

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

Antonio Škrobonja

**PRILOG UNAPRJEĐENJU VHF KOMUNIKACIJA  
UNUTAR VTS SUSTAVA PRIMJENOM  
TERESTRIČKOG VDES SUSTAVA**

DOKTORSKI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET

Antonio Škrobonja

**PRILOG UNAPRJEĐENJU VHF KOMUNIKACIJA  
UNUTAR VTS SUSTAVA PRIMJENOM  
TERESTRIČKOG VDES SUSTAVA**

DOKTORSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sanjin Valčić

Rijeka, 2024.

UNIVERSIT OF RIJEKA  
FACULTY OF MARITIME STUDIES

Antonio Škrobonja

**A CONTRIBUTION TO THE IMPROVEMENT OF  
THE VHF COMMUNICATIONS WITHIN THE VTS  
SYSTEM USING THE TERRESTRIAL VDES  
SYSTEM**

DOCTORAL THESIS

Rijeka, 2024.

Mentor doktorskog rada: izv. prof. dr. sc. Sanjin Valčić

Doktorski rad obranjen je dana \_\_\_\_\_ u/na \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u sastavu:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_

## **SAŽETAK**

Brz i siguran prijenos informacija u pomorskom prometu u današnje doba od ključne je važnosti za sigurnost plovidbe i svih brodskih operacija. Pitanje sigurnosti prijena informacija između brodova i kopna kao i povećanje brzine prijena istih postaju temelj razvoja komunikacijskih procesa. Digitalizacija radiotelefonskih postupaka predstavlja sljedeću stepenicu razvoja brodskih radiotelefonskih komunikacija, a posebice radiotelefonskih komunikacija na vrlo visokim frekvencijama (engl. Very High Frequency – VHF). Sustav koji može omogućiti modernizaciju i ubrzavanje dijela trenutnih radiotelefonskih postupaka je VHF sustav razmjene podataka (engl. VHF Data Exchange System – VDES) koji ujedno može rasteretiti, trenutno u nekim dijelovima svijeta zagušeni, automatski identifikacijski sustav (engl. Automatic Identification System – AIS). Primjenom VDES-a moguće je započeti proces modernizacije brodskih radiokomunikacija kao i prijena podataka u digitalnom obliku na siguran način te približiti komunikacijske procese pojmu e-navigacije. Ovim radom provedeno je ekstenzivno istraživanje mogućnosti implementacije VDES-a unutar brodskih komunikacija na primjeru slanja izvještaja od strane broda prema sustavu nadzora i upravljanja pomorskim prometom (engl. Vessel Traffic Service – VTS) te informacijske podrške od strane VTS-a prema brodovima na području Republike Hrvatske. Propagacijskim modelom koji uključuje gubitke propagacijskog puta proračunata je snaga radiovala na svakoj prijemnoj stanici te je propagacijski model verificiran proračunom kvalitete bežične veze. Prikazan je geografski razmještaj svih potencijalnih baznih stanica u VTS-u Republike Hrvatske kao i brodova na pretpostavljenim pozicijama. Simulacijskim modelom obuhvaćena su oba smjera komunikacije razmatrana u radu, odnosno, brod-kopno i kopno-brod za dvije različite visine brodskih antena. U postupku verifikacije simulacijskog modela, također su obuhvaćena oba navedena smjera komunikacije kao i dvije različite visine brodskih antena.

Rezultatima istraživanja dokazano je da je moguće primijeniti terestrički VDES sustav u svrhu unaprjeđenja komunikacija između brodova i VTS sustava povećanjem brzine prijena podataka kao i zaštitom odaslanih podataka.

### **Ključne riječi:**

vrlo visoke frekvencije, VHF sustav razmjene podataka, digitalna VHF komunikacija, e-navigacija, sustav nadzora i upravljanja pomorskim prometom

## **SUMMARY**

Fast and secure data exchange in maritime traffic today is of key importance for the safety of navigation and all ship operations. The issue of secure information transmission between ships and shore, as well as increasing the speed of transmission, has become the foundation of communication process development. The digitalization of radiotelephone procedures represents the next step in the development of ship radiotelephone communications, especially very high frequency (VHF) radiotelephone communications. A system that can enable the modernization and acceleration of some of the current radiotelephone procedures is VHF Data Exchange System (VDES), which can also alleviate the Automatic Identification System (AIS), currently congested in some parts of the world. The part of VDES that can improve these radiotelephone procedures is a terrestrial VDES. By applying VDES, it is possible to initiate the process of modernizing ship's radiocommunications as well as the transmission of data in digital form in a secure manner, bringing communication processes closer to the concept of e-navigation.

This paper conducts an extensive research on possibility of implementing VDES within ship's communications using the example of sending reports from ships to Vessel Traffic Service (VTS) and providing information support from VTS to ships. Using a propagation model that includes propagation path losses, the signal strength at each receiving station was calculated, and the propagation model was verified by calculating the quality of the wireless link. The geographic distribution of all potential base stations in the VTS of the Republic of Croatia, as well as the positions of ships, is presented. The simulation model covered both directions of communication considered in the paper, namely ship-to-shore and shore-to-ship, for two different ship antenna heights. In the process of verifying the simulation model, both directions of communication and two different ship antenna heights were also included. The results of the research proved that it is possible to apply the terrestrial VDES system to improve communication between ships and the VTS system by increasing the data transmission speed and protecting transmitted data.

### **Key words:**

very high frequency, VHF data exchange system, digital VHF communications, e-navigation, vessel traffic service

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem svom mentoru izv. prof. dr. sc. Sanjinu Valčiću na nemjerljivom trudu, zalaganju i dostupnosti tijekom izrade ovog doktorskog rada od početne faze do završetka kao i na detaljnom praćenju i svim konstruktivnim komentarima.

U zahvalu za neizmjernu strpljivost i potporu tijekom izrade ovog doktorskog rada, posvećujem ovaj rad supruzi Kristini i kćeri Maris.

## SADRŽAJ

SAŽETAK .....	v
SUMMARY.....	vi
ZAHVALA.....	vii
1. UVOD.....	1
1.1. Problem i predmet istraživanja.....	3
1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze.....	5
1.3. Svrha i ciljevi istraživanja.....	5
1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	7
1.5. Znanstvene metode.....	11
1.6. Struktura rada.....	12
2. VHF SUSTAV RAZMJENE PODATAKA.....	14
2.1. Općenito .....	14
2.2. Konceptualni okvir funkcioniranja VDES-a.....	19
2.3. Zaštita prijenosa podataka.....	21
2.4. Tehničke karakteristike VDES-a.....	23
2.4.1 Komunikacijski kanali i frekvencije VDES-a .....	24
2.4.2. Identifikacija VDES-a .....	25
2.4.3. Prioriteti komunikacija unutar VDES-a.....	26
2.5. Fizički sloj VDES-a.....	26
2.5.1. Period postupnog pojačavanja i smanjivanja snage te zaštitno vrijeme .....	27
2.5.2. Period sinkronizacije .....	28
2.5.3. Period određivanja modulacijsko-kodne tehnike.....	28
2.5.5. Modulacijske tehnike .....	34
2.5.6 Praćenje razine kvalitete komunikacijskog kanala u VDES-u .....	47
3. SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKIM PROMETOM .....	54
3.1. Općenito .....	54
3.1.1. Temeljni pojmovi strukture VTS-a.....	55
3.1.2. Djelatnosti VTS-a.....	55
3.1.3. Odgovornosti VTS-a .....	56
3.2. VTS OPREMA.....	58
3.2.1. Komunikacijski sustav.....	58
3.2.2. Radarski sustav.....	59



3.2.3. AIS sustav .....	59
3.2.4. Sustavi za nadziranje okoliša.....	64
3.2.5. Optoelektronički sustavi .....	64
3.2.6. Radiogoniometarski sustavi.....	65
3.2.7. Sustavi velikog dometa .....	65
3.2.8. Pomorski integrirani informacijski sustav .....	65
3.3. VTS sustav Republike Hrvatske.....	65
3.3.1. Struktura VTS-a Republike Hrvatske.....	67
3.3.2. Izvještavanje u sklopu VTS-a Republike Hrvatske .....	69
3.3.3. Analiza prometnog opterećenja VTS-a Republike Hrvatske.....	73
3.3.4. VHF radiotelefonska komunikacija u sklopu VTS-a Republike Hrvatske .....	75
3.4. VTS izvještavanje putem terestričkog VDES-a .....	78
4. LONGLEY-RICE PROPAGACIJSKI MODEL .....	81
4.1. Parametri atmosferskih utjecaja .....	81
4.2. Parametri terenske konfiguracije.....	83
4.3. Osnovni parametri izračuna propagacijskih gubitaka .....	84
4.4. Dodatni parametri izračuna propagacijskih gubitaka.....	86
4.5. Proračun propagacijskih gubitaka .....	90
4.5.1. Proračun referentne atenuacije <b>Acr</b> u uvjetima direktne propagacije .....	91
4.5.2 Proračun atenuacije zbog difrakcije <b>Ad</b> .....	91
4.5.3. Proračun atenuacije zbog rapršenja <b>As</b> .....	92
4.5.4. Varijacija vremena, lokacije i situacije .....	93
5. SIMULACIJSKI MODEL VDES SUSTAVA.....	99
5.1. Značajke smulacijskog modela.....	100
5.2. Analiza rezultata simulacija za komunikaciju u smjeru kopno-brod .....	109
5.3. Analiza rezultata simulacija za komunikaciju u smjeru brod-kopno .....	112
6. VREDNOVANJE REZULTATA ISTRAŽIVANJA .....	116
6.1. Rezultati proračuna kvalitete bežične veze za komunikaciju u smjeru kopno-brod .....	120
6.2. Rezultati proračuna kvalitete bežične veze za komunikaciju u smjeru brod-kopno .....	122
7. ZAKLJUČAK .....	130
LITERATURA .....	134
POPIS TABLICA .....	143
POPIS SIMBOLA.....	149

POPIS KRATICA .....	157
PRILOG 1 – Distribucija prijemnih snaga na svim baznim i brodskim stanicama.....	162
PRILOG 2 – Proračun kvalitete bežične veze na svim baznim i brodskim stanicama.....	184

## 1. UVOD

Komunikacija između prometnih entiteta ključna je za odvijanje istog na siguran način za sve sudionike. U sklopu pomorskih radiokomunikacija, a posebice VHF pomorskih radiokomunikacija, može se zaključiti kako se radi o najiskorištenijem sustavu radiokomunikacija između brodova i kopna. Nadalje, od uvođenja do danas VHF radiotelefonske komunikacije na brodovima nisu prošle kroz značajniju modernizaciju. Naime, još uvijek se na brodovima koriste analogni radiotelefoni, bez obzira na prisutnost i dostupnost digitalnih radiouređaja na tržištu. Jedan od digitalnih uređaja na VHF području koji se koristi na brodovima kao navigacijsko pomagalo je automatski identifikacijski sustav, odnosno AIS, čija je namjena praćenje statičkih i dinamičkih podataka brodova u neposrednoj blizini. Dostupnost detalja brodova u blizini putem AIS sustava, uvelike skraćuje i olakšava neophodnu VHF radiotelefonsku komunikaciju brod-brod, brod-kopno i kopno-brod. AIS sustav koristi dva kanala za komunikaciju, odnosno, AIS 1 i AIS 2 na već spomenutom VHF frekvenzijskom području. Nadalje, AIS sustav koji je obvezan za propisane kategorije se osim za razmjenu statičkih i dinamičkih podataka te podataka o putovanju i teretu koristi i za slanje poruka vezanih za pomoć u navigaciji (engl. Aids to navigation – AtoN) te poruka posebnih namjena (engl. Application specific message – ASM) kao i pri traganju i spašavanju (engl. Search and rescue transmitter AIS – AIS SART), jedinicama za označavanje „čovjek u moru“ (engl. Man overboard unit – MOB) te AIS predajnika za uzbunjivanje i označavanje pozicije (engl. Emergency position indicating radio beacon AIS – EPIRB AIS). Zbog općeg porasta pomorske trgovačke mornarice, a time i brodova opremljenih AIS sustavom, u pojedinim dijelovima svijeta povremeno dolazi do zagušenja AIS sustava što za rezultat ima smanjenu sigurnost navigacije te potencijalno razvoj nepovoljnih događaja. Zagušenje AIS sustava odnosi se na AIS komunikacijske kanale koji postaje preopterećen zbog gustoće pomorskog prometa, odnosno, zbog prečestog odašiljanja količine podataka na dodijeljenim komunikacijskim kanalima. Glavni uzrok spomenutom preopterećenju jest velika gustoća prometa koja može uzrokovati preklapanje trenutka odašiljanja podataka susjednih brodova uz prisustvo tehničkih kvarova te na taj način dovesti do kašnjenja u razmjeni podataka. Zagušenje AIS komunikacijskih kanala predstavlja značajan izazov za pomorsku sigurnost i upravljanje prometom, posebno u prometnim područjima. Kako bi se minimizirali rizici povezani sa zagušenjem AIS komunikacijskih kanala, važno je istražiti i implementirati strategije koje optimiziraju prijenos AIS podataka, unapređuju

infrastrukturu koja podržava sustav i integriraju komplementarne tehnologije koje će poboljšati ukupnu učinkovitost pomorske komunikacije. Zagušenje AIS sustava u pojedinim dijelovima svijeta navodi Međunarodni savez za telekomunikacije (engl. International Telecommunication Union – ITU) na potencijalno pronalaženje rješenja uz definiranje četiri potencijalna VHF sustava za razmjenu podataka i novih komunikacijskih kanala iz postojećih analognih kanala. Navedeno označava početak definiranja VHF sustava za razmjenu podataka, odnosno VDES-a, koji za cilj ima rasterećenje AIS sustava te definiranje novih dijelova koji će omogućiti bržu komunikaciju i veću brzinu prijenosa podataka. Uvođenje digitalnog radiokomunikacijskog sustava označava i smjernicu prema modernizaciji brodskih radiokomunikacijskih procesa te ubrzavanje istih na siguran način. Jedan od potencijalnih primjera modernizacije radiokomunikacija na brodu je i prijedlog korištenja digitalnog sustava za razmjenu podataka u sklopu sustava za nadzor i upravljanje, odnosno VTS-a. U sklopu radiokomunikacijskog procesa između broda koji ima obvezu sudjelovanja u VTS uslugama i VTS-a, još uvijek prednjači VHF radiotelefonska radiokomunikacija koja za posljedicu ima visoku razinu sigurnosti i situacijske svijesti. Nadalje, radiotelefonska komunikacija u smislu izvještavanja broda prema VTS-u može imati određene vrste komunikacijskih ograničenja, poput jezičnih barijera i šumova, posebice pri izvješćima koja sadrže, u većini slučajeva, brojčane podatke. Korištenjem dijela VHF sustava za razmjenu podataka, kojem još uvijek nije definirana upotreba, može se značajno utjecati na ubrzavanje i postupno reduciranje radiotelefonskih komunikacija. Digitalni VHF sustav za razmjenu podataka može unaprijediti predavanje izvješća na siguran način te ubrzati cjelokupni proces komunikacije. Uvođenje digitalnog VHF sustava za razmjenu podataka približava brodske radiokomunikacije pojmu e-navigacije, koji predstavlja jednu od okosnica razvoja navigacije općenito, a time i broskog radiokomunikacijskog sustava. Nadalje, planiranje uvođenja digitalnih radiokomunikacijskih sustava obvezno je pratiti detaljnim razvojem i poznavanjem područja na koje se uvodi sustav u čemu je potrebno koristiti odgovarajuće propagacijske modele. Propagacijski modeli uzimaju u obzir čimbenike okoliša, frekvencije radiokomunikacijskog sustava, udaljenosti, geografskog položaja i atmosferskih uvjeta koji utječu na propagaciju radiovalova na određenom geografskom području.

Proces uspješnog planiranja radiokomunikacijskog sustava mora uključivati i vrednovanje propagacijskog modela odgovarajućom metodom. Vrednovanje propagacijskih modela je

ključan proces u osiguravanju točnosti i učinkovitosti potencijalnih radiokomunikacijskih sustava. Cilj vrednovanja je provjeriti kako određeni model predviđa stvarnu propagaciju radiovalova u specifičnim uvjetima što nekad može uključivati i stvarna mjerenja na određenom prostoru uz već potvrđene teoretske pretpostavke.

