

Περιεχόμενα

Πρόλογος	xiii
Πρόλογος για την Ελληνική Έκδοση	xvii
Σχετικά με τους Συγγραφείς	xix
Κεφάλαιο 1 Γενική Εισαγωγή	1
1.1 Γενική Εισαγωγή στο Έξυπνο Λιμάνι	1
1.2 Έξυπνο Λιμάνι και Επανάσταση των Νέων Τεχνολογιών	4
1.3 Ιστορία Ανάπτυξης του Έξυπνου Λιμανιού	7
1.4 Τρέχουσα Κατασκευή του Έξυπνου Λιμανιού	13

Κεφάλαιο 2**Η Οικολογία του Έξυπνου Λιμανιού 19**

2.1	Οικολογικό Περιβάλλον του Έξυπνου Λιμανιού	19
2.2	Οικολογικά Χαρακτηριστικά του Έξυπνου Λιμανιού	22
2.2.1	Ολοκληρωμένη Αντίληψη	22
2.2.2	Έξυπνη Λήψη Αποφάσεων	24
2.2.3	Αυτόνομος Χειρισμός	27
2.2.4	Συμμετοχή σε Ολόκληρη τη Διαδικασία	30
2.2.5	Συνεχής Καινοτομία	33

Κεφάλαιο 3**Έξυπνο Λιμάνι και Κυβερνοφυσικό Σύστημα 39**

3.1	Γενική Εισαγωγή στο Κυβερνοφυσικό Σύστημα	39
3.1.1	Η Έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT)	39
3.1.2	Σύνθεση και Τεχνικά Χαρακτηριστικά του IoT	41
3.1.3	Τρέχοντα Πεδία Εφαρμογής του IoT	47
3.2	Ανάπτυξη του Κυβερνοφυσικού Συστήματος	50
3.3	Εφαρμογές του Κυβερνοφυσικού Συστήματος στο Έξυπνο Λιμάνι	51
3.3.1	Παρακολούθηση Ολόκληρης της Διαδρομής και Ελλιμενισμός Επικίνδυνων Εμπορευμάτων στην Ακτή	51
3.3.2	Ανάλυση Αναγνώρισης Βιομηχανικού Διαδικτύου στις Διεθνείς Πολύτροπες Μεταφορές Εμπορευματοκιβωτίων	58
3.3.3	Αυτόματος Τηλεχειρισμός και Έλεγχος Γερανών	61
3.3.4	Εφαρμογή της Τεχνολογίας Ασύρματης Επικοινωνίας 5G στο Έξυπνο Λιμάνι	66
	Βιβλιογραφία	69

Κεφάλαιο 4

Έξυπνο Λιμάνι και Σύστημα Middle-Office	71
4.1 Γενική Εισαγωγή στο Middle Office	72
4.1.1 Τρόπος Παροχής Υπηρεσιών του Middle Office	73
4.1.2 Τεχνική Έννοια του Middle Office	76
4.1.3 Σύστημα και Ταξινόμηση του Middle Office	77
4.2 Ανάπτυξη του Middle Office	80
4.2.1 Η Διαδικασία Ανάπτυξης της Τεχνολογίας Middle Office στη Βιομηχανία	80
4.2.2 Κύριες Εφαρμογές της Τεχνολογίας Middle-Office	84
4.3 Εφαρμογές του Ψηφιακού Middle Office στο Έξυπνο Λιμάνι	87
4.3.1 Σημασία της Έννοιας του Middle Office για την Ολοκλήρωση των Λιμενικών Πόρων	87
4.3.2 Ίδρυμα Ανάπτυξης του Συστήματος Middle Office Λιμένα	88
4.3.3 Κατασκευή Συστήματος Middle Office Λιμένα	92
Βιβλιογραφία	97

Κεφάλαιο 5

Έξυπνο Λιμάνι και Τεχνολογία Blockchain	99
5.1 Γενική Εισαγωγή στο Blockchain	99
5.1.1 Έννοια Blockchain	100
5.1.2 Τύποι Blockchain	101
5.1.3 Υποστηρικτικές Τεχνολογίες του Blockchain	101
5.1.4 Το Μπλοκ Ενός Blockchain	105
5.1.5 Ροή Εργασιών του Blockchain	108
5.1.6 Χαρακτηριστικά του Blockchain	108
5.2 Ανάπτυξη του Blockchain	109
5.2.1 Διαδρομή Εξέλιξης του Blockchain	109
5.2.2 Μια Επισκόπηση της Ανάπτυξης του Blockchain	111

5.3	Τυπικές Εφαρμογές του Blockchain	112
5.3.1	Blockchain + Χρηματοπιστωτικές Υπηρεσίες	113
5.3.2	Blockchain + Βιομηχανική Καινοτομία	115
5.3.3	Blockchain + Λιμάνι και Ναυτιλία	117
	Βιβλιογραφία	121

Κεφάλαιο 6

Έξυπνο Λιμάνι και Τεχνητή Νοημοσύνη 123

6.1	Γενική Εισαγωγή στην Τεχνητή Νοημοσύνη	124
6.1.1	Ιδέα της Τεχνητής Νοημοσύνης	124
6.1.2	Πεδία της Τεχνητής Νοημοσύνης	125
6.1.3	Κατηγοριοποίηση της Τεχνητής Νοημοσύνης	126
6.1.4	Μέθοδοι στην Τεχνητή Νοημοσύνη	128
6.2	Ανάπτυξη της Τεχνητής Νοημοσύνης	130
6.3	Εφαρμογές της Τεχνητής Νοημοσύνης στα Έξυπνα Λιμάνια	134
6.3.1	Έξυπνη Συλλογή Εμπορευματοκιβωτίων	134
6.3.2	Έξυπνη Στοιβαξη	139
6.3.3	Έξυπνος Έλεγχος Πλοίου	144
	Βιβλιογραφία	149

Κεφάλαιο 7

Έξυπνα Λιμάνια και Μηχανική Όραση 151

7.1	Γενική Εισαγωγή στη Μηχανική Όραση	151
7.1.1	Τεχνολογία Όρασης Κάμερας	152
7.1.2	Τεχνολογία LiDAR	154
7.1.3	Άλλες Τεχνολογίες Όρασης	156
7.2	Ανάπτυξη της Μηχανικής Όρασης	158
7.2.1	Γενική Εισαγωγή στην Ανάπτυξη της Τεχνολογίας Μηχανικής Όρασης	158

7.2.2	Μηχανική Όραση και Έξυπνη Κυκλοφορία	160
7.3	Εφαρμογές της Τεχνολογίας Μηχανικής Όρασης στο Έξυπνο Λιμάνι	164
7.3.1	Πρώιμες Εφαρμογές της Μηχανικής Όρασης στο Έξυπνο Λιμάνι	164
7.3.2	Τυπικές Εφαρμογές της Μηχανικής Όρασης στο Έξυπνο Λιμάνι	168
7.3.2.1	Εφαρμογή της Αναγνώρισης Εικόνας στο Έξυπνο Λιμάνι	169
7.3.2.2	Εφαρμογή της Τοποθέτησης Στόχου στο Έξυπνο Λιμάνι	175
7.3.2.3	Εφαρμογές στην Προστασία της Ασφάλειας στο Έξυπνο Λιμάνι	180
	Βιβλιογραφία	188

