιημένες μονάδες στις οποίες αποφεύγονται τα λάθη. Σε αυτά ο άνθρωπος δεν είναι αμέτοχος και δεν σημαίνει ότι η λιμενική εργασία δεν έχει πλέον θέση για τον άνθρωπο . Σημαίνει ότι χρειάζεται εξειδικευμένο προσωπικό με γνώσεις , που πολλές φορές προσφέρει το ίδιο το λιμάνι με διάφορα σεμινάρια πάνω σε συγκεκριμένες πτυχές. Έτσι ο λιμενεργάτης αποκτάει νέα έννοια. Παίρνει έναν λίγο πιο παθητικό ρόλο λειτουργώντας ως επόπτης κάποιες φορές αλλά και ως χειριστής δύσκολων καταστάσεων κάποιες άλλες. Αυτό οδηγεί τα ‘έξυπνα λιμάνια’ να είναι πολύ πιο αποδοτικά από τα κλασσικά επιτρέποντας στο προσωπικό τη δική του ασφάλεια και την αποδοτικότητα να αυξάνεται κατακόρυφα.

Η εμπειρία αυτή λειτουργεί ως επιβεβαίωση της θεωρίας ότι τα Smart Ports αποτελούν τη φυσική και επόμενη εξέλιξη της λιμενικής βιομηχανίας. Από ένα απλό κομμάτι του εμπορίου της εκάστοτε χώρας σε αναπόσπαστο εργαλείο για την ομαλή λειτουργία της παγκόσμιας οικονομίας και διεθνούς εφοδιαστικής αλυσίδας. Η στρατηγική σημασία για παράδειγμα του Ρότερνταμ , ως κόμβου που συνδέει την υπερατλαντική ναυτιλία με τη ευρωπαϊκή ενδοχώρα σε συνδυασμό με την ταχύτητα και αξιοπιστία που του προσφέρουν οι τεχνολογίες των Smart Ports αναδεικνύουν τη σημασία που θα έχουν αυτά στο μέλλον. Με άλλα λόγια δεν πρόκειται για μια απλή τεχνολογία που απλά θα μεταβάλει λίγο τις διαδικασίες αλλά για μια επαναστατική τεχνολογική εξέλιξη που θα ενισχύσουν την βιωσιμότητα του παγκόσμιου εμπορίου.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονίσουμε την αόρατη δράση που είχε η πανδημία του COVID-19 στην μεταβολή και εξέλιξη των λιμένων. Κατά τη διάρκεια της πανδημίας η ανάγκη για την μείωση της φυσικής επαφής, για συνέχιση της λειτουργίας των εφοδιαστικών αλυσίδων σε συνθήκες κρίσης και για ενίσχυση της ανθεκτικότητά, οδήγησε σε ταχύτερη υιοθέτηση ψηφιακών λύσεων και αυτοματοποίησης. Αναπτύχθηκαν τεχνολογίες που ο άνθρωπος καλέστηκε να αφομοιώσει με γοργούς ρυθμούς. Και τα κατάφερε. Έτσι η εξυπνοποίηση των

λιμανιών δεν προέκυψε βάση στρατηγικού σχεδιασμού αλλά ως επιτακτική ανάγκη προσαρμογής στις δύσκολες και απρόβλεπτες συνθήκες.

Συνοψίζοντας , το παράδειγμα του Ρότερνταμ αλλά και όλη η μελέτη που έγινε αποδεικνύει ότι η ανάπτυξη smart ports δεν πρέπει να περιοριστεί σε μεμονωμένες περιπτώσεις, αλλά να αποτελέσει στρατηγική επιλογή για λιμάνια σε όλο τον κόσμο. Μόνο με τη γενικευμένη εφαρμογή τέτοιων καινοτομιών θα μπορέσει η παγκόσμια ναυτιλία να ανταποκριθεί στις προκλήσεις της αυξημένης ζήτησης, της βιώσιμης ανάπτυξης και της διασφάλισης ανθεκτικών εφοδιαστικών αλυσίδων.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσσες Πηγές

Newsroom. (2022, 28 Απριλίου). Στη δίνη του lockdown της Σαγκάης η παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα. Καθημερινή

<https://www.kathimerini.gr/economy/561831142/sti-dini-toy-lockdown-tis-sagkais-i-pagkosmia-efodiastiki-alytida/>

Οικονομικός Ταχυδρόμος. (2021). Η επίδραση της πανδημίας COVID-19 στις θαλάσσιες μεταφορές και τα λιμάνια.