Ovaj potencijalni prijelaz prema digitalnim sustavima za razmjenu podataka također se uklapa u širu viziju razvoja e-navigacije, koja predstavlja budućnost pomorskih komunikacija i navigacije. E-navigacija, kao jedan od ključnih ciljeva u razvoju globalnih pomorskih sustava, osigurava integraciju naprednih digitalnih tehnologija u svakodnevne operacije na moru. Time se postiže povećanje sigurnosti, učinkovitosti i ekološke održivosti pomorskog prometa, a modernizacija radiokomunikacijskih sustava je ključni dio tog procesa.

S obzirom na sve ove prednosti, jasno je da digitalizacija VHF komunikacijskih sustava ne samo da utječe na sigurnost na moru, već predstavlja temeljnu komponentu u budućem razvoju pomorskog prometa.

### **1.1. Problem i predmet istraživanja**

VHF radiotelefonska komunikacija jedan je od najčešće korištenih načina neposredne komunikacije u pomorstvu općenito. Međutim, s porastom pomorske flote trgovačke mornarice i porastom gustoće pomorskog prometa u cijelom svijetu, dolazi i do određenih smetnji poput kašnjenja i nerazgovjetnosti u spomenutoj neposrednoj radiotelefonskoj komunikaciji gdje veliki utjecaj ima i pasivna radiotelefonska komunikacija, odnosno, komunikacija koja je prisutna na kanalima bdijenja VTS centara, a ne odnosi se na komunikaciju u ovlasti VTS-a te uzima veliku količinu vremena pri uspostavi komunikacije. Nadalje, jezične barijere također predstavljaju jedan od problema unutar radiotelefonskih komunikacija VTS centara, stvarajući time i dodatne napore VTS službenika. Potrebno je napomenuti kako sadašnji VHF radiotelefonski uređaji kojima su opremljeni VTS centri i brodovi, funkcioniraju na analognoj osnovi, što znači, da dolazi do povećane razine smetnji i naglašavanja ranije spomenute nerazgovjetnosti što je također jedan od čimbenika koji bitno povećava vrijeme izvještavanja prema VTS-u. Upravo zbog svih navedenih čimbenika koji utječu na kvalitetu u neposrednim radiotelefonskim komunikacijama, potrebno je razvijati nove učinkovitije komunikacijske metode, koje će svojim mogućnostima i performansama značajno nadilaziti sadašnje. Valja napomenuti, kako je za planiranje potencijalnog uvođenja modernih digitalnih komunikacijskih

sustava, potrebno raspolagati s propagacijskim modelima elektromagnetskih valova za određeno područje, na kojem se uvođenje planira. Važno je također naglasiti da svaki propagacijski model ima određena ograničenja. Propagacijski modeli su matematički ili empirijski modeli koji se koriste za predviđanje ili procjenu rasprostiranja elektromagnetskih valova kroz različite okoline. Ti modeli uzimaju u obzir različite čimbenike koji mogu utjecati na propagaciju elektromagnetskih valova, poput udaljenosti, frekvencije, vrste terena, prepreka i atmosferskih uvjeta, što je bitno prilikom planiranja implementacije radiokomunikacijskog sustava. Odabir modela propagacije ovisi o čimbenicima poput željene točnosti, dostupnosti podataka i složenosti okoline koja se proučava. Postoji velik broj propagacijskih modela koji se koriste pri planiranju radiokomunikacijskih sustava, ovisno o ranije spomenutim čimbenicima. U ovom radu koristi se Longley-Rice propagacijski model, poznat kao propagacijski model nepravilnog terena (engl. Irregular Terrain Model – ITM) u svrhu vizualizacije i proračuna mreže VDES baznih stanica u sklopu VTS-a Republike Hrvatske. Longley-Rice model koristi numeričke metode pri proračunu jačine elektromagnetskih valova preko terena s nepravilnostima poput brda, planina i dolina. Model također uzima u obzir faktore poput difrakcije, raspršenja i gubitka signala zbog apsorpcije u atmosferi kao uvjeta koji vladaju iznad morske površine. Na temelju ovih podataka, model generira predviđanje jakosti signala na određenoj udaljenosti od izvora. Ovaj model se često koristi u telekomunikacijskoj industriji za predviđanje pokrivenosti i kvalitete signala za različite komunikacijske sustave, uključujući radio, televiziju, mobilnu i bežičnu komunikaciju. Longley-Rice model pruža detaljnije predviđanje od nekih drugih propagacijskih modela, posebno za scenarije s nepravilnim terenom i kompleksnim okruženjima. Kao što je ranije navedeno, s obzirom da svaki propagacijski model ima i određene nedostatke, dolazi se do zaključka kako je najpreciznija metoda stvarno mjerenje podataka na terenu. Međutim, mjerenjem na terenu, znatno se povećavaju troškovi i vrijeme provedeno za analizu uvođenja radiokomunikacijskog sustava te se iz navedenih razloga odabire odgovarajući propagacijski model koji predstavlja dovoljno preciznu projekciju rezultata koji se mogu iskoristiti kao ulazni podatak za planiranje uvođenja radiokomunikacijskih sustava.

S obzirom na sve navedeno, problem istraživanja u ovom radu predstavljaju poteškoće u neposrednim glasovnim komunikacijama između VTS službenika i broda, odnosno, komunikacija brod-VTS i VTS-brod na temelju čega je i razvijen propagacijski model na primjeru VTS-a Republike Hrvatske. Dodatni problem je i nepostojanje propagacijskog

modela VHF elektromagnetskih valova za područje VTS sustava Republike Hrvatske. Na temelju prethodno postavljenog problema istraživanja, predmet istraživanja predstavlja izrada i analiza modela terestričkog VDES sustava u svrhu unaprjeđenja komunikacijskih procesa na primjeru VTS-a Republike Hrvatske.

## 1.2. Znanstvena hipoteza i pomoćne hipoteze

Prema navedenom problemu i predmetu znanstvenog istraživanja postavljena je temeljna znanstvena hipoteza koja glasi:

„Korištenjem terestričkog VDES sustava, odnosno njegovim uvođenjem u neposrednu komunikaciju, moguće je ubrzati i unaprijediti komunikacijske procese unutar VTS sustava.“

Iz postavljene temeljne znanstvene hipoteze, proizlaze i sljedeće pomoćne znanstvene hipoteze:

- **pomoćna znanstvena hipoteza:** Primjenom terestričkog VDES sustava, moguće je rasteretiti časnika plovidbene straže u vidu smanjenja potrebnih glasovnih VHF komunikacija
- **pomoćna znanstvena hipoteza:** Primjenom terestričkog VDES sustava moguće je prenijeti veću količinu podataka u odnosu na postojeće pomorske digitalne VHF sustave
- **pomoćna znanstvena hipoteza:** Primjenom terestričkog VDES sustava moguće je pridonijeti razvoju e-navigacije
- **pomoćna znanstvena hipoteza:** Primjenom terestričkog VDES sustava moguće je pridonijeti modernizaciji GMDSS sustava

## 1.3. Svrha i ciljevi istraživanja

Siguran i pravovremen prijenos podataka kao i učinkovito korištenje dodijeljenog frekvencijskog spektra vrlo su važni čimbenici u modernim digitalnim radiokomunikacijama. U pomorskim terestričkim radiokomunikacijama na vrlo visokim frekvencijama trenutno postoje dva sustava za prijenos podataka: sustav za digitalno selektivno pozivanje (engl. Digital Selective Calling – DSC) te AIS sustav. Međutim, navedeni sustavi koriste se za razmjenu podataka relativno malim brzinama prijenosa te nemaju adekvatnu zaštitu tih podataka. Zbog toga je razvijen i novi VDES sustav, koji se smatra nadogradnjom AIS sustava i koji bi trebao učinkovito koristiti pomorski VHF

spektar uz pružanje većih brzina prijenosa zaštićenih podataka. Naime, VDES sustav je predstavljen kao rješenje preopterećenja VHF podatkovne veze (engl. VHF Data Link – VDL) na kanalima AIS sustava, uz istovremeno omogućavanje razmjene većih količina podataka u okviru e-navigacije te potencijalno moderniziranje Svjetskog pomorskog sustava pogibelji i sigurnosti (engl. Global Maritime Distress and Safety System – GMDSS). Tako su u strateškom planu implementacije e-navigacije identificirane različite pomorske usluge, koje predstavljaju i potencijalne primjene VDES sustava. Jedna od takvih potencijalnih primjena VDES sustava je unutar VTS sustava.

Naime, VTS služba obavlja zadatke nadzora, prikupljanja i analize podataka vezanih uz pomorske objekte, pomorski promet i plovidbene uvjete. Također, VTS je odgovoran za nadzor sigurnosti plovidbe i provedbe pomorskih propisa na određenom morskom području. Nadalje, u područjima gustog pomorskog prometa, VTS je nadležan za pružanje pravovremenih i relevantnih informacija o čimbenicima koji mogu utjecati na kretanje brodova i pomoć u donošenju odluka na brodu. Navedeno može uključivati položaj, identitet, namjeru i kretanje brodova, pomorske sigurnosne informacije, ograničenja brodova u području VTS-a koja mogu nametnuti ograničenja navigacije drugim brodovima, druge informacije poput formalnosti izvješćivanja i detalja Međunarodnog kodeksa o sigurnosti brodova i lučkih objekata, planiranje kretanja brodova unaprijed, organizaciju brodova u pokretu, organizaciju raspodjele prostora, uspostavljanje sustava za osiguranje slobodnog prolaza te pružanje savjeta o rutama. Također, zadaci VTS-a prepoznaju se i u reagiranju na razvijanje opasnih situacija, što može uključivati i brod koji nije siguran u svoju rutu ili položaj, brod koji odstupa od rute, brod koji treba vođenje do sidrišne pozicije, ekstremne meteorološke uvjete, brod koji je u opasnosti od nasukanja ili sudara i podršku žurnim službama. Jedan od pouzdanih načina prikupljanja podataka o pomorskim objektima i prometu je uspostava izravne komunikacije s pomorskim objektima putem komunikacijskog sustava. Ključni komunikacijski sustav koji se koristi za ovu svrhu je VHF radiotelefonija. S obzirom da je radiotelefonska komunikacija jedan od osnovnih zadataka VTS službenika, navedeni zadatak predstavlja i njihovo najveće radno opterećenje. U navedenoj radiotelefonskoj komunikaciji mogu se dogoditi različite poteškoće poput nemogućnosti prevladavanja jezičnih barijera između VTS službenika i časnika plovidbene straže na brodu, te smetnji i šumova u komunikacijskim kanalima, što značajno utječe na kvalitetu i brzinu obrade podataka i vođenja njihovih statistika.



S obzirom na činjenicu da se VDES sustav još uvijek ne koristi u pomorskim komunikacijama, svrha ovog doktorskog rada je istraživanje mogućnosti primjene novog terestričkog VDES sustava unutar VTS sustava.

Glavni cilj istraživanja je unaprjeđenje komunikacijskih procesa unutar VTS sustava primjenom terestričkog VDES sustava.

#### **1.4. Pregled dosadašnjih istraživanja**

U modernom pomorskom prometu, potreba za razmjenom sve veće količine informacija u što kraćem vremenu postala je standard. Pravovremena razmjena informacija brod-brod, brod-kopno i kopno-brod ključna je za sigurnost navigacije. Sustav koji tome može pridonijeti je i VDES, koji se smatra nadogradnjom AIS-a. Ideja u o uvođenju VDES sustava, nastala je prilikom stanovitog preopterećenja oba AIS komunikacijska kanala, AIS1 i AIS2 [1]. Valja napomenuti kako je tijekom 2014. godine u organizaciji GLA (engl. General Lighthouse Authorities – GLA) i ITR (engl. Institute for Telecommunications Research – ITR) iz Velike Britanije organizirano istraživanje VDE i ASM komunikacijskih kanala u sklopu kojih je provedena analiza primopredajnih karakteristika signala na više pokusnih plovidbi i u različitim vremenskim uvjetima pod vodstvom Jana Šafára kao vodećeg istraživača. U spomenutom istraživanju, testirani su kanali VDE1, VDE2, ASM1 i ASM2 te je zaključeno kako za vrijeme testiranja nije dolazilo do značajnijih odstupanja u karakteristikama odaslanih signala na prijemnoj strani, odnosno, dokazano je, kako predloženi kanali odgovaraju budućoj primjeni unutar VDES-a [2]. Međunarodna udruga svjetioničarskih službi (engl. International Association of Lighthouse Authorities – IALA) početkom 2016. godine donosi osnovne zaključke o načinu razvoja VDES sustava, koji će poslužiti za daljnji razvoj i uvod u agendu svjetske radiokomunikacijske konferencije 2019. godine (engl. World Radiocommunication Conference 2019 – WRC-19) [3]. Tijekom WRC-19 potvrđena je alokacija kanala za VDES sustav u sklopu dodatka 18 (engl. Appendix 18) Radio pravilnika (engl. Radio Regulations) [4]. Kanali su alocirani i za terestričko povezivanje, ali i za povezivanje putem satelita. Detaljan opis tehničkih karakteristika terestričke i satelitske komponente VDES sustava nalazi se u preporuci ITU-R M.2092 Međunarodnog saveza za telekomunikacije [5]. Istraživanje provedeno u ovom doktorskog radu usmjereno je isključivo na terestrički VDES sustav. Autori Lazaro i ostali su u [6], zaključili kako je unutar pomorskog prometa potrebno proširiti kapacitete u smislu digitalnih radiokomunikacija, a VDES, zahvaljujući svojim karakteristikama može

odgovoriti na taj izazov, ali je u sklopu razvoja potrebno razmotriti propagacijske karakteristike signala na predloženim frekvencijama, pristupne sheme i modulacijske tehnike. Johnson i ostali su u [7], u dva slučaja istraživali VDE terestričku komponentu. U prvom slučaju testiranja su se odnosila na usporedbu u prijemu STEDS poruka (engl. Sensitive but Unclassified Tactical Information Exchange and Display System – STEDS) na ASM kanalu i AIS kanalu, dok je drugi slučaj vezan za procjenu mogućnosti implementacije VDES-a u sustav obalne straže SAD-a. Drugi test sastojao se od slanja/primanja VDE poruka kopno-brod i brod-kopno te je ustanovljeno kako je na brodskoj strani došlo do prekida prijema VDE poruka nakon 17,8 km udaljenosti od kopna. Autori istraživanja su zaključili da je na brodskoj strani došlo do povećane prisutnosti šuma na spomenutoj udaljenosti. Gonin i ostali u [8] zaključuju kako VDES može nadograditi AIS te prikazuju pregled istraživanja i projekata vezanih uz razvoj VDES-a, koji su analizirani u daljnjem tekstu. Također, navode i određene slučajeve gdje bi se mogao iskoristiti komunikacijski potencijal VDES-a. Slučajevi uključuju izmjenu ruta između brodova i VTS-a, unaprijeđeni sustav pomorskih sigurnosnih informacija (engl. Enhanced Maritime Safety Information – eMSI), sustav određivanja pozicije pomoću VDES (engl. Ranging Mode – R-mode), do upotrebe u traganju i spašavanju (engl. Search and Rescue – SAR) i ranije naveden primjer upotrebe STEDS poruka. Nadalje, Australaska služba za sigurnost pomorskog prometa (engl. Australian Maritime Safety Authority – AMSA) 2015 [8]. godine istražila je korištenje novog VDE kanala u sklopu otvorenih i urbanih područja gdje je zaključeno kako predložene modulacije za VDES u većini slučajeva imaju zadovoljavajuće performanse. U sklopu projekta “SESAME straits”, financiranom od strane norveškog vijeća za istraživanje, u periodu od 2014. do 2017. godine se u Singapuru provodilo istraživanje fokusirano na digitalnu komunikaciju između broda i VTS-a temeljenu na VDES-u, tijekom kojeg je zaključeno kako VDES funkcionira kao stabilna osnova digitalne VHF radiokomunikacije i u zahtjevnijim uvjetima [8]. U projektu “Efficiensea 2”, financiranom od strane programa Europske unije Obzor 2020., u periodu od 2015. do 2018. godine, istraženo je funkcioniranje VDES-a na Baltičkom i Arktičkom području. Glavni cilj projekta bio je postizanje digitalizacije u pomorstvu upotrebom VDES-a, kao vodilje prema e-navigaciji [8]. U sklopu projekta “VDES Future/Jericho”, sufinanciranom od strane programa Europske svemirske agencije ARTES, tijekom 2017. i 2018. godine istražena je procjena mogućnosti budućih područja primjene VDES-a u sklopu pomorskog prometa, uz koju je zaključeno kako će pridonijeti potrebnoj modernizaciji GMDSS-a.