Κεφάλαιο 8

Έξυπνη Θύρα και Τεχνολογία Εικονική

Πραγματικότητα/Επαυξημένης Πραγματικότητας 189

8.1	Εισαγωγή στην Εικονική Πραγματικότητα/Επαυξημένη Πραγματικότητα	189
8.2	Ανάπτυξη της Τεχνολογίας AR/VR	193
8.3	Εφαρμογές της Τεχνολογίας VR/AR στο Έξυπνο Λιμάνι	195
8.3.1	Λειτουργία Εγκαταστάσεων και Επιχειρηματική Κατάρτιση στο Έξυπνο Λιμάνι	196
8.3.2	Εποπτεία των Έξυπνων Λιμανιών με Τρισδιάστατη Απεικόνιση	200
8.3.3	Διαδραστική Προσομοίωση του Εξοπλισμού Μηχανημάτων στο Έξυπνο Λιμάνι	207
8.3.4	Τεχνολογία AR Που Εξυπηρετεί το Έξυπνο Λιμάνι	212
	Βιβλιογραφία	217

Κεφάλαιο 9

Έξυπνο Λιμάνι και Προσομοίωση/Εξομοίωση Συστήματος	219
9.1 Η Έννοια της Προσομοίωσης Συστήματος	219
9.2 Ανάπτυξη Προσομοίωσης Συστήματος	221
9.3 Εφαρμογές της Προσομοίωσης Συστήματος στα Έξυπνα Λιμάνια	226
9.4 Εφαρμογές της Εξομοίωσης στα Έξυπνα Λιμάνια	238
9.4.1 Αρχιτεκτονική του Συστήματος Εξομοίωσης Λειτουργίας του Τερματικού Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων	240
9.4.2 Η Περίπτωση Εξομοίωσης Φόρτωσης Πλοίου του Τερματικού Σταθμού Εμπορευματοκιβωτίων	242
9.4.3 Βελτιστοποίηση της Εξομοίωσης	250
Βιβλιογραφία	251

Κεφάλαιο 10

Έξυπνα Λιμάνια και Ψηφιακή Παρακολούθηση και Διάγνωση	253
10.1 Επισκόπηση της Ψηφιακής Παρακολούθησης και Διάγνωσης	254
10.1.1 Η Έννοια της Παρακολούθησης Κατάστασης του Εξοπλισμού	254
10.1.2 Η Έννοια της Ψηφιακής Παρακολούθησης και Διάγνωσης	255
10.2 Ανάπτυξη Ψηφιακής Παρακολούθησης και Διάγνωσης	256
10.2.1 Βασικές Συνθήκες της Ψηφιακής Παρακολούθησης και Διάγνωσης του Έξυπνου Λιμανιού	257
10.2.2 Οπτικοποίηση του Εξοπλισμού Παρακολούθησης και Διάγνωσης	260
10.3 Εφαρμογές της Ψηφιακής Παρακολούθησης και Διάγνωσης σε Έξυπνα Λιμάνια	261

10.3.1	Διαδικτυακή και Ευφυής Παρακολούθηση Κατάστασης και Ανάλυση Σφαλμάτων Μειωτή (Reducer) σε Πραγματικό Χρόνο	262
10.3.2	Σύστημα Απομακρυσμένης Παρακολούθησης Γερανού TRUCONNECT	267
10.3.3	Εφαρμογή του Διαδικτυακού Αυτόματου Συστήματος Ελέγχου Συρματόσχοινων στους Γεραμούς Αποβάθρας Βασισμένου στην Αρχή της Ασθενούς Μαγνητικής Ανίχνευσης	269
	Βιβλιογραφία	276

Κεφάλαιο 11

	Τάσεις Ανάπτυξης και Στόχος των Έξυπνων Λιμανιών	277
11.1	Τάσεις Ανάπτυξης των Ελκυστικότερων Τεχνολογιών	277
11.1.1	Τάσεις Ανάπτυξης του Διαδικτύου των Πραγμάτων	277
11.1.2	Τάσεις Ανάπτυξης του Blockchain	280
11.1.3	Τάσεις Ανάπτυξης της Τεχνητής Νοημοσύνης	281
11.2	Τάσεις Ανάπτυξης των Έξυπνων Λιμανιών	285
11.3	Στόχοι Ανάπτυξης των Έξυπνων Λιμανιών	288

Κεφάλαιο 1

Γενική Εισαγωγή

1.1 Γενική Εισαγωγή στο Έξυπνο Λιμάνι

Τι είναι το Έξυπνο Λιμάνι (Smart Port); Γιατί πρέπει να δημιουργήσουμε έξυπνα λιμάνια και πώς; Κατ' αρχάς, τα λιμάνια αποτελούν μια κοινωνική και οικονομική ύπαρξη με μακρά ιστορία. Είναι σύνδεσμοι μεταξύ του «νερού» και της «πόλης», ενώ –σχεδόν όλες– οι πόλεις χτίζονται από νερό ανά πάσα στιγμή σε όλο τον κόσμο. Με την κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη, τα λιμάνια δεν αποτελούν μόνο κέντρο διανομής και κόμβο εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics) εσωτερικού και εξωτερικού εμπορίου, αλλά και το φράγμα και βασικό κόμβο της εθνικής κοινωνικής και οικονομικής ασφάλειας. Διάφορες βιομηχανικές ζώνες και πόλεις που βασίζονται στην ανάπτυξη λιμένων ακολουθούν την ίδια αναπτυξιακή πορεία: «προαγωγή του λιμανιού με την πόλη και αναζωογόνηση της πόλης με το λιμάνι». Ο όρος «εξυπνάδα» εμπίπτει σε μια άλλη κοινωνική, οικονομική και πολιτιστική κατηγορία. Ο παραδοσιακός πολιτισμός θεωρεί την εξυπνάδα συνώνυμο και σύμβολο ευφυΐας ή/και σοφίας, κάτι που αντικατοπτρίζεται και σε θρησκείες όπως ο Βουδισμός («εξυπνάδα σημαίνει καλύτερη ικανότητα κατανόησης και επίλυσης προβλημάτων»). Με τη σύγχρονη έννοια, η εξυπνάδα αντιπροσωπεύει μια καινοτόμο, συντονισμένη, πράσινη, ανοιχτή και κοινή αναπτυξιακή οικολογία. Έτσι, η ιδέα και η κατασκευή του έξυπνου λιμανιού αντικατοπτρίζουν μια αναπόφευκτη τάση ιστορικής εξέλιξης. Επιπλέον, το έξυπνο λιμάνι επεκτείνει τη λειτουργική έννοια του παραδοσιακού λιμανιού σε άνυδρο λιμάνι (waterless port), ζώνη εφοδιαστικής αλυσίδας (logistics

zone), συνδεδεμένη ζώνη (bonded zone) και ζώνη ελεύθερου εμπορίου (free trade zone).*

