



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΑ ΘΩΜΑΛΑΚΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΧΡΥΣΙΚΟΣ ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

ΓΕΩΡΓΙΑ ΘΩΜΑΔΑΚΗ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΔΡ. ΧΡΥΣΙΚΟΣ ΘΕΟΦΙΛΟΣ ΔΙΔΑΣΚΩΝ – ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Λαμία 2023



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

INVESTIGATION OF BROADBAND
REQUIREMENTS FOR THE INTERNET OF
SHIPS

GEORGIA THOMADAKI

FINAL THESIS

ADVISOR

DR. CHRYSIKOS THEOFILOS PROFESSOR - RESEARCH ASSOCIATE,
UNIVERSITY OF THESSALY

Lamia 2023

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.

2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφική. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.

3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια

4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: ...7.../...7.../2023.....

Ο – Η Δηλ.

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, είναι μια συνδυαστική εργασία, βιβλιογραφική και ερευνητική. Σκοπός της εργασίας, είναι η καταγραφή των ευρυζωνικών απαιτήσεων για το Διαδίκτυο των Πλοίων(IoS).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, αναλύεται το Διαδίκτυο των Πλοίων, η αρχιτεκτονική του δομή, οι βασικοί πυλώνες για τη δημιουργία ενός Smart Port. Στη συνέχεια, η εργασία επικεντρώνεται στο ευρυζωνικό της τμήμα και ιδιαίτερα στο 5G δίκτυο, με έμφαση στα στοιχεία των κινητών επικοινωνιών, τις τεχνικές προδιαγραφές για το 5G δίκτυο και την επικοινωνία με 5G για τα αυτόνομα πλοία.

Στο 4^ο κεφάλαιο της εργασίας, παραθέεται το ερευνητικό κομμάτι. Αφού, αναλύεται το υπόβαθρο και το επιλεγμένο θέμα προς διερεύνηση, παρατίθενται οι προσομοιώσεις της πρότασης που θέσαμε υπό διερεύνηση, με τη χρήση των προγραμμάτων RADIO MOBILE TOOL και MATLAB, ενώ καταλήγουμε σε ανάλυση των συμπερασμάτων.

ABSTRACT

This thesis is a combined work, bibliographical and research. The purpose of the thesis is to document the broadband requirements for the Internet of Ships (IoS).

In the following chapters, the Internet of Ships, its architectural structure, the key pillars to create a Smart Port are discussed. Then, the thesis focuses on its broadband part and especially on the 5G network, with emphasis on the mobile communication elements, technical specifications for 5G network and 5G communication for autonomous ships.

In chapter 4 of the thesis, the research part is presented. After, the background and the selected topic to be investigated are analyzed, the simulations of the proposal under investigation are presented, using RADIO MOBILE TOOL and MATLAB, and we conclude with an analysis of the conclusions.

Table of Contents

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ABSTRACT	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΡΑΓΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ	2
1.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ.....	4
1.3 ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	9
2.1 Η ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ ΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ	9
2.2 ΈΞΥΠΝΑ ΛΙΜΑΝΙΑ (SMART PORTS)	13
2.2.1 ΈΞΥΠΝΑ ΠΛΟΙΑ (SMART SHIPS)	14
2.2.2 ΈΞΥΠΝΕΣ ΓΕΦΥΡΕΣ ΚΑΙ ΓΕΡΑΝΟΙ ΠΡΟΚΥΜΑΙΑΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΩΝ (SMART GANTRY AND QUAYSIDE CONTAINER CRANES).....	15
2.2.3 ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ (AUTOMATION OF TRANSPORTATION).....	16
2.2.4 ΈΞΥΠΝΑ ΚΟΝΤΕΙΝΕΡ (SMART CONTAINER)	17
2.2.5 ΈΞΥΠΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (SMART ENERGY MANAGEMENT)	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 5G ΓΙΑ ΝΑΥΣΙΠΛΟΪΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	21
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	21
3.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ	22
3.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ 5G	23
3.3.1 ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΚΙΝΗΤΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΟΤΗΤΑ (eMBB)	25
3.3.2 ΜΑΖΙΚΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΤΥΠΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ (mMTC).....	25
3.3.3 ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΑΞΙΟΠΙΣΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΧΑΜΗΛΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ (URLLC)	26
3.4 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΕΣ 5G.....	27
3.4.1 ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ	27
3.4.2 EDGE COMPUTING	28
3.4.3 ΙΔΙΩΤΙΚΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	29
3.4.4 ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	30
3.5 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ 5G ΓΙΑ ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΠΛΟΙΑ.....	31
3.5.1 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΠΡΟΣ ΞΗΡΑ.....	32
3.5.2 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΠΛΟΙΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ	34
3.5.3 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΕΠΙ ΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ.....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	38
4.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ 5G ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ 700 MHz.....	38
4.2 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	39
4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	45

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... 77

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... 78

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή

1.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην ναυτιλιακή βιομηχανία

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) φέρνει επανάσταση στην ναυτιλιακή βιομηχανία. Τα έξυπνα συνδεδεμένα πλοία αποκομίζουν τα οφέλη του IoT με διάφορους τρόπους, από την μείωση του κόστους με την κλιμάκωση του χρόνου συντήρησης έως τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων. Τα οφέλη της εφοδιαστικής από την υιοθέτηση της τεχνολογίας IoT είναι σημαντικά, με αισθητήρες που μπορούν να ανιχνεύσουν τη θερμοκρασία αγαθών όπως τα εμβόλια που απαιτούν συγκεκριμένες συνθήκες αποστολής [1.1].

Ακολουθούν ενδεικτικά παραδείγματα για τους τρόπους με τους οποίους χρησιμοποιούνται οι σημερινές τεχνολογίες αιχμής στη θάλασσα [1.2]:

Παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο

Λειτουργώντας ως σύστημα προειδοποίησης για τα πάντα, από τις διαρροές αερίου έως την αλλοίωση των τροφίμων, η μετάδοση σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων που φιλοξενούνται στο εσωτερικό των εμπορευματοκιβωτίων επιτρέπει μεγαλύτερο βαθμό ελέγχου του ποσοστού των εμπορευμάτων που παραδοσιακά χάνονται κατά τη μεταφορά. Με δεδομένο το τεράστιο μέγεθος πολλών πλοίων, η παρακολούθηση των αμπαριών και των καταστρωμάτων για κινδύνους που σχετίζονται με πυρκαγιά ή πλημμύρα μειώνει το κόστος εργασίας που σχετίζεται με τη στελέχωση των περιπολιών.

Καθώς τα ψηφιακά συστήματα μπορούν πλέον να επιφορτιστούν με την παρακολούθηση της θέσης GPS, της κατάστασης του συναγερμού υδροσυλλεκτών και της τάσης της μπαταρίας, καθώς και με την τροφοδοσία των συναγερμών καπνού και εισβολέων, η σημερινή έξυπνη τεχνολογία επιτρέπει την αύξηση της αποτελεσματικότητας εκτός από την εξοικονόμηση κόστους που αποδίδεται στην έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων.

Πλεονέκτημα της ανάλυσης

Το αναλυτικό IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό μιας σειράς αποτελεσμάτων βελτιστοποίησης σε ένα συγκεκριμένο πλοίο. Ένα άρθρο που

δημοσιεύθηκε στο The Journal of Marine Science and Technology αναφέρεται σε μια μελέτη περίπτωσης όπου 11 τεχνολογίες IoT αξιοποιήθηκαν σε ένα μόνο πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων σε μια προσομοίωση.

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη διέγνωναν το βάρος με το οποίο το πλοίο μεγιστοποιούσε τη δυνατότητα κέρδους, προσδιόρισαν την ευπάθεια του κύτους ως τον μεγαλύτερο παράγοντα για την ασφάλεια του πλοίου και παρείχαν πολλές άλλες αποκαλύψεις που επηρεάζουν την εφοδιαστική. Ο συνδυασμός των πολλαπλών τεχνολογιών στην προσομοίωση αποδείχθηκε ότι ήταν ο καταλύτης για τις εφαρμογές στον πραγματικό κόσμο που θα μπορούσαν να δημιουργήσουν εξοικονόμηση κόστους.

5G στην ανοικτή θάλασσα

Παραδοσιακά, η σύνδεση μεταξύ πλοίων και ξηράς βασιζόταν σε δορυφορικές συνδέσεις VSAT (Very Small Aperture Terminal). Τα πάντα, από τη μετάδοση φωνής και δεδομένων έως τη χαρτογράφηση πλοήγησης, εξαρτιόνταν από δαπανηρούς αναμεταδότες VSAT, με αποτέλεσμα συνδέσεις περιορισμένου χρόνου προκειμένου να μειωθεί το κόστος. Η δημιουργία εκατοντάδων δορυφόρων χαμηλής γήινης τροχιάς (LEO), οι οποίοι λειτουργούν στη ζώνη Ka (26,5-40 GHz) επέτρεψε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων και μεγαλύτερη ασφάλεια. Η Riviera εκτιμά ότι η εφαρμογή των δορυφόρων LEO και των δυνατοτήτων 5G θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στη συνδεσιμότητα στη θάλασσα μέσα στην επόμενη δεκαετία.

Ειδική θαλάσσια τεχνολογία

Η στήριξη σε δορυφόρους υψηλής απόδοσης (HTS) που καλύπτουν τις παγκόσμιες πλωτές οδούς έχει ως αποτέλεσμα τη ζήτηση για συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας και αυξημένες δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης (AI) στα πλοία. Το Maritime Executive παρατηρεί τα οφέλη από τη χρήση ειδικού ναυτιλιακού IoT, συμπεριλαμβανομένης της διάθεσης ενός ξεχωριστού συστήματος μετάδοσης εντελώς εκτός του ειδικού συστήματος δορυφορικής επικοινωνίας. Επιτρέποντας τον διαχωρισμό της τεχνολογίας πληροφοριών (IT) από την επιχειρησιακή τεχνολογία (OT) και τα δύο κρίσιμα στοιχεία της μετάδοσης δεδομένων πραγματοποιούνται ταυτόχρονα και χωρίς την πιθανότητα καθυστέρησης ή διακοπής.

Ο διαχωρισμός διασφαλίζει ότι οι πληροφορίες μεταδίδονται άμεσα και με τη βέλτιστη ταχύτητα, ώστε να μπορούν να ληφθούν μέτρα για μετρήσεις τόσο διαφορετικές όσο η κατανάλωση καυσίμων και η δρομολόγηση.

1.2 Βελτίωση της διαχείρισης των πλοίων

Η δύναμη του IoT δεν βρίσκεται πρωτίστως στους αισθητήρες και το δίκτυο, αλλά στα δεδομένα που παρέχουν. Οι διαχειριστές πλοίων μπορούν να χρησιμοποιούν μοντέλα ML για να αναλύουν τα δεδομένα από τα στοιχεία IoT, να ειδοποιούν το πλήρωμα για τυχόν ανωμαλίες και να προτείνουν βελτιώσεις για τη βελτίωση της συμμόρφωσης και της αποδοτικότητας. Μειώνοντας τον κίνδυνο βλάβης του εξοπλισμού, το IoT θα μπορούσε να μειώσει ακόμη και το κόστος ασφάλισης [1.3].

Κανονιστική συμμόρφωση

Το 2018 Industrial IoT at Land and Sea της Inmarsat: Maritime" διαπίστωσε ότι το 47% των ερωτηθέντων στη ναυτιλία συλλέγουν δεδομένα για περιβαλλοντική παρακολούθηση. Κάθε χρόνο, το ρυθμιστικό περιβάλλον για τα πλοία γίνεται όλο και πιο αυστηρό, απαιτώντας ολοένα και περισσότερες μετρήσεις και αρχεία. Τα ανώτατα όρια θείου, οι απαιτήσεις εκπομπών, το SEEMP/EEDI, οι διαχωριστές ελαιωδών υδάτων, οι απαιτήσεις ασφάλειας και κυβερνοασφάλειας είναι μερικές από τις πιο πρόσφατες απαιτήσεις. Το IoT συμβάλλει στην απόδειξη της συμμόρφωσης, μειώνοντας παράλληλα το διοικητικό βάρος για το πλήρωμα.

Βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης

Οι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι σε στοιχεία IoT επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης του κύτους, των μηχανημάτων και του λοιπού εξοπλισμού. Οι ενσωματωμένοι αισθητήρες μπορούν να συλλέγουν πιο λεπτομερή και σχετικά δεδομένα από ό,τι οι αισθητήρες επιφανειακής τοποθέτησης. Τόσο το πλήρωμα επί του σκάφους όσο και οι διαχειριστές του πλοίου στην ξηρά μπορούν να επωφεληθούν από ακριβή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.

Σε σχετική μελέτη το 2018, διαπιστώθηκε ότι το 65% των πλοιοκτητών διέθετε ήδη παρακολούθηση της κατανάλωσης καυσίμων με βάση το IoT- ένα άλλο 9% σχεδίαζε να την εισαγάγει εντός 12 μηνών. Δεδομένου ότι τα καύσιμα

αντιπροσωπεύουν περισσότερο από το ήμισυ του κόστους λειτουργίας των πλοίων, η εξοικονόμηση κόστους μέσω του IoT μπορεί να είναι σημαντική.

Προβλεπτική συντήρηση

Κανονικά, αντικαθιστούμε ή συντηρούμε τον εξοπλισμό σε σταθερά χρονικά διαστήματα, είτε το χρειάζεται είτε όχι. Με τα εξαρτήματα IoT, τα πλοία μπορούν αντ' αυτού να πραγματοποιούν προληπτική συντήρηση ή συντήρηση βάσει κατάστασης.

Η προγνωστική συντήρηση χρησιμοποιεί μοντέλα ML για να συγκρίνει τα τρέχοντα δεδομένα με παρόμοια δεδομένα πριν από μια γνωστή βλάβη του εξοπλισμού. Τα μοντέλα εντοπίζουν μοτίβα και μας ειδοποιούν πότε πρέπει να επισκευάσουμε ή να αντικαταστήσουμε το εξάρτημα. Για την παρακολούθηση των μηχανημάτων και του κύτους, με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η περιττή συντήρηση και αντικατάσταση και ταυτόχρονα μειώνεται η συχνότητα βλαβών και ο χρόνος εκτός λειτουργίας.

Διαχείριση ταξιδιού

Πρέπει ο πλοίαρχος να επιλέξει τη συντομότερη διαδρομή ή την ταχύτερη; Αξίζει να ακολουθήσει μεγαλύτερη διαδρομή για να αποφύγει τον πάγο ή την κακοκαιρία; Πού βρίσκονται τα πλοία του στόλου σας; Ποια είναι η ETA στο επόμενο λιμάνι; Το IoT παρέχει στους διαχειριστές πλοίων εναλλακτικούς τρόπους για να απαντήσουν σε αυτά τα ερωτήματα. Το πλήρωμα είναι ευχαριστημένο επειδή δεν χρειάζεται να ενημερώνει συνεχώς το γραφείο- το γραφείο είναι ευχαριστημένο επειδή δεν περιμένει συνεχώς πληροφορίες από το πλήρωμα.

Συνδυάζοντας τα δεδομένα του συστήματος πρόωσης με δεδομένα καιρού και διαδρομής και με ζωντανή παρακολούθηση του πλοίου, οι διαχειριστές των πλοίων και το πλήρωμα μπορούν να συνεργαστούν για τη βελτιστοποίηση της ταχύτητας και της διαμόρφωσης του κινητήρα καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού.

Αποθήκες και ανταλλακτικά

Τα πλοία πρέπει να είναι αυτάρκη για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Πολλοί ναυτικοί σπαταλούν υπερβολικά μεγάλο χρονικό διάστημα για το κυνήγι αποθεμάτων και τη σύνταξη απογραφών. Από τα φάρμακα μέχρι τα ανταλλακτικά, το IoT είναι μια καλά δοκιμασμένη και αποτελεσματική λύση για τη διαχείριση αποθεμάτων σε άλλες βιομηχανίες. Το IoT αυτοματοποιεί την παρακολούθηση των

αποθεμάτων και την υποβολή εκθέσεων, διευκολύνοντας την αναζήτηση ευρετηρίου.

Διαχείριση φορτίου

Ανεξάρτητα από το είδος του φορτίου, το IoT βελτιώνει την παρακολούθηση και τον εντοπισμό. Ειδικά για τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο με το IoT εξοικονομεί χρόνο και προσπάθεια και βοηθά στην αποφυγή αξιώσεων για το φορτίο.

1.3 Διαδίκτυο των πλοίων και εξοικονόμηση κόστους

Καθώς η ναυτιλιακή βιομηχανία συνεχίζει να επεκτείνει τη χρήση της συνδεσιμότητας πλοίων και του πραγματικού ψηφιακού πλοίου, τα οφέλη αυξάνονται με ταχείς ρυθμούς. Όχι μόνο τα πλοία αποκομίζουν αξία από την παροχή συνδεσιμότητας για την ευημερία του πληρώματος και τη λειτουργική χρήση, αλλά οι λύσεις IoT επιτρέπουν επίσης λειτουργίες όπως η απομακρυσμένη παρακολούθηση της κατάστασης, η βελτιστοποίηση της απόδοσης και η ηλεκτρονική επιθεώρηση για τη συμμόρφωση. Τόσο για τη συνδεσιμότητα του πληρώματος όσο και για τη συνδεσιμότητα IoT, το πλοίο βασίζεται στη γρήγορη, αξιόπιστη και αποδεδειγμένη δορυφορική τεχνολογία που παρέχεται από δορυφόρους υψηλής απόδοσης (HTS) που καλύπτουν τους ωκεανούς του κόσμου.

Ειδικότερα, τα οφέλη από τη χρήση αποκλειστικής συνδεσιμότητας IoT στη ναυτιλία (δηλαδή ενός ξεχωριστού συστήματος κεραιών από το κύριο σύστημα δορυφορικής επικοινωνίας) κερδίζουν την προσοχή τόσο των εμπειρογνώμωνων της ανάλυσης ναυτιλιακών δεδομένων όσο και των εμπειρογνώμωνων του ναυτιλιακού κυβερνοχώρου. Τα σκάφη με ειδική λύση συνδεσιμότητας ναυτιλιακού IoT έχουν κάνει το σημαντικό βήμα του διαχωρισμού της συνδεσιμότητας IT (τεχνολογία πληροφοριών) από τη συνδεσιμότητα OT (επιχειρησιακή τεχνολογία, η οποία διαχειρίζεται τις φυσικές διαδικασίες και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεσή τους) [1.4].

Για τους εμπειρογνώμονες της ανάλυσης δεδομένων στη θάλασσα, η ειδική συνδεσιμότητα υψηλής ταχύτητας επιτρέπει ταχύτερα τις ιδέες που μπορούν να αξιοποιηθούν - τους δίνει τον έλεγχο του δικού τους εύρους ζώνης, ώστε τα

δεδομένα να φτάνουν στους εμπειρογνώμονες της ξηράς σε πραγματικό χρόνο, συνεχώς. Αυτό επιτρέπει την άμεση ανάληψη δράσης για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας στην παρακολούθηση, τη δρομολόγηση, την ασφάλεια, την προστασία, την ασφάλεια, την κατανάλωση καυσίμων και τις εκπομπές ρύπων. Η αποκλειστική συνδεσιμότητα επιτρέπει επίσης αποκλειστικές παρεμβάσεις βίντεο υψηλής ταχύτητας για απομακρυσμένη υποστήριξη ενώ το πλοίο βρίσκεται στη θάλασσα, χωρίς να ανταγωνίζεται για κοινό εύρος ζώνης από τις βασικές λειτουργίες του πλοίου ή το πλήρωμα [1.2].

Οι εμπειρογνώμονες στον τομέα του ναυτιλιακού κυβερνοχώρου θεωρούν τις ξεχωριστές σωληνώσεις για τη συνδεσιμότητα IT και OT ως εξαιρετικά σημαντικές για τη μείωση των κινδύνων στον κυβερνοχώρο. Ο διευθύνων σύμβουλος της CyberOwl, Daniel Ng, σημείωσε σε πρόσφατο διαδικτυακό σεμινάριο: "Ο διαχωρισμός σε ολόκληρο τον αγωγό αλλάζει και αφαιρεί το περιθώριο για ανθρώπινο λάθος, αλλάζοντας το ριζικά από άποψη κυβερνοασφάλειας". Τα πλοία με μια ειδική λύση συνδεσιμότητας IoT ακολουθούν τις συστάσεις του IMO 2021 για την ασφάλεια στον κυβερνοχώρο και ταυτόχρονα δημιουργούν τη βέλτιστη ψηφιακή τεχνολογική υποδομή πλοίου για όλες τις ανάγκες του πλοίου τους, είτε πρόκειται για λειτουργίες, είτε για επικοινωνίες του πληρώματος, είτε για μεταφορές δεδομένων IoT σε πραγματικό χρόνο [1.3].

Στην πραγματικότητα, ωστόσο, πάρα πολλά πλοία εξακολουθούν να προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν ένα υπάρχον σύστημα δορυφορικής επικοινωνίας για να κάνουν πάρα πολλά πράγματα, δημιουργώντας συγκρούσεις για την αμφισβήτηση του εύρους ζώνης και αυξάνοντας τον κίνδυνο στον κυβερνοχώρο. Αυτό το σενάριο περιορίζει επίσης τα πραγματικά οφέλη του IoT, τα οποία μπορούν να υλοποιηθούν μόνο με συνεχή μεταφορά δεδομένων IoT σε πραγματικό χρόνο, απομακρυσμένες παρεμβάσεις υψηλής ταχύτητας και δυνατότητα ανάληψης δράσης στη θάλασσα. Από την άλλη πλευρά, η προσιτή αποκλειστική συνδεσιμότητα IoT υψηλής ταχύτητας επιτρέπει την παρακολούθηση από την ακτή από μια εταιρεία παροχής υπηρεσιών IoT, τους προμηθευτές τεχνικών υπηρεσιών και τους κατασκευαστές OEM των περιουσιακών στοιχείων που βρίσκονται σε ένα πλοίο με έλεγχο της ροής των δεδομένων τους και τη δυνατότητα πραγματοποίησης επεμβάσεων μέσω βίντεο για την επίλυση προβλημάτων σε

πραγματικό χρόνο. Με την έλευση των απομακρυσμένων υπηρεσιών και τη νέα εποχή της τεχνικής διαχείρισης πλοίων, πολλοί ενδιαφερόμενοι που ενδιαφέρονται για την αποδοτικότητα των πλοίων έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να αναλαμβάνουν δράση στα βάθη της θάλασσας για να μειώσουν το κόστος συντήρησης και τις καθυστερήσεις στο λιμάνι, χωρίς να υπάρχει σύγκρουση με το εύρος ζώνης [1.5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Το Διαδίκτυο των Πλοίων

2.1 Η αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πλοίων

Καθώς το διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) εξελίσσεται, μεγάλη είναι και η πρόοδος του IoT στην θαλάσσια και ναυτική μηχανική [2.3], [2.4], [2.5]. Η ανάπτυξη αυτή έχει αυξήσει την μετακίνηση προϊόντων μέσω των θαλάσσιων καναλιών και την θαλάσσια κυκλοφορία. Εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως η αυξημένη θαλάσσια κυκλοφορία, δημιουργεί ευαισθησία στην επικοινωνία μεταξύ των λιμανιών και των πλοίων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση στην άφιξη και αναχώρηση των πλοίων, μαζί με σημαντικά ζητήματα εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και μόλυνσης των ωκεανών.

Επομένως, η ιδεολογική δομή του Διαδικτύου των Πλοίων (IoS) είναι η διασύνδεση των έξυπνων πλοίων (smart ships), έξυπνων λιμανιών (smart ports) καθώς και των έξυπνων μεταφορών (smart transportation), που είναι πιο γρήγορη από την δορυφορική επικοινωνία που χρησιμοποιούνταν. Το Διαδίκτυο των Πλοίων (IoS) έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει τα πλοία να επικοινωνούν με άλλα πλοία, στον εύκολο και γρήγορο εντοπισμό των δρομολογίων, στις άνευ διακοπών διαδικτυακές εγκαταστάσεις, στην αυτόματη φόρτωση, στην εκφόρτωση, στην αγκυροβόληση, στην αποφυγή συγκρούσεων, έχει αυξημένη ασφάλεια, παρέχει ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο(real time tracking) κλπ.

Η αρχιτεκτονική του IoS έχει σχεδιαστεί ως μια αρχιτεκτονική πέντε βαθμίδων: βαθμίδα αισθητήρων(sensing layer), ετερογενής βαθμίδα δικτύου(heterogenous network layer), βαθμίδα υπολογισμού δεδομένων (data computation layer), βαθμίδα υπηρεσιών και εφαρμογών (service and application layer) και τη βαθμίδα επίδειξης (exhibition layer) [2.1].

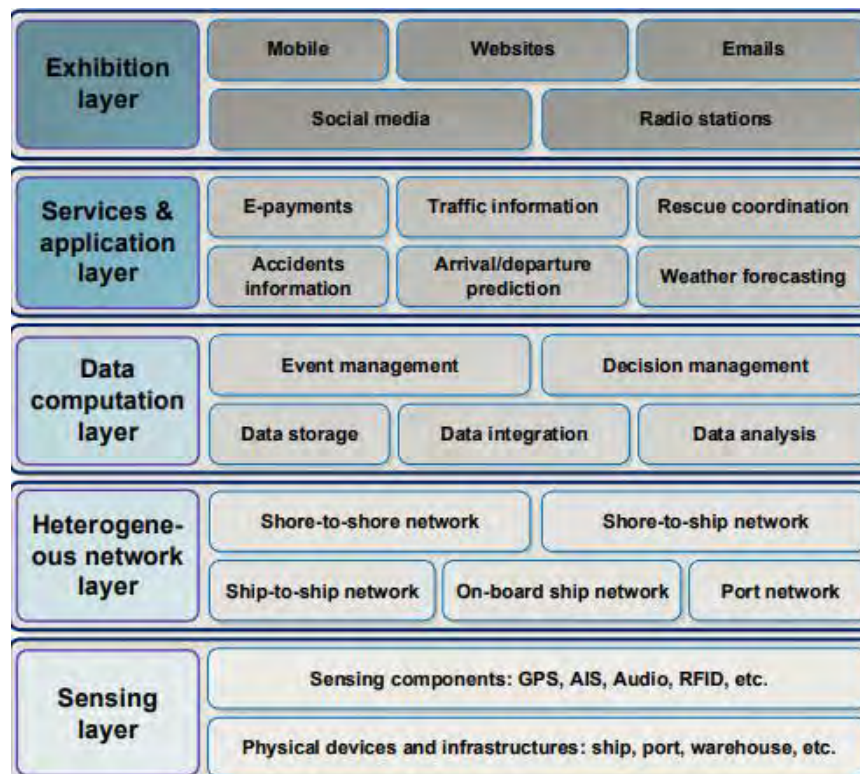
- **Βαθμίδα αισθητήρων (sensing layer):** Η πρώτη βαθμίδα είναι υπεύθυνη για την συλλογή δεδομένων από διάφορες πηγές που βρίσκονται, είτε στα πλοία είτε στην στεριά. Για παράδειγμα, CCTV τερματικά (CCTV terminals), AIS τερματικά (AIS terminals), GPS, VTS τερματικοί ραδιοεντοπιστές (VTS radar terminals), RFID τερματικά (RFID terminals), αισθητήρες (sensors), ανίχνευση εικόνων, ευφυή τερματικά πλοίων (intelligent ship terminal), κλπ. είναι οι κύριες πηγές συλλογής

δεδομένων σε περιβάλλοντα IoS. Κάποια παραδείγματα από τα δεδομένα που συλλέγονται στην βαθμίδα αισθητήρων είναι, ο προορισμός των πλοίων, η θέση των πλοίων, η ταχύτητα των πλοίων, το επίπεδο του νερού, πληροφορίες κυκλοφορίας και οι πληροφορίες χωρητικότητας γέφυρας.