Također su naglašene mogućnosti korištenja VDES-a u svrhu operacija traganja i spašavanja. Nadalje, u sklopu projekta "Polarys", financiranom od strane programa Europske unije FEDER ININTERCONNECTA-2016, u periodu od 2016. do 2018. godine glavni cilj bio je razviti VDES primopredajnik s naglaskom na njegovu primjenu u kontrolnim i zapovjednim centrima integracijom različitih senzora i alarma unutar komunikacija vezanih za sigurnost plovidbe [8]. Raulefs u [9] daje pregled razvoja VDES-a nakon WRC-19, gdje se osvrće na potencijalne buduće primjene VDES-a, kao i zaključak da može postojati interferencija između VDES i AIS baznih stanica te naglašava mogućnost primjene VDES-a u određivanju pozicije brodova. Nadalje, Valčić i ostali autori u [10] daju pregled pomorskih sustava za razmjenu podataka s analizom prednosti i nedostataka, a poseban osvrt daju na VDES i primjenu e-navigaciji. Bronk i ostali u [11] daju naglasak na terestrički VDES sustav kao i na značajke propagacije u komunikacijskom kanalu. Dolaze do zaključka da simulacije i praktični primjeri u raznim projektima gdje se obrađuju propagacijski modeli komunikacijskih kanala potvrđuju teoretske pretpostavke AWGN (engl. Additive White Gaussian Noise – AWGN) i Rayleigh-evog modela komunikacijskog kanala. Šafár i ostali u [12] razmatraju VDES kao osnovni stup razvoja digitalnih komunikacija pri postizanju uvjeta e-navigacije. Na temu terestričkog VDES sustava, osvrće se i Zhe Li s ostalim autorima u [13], gdje je istraženo unaprjeđenje pristupne sheme spomenutog sustava te zaključuje kako pravilan izbor i unaprjeđenje pristupne sheme može bitno unaprijediti kvalitetu terestričkog VDES sustava. Da bi VDES mogao postati ključan u razvoju servisa kao što je IoV (engl. Internet of Vessel – IoV) i time dodatno pridonijeti razvoju e-navigacije zaključili su u [14] Molina i ostali, analizirajući prednosti VDES-a u odnosu na AIS. Škrobonja i ostali u [15] istražuju modalitete integracije VDES-a u ECDIS sustavu (engl. Electronic Chart Display and Information System – ECDIS) te zaključuju kako VDES može poslužiti kao centralna točka brodskih VHF radiokomunikacija. Valčić i ostali u [16] anketnim istraživanjem dolaze do zaključka, kako je potrebno modernizirati postojeći GMDSS, gdje se kao jedan od mogućih smjerova modernizacije GMDSS-a navodi VDES. S obzirom da je predmet istraživanja u ovom doktorskom radu unaprjeđenje VHF komunikacija između VTS-a i brodova, u daljnjem tekstu prikazan je i pregled dosadašnjih istraživanja na navedenu temu. Pregledom istraživanja na temu opterećenosti VTS službenika, utvrđeno je, kako je ovo područje, još uvijek slabo istraženo. Kum i ostali u [17] provode anketno istraživanje VTS službenika na pozicijama Istanbul i Cannakale, gdje je cilj utvrđivanje faktora koji utječu na opterećenost

VTS službenika, a zaključeno je kako procjena opterećenja VTS službenika može značajno pridonijeti pri planiranju upravljanja VTS-om. Nadalje, autori Komadina i Maglić u [18] istražuju metode i čimbenike koji utječu na radno opterećenje VTS službenika, te daju osvrt i prijedlog na određenu vrstu automatizirane komunikacije VTS-brod u svrhu rasterećenja radnog napora VTS službenika. Autori Yoo i Kim u [19] zaključuju kako se s globalnim povećanjem gustoće i flote pomorskog prometa, značajno povećava radni napor VTS službenika, što dovodi do uvećane vjerojatnosti za nastanak pomorskih nezgoda. Zaključuju kako se dodavanjem operatorskih stanica može značajno smanjiti pritisak na VTS službenika na primjeru Yeosu VTS centra u Koreji. Aylward i ostali u [20] istražuju uključivanje STM-a (engl. Sea Traffic Management – STM) u VTS centre te utjecaj istog na izmjenu sheme operacija unutar VTS sustava. Osvrću se također na činjenicu kako razvoj STM-a bitno utječe na prikupljanje, razmjenu i usklađivanje podataka u pomorskom prometu, zaključujući da se daljnjim razvojem STM-a u velikom djelu pridonosi postizanju e-navigacije. Xu i ostali u [21] razmatraju rasterećenje, odnosno, dužinu trajanja i adaptivnu organizaciju smjenskog rada VTS službenika na temelju podataka o brodovima s AIS sustava odnosno njihovog broja i brzine, kao dva osnovna čimbenika koja utječu na kolektivnu zauzetost VTS centra. Fan i ostali u [22], [23] smatraju kako učinkovito upravljanje alarmima na operatorskoj stanici VTS službenika, a pogotovo reduciranje broja pojave alarma znatno pridonosi smanjenju radnog opterećenja VTS službenika. Koshevoy i Shishkin u [24] razmatraju integraciju VHF sustava u sustav elektroničke karte na brodu, naglašavajući pritom kako bi takav način integracije mogao doprinijeti ubrzavanju VHF glasovnih komunikacija u ovlasti VTS centara. Nadalje, Brodje i ostali u [24] predlažu ideju digitalne razmjene podataka, nakon provedene analize i ankete s VTS službenicima, gdje se spomenuta izmjena podataka koristi kako bi se prevladale jezične barijere i nerazgovjetnosti prisutne tijekom obavljanja radiotelefonske komunikacije. Tetreault u [25] predlaže zamjenu radiotelefonskih komunikacija unutar VTS ovlasti, u određenom dijelu s AIS uređajem, odnosno, predlaže prošireno korištenje AIS uređaja u svrhu unaprjeđenja i ubrzavanja komunikacija unutar VTS sustava. Sustavno istraživanje i analizu opterećenja VTS službenika izrađuje Vukić u doktorskoj disertaciji [26], gdje VHF radiotelefonska komunikacija predstavlja jedan od glavnih problema istraživanja. Zaključuje i predlaže optimizaciju VHF komunikacija unutar VTS ovlasti, gdje se ista navodi kao jedan od glavnih čimbenika koji utječe na radno opterećenje VTS službenika.

## 1.5. Znanstvene metode

U ovom radu istražene su mogućnosti implementacije VDES-a u VTS službi Republike Hrvatske s pomoću programskog alata MATLAB i pripadajućih programskih alata koji su omogućili specifične aspekte za provođenje simulacija, poput dizajniranja antene VDES sustava. S obzirom da je VDES sustav digitalni radiokomunikacijski sustav, koji nije dostupan niti implementiran u trenutku izrade ovog doktorskog rada, razvijen je simulacijski model na temelju kojeg je prikazan raspored i distribucija snage radiovalova u potencijalnom VDES radiokomunikacijskom sustavu implementiranom u VTS službu Republike Hrvatske. Tijekom istraživanja te pri proračunu i verifikaciji proračuna spomenutog sustava korištene su različite znanstvene metode:

- Metoda kompilacije
  - Korištena je pri pregledu dosadašnjih istraživanja na terestričkom VDES sustavu, kao i pri pregledu istraživanja na temu radnog opterećenja VTS službenika.
- Eksperimentalna metoda
  - Korištena je za obradu glasovnih VHF komunikacija u sklopu VTS sustava gdje su se prikupljali podaci o vremenskom trajanju određenih rutinskih glasovnih VHF komunikacija poput predaje izvještaja VTS-u od strane broda.
- Komparativna metoda
  - Korištena je za usporedbu dobivenih rezultata istraživanja, odnosno, za prikazivanje potencijalnog skraćivanja trajanja VHF radiokomunikacije između VTS službenika i časnika plovidbene straže na brodu.
- Metoda modeliranja i simulacije
  - Korištena je u svrhu izrade propagacijskog modela VDES baznih stanica na području Republike Hrvatske uz upotrebu MATLAB programskog paketa s pripadajućim alatima.
- Metoda dokazivanja i opovrgavanja
  - Korištena je prilikom potvrđivanja temeljne znanstvene hipoteze.

## 1.6. Struktura rada

U prvom poglavlju ovog doktorskog rada, razrađeni su problem i predmet istraživanja. Također su postavljene glavna hipoteza i pomoćne hipoteze, uz objašnjenje svrhe i ciljeva istraživanja. Nadalje, prikazan je pregled ranijih istraživanja te su opisane korištene znanstvene metode i objašnjena struktura doktorskog rada.

U drugom poglavlju naslova VHF SUSTAV RAZMJENE PODATAKA opisan je općenito tijekom odobravanja VDES sustava od nadležnih tijela te su opisani osnovni funkcionalni dijelovi sustava, odnosno uređaja. Detaljno su opisane mogućnosti primjene VDES-a u pomorstvu kao i mogući doprinos e-navigaciji. Nadalje, detaljno je obrađen i fizički komunikacijski sloj sustava u vidu dostupnih modulacijskih tehnika te dinamičkog korištenja istih. Također su detaljno opisani načini zaštite odaslanih podataka u vidu zaštitnog kodiranja, nasumičnog miješanja bitova, kao i prijedlog enkripcijske zaštite komunikacije između VDES uređaja te su prikazane ostvarive brzine prijenosa podataka uz usporedbu s AIS sustavom.

U trećem poglavlju naslova SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKIM PROMETOM detaljno je opisan VTS sustav, kao i VTS sustav Republike Hrvatske od osnivanja do sustava izvješćivanja brodova obveznika. Nadalje, analizirano je prometno opterećenje na razini cijele obale te raščlanjeno na nadležne VTS centre Rijeka, Split i Dubrovnik s pripadajućim udjelima u opterećenju i vrstama izvješća. Prikazano je vrijeme trajanja VHF radiotelefonske komunikacije po određenom izvještaju, na temelju ranijih istraživanja. Prikazani su primjeri standardnih izvješća u vidu simbola korištenih za odašiljanje putem VDES sustava te je prikazan i izračun skraćene verzije izvješća čijim bi se korištenjem smanjio broj odaslanih simbola te time dodatno ubrzao prijenos izvješća u digitalnom obliku putem VDES-a.

U četvrtom poglavlju naslova LONGLEY-RICE PROPAGACIJSKI MODEL detaljno su opisani načini proračuna propagacijskog modela Longley-Rice. U uvodnom dijelu poglavlja opisano je područje na kojem propagacijski model daje najpreciznije rezultate te su prikazani parametri, odnosno, ulazne varijable potrebne za proračun propagacijskog modela. Opisani su detaljno i parametri terenske konfiguracije te su prikazani parametri osnovnog i dodatnog proračuna propagacijskih gubitaka. Nadalje, opisana je tehnologija izračuna propagacijskih gubitaka, odnosno, atenuacije radiovalova u ovisnosti o udaljenosti između predajnika i prijemnika. Opisane su i varijacije vremena, lokacije i

situacije te utjecaj istih na izlazni rezultat propagacijskog modela, odnosno, snagu radiovala na prijemnoj stanici VDES-a.

U petom poglavlju naslova SIMULACIJSKI MODEL VDES SUSTAVA prikazan je raspored potencijalnih baznih stanica VDES-a prema sadašnjem rasporedu AIS baznih stanica VTS sustava Republike Hrvatske. Prikazane su značajke simulacijskog modela, poput simulirane antene sustava. Definirana je i centralna frekvencija simuliranog VDES radiokomunikacijskog sustava, pretpostavljene su dužine priključnih vodova VDES stanica, prikazane predajne snage VDES stanica te ostale konstante osnovnog proračuna propagacijskog modela. Prikazan je i geografski raspored svih baznih stanica i pretpostavljenih brodova obuhvaćenih proračunom propagacijskog modela te su u sklopu Priloga 1 detaljno prikazani izlazni rezultati simulacijskog modela u obliku snage radiovala na pojedinom prijemniku brodske, odnosno, bazne stanice. Na kraju poglavlja analizirani su rezultati za oba smjera komunikacije brod-kopno i kopno-brod.

U šestom poglavlju naslova VREDNOVANJE REZULTATA ISTRAŽIVANJA rezultati iz petog poglavlja dobiveni metodom simulacije služe kao ulazna varijabla kako bi se mogli vrednovati u vidu proračuna kvalitete bežične veze. Simulacijski rezultati petog poglavlja koji predstavljaju uračunate propagacijske gubitke uz sve prikazane značajke ulaze u proračun vrednovanja modela u sklopu matematičkog modela komunikacijskog kanala, odnosno, AWGN kanala koji služi kao standard u proračunima kvalitete bežične veze. Rezultat spomenutog proračuna vrednovanja simulacijskog modela prikazan je u vidu odnosa energije po primljenom bitu i spektralne gustoće šuma  $E_b/N_0$ , izraženog u decibelima. Proračun je proveden za sve definirane modulacijske postupke, odnosno, dostupne širine kanala u VDES-u uz prisutnost AWGN šuma na prijemniku. Prosječne vrijednosti rezultata prikazane su u obliku grafova, dok su detaljni rezultati za svaku baznu i brodsku stanicu prikazani u sklopu Priloga 2. U sklopu šestog poglavlja također je prikazan i proračun direktne propagacije za sve brodske i bazne stanice.

U sedmom poglavlju naslova ZAKLJUČAK predstavljene su zaključci na temelju kojih su dokazane postavljene hipoteze.

Nakon sedmog poglavlja prikazan je popis referenci, tablica, kratica i simbola korištenih prilikom izrade rada te životopis doktoranda.

## **2. VHF SUSTAV RAZMJENE PODATAKA**

VHF sustav razmjene podataka, odnosno VDES predstavlja napredni digitalni radiokomunikacijski sustav koji omogućava brzu i učinkovitu razmjenu podataka uz primjenu algoritama zaštite primjenjivih u digitalnim radiokomunikacijama. Predstavlja nadogradnju i proširenje postojećeg AIS sustava u vidu zaštite i ubrzavanja prijenosa podataka uz veću spektralnu učinkovitost. U sklopu ovog poglavlja opisan je postupak odobravanja VDES sustava od strane nadležnih tijela, kao i osnovni funkcionalni dijelovi sustava, odnosno uređaja. Detaljno su prikazane mogućnosti primjene VDES-a u pomorstvu te potencijalni doprinos e-navigaciji. Posebna pažnja posvećena je fizičkom komunikacijskom sloju sustava, s naglaskom na dostupne modulacijske tehnike i njihovu dinamičku primjenu. Također su opisane metode zaštite podataka, uključujući zaštitno kodiranje, nasumično miješanje bitova te prijedlog enkripcije komunikacije između VDES uređaja. Na kraju su prikazane ostvarive brzine prijenosa podataka, uz usporedbu s AIS sustavom.