Πιο συγκεκριμένα, το έξυπνο λιμάνι ορίζεται ως ένα σύστημα που δομείται μέσω πολλαπλών κυβερνοφυσικών συστημάτων (Cyber-Physical Systems, CPS), στο οποίο οι οντότητες παροχής (suppliers) και αίτησης (demanders) εφοδιαστικής αλυσίδας περιέχονται όλες σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, διανομής και μεταφοράς μέσω καινοτόμων εφαρμογών υψηλών και νέων τεχνολογιών. Το έξυπνο λιμάνι έχει βελτιώσει σημαντικά τις κλασικές λειτουργίες του λιμανιού, καθώς και τη σχετική ικανότητα των ζωνών της εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας ολοκληρωμένη επεξεργασία των πληροφοριών και βελτιστοποίηση της κατανομής των σχετικών πόρων. Η έξυπνη εποπτεία, η έξυπνη εξυπηρέτηση και ο αυτόνομος χειρισμός έχουν αποτελέσει τις κύριες μορφές του νέου οικολογικού λιμανιού, το οποίο μπορεί πλέον να παρέχει υπηρεσίες υψηλής ασφάλειας, υψηλής απόδοσης και υψηλής ποιότητας για τη σύγχρονη βιομηχανία εφοδιαστικής αλυσίδας. Μπορεί να φανεί ακόμα και από τον ορισμό του έξυπνου λιμανιού ότι το Διαδίκτυο (Internet), το κινητό Διαδίκτυο (mobile Internet), το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) και το βιομηχανικό Διαδίκτυο (industrial Internet) αποτελούν τις σημαντικότερες υποδομές για τη λειτουργία του έξυπνου λιμανιού. Οι νέες τεχνολογίες, συμπεριλαμβανομένων των Δικτύων 5ης Γενιάς (5th Generation Network, 5G), του Υπολογιστικού Νέφους (cloud computing), των μεγάλων δεδομένων (big data), της τεχνητής νοημοσύνης, της αλυσίδας συστοιχιών/κοινοποιήσεων (blockchain) κ.λπ., είναι πλέον πλήρως ενσωματωμένες στις λειτουργίες του λιμανιού. Με την παραδοσιακή έννοια, οι πάροχοι εφοδιαστικής αλυσίδας, όπως τα λιμάνια, οι μεταφορείς φορτίου, οι ναυτιλιακοί πράκτορες και οι διαμεταφορείς (freight forwarders) είναι όλοι μονόδρομοι προμηθευτές ώστε να παρέχουν υπηρεσίες εφοδιαστικής αλυσίδας σε όσους τις αιτούνται.** Με τη ποικιλομορφία των διαφόρων υπηρεσιών και την ευκολία πρόσβασης σε πληροφορίες εφοδιαστικής αλυσίδας, η ζήτηση για υπηρεσίες εφοδιαστικής αλυσίδας γίνεται όλο και πιο περίπλοκη. Προκειμένου να

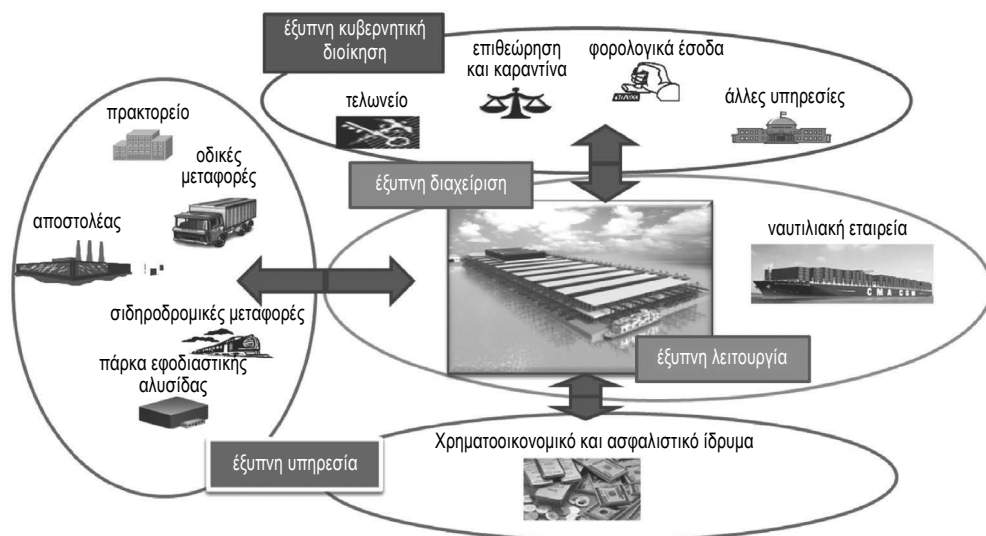
* Σ.τ.Μ.: με τον όρο «εφοδιαστική αλυσίδα (logistics)» νοούνται οι απαραίτητες εμπορικές δραστηριότητες με στόχο τη μεταφορά αγαθών στους πελάτες.

** Σ.τ.Μ.: διαμεταφορέας ή πράκτορας προώθησης είναι ένα πρόσωπο ή εταιρεία που, έναντι αμοιβής, οργανώνει αποστολές για ιδιώτες ή εταιρείες ώστε οι τελευταίοι να παραλάβουν αγαθά από τον κατασκευαστή ή τον παραγωγό, πελάτη ή τελικό σημείο διανομής. Οι διαμεταφορείς συνάπτουν σύμβαση με έναν μεταφορέα ή συχνά με πολλούς μεταφορείς για τη μεταφορά των εμπορευμάτων από τη μια χώρα σε άλλη.

βελτιωθούν η αποτελεσματικότητα και η ποιότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας σε μια εφοδιαστική αλυσίδα, είναι καθοριστικό οι αιτούντες υπηρεσίες να συμμετέχουν και να εμπλέκονται στο ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής και διανομής των δεδομένων εφοδιαστικής αλυσίδας.

Για τη διαδικασία λιμενικής επιμελητείας (port logistics), λόγω της καινοτόμου εφαρμογής υψηλών και νέων τεχνολογιών, συλλέγονται διάφορες πληροφορίες στο λιμάνι, εισάγεται πολυσχιδής και προηγμένος εξοπλισμός αυτοματισμού κατά τη λειτουργία του λιμανιού, ενώ η μηχανογράφηση/ψηφιοποίηση των εγγράφων της εφοδιαστικής αλυσίδας επικρατεί όλο και περισσότερο. Το έξυπνο λιμάνι προωθεί επίσης τον ανασχεδιασμό της λιμενικής επιμελητείας, μετατρέποντάς την από μια παραδοσιακή αστεροειδή δομή με κεντρικό κόμβο το λιμάνι σε μια πιο κατανεμημένη αρχιτεκτονική που συνδέει διάφορες υπηρεσίες εφοδιαστικής αλυσίδας, παρέχοντας τεχνικές δυνατότητες για έξυπνη επίβλεψη, έξυπνη εξυπηρέτηση και αυτόνομο χειρισμό. Από τη λειτουργική σκοπιά, η σύνθεση του έξυπνου λιμανιού φαίνεται στο Σχήμα 1.1.

Λαμβάνοντας ως οδηγό την αναπτυξιακή ιδέα «να είσαι καινοτόμος, συντονιστικός, πράσινος, ανοιχτός και να μοιράζεσαι», τους αναπτυξιακούς στόχους «να είσαι πιο ασφαλής, πιο άνετος, πιο φιλικός προς το περιβάλλον και πιο αποτελεσματικός», καθώς και την πεποίθηση ότι «η αιεφόρος ανάπτυξη καθοδηγείται από την καινοτομία», τα έξυπνα λιμάνια είναι βέβαιο ότι



Σχήμα 1.1 | Η λειτουργική σύνθεση του έξυπνου λιμανιού

θα αποτελέσουν τον κύριο πυλώνα υποστήριξης τόσο της έξυπνης κυκλοφορίας, όσο και της έξυπνης πόλης.