- Ετερογενής βαθμίδα δικτύου(heterogenous network layer) :Η βαθμίδα του δικτύου, παρέχει την υπηρεσία της επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων συσκευών ή πραγμάτων που είναι κομμάτια του συστήματος IoS και αποτελείται από διαφορετικές τεχνολογίες δικτύων, όπως η δορυφορική, το Wi-Fi, το LAN και τα 3G/4G. Επιπλέον, ο σκοπός της βαθμίδας αυτής είναι η ασφαλής και αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων, όπου εγγυάται την επιτυχή και ομαλή σύνδεση δεδομένων.
- Βαθμίδα υπολογισμού δεδομένων (data computation layer): Αυτή η βαθμίδα είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση και τη διαχείριση των συλλεγμένων δεδομένων. Ταυτόχρονα, η βαθμίδα αυτή παρέχει πληροφορίες στην επόμενη βαθμίδα, δηλαδή τη βαθμίδα υπηρεσιών και εφαρμογών. Στη βαθμίδα αυτή υπάρχουν αρκετές βάσεις δεδομένων (databases) και αποθηκευτικοί χώροι πραγμάτων (object stores) που χρησιμεύουν ώστε να εκπληρώνουν διάφορες απαιτήσεις συμπεριλαμβανομένων της βάσης δεδομένων με τα ονόματα των ένστολων, της διοίκησης των ένστολων και της κωδικοποίησης πληροφοριών των ένστολων[2.7]. Επιπλέον, για να διαχειριστούν την μεγάλο ποικιλία δεδομένων, αυτή η βαθμίδα ,πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει τις τρέχουσες κυρίαρχες εκδόσεις, όπως οι XML, JSON, CSV και τη δυαδική. Νέες πλατφόρμες μεγάλων δεδομένων (big data platforms) όπως οι Hadoop, Spark, Kafka και MongoDB μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση και επεξεργασία του τεράστιου όγκου συλλεγμένων δεδομένων.
- Βαθμίδα υπηρεσιών και εφαρμογών (service and application layer) : Η βαθμίδα αυτή αποτελεί την βαθμίδα πυρήνα της αρχιτεκτονικής IoS και επικεντρώνεται στην ανάπτυξη εφαρμογών (applications) και υπηρεσιών που αντιμετωπίζουν τις ανάγκες των χρηστών. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν την υπηρεσία ή την εφαρμογή, από την λίστα υπηρεσιών και στη συνέχεια η επιλεγμένη υπηρεσία παρέχεται μέσω των αντίστοιχων πόρων [2.6]. Για παράδειγμα, η ενίσχυση ασφάλειας, το πλάνο δρομολογίων, η παρακολούθηση του φορτίου σε πραγματικό

χρόνο, η ανίχνευση και αποτροπή λαθών και η αυτόματη αγκυροβόληση είναι μερικές από τις βασικές υπηρεσίες που παρέχονται στην βαθμίδα αυτή.

- **Βαθμίδα επίδειξης (exhibition layer):** Στην βαθμίδα εφαρμογών, αρκετά συστήματα εφαρμογών, έχουν σχεδιαστεί για να αξιοποιούν πληροφορίες από τη βαθμίδα υπολογισμού δεδομένων, να αναλύουν, υπολογίζουν και να επεξεργάζονται τα δεδομένα. Εν συνεχεία, οι εφαρμογές(applications) χρησιμοποιούνται για να απαντήσουν στις ανάγκες και τις απαιτήσεις των θαλάσσιων χρηστών. Εκτός αυτού, η βαθμίδα επίδειξης λειτουργεί και ως ένα παράθυρο υπηρεσιών για την επικοινωνία των χρηστών απευθείας και σε πραγματικό χρόνο [2.8], [2.9]. Για παράδειγμα, τα smartphones, ευφυή τερματικά(intelligent terminals), ιστοσελίδες (websites) και μέσα κοινωνικής δικτύωσης (social media) χρησιμοποιούνται για τον διαμοιρασμό πληροφοριών σε θαλάσσιους χρήστες. Επιπλέον, η βαθμίδα επίδειξης ικανοποιεί και τις απαιτήσεις για την υπηρεσία κυκλοφορίας πληροφοριών και την πρόσβαση λειτουργιών από εξωτερικούς παρόχους πληροφοριών ,το οποίο είναι ιδιαίτερος χρήσιμο για την ανάπτυξη του συνολικού επιπέδου υπηρεσιών.



Σχήμα 2.1 Η πρακτική χρήση κάθε βαθμίδας [2.1]

Πίνακας 2.1 Τεχνολογίες και πρωτόκολλα για το Διαδίκτυο των Πλοίων
[2.3]

IoT Elements	Example technologies/protocols
Identification	Naming: uCode, EPC
	Addressing: IPv4, IPv6
Sensing	Smart/Embedded sensors, actuators, RFID
	Tags
Communications	Satellite, RFID, NFC, UWB, Bluetooth, BLE,
	802.15 .4\$, Z-wave, WiFi, WiFi-direct, LTE
Computation	Hardware: SmartThings, Arduino, UDOO, T-
	Mote Sky, Phidgets, Intel Galileo, Raspberry
	Pi, FriendlyARM, ZI, Mulle, Gadgeteer, Bea-
	gleBone, Cubiebone, Smart Phones
	Software: Contiki, TinyOS, LiteOS, RiotOS,
	Android
	Cloud platforms: Nimbits, ThingWorx, Ope-
	nIot, Xively
Services	Models: Identity-related, Information-
	aggregation, Collaborative-aware, Ubiquitous;
	Discovery: multicast DNS (mDNS) and DNS
	Service Discovery (DNS-SD)
Semantics	Efficient XML Interchange (EXI), Web
	Ontology Language, Resource Description
	Framework (RDF)

2.2 Έξυπνα Λιμάνια (Smart Ports)

Αυτή τη στιγμή, τα λιμάνια ανταγωνίζονται σκληρά για τα κεφάλαια και τις παγκόσμιες επενδύσεις, με σκοπό την αύξηση των εσόδων, κυρίως με την βελτίωση των επιδόσεων και τη μείωση του εργατικού κόστους. Τα Έξυπνα Λιμάνια (Smart Ports) είναι μια πολύ καλή κίνηση για τη υλοποίηση των ζητημάτων αυτών, καθώς ενσωματώνουν τις τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνιών εντός έξυπνων εφαρμογών (smart applications), συμβάλλοντας τελικά στη βέλτιστη διαχείριση των λιμένων. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη απόδοση και χαμηλότερα λειτουργικά έξοδα. Ως αποτέλεσμα, πολλά λιμάνια σε Ευρώπη, Βόρεια Αμερική, Αυστραλία και Ασία έχουν στραφεί στις έξυπνες εφαρμογές.

Πολλά ακαδημαϊκά ή πρακτικά ερευνητικά πρότζεκτ έχουν προσφέρει νέες λύσεις για τη μείωση της πολυπλοκότητας της λειτουργίας των λιμανιών, παραδείγματα αποτελούν το έξυπνο λιμάνι Erasmus στο Ρότερνταμ της Ολλανδίας [2.10] και το έξυπνο λιμάνι του Αμβούργου στη Γερμανία [2.11].

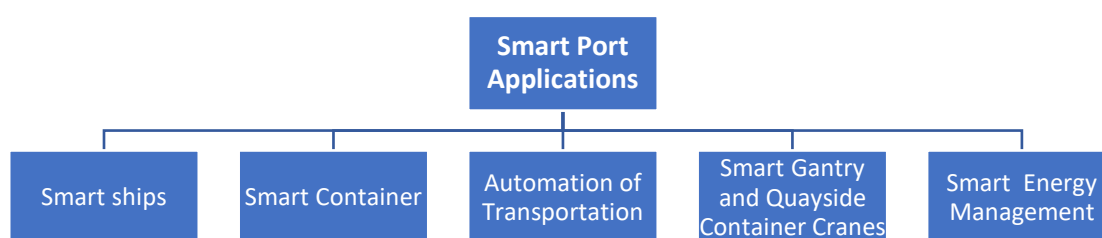
Η έννοια του Smart port, σημαίνει την αυτοματοποίηση όλων των λειτουργιών που εκτελούνται από το λιμάνι, καθώς και την επικοινωνία όλων των λιμενικών δραστηριοτήτων μέσω της αυτόματης μετάδοσης κινητών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τον διπλασιασμό της ικανότητας των λιμανιών να ολοκληρώσουν και να ενοποιήσουν λιμενικές λειτουργίες. Συνεπώς, τα Smart ports εξοικονομούν χρόνο στην καταγραφή και χρήματα ως αποτέλεσμα της μείωσης του ανθρώπινου δυναμικού, καθώς επίσης και στη διευκόλυνση της παρακολούθησης και της κυκλοφορίας η οποία συμβάλλει στη μείωση της συμφόρησης, στην αύξηση της παραγωγικότητας και διατηρεί την ασφάλεια των εργαζομένων [2.12].

Κάθε Smart port αποτελείται από έναν συνδυασμό αισθητήρων(sensors), ενεργοποιητών(actuators), ασύρματο εξοπλισμό(wireless equipment) και κέντρα επεξεργασίας βάσεων δεδομένων(database processing centers). Έτσι, οι υπηρεσίες που παρέχονται από τις λιμενικές αρχές πιο αποτελεσματικές και ανθεκτικές με πιο βιώσιμο τρόπο. Μεταξύ των πιο σημαντικών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στο Smart port για τη συλλογή κατάλληλων δεδομένων είναι αισθητήρες δινορευτικού ρεύματος (eddy current sensors), αισθητήρες υπερήχων (ultrasonic sensors), αισθητήρες απεικόνισης (imaging sensors), αισθητήρες

αδράνειας (inertial sensors), αναγνώρισης ραδιοσυχνοτήτων (RFID) και ραντάρ [2.13].

Για τη δημιουργία ενός Smart port πρέπει να φτιάξουμε τα πέντε βασικές κομμάτια που το απαρτίζουν, τα οποία είναι τα εξής: 1) Έξυπνα πλοία (Smart ships), 2) Έξυπνες γέφυρες και γερανοί προκυμαίας εμπορευματοκιβωτίων (smart gantry and quayside container cranes), 3) Αυτοματισμός των μεταφορών (automation of transportation), 4) Έξυπνα κοντέινερ (smart container), 5) Έξυπνη διαχείριση ενέργειας (smart energy management)[2.2].

Εξετάζουμε, επομένως, εκτενέστερα τα βασικά αυτά δομικά στοιχεία.



Σχήμα 2.2 Εφαρμογές έξυπνων λιμανιών [2.1]

2.2.1 Έξυπνα πλοία (Smart ships)

Η έξυπνη διαχείριση των πλοίων βοηθά στην ελαχιστοποίηση του χρόνου αναμονής, του ελλιμενισμού των πλοίων και τους βοηθά να δεσμευτούν στο πρόγραμμα άφιξης τους, επιλέγοντας τις διαδρομές και τα λιμάνια, με βάση τους τοποθεσία και τον ρυθμό της κυκλοφορίας. Για την ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου των πλοίων, παρέχονταν ένα δορυφορικό σύστημα έξυπνων αισθητήρων και συσκευών παρακολούθησης, οι οποίες αύξησαν την ποσότητα και την αξιοπιστία των πληροφοριών που αποστέλλονται και λαμβάνονται στο λιμάνι. Αυτά τα συστήματα βοηθούν τα έξυπνα πλοία να συνδέονται με τα Smart ports και να οργανώνουν τη διαδικασία ελλιμενισμού, διευκολύνοντας έτσι τη διαδικασία φόρτωσης και εκφόρτωσης των πλοίων[2.12], [2.14].

Για τα πλοία, το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) είναι ένα ουσιαστικό εργαλείο για την πλοήγηση μέσα και έξω από την περιοχή του λιμανιού. Η σημασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο αυξάνεται κατά τη διάρκεια των λιμενικών λειτουργιών, καθώς προσδιορίζουν την τοποθεσία και την

κατάσταση των αντικειμένων, για τον σχεδιασμό και συντονισμό δραστηριοτήτων, με υψηλή απόδοση[2.15], [2.16].

Τα ανακτηθέντα δεδομένα εντοπισμού θέσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόβλεψη (π.χ. πρόβλεψη διαδρομής, ώρες άφιξης), καθώς και συνδυαστικά με άλλες πηγές δεδομένων για την παροχή άλλων δεδομένων σχετικών με μεμονωμένα αντικείμενα και σημεία ενδιαφέροντος[2.17]. Η διαδικασία συλλογής και ανταλλαγής πληροφοριών των πλοίων με άλλες πηγές, επιτυγχάνεται μέσω δορυφόρων ή τεχνολογιών επικοινωνίας 3G/4G. Έτσι τα πλοία μπορούν να επικοινωνούν με το λιμάνι και τα τμήματά του να γνωρίζουν την κυκλοφορία των πλοίων και τους χρόνους ελλιμενισμού τους. Αυτό επιτρέπει επίσης στα λιμάνια να παρακολουθούν τα εμπορεύματα και να προσδιορίζουν την κατάσταση και την τοποθεσία τους ανά πάσα στιγμή[2.1].

Συγκρίνοντας τα συμβατικά πλοία με τα Smart ships, παρατηρούμε πολλά πλεονεκτήματα από οικονομικής, όσο και οικολογικής απόψεως. Οι μεγάλες καθυστερήσεις των συμβατικών πλοίων έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση καυσίμων και την αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία με τα Smart ships αποφεύγονται, ενώ παράλληλα βελτιώνονται τα προγράμματα άφιξης των πλοίων, λαμβάνονται περισσότερες και πιο ακριβείς πληροφορίες για τις κινήσεις των πλοίων και δημιουργούνται πιο αποτελεσματικά λιμάνια[2.1] ,[2,18], [2.19].

2.2.2 Έξυπνες γέφυρες και γερανοί προκυμιάς εμπορευματοκιβωτίων (smart gantry and quayside container cranes)

Οι αυξανόμενες απαιτήσεις των πελατών για χαμηλό κόστος και γρήγορη αποστολή έχουν οδηγήσει στον ανταγωνισμό στην παγκόσμια οικονομία. Η αυτοματοποίηση του εξοπλισμού της φόρτωσης και της εκφόρτωσης , δίνει τη δυνατότητα να βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό η απόδοση της λειτουργίας του λιμένα, καθώς γίνεται αποτελεσματικότερη και υψηλής τεχνολογίας. Το πιο σημαντικό κομμάτι είναι οι γερανοί εμπορευματοκιβωτίων από πλοίο σε ακτή (ship-to-shore container cranes ,STS), οι οποίοι αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος της επένδυσης (το 70% του συνολικού κόστους στα λιμάνια[2.20]). Οι STS χρησιμοποιούνται στο σύστημα φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων. Οι συμβατικοί γερανοί STS απαιτούν

τον χειρισμό από εργάτες. Οι ιδιαίτερες συνθήκες στις οποίες βρίσκεται ο εργάτης , μπορούν να του προκαλέσουν ζαλάδα και κούραση και όπως είναι εμφανές και να υπάρξουν ατυχήματα και καθυστερήσεις. Πέραν αυτού, απαιτούνται πολλοί χειριστές , το οποίο είναι δαπανηρό [2.20],[2.21].

Για την εναλλαγή από τους συμβατικούς γερανούς σε ρομποτικούς γερανούς , εγκαθίστανται εξελιγμένοι αισθητήρες στο πλαίσιο του γερανού για την ανίχνευση της θέσης των κοντέινερ. Αυτά τα συστήματα αισθητήρων αποτελούνται από κωδικοποιητές για την ανάγνωση δεδομένων των κοντέινερ, μετρητές αποστάσεων με λέιζερ (laser rangefinders), κάμερες και προγραμματιζόμενοι ελεγκτές λογικής (programmable logic controllers ,PLC). Το PLC συλλέγει τα δεδομένα τοποθεσίας και τα συγκρίνει με την επιθυμητή θέση που παρέχεται από τον υπολογιστή του αμαξοστασίου και με τη σειρά του κατευθύνει τους κινητήρες του γερανού[2.22] ,[2.23]. Η αυτοματοποίηση των γερανών συμβάλλει στη σημαντική μείωση του κόστους εργασίας, καθώς ένας χειριστής μπορεί να χειριστεί από τρεις έως έξι γερανούς εξ αποστάσεως από την αίθουσα της κονσόλας μέσω βίντεο παρακολούθησης[2.22].

Βοηθά επίσης στην εξασφάλιση της ασφάλειας των λειτουργιών. Συνεπώς , με την αλλαγή από τους συμβατικούς γερανούς σε Smart cranes έχει ως αποτέλεσμα την εξάλειψη των ανθρώπινων λαθών, την ακριβή και γρήγορη φορτοεκφόρτωση των εμπορευμάτων, ενώ δεν απαιτείται το εργατικό δυναμικό που απαιτούνταν[2.13], [2.19].

2.2.3 Αυτοματισμός των μεταφορών (automation of transportation)

Στο λιμάνι, η οριζόντια μεταφορά κοντέινερ αποτελείται από δύο ξεχωριστές λειτουργίες[2.23]: α)χερσαία μεταφορά (land transport ,LS): είναι η διαδικασία μεταφοράς κοντέινερ από την πύλη του λιμανιού στο αμαξοστάσιο και το αντίστροφο , β) παραθαλάσσια μεταφορά (waterside transportation ,WS): η διαδικασία μετακίνησης κοντέινερ από τα πλοία μετά την εκφόρτωση με γερανογέφυρες στο αμαξοστάσιο και αντίστροφα.

Με την αυτοματοποίηση των διαδικασιών που συμβαίνουν στα Smart ports, όπως η αποθήκευση και οι γερανοί μέσα στο λιμάνι, τα συμβατικά φορτηγά που

χρησιμοποιούνταν, θα πρέπει επίσης να αυτοματοποιηθούν και να αντικατασταθούν με ηλεκτρονικά καθοδηγούμενες πλατφόρμες μεταφοράς.

Τα Smart ports προτιμούν τη χρήση αυτοματοποιημένων οχημάτων καθοδήγησης (automated guided vehicles, AGV) για τη μείωση του λειτουργικού κόστους. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετά προβλήματα που σχετίζονται με τη χρήση AGV όπως ο εντοπισμός θέσης, ο σχεδιασμός διαδρομής, η αποφυγή εμποδίων και η παρακολούθηση της διαδρομής[2.24]. Το πρόβλημα του εντοπισμού θέσης μπορεί να λυθεί χρησιμοποιώντας το διαφορικό σύστημα GPS (differential GPS ,DGPS) ως σύστημα πλοήγησης για μη επανδρωμένα οχήματα και συστήματα, ειδικά για AGV, δεδομένης της ανθεκτικότητας και της ακριβείας του[2.25]. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και ως σύστημα προειδοποίησης συγκρούσεων.

Μια άλλη πρόταση υποδεικνύει ένα σύστημα για την αυτοματοποίηση ολόκληρων εργασιών μεταφοράς κοντέινερ χρησιμοποιώντας μη επανδρωμένα φορτηγά με DGPS και ένα σύνολο αισθητήρων, όπου χρησιμοποιούνται συστήματα που βασίζονται σε οπτικά συστήματα(optical-based systems) και ιδίως συστήματα λέιζερ και ραντάρ (laser and radar systems), αντί για συστήματα DGPS[2.25], ενώ υπάρχει και η πρόταση για μια νέα τεχνολογία για τη συγχώνευση τοποθέτησης των οχημάτων εδάφους ,που συνδυάζει έναν εικονικό αισθητήρα και μια μονάδα ηλεκτρομηχανικής μικρο-αδρανειακής μέτρησης(electromechanical-based micro-inertial measurement unit) [2.26].

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι, η αυτοματοποίηση των μεταφορών, αποφέρει πολλά πλεονεκτήματα , συμπεριλαμβανομένων της μείωσης του εργατικού κόστους και των ατυχημάτων από συγκρούσεις και τη δημιουργία ενός πιο ασφαλούς εργασιακού περιβάλλοντος. Παράλληλα, έχουμε μείωση εκπομπές αερίων.

2.2.4 Έξυπνα κοντέινερ (smart container)

Για να γίνει η μετατροπή των συμβατικών κοντέινερ σε Smart containers απαιτείται ένα πλήθος αισθητήρων που παρακολουθούν τα κοντέινερ, συλλέγοντας δεδομένα σχετικά με την γεωγραφική τους τοποθεσία, καθώς επίσης δίνουν τη δυνατότητα για απομακρυσμένη παρακολούθηση των συμβάντων και των συνθηκών των κοντέινερ (π.χ. η θερμοκρασία) , καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού τους. Παραδείγματα γεγονότων που μπορούν να σημειωθούν είναι αν έχουν

ανοιχτεί ή όχι τα κοντέινερ, αλλαγές στη θερμοκρασία τους, καταστάσεις έκτακτης ανάγκη όπως κραδασμοί και πτώση εϋθραυστων εμπορευμάτων, πλημμύρες , πυρκαγιές που συμβαίνουν πολλές φορές κατά τη διάρκεια των μεταφορών. Έτσι στέλνονται μηνύματα στους υπεύθυνους για να λάβουν τα απαραίτητα μέτρα [2.19]. Επομένως, ένα Smart container παρέχει συνεχή ανατροφοδότηση πληροφοριών καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού του σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας στο πλάνο συντήρησης ή την αναφορά ζημιών [2.27]. Η τεχνολογία των Smart containers μειώνει τον χρόνο ελλιμενισμού του πλοίου. Έτσι, μειώνεται και το λειτουργικό κόστος περίπου κατά 10% [2.28], [2.29].

Στα τερματικά των κοντέινερ έχει χρησιμοποιηθεί η τεχνολογία DGPS. Το σύστημα αυτό επεκτείνει το GPS μέσω της χρήσης σταθερών σταθμών αναφοράς που ανιχνεύουν τη διαφορά μεταξύ μιας γνωστής ακριβούς τοποθεσίας και του εντοπισμού θέσης των δεδομένων του GPS [2.14]. Έτσι, η ακριβής θέση των κοντέινερ μπορεί να προσδιοριστεί μαζί με την παρακολούθηση των κινήσεων του κοντέινερ εντός του τερματικού σταθμού [2.30]. Παρόλο που υπάρχουν πολλές ερευνητικές προτάσεις επί του θέματος , δυο είναι ιδιαίτερος αξιοσημείωτες.

Κατά την πρώτη [2.31], όπου προτείνονται τεχνολογία ασύρματων δικτύων ανίχνευσης (wireless sensing networks, WSN) για τη λήψη των δεδομένων του κοντέινερ και στη συνέχεια στέλνονται σε μεγάλες περιοχές. Στην δεύτερη[2.32] άξια αναφοράς έρευνα , προτείνεται και πάλι η τεχνολογία WSN ως τεχνική ,αλλά πλέον δημιουργείται μια ασύρματη σύνδεση που συνδέει το κοντέινερ με ένα κυψελοειδές δίκτυο (cellular network). Συμπεραίνουμε ότι, τα Smart containers πλεονεκτούν σε σχέση με τα συμβατικά, καθώς παρέχουν τη δυνατότητα εντοπισμού της φυσικής τοποθεσίας των κοντέινερ και να παρακολουθούνται ανά πάσα στιγμή.

Μπορούν να δημιουργηθούν ειδοποιήσεις και σημαντικές πληροφορίες στέλνονται στο κέντρο πληροφοριών με αποτέλεσμα την αποφυγή ζητημάτων. Εργαζόμενοι, προμηθευτές και ακόμη και οι ίδιοι οι καταναλωτές μπορούν να ενημερώνονται για ειδικές πληροφορίες ή να λαμβάνουν ειδοποιήσεις μέσω email. Πρέπει να αναφερθεί ,πως τα δεδομένα των Smart containers δημιουργούνται ηλεκτρονικά και κρυπτογραφούνται από άκρο σε άκρο(end-to-end) ,και έτσι είναι ασφαλή και αξιόπιστα [2.12], [2.19].

2.2.5 Έξυπνη διαχείριση ενέργειας (smart energy management)

Λόγω της αύξησης των τιμών στην ενέργεια, καθώς και για τη προστασία του κλίματος από τις περιβαλλοντικές αλλαγές, πολλά λιμάνια επιδιώκουν να βελτιώσουν την ενεργειακή τους απόδοση τηρώντας τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που εκδίδονται από τις αρχές για τη μείωση των ρύπων και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τους ενεργειακούς σταθμούς [2.33]. Εξοπλισμός ηλεκτροδότησης, εναλλακτικά καύσιμα και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό με τη λειτουργική απόδοση, μειώνουν σε μεγάλο βαθμό τις επικίνδυνες εκπομπές και αποτελούν τη μελλοντική γενιά του λιμανιού [2.34]. Η ενεργειακή απόδοση ενός λιμένα είναι ανάλογη με την επιχειρησιακή του αποτελεσματικότητα [2.35]. Η αυτοματοποίηση των συσκευών και του εξοπλισμού των Smart ports μειώνει την κατανάλωση ενέργειας και κατά συνέπεια βελτιώνει την ενεργειακή απόδοση του λιμένα.

Ενώ είναι ελλειμενισμένα, τα περισσότερα πλοία οβήνουν τις κύριες μηχανές τους και ενεργοποιούν τις βοηθητικές μηχανές για την παροχή ρεύματος για τον φωτισμό και την ψύξης. Οι κινητήρες αυτοί καίνε καύσιμα (πετρέλαιο , βαρύ μαζούτ ή υγροποιημένο φυσικό αέριο) όντες σε αδράνεια και εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου. Το Cold ironing, ή αλλιώς beach card ,είναι η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος που παρέχεται μέσω του δικτύου ή των ανανεώσιμων πηγών, προκειμένου να παρέχεται η ενέργεια που απαιτείται για τέτοιες δραστηριότητες στα πλοία [2.36 – 2.38]. Η χρήση Cold ironing στα λιμάνια έχει συμβάλει στη μείωση των τοξικών εκπομπών. Κατά μέσο όρο, το 29,3% του διοξειδίου του άνθρακα μειώνεται στις περιοχές των λιμανιών [2.39].

Επειδή το συνεχές ρεύμα μπορεί να ελαχιστοποιήσει τη μέγιστη και τη μέση κατανάλωση ενέργειας, χρησιμοποιώντας συνεχές ρεύμα αντί για εναλλασσόμενο ρεύμα για τη λειτουργία των γερανών στα λιμάνια, είναι πιο ενεργειακά αποδοτικότερο [2.40]. Ενέργεια μπορεί επίσης να είναι αποθηκευμένη σε υπερπυκνωτές για μελλοντική χρήση [2.41]. Υιοθέτηση νέων τεχνολογιών για τη βελτίωση του φωτισμού των λιμένων αντί για τις συμβατικές τεχνικές φωτισμού (που αντιπροσωπεύει περίπου το 3-5% της συνολικής ενέργειας) βελτιώνει επίσης την ενεργειακή απόδοση [2.42].

Πολύ σημαντικό ρόλο έχουν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, ανεμόμυλους, υπόγεια θερμότητα καθώς και την παραγωγή ενέργειας μέσω της παλιρροιακής κίνησης και των κυμάτων[2.43]. Επίσης, προτείνεται η κάλυψη της επιφάνειας του χώρου ψύξης ,με ηλιακούς συλλέκτες όπου, θα παρέχουν αρχικά σκιά στα κοντέινερ, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη, καθώς θα παράγουν και την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία του λιμενικού εξοπλισμού[2.44]. Το λιμάνι Jurong στη Σιγκαπούρη έχει δημιουργήσει μια ετήσια ηλεκτρική ισχύς 12 εκατομμυρίων kWh με χρήση ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη της τάρτας της αποθήκης [2.45]. Στα λιμάνια της Βαλένθια και του Αμβούργου, η κατανάλωση της ενέργειας που απαιτείται για τον φωτισμό έχει μειωθεί έως και 80% μέσω της χρήσης λαμπτήρων με αισθητήρες κίνησης που ανάβουν όταν περνούν οχήματα [2.46].