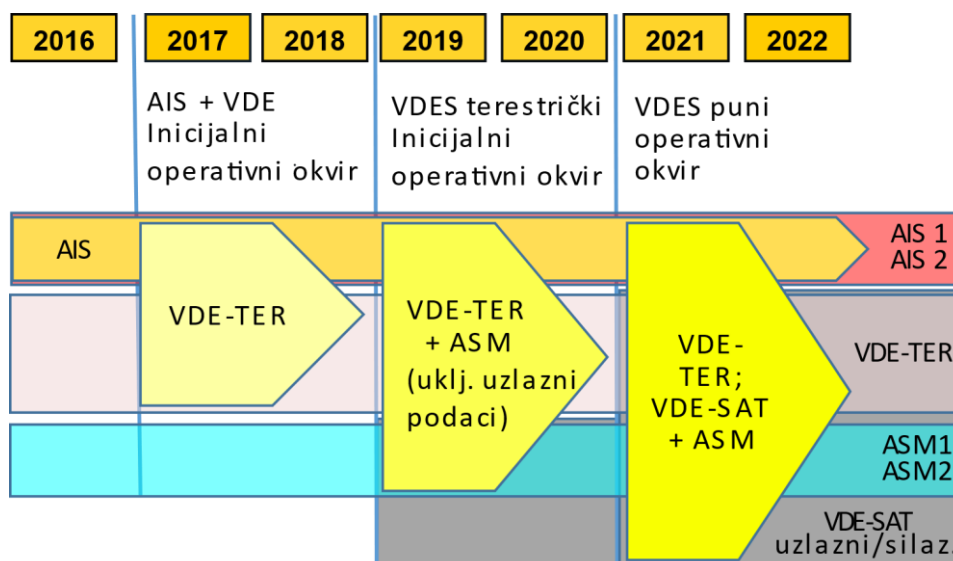
### **2.1. Općenito**

VDES je komunikacijski sustav koji obuhvaća četiri različita komunikacijska sustava (AIS, ASM, VDE-TER i VDE-SAT), koji uključuju terestrički i satelitski dio. U okviru ovog doktorskog rada obrađen je i analiziran isključivo terestrički dio VDES-a, odnosno VDE-TER. Očekuje se da će svi brodovi obveznici AIS-a, odnosno, brodovi bruto tonaže 300 ili više, na međunarodnim putovanjima, kao i mnogi manji brodovi koje nacionalni zahtjevi također čine obveznicima AIS-a, zamijeniti isti VDES-om. U okviru IALA preporuke G1117 prikazani su stupnjevi razvoja VDES-a kao i uloga VDES-a u razvoju i doprinosu e-navigaciji (Slika 1). VDES se smatra učinkovitim i efikasnim korištenjem radijskog spektra, nadograđujući sposobnosti AIS-a i adresirajući rastuće zahtjeve za podacima kroz sustav. Nove komunikacijske tehnike koje pružaju 32 puta veće brzine prijenosa podataka od onih korištenih za AIS su ključni element VDES-a. Osim toga, mrežni protokol VDES-a optimiziran je za podatkovnu komunikaciju tako da se svaka VDES poruka prenosi s visokim stupnjem pouzdanosti prijema. VDES povećava sposobnost za digitalnu razmjenu podataka na način sličan AIS-u, što uključuje pružanje podataka brodovima u geografskom području, određenom brodu ili grupi brodova u geografskom području, zadržavajući pritom AIS kao glavnu i primarnu vrstu komunikacije prema brodovima i kopnu [1]. Tijekom 2017. i 2018. godine, nakon WRC-15 konferencije, uslijed preopterećenja AIS komunikacijskih kanala u određenim područjima, predlaže se uvođenje 4-kanalnih



AIS+ASM uređaja. Navedeni uređaji mogu odašiljati i primati ASM podatke na kanalima ASM1 i ASM2 uz prestanak odašiljanja korištenjem GMSK (engl. Gaussian Minimum Shift Keying – GMSK) modulacije nakon 1. siječnja 2019. U definiranom planu IALA-e također stoji kako se od 1. siječnja 2019. VDES VHF kanali koriste isključivo u digitalnom obliku prema preporuci ITU-a. Međutim, uslijed početka spomenutog, dolazi do operativnih problema te se isto odgađa za 1. siječnja 2024., a polovicom 2023. godine ista odluka se odgađa se za 1. siječnja 2028. prema [27]. Tijekom 2022. godine ITU izdaje preporuku R M.2092-1, uzimajući u obzir satelitski dio VDES-a, a od 2024. godine svi VDES VHF kanali mogu biti korišteni isključivo za VDES. Od 2030. godine nadalje, sve države obveznice moraju na nacionalnoj razini osloboditi VDES VHF kanale od glasovnih komunikacija. Prema IALA preporuci G1117, VDES će poboljšati sigurnost života na moru, sigurnost i učinkovitost navigacije te zaštitu morskog okoliša i pojačati pomorsku sigurnost i zaštitu učinkovitom i efikasnom uporabom pomorskih radiokomunikacija, uključujući sljedeće funkcionalne zahtjeve [1], [5], [28]:

- Kao sredstvo AIS-a;
- Kao sredstvo radiokomunikacijske opreme kroz razmjenu digitalnih podataka između broda i broda, te broda i kopna, uključujući satelite, putem AIS-a, ASM-a i VDE-a;
- Kao sredstvo aplikacija izvan opreme VDES-a. Navedene aplikacije koriste AIS, ASM ili VDE zasebno ili kombinirano.



Slika 1: Plan razvoja VDES-a prema IALA-i

Izvor: Izradio autor prema [1]

Koncept VDES-a je izvorno predložen kako bi se preveniralo pojavne znakove preopterećenja VHF podatkovne veze (VDL) AIS-a i istovremeno omogućila šira neprekidna razmjena podataka za e-navigaciju, potencijalno podržavajući modernizaciju GMDSS-a. VDES bi mogao podržati rastuće zahtjeve komunikacija identificirane kroz razvoj e-navigacije, kako je dokumentirano u Strateškom planu implementacije e-navigacije (engl. Strategy Implementation Plan – SIP) IMO-a. Svrha e-navigacije je poboljšati navigaciju od veza do veza (engl. berth to berth) i povezane usluge za sigurnost i zaštitu na moru te zaštitu morskog okoliša. E-navigacija teži povećanju pomorske sigurnosti kroz pojednostavljivanje i usklađivanje informacija. Osim toga, e-navigacija teži olakšanju i povećanju učinkovitosti pomorskog trgovanja i transporta kroz poboljšanu i brzu razmjenu informacija na siguran način. Koncept VDES-a prepoznaje paralelni rad koji se provodi u vezi s pomorskim uslugama u kontekstu e-navigacije, ranije poznat kao portfelj pomorskih usluga (engl. maritime service portfolio). U tablici 1 naveden je niz usluga u pomorskom prometu koje pripadaju e-navigaciji prema strategiji IMO-a za implementaciju e-navigacije [29], [30], [31].

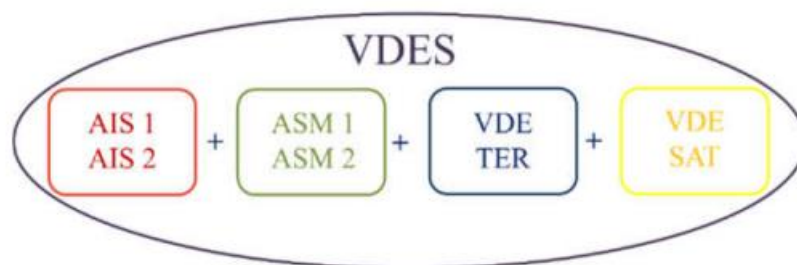
Tablica 1: Portfelj pomorskih usluga definiranih od strane IMO-a

ID usluge	Usluga	Nadležno tijelo	Pružatelj usluge
MS 1	VTS informacije (engl. Information service – INS)	IALA	VTS
MS 2	Pomoć u navigaciji (engl. Navigation assistance service – NAS)	IALA	VTS
MS 3	Organizacija prometa (engl. Traffic organization service – TOS)	IALA	VTS
MS 4	Lučki lokalni servisi (engl. Local port service – LPS)	Međunarodno udruženje lučkih kapetanija (engl. International Harbour Masters Association – IHMA)	Lučke vlasti
MS 5	Pomorske sigurnosne informacije (engl. Maritime safety information – MSI)	Međunarodna hidrografska organizacija (engl. International Hydrographic Organization – IHO)	Nacionalno nadležno tijelo
MS 6	Servisi peljarenja	Međunarodno udruženje pomorskih pilota (engl. International Maritime Pilot Association – IMPA)	Pilotska služba
MS 7	Servisi tegljenja	Nije definirano	Peljarska služba
MS 8	Izveštavanje brodova prema kopnu	Nije definirano	Nacionalno nadležno tijelo

<b>MS 9</b>	Telemedicinski pomorski servis (engl. Telemedical maritime assistance service – TMAS)	Nije definirano	Nacionalna zdravstvena organizacija
<b>MS 10</b>	Pomorski servis pomoći	Nije definirano	Lučke vlasti
<b>MS 11</b>	Nautički kartografski servis	IHO	Nacionalna hidrografska organizacija
<b>MS 12</b>	Nautički izdavački servis	IHO	Nacionalna hidrografska organizacija
<b>MS 13</b>	Servis navigacije u zaleđenim područjima	Svjetska meteorološka organizacija (engl. World Meteorological Organization – WMO)	Nacionalno nadležno tijelo
<b>MS 14</b>	Meteorološki informacijski servis	WMO	Nacionalna meteorološka organizacija
<b>MS 15</b>	Hidrografski informacijski servis izvještavanja u realnom vremenu	IHO	Nacionalna hidrografska i meteorološka organizacija
<b>MS 16</b>	Servis traganja i spašavanja	Nije definirano	Nacionalne središnjica za traganje i spašavanje na moru

Izvor: Izradio autor prema [1]

VDES kao nadograđena verzija AIS sustava može nadopuniti nedostatke istog u smislu spektralne učinkovitosti, zaštitnog kodiranja te enkripcije odaslanih podataka uvođenjem novih modulacijskih postupaka te raspodjelom novih komunikacijskih kanala i njihovim zajedničkim korištenjem. U arhitekturi VDES-a, AIS postaje jedan dio koncepta od četiri cjeline (Slika 2).

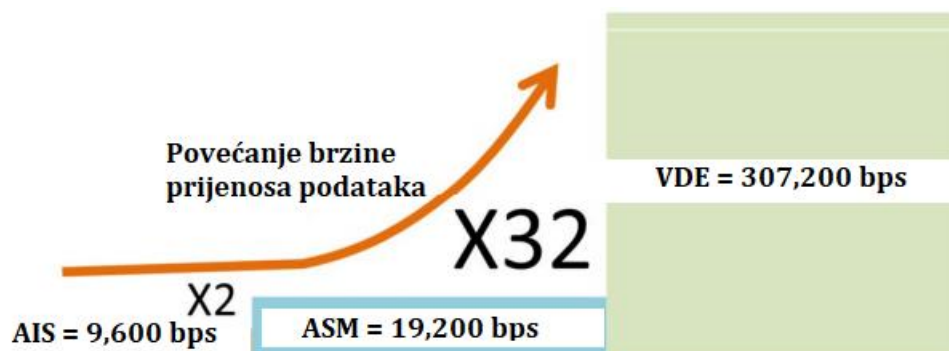


Slika 2: VDES arhitektura

Izvor: Izradio autor prema [8]

AIS je dobro prepoznat i prihvaćen kao važan alat za sigurnost plovidbe i obvezan je za plovila prema SOLAS (engl. Safety Of Life At Sea – SOLAS) konvenciji. S rastućom potrebom

za VHF podatkovnim komunikacijama u pomorstvu, AIS se intenzivno koristi za pomorsku sigurnost, kao i sigurnost luka. Kao rezultat, veliko opterećenje AIS1 i AIS2 komunikacijskih kanala, stvorilo je potrebu za dodatnim VHF podatkovnim kanalima. Prepoznavanjem nužnosti digitalnih komunikacija od strane ITU-a, izrađeni su tehnički standardi i revidiran je VHF pomorski frekvencijski pojas kako bi se odredili kanali za prijenos podataka, pri čemu analogne glasovne komunikacije i digitalne komunikacije dijele isti frekvencijski pojas. VDES, kako ga je zamislila IALA i predstavila ITU-u, rješava prepoznatu potrebu za zaštitom AIS-a zajedno s ključnim doprinosima digitalnih komunikacija za e-navigaciju i modernizaciju GMDSS-a [1]. Razvoj pomorske radiotehnologije, uz uvođenje programski definiranih radio uređaja (engl. Software-defined radio – SDR) i poboljšane mogućnosti razmjene digitalnih podataka preko postojećeg VHF pomorskog pojasa, doveo je do razvoja VDES-a temeljenog na iskustvima korištenja AIS-a te omogućava prijenos podataka prema određenom plovilu, svim jedinicama u blizini, grupi plovila ili cijeloj floti. Dinamičkom primjenom naprednih modulacijsko-kodnih tehnika, VDE omogućuje znatno brži prijenos podataka u usporedbi s AIS-om i ASM-om (Slika 3).



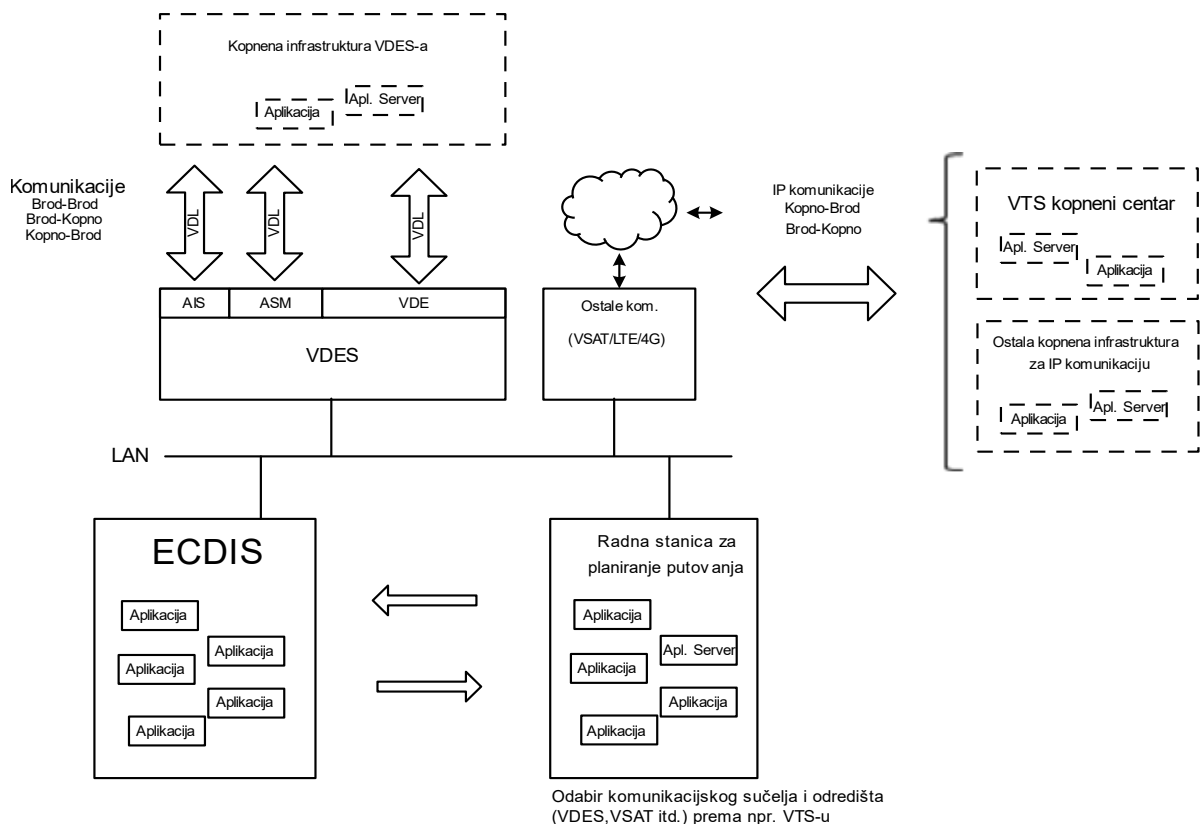
Slika 3: Usporedba AIS, ASM i VDE brzine prijenosa podataka

Izvor: Izradio autor prema [1]

Pri usporedbi brzine prijenosa podataka između tri dijela VDES-a vidljivo je kako se upotrebom VDES-a može dostići i do 32 puta veća brzina u odnosu na AIS sustav što se može iskoristiti u novim obrascima digitalne radiokomunikacije brod-kopno, kopno-brod i brod-brod. Nadalje, VDES se može koristiti u smislu novih načina bržeg prikupljanja i brže i sigurnije obrade podataka u VHF dometu.