1.2 Έξυπνο Λιμάνι και Επανάσταση των Νέων Τεχνολογιών

Η βασική ιδέα του έξυπνου λιμανιού προέρχεται από το Έξυπνο Εργοστάσιο (Smart Factory), το οποίο προήλθε από την επανάσταση των νέων τεχνολογιών και συχνά συνδέεται με την Τέταρτη Βιομηχανική Επανάσταση (Industry 4.0). Πλέον, η ευρεία εφαρμογή των νέων τεχνολογιών, με επικεφαλής την τεχνητή νοημοσύνη και βασισμένη στην ιδέα του κυβερνοφυσικού συστήματος, έχει ανοίξει μια νέα εποχή για τη βιομηχανική επανάσταση, ευρέως γνωστή με τον αγγλικό όρο «Βιομηχανία 4.0». Η Βιομηχανία 4.0 αποτελεί συνώνυμο των όρων «Έξυπνο Εργοστάσιο» και «Έξυπνη Βιομηχανία», συνεπώς μπορεί να συνδεθεί και με τις έννοιες του έξυπνου λιμανιού και του Έξυπνου Χειρισμού (Smart Handling).

Το πρώτο Έξυπνο Εργοστάσιο στον κόσμο ιδρύθηκε το 1989 στο Άμπεργκ της Γερμανίας και ονομαζόταν Εργοστάσιο Παραγωγής Ηλεκτρονικών ειδών Siemens (βλ. Σχήμα 1.2). Το εργοστάσιο αυτό μπορεί να παράγει περίπου 15 εκατομμύρια τεμάχια προϊόντων Siemens κάθε χρόνο. Σύμφωνα με την ετήσια περίοδο παραγωγής 230 ημερών, κάθε δευτερόλεπτο μπορεί να παράγει, κατά μέσο όρο, έναν εξοπλισμό ελέγχου. Ανά 1 εκατομμύριο τεμάχια προϊόντων παράγονται περίπου 15 ελαττωματικά, με την αξιοπιστία (reliability) της παραγωγής να φτάνει το 99% και την ιχνηλασιμότητα (traceability) να φτάνει το 100%.*

Σε αυτό το έξυπνο εργοστάσιο, άνθρωποι, μηχανές και πόροι μπορούν να «επικοινωνούν» μεταξύ τους. Τα έξυπνα προϊόντα «γνωρίζουν» τις λεπτομέρειες σχετικά με το πώς κατασκευάζονται και για ποιον σκοπό θα χρησιμοποιηθούν. Είναι επίσης σε θέση να απαντήσουν ενεργητικά σε ερωτήσεις που αφορούν τη διαδικασία κατασκευής, όπως: «Πότε φτιάχτηκε;» «Ποιες παράμετροι πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία μου;» «Πού πρέπει να μεταφερθώ;». Η υλοποίηση αυτών των λειτουργιών εξαρτάται από τη δομή του κυβερνοφυσικού συστήματος, ενώ παράλληλα το έξυπνο εργοστάσιο διαθέτει συνολικά τρία κύρια συστήματα ευφυών τεχνολογιών. Το πρώτο σύστημα είναι το «ψηφιακό δίδυμο» (digital twin)

* Σ.τ.Μ.: η ιχνηλασιμότητα είναι η δυνατότητα επαλήθευσης του ιστορικού, της τοποθεσίας ή της εφαρμογής ενός προϊόντος μέσω καταγεγραμμένης διαδικασίας αναγνώρισης.



Σχήμα 1.2 | Το εργαστήριο έξυπνης κατασκευής στο Εργοστάσιο Παραγωγής Ηλεκτρονικών ειδών της Siemens που εδρεύει στο Άμπεργκ της Γερμανίας

σχεδιασμού, το οποίο μπορεί να ολοκληρώσει την προσομοίωση μιας βιομηχανικής παραγωγής κατά τη φάση σχεδιασμού του προϊόντος. Το δεύτερο είναι το «σύστημα δυναμικής και αυτόματης διανομής υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας σε πραγματικό χρόνο» (real-time dynamic and automatic logistics distribution), το οποίο είναι ικανό να διασφαλίζει την έγκαιρη, ακριβή και αυτόματη διανομή των υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας παραγωγής σε έναν συγκεκριμένο σταθμό. Τέλος, το τρίτο είναι το «σύστημα δυναμικού ελέγχου σε πραγματικό χρόνο για έξυπνη κατασκευή» (real-time dynamic control system of intelligent manufacturing), το οποίο ευθύνεται για την υλοποίηση της ευέλικτης κατασκευής μεικτών γραμμών παραγωγής. Τα τρία αυτά συστήματα συνεργάζονται μέσω του κυβερνοφυσικού συστήματος, το οποίο μπορεί πλέον να πραγματοποιήσει πλήρως και αυτόματα μια έξυπνη κατασκευή προϊόντων εντός ενός έξυπνου εργοστασίου.

Σε σύγκριση με το έξυπνο εργοστάσιο, η υλοποίηση του έξυπνου λιμανιού είναι πιο δύσκολη. Στο έξυπνο εργοστάσιο, η κατασκευή προϊόντων ολοκληρώνεται τελικώς μέσω των αυτοματοποιημένων γραμμών συναρμολόγησης (assembly lines), ενώ ο ρυθμός ελέγχου του σταθμού και η κατεύθυνση ροής των προϊόντων είναι σχετικά σταθερές. Ωστόσο, είναι γεγονός ότι η διαδικασία χειρισμού και μεταφοράς των λιμενικών δεδομένων εφο-