Παρατηρούμε, ότι τα Smart ports συμβάλουν ενεργά στη μείωση των εκπομπών αερίων και της υπερθέρμανσης του πλανήτη , βελτιώνοντας συνεχώς την ενεργειακή τους απόδοση και ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε όλες τις λειτουργίες τους. Επιπλέον, η αποτελεσματικότητα των αυτοματοποιημένων συστημάτων των λιμένων και του εξοπλισμού, εξασφαλίζουν μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας, ενώ η χρήση αυτοματοποιημένων καθοδηγούμενων οχημάτων έχει σημαντικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 5G για ναυσιπλοϊκές επικοινωνίες

3.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνολογικές εξελίξεις στους τομείς της ηλεκτρονικής, της αυτοματοποίησης και της μηχανικής μάθησης αποτέλεσαν τη βάση για την εισαγωγή της ψηφιοποίησης, του Διαδικτύου των Πραγμάτων και της αυτονομίας στους βιομηχανικούς τομείς. Αυτό περιλαμβάνει και τη ναυτιλιακή βιομηχανία, όπου εισάγονται "έξυπνα πλοία" και "έξυπνα λιμάνια", καθώς και τηλεκατευθυνόμενα, μη επανδρωμένα και αυτόνομα πλοία [3.1].

Αυτές οι νέες έννοιες ενδέχεται να διαταράξουν ολόκληρη τη ναυτιλιακή αλυσίδα αξίας, να επαναπροσδιορίσουν τους ρόλους εντός του κλάδου και να προσφέρουν νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες για τα ναυπηγεία, τους κατασκευαστές εξοπλισμού και τους πλοιοκτήτες. Εξελίξεις έχουν σημειωθεί και στις τεχνολογίες επικοινωνίας και έχουμε δει νέα πρότυπα και τεχνολογίες που απευθύνονται σε διαφορετικούς τύπους επικοινωνίας, από δίκτυα αισθητήρων χαμηλής ισχύος έως συστήματα υψηλής χωρητικότητας με σημαντικά μεγαλύτερη εμβέλεια.

Κοινό χαρακτηριστικό των τεχνολογιών προηγούμενης γενιάς είναι ότι απευθύνονταν σε συγκεκριμένες εφαρμογές και ήταν κατασκευασμένες κατά παραγγελία για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Παραδείγματα είναι το 3G και το 4G που στοχεύουν στις κινητές ευρυζωνικές επικοινωνίες και το WirelessHART [3.2], το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο για βιομηχανικές εφαρμογές αυτοματισμού διαδικασιών με απαιτήσεις χαμηλής χωρητικότητας και μεγάλο όγκο αισθητήρων με πιο ντετερμινιστική συμπεριφορά από ό,τι για παράδειγμα το πολύ παρόμοιο πρότυπο ZigBee [3.3]. Αυτός ο παραδοσιακός τρόπος σκέψης αμφισβητήθηκε το 2015, όταν η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) δημοσίευσε ένα έγγραφο-όραμα, στο οποίο περιγράφονται λεπτομερώς ένα πλαίσιο και γενικοί στόχοι για τη μελλοντική ανάπτυξη των διεθνών κινητών τηλεπικοινωνιών (IMT) για το 2020 και μετά [3.4].

Σε αυτό το όραμα, η ITU επέκτεινε για πρώτη φορά το πεδίο εφαρμογής των συστημάτων κινητών επικοινωνιών ώστε να συμπεριλάβει αναδυόμενες νέες περιπτώσεις χρήσης πέραν της παραδοσιακής συνδεσιμότητας και της κινητής

ευρυζωνικότητας για την καταναλωτική και επιχειρηματική αγορά. Παραδείγματα εφαρμογών περιλαμβάνουν τον ασύρματο έλεγχο στο πλαίσιο της βιομηχανικής κατασκευής ή της παραγωγικής διαδικασίας, την ιατρική χειρουργική εξ αποστάσεως, την αυτοματοποίηση της διανομής σε έξυπνα δίκτυα και τις μεταφορές. Τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας που απευθύνονται σε αυτούς τους στόχους ταξινομούνται επίσημα ως συστήματα IMT-2020, αλλά συνηθέστερα αναφέρονται ως 5G.

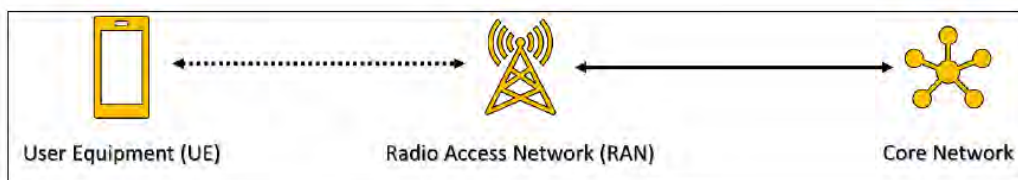
Με το 5G, τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών θα αντιμετωπίσουν, για πρώτη φορά, περιπτώσεις χρήσης πέραν της κινητής φωνής και της ευρυζωνικότητας για την καταναλωτική και επιχειρηματική αγορά. Παραδείγματα εφαρμογών-στόχων είναι τα συστήματα βιομηχανικού ελέγχου, η ιατρική χειρουργική εξ αποστάσεως, το έξυπνο δίκτυο και οι μεταφορές. Πιστεύουμε ότι η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να αναλάβει βασικό ρόλο και στις θαλάσσιες επικοινωνίες γενικά, και ειδικότερα για τα αυτόνομα πλοία, δεδομένου ότι τα πλοία αυτά θα απαιτούν τόσο επικοινωνίες υψηλής χωρητικότητας όσο και επικοινωνίες αισθητήρων υψηλής αξιοπιστίας και χαμηλής καθυστέρησης [3.5].

3.2 Στοιχεία κινητών επικοινωνιών

Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών λειτουργούν σε αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων οι οποίες ρυθμίζονται από τις εθνικές αρχές. Οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς πρέπει συνήθως να αγοράζουν άδειες για τη χρήση των ζωνών συχνοτήτων μέσω εθνικών δημοπρασιών. Εκτός από τα αποκλειστικά δικαιώματα λειτουργίας σε μια ζώνη συχνοτήτων, μια άδεια περιλαμβάνει επίσης την υποχρέωση παροχής ορισμένης εθνικής κάλυψης δικτύου. Όταν πολλοί φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών αγοράζουν άδειες σε μια χώρα, οι ζώνες συχνοτήτων χωρίζονται σε υποζώνες για να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ των δικτύων των φορέων εκμετάλλευσης. Οι χώρες με περισσότερους από έναν τηλεπικοινωνιακούς φορείς καταλήγουν έτσι σε μια πλεονάζουσα υποδομή κινητών επικοινωνιών, μία για κάθε κάτοχο άδειας.

Ένα δίκτυο κινητών επικοινωνιών παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε τελικές συσκευές που ονομάζονται εξοπλισμός χρήστη (User Equipment - UE), ο οποίος

είναι συνήθως ένα κινητό τηλέφωνο. Η ασύρματη κάλυψη παρέχεται από σταθμούς βάσης που ονομάζονται δίκτυα ραδιοπρόσβασης (RAN). Η περιοχή που καλύπτεται από ένα μεμονωμένο RAN μπορεί να αναφέρεται ως κυψέλη, από την οποία προέρχεται ο όρος κυψελοειδή δίκτυα, ο οποίος συχνά χρησιμοποιείται εναλλακτικά με τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Τα RAN ενός τηλεπικοινωνιακού φορέα συνδέονται με το κεντρικό δίκτυο του φορέα, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διαχείριση του δικτύου και των δεδομένων, την πιστοποίηση ταυτότητας των χρηστών, τη δρομολόγηση, τις συνδρομές, τη χρέωση και άλλα. Μια (απλουστευμένη) σχηματική περιγραφή των βασικών στοιχείων ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 1 [3.1].



Σχήμα 3.1 Βασικά στοιχεία ενός δικτύου κινητής τηλεφωνίας [3.1]

Για τη διαχείριση της πρόσβασης στο δίκτυο και της πιστοποίησης ταυτότητας των χρηστών, οι τηλεπικοινωνιακοί φορείς εκδίδουν κάρτες αναγνώρισης συνδρομητή (SIM) στους συνδρομητές τους. Ο εξοπλισμός χρήστη (UE) με έγκυρη κάρτα SIM μπορεί να συνδεθεί σε ένα τοπικό RAN και έτσι να πραγματοποιεί και να λαμβάνει τηλεφωνικές κλήσεις και να στέλνει/λαμβάνει δεδομένα. Από την άποψη της ροής δεδομένων, όλες οι συνδέσεις, οι κλήσεις και οι μεταφορές δεδομένων δρομολογούνται μέσω του κεντρικού δικτύου πυρήνα φορέα εκμετάλλευσης, ανεξάρτητα από την τοποθεσία του αποστολέα και του παραλήπτη.

3.3 Τεχνικές προδιαγραφές 5G

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.1, το νέο όραμα της ITU για το IMT-2020 ωθεί τον κλάδο των τηλεπικοινωνιών να αντιμετωπίσει νέες εφαρμογές πέραν της παραδοσιακής συνδεσιμότητας και της κινητής ευρυζωνικότητας για την αγορά των smartphones. Για την ευκολότερη διάκριση μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών και των απαιτήσεών τους, το IMT-2020 ορίζει ένα σύνολο τριών σεναρίων χρήσης [3.5]:

- Ενισχυμένη μαζική ευρυζωνικότητα (eMBB)

- Μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC)
- Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC)

Λόγω της ποικιλομορφίας των εφαρμογών που εισάγονται από αυτά τα νέα σενάρια χρήσης, τα μελλοντικά κινητά δίκτυα IMT-2020 πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρουν μια ευρεία ποικιλία δυνατοτήτων προκειμένου να ικανοποιούν τις διάφορες απαιτήσεις των περιπτώσεων χρήσης. Για να διασφαλιστεί η επαρκής απόδοση των μελλοντικών κινητών δικτύων, το IMT-2020 προσδιορίζει ένα σύνολο βασικών δυνατοτήτων και τις τιμές-στόχους τους, οι οποίες υπερβαίνουν τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν οι τρέχουσες γενιές κινητών δικτύων. Αυτές οι βασικές ικανότητες παρατίθενται στον πίνακα 3.1 [3.4].

Πίνακας 3.1 Βασικές δυνατότητες του IMT-2020 για τα μελλοντικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας [3.4]

Key capability	Target value
Peak data rate	20Gbit/s
User experienced data rate	100Mbit/s
Latency	1 ms
Mobility	500 km/h
Connection density	10^6 devices per km^2
Area traffic capacity	10Mbit/s/ m^2
Energy efficiency	100x(compared to 4G)
Spectrum efficiency	3x(compared to 4G)

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν όλες οι βασικές ικανότητες ταυτόχρονα μέσω μιας και μόνο υπηρεσίας ή ενός εύρους συχνοτήτων. Ως εκ τούτου, νέοι φασματικοί πόροι εκχωρούνται για τα δίκτυα 5G, με αρχικές πρωτοπόρες ζώνες τις ζώνες 700 MHz, 3,6 GHz και 26 GHz.

Οι τρεις κατηγορίες χρήσης και οι απαιτήσεις τους παρουσιάζονται αναλυτικότερα στις επόμενες ενότητες.

3.3.1 Ενισχυμένη κινητή ευρυζωνικότητα (eMBB)

Ο κύριος στόχος του eMBB είναι η κινητή ευρυζωνικότητα για την καταναλωτική και επιχειρηματική αγορά, με στόχο την παροχή πρόσβασης υψηλής ταχύτητας σε πολυμεσικό περιεχόμενο, υπηρεσίες και δεδομένα. Το eMBB μπορεί να θεωρηθεί εξέλιξη του 4G, με τις βασικές δυνατότητες να επικεντρώνονται στους βελτιωμένους ρυθμούς δεδομένων και τη χωρητικότητα του δικτύου. Επιλεγμένες ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις επιδόσεων για το eMBB, όπως ορίζονται από το IMT-2020, παρατίθενται στον πίνακα 3.2 [3.5].

3.3.2 Μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC)

Το σενάριο χρήσης mMTC αφορά το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), το οποίο μπορεί να οριστεί ως ένα δίκτυο φυσικών αντικειμένων που επικοινωνούν και συνεργάζονται για να παράγουν και να μοιράζονται πληροφορίες. Το IoT αποτελείται από τα λεγόμενα "έξυπνα" αντικείμενα ενσωματωμένα με αισθητήρες, ηλεκτρονικά, λογισμικό και ασύρματη επικοινωνία. Το IoT καλύπτει μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών και εφαρμογών, τόσο σε δημόσιους, ιδιωτικούς όσο και σε βιομηχανικούς τομείς. Οι βασικές δυνατότητες του mMTC περιλαμβάνουν την υποστήριξη ενός πολύ μεγάλου αριθμού συνδεδεμένων συσκευών που συνήθως μεταδίδουν σχετικά μικρό όγκο μη κρίσιμων δεδομένων. Οι συσκευές απαιτείται επιπλέον να έχουν χαμηλό κόστος και πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

Οι βασικές ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις επιδόσεων για το mMTC, όπως ορίζονται από το IMT-2020, παρατίθενται στον πίνακα 3.3 [3.5].

Πίνακας 3.2 Βασικές απαιτήσεις για το eMBB [3.5]

Key capability	Target value
Peak data rate	20Gbit/s downlink
	10Gbit/s uplink
Peak spectral efficiency	30bit/s/Hz downlink
	15bit/s/Hz uplink

	100Mbit/s downlink
User experienced data rate	50Mbit/s uplink
	10Mbit/s/m ²
Area traffic capacity	4 ms
Latency	Up to 500 km/h
Mobility	0 ms
Mobility interruption time	

Πίνακας 3.3 Βασική απαίτηση για mMTC [3.5]

Key capability	Target value
Connection density	10 ⁶ devices per km ²

3.3.3 Εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης (URLLC)

Η URLLC πρέπει να παρέχει γρήγορη και αξιόπιστη επικοινωνία για περιπτώσεις χρήσης π.χ. στη βιομηχανία, τις μεταφορές, την ιατρική και την παραγωγή και διανομή ενέργειας. Τυπικές απαιτήσεις είναι η χαμηλή καθυστέρηση σε συνδυασμό με υψηλή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία. Οι βασικές ελάχιστες τεχνικές απαιτήσεις επιδόσεων για το URLLC, όπως ορίζονται από το IMT 2020, παρατίθενται στον πίνακα 3.4 [3.5].

Πίνακας 3.4 Βασικές απαιτήσεις για το URLLC [3.5]

Key capability	Target value
Latency	1 ms
Mobility interruption time	0 ms
Reliability	99.99%

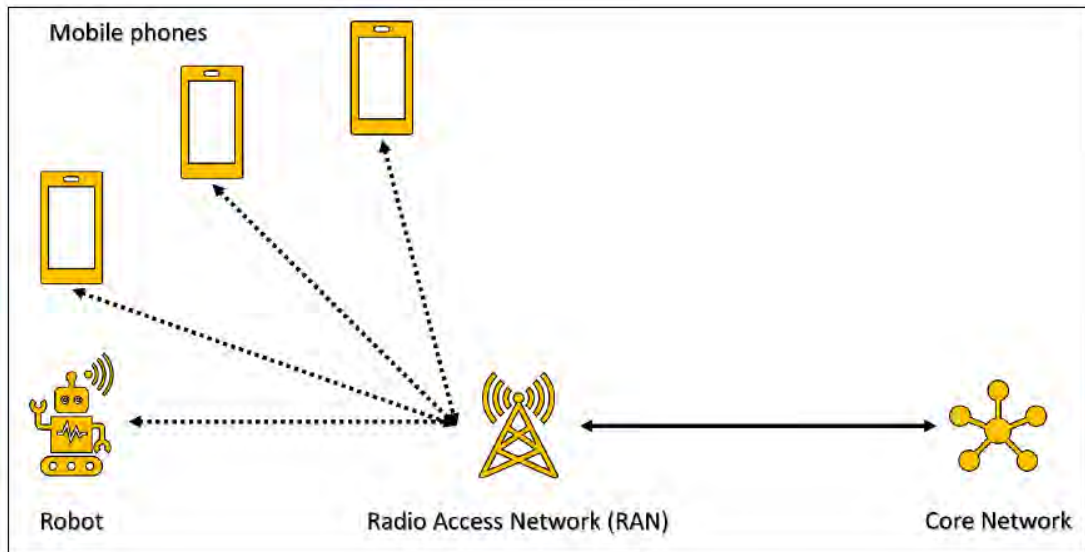
3.4 Καινοτομίες 5G

Όπως συζητήθηκε στην προηγούμενη ενότητα, το IMT-2020 ορίζει τρία σενάρια χρήσης για κινητά δίκτυα (eMBB, mMTC και URLLC), καθένα από τα οποία στοχεύει σε εφαρμογές με διαφορετικές απαιτήσεις. Για την επίτευξη των βασικών δυνατοτήτων-στόχων που παρατίθενται στους πίνακες 1,2,3 και 4, το 5G εισαγάγει μια σειρά από καινοτομίες που υπερβαίνουν τις δυνατότητες των προηγούμενων γενεών τεχνολογίας κινητών δικτύων. Οι καινοτομίες που πιστεύουμε ότι είναι πιο σημαντικές για τις ναυτιλιακές εφαρμογές περιγράφονται στις ακόλουθες ενότητες.

3.4.1 Τεμαχισμός δικτύου

Στο 4G και στις προηγούμενες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας η διαθέσιμη χωρητικότητα του δικτύου μοιράζεται κατ' αρχήν εξίσου μεταξύ όλων των χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε ένα συγκεκριμένο RAN. Αυτό σημαίνει ότι η βιωμένη ποιότητα υπηρεσίας (QoS) για έναν συγκεκριμένο χρήστη αλλάζει ανάλογα με το επίπεδο δραστηριότητας των άλλων χρηστών που βρίσκονται κοντά του. Για πιο κρίσιμες εφαρμογές, όπως ο αυτοματισμός εργοστασίων και διαδικασιών, η υγεία, οι μεταφορές και η ενέργεια, μια μη ντετερμινιστική απόδοση QoS ενός ασύρματου δικτύου δεν είναι αποδεκτή.

Για την αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης, ένα τοπικό 5G RAN θα έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει πολλαπλές κατηγορίες υπηρεσιών με διαφορετικές απαιτήσεις μέσω ενός νέου χαρακτηριστικού που ονομάζεται τεμαχισμός δικτύου. Μια νομική οντότητα (π.χ. μια δημόσια ή ιδιωτική εταιρεία, επιχείρηση ή οργανισμός) μπορεί να διαπραγματευτεί συμφωνίες QoS με τον τηλεπικοινωνιακό φορέα εκμετάλλευσης για τη δέσμευση εύρους ζώνης και πόρων και να αποκτήσει ένα ιδιωτικό "κομμάτι" του δικτύου, προκειμένου να έχει εγγυημένη απόδοση επικοινωνίας. Μια νομική οντότητα που αποκτά μια φέτα δικτύου ονομάζεται ενοικιαστής στην ορολογία του 5G. Ένα παράδειγμα τεμαχισμού δικτύου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2, όπου ένα βιομηχανικό ρομπότ μπορεί να έχει αποκλειστική QoS παρά την άλλη κίνηση χρηστών από κινητά τηλέφωνα στο ίδιο RAN.

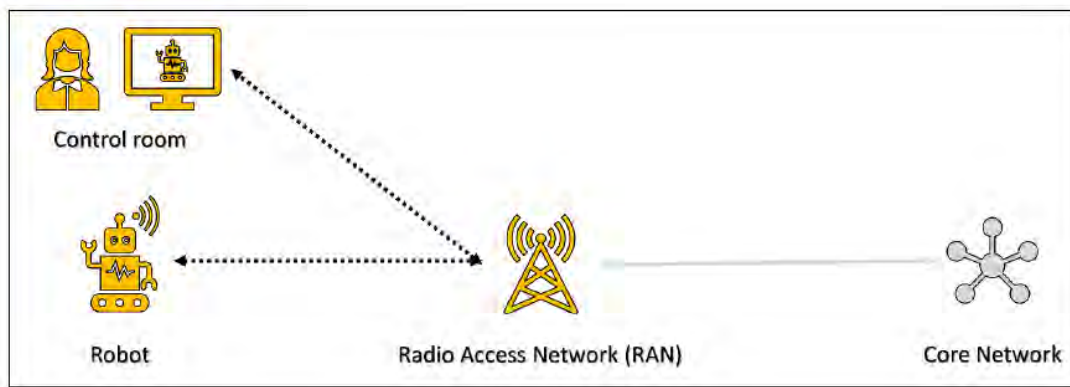


Σχήμα 3.2 Τεμαχισμός δικτύου [3.1]

3.4.2 Edge computing

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.2, η κυκλοφορία δεδομένων στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 4G και στις προηγούμενες γενιές δικτύων κινητής τηλεφωνίας δρομολογείται μέσω των κεντρικών δικτύων πυρήνα των τηλεπικοινωνιακών φορέων. Ενώ αυτό δεν έχει ιδιαίτερη σημασία στις παραδοσιακές εφαρμογές καταναλωτικών smartphone, το μοντέλο αυτό δεν είναι πάντα κατάλληλο για βιομηχανικές και ναυτιλιακές εφαρμογές λόγω των ακόλουθων μειονεκτημάτων:

- Τα ευαίσθητα δεδομένα παραγωγής δεν βρίσκονται υπό τον πλήρη έλεγχο του κατόχου των δεδομένων καθώς μεταδίδονται από το RAN στο δίκτυο πυρήνα.
- Η δρομολόγηση δεδομένων μέσω του κεντρικού δικτύου εισάγει περιττή καθυστέρηση, καθιστώντας την τεχνολογία ενδεχομένως ακατάλληλη για εφαρμογές χαμηλής καθυστέρησης.



Σχήμα 3.3 Edge computing [3.1]

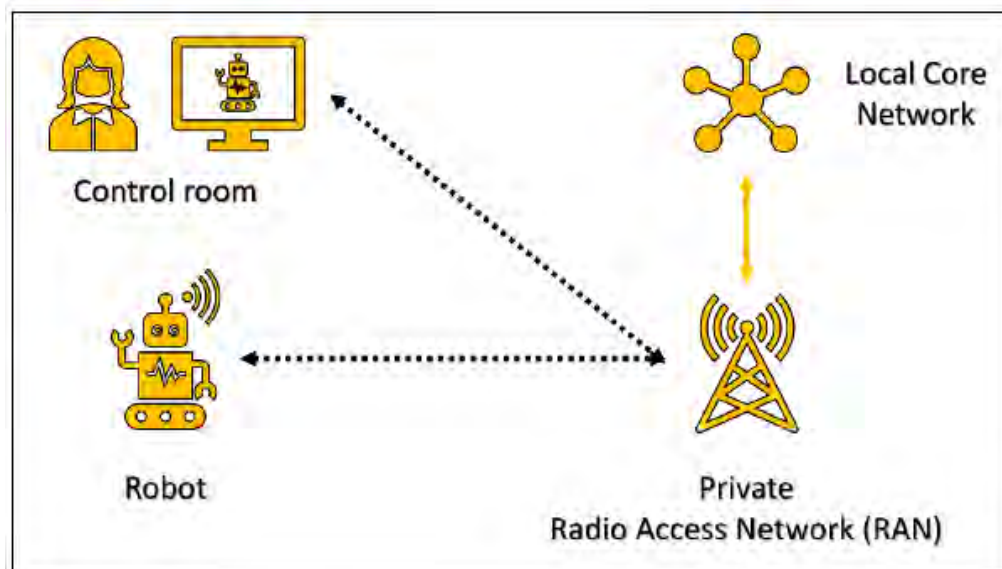
Για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, το 5G θα έχει τη δυνατότητα τοπικής διαχείρισης του δικτύου, παρακάμπτοντας έτσι την ανάγκη όλα τα δεδομένα να περνούν από το δίκτυο πυρήνα. Αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται edge computing και επιτρέπει την εγκατάσταση ενός απλουστευμένου ιδιωτικού Core Network σε τοπικό επίπεδο, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.

Η καθυστέρηση θα μειωθεί και ο ιδιοκτήτης θα έχει μεγαλύτερο έλεγχο των πολύτιμων επιχειρησιακών δεδομένων (υπό την προϋπόθεση ότι το RAN δεν στέλνει επίσης δεδομένα στο δίκτυο πυρήνων του φορέα εκμετάλλευσης).

3.4.3 Ιδιωτικές συχνότητες

Οι συχνότητες που προορίζονται για δίκτυα κινητής τηλεφωνίας διαχειρίζονται από τις εθνικές αρχές και οι άδειες λειτουργίας δημοπρατούνται παραδοσιακά σε τηλεπικοινωνιακούς φορείς, με την υποχρέωση να κατασκευάσουν μια υποδομή εθνικής εμβέλειας που να παρέχει επαρκή κάλυψη περιοχής και πληθυσμού. Για να διασφαλιστεί ένας πιο ανοικτός ανταγωνισμός και, ελπίζουμε, να καταστεί δυνατή η συνδεσιμότητα 5G σε ευρύτερο φάσμα εφαρμογών και τομέων, η ITU συνέστησε ότι το 5G θα πρέπει να επιτρέπει τη δέσμευση συγκεκριμένων συχνοτήτων για τοπικές, γεωγραφικά περιορισμένες, κατανομές συχνοτήτων. Η άδεια λειτουργίας σε αυτές τις συχνότητες μπορεί έτσι να αγοραστεί από άλλους φορείς εκτός από τους εθνικούς φορείς τηλεπικοινωνιών. Η υποστήριξη των τοπικών κατανομών συχνοτήτων πρέπει φυσικά να εγκρίνεται και να διαχειρίζεται από τις εθνικές αρχές τηλεπικοινωνιών.

Ο συνδυασμός της υπολογιστικής ακμής και της τοπικής κατανομής συχνοτήτων θα επιτρέψει στους βιομηχανικούς φορείς να αγοράσουν μια άδεια τοπικής συχνότητας και να αναπτύξουν τα δικά τους ιδιωτικά δίκτυα 5G, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4.



Σχήμα 3.4 Ιδιωτικό δίκτυο [3.1]

3.4.4 Ραδιοεπικοινωνία και επεξεργασία σήματος

Αναφέραμε ήδη την τμηματοποίηση του δικτύου που αφιερώνει ένα σύνολο ασύρματων και δικτυακών πόρων σε έναν χρήστη ή μια εφαρμογή, επιτρέποντας πιο ντετερμινιστικές επιδόσεις και χωρητικότητα. Υπάρχουν επίσης και άλλες νέες ή/και σύγχρονες μέθοδοι που εισάγονται στο 5G για να διευκολύνουν τόσο τις ευρυζωνικές επικοινωνίες ακόμη υψηλότερης χωρητικότητας όσο και τις εξαιρετικά αξιόπιστες επικοινωνίες χαμηλής καθυστέρησης, καθώς και τις επικοινωνίες από και προς έναν τεράστιο αριθμό αισθητήρων εξαιρετικά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Το 5G χρησιμοποιεί την πλέον σύγχρονη κωδικοποίηση διόρθωσης σφαλμάτων, η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την αξιόπιστη επικοινωνία σε θορυβώδεις περιοχές και περιοχές με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές. Τέτοιοι κώδικες επιτρέπουν τόσο επικοινωνίες υψηλής χωρητικότητας όσο και επικοινωνίες με χαμηλή ισχύ εκπομπής και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (για μεγάλη διάρκεια ζωής των μπαταριών). Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό σε βιομηχανικές

εφαρμογές όπου η συχνότητα αντικατάστασης της μπαταρίας είναι κρίσιμη. Το 5G διαθέτει επίσης υποστήριξη για πολλαπλές κεραιές, τις λεγόμενες τεχνικές πολλαπλής εισόδου και πολλαπλής εξόδου (MIMO). Οι πολλαπλές κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της χωρητικότητας, την αύξηση της αξιοπιστίας και την καθοδήγηση της ραδιοδιάδοσης προς ορισμένες κατευθύνσεις, που ονομάζεται διαμόρφωση δέσμης [3.1].