## 2.2. Konceptualni okvir funkcioniranja VDES-a

VDES omogućava brodovima i obalnim baznim stanicama razmjenu podataka preko terestričkih ili satelitskih veza. Iako je rad VDES-a obično pod nadzorom kontrolnih stanica, VDES također može funkcionirati neovisno, bez podrške obalne infrastrukture. Ovaj sustav nudi fleksibilnost u razmjeni podataka, omogućujući da se ona obavlja automatski ili putem ručnog unosa. Za prijenos podataka koristi VHF kanale, a cijeli proces prijena i prijema podataka zahtijeva minimalno angažiranje posade na brodu. VDES integrira već postojeće AIS aplikacije, kao i ASM. Dodatno, proširuje svoje kapacitete uključujući podršku za VDE, što je jedan od temeljnih ciljeva ovog rada. Nadalje, VDES podržava komunikaciju stroj-stroj (engl. machine to machine), što dolazi do izražaja prilikom povezivanja s perifernom brodskom opremom. Za očuvanje integriteta podataka, VDES koristi nadzor na razini veze, kao što je provjera kontrolnog zbroja. Također, kibernetička sigurnost je ključna, uključujući mjere poput autentifikacije, upravljanja ključevima i, po potrebi, kriptiranja. Konačno, VDES se ističe visokom razinom operativne raspoloživosti, što ga čini pouzdanim alatom za komunikaciju u pomorstvu. Logički koncept rada VDES-a prikazan je slikom 4 [5], [12].



Slika 4: Koncept VDES komunikacijskog sustava

Izvor: Izradio autor prema [1]

U svrhu razmjene podataka između brodskog VDES-a i kopnene infrastrukture VDES-a potrebno je standardizirati tipove poruka primjenom različitih metoda. Prema IALA preporuci G1117 Ed. 3., predloženo je standardiziranje putem VDE identifikacijskog protokola (engl. VDE protocol format identifier – VPFI) koji se sastoji od sljedećih značajki:

- 16 bitni identifikator protokola
- 0-1023 međunarodno određeni formati protokola prema IALA-i
- 1024-65535 formati za koje još uvijek nisu alocirani protokoli

U sljedećoj tablici prikazani su definirani identifikatori protokola.

Tablica 2: VDE formati protokola – VPFI

VPFI	Kategorija protokola	Namjena
00	Poruke koje se odnose na kriptiranje	Distribucija certifikata za javne ključeve.
01	Poruke za upravljanje dijelovima VDES-a	Orbitalni podaci satelita.
02	VDES ASM	ASM kanali, VDE-TER i VDE-SAT ASM. Uključuju provjerene ili kriptirane poruke. Tekstne poruke koje podržavaju UTF-8.
03	Enkapsulirane AIS poruke	AIS poruke koje odgovaraju ITU-R M.1371, a unose se putem prezentacijskog sučelja AIS uređaja.
04	Poruke objedinjene platforme za razmjenu pomorskih podataka (engl. Maritime Connectivity Platform – MCP)	Poruke koje se odnose na MCP.
05	S-100 poruke	S-100/S-200/S-300/S-400 definirani objekti poruka.
06	Globalni sustav pozicioniranja (engl. Global Navigation Satellite System – GNSS)	Korekcijske poruke i informacije o pouzdanosti pozicije.
07 do 1023	Rezervirano za buduće IALA identifikatore	

1024 do 65535	Može biti iskorištena za nove protokole	Npr. Protokoli raznih proizvođača za udaljeni nadzor opreme.
------------------	--	---

Izvor: Izradio autor prema [1]

Standardizacija poruka kroz VDE identifikacijski protokol ključna je za osiguranje globalne interoperabilnosti i efikasnosti VDES sustava. Korištenje VPFI omogućava preciznu identifikaciju i kategorizaciju komunikacijskih formata, čime se olakšava razmjena podataka između brodskih sustava i pomorskih kontrolnih centara. Implementacija ovog protokola doprinosi sigurnosti plovidbe i operativnoj učinkovitosti pomorskih komunikacija, kao i podršci novim tehnologijama i aplikacijama u industriji.

### 2.3. Zaštita prijenosa podataka

Jedna od glavnih značajki VDES-a nalazi se u mogućnosti autentifikacije poruka, za razliku od AIS-a. Prema IALA preporuci u postupku autentifikacije može se koristiti tzv. TESLA (engl. Timed Efficient Stream Loss-Tolerant Authentication – TESLA) RFC 4082 protokol koji koristi kombinaciju asimetričnih javnih ključeva i simetričnih tajnih ključeva [1], [5].

TESLA je autentifikacijski protokol dizajniran za osiguravanje pouzdane komunikacije, osobito u situacijama gdje postoji visoki rizik od gubitka podataka, kao što su to slučajevi s bežičnim mrežama. Protokol se sastoji od tri glavne faze: inicijalizacije, operativnog postupka i verifikacije. Inicijalizacija se obavlja u sljedećim koracima:

- Postavljanje Ključeva
  - U ovoj fazi, pošiljatelj i primatelj dijele tajni ključ koji se koristi za generiranje niza sekundarnih ključeva.
  - Ovi ključevi se koriste sekvencijalno i svaki ima ograničeno vrijeme valjanosti.
- Vremenska Sinkronizacija
  - Bitno je da su pošiljatelj i primatelj vremenski sinkronizirani zbog promjene ključeva u određenim vremenskim intervalima.

Operativni postupak se obavlja u sljedećim koracima:

- Slanje Poruka
  - Poruke se autentificiraju trenutnim ključem, koji uključuje vremensku oznaku i potpis.

- Ključevi se mijenjaju nakon isteka vremenskog intervala, a prethodni ključevi postaju javno dostupni.
- Odgoda Objavlivanja Ključeva
  - Ključevi se ne objavljuju odmah nakon upotrebe, već s odgodom, što sprječava zloupotrebu ključeva od strane napadača.

Verifikacija se obavlja u sljedećim koracima:

- Provjera Autentičnosti
  - Primatelj koristi odgovarajući ključ za provjeru autentičnosti poruke.
  - Ako ključ još nije objavljen, poruka se pohranjuje do njegove objave.
- Zaštita od Ogdode
  - Protokol osigurava da napadači ne mogu koristiti odgođeno objavljivanje ključeva za slanje lažnih poruka.

TESLA protokol je posebno koristan u okruženjima gdje su tradicionalni digitalni potpisi prespori ili zahtijevaju previše resursa, poput mreža s niskom propusnošću ili visokim gubitkom paketa [32], [33].

Prema [34] u sklopu VDES-a predložen je eliptički algoritam enkripcije (engl. elliptic curve encryption algorithm – ECC). ECC algoritam za enkripciju omogućava VDES-u "selektivno" kriptiranje u komunikaciji brod-brod, brod-kopno i kopno-brod za. Rezultati simulacijskog testa ECC algoritma za enkripciju pokazuju da je količina informacija o podacima koja je uključena u ECC algoritam za enkripciju vrlo mala, stoga količina resursa korištenih u cijelom procesu kriptiranog prijenosa nije velika, a učinkovitost enkripcije/dekripcije je visoka [34].

Nadalje, nadzor integriteta VDES VHF podatkovne veze (VDL) uključuje AIS, ASM i VDE, integrirane u VDES. Nadzor integriteta VDES VDL-a postupak je utvrđivanja podliježe li VDES VDL ubacivanju pogrešaka koje utječu na pouzdanost i integritet podataka VDL-a. VDL se može smatrati ranjivim zbog činjenice da je javno poznat svim sudionicima komunikacijskog procesa i definiran međunarodnim javno dostupnim pravilima i preporukama. Slijedom navedenog, prikazana je Tablica 3 u kojoj su definirani mogući uzroci narušavanja integriteta VDL-a [35].



Tablica 3: Analiza potencijalnih rizika VDL-a

Izvor smetnje	Vjerojatnost	Posljedice	Teškoća izbjegavanja
Lažne poruke	Niska	Značajne	Srednja
Neispravna oprema	Srednja	Zanemarive	Niska
Nepravilna konfiguracija	Srednja	Zanemarive	Niska
Neodobrene VDES poruke	Niska	Od zanemarivih do značajnih	Niska
Lažni sadržaj	Niska	Srednje	Visoka
Napad uskraćivanjem usluge (engl. Denial of Service – DOS)	Niska	Značajne	Visoka
Napad na protokol VDES-a	Niska	Značajne	Od niske do visoke
Radio interferencija	Srednja	Srednje	Srednja

Izvor: Izradio autor prema [35]

Da bi se ublažili rizici povezani s ranjivostima VDL-a potreban je pristup u okviru sljedećih koraka: otkrivanje, istraživanje, izvještavanje, informiranje i obrana, te reguliranje i provođenje. Svaki od ovih koraka detaljno se razmatra, uključujući otkrivanje statusa VDL-a, detekciju poruka, provjeru usklađenosti sa standardima, detekciju dinamički, statičkih i podataka o putovanju AIS informacija i otkrivanje autorizacijskog statusa VDES poruka. Također se preporučuju mjere za otkrivanje ranjivosti protokola i potencijalne napade. Cilj je identificirati izvor i razlog anomalija, a poremećaji integriteta trebaju biti prijavljeni nadležnim tijelima. Kao odgovor na otkrivene probleme, mogu se poduzeti mjere za ublažavanje anomalija integriteta VDL-a, uključujući adresiranje anomalija uzrokovanih ponašanjem uređaja, konfiguracijom uređaja, neovlaštenim porukama VDES-a, i potencijalnim napadima [34], [35].

#### 2.4. Tehničke karakteristike VDES-a

Tehničke karakteristike VDES-a propisane su od strane ITU organizacije, preporukom M.2092-1, važećom za vrijeme pisanja ovog rada. Preporukom su definirane karakteristike cjelokupnog VDES uređaja koji se sastoji od AIS-a, ASM-a te VDE terestričkog i satelitskog dijela. Kako je ranije naglašeno, u sklopu ovog rada obrađen je

isključivo terestrički dio VDE-a, odnosno, Prilog 4 preporuke 2092-1. U dijelu preporuke koji općenito opisuje funkcioniranje VDES-a definirane su sljedeće značajke [5]:

- Upotreba AIS-a na brodovima omogućava učinkovitu razmjenu navigacijskih podataka između brodova te između brodova i obalnih stanica, čime se poboljšava sigurnost plovidbe
- VDES treba koristiti odgovarajuće sheme pristupa koje osiguravaju zaštitu AIS-a dok učinkovito koriste spektralni i omogućavaju pristup svim korisnicima
- AIS se primarno koristi za nadzor i sigurnost navigacije u komunikaciji brod-brod, izvještavanju o brodovima i primjenama usluga prometa plovila, ali se razvila sve veća potreba za drugim komunikacijama povezanima s pomorskom sigurnošću
- VDES daje prioritet AIS-u, ali također omogućava buduće širenje broja korisnika i diversifikaciju aplikacija za razmjenu podataka, uključujući plovila koja nisu obuhvaćena zahtjevima IMO-a u vidu AIS-a, pomagala za navigaciju te za traganje i spašavanje
- VDES ima kapacitet komunikacije podataka i tehničke karakteristike koje podržavaju usklađeno prikupljanje, integraciju, razmjenu, prezentaciju i analizu pomorskih informacija na brodu i na obali elektroničkim sredstvima kako bi se poboljšala navigacija od veza do veza i povezane usluge za sigurnost i sigurnost na moru te zaštitu morskog okoliša

#### **2.4.1 Komunikacijski kanali i frekvencije VDES-a**

Shodno tvrdnji da se VDES sastoji od AIS, ASM i VDE dijelova korištenih za terestrički i satelitski dio, na taj način podijeljeni su i komunikacijski kanali. Komunikacijski VHF kanali AIS 1 i AIS 2, namijenjeni za AIS, koriste se u skladu s preporukom ITU-R M.1371 i također se koriste za primanje AIS poruka putem satelita. AIS također koristi i dodatne VHF kanale 75 i 76 za veće udaljenosti, u skladu s preporukom ITU-R M.1371 za primanje AIS poruka putem satelita. Komunikacijski VHF kanali ASM 1 i ASM 2 su kanali koji se koriste u skladu s preporukom ITU-R M.1371 za ASM kao i za primanje ASM-a putem satelita. Komunikacijski VHF kanali 1024, 1084, 1025 i 1085 su VDE-TER kanali koji se koriste u skladu s preporukom ITU-R M.2092-1 u komunikaciji brod-kopno, kopno-brod i brod-brod. Komunikacijski VHF kanali 2024, 2084, 2025 i 2085 su VDE kanali koji se koriste u skladu s preporukom ITU-R M.2092-1 u komunikaciji kopno-brod i brod-brod. Komunikacijski VHF kanali 1026, 1086, 2026 i 2086 su VDE kanali koji se koriste u skladu

s preporukom ITU-R M.2092-1 u komunikaciji brod-satelit i satelit-brod i ne koriste se za VDE-TER [5], [36]. Tablicom 4 prikazan je raspored kanala, odnosno frekvencija VDES-a.

Tablica 4: Raspodjela i namjena kanala/frekvencija VDES-a

VDE-SAT	VDE-TER	Radio-pravilnik Prilog 18 - skupina nižih frekvencija		Radio-pravilnik Prilog 18 - skupina viših frekvencija	VDE-TER	VDE-SAT
		75 156,775	4.45 MHz	2024 161,800	Kopno-Brod Brod-Brod	Satelit-Brod Brod-Satelit
		DISTRESS		2084 161,825		
		76 156,825		2025 161,850		
		350 kHz		2085 161,875		
Satelit-Brod Brod-Satelit	Kopno-Brod Brod-Brod	1024 157,200		2026 161,900		
		1084 157,250		2086 161,925		
		1025 157,250		ASM1 2027 161,950		
	1085 157,275	AIS1 161,975				
		1026 157,300		ASM2 2028 162,000		
		1086 157.325		AIS2 162,025		

Izvor: Izradio autor prema [5]

#### 2.4.2. Identifikacija VDES-a

Identifikacija i lokacija svih aktivnih pomorskih stanica automatski se osiguravaju putem AIS-a. Sve VDES stanice trebaju biti jedinstveno identificirane. Za potrebe identifikacije koristi se jedinstveni numerički identifikator definiran sljedećim: ako jedinstveni identifikator ima raspon koji je manji ili jednak 999999999, tada se taj broj definira najnovijom verzijom preporuke ITU-R M.585, a ako jedinstveni identifikator ima raspon veći od 999999999, tada je taj broj slobodnog formata [37].

### 2.4.3. Prioriteti komunikacija unutar VDES-a

Budući da prijenos podataka VDES-a može ometati prijem istog na vlastitom brodu, prioritet i vrijeme prijenosa brodske stanice trebaju biti u skladu sa sljedećim prioritetima:

- 1. prioritet: AIS
- 2. prioritet: ASM
- 3. prioritet: VDE

### 2.5. Fizički sloj VDES-a

Arhitektura VDES-a koristi slojeve otvorenog sustava međusobne veze (engl. Open System Interconnection – OSI) od 1 do 4 (fizički sloj, sloj veze podataka, mrežni sloj, sloj transporta) kako je prikazano tablicom 5, dok je u ovom radu obrađen isključivo fizički sloj komunikacijskog modela.