διαστικής αλυσίδας είναι πιο περίπλοκη, καθώς και ότι η αβεβαιότητα των λιμενικών πληροφοριών είναι σχετικά υψηλή, θέτοντας περαιτέρω περιορισμούς για το έξυπνο λιμάνι από περιβαλλοντικές και κλιματικές συνθήκες. Εκτός από τον έλεγχο ως προς την Κινηματική (Kinematics), η διαδικασία χειρισμού και μεταφοράς των λιμενικών πληροφοριών πρέπει επίσης να περιλαμβάνει έλεγχο ως προς τη Δυναμική (Dynamics). Ως η πιο σημαντική λειτουργία του έξυπνου λιμανιού, ο έξυπνος χειρισμός έχει υψηλότερες απαιτήσεις σε εξειδικευμένες τεχνολογίες, καθώς και σε συνδυασμό τεχνολογιών. Για τον λόγο αυτό, η υλοποίηση και η πραγματοποίηση του έξυπνου λιμανιού γίνεται με σχετικά αργούς ρυθμούς. Προς το παρόν, η ταχεία ανάπτυξη νέων τεχνολογιών θα παρέχει αναμφίβολα ισχυρή τεχνική υποστήριξη για την κατασκευή και ανάπτυξη έξυπνων λιμανιών. Μεταξύ αυτών, ο αποκεντροποιημένος «υπολογισμός άκρων» (edge computing) έχει συνεισφέρει στο να βελτιωθούν και να επιταχυνθούν η σύνδεση και ο έλεγχος μεταξύ εξοπλισμών του βιομηχανικού συστήματος, καθώς και η επικοινωνία με εξωτερικές οντότητες. Η τεχνική του υπολογισμού άκρων έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στα λιμάνια για την ακριβή τοποθέτηση οχημάτων, διανομέων και εμπορευματοκιβωτίων. Η Όραση Υπολογιστών (Machine vision) έχει επίσης εφαρμοστεί για την αναγνώριση του αριθμού εμπορευματοκιβωτίων, την εισβολή αντικειμένων ή προσωπικού στη διαδρομή και την εύρεση θέσης οπής σε κιβώτια. Επιπλέον, το Δίκτυο 5G παρείχε ένα κινητό ψηφιακό δίκτυο επικοινωνίας με μεγάλη χωρητικότητα, χαμηλή καθυστέρηση και υψηλή ταχύτητα, καθιστώντας εφικτό τον τηλεχειρισμό και την αυτόματη παρακολούθηση των συσκευών. Το ψηφιακό μεσάζον γραφείο (Digital Middle-Office) και ο υπολογισμός άκρων έχουν πλέον ενσωματώσει ετερογενείς πληροφορίες και εφαρμογές διαφορετικών αντικειμένων σε μια ενοποιημένη πλατφόρμα, ώστε να σχηματίσουν καινοτόμες υπηρεσίες και νέα οικολογία.* Τα μεγάλα δεδομένα (Big Data) και η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) έχουν συνδυάσει την ανθρώπινη εμπειρία, την ανθρώπινη γνώση, καθώς και δυναμικές πληροφορίες διαφόρων επιχειρηματικών διαδικασιών, με αποτέλεσμα να σχηματίσουν μια νέα μορφή λιμενικής επιμελητείας. Αναμφίβολα, χωρίς την επιτυχή εφαρμογή όλων των

* Σ.Τ.Μ.: το ψηφιακό middle office είναι μια καθιερωμένη ιδέα στον κλάδο των χρηματοοικονομικών υπηρεσιών που αποτελείται από επιχειρησιακές ομάδες, οι οποίες επιτελούν διαχείριση κινδύνου και καλύπτουν ανάγκες πληροφορικής ενός πρωτεύοντος γραφείου (front office). Ενδυναμωμένες από την έκρηξη των λύσεων «λογισμικό ως υπηρεσία» (software-as-a-service, SaaS), οι σύγχρονα ανεπτυγμένες εταιρείες παροχής τεχνολογιών περιλαμβάνουν πλέον τη δική τους εκδοχή ενός middle office.



Σχήμα 1.3 | Τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων στο ECT του Rotterdam, Ολλανδία

σύγχρονων τεχνολογιών, περιορίζεται σημαντικά η επιτυχής ανάπτυξη του έξυπνου λιμανιού.

1.3 Ιστορία Ανάπτυξης του Έξυπνου Λιμανιού

Κοιτάζοντας πίσω στην ιστορία ανάπτυξης του έξυπνου λιμανιού, η κατανόησή του από τους ανθρώπους έχει βαθύνει και επεκταθεί. Σε γενικό πλαίσιο, το έξυπνο λιμάνι μπορεί να γίνει κατανοητό με στενή και ευρεία έννοια. Η στενή έννοια του έξυπνου λιμανιού περιστρέφεται κυρίως γύρω από τον έξυπνο χειρισμό και επικεντρώνεται στον αυτόνομο χειρισμό. Με την ευρεία έννοια, το λιμάνι θεωρείται ως κόμβος, η διανοητικοποίηση ολόκληρης της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι ο πυρήνας, με τον ευφυή έλεγχο και την ευφυή εξυπηρέτηση να αποτελούν τους κύριους στόχους. Επομένως, αν ο αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων θεωρηθεί ως η αρχή της ανάπτυξης του έξυπνου λιμανιού, το 1993 μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο έτος της κατασκευής του έξυπνου λιμανιού, όταν ξεκίνησε η επίσημη λειτουργία του πρώτου αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού

εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο (Σχήμα 1.3), στο ECT Delta Sealand στο Ρότερνταμ των Κάτω Χωρών. Ωστόσο, η κατασκευή έξυπνων λιμανιών σε όλο τον κόσμο αναπτύχθηκε αργά σε μεγάλο χρονικό διάστημα, για το οποίο ο κύριος λόγος σχετίζεται με τις τεχνικές επιδόσεις.

Το 2017, τέθηκε σε λειτουργία ο Yangshan (Φάση IV), ο μεγαλύτερος αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο, γεγονός που σηματοδότησε ότι η ανάπτυξη του έξυπνου λιμανιού είχε περάσει στη λωρίδα ταχείας κυκλοφορίας, με τις συνολικές υποδομές και εγκαταστάσεις, καθώς και τις συνθήκες λογισμικού και υλικού να φτάνουν στο επίπεδο που ταιριάζει με το έξυπνο λιμάνι. Όλα τα είδη των νέων τεχνολογιών και συστημάτων που αναπτύχθηκαν από τα αυτοματοποιημένα τερματικά μπορούν να εφαρμοστούν στον ευφυή μετασχηματισμό των παραδοσιακών τερματικών, όπως η τεχνολογία τηλεχειρισμού, η τεχνολογία οπτικής αναγνώρισης, η τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης και επικοινωνίας σημάτων μεγάλης χωρητικότητας, η τεχνολογία εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ακρίβεια, η τεχνολογία ψηφιακής τηλεδιάγνωσης για τον εξοπλισμό, το σύστημα προγραμματισμού σε πραγματικό χρόνο για τις εγκαταστάσεις χειρισμού, το σύστημα προγραμματισμού σε πραγματικό χρόνο για τις οριζόντιες μεταφορές, το έξυπνο TOS, το σύστημα προσομοίωσης και εξομοίωσης για τη λειτουργία κ.ά. Με την ταχεία ανάπτυξη της «κατασκευής νέων υποδομών» στην Κίνα, οι εξωτερικές συνθήκες για την ανάπτυξη του έξυπνου λιμανιού βελτιστοποιούνται όλο και περισσότερο, ενώ η εσωτερική κατασκευή του έχει βελτιωθεί περαιτέρω.



Σχήμα 1.4 | Η ημιαυτόματη αποθήκη της PSA στη Σιγκαπούρη



Σχήμα 1.5 | Ο δημιουργικός σχεδιασμός της επόμενης γενιάς τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων στη Σιγκαπούρη

Κοιτάζοντας σε ολόκληρο τον κόσμο, εκτός από την ταχεία ανάπτυξη των αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών, ειδικά για τους αυτοματοποιημένους τερματικούς σταθμούς εμπορευματοκιβωτίων (automated container terminals), τα μεγάλα λιμάνια στον κόσμο έχουν διαμορφώσει τις δικές τους προσεγγίσεις ανάπτυξης, πλεονεκτήματα και επιτεύγματα καινοτομίας του έξυπνου λιμανιού σύμφωνα με τις δικές τους συνθήκες και χαρακτηριστικά.