Επιπλέον, το 5G μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλά διαφορετικά φάσματα ραδιοσυχνοτήτων. Κάθε φάσμα συχνοτήτων έχει διαφορετικές ιδιότητες, συνήθως οι χαμηλότερες συχνότητες έχουν μεγαλύτερη εμβέλεια από τις υψηλότερες συχνότητες, ενώ στις υψηλότερες συχνότητες, αν και μικρότερης εμβέλειας, υπάρχουν μεγαλύτερες διαθέσιμες χρήσιμες ζώνες που δίνουν υψηλότερους δυνατούς ρυθμούς δεδομένων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό του 5G είναι ότι υποστηρίζει μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση [3.2].

Αυτό σημαίνει ότι σε έναν πομπό δεν διατίθεται μια συγκεκριμένη ορισμένη συχνότητας ή μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα για μετάδοση. Αντ' αυτού, η μεταδιδόμενη κυματομορφή κατασκευάζεται και κωδικοποιείται έτσι ώστε η προηγμένη επεξεργασία σήματος στο δέκτη να είναι σε θέση να διακρίνει τα διαφορετικά δεδομένα παρά το γεγονός ότι "συγκρούονται στον αέρα". Αυτό έχει κάποιο κέρδος χωρητικότητας, αλλά κυρίως δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης χωρίς προηγούμενη σηματοδότηση για την εκχώρηση ενός αποκλειστικού καναλιού. Αυτό εξοικονομεί χωρητικότητα και, ακόμη πιο σημαντικό, μειώνει το χρόνο μέχρι τη μετάδοση, αφού δεν είναι απαραίτητη η προηγούμενη σηματοδότηση για την κράτηση ενός καναλιού.

3.5 Επικοινωνία 5G για αυτόνομα πλοία

Η συνεχιζόμενη ψηφιοποίηση της ναυτιλιακής βιομηχανίας ανοίγει νέες ευκαιρίες για προϊόντα, εφαρμογές και υπηρεσίες, αλλά οι πλήρεις δυνατότητες μπορούν να αξιοποιηθούν μόνο εάν υπάρχει ένα αποτελεσματικό, ευέλικτο και ασφαλές δίκτυο επικοινωνίας για την ανταλλαγή διαφόρων τύπων δεδομένων. Στον τομέα της ναυτιλίας βλέπουμε διάφορες διαστάσεις που ανοίγουν τον δρόμο για νέες καινοτομίες στο πλαίσιο τριών διαφορετικών σεναρίων επικοινωνίας:

επικοινωνία μεταξύ πλοίων και ξηράς, επικοινωνία μεταξύ πλοίων και επικοινωνία επί του πλοίου.

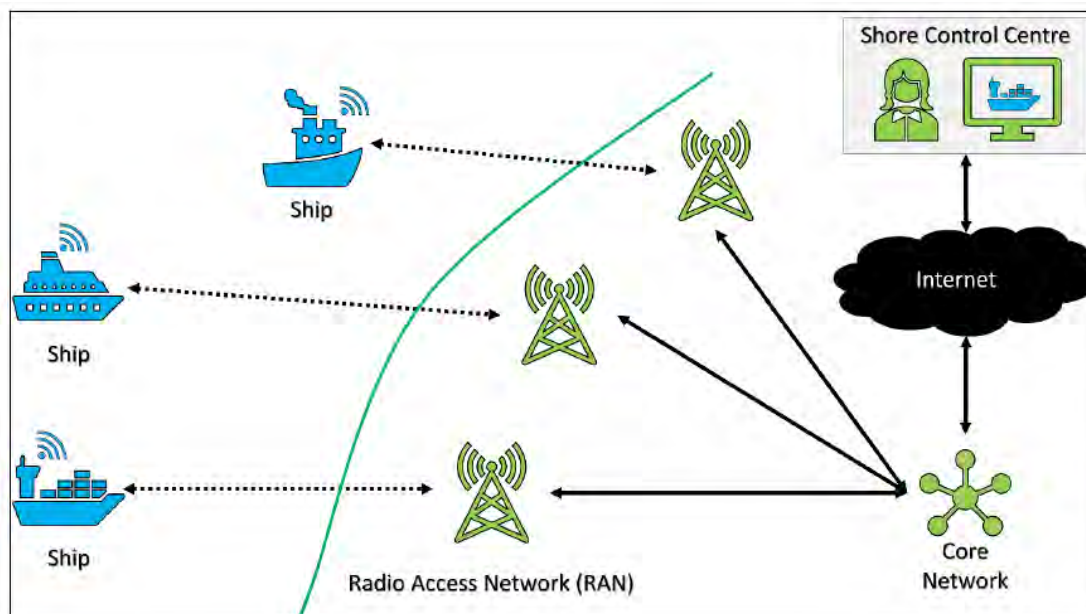
Στις επόμενες ενότητες εξετάζονται οι δυνατότητες των λύσεων 5G σε κάθε μία από αυτές τις τρεις κατηγορίες.

3.5.1 Επικοινωνία πλοίου προς ξηρά

Οι παραδοσιακές αμφίδρομες επικοινωνίες πλοίου προς ξηρά για λειτουργία και αναψυχή αποτελούν απαίτηση για τα περισσότερα πλοία, ανεξαρτήτως τύπου και αποστολής. Οι μελλοντικές αυτόνομες λειτουργίες θα θέσουν νέες απαιτήσεις σε αυτή την επικοινωνία, όπου απαιτείται ασφαλής και αξιόπιστη σύνδεση με ένα Κέντρο Ελέγχου Ακτής (SCC) για την εποπτεία και την απομακρυσμένη λειτουργία μη επανδρωμένων και αυτόνομων πλοίων. Εκτός από τις πληροφορίες πλοήγησης και ελέγχου, αναμένεται ότι διάφορες τροφοδοσίες αισθητήρων από τα πλοία, όπως ζωντανός ήχος/βίντεο, ραντάρ και LiDAR, πρέπει να είναι διαθέσιμες στους χειριστές του SCC.

Η εφαρμοσιμότητα της χρήσης του 5G για την επικοινωνία πλοίου-ξηράς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της ναυτικής επιχείρησης. Τα δίκτυα κινητών επικοινωνιών βασίζονται στις προϋποθέσεις παροχής κάλυψης με την ύπαρξη πολλών RAN, καθένα από τα οποία έχει εμβέλεια επικοινωνίας της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Συνεπώς, η επικοινωνία πλοίου-ξηράς με χρήση 5G είναι σημαντική μόνο για πλοία που δραστηριοποιούνται σε παράκτια-κοντινά ύδατα ή σε εσωτερικές πλωτές οδούς.

Αυτό περιλαμβάνει επίσης αποβάθρες και λιμάνια με υποδομές 5G. Για τα παράκτια-κοντινά ύδατα, θα απαιτηθούν ενδεχομένως ειδικά RAN που βρίσκονται κατά μήκος της ακτής, με κεραιές στραμμένες προς τη θάλασσα. Για τις εσωτερικές πλωτές οδούς, η κάλυψη θα παρέχεται από την εθνική υποδομή 5G στις αστικές περιοχές, ενώ ορισμένες απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές θα μπορούσαν να καταλήξουν χωρίς κάλυψη 5G. Ένα παράδειγμα επικοινωνίας από πλοίο προς ξηρά με χρήση 5G απεικονίζεται στο Σχήμα 3.5.



Σχήμα 3.5 Επικοινωνία μεταξύ πλοίου και ξηράς με χρήση υποδομής 5G [3.1]

Εδώ, πολλά πλοία βρίσκονται στην εμβέλεια ενός συνόλου χερσαίων RAN και η υποδομή 5G παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο (και επικοινωνία με ένα SCC) μέσω του κεντρικού δικτύου του φορέα εκμετάλλευσης δικτύου 5G. Σημειώνουμε ότι σε αυτό το σενάριο, κάθε πλοίο θεωρείται ως εξοπλισμός χρήστη (UE) στην ορολογία του 5G. Προκειμένου να επικοινωνήσει με ένα RAN, το πλοίο πρέπει να διαθέτει ένα μόντεμ 5G UE με κεραία, καθώς και κάρτα SIM από τον αντίστοιχο φορέα εκμετάλλευσης δικτύου. Για τα πλοία που δραστηριοποιούνται σε διεθνή σύνορα, θα πρέπει να διευκολυνθούν οι διεθνείς συμφωνίες περιαγωγής με τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών.

Από την άποψη των απαιτήσεων επικοινωνίας, όλες οι επικοινωνίες μεταξύ πλοίου και ξηράς πρέπει να έχουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση. Για τα δεδομένα πλοήγησης και ελέγχου, η απαίτηση ρυθμού δεδομένων είναι χαμηλή, ενώ οι τροφοδοσίες αισθητήρων, από την άλλη πλευρά, απαιτούν υψηλό ρυθμό δεδομένων. Συνεπώς, η επικοινωνία πλοίου-ξηράς αναμένεται να αντιμετωπιστεί καλύτερα με το eMBB 3,6 GHz (βλ. πίνακα 2 για τις βασικές απαιτήσεις του eMBB), αν και η εμβέλεια επικοινωνίας μπορεί να αποτελέσει πρόκληση. Για να επιτευχθεί αυξημένη εμβέλεια, θα μπορούσε να εξεταστεί η ζώνη των 700 MHz, αλλά αυτό θα έχει ως κόστος τον ρυθμό δεδομένων, καθώς η

συχνότητα αυτή προορίζεται κυρίως για εφαρμογές mMTC και IoT με πολλές συσκευές με χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων.

3.5.2 Επικοινωνία πλοίου προς πλοίο

Η επικοινωνία μεταξύ πλοίων έχει σημασία για σενάρια όπως οι ταυτόχρονες επιχειρήσεις και η πλοήγηση σε στενά κανάλια και πλωτές οδούς και έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την αποδοτικότητα και την ασφάλεια της κυκλοφορίας όταν τα πλοία βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο. Η επικοινωνία μεταξύ πλοίων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μη επιχειρησιακή ανταλλαγή δεδομένων, π.χ. ένα πλοίο μπορεί να προσφέρει σύνδεση στο διαδίκτυο σε ένα άλλο, και η μη δορυφορική επικοινωνία με την ξηρά μπορεί να επεκταθεί με τη δημιουργία δικτύων πλέγματος μεταξύ πολλών πλοίων σε παράκτια-κοντινά ύδατα.

Η επικοινωνία πλοίου-προς-πλοίο με το 5G μπορεί να επιλυθεί με δύο τρόπους:

A. Επικοινωνία μέσω μιας χερσαίας υποδομής 5G, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5.

B. Επικοινωνία μέσω ενός ιδιωτικού δικτύου 5G που βρίσκεται στο πλοίο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.

Στην επιλογή A, η επικοινωνία μεταξύ δύο πλοίων δρομολογείται μέσω μιας χερσαίας υποδομής 5G. Αυτό έχει εγγενή μειονεκτήματα, καθώς τα πλοία πρέπει να βρίσκονται εντός της εμβέλειας ενός RAN στην ξηρά, και έτσι τα σχετικά σενάρια περιορίζονται σε επιχειρήσεις σε παράκτια-κοντινά ύδατα και εσωτερικές πλωτές οδούς. Το πλεονέκτημα αυτής της λύσης είναι οι χαμηλές απαιτήσεις σε υποδομές επικοινωνίας, καθώς κάθε πλοίο χρειάζεται μόνο να εγκαταστήσει ένα μόντεμ και μια κεραία 5G UE με μια κάρτα SIM από τον αντίστοιχο φορέα τηλεπικοινωνιών. Για τα πλοία που δραστηριοποιούνται πέρα από τα διεθνή σύνορα, θα πρέπει επίσης να διευκολυνθούν οι διεθνείς συμφωνίες περιαγωγής με τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς.

Για την επιλογή B, ένα πρωτεύον πλοίο που συμμετέχει στην επικοινωνία μεταξύ πλοίων πρέπει να είναι εξοπλισμένο με υποδομή για ιδιωτικό δίκτυο 5G, που περιλαμβάνει ιδιωτικό RAN και τοπικό δίκτυο πυρήνα συνδεδεμένο με τα συστήματα γέφυρας. Τα δευτερεύοντα πλοία χρειάζονται μόνο ένα μόντεμ και μια

κεραία 5G UE, συμβατά με το ιδιωτικό δίκτυο 5G του πρωτεύοντος πλοίου όσον αφορά τη συχνότητα και τις διαμορφώσεις των ραδιοπαραμέτρων.

Με αυτή τη λύση, η επικοινωνία μεταξύ πλοίων μπορεί τεχνικά να πραγματοποιηθεί σε οποιαδήποτε ύδατα και η ρύθμιση της επικοινωνίας ελέγχεται από τα ίδια τα πλοία. Η κύρια πρόκληση που σχετίζεται με αυτή τη λύση σχετίζεται με την απόκτηση τοπικών συχνοτήτων για ιδιωτικά δίκτυα 5G.

Οι ισχύοντες κανονισμοί από τις εθνικές αρχές σε διάφορες χώρες δεσμεύουν συχνότητες είτε σε εθνικό επίπεδο για τους τηλεπικοινωνιακούς φορείς είτε σε περιφερειακό/τοπικό επίπεδο για ιδιωτικά δίκτυα 5G εντός μιας γεωγραφικά περιορισμένης περιοχής. Μέχρι στιγμής, η έννοια του κινητού RAN δεν έχει αντιμετωπιστεί, και είναι ακόμη ανοικτό το ζήτημα αν θα επιλυθεί σύντομα. Η πολυπλοκότητα αυτής της κατάστασης αυξάνεται περαιτέρω εάν τα πλοία βρίσκονται σε διεθνή κυκλοφορία, καθώς οι κανονισμοί για τα ιδιωτικά δίκτυα 5G αντιμετωπίζονται διαφορετικά στις διάφορες χώρες

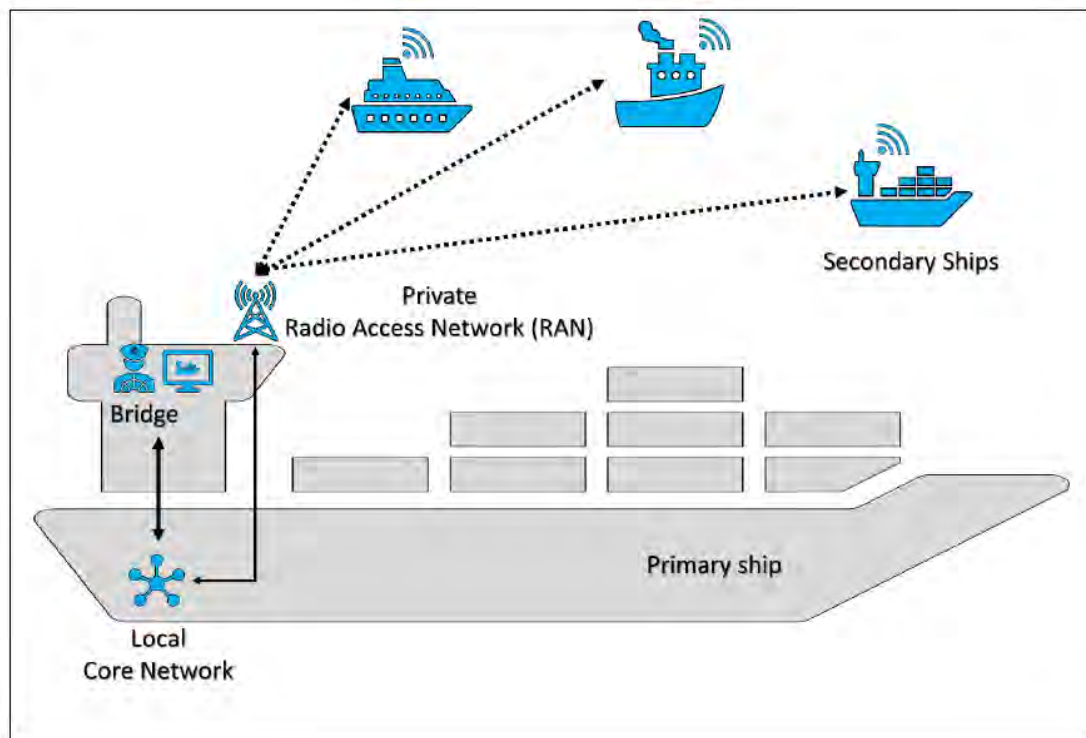
Από την άποψη των απαιτήσεων, η χρήση της επικοινωνίας πλοίου-προς-πλοίο για ταυτόχρονη λειτουργία και πλοήγηση σε στενά κανάλια και πλωτές οδούς θα απαιτήσει ένα κανάλι επικοινωνίας με υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση. Οι λειτουργίες απαιτούν από τα πλοία να ανταλλάσσουν δεδομένα που σχετίζονται με τη θέση, τον προσανατολισμό, την πορεία, την ταχύτητα κ.λπ. αλλά οι απαιτήσεις εύρους ζώνης μπορούν να θεωρηθούν χαμηλές.

Από την άποψη ενός σεναρίου χρήσης 5G, το eMBB των 3,6 GHz είναι η προτιμώμενη μέθοδος επικοινωνίας. Για να επιτευχθεί αυξημένη εμβέλεια, μπορεί να εξεταστεί το mMTC 700 MHz, καθώς οι ρυθμοί δεδομένων θα πρέπει να εξακολουθούν να είναι επαρκείς για τις προβλεπόμενες εφαρμογές.

3.5.3 Επικοινωνία επί του σκάφους

Τα μη επανδρωμένα και αυτόνομα πλοία θα έχουν αυξημένες απαιτήσεις σε αισθητήρες και όργανα επί των πλοίων. Από την άποψη αυτή, η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να επιφέρει οφέλη όπως η απλοποιημένη μηχανική και η θέση σε λειτουργία, η μειωμένη καλωδίωση και η αυξημένη ευελιξία. Οι τομείς χρήσης της ασύρματης επικοινωνίας επί των πλοίων είναι πολλοί, όπως:

- τροφοδότηση αισθητήρων για τους χειριστές SCC (π.χ. κάμερες, ραντάρ, LiDAR)
- μη κρίσιμη παρακολούθηση (π.χ. άνεμος, θερμοκρασία, υγρασία, καιρός)
- Υποστήριξη αυτόνομης λειτουργίας (π.χ. γερανός φόρτωσης, κινητά ρομπότ)
- Όργανα για συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου (π.χ. αισθητήρες και ενεργοποιητές στο μηχανοστάσιο)

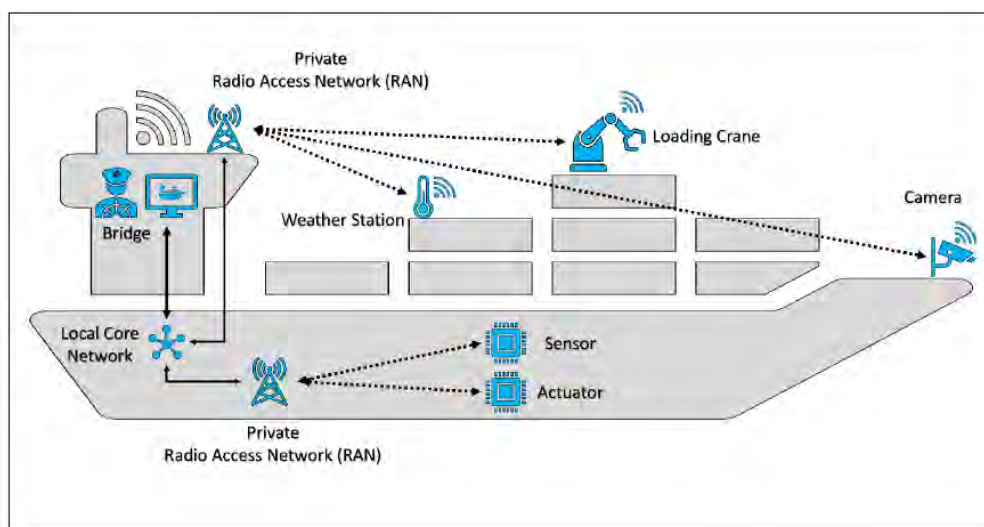


Σχήμα 3.6 Επικοινωνία πλοίου προς πλοίο με χρήση ιδιωτικού δικτύου 5G [3.1]

Για την επικοινωνία επί του σκάφους, μια ιδιωτική υποδομή 5G είναι η μόνη λογική αρχιτεκτονική επιλογή. Το τοπικό δίκτυο πυρήνα μπορεί να συνδεθεί με τα συστήματα γέφυρας, ενώ ένα ή περισσότερα ιδιωτικά RAN παρέχουν ασύρματη κάλυψη σε όλο το σκάφος. Δεδομένου ότι οι μεταλλικές κατασκευές εμποδίζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ενδέχεται να απαιτούνται πολλαπλά RAN κάτω από τα καταστρώματα, ενώ ένα μόνο RAN θα πρέπει να είναι επαρκές για το κατάστρωμα. Ένα παράδειγμα μιας ιδιωτικής υποδομής δικτύου 5G για διάφορες εφαρμογές σε ένα πλοίο απεικονίζεται στο Σχήμα 3.7.

Εδώ, ένα RAN παρέχει κάλυψη για τον εξοπλισμό στο κατάστρωμα, ενώ ένα ξεχωριστό RAN έχει εγκατασταθεί για ασύρματη επικοινωνία για αισθητήρες και ενεργοποιητές στο μηχανοστάσιο/μηχανουργείο.

Η χρήση ενός ιδιωτικού δικτύου 5G για επικοινωνία επί του πλοίου θα υπόκειται σε παρόμοιες κανονιστικές προκλήσεις όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα για την επικοινωνία μεταξύ πλοίων, δεδομένου ότι οι κανονισμοί των εθνικών αρχών επιφυλάσσουν συχνότητες είτε σε εθνικό επίπεδο (για τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών), είτε σε περιφερειακό/τοπικό επίπεδο για ιδιωτικά δίκτυα 5G εντός μιας γεωγραφικά περιορισμένης περιοχής. Το ανοιχτό ζήτημα σχετικά με τον τρόπο ρύθμισης της κατανομής συχνοτήτων για ένα κινητό RAN πρέπει συνεπώς να επιλυθεί πριν η επικοινωνία επί του πλοίου με χρήση 5G γίνει πραγματικότητα.



Σχήμα 3.7 Χρήση ιδιωτικού δικτύου 5G για επικοινωνία επί του σκάφους [3.1]

Οι απαιτήσεις για την επικοινωνία επί του σκάφους ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή χρήσης, και σε αυτό το περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύνολό της η ευέλικτη φύση των δικτύων 5G. Το eMBB με τον υψηλό ρυθμό δεδομένων του μπορεί να χειριστεί ροές βίντεο, ραντάρ και LiDAR, το URLLC με υψηλή αξιοπιστία και χαμηλή καθυστέρηση είναι ικανό να υποστηρίξει τον έλεγχο κλειστού βρόχου στο μηχανοστάσιο και τη λειτουργία αυτόνομων γερανών και ρομπότ, ενώ το mMTC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μη κρίσιμη παρακολούθηση όπου είναι επιθυμητή η μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Σενάριο Εργασίας

4.1 Προδιαγραφές 5G στην ζώνη συχνοτήτων των 700 MHz

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλύσουμε τις προδιαγραφές για τη ζώνη συχνοτήτων στα 700 MHz στα 5G δίκτυα. Η συχνότητα αυτή όπως ορίστηκε από το 5G NR Standard είναι η n28. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι στο 5G όλες οι νέες ραδιοσυχνότητες (NR Bands) ορίζονται με το πρόθεμα “n” [4.1].

Σε πολλές χώρες, η n28 ή αλλιώς APT 700MHz 5G band είναι μια κοινώς δοκιμασμένη και αναπτυγμένη συχνότητα 5G. Η κάλυψη της n28 είναι εξαιρετική σε εύρος και διαπέραση των κτιρίων, εξαιτίας των χαρακτηριστικών διάδοσης που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις συχνότητες και αναπτύσσονται με προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας[4.1]. Επιπλέον, υποστηρίζει το σενάριο χρήσης του 5G για ενισχυμένη μαζική ευρυζωνικότητα (eMBB) και μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC), τα οποία αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.3. Στον πίνακα 4.1 παραθέτονται μερικά από τα χαρακτηριστικά της n28 [4.2].

Οι βασικοί στόχοι για την απόδοση του 5G NR Standard, απαιτούνται μεγάλα μπλοκ συνεχόμενου φάσματος για να λειτουργούν μεγάλα πλάτη καναλιών και να μπορούν να προσφέρουν στους χρήστες υψηλή απόδοση χωρητικότητας. Με το φάσμα να είναι ένα ιδιαίτερα πολύτιμο προϊόν, πρέπει να γίνει εφαρμογή του 5G NR σε υψηλότερες ζώνες κινητής τηλεφωνίας [4.1].