Πάλλης, Α. Α., & Βαγγέλας, Γ. (2021). Η ελληνική λιμενική δραστηριότητα κατά την περίοδο της πανδημίας COVID-19. GREPORT – Ελληνική Ένωση Λιμένων.

Παρδάλη, Α. (2001). Η λιμενική βιομηχανία. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλης.

Σπενδός, Ι. (2020). Οι λιμενικές επενδύσεις και οι επιπτώσεις τους στην ενδοχώρα. Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

Τσαμόπουλος, Μ. (2022, 10 Μαΐου). Οι επιπτώσεις στον κλάδο των containers από το παρατεταμένο lockdown στη Σαγκάη. Newmoney. Διαθέσιμο στο: <https://www.newmoney.gr/roh/palmos-oikonomias/nautilia/i-epiptosis-ston-klado-ton-containers-apo-to-paratetameno-lockdown-sti-sagkai/>

Χλωμούδης, Κ. (2001). Οργάνωση και Διοίκηση Λιμένων. Αθήνα: Εκδόσεις ΤΖΕΙ & ΤΖΕΙ ΕΛΛΑΣ.

Ξενόγλωσσες Πηγές

Baldwin, R., & Tomiura, E. (2020). Thinking ahead about the trade impact of COVID-19. Economics in the Time of COVID-19, 59–71.

Branch, A. E. (1998). Elements of Port Operation and Management. London: Chapman & Hall.

Cai, D., & Hayakawa, K. (2020). Heterogeneous impacts of COVID-19 on trade: Evidence from China's province-level data (No. 803). Institute of Developing Economies, Japan External Trade Organization (JETRO).

Constante, J. M. (2020). Innovation ecosystems in ports: A comparative analysis of Rotterdam and Valencia. Maritime Economics & Logistics, 22(4), 1–22.

Delft University of Technology. (2021). A data-driven and multi-agent decision support system for time slot management at container terminals: A case study for the Port of Rotterdam. Delft: TU Delft, Faculty of Technology, Policy and Management.

Kuipers, B., & Zuidwijk, R. (Eds.). (2020). Smart port perspectives: Essays in honor of Hans Smits. Rotterdam: Erasmus Smart Port Rotterdam.

Lane, F. C. (1973). Venice: A Maritime Republic. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

Notteboom, T., Pallis, T., & Rodrigue, J. P. (2021). Disruptions and resilience in global container shipping and ports: The COVID-19 pandemic versus the 2008–2009 financial crisis. *Maritime Economics & Logistics*, 23(2), 179–210.

OECD. (2020). Coronavirus: The world economy at risk. OECD Interim Economic Assessment. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.

Reuters. (2022, April 14). China's widening COVID curbs threaten global supply chain paralysis. *The Economic Times*.

<https://economictimes.indiatimes.com/small-biz/trade/exports/insights/chinas-widening-covid-curbs-threaten-global-supply-chain-paralysis/articleshow/90834250.cms>

Sinay. (2021). Smart Port 101: What is a Smart Port?

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

Valenzuela-Silva, L. (2021). Assessment of differences between the ports of Rotterdam, Valparaíso and San Antonio towards smart ports, emphasising digital technologies. *Journal of Maritime Research*, 18(2), 85–102.

Van der Lugt, L., De Langen, P., & Hagdorn, L. (2019). Determinants for automation levels in port container terminals: Evidence from Antwerp and Rotterdam. Rotterdam: Erasmus University Rotterdam.

Δήλωση χρήσης εργαλείων Τεχνητής Νοημοσύνης

Η παρούσα εργασία αξιοποίησε εργαλεία Τεχνητής Νοημοσύνης αποκλειστικά σε επικουρικό επίπεδο, με σκοπό τη γλωσσική βελτίωση, τη δομική αναδιατύπωση και τη σαφήνεια ορισμένων διατυπώσεων. Η επιλογή του ερευνητικού θέματος, η διαμόρφωση του ερευνητικού ερωτήματος, η ανάλυση της βιβλιογραφίας, η ερμηνεία των δεδομένων, η ανάπτυξη του case study και τα τελικά συμπεράσματα αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής επιστημονικής έρευνας και κριτικής σκέψης του συγγραφέα, σύμφωνα με τις αρχές της ακαδημαϊκής δεοντολογίας.