Λαμβάνουμε ως παράδειγμα τον τερματικό σταθμό PSA (Pasir Panjang Terminal) στη Σιγκαπούρη. Το 1997, κατασκευάστηκε ένα σύστημα τηλεχειριζόμενου και τηλεελεγχόμενου γερανού για την υλοποίηση της ημιαυτόματης λειτουργίας της αποθήκης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.4. Το 2014, προτάθηκε ο δημιουργικός σχεδιασμός της επόμενης γενιάς τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.5, εισάγοντας την έννοια του τρισδιάστατου λιμένα (3D port), με σκοπό τόσο τη διαμόρφωση της διάταξης του τερματικού σταθμού με πολυστρωματική δομή, όσο και τη διευκόλυνση των υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας και εμπορικών συναλλαγών μέσω απρόσκοπτης σύνδεσης με τα πάρκα εφοδιαστικής αλυσίδας. Στη λιμενική στρατηγική της Σιγκαπούρης για το έτος 2030, έχει προταθεί περαιτέρω ότι η αποδοτικότητα, η ευφυΐα, η ασφάλεια και το πράσινο είναι οι τέσσερις κατευθύνσεις της ανάπτυξης, υλοποιώντας το έξυπνο

λιμάνι με ευφυείς λειτουργίες και καθιστώντας το σημαντικό μέρος της έξυπνης πόλης της Σιγκαπούρης.

Το 2016, το λιμάνι της Σαγκάης πρότεινε μια νέα αντίληψη του «έξυπνου λιμανιού που οδηγεί το μελλοντικό εμπόριο» («Smart Port Driving Future Trade»), για να διερευνήσει ενεργά την κατεύθυνση του ευφυούς μετασχηματισμού και της αναβάθμισης του λιμανιού, μέσω διαφοροποιημένης πρότασης αξίας και ανταγωνιστικών πλεονεκτημάτων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται:

- ① **Αυτοματοποίηση λειτουργίας εγκαταστάσεων (facility operation automation).** Μέσω της τυποποίησης και της βελτιστοποίησης των διαδικασιών λειτουργίας, η χειροκίνητη συμμετοχή μπορεί να μειωθεί για να επιτευχθεί μη επανδρωμένη λειτουργία (unmanned operation), ο αυτοματισμός και ο απομακρυσμένος βοηθητικός έλεγχος και η λειτουργία των μηχανικών εγκαταστάσεων στο ναυπηγείο, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της λιμενικής λειτουργίας.
- ② **Ευφυής προγραμματισμός στο λιμάνι (intelligent scheduling in port).** Η απρόσκοπτη σύνδεση μεταξύ των οδηγιών από το σύστημα πληροφοριών και των λειτουργιών ελέγχου των εγκαταστάσεων του τερματικού σταθμού μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια της τεχνολογίας πληροφορικής και επικοινωνιών (Information and Communication Technologies, ICT), της μηχανικής συστημάτων και της τεχνητής νοημοσύνης, μεταξύ άλλων. Οι ποικιλίες των μεταφορικών μέσων μπορούν να κατανεμηθούν και να προγραμματιστούν στον πιο αποτελεσματικό και λογικό βαθμό, ανάλογα με τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και τα περιβάλλοντα, ώστε να διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία της λιμενικής εφοδιαστικής αλυσίδας και του τερματικού σταθμού.
- ③ **Οπτικοποίηση δεδομένων πληροφοριών (visualization of information data).** Ως κέντρο ολοκλήρωσης πληροφοριών, το έξυπνο λιμάνι θα επικεντρωθεί στην απόκτηση, τον έλεγχο και την επεξεργασία πληροφοριών. Με το κυβερνοφυσικό σύστημα θα διαμορφωθεί μια αποτελεσματική και ολοκληρωμένη ψηφιακή παρουσίαση και αλληλεπίδραση σε πραγματικό χρόνο του περιβάλλοντος λειτουργίας εντός και εκτός του λιμένα. Επιπλέον, η διασύνδεση των πληροφοριών προωθεί επίσης την ανάπτυξη της πλατφόρμας εφοδιαστικής αλυσίδας του έξυπνου λιμανιού. Οι λιμενικές λειτουργίες συνδέονται απρόσκοπτα με τις εξωτερικές υπηρεσίες εφοδιαστικής αλυσίδας και



Σχήμα 1.6 | Αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός Yangshan-Φάση IV

οι πόροι πληροφοριών κατά τη διάρκεια κάθε βήματος της θαλάσσιας ναυτιλίας συγκλίνουν πλήρως και μοιράζονται εγκαίρως, ώστε να αποφεύγεται η μακροχρόνια ύπαρξη απομονωμένων πληροφοριών διαφόρων επιχειρηματικών συνδέσμων. Το γεγονός αυτό καθιστά δυνατή τη συντονισμένη λειτουργία των επιχειρήσεων κάθε βήματος. Ανταποκρίνεται επίσης στη ζήτηση του χρήστη για πλήρη, ακριβή, έγκαιρη και βολική απόκτηση πληροφοριών, ενώ βελτιώνει την ικανότητα του λιμένα να παρέχει πόρους πληροφοριών καθώς και ποιότητα υπηρεσιών για τους αιτούντες εφοδιαστική αλυσίδα. Η κατασκευή του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού Yangshan (βλ. Σχήμα 1.6) αντικατοπτρίζει πλήρως αυτές τις νέες αντιλήψεις.

Τα τελευταία χρόνια, με βάση τη γενική αρχή και τον στόχο «το έξυπνο λιμάνι να είναι η τεχνολογία που καθοδηγείται από την καινοτομία», η κατασκευή του έξυπνου λιμανιού Tianjin έχει επικεντρωθεί στις τρεις βασικές επιχειρήσεις της έξυπνης λειτουργίας, του έξυπνου εμπορίου (smart trade), της έξυπνης εφοδιαστικής αλυσίδας και του έξυπνου οικοσυστήματος. Η έξυπνη λειτουργία ενσωματώνεται κυρίως στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας των λιμενικών λειτουργιών μέσω ευφυών εγκαταστάσεων και της τεχνολογίας IoT, συμπεριλαμβανομένης της εφαρμογής αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών και ευφυών ναυπη-



Σχήμα 1.7 | Ο αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός της εταιρείας Container Terminal Co., Ltd. (Βόρεια Περιοχή) του λιμανιού Tianjin