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά της ζώνης συχνοτήτων n28[4.1]

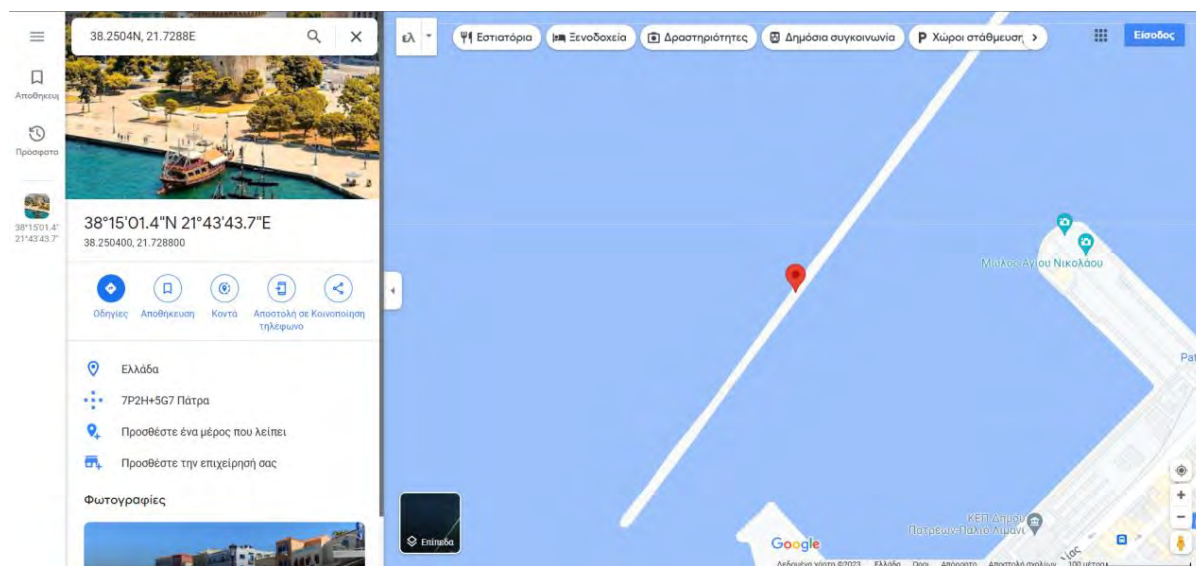
Duplex Mode	FDD (Frequency Division Duplex)
Uplink (MHz)	703 – 748 MHz
Downlink (MHz)	758 – 803 MHz
UP NR-ARFCN(Uplink NR absolute radio-frequency channel number)	140600 - 149600
DL NR-ARFCN(Downlink NR absolute radio-frequency channel number)	151600 - 160600
Duplex Spacing	55 MHz
Υποστηριζόμενα κανάλια εύρους ζώνης	5 10 15 20 MHz

4.2 Σενάριο εργασίας και προετοιμασία της προσομοίωσης

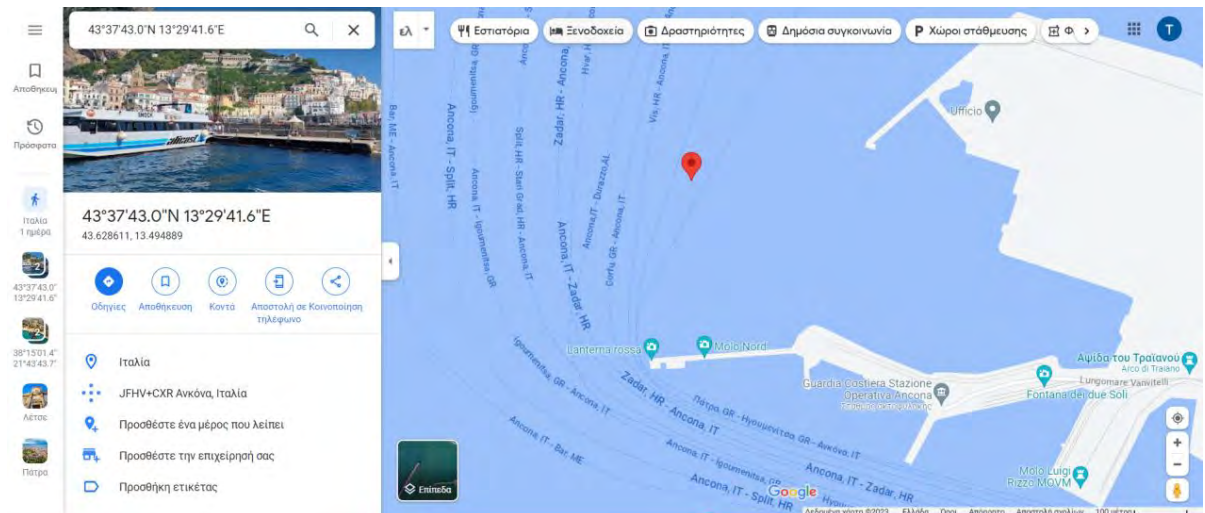
Ο σκοπός του πρακτικού τμήματος της παρούσας εργασίας είναι η κάλυψη της διαδρομής ενός σκάφους από σταθμούς βάσης 5G για τη ζώνη συχνοτήτων στα 700MHz, καθ' όλη του τη διαδρομή. Για την εργασία έχει επιλεγθεί το σκάφος OLYMPIC CHAMPION με εναρκτήριο λιμάνι, το λιμάνι της Πάτρας στην Ελλάδα και τερματικό λιμάνι, το λιμάνι της Ανκόνα στην Ιταλία. Το σκάφος OLYMPIC CHAMPION με αριθμό ταυτοποίησης IMO: 9216028 και MMSI 237280000, είναι ένα επιβατηγό/RORO φορτηγό πλοίο που ναυπηγήθηκε το 2000 και βρίσκεται υπό ελληνική σημαία [4.3].

Στις εικόνες 1. και 2. εμφανίζονται το εναρκτήριο λιμάνι(Πάτρας) και ο τελικός προορισμός (Ανκόνα), ενώ στην εικόνα 3. φαίνεται η διαδρομή του πλοίου για το τμήμα που βρίσκεται σε ελληνικά ύδατα, για το οποίο είναι και η έρευνά που θα γίνει, δηλαδή από το λιμάνι της Πάτρας, μέχρι και το λιμάνι της Κέρκυρας. Εν ολίγοις, θα διερευνηθεί, η επικοινωνία πλοίου προς ξηρά κατά τη διαδρομή του πλοίου στο Ιόνιο πέλαγος, σε σχέση με τα σημαντικά λιμάνια του.

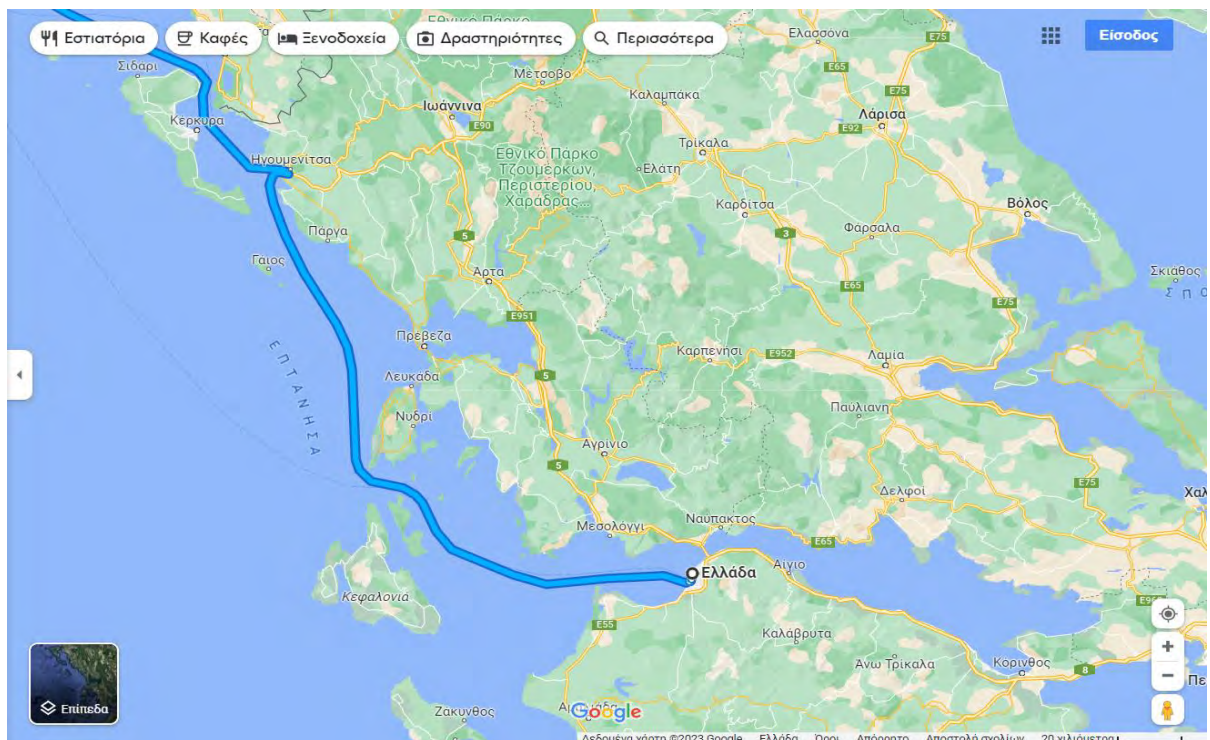
Τα λιμάνια που επιλέχθηκαν, είναι τα κοντινότερα προς τη διαδρομή του πλοίου και είναι τα εξής: Πάτρα, Βαθύ (Ιθάκης), Φιοκάρδο (Κεφαλονιάς), Βασιλική (Λευκάδας), Πρέβεζα, Πάργα (Πρέβεζας), Ηγουμενίτσα και Κέρκυρα (Εικόνα 4.).



Εικόνα 1. Το λιμάνι της Πάτρας

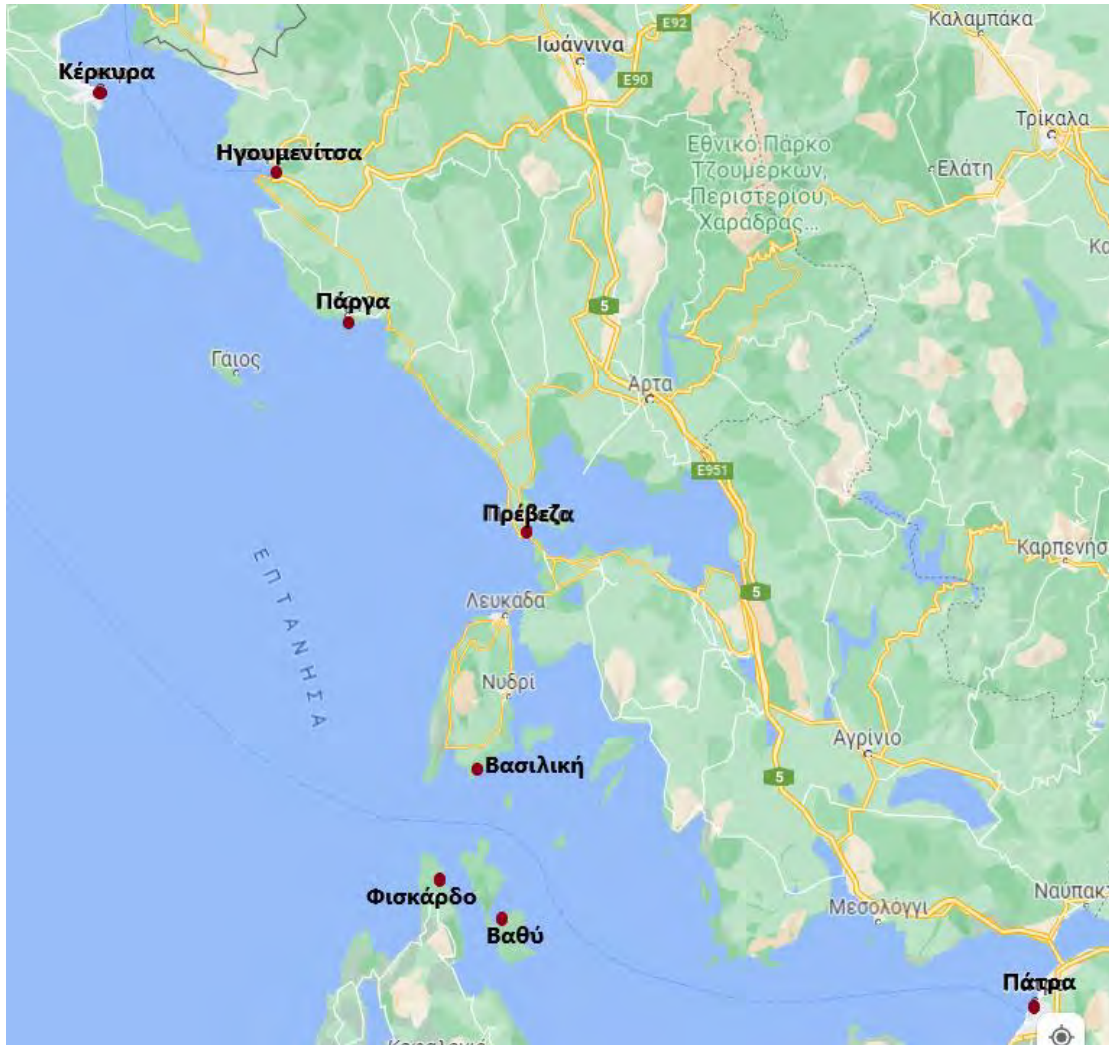


Εικόνα 2. Το λιμάνι της Ανκόνα



Εικόνα 3. Η διαδρομή του OLYMPIC CHAMPION

Θα χρησιμοποιήσουμε επιλεγμένες συντεταγμένες γεωγραφικό μήκος(longtitude) και γεωγραφικό πλάτος (latitude), από τη διαδρομή του συγκεκριμένου σκάφους, με σκοπό να λάβουμε πληροφορίες επί του σκάφους για τη συγκεκριμένη στιγμή που βρισκόταν στο σημείο αυτό.



Εικόνα 4. Λιμάνια που επιλέχθηκαν για τις κεραιές επικοινωνίας

Κάθε σύνολο συντεταγμένων θα περαστεί ως παράμετρος στο λογισμικό RADIO MOBILE TOOL, ώστε να λάβουμε αποτελέσματα για το 5G NR δίκτυο στα 700 MHz από τις κεραιές κάθε λιμάνι που επιλέχθηκαν. Παρακάτω εμφανίζεται ο κώδικας κατά τον οποίο θα γίνει η λήψη των δεδομένων. Στον κώδικά έχουν περαστεί ως παράμετροι τα στοιχεία του σκάφους OLYMPIC CHAMPION, η απόσταση που θα διανύσει, ο αρχικός και ο τελικός σταθμός, η ταχύτητα του σκάφους και σύνολα συντεταγμένων από τη διαδρομή του πλοίου, που θα χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή της προσομοίωσης.

Πίνακας 4.2 Συντεταγμένες των ήδη υπάρχουσών κεραιών που θα χρησιμοποιηθούν

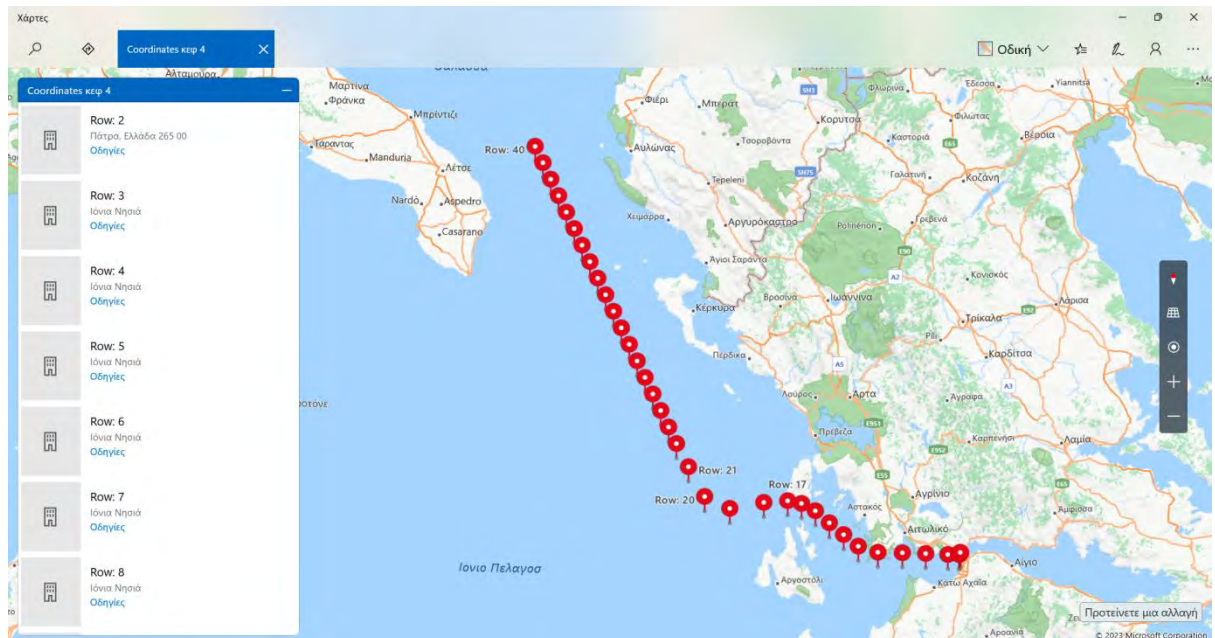
Κεραίες – Σταθμοί Βάσης Maritime 5G	Γεωγραφικό Μήκος (Longitude)	Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude)
Νότιος Λιμένας Πατρών , Πάτρα	21.722222	38.227222
Βαθύ Ιθάκης	20.721389	38.366667
Φιοκάρδο,Δ. Ερισού	20.575833	38.466667
Βασιλική Λευκάδος	20.608611	38.626944
Πρέβεζα Τ/Κ	20.753056	38.955278
Περιοχή τερματικού σταθμού εγνατίας οδού (πλησιόν σύραγγας C & C1), ΧΘ, Ηγουμενίτσα	20.263611	39.486111
2,5 χλμ Ε. Ο. Κέρκυρας - Παλαιοκαστρίτσα	19.888611	39.625278

Πίνακας 4.3 Συντεταγμένες της διαδρομής του πλοίου που θα χρησιμοποιηθούν

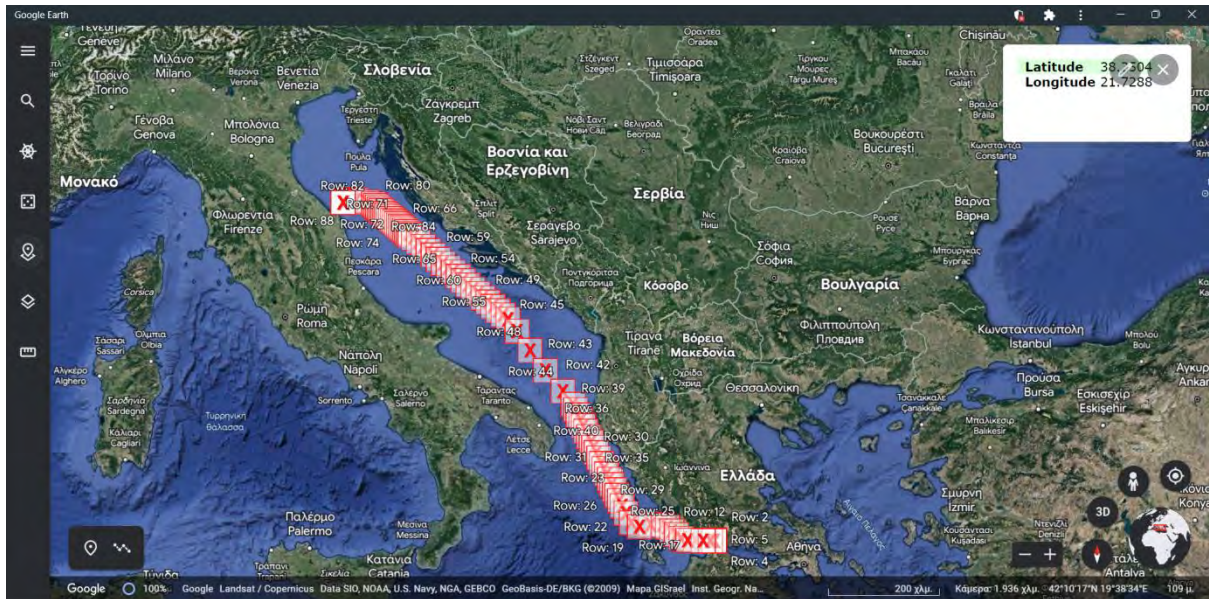
Γεωγραφικό Μήκος (Longitude)	Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude)
21.7288	38.2504
21.729346081022285	38.24966749356780
21.72796992169692	38.2482617022127
21.72485354903133	38.24593845712391
21.72225424843873	38.24278217468093
21.72017201991912	38.238792854883776
21.64392675454564	38.240506650877684
21.493518452318284	38.247923562662656
21.335264552707358	38.253939112127334
21.16916505571286	38.25855329927172
21.036772154669087	38.292180929435
20.938085849576048	38.354822002617176
20.841642415048334	38.41846189461068
20.747441851085945	38.48310060541551
20.653689861238284	38.52278908594331
20.56038644550535	38.53752733619408
20.39850304120925	38.52907010679065
20.16803964834998	38.497417397733
19.99789589618731	38.560653218811545
19.888071784721244	38.71877757002626
19.806264450365568	38.84158665691265
19.75247389312028	38.9290804794707
19.698550139992562	39.01654948660172
19.644493190982416	39.103993678305685
19.590301623764162	39.19141277527297

19.5359754383378	39.27880677750357
19.481513195843377	39.36617540212142
19.42691489628089	39.45351864912652
19.372179084023344	39.54083623201923
19.317305759070734	39.628128150799554
19.262293448793116	39.71539411528603
19.20714215319049	39.80263412547866
19.15185038239065	39.88984788745498
19.096418136393595	39.977035401214955
19.040843907842344	40.0641963690348
18.985127696736896	40.15133079091453
18.929267977989383	40.238438365267626
18.873264751599805	40.32551909209411
18.81711647450008	40.41257266588236
18.7608231466902	40.49959908663236
18.54190922636388	40.70935844136542
18.16037471352112	41.04185073008153
17.823250458921926	41.36231819778984
17.530536462566303	41.67076084449035
17.328023624571177	41.85868277519656
17.21571194493655	41.92608398990846
17.10316256298617	41.99337528317194
16.99037547872004	42.060556654986996
16.87734934403312	42.1276271179719
16.764084158925414	42.19458667212665
16.65057858023974	42.26143432253089
16.536832607976095	42.328170069184615
16.422844904299183	42.39479290961355
16.308615469209002	42.461302843817684
16.19414297057537	42.52769886175526
16.07942740839829	42.59398096342628
15.964467456644797	42.660148131209624
15.849263115314898	42.72620036510528
15.733813064874226	42.792136639902736
15.618117305322784	42.857956955602006
15.502174524035468	42.92366027939494
15.385984721012278	42.98924661128154
15.269546590957368	43.05471491084977
15.152860133870739	43.12006517809963
15.071553832788531	43.1653348778055
15.025627687710745	43.19052400996739
14.979663614321453	43.21569474163843
14.933661612620654	43.24084707281864
14.887621608793069	43.265980940656775
14.841543602838698	43.29109634515286
14.7954275211587	43.31619322328346

14.749273363753076	43.3412715750486
14.70308105724385	43.36633133725274
14.656850601631021	43.391372509895874
14.61058192376143	43.41639502961043
14.564275023635076	43.441398896396386
14.517929828327965	43.466384046714175
14.471546337840095	43.491350480563796
14.425124479480871	43.516298134233736
14.378664253250292	43.541227007724004
14.33216558669531	43.566137037151265
14.285628479815927	43.591028222515526
14.239052860401166	43.6159004997617
14.192438728451034	43.6407538688898
14.04105771427289	43.66296664017196
13.78490981786674	43.682538813608176
13.616722247398384	43.68145684969544
13.536495002867824	43.65972074843373
13.493753107290225	43.645440301239596
13.488496560665588	43.63861550811303
13.487955445570002	43.63363650597814
13.492129762003465	43.63050329483493
13.494384940165148	43.6288552669475
13.494889	43.628611



Εικόνα 5. Οι συντεταγμένες της διαδρομής που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση ως σημεία στο χάρτη



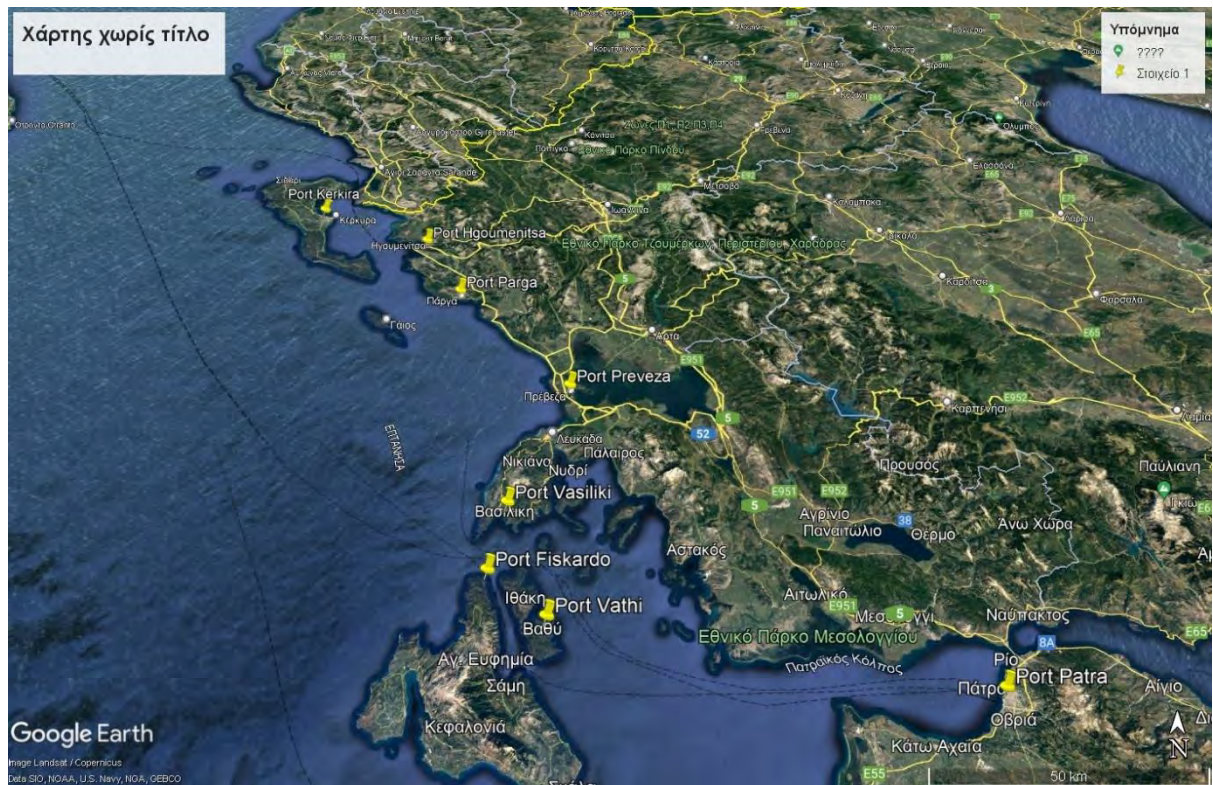
Εικόνα 6. Όλη η διαδρομή του πλοίου OLYMPIC CHAMPION

4.3 Προσομοίωση

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναλύσουμε τις προδιαγραφές για τη ζώνη συχνοτήτων στα 700 MHz στα 5G δίκτυα. Η συχνότητα αυτή όπως ορίστηκε από το 5G NR Standard είναι η n28. Είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι στο 5G όλες οι νέες ραδιοσυχνότητες (NR Bands) ορίζονται με το πρόθεμα “n” [4.1].

Για την εν λόγω συχνότητα ορίζουμε το εύρος ζώνης στα 10 MHz, την ισχύ μετάδοσης στα 38 dBm, κέρδος κεραιάς Σταθμού Βάσης στα 5 dB και το κατώφλι ευαισθησίας στα -90.7 dBm, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ETSI [4.3],[4.4]. Ο δέκτης πάνω στο καράβι ορίζεται ως Σταθμός Βάσης, και δεν είναι τυπικός κινητός δέκτης (τερματική συσκευή). Παρόλα αυτά, για λόγους που αφορούν στις παρεμβολές (στην θάλασσα δεν έχουμε άλλες κεραιές πλησίον του on-board antenna), θέτουμε το κατώφλι ευαισθησίας στα -96.7 dBm.

Εντάσσουμε όλες τις κεραιές στο Radio Mobile tool [4.6] ως οντότητες (units) με σταθερές συντεταγμένες όπως μας ορίζει ο Πίνακας 4.2. Εισαγάγουμε την οντότητα του καραβιού ως mobile unit, για να κινείται κατά μήκος της διαδρομής που απεικονίζεται στο Google Maps (Εικόνα 5) και στο Google Earth (Εικόνα 6).