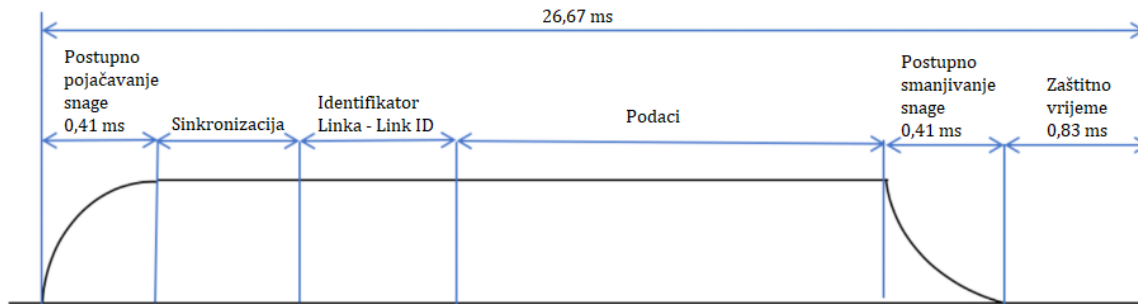
Tablica 5: OSI model

Aplikacijski sloj
Prezentacijski sloj
Sloj sesije
Transportni sloj
Mrežni sloj
Sloj veze podataka
Fizički sloj

Izvor: Izradio autor prema [5]

Fizički sloj omogućava prijenos podataka preko fizičkog medija, uključujući modulaciju signala, filtriranje/oblikovanje pri prijenosu, vremensku i frekvencijsku sinkronizaciju te pojačanje, filtriranje, demodulaciju i dekodiranje na prijemnoj strani [38].

VDES koristi princip vremenskog okvira i vremenskih isječaka baziranih na preporuci ITU-R M.1371. Vrijeme od jedne minute predstavlja jedan vremenski okvir podijeljen na 2250 vremenskih isječaka, od kojih svaki vremenski isječak predstavlja vremenski interval od 26,67 ms. Pristup sloju veze podataka definiran je na početku svakog vremenskog isječaka [5]. VDES vremenski okvir od jedne minute identičan je vremenskom okviru AIS komunikacijskog sustava, dok je slikom 5 prikazan vremenski isječak.



Slika 5: VDES vremenski isječak

Izvor: Izradio autor prema [5]

Vremenski isječak sastoji se od sljedećih dijelova:

- Period postupnog pojačavanja snage (engl. ramp-up)
- Period sinkronizacije (engl. syncword), odnosno, trening sekvenca
- Period određivanja modulacijsko-kodne tehnike (engl. link identification – Link ID)
- Period korisnih podataka s cikličkom redundantnom provjerom (engl. data payload with cyclic redundancy check)
- Period postupnog smanjivanja snage (engl. ramp-down)
- Period zaštitnog vremena (engl. guard time)

### 2.5.1. Period postupnog pojačavanja i smanjivanja snage te zaštitno vrijeme

Period postupnog pojačavanja snage definiran je trajanjem od 0,41 ms, dok je rast snage ograničen na područje od -50 dBc do -1,5 dBc. Postupnim pojačavanjem snage djeluje se na spektralno oblikovanje na način da se ograniči rasipanje snage izvan definirane širine kanala moduliranog signala. Ovim se postupkom također sprječava interferencija sa susjednim komunikacijskim kanalima, odnosno, korisnicima. Modulacija tijekom perioda postupnog pojačavanja snage nije definirana. Period postupnog smanjivanja snage obrnut je od perioda postupnog pojačavanja snaga, dok je zaštitno vrijeme od 0,83 ms definirano u cilju sprječavanja greški sinkronizacije, odnosno, kompenzacije potencijalnog izobličenja signala [5].

### 2.5.2. Period sinkronizacije

Period sinkronizacije odnosno izmjene sinkronizacijskih riječi osigurava ispravnu identifikaciju i interpretiranje dolaznih podataka. Sastoji se od unaprijed definiranih sljedova bitova koji omogućavaju sinkronizaciju. Slijed bitova koji se koristi unutar terestričkog VDES-a sastoji se od 27 bitova u obliku Barkerovog i inverznog Barkerovog koda, a prikazan je na sljedeći način:

1 1111100110101 0000011001010

Prikazani dvostruki Barkerov slijed omogućava detekciju dvije vršne korelacijske vrijednosti i poznati 13 bitni šum u sredini [5].

### 2.5.3. Period određivanja modulacijsko-kodne tehnike

Unutar perioda određivanja modulacijsko-kodne tehnike odašilje se 6 bitova D0, D1, D2, D3, D4, D5 kodiranih u 32 bitni slijed pomoću biortogonalnog (32, 6) koda. Kod je tzv. Reed-Muller kod prvog reda s generirajućom matricom prikazanom tablicom 6.

Tablica 6: Reed-Muller generirajuća matrica

10 00 00 10 11 10 10 01 11 10 10 01 10 01 01 10
01 00 00 01 11 01 01 01 11 01 01 01 01 01 01 01
00 10 00 11 10 11 00 11 00 11 00 11 00 11 00 11
00 01 00 11 00 00 11 11 10 00 11 11 00 00 11 11
00 00 10 00 01 11 11 11 00 00 00 00 11 11 11 11
00 00 01 00 00 00 00 00 01 11 11 11 11 11 11 11

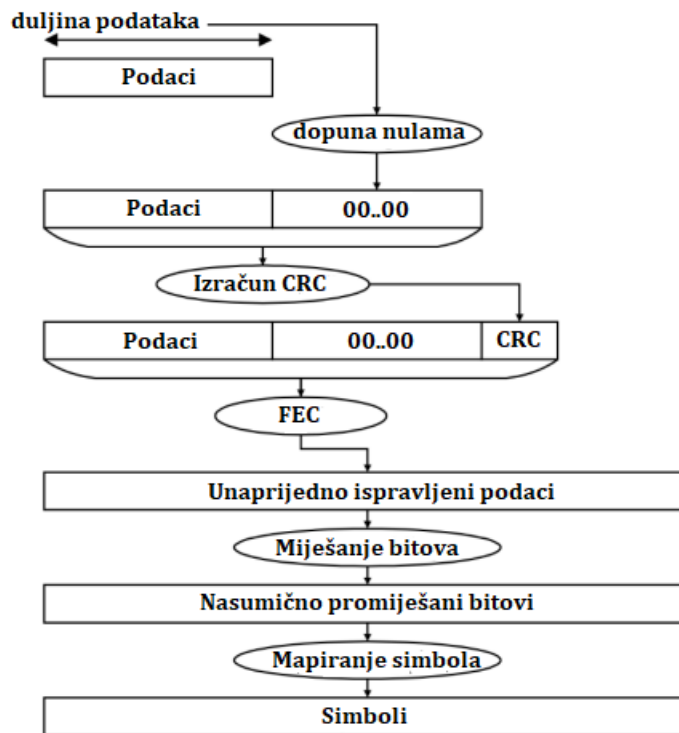
Izvor: Izradio autor prema [5]

Nasumičnim miješanjem kodnih riječi generirajuće matrice sa slijedom 11000010111000101000111001001111, mogu se definirati sve konfiguracije komunikacijskih kanala, odnosno identifikacije modulacijsko-kodnih tehnika. Detaljan prikaz svih identifikacija sa zamijenjenim bitovima nalazi se u [5].

### 2.5.4. Period korisnih podataka

Unutar perioda korisnih podataka, informacija koja se odašilje prema prijemniku nadograđuje se dodavanjem nula na neiskorištene pozicije rezervirane za podatke i

izračunom cikličke redundantne provjere (engl. cyclic redundancy check – CRC). Nakon spomenutog, podaci prolaze proces unaprijednog ispravljanja pogrešaka (engl. forward error correction – FEC) gdje se isti kodiraju, prepliću (engl. interleaving) te se određuje količina kodiranja (engl. puncturing). Nakon završetka nadograđivanja tehnikom unaprijednog ispravljanja pogrešaka, podaci se nasumično miješaju (engl. scrambling) te se mapiraju simboli prema slici 6.



Slika 6: Period korisnih podataka

Izvor: Izradio autor prema [5]

#### 2.5.4.1. Ciklička redundantna provjera

Ciklička redundantna provjera dodaje se na zadnji segment podataka. 32-bitna provjera CRC-32 dobiva se pomoću sljedećeg generirajućeg polinoma [5]:

$$x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1 \quad (1)$$

CRC-32 provjera dodaje se na sve fragmente korisnih podataka, uključujući i dijelove fragmenata na kojih su dodane nule. Rezultat CRC provjere je ostatak dijeljenja inicijalne vrijednosti s podacima i polinoma što se može realizirati putem linearnog posmičnog registra. 32-bitni registar za generiranje CRC-32 provjere potrebno je postaviti na inicijalnu vrijednost u heksadecimalnom formatu 0xFFFF FFFF.

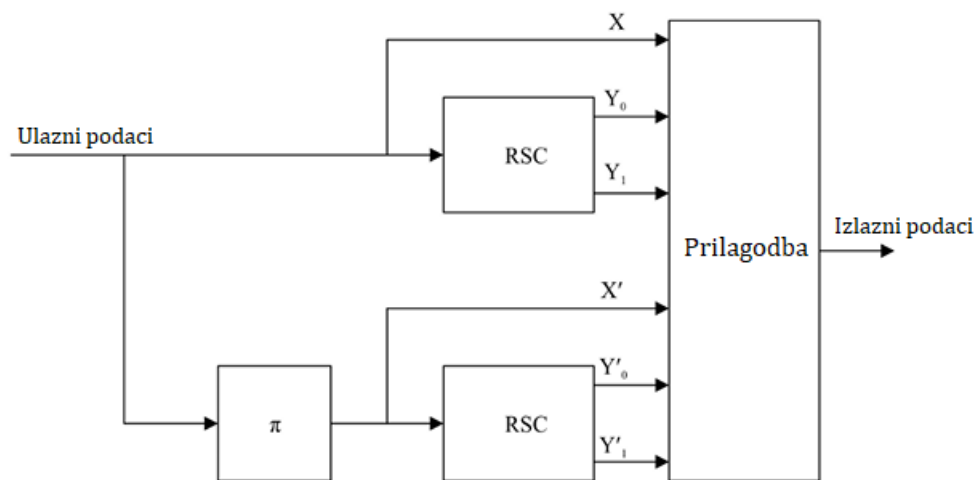
CRC-32 je metoda detekcije pogrešaka koja se koristi za osiguranje integriteta podataka u komunikacijskim sustavima, uključujući VDES. CRC-32 osigurava da se pogreške koje nastaju tijekom prijenosa mogu otkriti i ispraviti [5], [39].

#### 2.5.4.2 Unaprijedno ispravljanje pogrešaka

Unaprijedno ispravljanje pogrešaka se u sklopu VDES-a provodi kroz sljedeće procese:

- Kodiranje
- Preplitanje
- Prilagodba količine kodiranja

Kodiranje se u sklopu VDES-a provodi tzv. Turbo koderom. Općenita struktura kodera sastoji se od dva rekurzivna sistematska konvolucijska kodera (engl. recursive systematic convolutional encoder – RSC) u paralelnom radu. Svaki od kodera na izlazu generira tri izlazna bita na jedan ulazni bit. Prvi RSC koder generira bitove  $X$ ,  $Y_0$ ,  $Y_1$ , dok drugi RSC koder generira bitove  $X'$ ,  $Y'_0$  i  $Y'_1$ , a  $\pi$  blok predstavlja preplitač (engl. interleaver). Prvi RSC koder na ulazu dobiva riječ  $u$ , težine  $k$  bitova. Drugi RSC koder je permutirana verzija ulaza prvog RSC kodera (Slika 7)[5].



Slika 7: Koncept turbo kodera

Izvor: Izradio autor prema [5]

Na prikazu koncepta turbo kodera vidljivo je 6 izlaza prema sklopu prilagodbe količine kodiranja (engl. puncturing block).

Razina kodiranja predstavlja ključni parametar koji opisuje odnos između broja podatkovnih bitova i ukupnog broja bitova prenesenih nakon primjene kodiranja za



ispravljanje pogrešaka. Ovaj omjer mjeri koliko se redundancije dodaje izvornim podacima kako bi se osigurao pouzdani proces odašiljanja kroz komunikacijske kanale s prisutnim šumom.

Razna kodiranja definira se kao omjer broja informacijskih bitova, odnosno, izvornih podataka i ukupnog broja prenesenih bitova nakon kodiranja, koji uključuje i informacijske i redundantne bitove. Na primjer, kodni omjer 1 znači da se ne dodaje nikakva redundancija, te svaki preneseni bit predstavlja informacijski bit. Razina kodiranja  $1/2$  znači da se za svaki bit izvornog podatka dodaje još jedan bit, udvostručujući broj prenesenih bitova. Ova situacija je tipična za kanale s prisutnim šumom, gdje je korekcija pogrešaka ključna za točno rekonstruiranje izvornog podatka.

Utjecaj razine kodiranja očituje se u nekoliko aspekata. Niža razina kodiranja, poput  $1/2$  ili  $1/3$ , znači da se dodaje više redundantnih bitova, što poboljšava sposobnost ispravljanja pogrešaka. To rezultira većom pouzdanošću jer prijelnik ima više informacija za otkrivanje i ispravljanje pogrešaka, čineći komunikaciju otpornijom na šumove i smetnje. Međutim, time se povećava potreban frekvencijski pojas, pa se može smanjiti brzina prijenosa podataka za isti kanal.

Nadalje, više razine kodiranja, poput  $3/4$  ili  $7/8$ , znače da se dodaje manje redundantnih bitova, što omogućava prijenos bliži stvarnoj brzini prijenosa podataka. Posljedično, dolazi do smanjenja opterećenja, pa je propusnost podataka veća jer se manje bitova koristi pri korekciji pogrešaka.

U digitalnim radiokomunikacijama razina kodiranja se dinamički prilagođava prema uvjetima, odnosno, parametru kvalitete komunikacijskog kanala.

Većina dobro poznatih kodova koji su osmišljeni za povećanje pouzdanosti u prijenosu informacija djelotvorna je kada su pogreške uzrokovane smetnjama u komunikacijskom kanalu statistički neovisne, što je slučaj s AWGN kanalom. Međutim, postoje kanali koji pokazuju karakteristike grupiranih pogrešaka. Jedan primjer je klasa kanala karakteriziranih višestaznim prijenosom i iščezavanjem signala. Slabljenje signala zbog vremenski promjenjive višestazne propagacije često uzrokuje pad signala ispod razine šuma, što rezultira velikim brojem pogrešaka.

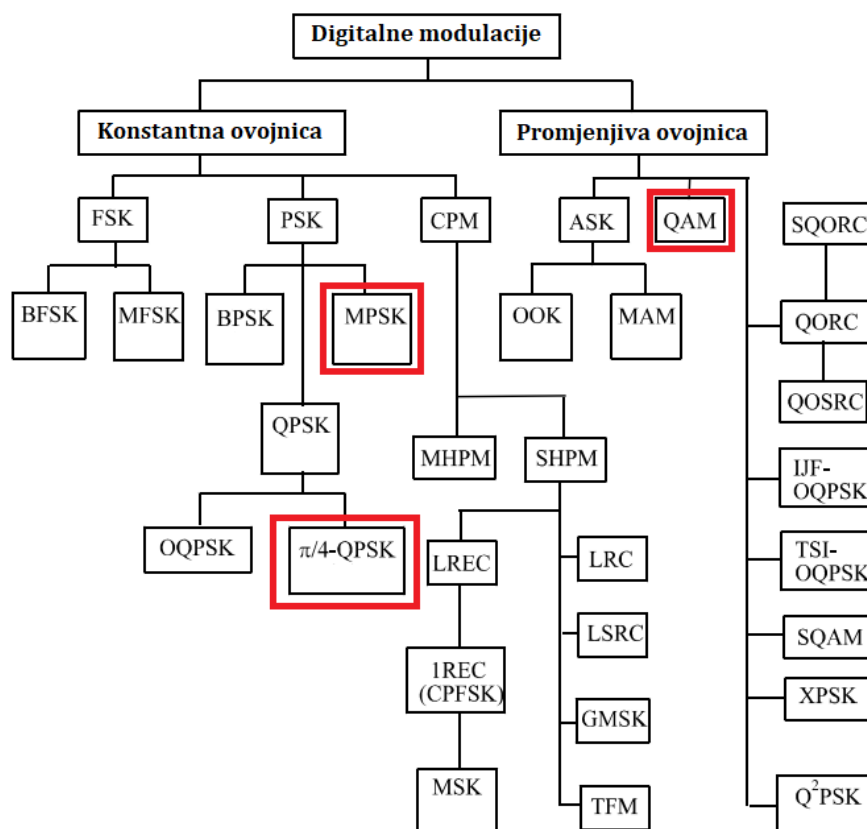
Učinkovita metoda za komunikacijske kanale s grupiranim pogreškama je preplitanje kodiranih podataka na takav način da se kanal s grupiranim pogreškama transformira u





## 2.5.5. Modulacijske tehnike

Digitalne modulacijske tehnike općenito se mogu podijeliti na modulacije s konstantnom ovojnicom i modulacije s promjenjivom ovojnicom. Nadalje, određene modulacijske tehnike mogu biti varijacije osnovnih modulacijskih tehnika. Osnovne modulacijske tehnike s konstantnom ovojnicom dijele se na modulacije s pomakom frekvencije (engl. Frequency shift keying – FSK), modulacije s pomakom faze (engl. Phase shift keying – PSK) te modulacije s konstantnom fazom (engl. Continuous phase modulation – CPM). Modulacije s promjenjivom ovojnicom dijele se na modulacije s pomakom amplitude (engl. Amplitude shift keying – ASK) i kvadraturne amplitudne modulacije (engl. Quadrature amplitude modulation – QAM). Slikom 9 prikazana je podjela digitalnih modulacija i pripadajućih varijacija, dok su detaljnije obrađene isključivo modulacijske tehnike korištene u sklopu VDES-a [43].