γείων, αυτόνομων φορητών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, ευφυούς καταμέτρησης (intelligent tally), ευφύων πυλών και ευφυούς καθοδήγησης της κυκλοφορίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7. Το έξυπνο εμπόριο και η εφοδιαστική αλυσίδα αντανακλώνονται στην ενσωμάτωση της ροής πληροφοριών και των λιμενικών υπηρεσιών, την κατασκευή μιας ολοκληρωμένης πλατφόρμας εφοδιαστικής αλυσίδας και εμπορίου για τη διευκόλυνση των υπηρεσιών. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται η δημιουργία ενός διαφοροποιημένου συστήματος λιμενικών υπηρεσιών πληροφοριών, η βελτιστοποίηση του περιβάλλοντος του εκτελωνισμού του λιμανιού, ο συνδυασμός έξυπνης εφοδιαστικής αλυσίδας, εμπορίου (commercial trade), ολοκλήρωσης δεδωμένων και υπηρεσιών εφοδιαστικής αλυσίδας σε βασικούς τομείς. Έτσι, μπορούν να βελτιωθούν η εμπειρία και η ικανοποίηση των πελατών. Το έξυπνο οικοσύστημα επικεντρώνεται στην επέκταση των λειτουργιών εξυπηρέτησης και του οικοσυστήματος μέσω της κατασκευής του Διαδικτύου για τη δημιουργία καινοτόμου ικανότητας στο επιχειρηματικό μοντέλο. Σε αυτή την ικανότητα συμπεριλαμβάνονται η ενίσχυση της συνεργασίας με εγχώριες και ξένες ναυτιλιακές εταιρείες, φορτωτές, έμποροι, τμήματα σιδηροδρόμων και αυτοκινητοδρόμων, επιχειρήσεις μεταφορών, λιμενικές αρχές και χρηματοπιστωτικά ιδρύματα. Έτσι, θα είναι πλέον εφικτή η δημιουργία συμβιωτικού και κοινού οικοσυστήματος για το λιμάνι, η διαμόρφωση νέου αναπτυξιακού προτύπου για την ολοκλήρωση του λιμανιού και της πόλης, καθώς και η οικοδόμηση ενός πράσινου, έξυπνου, κομβικού λιμένα παγκόσμιας κλάσης.

1.4 Τρέχουσα Κατασκευή του Έξυπνου Λιμανιού

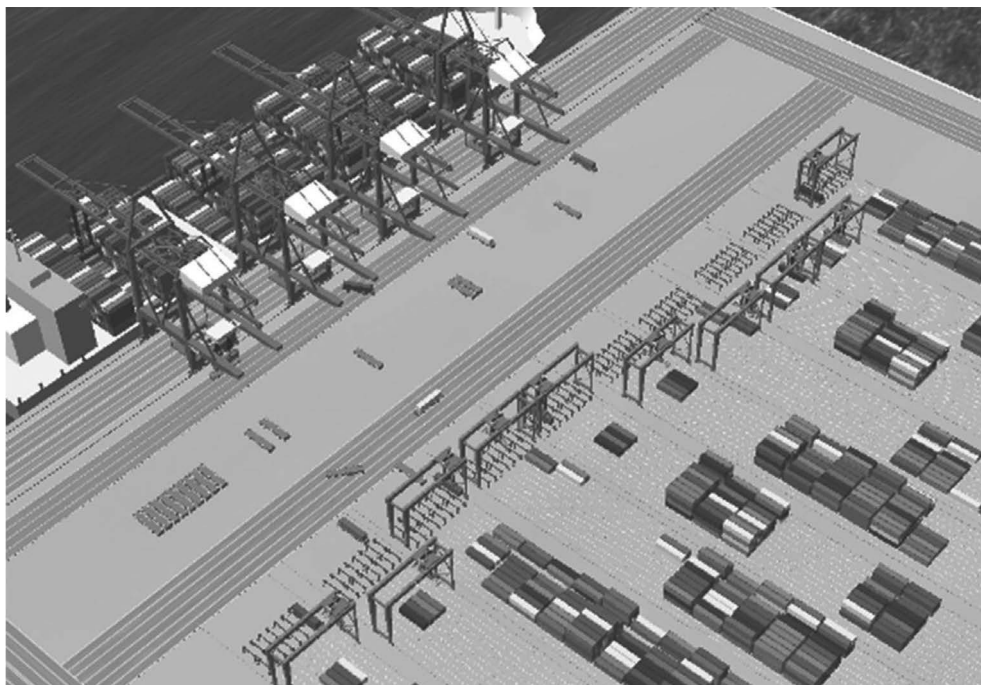
Επί του παρόντος, το έξυπνο λιμάνι έχει σημειώσει ταχεία πρόοδο στην κατασκευή και ανάπτυξη λιμενικών κόμβων. Στην Κίνα, ο πρώτος αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων κατασκευάστηκε το 2014 και ο μεγαλύτερος αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο τέθηκε σε λειτουργία το 2017, γεγονός που αντικατοπτρίζει πλήρως την ταχύτητα ανάπτυξης της Κίνας. Στον Πίνακα 1.1 παρουσιάζεται η κατασκευή αντιπροσωπευτικών αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο από το 2010. Ο ευφυής μετασχηματισμός των παραδοσιακών τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων έχει φθάσει σε υψηλό τεχνικό επίπεδο σε διάφορους τεχνικούς τομείς όπως η αυτόματη αναγνώριση των εγκαταστάσεων, η αυτόνομη οδήγηση, ο αυτόνομος χειρισμός, ο απομακρυσμένος χειρισμός και έλεγχος κ.ά. Ειδικά στην ανάπτυξη και εφαρμογή του λογισμικού έξυπνου ελέγχου, συμπεριλαμβανομένου του ευφυούς TOS, της ευφυούς στοιβασίας, της ευφυούς συλλογής εμπορευματοκιβωτίων, της ευφυούς εκφόρτωσης πλοίων, του ευφυούς ελέγχου πλοίων και της ευφυούς αποθήκης, έχει φθάσει σε παγκόσμιο επίπεδο προόδου.

Μέχρι στιγμής, η γενική διάταξη (layout) και η τεχνολογία χειρισμού των αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων στον κόσμο είναι βασικά η ίδια. Οι λειτουργίες των γερανών που υιοθετούνται στην προκυμαία είναι πλήρως αυτόματες ή ημιαυτόματες μέσω τηλεχειρισμού. Οι οριζόντιες μεταφορές εκτελούνται κυρίως από οχήματα AGV, ενώ η εφαρμογή αυτόνομων φορτηγών μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων ξεκινά δοκιμαστική λειτουργία. Ο αυτόνομος χειρισμός πραγματοποιείται στα άκρα της αποθήκης, ενώ η αποθήκη είναι διαμορφωμένη κάθετα προς την προκυμαία (βλ. Σχήμα 1.8). Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του αυτοματοποιημένου τερματικού σταθμού εμπορευματοκιβωτίων αυτού του τρόπου λειτουργίας είναι ότι το εμπορευματοκιβώτιο μανουβράρεται στο μπροστινό και στο πίσω άκρο, καθώς και το ότι τα εσωτερικά και εξωτερικά φορτηγά εμπορευματοκιβωτίων διαχωρίζονται αποτελεσματικά. Η λειτουργία είναι ασφαλής και αξιόπιστη, η θέση χειρισμού είναι σχετικά σταθερή, η δυσκολία ελέγχου μειώνεται, ενώ υπάρχει ώριμη εμπειρία για αναφορά. Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι ο γερανός ναυπηγείου έχει αναλάβει σχεδόν τις μισές από τις εργασίες οριζόντιας μεταφοράς. Εντωμεταξύ, ο αριθμός των κύκλων χειρισμού και παράδοσης εμπορευματοκιβωτίων αυξήθηκε κατά περισσότερο από 40%, γεγονός που επηρέασε σε μεγάλο βαθμό την απο-

Πίνακας 1.1 | Η κατασκευή αντιπροσωπευτικών αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων από το 2010

Αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων	Έκταση (εκτάρια)	Ακτογραμμή (μέτρο)	Γερανοί αποβάθρας (τεμάχιο)	Οριζόντιες εγκαταστάσεις μεταφοράς	Γερανοί αποθήκης
APMT, Βιρτζίνια, ΗΠΑ	93	1000	6 (Φάση I)	18 φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	30 ARMG* (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
DPW, Αμβέρσα, Βέλγιο	126	1720	9 (Φάση I)	47 φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	14 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
BEST, Βαρκελώνη, Ισπανία	100	1500	18 (Φάση I)	42 φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	80 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
BNCT, Πουσάν, Νότια Κορέα	84	1400	8 (Φάση I)	20 φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	38 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
Χαλίφα, Αμπού Ντάμπι, ΗΑΕ	90	2400	6 (Φάση I)	φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	32 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
Gateway, Λονδίνο, ΗΒ	300	2700	8 (Φάση I)	28 αυτόματα φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	40 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
GCT, Νέα Υόρκη, ΗΠΑ	70	800	10	φορτηγά μεταφοράς	20 ARMG (2 για κάθε μπλοκ)
DPW, Μπρίσμπεϊν, Αυστραλία	36	900	4 (Φάση I)	φορτηγά μεταφοράς (Φάση I)	16 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
World Gateway, Ρότερνταμ, Ολλανδία	108	1700	14	59 αυτοκαθοδηγούμενα οχήματα ανέλκυσης (Lift-AGV)	32 ARMG και 16 C-ARMG (2 για κάθε μπλοκ)
APMT MVII, Ρότερνταμ, Ολλανδία	167	2800	8 (Φάση I)	37 αυτοκαθοδηγούμενα οχήματα ανέλκυσης (Lift-AGV) (Φάση I)	36 ARMG (2 για κάθε μπλοκ, Φάση I)
LBCT, Λονγκ Μπιτς, ΗΠΑ	120	4200	14	93 αυτοκαθοδηγούμενα οχήματα (AGV)	70 ARMG (2 για κάθε μπλοκ)

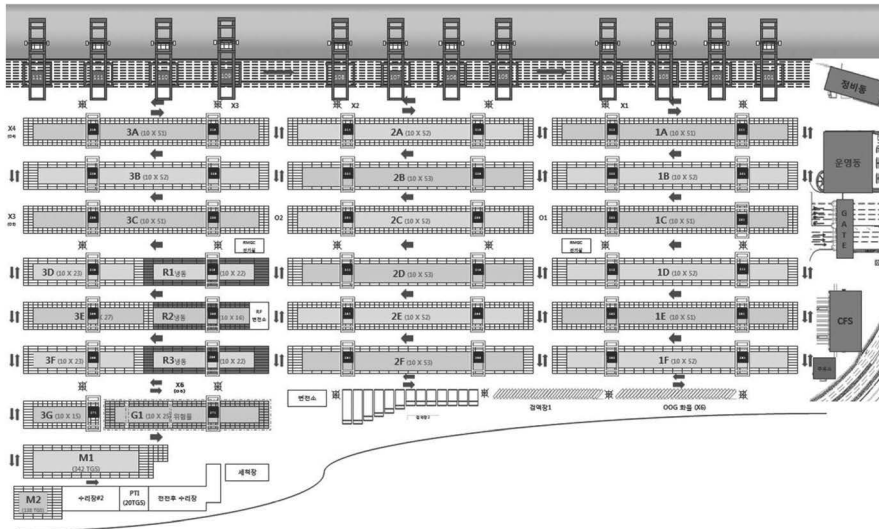
* Σ.τ.Μ.: το ακρωνύμιο ARMG υποδηλώνει τους αυτόματους γεραμούς σιδηροτροχιάς (Automated Rail-Mounted Gantry Cranes)



Σχήμα 1.8 | Ο αποθηκευτικός χώρος είναι διατεταγμένος κάθετα ως προς την αποβάθρα

τελεσματικότητα της λειτουργίας.

Με την ώριμη εφαρμογή του έξυπνων οχημάτων AGV (iAGV) και του αυτόνομου φορτηγού μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων στην Κίνα, έχει προταθεί και τεθεί σε λειτουργία ένας αυτοματοποιημένος τερματικός σταθμός εμπορευματοκιβωτίων με τα μπλοκ αποθήκευσης (storage blocks) διαμορφωμένα παράλληλα με την προκυμαία και τη λειτουργία χειρισμού από την πλευρά της αποβάθρας (βλ. Σχήμα 1.9). Ο τρόπος χειρισμού μιας τέτοιας αυτοματοποιημένης αποθήκης μπορεί να θεωρηθεί ως το αυτοματοποιημένο δίδυμο του τρόπου χειροκίνητης τερματικής αποθήκης εμπορευματοκιβωτίων. Μέσω της εφαρμογής του γερανού διπλής δοκού (double-cantilever-beamed yard crane), το ποσοστό χρήσης της αποθήκης έχει αυξηθεί, η ευελιξία λειτουργίας έχει ενισχυθεί, η αποτελεσματικότητα της οριζόντιας μεταφοράς έχει βελτιωθεί και η διαδικασία λειτουργίας ολόκληρου του τερματικού σταθμού είναι ομαλότερη. Αν και οι απαιτήσεις για τον έλεγχο της λειτουργίας είναι υψηλές, τα προβλήματα αυτά μπορούν να επιλυθούν με τις τρέχουσες τεχνολογίες ανίχνευσης και ελέγχου. Το κύριο



Σχήμα 1.9 | Ο αποθηκευτικός χώρος είναι διατεταγμένος παράλληλα ως προς την αποβάθρα

μειονέκτημα είναι ότι τα εσωτερικά και εξωτερικά φορτηγά εμπορευματοκιβωτίων αναμειγνύονται κατά τη λειτουργία. Αναμένεται ότι με την ταχεία πρόοδο της ευφυούς οδήγησης, όπως το iAGV και το αυτόνομο φορτηγό μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, το πρόβλημα αυτό μπορεί να διευθετηθεί. Μια τέτοια διάταξη τερματικού σταθμού έχει ενοποιηήσει καλά τις λειτουργίες των παραδοσιακών τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων, των ημιαυτόματων τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων και των αυτοματοποιημένων τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων σε μορφή, η οποία είναι πιο κατάλληλη για την εφαρμογή ευφυούς TOS (iTOS) και τη βελτίωση του συνολικού επιπέδου εξυπηρέτησης των τερματικών σταθμών εμπορευματοκιβωτίων.

Ένας άλλος λογικός τρόπος για την προώθηση της ανάπτυξης του έξυπνου λιμανιού είναι να προχωρήσει ο έξυπνος μετασχηματισμός του παραδοσιακού χειροκίνητου τερματικού σταθμού σύμφωνα με τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις και τεχνολογίες. Επιτυχημένες περιπτώσεις έχουν δείξει ότι ο αυτόνομος έλεγχος των εργασιών διακίνησης εμπορευματοκιβωτίων στο ναυπηγείο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της αυτόματης μετατροπής του ναυπηγείου με την εισαγωγή αυτόματα ελεγχόμενων γερανών, συμπληρωμένων με τον απαραίτητο βοηθητικό χειροκίνητο τηλεχειρισμό. Αυ-