Εικόνα 7. Χάρτης του τμήματος υπό διερεύνηση

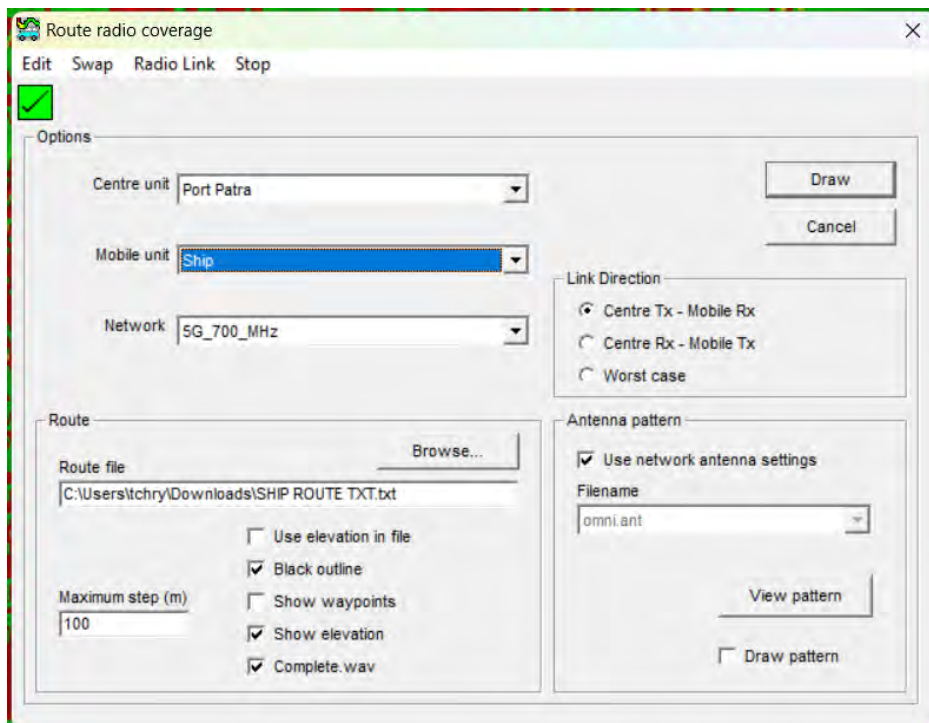
Οι κεραιές-Σταθμοί Βάσης στα 7 λιμάνια συνεπικουρούνται από προτεινόμενη κεραιά στο λιμάνι της Πάργας (lat: 39.283120, lon: 20.401049). Το σύνολο των προτεινόμενων κεραιών-Σταθμών Βάσης στα $7+1=8$ λιμάνια απεικονίζονται στην Εικόνα 7 στο Google Earth Pro (active KML).

Ο χάρτης ραδιοκάλυψης στο Radio Mobile (αρχική ρύθμιση) απεικονίζεται στην Εικόνα 8. Έχουμε ανάλυση χάρτη 2000x2000 pixels και εμβέλεια 200x200 kms. Πάνω σε αυτόν τον χάρτη θέτουμε τις προσομοιώσεις μέσα από την επιλογή Route Radio Coverage του Radio Mobile tool. Ενδεικτικά για την πρώτη ζεύξη (Λιμάνι Πάτρας προς καράβι) απεικονίζουμε το μενού επιλογών στην Εικόνα 9.

Από το ship route txt που περιέχει τις πληροφορίες του Πίνακα 4.3 τρέχουμε την ενεργό διαδρομή επί της οποίας, για βήμα 100 μέτρων, έχουμε υπολογισμό της στάθμης του μέσου λαμβανόμενου ραδιο-σήματος. Θέτουμε ως πράσινο (κάλυψη) τιμές του SNR από 5 dB και πάνω. Στη ζώνη 0 έως 5 dB έχουμε την κίτρινη σήμανση (αμφισβητούμενη κάλυψη) και για μηδενικό-αρνητικό SNR έχουμε απώλεια κάλυψης (κόκκινη σήμανση).



Εικόνα 8. Χάρτης της περιοχής έρευνας από το RADIO MOBILE TOOL

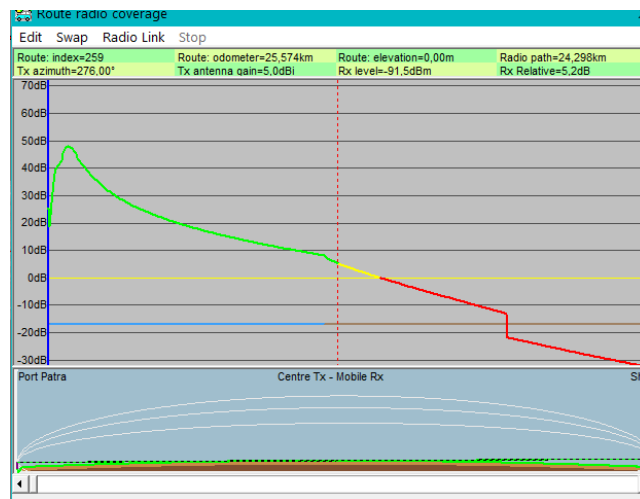


Εικόνα 9. Παράθυρο επιλογών προσομοίωσης για Downlink από Πάτρα

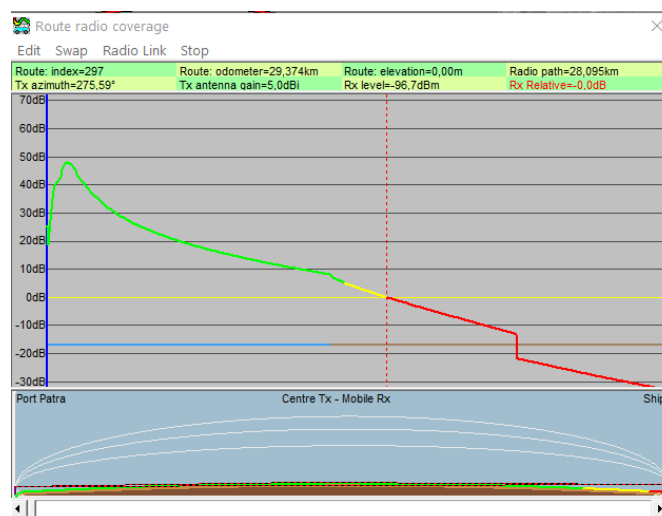
Οι προσομοιώσεις γίνονται με το two-ray model για Line-of-Sight περιοχές και με το Longley-Rice για Non-Line-of-Sight περιοχές. Τα στοιχεία για την ύπαρξη LOS συνθήκης ή όχι επικαιροποιούνται από το Radio Mobile σε πραγματικό χρόνο με feed από το Διαδίκτυο και γνωστές βάσεις γεω-δεδομένων (Openstreetmaps, Google Earth, SRTM).

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στις Εικόνες που ακολουθούν. Για κάθε κεραία-Σταθμό Βάσης σε κάθε λιμάνι, εξετάζουμε δύο διαύλους κατά την διαδρομή του πλοίου: downlink (από τον Σταθμό Βάσης στο καράβι) και uplink (από το καράβι στον Σταθμό Βάσης).

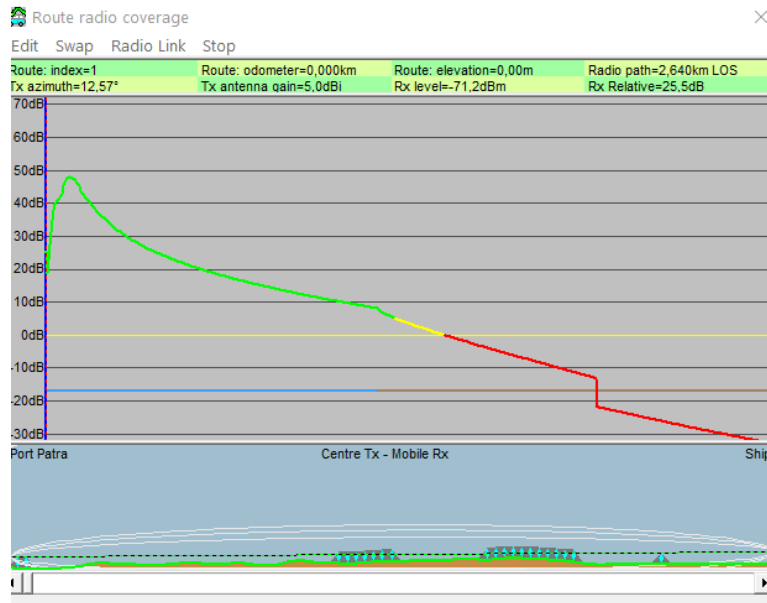
Πάτρα: Downlink



Εικόνα 10. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πάτρα με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 11. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πάτρα με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 12. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πάτρα



Εικόνα 13. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία της Πάτρας σε Downlink

Πάτρα: Uplink



Εικόνα 14. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πάτρα με επιλογή σημείου με καλή απόδοση σήματος



Εικόνα 15. . Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πάτρα με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος

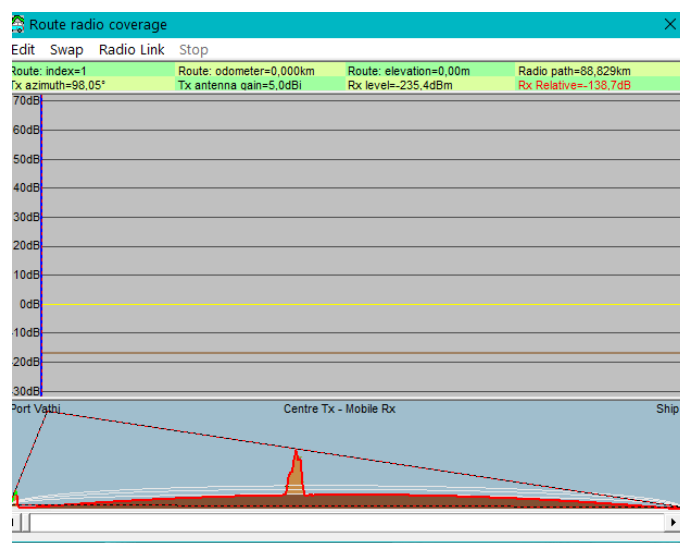


Εικόνα 16. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πάτρα με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 17. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία της Πάτρας σε Uplink

Βαθύ: Downlink



Εικόνα 18. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βαθύ



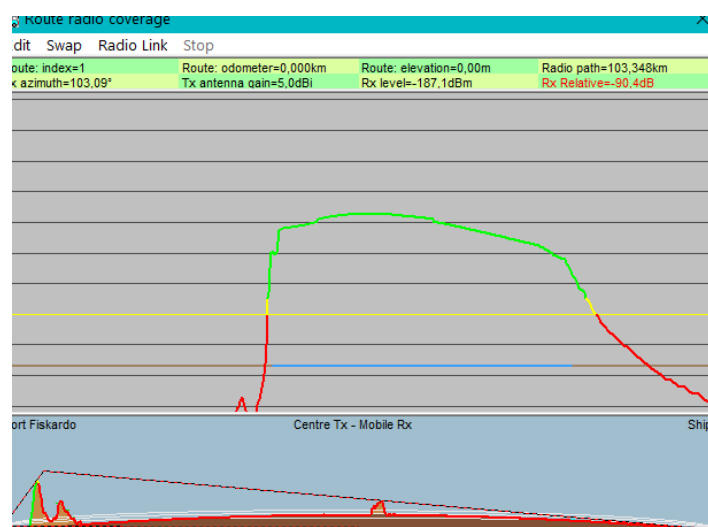
Εικόνα 19. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στο Βαθύ σε Downlink

Βαθύ: uplink

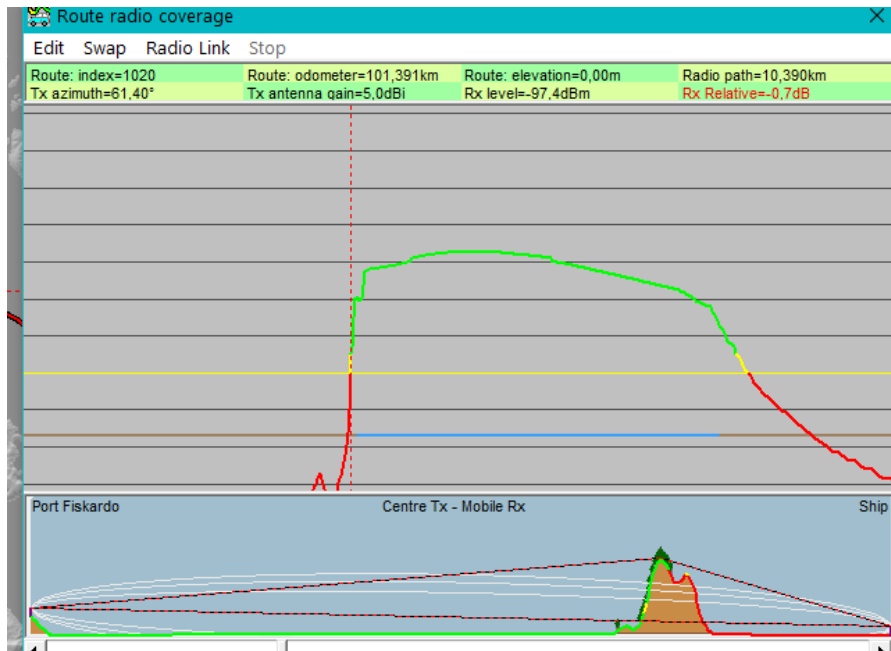


Εικόνα 20. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραιά στο Βαθύ σε Uplink

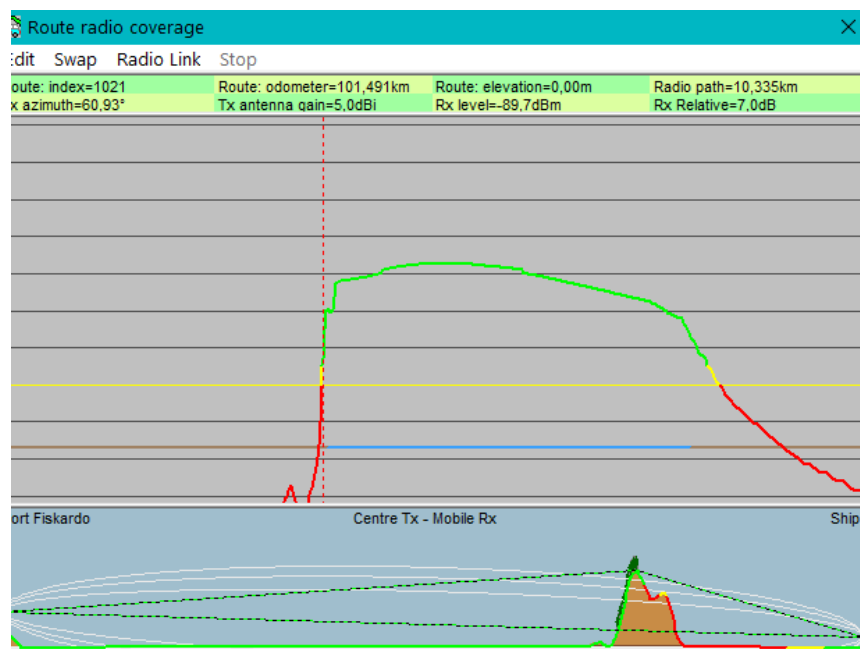
Φιοκάρδο: Downlink



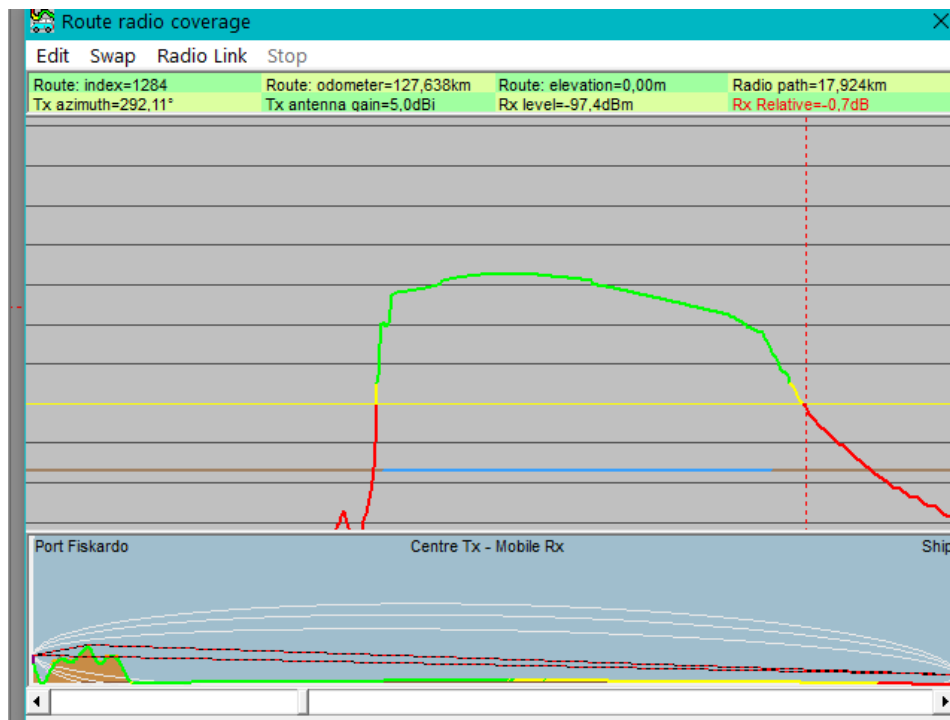
Εικόνα 21. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Φιοκάρδο



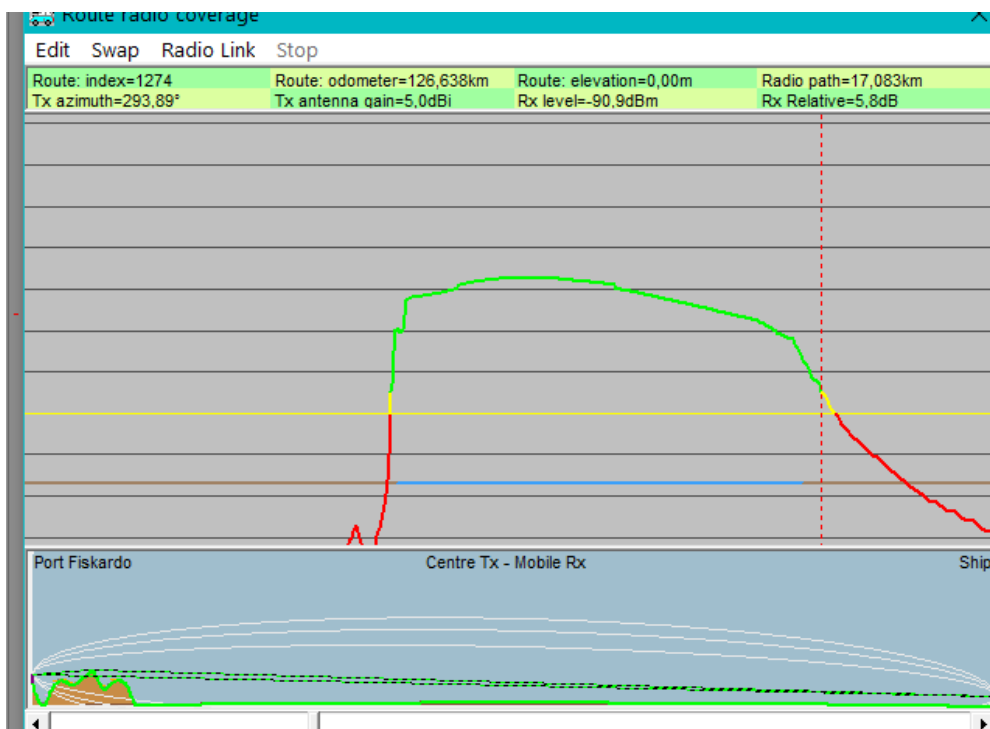
Εικόνα 22. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 23. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 24. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 25. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος

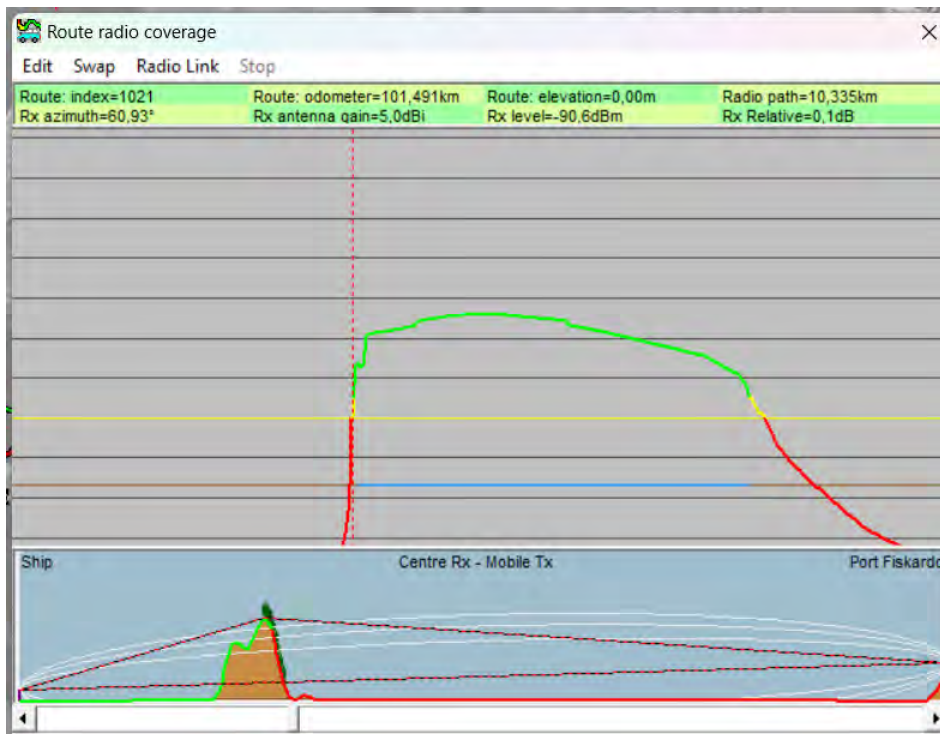


Εικόνα 26. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στο Φισκάρδο σε Downlink

Φισκάρδο: Uplink



Εικόνα 27. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Φισκάρδο



Εικόνα 28. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος

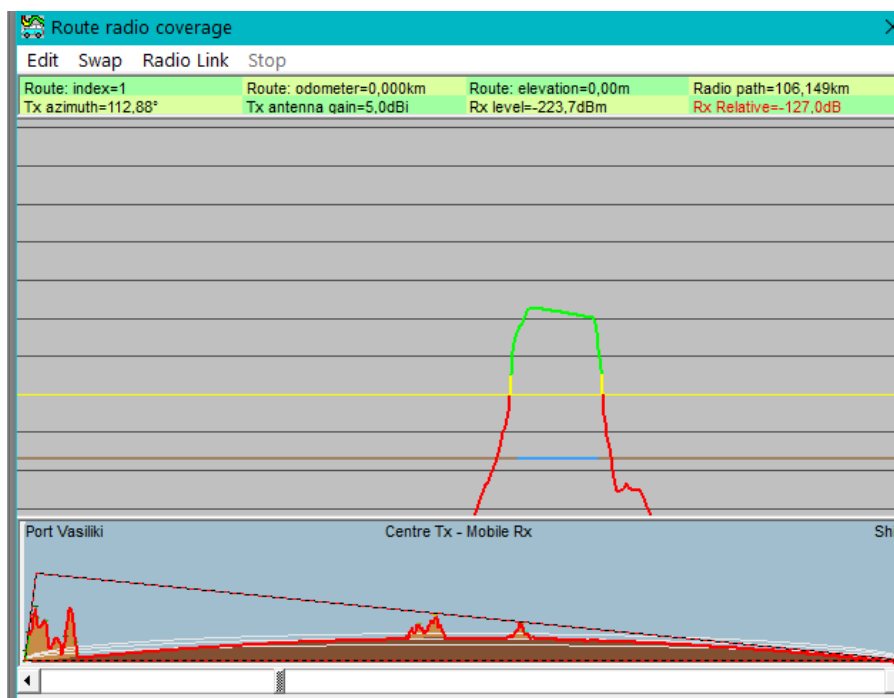


Εικόνα 29. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Φισκάρδο με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος

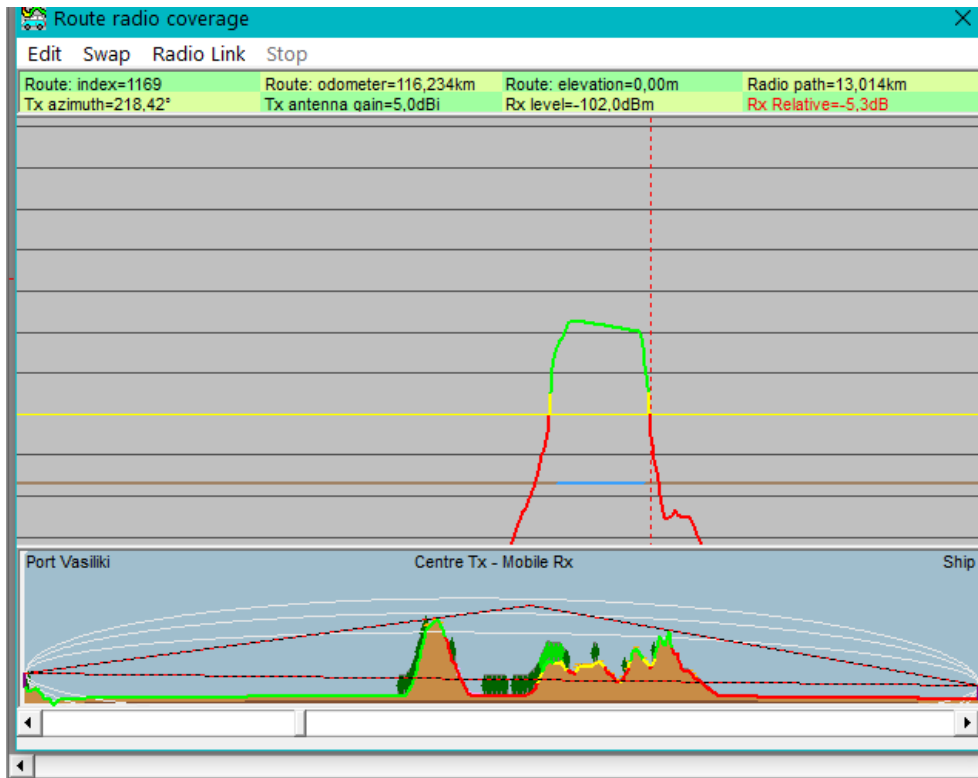


Εικόνα 30. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Φισκάρδο με επιλογή σε σημείο με καλή απόδοση σήματος