Slika 9: Podjela digitalnih modulacija

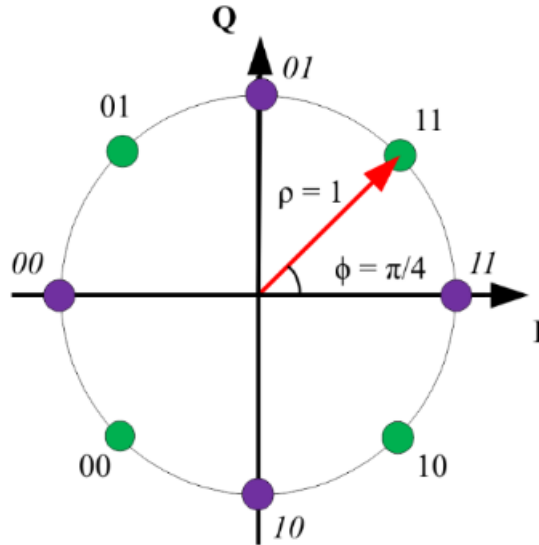
Izvor: Izradio autor prema [43]

Modulacijske tehnike dostupne unutar VDES-a mogu se podijeliti na diskretne modulacije faze i diskretne modulacije amplitude:

- $\pi/4$ -QPSK –  $\pi/4$  kvaternarna modulacija faze s četiri diskretna stanja
- 8-PSK – modulacija faze s osam diskretnih stanja
- 16-QAM – kvadratura modulacija amplitude s 16 diskretnih stanja

#### 2.5.5.1. $\pi/4$ kvaternarna modulacija faze – QPSK

U svrhu jednostavnijeg prikaza i objašnjenja  $\pi/4$  kvaternarne modulacije faze prvo je objašnjena kvaternarna modulacija faze. Diskretna modulacija faze s 4 diskretna stanja naziva se kvaternarnom diskretnom modulacijom faze te se označava kao QPSK. U sklopu QPSK modulacije, u sinusnom obliku vala nosioca dolazi do promjene faze uz stalnu frekvenciju i amplitudu. Idealna PSK konstelacija ima  $M$  jednako udaljenih diskretnih stanja jednake amplitude. Ukoliko se promatra QPSK modulacija,  $M$  iznosi 4, a faze diskretnih stanja pomaknute su za  $90^\circ$ , gdje referentni kut faze može početi s  $0^\circ$  ili  $\pi/4$ . Svako od 4 spomenutih stanja može poprimiti vrijednost dibita 00, 01, 10 ili 11. [44]. Najvećim nedostatkom QPSK modulacije može se smatrati fluktuacija ovojnice odnosno amplitude pri izmjeni stanja oba bita u sklopu dibita. Fluktuacija ovojnice može se suzbiti modulacijskim postupkom koji je varijacija QPSK modulacije, odnosno  $\pi/4$  kvaternarnom modulacijom faze. Ovim postupkom faza moduliranog signala mijenja se nakon svakog simbola, ali je promjena faze ograničena na najviše  $\pm 135^\circ$ , dok kod QPSK modulacijskog postupka, promjena faze može dostići  $\pm 180^\circ$ , što negativno utječe na krug pojačanja, zbog prolaska signala kroz nulu tijekom promjene faze. Slikom 10 prikazano je kako je inicijalno simbol moduliran prema pozicijama označenim zelenom bojom, dok je sljedeći simbol moduliran prema pozicijama označenim ljubičastom bojom što naizgled odgovara modulacijskom postupku naziva 8-PSK. Potrebno je naglasiti kako se u  $\pi/4$  QPSK modulacijskom postupku izmjenjuju dvije konstelacije istaknute različitim bojama.



Slika 10: Dijagram stanja za  $\pi/4$  kvaternarnu modulaciju faze

Izvor: Izradio autor prema [5]

Općenito, modulacije s više diskretnih stanja omogućavaju bolju spektralnu učinkovitost. QPSK modulacija je najčešće korištena modulacija, zbog otpornosti na smetnje uz istovremenu spektralnu učinkovitost. U analitičkom smislu QPSK signal s više diskretnih stanja može biti prikazan izrazom 3 [43]:

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad (3)$$

Gdje  $A$  označava amplitudu,  $f_c$  centralnu frekvenciju,  $t$  vrijeme ograničeno na interval  $0 \leq t \leq T$ ,  $T$  predstavlja period signala, dok  $i$  predstavlja red modulacije, odnosno broj simbola u rasponu  $i = \overline{1, 4}$ . Fazni kut  $\theta_i$  jednak je izrazu 4 [43]:

$$\theta_i = \frac{(2i - 1)\pi}{4}. \quad (4)$$

Shodno navedenom, broj bitova po simbolu modulacije reda  $M$ , jednak je izrazu 5 [43]:

$$n = \log_2 M. \quad (5)$$

Iz tablice 8 vidljivo je kako logička „1“ odgovara  $\sqrt{\frac{E}{2}}$ , dok logička „0“ odgovara  $-\sqrt{\frac{E}{2}}$ . Nadalje parno numerirani bitovi odgovaraju  $s_{i1}$ , dok neparno numerirani bitovi odgovaraju  $s_{i2}$ . Točkama  $s_{i1}$  i  $s_{i2}$  definirana je pozicija dibita u konstelaciji koji se sastoje od značajke amplitude, odnosno duljine vektora  $\sqrt{E}$  i pripadajućeg faznog kuta određenog  $\cos \theta_i$  i  $\sin \theta_i$ .

Naknadno se PSK modulirani signal može prikazati prema izrazu 6 i 7 [43]:

$$s_i(t) = A \cos \theta_i \cos 2\pi f_c t - A \sin \theta_i \sin 2\pi f_c t, \quad (6)$$

odnosno:

$$= s_{i1}\phi_1(t) + s_{i2}\phi_2(t), \quad (7)$$

gdje su  $\phi_1(t)$  i  $\phi_2(t)$  ortonormalne funkcije jednake izrazima 8 i 9 [43]:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (8)$$

$$\phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{T}} \sin 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (9)$$

dok  $i$  može poprimiti vrijednost 1,2,3 ili 4 što odgovara 4 pozicije vektora u dijagramu stanja. Nadalje,  $s_{i1}$  i  $s_{i2}$  mogu biti definirani izrazima 10 i 11 [43]

$$s_{i1} = \int_0^T s_i(t)\phi_1(t)dt = \sqrt{E} \cos \theta_i \quad (10)$$

$$s_{i2} = \int_0^T s_i(t)\phi_2(t)dt = \sqrt{E} \sin \theta_i \quad (11)$$

Energija simbola  $E$  jednaka je izrazu 12 [43]:

$$E = \frac{1}{2}A^2T, \quad (12)$$

gdje  $A$  predstavlja amplitudu, dok  $T$  predstavlja period signala.

Fazni kut jednak je izrazu 13 [43]:

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{s_{i2}}{s_{i1}}. \quad (13)$$

U koordinatnom smislu, raspored dibita u konstelaciji QPSK modulacije može se prikazati tablicom 8:

Tablica 8: Koordinate QPSK signala

Dibit	Fazni kut $\theta_i$	$s_{i1} = \sqrt{E} \cos \theta_i$	$s_{i2} = \sqrt{E} \sin \theta_i$
11	$\frac{\pi}{4}$	$+\sqrt{\frac{E}{2}}$	$+\sqrt{\frac{E}{2}}$
01	$\frac{3\pi}{4}$	$-\sqrt{\frac{E}{2}}$	$+\sqrt{\frac{E}{2}}$
00	$-\frac{3\pi}{4}$	$-\sqrt{\frac{E}{2}}$	$-\sqrt{\frac{E}{2}}$
10	$-\frac{\pi}{4}$	$+\sqrt{\frac{E}{2}}$	$-\sqrt{\frac{E}{2}}$

Izvor: Izradio autor prema [43]

QPSK modulirani signal u vremenskoj domeni može se prikazati izrazom 14 [43]:

$$s(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} I(t) \cos 2\pi f_c t - \frac{A}{\sqrt{2}} Q(t) \sin 2\pi f_c t, \quad -\infty < t < \infty, \quad (14)$$

gdje su funkcije  $I(t)$  i  $Q(t)$  određene neparno i parno numeriranim bitovima, a jednake su izrazima 15 i 16 [43]:

$$I(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} I_k p(t - kT), \quad (15)$$

$$Q(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} Q_k p(t - kT), \quad (16)$$

gdje  $I_k$  i  $Q_k$  mogu poprimiti vrijednosti  $\pm 1$ . Funkcija  $p(t)$  odgovara pravokutnom oblikovanju pulsa u intervalu  $[0, T]$ . Općenito,  $I$  kao kofazna i  $Q$  kao kvadratura komponenta, mogu se naglasiti kao jedna od osnova digitalnih radiokomunikacija. Spomenute komponente predstavljaju svaki signal kao kombinaciju ortogonalnih komponenti. Osnovni koncept ovakvog sustava je rastavljanje signala na dvije komponente pomaknute za  $90^\circ$ . Ukoliko se val nosioc izrazi pomoću izraza 17 [43]:

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (17)$$

gdje je  $A$  amplituda signala,  $f_c$  frekvencija signala, a  $\theta$  fazni kut, u digitalnim komunikacijama, modulirani signal, poprima sljedeći oblik [43]:



$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_c t) - Q(t)\sin(2\pi f_c t), \quad (18)$$

gdje je  $I(t) = A\cos(\theta(t))$  kofazna komponenta, dok je  $Q(t) = A\sin(\theta(t))$  kvadratura komponenta. Navedene komponente predstavljaju realni i imaginarni dio moduliranog signala u kompleksnoj ravnini.

Nadalje, korištenje ortogonalnih komponenti minimizira pojavu interferencije između  $I(t)$  komponente i  $Q(t)$  komponente te time pozitivno utječe na robusnost komunikacijskog sustava.

Dijagram stanja QPSK modulacije reda  $M$  je dvodimenzionalan budući da je svaki signal predstavljen točkama  $(s_{i1}, s_{i2})$ , međusobno udaljenim za  $\phi_1(t)$  i  $\phi_2(t)$ . Polarne koordinate signala jednake su  $(\sqrt{E}, \theta_i)$ , a određuje ih veličina energije  $\sqrt{E}$  i fazni kut u odnosu na apscisu  $\theta_i$ . Pozicioniranje bitova u većini slučajeva određeno je Gray-ovim kodom, gdje se susjedni parovi bitova razlikuju samo u jednom bitu [43].

Za  $\pi/4$  kvaternarnu modulaciju faze, može se zaključiti kako je ista diferencijalno kodirani oblik QPSK modulacije, gdje su kofazna i kvadratura komponenta  $(I(t), Q(t))$  kodirane u signale  $u(t)$  i  $v(t)$  prema izrazima 19 i 20 [43]:

$$u_k = \frac{1}{\sqrt{2}}(u_{k-1}I_k - v_{k-1}Q_k) \quad (19)$$

$$v_k = \frac{1}{\sqrt{2}}(u_{k-1}Q_k + v_{k-1}I_k) \quad (20)$$

gdje je  $u_k$  amplituda signala  $u(t)$ , dok je  $v_k$  amplituda signala  $v(t)$  u trajanju  $k$ -tog simbola, pod pretpostavkom da  $I_k$  i  $Q_k$  mogu poprimiti vrijednosti od  $-1$  do  $1$ . Vrijednosti  $u_{k-1}$  i  $v_{k-1}$  označavaju kofaznu i kvadraturu komponentu prethodnog simbola  $k - 1$ . Prethodni izrazi predočuju rotaciju kofazne i kvadrature komponente za svakih  $45^\circ$  te je spomenuta rotacija ključna za  $\pi/4$  QPSK modulacijski postupak te ograničena na pomak  $\pi/4$  ili  $3\pi/4$  od prethodnog simbola, onemogućavajući na taj način velike pomake u fazi između susjednih simbola. Ukoliko vrijedi da je početno stanje  $u_0 = 1$  i  $v_0 = 0$ , tada  $u_k$  i  $v_k$  mogu poprimiti vrijednost amplitude  $\pm 1,0$  i  $\pm \frac{1}{\sqrt{2}}$ . Izlazni signal modulatora jednak je izrazu 21 [43]:

$$s(t) = u_k \cos 2\pi f_c t - v_k \sin 2\pi f_c t, \quad (21)$$

odnosno izrazu 22 [43]:

$$= A \cos(2\pi f_c t + \Phi_k), \quad kT \leq t \leq (k+1)T, \quad (22)$$

gdje je  $A$  amplituda signala,  $f_c$  frekvencija,  $t$  vrijeme ograničeno na trajanje simbola, do sljedećeg simbola, dok je apsolutna faza  $\Phi_k$  jednaka izrazu 23 [43]:

$$\Phi_k = \tan^{-1} \frac{v_k}{u_k}, \quad (23)$$

što ovisi o kodiranim podacima i amplitudi  $A$ :

$$A = \sqrt{u_k^2 + v_k^2}. \quad (24)$$

Odnos faza između dva susjedna simbola odgovara izrazu 25 [43]:

$$\Phi_k = \Phi_{k-1} + \Delta\theta_k, \quad (25)$$

određenom faznim kutem  $\Phi_{k-1}$  prethodnog simbola i pomakom faze  $\Delta\theta_k$  u odnosu na prethodni simbol.

Fazni pomak određen je izrazom 26 [43]:

$$\Delta\theta_k = \tan^{-1} \frac{Q_k}{I_k}, \quad (26)$$

gdje  $Q_k$  predstavlja kvadraturnu komponentu  $k$ -tog simbola, a  $I_k$  kofaznu komponentu  $k$ -tog simbola.

Ukoliko su kofazna i kvadraturna komponenta jednake izrazima 27 i 28 [43]:

$$I_k = \sqrt{2} \cos \Delta\theta_k, \quad (27)$$

$$Q_k = \sqrt{2} \sin \Delta\theta_k \quad (28)$$

tada koristeći izraze 27 i 28 moguće je izraziti  $u_k$  i  $v_k$  komponente, jednake izrazima 29 i 30 [43]:

$$u_k = u_{k-1} \cos \Delta\theta_k - v_{k-1} \sin \Delta\theta_k, \quad (29)$$

$$v_k = u_{k-1} \sin \Delta\theta_k + v_{k-1} \cos \Delta\theta_k. \quad (30)$$

U koordinatnom smislu, raspored dibita u konstelaciji  $\pi/4$  QPSK modulacije, može se prikazati tablicom 9.