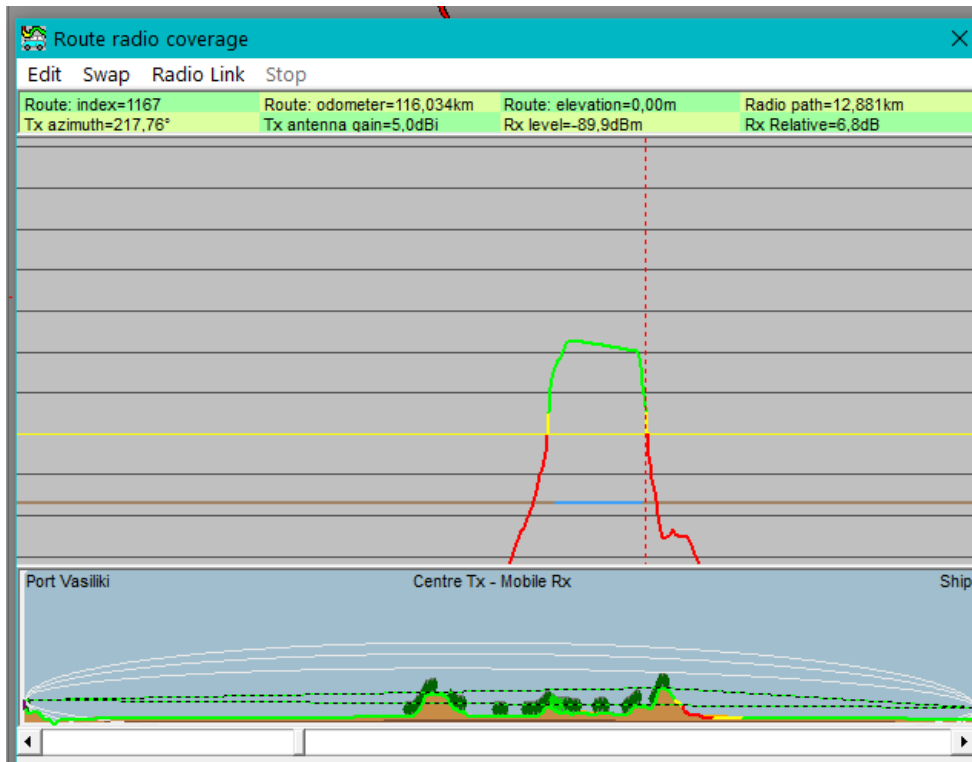
Βασική: Downlink



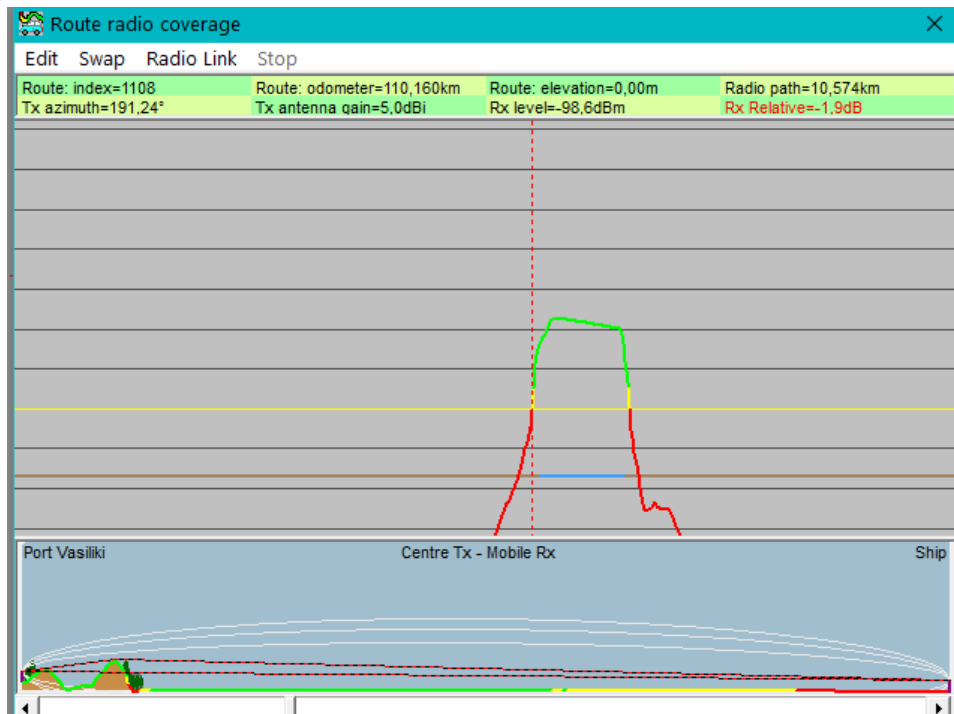
Εικόνα 31. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βασική



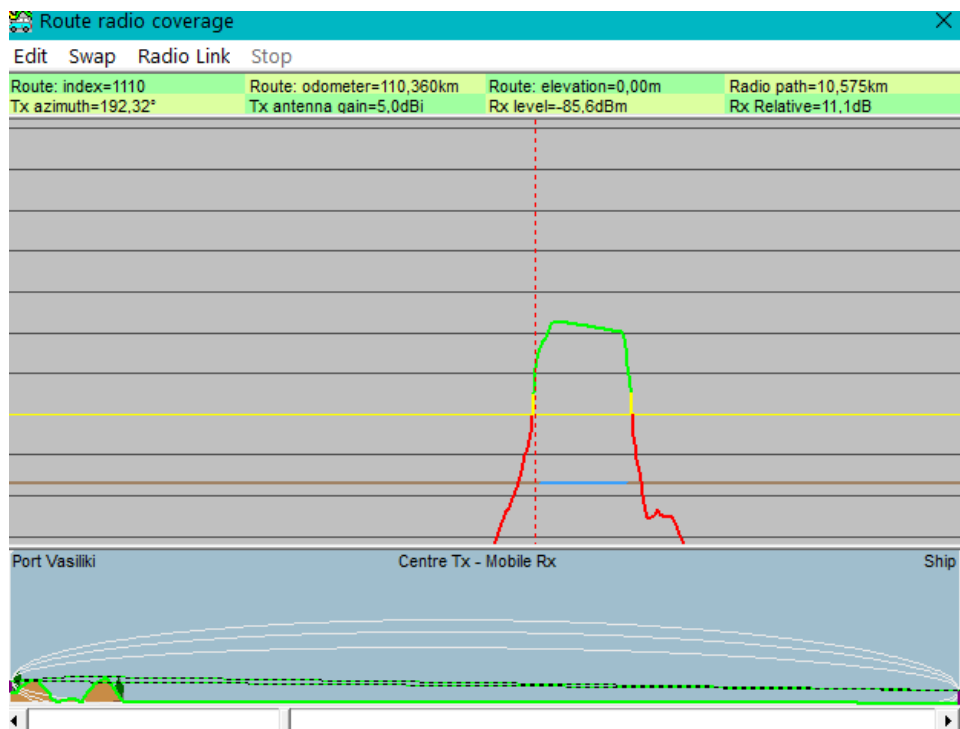
Εικόνα 32. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 33. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 34. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος

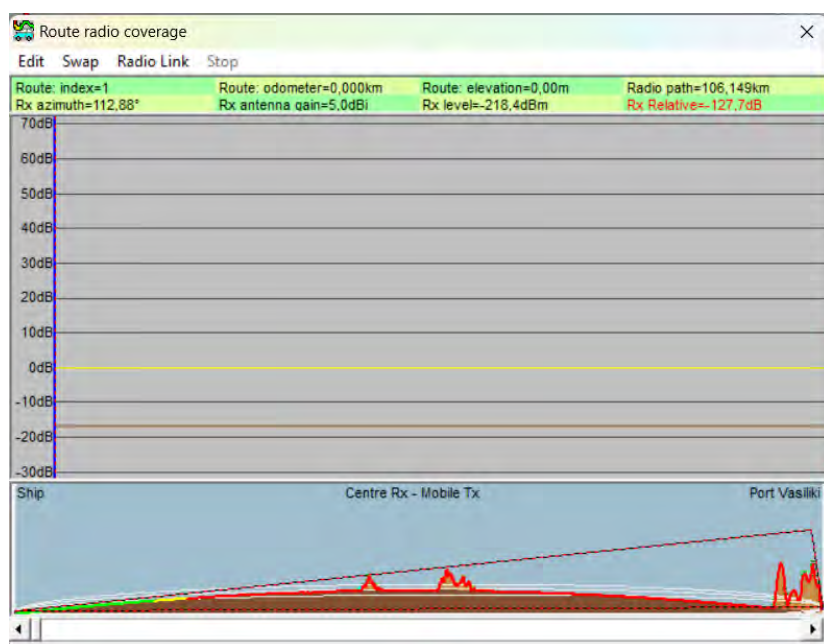


Εικόνα 35. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 36. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στο Βασιλική σε Downlink

Βασιλική: Uplink



Εικόνα 37. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Βασιλική



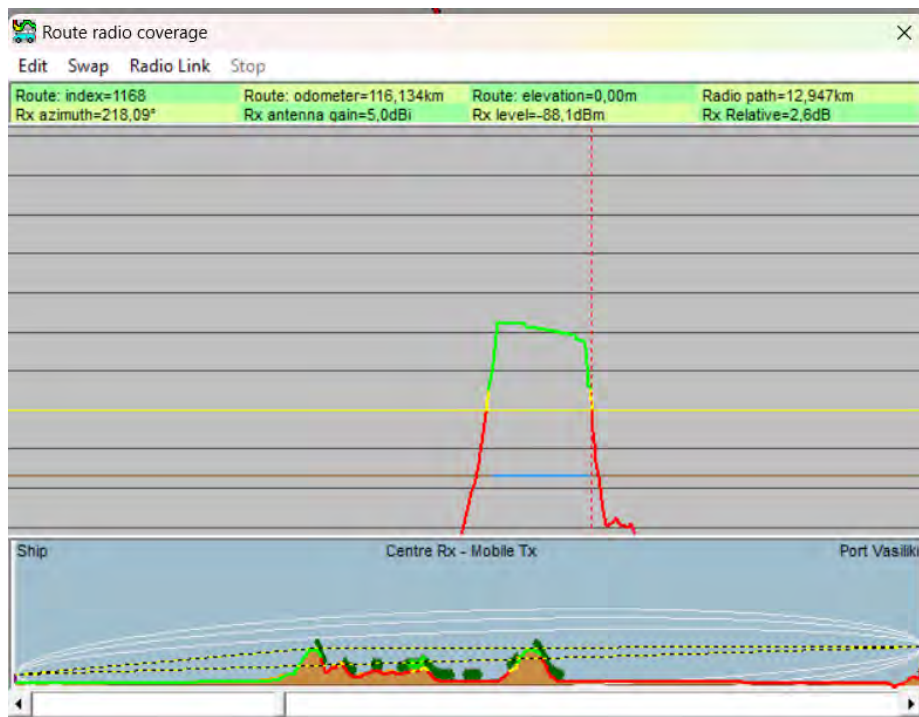
Εικόνα 38. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 39. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος



Εικόνα 40. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς μέτρια απόδοση σήματος

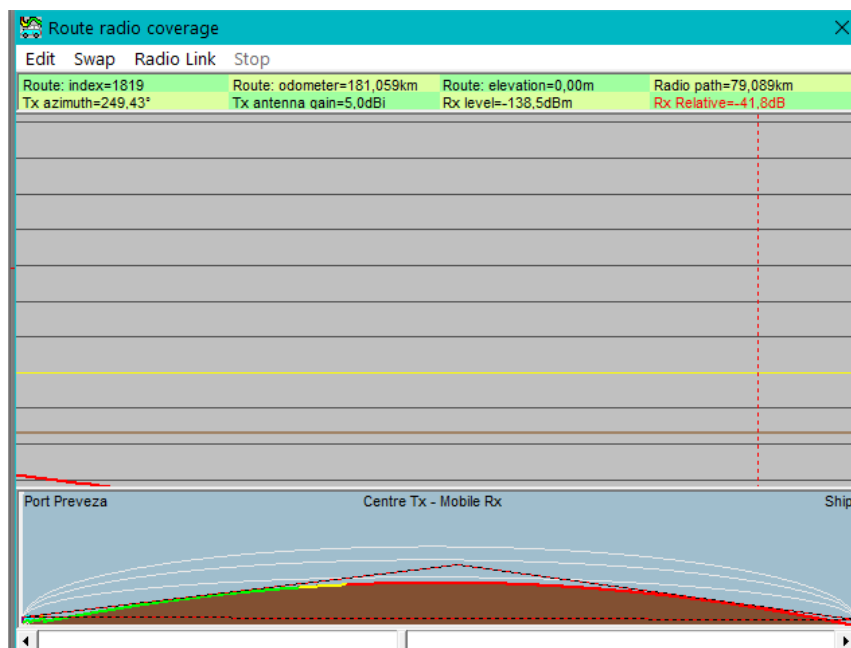


Εικόνα 41. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Βασιλική με επιλογή στο όριο προς κακή απόδοση σήματος



Εικόνα 42. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στο Βασιλική σε Uplink

Πρέβεζα: Downlink

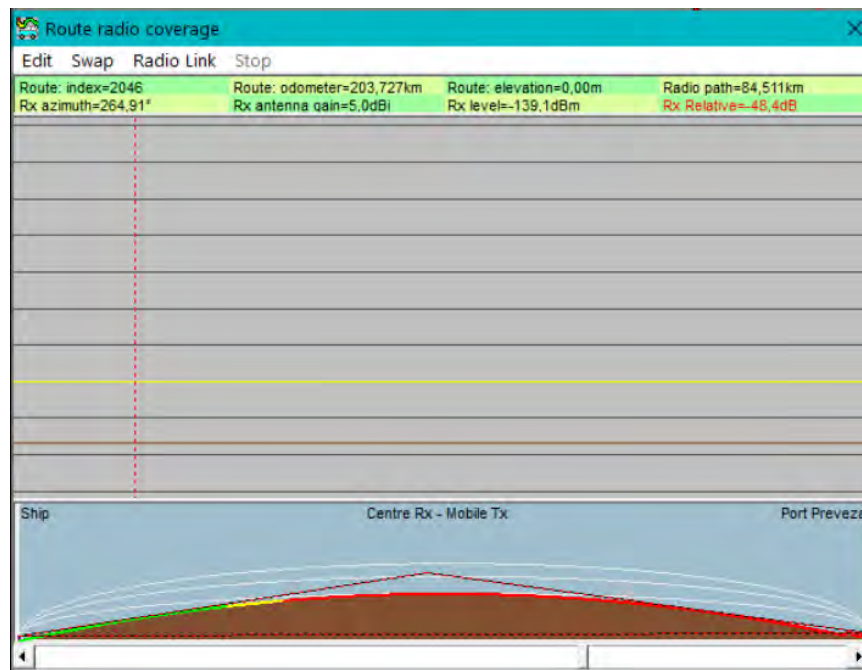


Εικόνα 43. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πρέβεζα

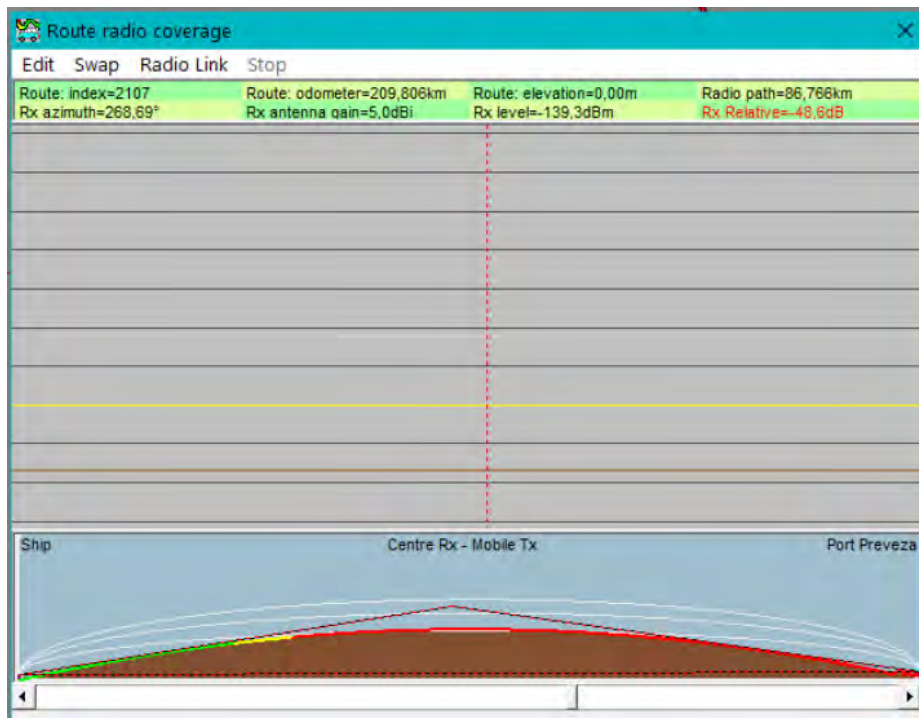


Εικόνα 44. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Πρέβεζα σε Downlink

Πρέβεζα: Uplink



Εικόνα 45. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πρέβεζα

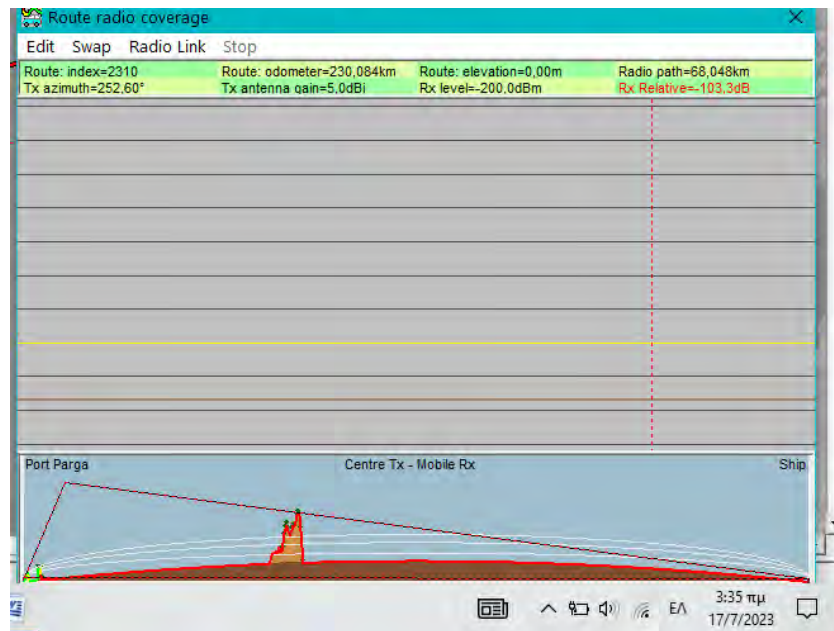


Εικόνα 46. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πρέβεζα

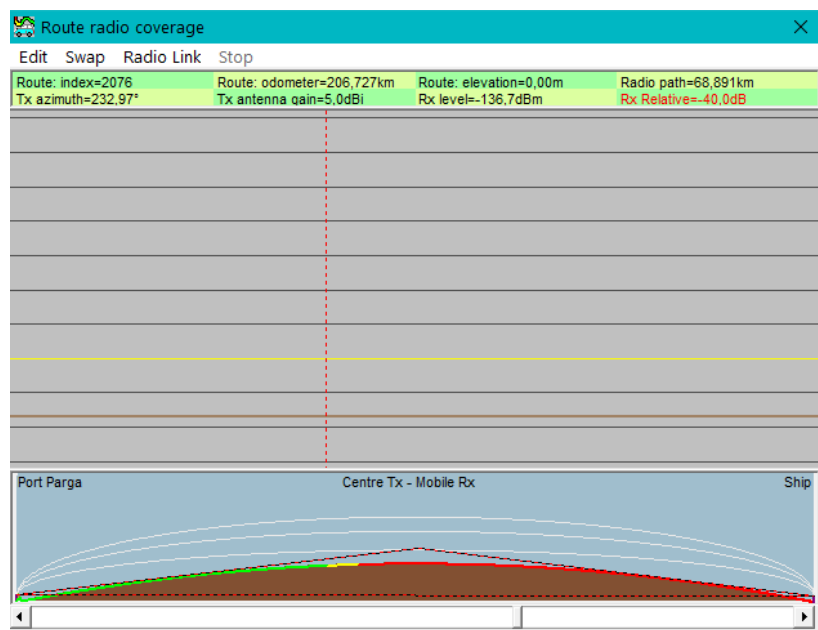


Εικόνα 47. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Πρέβεζα σε Uplink

Πάργα: Downlink



Εικόνα 48. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πάργα

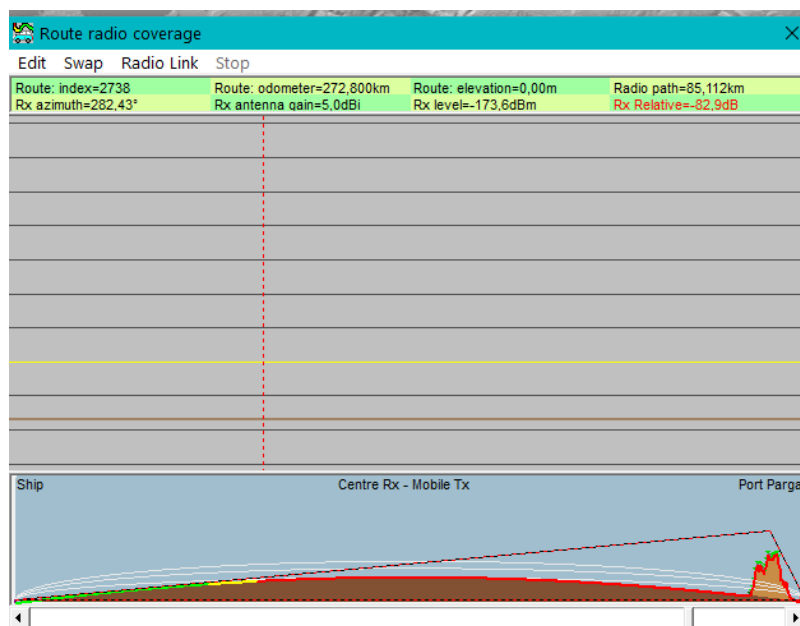


Εικόνα 49. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Πάργα

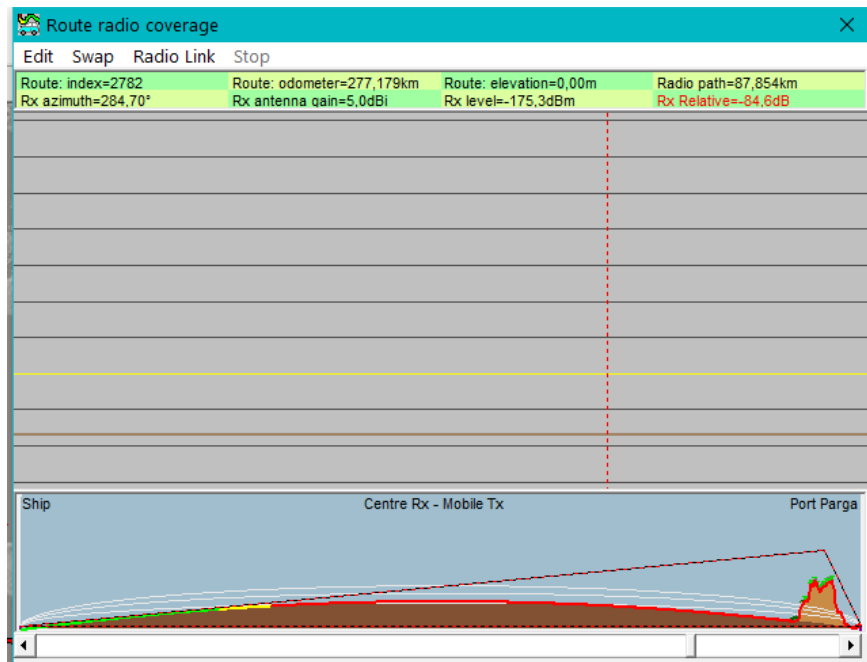


Εικόνα 50. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Πάργα σε Downlink

Πάργα: Uplink



Εικόνα 51. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πάργα

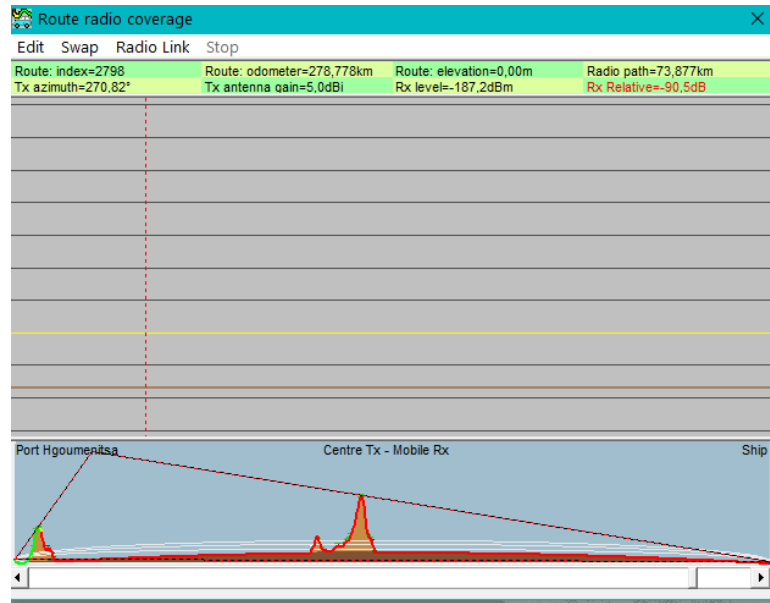


Εικόνα 52. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Πάργα

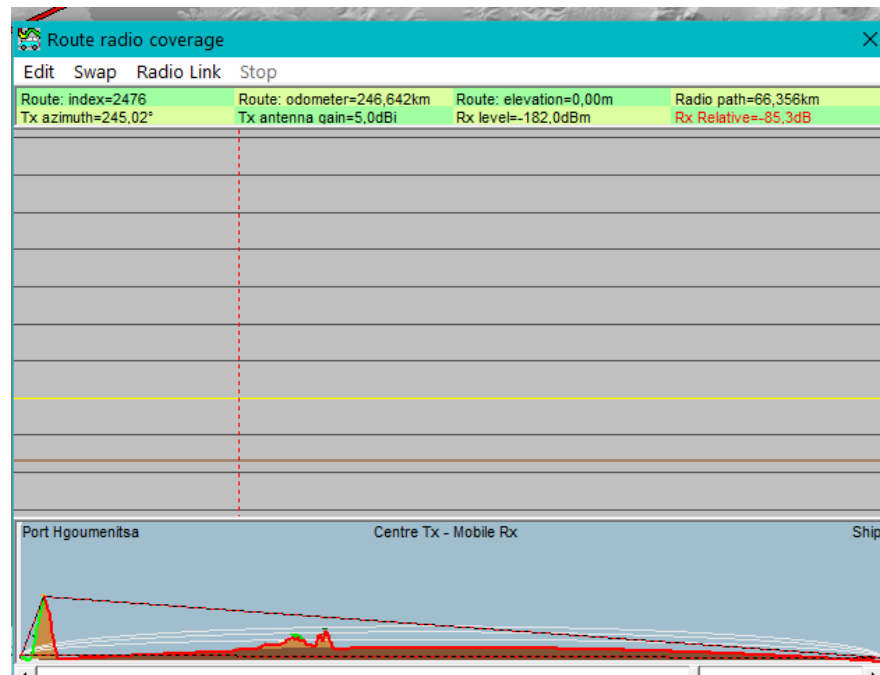


Εικόνα 53. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Πάργα σε Uplink

Ηγουμενίτσα: Downlink



Εικόνα 54. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Ηγουμενίτσα

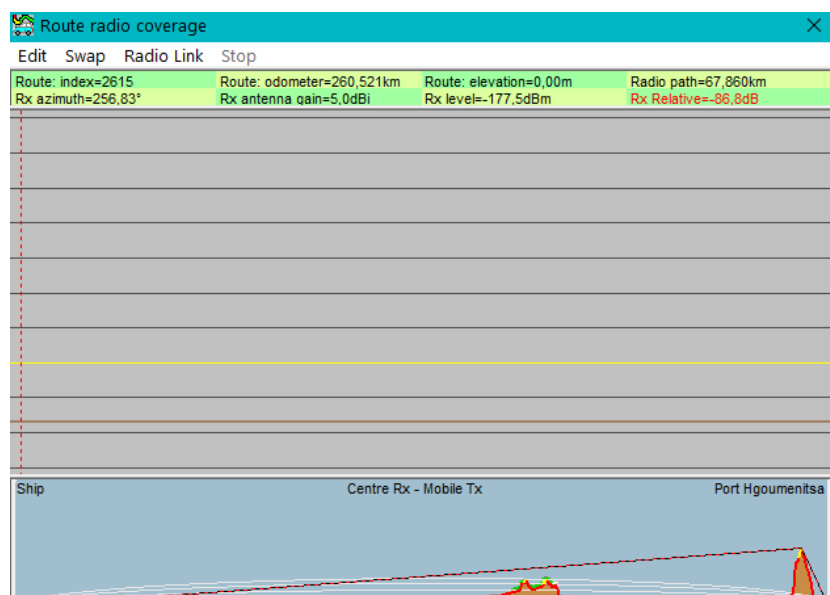


Εικόνα 55. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Ηγουμενίτσα

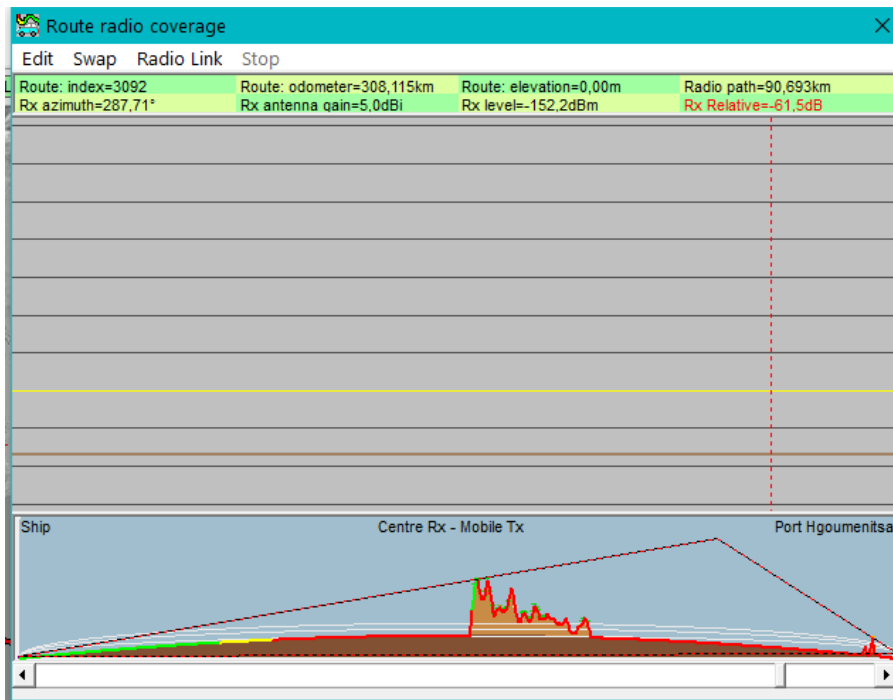


Εικόνα 56. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Ηγουμενίτσα σε Downlink

Ηγουμενίτσα: uplink



Εικόνα 57. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Ηγουμενίτσα

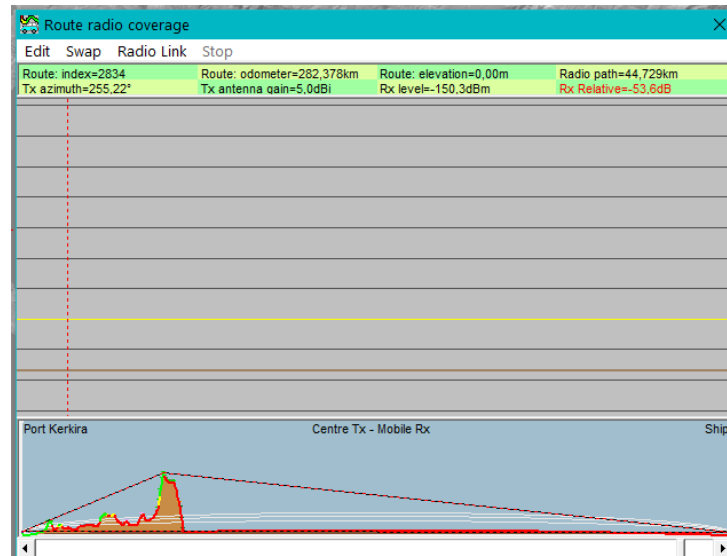


Εικόνα 58. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Uplink από Ηγουμενίτσα

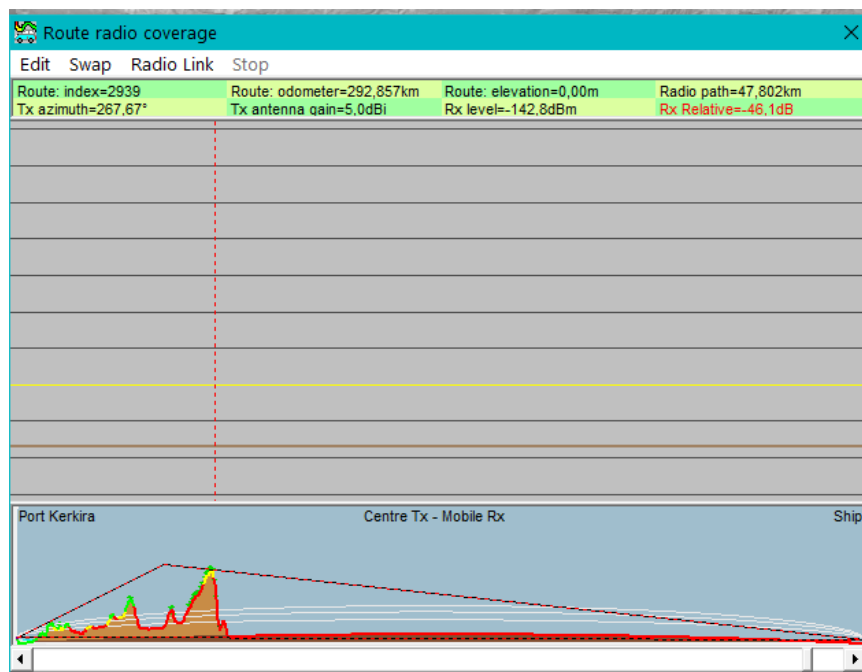


Εικόνα 59. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Ηγουμενίτσα σε Uplink

Κέρκυρα: Downlink



Εικόνα 60. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Κέρκυρα



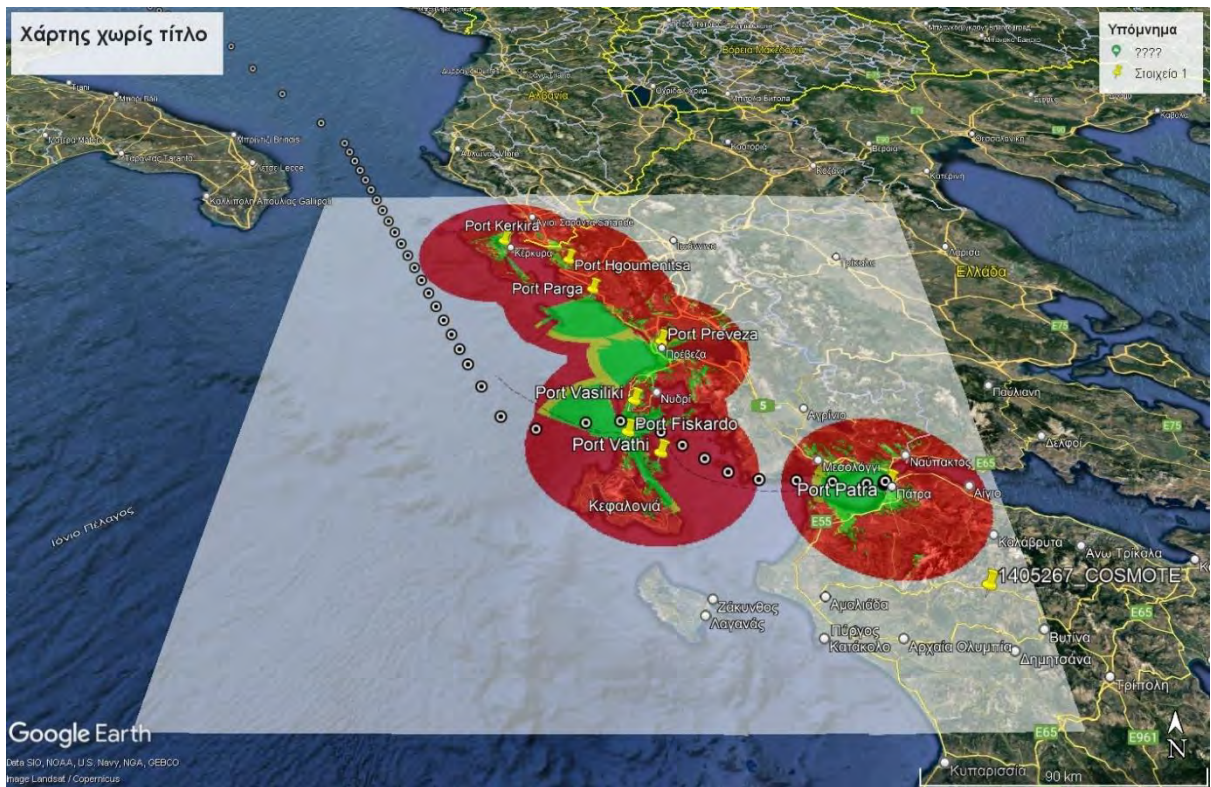
Εικόνα 61. Παράθυρο αποτελέσματος προσομοίωσης για Downlink από Κέρκυρα



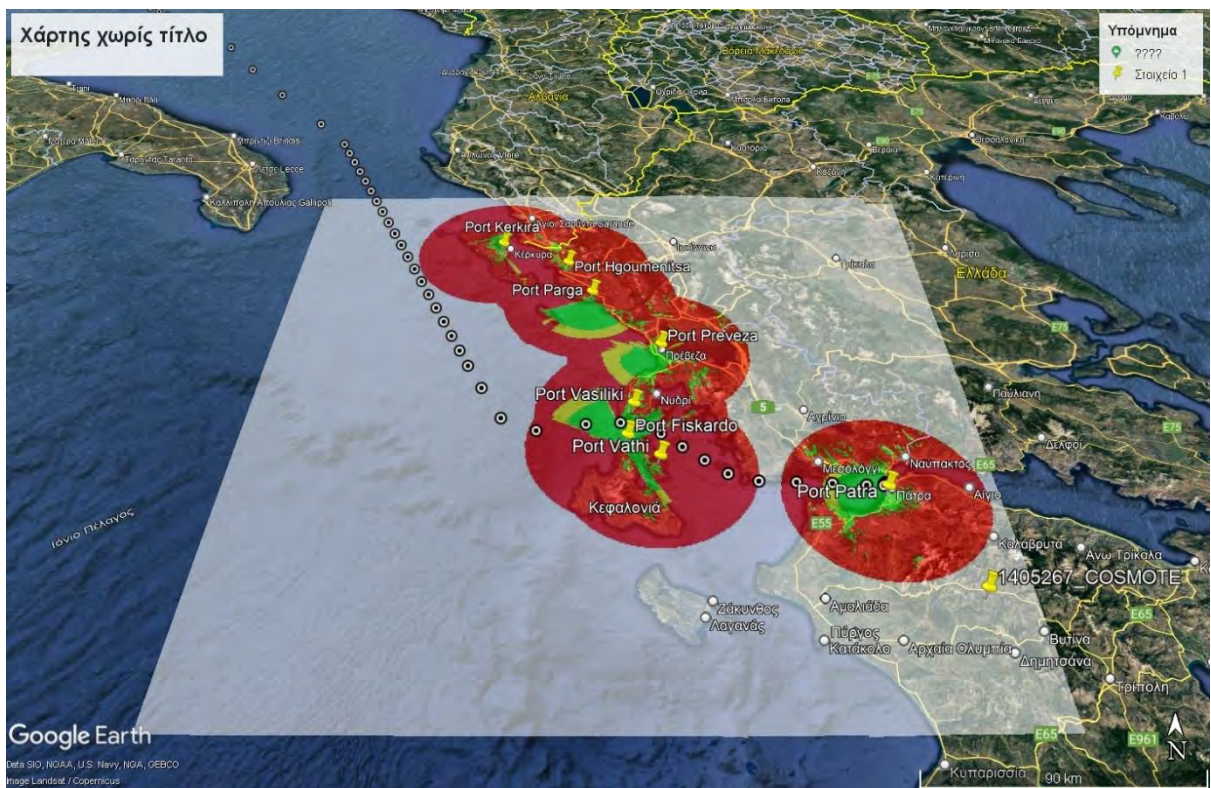
Εικόνα 64. Χάρτης από το RADIO MOBILE TOOL με εμφάνιση πεδίου διαδρομής με σήμα από την κεραία στην Κέρκυρα σε Uplink

Στο τελευταίο σκέλος της προσομοίωσης, εξετάζουμε την συνδυαστική ράδιο- κάλυψη που παρέχουν οι υφιστάμενες κεραιές στα λιμάνια (συν την προτεινόμενη στο λιμάνι της Πάργας) σε σχέση με την διαδρομή του πλοίου. Διακρίνουμε και πάλι δύο σενάρια: το downlink (Εικόνα 65) και το uplink (Εικόνα 66). Παρατηρούμε πως η οριακή συνδεσιμότητα συνεπάγεται και οριακή ευρυζωνικότητα, της τάξης των 10 Mbps για μέση απόσταση υφιστάμενης συνδεσιμότητας («πράσινη» σήμανση στους χάρτες ράδιο-κάλυψης).

Αυτό σημαίνει πως η υλοποίηση του Διαδικτύου των πλοίων είναι μια σύνθετη πρόκληση και από την πλευρά της ευρυζωνικής συνδεσιμότητας, το ζήτημα της οποίας αναγάγεται στην εύρωστη και αξιόπιστη ηλεκτρομαγνητική ράδιο-κάλυψη στο ασύρματο θαλάσσιο περιβάλλον.



Εικόνα 65. Συνδυαστική ράδιο-κάλυψη θαλάσσιας οδού (downlink)



Εικόνα 66. Συνδυαστική ράδιο-κάλυψη θαλάσσιας οδού (uplink)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Συμπεράσματα

Τελειώνοντας με την μελέτη του προτεινόμενου σεναρίου όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι χρήσιμα ορισμένα σχόλια. Αρχικά, η χρήση των εργαλείων RADIO MOBILE TOOL, MATLAB καθώς και ο συνδυασμός τους με το Google Earth Pro έδωσαν τη δυνατότητα στην μελέτη να παραχθεί και δώσει τελικά και πολύ ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Κατά τη διαδικασία παραγωγής των αποτελεσμάτων, κάθε προσομοίωση έγινε από δέκα φορές για τη λήψη καλύτερων αποτελεσμάτων. Έχοντας τα αποτελέσματα αυτά, υπάρχουν ορισμένα συμπεράσματα για το ερώτημα που τέθηκε.

Πρέπει να αναφερθεί πως η απόκλιση όσον αφορά την πιθανότητα σφάλματος είναι μικρότερη του 1% (για απόσταση 30-40 χιλιομέτρων η απόκλιση είναι στα 200 μέτρα), καθιστώντας τη μελέτη αυτή ιδιαίτερος αποδοτική.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα συμπεράσματα αποτελεί η παρεμβολή του φυσικού γεωγραφικού περιβάλλοντος στην μετάδοση του σήματος. Παράδειγμα αυτού αποτελεί η προσομοίωση που έγινε για την ήδη υπάρχουσα κεραία στο Βαθύ, Ιθάκης, για το οποίο παρατηρείται, πως αν και από άποψη απόστασης, το πλοίο βρισκόταν στην εμβέλεια της κεραίας για μετάδοση, δηλαδή εντός της ακτίνας των 20-30 χιλιομέτρων, αλλά εξαιτίας της γεωπολιτικής της θέσης, δεν ήταν δυνατή η επικοινωνία. Η συγκεκριμένη κεραία, βρίσκεται σε σημείο περιτριγυρισμένη από βουνά με υψόμετρο άνω των 200 μέτρων, με αποτέλεσμα να αποτυγχάνεται η σύνδεση και η κεραία είναι “άχρηστη” κεραία για την διαδρομή.

Από την άλλη υπάρχουν και οι κεραίες που καταλήγουν ομοίως ως “άχρηστες” κεραίες, αφού η διαδρομή του πλοίου είναι εκτός της εμβέλειάς τους από άποψη απόστασης, δηλαδή πάνω από 20-30 χιλιόμετρα μακριά από την κεραία. Τα λιμάνια αυτά είναι, της Πρέβεζας, της Πάργας, της Ηγουμενίτσας και της Κέρκυρας. Ένα δεύτερο συμπέρασμα που προκύπτει είναι πως η κεραία που προτάθηκε για το λιμάνι της Πάργας, δεν είναι αποδοτική, άρα δεν θα ήταν χρήσιμη πρακτικά για την διαδρομή που ερευνήθηκε.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1.1] <https://www.perle.com/articles/iot-at-sea-how-the-internet-of-things-powers-the-maritime-industry-40193572.shtml>
- [1.2] <https://thetius.com/practical-uses-for-iot-in-ship-management/>
- [1.3] https://marine-digital.com/article_sensors
- [1.4] https://www.inmarsat.com/content/dam/inmarsat/corporate/documents/maritime/insights/Inmarsat_IIoT_on_land_and_at_sea_Maritime.PDF
- [1.5] <https://shipware.com/blog/the-role-of-iot-in-the-shipping-industry/>
- [2.1] Aslam, S., Michaelides, M., & Herodotou, H. ,2020
- [2.2] Hayder Ali Al-Fatlawi, Hassan Jassim Motlak ,2023
- [2.3] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015
- [2.4] Y. Dong, W. Sun, L. Dong, and C. ZHANG, “On Construction of Internet of Ships,” *Port & Waterway Engineering*, vol. 8, 2012.
- [2.5] Z. Tian, F. Liu, Z. Li, R. Malekian, and Y. Xie, “The Development of Key Technologies in Applications of Vessels Connected to the Internet,” *Symmetry*, vol. 9, no. 10, p. 211, 2017.
- [2.6] M. Dai, J. Du, and S. Qian, “Research on the Overall Technical Framework of the Ship Networking System in the Yangtze River Delta,” *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*, pp. 199– 205, 2017.
- [2.7] C. R. Berger, S. Zhou, J. C. Preisig, and P. Willett, “Sparse Channel Estimation for Multicarrier Underwater Acoustic Communication: From Subspace Methods to Compressed Sensing,” in *Proceedings of OCEANS-Europe*. IEEE, 2009, pp. 1–8.
- [2.8] J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
- [2.9] M. Von Stietencron, C. C. Røstad, B. Henriksen, and K.-D. Thoben, “Utilising the Internet of Things for the Management of Through-life Engineering Services on Marine Auxiliaries,” *Procedia CIRP*, vol. 59, pp. 233–239, 2017.
- [2.10] R. Zuidwijk, B. Kuipers, and R. Morris, “Companies active in the port of Rotterdam are discovering the benefits of scientific collaboration-thanks to erasmus smart port rotterdam,” *RSM Discovery-Management Knowledge*, vol. 18, no. 2, pp. 5–7, 2014.

- [2.11] A. Botti, M. Grimaldi, A. Tommasetti, O. Troisi, and M. Vesce, "Modeling and measuring the consumer activities associated with value cocreation: an exploratory test in the context of education," *Service Science*, vol. 9, no. 1, pp. 63–73, Mar. 2017, doi: 10.1287/serv.2016.0156.
- [2.12] K. Douaioui, M. Fri, C. Mabrouki, and E. A. Semma, "Smart port: design and perspectives," in *2018 4th International Conference on Logistics Operations Management (GOL)*, Apr. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/GOL.2018.8378099.
- [2.13] Y. Yang, M. Zhong, H. Yao, F. Yu, X. Fu, and O. Postolache, "Internet of things for smart ports: Technologies and challenges," *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 21, no. 1, pp. 34–43, Feb. 2018, doi: 10.1109/MIM.2018.8278808.
- [2.14] S. Vo, R. Stahlbock, and D. Steenken, "Container terminal operation and operations research - a classification and literature review," *OR Spectrum*, vol. 26, no. 1, pp. 3–49, Jan. 2004, doi: 10.1007/s00291-003-0157-z.
- [2.15] G. Giuliano and T. O'Brien, "Reducing port-related truck emissions: the terminal gate appointment system at the Ports of Los Angeles and Long Beach," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 12, no. 7, pp. 460–473, Oct. 2007, doi: 10.1016/j.trd.2007.06.004.
- [2.16] L. Heilig and S. Voß, "A cloud-based SOA for enhancing information exchange and decision support in ITT operations," in *Lecture Notes in Computer Science*, Springer International Publishing, 2014, pp. 112–131.
- [2.17] D. Ashbrook and T. Starner, "Using GPS to learn significant locations and predict movement across multiple users," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 7, no. 5, pp. 275–286, Oct. 2003, doi: 10.1007/s00779-003-0240-0.
- [2.18] A. Accetta and M. Pucci, "Energy management system in DC micro-grids of smart ships: main gen-set fuel consumption minimization and fault compensation," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 3, pp. 3097–3113, May 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2896532.
- [2.19] K.-L. A. Yau, S. Peng, J. Qadir, Y.-C. Low, and M. H. Ling, "Towards smart port infrastructures: enhancing port activities using information and communications technology," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 83387–83404, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2990961.
- [2.20] N. Zrnić, Z. Petković, and S. Bošnjak., "Automation of ship-to-shore container cranes: A review of state-of-the-art," *FME Transactions*, vol. 33, no. 3, pp. 111–121, 2005.
- [2.21] A. K. Bhimani and M. Sisson, "Increasing quayside productivity," *2002 Pan Pacific Conference*, 2002.
- [2.22] Huawei, "5G smart port white paper." Huawei Technologies Co., Ltd, 2019
- [2.23] P. Blaiklock, *Automated stacking cranes in port terminals*. Port Technology, 2017.

- [2.24] P. S. Pratama, T. H. Nguyen, H. K. Kim, D. H. Kim, and S. B. Kim, “Positioning and obstacle avoidance of automatic guided vehicle in partially known environment,” *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 14, no. 6, pp. 1572–1581, Dec. 2016, doi: 10.1007/s12555-014-0553-y.
- [2.25] J. Zhang, P. A. Ioannou, and A. Chassiakos, “Automated container transport system between inland port and terminals,” *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, vol. 16, no. 2, pp. 95–118, Apr. 2006, doi: 10.1145/1138464.1138465.
- [2.26] X. Li and Q. Xu, “A reliable fusion positioning strategy for land vehicles in GPS-denied environments based on low-cost sensors,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 4, pp. 3205–3215, Apr. 2017, doi: 10.1109/TIE.2016.2637306.
- [2.27] C. I. Liu, H. Jula, K. Vukadinovic, and P. A. Ioannou, “Comparing different technologies for containers movement in marine container terminals,” in *ITSC2000. 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.00TH8493)*, 2000, pp. 488–493, doi: 10.1109/ITSC.2000.881118.
- [2.28] E. A. Bouman, E. Lindstad, A. I. Riialand, and A. H. Strømman, “State-of-the-art technologies, measures, and potential for reducing GHG emissions from shipping-A review,” *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 52, pp. 408–421, May 2017, doi: 10.1016/j.trd.2017.03.022.
- [2.29] F.-X. Delenclos, A. Rasmussen, and J. Riedl, *To get smart, ports go digital*. BCG, 2018.
- [2.30] [36] L. Heilig and S. Voß, “Information systems in seaports: a categorization and overview,” *Information Technology and Management*, vol. 18, no. 3, pp. 179–201, Sep. 2017, doi: 10.1007/s10799-016-0269-1.
- [2.31] S. Jakovlev, A. Senulis, M. Kurmis, Z. Lukosius, and D. Drungilas, “Intelligent containers network concept,” in *Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, 2018, pp. 568–574, doi: 10.5220/0006801305680574.
- [2.32] P. Ruckebusch, J. Hoebeke, E. De Poorter, and I. Moerman, “Smart container monitoring using custom-made WSN technology: from business case to prototype,” *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, no. 1, Dec. 2018, doi: 10.1186/s13638-018-1024-6
- [2.33] Ç. Iris and J. S. L. Lam, “A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 112, pp. 170–182, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.04.069.
- [2.34] J.-K. Woo, D. S. H. Moon, and J. S. L. Lam, “The impact of environmental policy on ports and the associated economic opportunities,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 110, pp. 234–242, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.tra.2017.09.001.

- [2.35] G. Wilmsmeier and T. Spengler, "Energy consumption and container terminal efficiency," *Bulletin FAL*, pp. 1–10, 2016.
- [2.36] T. Zis, R. J. North, P. Angeloudis, W. Y. Ochieng, and M. G. Harrison Bell, "Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports," *Maritime Economics and Logistics*, vol. 16, no. 4, pp. 371–398, Dec. 2014, doi: 10.1057/mel.2014.6.
- [2.37] E. A. Sciberras, B. Zahawi, and D. J. Atkinson, "Electrical characteristics of cold ironing energy supply for berthed ships," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 39, pp. 31–43, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.trd.2015.05.007.
- [2.38] T. Coppola, M. Fantauzzi, S. Miranda, and F. Quaranta, "Cost/benefit analysis of alternative systems for feeding electric energy to ships in port from ashore," in *2016 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, 2016, pp. 1–7, doi: 10.23919/AEIT.2016.7892782.
- [2.39] W. J. Hall, "Assessment of CO₂ and priority pollutant reduction by installation of shoreside power," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, no. 7, pp. 462–467, May 2010, doi: 10.1016/j.resconrec.2009.10.002.
- [2.40] T. K. Tran, "Study of electrical usage and demand at the container terminal," Thesis, Deakin University, 2012.
- [2.41] G. Parise and A. Honorati, "Port cranes with energy balanced drive," in *2014 AEIT Annual Conference-From Research to Industry: The Need for a More Effective Technology Transfer (AEIT)*, Sep. 2014, pp. 1–5, doi: 10.1109/AEIT.2014.7002047.
- [2.42] D. Colarossi and P. Principi, "Technical analysis and economic evaluation of a complex shore-to-ship power supply system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 181, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2020.115988.
- [2.43] M. Acciaro et al., "Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation," *Maritime Policy and Management*, vol. 41, no. 5, pp. 480–500, Jul. 2014, doi: 10.1080/03088839.2014.932926.
- [2.44] I. N. K. Wardana, N. N. K. Krisnawijaya, and I. W. A. Suranata, "Sub-1 GHz wireless nodes performance evaluation for intelligent greenhouse system," *Telecommunication Computing Electronics and Control (TELKOMNIKA)*, vol. 16, no. 6, Dec. 2018, doi: 10.12928/telkonnika.v16i6.11556.
- [2.45] JP, "Jurong port," <https://www.jp.com.sg/about-us/awards-and-milestones/> (accessed Sep. 26, 2017).
- [2.46] Y. Du, Q. Chen, J. S. L. Lam, Y. Xu, and J. X. Cao, "Modeling the impacts of tides and the virtual arrival policy in berth allocation," *Transportation Science*, vol. 49, no. 4, pp. 939–956, Nov. 2015, doi: 10.1287/trsc.2014.0568.
- [3.1] Petersen, Stig, Pål Orten, and Bård Myhre. "Potential benefits of 5G communication for autonomous ships." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 929. No. 1. IOP Publishing, 2020.

[3.2] HART Field Communication Protocol Specification, Revision 7.0, HART Communication Foundation, Austin, Tx, Sept. 2007.

[3.3] ZigBee Specification, ZigBee Alliance, 2015.

[3.4] Recommendation ITU-R M.2083-0, "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", 2015.

[3.5] Report ITU-R M.2410-0, "Minimum requirements related to technical performance for IMT- 2020 radio interface(s)", 2017.

[4.1] <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/5g-nr/5g-nr-frequency-bands/n28-5g-nr-frequency-band-700mhz-fdd/> (Ανάκτηση 3 Ιουλίου 2023)

[4.2] https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/Europe/Documents/Events/2017/Spectrum%20Management/Ulrich_No_kia_5G_in%20700w.pdf (Ανάκτηση 3 Ιουλίου 2023)

[4.3] <https://www.vesselfinder.com/vessels/details/9216028> (Ανάκτηση 4 Ιουλίου 2023)

[4.4] https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/138104/15.03.00_60/ts_138104v150300p.pdf

[4.5] https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138100_138199/13810101/16.05.00_60/ts_13810101v160500p.pdf

[4.6] <https://www.ve2dbe.com/english1.html>