Tablica 9: Koordinate  $\pi/4$  QPSK signala

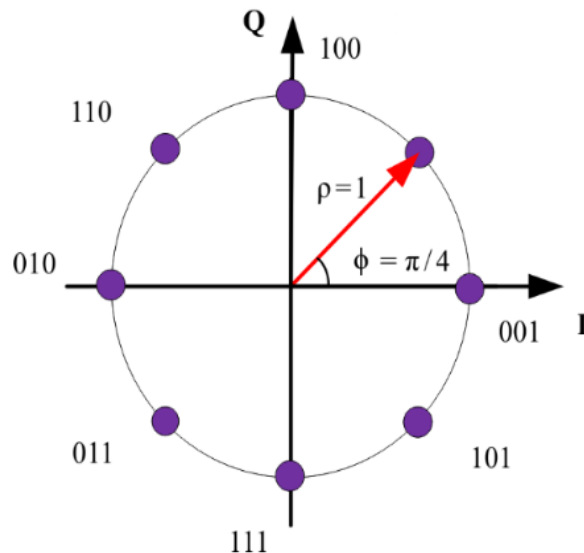
$I_k$	$Q_k$	$\Delta\theta_k$	$\cos \Delta\theta_k$	$\sin \Delta\theta_k$
1	1	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
-1	1	$\frac{3\pi}{4}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
-1	-1	$-\frac{3\pi}{4}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$
1	-1	$-\frac{\pi}{4}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$

Izvor: Izradio autor prema [43]

Iz prikazane tablice može se zaključiti kako se unutar  $\pi/4$  QPSK modulacije informacije prenose promjenama faze  $\Delta\theta_k$ , a ne apsolutnom fazom  $\Phi_k$ .

### 2.5.5.2. 8-PSK modulacija

Za razliku od  $\pi/4$  kvaternarne modulacije faze, PSK modulacija s 8 diskretnih stanja simbola, može u jednom simbolu prikazati 3 bita, prema već spomenutom izrazu  $n = \log_2 M$ , gdje je  $M = 8$ . Dijagram stanja za 8-PSK modulaciju prikazan je slikom 10.



Slika 11: Dijagram stanja 8-PSK modulacija

Izvor: Izradio autor prema [5]

Iz slike 10 vidljivo je kako 8-PSK modulacija ima manji fazni razmak između susjednih simbola u usporedbi s QPSK i  $\pi/4$  QPSK modulacijom, što negativno utječe na kvalitetu komunikacije u prisustvu šuma. Drugim riječima, u 8-PSK modulaciji dolazi do povećane mogućnosti pojave intersimbolne interferencije (engl. Inter Symbol Interference – ISI).

Susjedni simboli pomaknuti su za  $45^\circ$ . Iako 8-PSK modulacija omogućava višu prijenosnu brzinu podataka od  $\pi/4$  QPSK modulacije, to također znači da je osjetljivija na pogreške uzrokovane šumom i smetnjama. Ova osjetljivost na šum može dovesti do smanjenja pouzdanosti prijenosa podataka, posebice u okruženjima s visokim razinama interferencije. Stoga je za uspješnu primjenu 8-PSK modulacije potrebno osigurati visok omjer signal-šum (engl. signal to noise ratio – SNR) kako bi se smanjila mogućnost pogrešaka u prijenosu. Unatoč ovim izazovima, 8-PSK modulacija se često koristi u situacijama gdje je važno postići visoku brzinu prijenosa podataka, kao što su bežične mreže, gdje se može osigurati odgovarajuća kvaliteta signala [43]

Analitički gledano signal PSK modulacije  $M$ . reda u vremenskoj domeni definiran je izrazom 31 [43]:

$$s(t) = s_1(t) \cos 2\pi f_c t - s_2(t) \sin 2\pi f_c t, \quad -\infty < t < \infty, \quad (31)$$

gdje su:

$$s_1(t) = A \sum_{k=-\infty}^{\infty} \cos(\theta_k) p(t - kT), \quad (32)$$

$$s_2(t) = A \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sin(\theta_k) p(t - kT), \quad (33)$$

odnosno, gdje je  $A$  amplituda signala,  $\theta_k$  jedna od  $M$  faza određenih  $k$ -tog simbola dok je  $p(t)$  pravokutni puls oblikovanja definiran u vremena trajanja simbola  $T$ .

### 2.5.5.2. Kvadratura amplitudna modulacija

Obrađene modulacijske tehnike pripadaju modulacijskim tehnikama s konstantnom ovojnicom. Svojstvo konstantne ovojnice ovih modulacija je posebno važno za sustave s pojačalima snage koja rade u nelinearnom području ulazno-izlazne karakteristike za maksimalnu učinkovitost. Za neke komunikacijske sustave, konstantna ovojnica možda nije ključni zahtjev, dok je spektralna učinkovitost važnija. Kvadratura amplitudna modulacija (QAM) je klasa modulacija s promjenjivom ovojnicom koja može postići veću spektralnu učinkovitost od  $\pi/4$  QPSK modulacije i 8-PSK modulacije uz istu prosječnu snagu signala.

Analitički gledano, QAM signal  $M$ -reda može biti predodčen na sljedeći način [43]:

$$s_i(t) = A_i \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (34)$$

gdje je  $A_i$  amplituda simbola, a  $\theta_i$  faza  $i$ -tog simbola u konstelaciji. Uz dodavanje oblikovanja signala, koje se koristi u složenim modulacijskim postupcima poput kvadraturene amplitudne modulacije višeg reda, signal može biti predodčen na sljedeći način [43]:

$$s_i(t) = A_i p(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad (35)$$

gdje je  $p(t)$  funkcija oblikovanja pulsa u periodu  $[0, T]$ . Ukoliko se signal rastavi na kofaznu i kvadraturnu komponentu, može biti predodčen izrazom 36 [43]:

$$s_i(t) = A_{i1} p(t) \cos 2\pi f_c t - A_{i2} p(t) \sin 2\pi f_c t, \quad (36)$$

gdje su:

$$A_{i1} = A_i \cos \theta_i, \quad (37)$$

$$A_{i2} = A_i \sin \theta_i, \quad (38)$$

$$A_i = \sqrt{A_{i1}^2 + A_{i2}^2}. \quad (39)$$

Shodno prethodno obrađenim modulacijama, ovaj signal može biti predodčen putem linearne kombinacije dvije ortonormalne funkcije [43]:

$$s_i(t) = s_{i1} \phi_1(t) + s_{i2} \phi_2(t), \quad (40)$$

gdje su

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{E_p}} p(t) \cos 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (41)$$

$$\phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{E_p}} p(t) \sin 2\pi f_c t, \quad 0 \leq t \leq T, \quad (42)$$

odnosno

$$s_{i1} = \sqrt{\frac{E_p}{2}} A_{i1} = \sqrt{\frac{E_p}{2}} A_i \cos \theta_i, \quad (43)$$

$$s_{i2} = \sqrt{\frac{E_p}{2}} A_{i2} = \sqrt{\frac{E_p}{2}} A_i \sin \theta_i, \quad (44)$$

gdje je  $E_p$  energija oblikovanog pulsa  $p(t)$  u periodu  $[0, T]$ .

Ukoliko su definirane osi QAM signala kao  $\phi_1(t)$  i  $\phi_2(t)$ , svaki simbol može biti predstavljen pomoću fazora [43]:

$$\mathbf{s}_i = (s_{i1}, s_{i2}). \quad (45)$$

Veličina simbola jednaka je izrazu 46:

$$\|\mathbf{s}_i\| = \sqrt{s_{i1}^2 + s_{i2}^2} = \sqrt{E_i}, \quad (46)$$

što odgovara amplitudi signala:

$$A_i = \sqrt{\frac{2}{E_p}} \|\mathbf{s}_i\|. \quad (47)$$

Prosječna energija jednaka je izrazu 48:

$$E_{avg} = E\{E_i\} = E\{\|\mathbf{s}_i\|^2\}, \quad (48)$$

dok faza  $\theta_i$  predstavlja kut pripadajućeg simbola:

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{s_{i2}}{s_{i1}}. \quad (49)$$

Udaljenost između svakog para simbola može se prikazati izrazom 50, odnosno, 51 [43]:

$$d_{ij} = \sqrt{|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j|^2} \quad (50)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(s_{i1} - s_{j1})^2 + (s_{i2} - s_{j2})^2} \quad (51)$$

Gdje  $i$  i  $j$  mogu poprimiti vrijednosti od  $1, 2, \dots, M$ .

Vrstu korištenog dijagrama stanja određuju vrijednosti koordinatnih parova  $(s_{i1}, s_{i2})$ , ili  $(A_i, \theta_i)$ . U sklopu VDES-a koristi se kvadratni dijagram stanja (engl. square QAM constellation diagram) koji je ujedno i najčešće korišteni dijagram stanja za kvadraturnu amplitudnu modulaciju. Rezultatima istraživanja [45] utvrđeno je kako kvadratni dijagram stanja pokazuje najbolja svojstva na AWGN kanalu, upravo zbog jednostavnosti izvedbe modulatora i demodulatora te mogućnosti jednostavnije detekcije komponenti signala. Kvadratni QAM signali reda  $M$  u analitičkom smislu mogu biti prikazani na sljedeći način:

$$s_i(t) = I_i \sqrt{\frac{E_0}{E_p}} p(t) \cos 2\pi f_c t - Q_i \sqrt{\frac{E_0}{E_p}} p(t) \sin 2\pi f_c t \quad (52)$$

Odnosno

$$\begin{aligned} &= I_i \sqrt{\frac{E_0}{2}} \phi_1(t) \\ &+ Q_i \sqrt{\frac{E_0}{2}} \phi_2(t). \end{aligned} \quad (53)$$

gdje je  $E_0$  energija signala najmanje amplitude, dok je  $(I_i, Q_i)$  par nezavisnih cijelih brojeva koji određuje poziciju signala u dijagramu stanja.

Minimalne vrijednosti  $(I_i, Q_i)$  su  $(\pm 1, \pm 1)$ . Par  $(I_i, Q_i)$  je element matrice veličine  $L \times L$  [43]:

$$[I_i, Q_i] = \begin{bmatrix} (-L+1, L-1) & (-L+3, L-1) & \dots & (L-1, L-1) \\ (-L+1, L-3) & (-L+3, L-3) & \dots & (L-1, L-3) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ (-L+1, -L+1) & (-L+3, -L+1) & \dots & (L-1, -L+1) \end{bmatrix}, \quad (54)$$

gdje je

$$L = \sqrt{M}, \quad M = 4^n, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Ukoliko se razmotri 16 QAM modulacija koja se koristi u sklopu VDES-a,  $L = 4$ , matrica poprima sljedeći izgled:

$$[I_i, Q_i] = \begin{bmatrix} (-3, 3) & (-1, 3) & (1, 3) & (3, 3) \\ (-3, 1) & (-1, 1) & (1, 1) & (3, 1) \\ (-3, -1) & (-1, -1) & (1, -1) & (3, -1) \\ (-3, -3) & (-1, -3) & (1, -3) & (3, -3) \end{bmatrix}, \quad (55)$$

Dijagram stanja kvadratne QAM modulacije može biti izražen u smislu para  $(I_i, Q_i)$  na sljedeći način:

$$\mathbf{s}_i = \left( I_i \sqrt{\frac{E_0}{2}}, Q_i \sqrt{\frac{E_0}{2}} \right) \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (56)$$

Amplituda simbola jednaka je:

$$\|\mathbf{s}_i\| = \sqrt{\frac{E_0}{2} (I_i^2 + Q_i^2)}, \quad (57)$$

dok je QAM signal u vremenskoj domeni jednak:

$$s_i(t) = A_i \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \quad (58)$$

te je amplituda signala jednaka:

$$A_i = \sqrt{\frac{E_0}{E_p} (I_i^2 + Q_i^2)} = \sqrt{\frac{2}{E_p}} \|\mathbf{s}_i\|. \quad (59)$$

Faza simbola  $\theta_i$  jednaka je kutu:

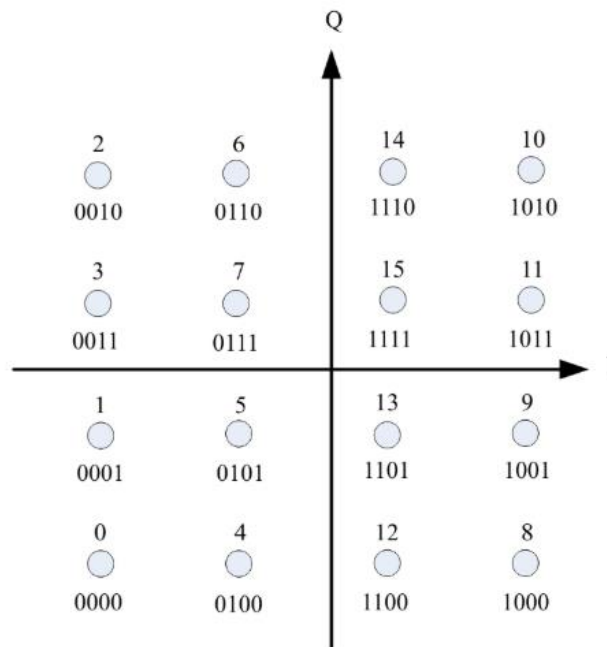
$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{Q_i}{I_i}. \quad (60)$$

Udaljenost između simbola jednaka je izrazima 61, odnosno, 62 [44]:

$$d_{ij} = \sqrt{|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j|^2} \quad (61)$$

$$d_{ij} = \sqrt{\frac{E_0}{2} [(I_i - I_j)^2 + (Q_i - Q_j)^2]} \quad i, j = 1, 2, \dots, M. \quad (62)$$

VDES koristi 16-QAM modulacije, odnosno, QAM modulaciju sa 16 diskretnih stanja. Za razliku od  $\pi/4$  QPSK modulacije i 8-PSK modulacije, u jednom se simbolu može prikazati 4 bita te se time postiže veća brzina prijenosa podataka. Dijagram stanja za kvadratnu 16-QAM modulaciju prikazan slikom 12.



Slika 12: Dijagram stanja - 16 QAM

Izvor: Izradio autor [5]



Usporedbom dijagrama stanja s  $\pi/4$  QPSK modulacijom i 8-PSK modulacijom vidljiv je manji razmak između susjednih simbola, što također znači povećanu osjetljivost na šum i interferenciju u komunikacijskom kanalu. Uobičajeno se ova modulacija koristi u uvjetima visokog omjera signala i šuma.

### 2.5.6 Praćenje razine kvalitete komunikacijskog kanala u VDES-u

VDES prati razinu kvalitete komunikacijskog kanala na temelju procjene odnosa signala s interferencijom u odnosu na šum (engl. Signal plus Interference to Noise Ratio – SINR) u decibelima. Odnos signala s interferencijom i šuma je ekvivalent energije simbola i spektralne gustoće šuma  $E_s/N_0$  u uvjetima AWGN kanala, kada nema interferencije. Indikator razine kvalitete (engl. Channel Quality Indicator – CQI) je pozitivan cijeli broj, koji zauzima jedan bajt, u rasponu od 0 do 255. Spomenuti odnosi mogu analitički biti prikazani na sljedeći način [5]:

$$CQI = 4 \cdot (10 + SINR) = 40 + 4 \cdot SINR. \quad (63)$$

Iznos CQI-a ovisi o širini kanala i odnosu snage vala nositelja i šuma s interferencijom  $\frac{C}{N_0+I_0}$ :

$$\frac{C}{(N_0 + I_0)} = SINR + 10 \log_{10}(R_s). \quad (64)$$

gdje je  $R_s$  brzina prijenosa simbola. SINR procjena manja od  $-10$  dB, rezultira CQI parametrom iznosa 0, dok SINR iznosa većeg od  $53,75$  dB rezultira CQI parametrom iznosa 255. SINR može biti procijenjen na temelju prosječne snage šuma demoduliranog simbola. Navedeni proces procjene može se primijeniti i u fazi poznatih dijelova vremenskog isječka VDES-a, poput perioda sinkronizacije. Drugi način procjene SINR-a odnosi se na procjenu učestalosti greške (engl. bit error rate – BER) tijekom perioda unaprijedno ispravljanja pogrešaka pomoću opisanih tehnika u prethodim poglavljima.

Pokazatelj kvalitete komunikacijskog kanala CQI, između predajne i prijemne VDES stanice, odnosno, ekvivalent u vidu odnosa energije simbola i spektralne gustoće šuma  $E_s/N_0$ , je temeljni faktor u adaptivnom određivanju modulacijsko kodne tehnike za prijenos podataka. Drugim riječima, odnos  $E_s/N_0$  direktno odražava kvalitetu kanala, na temelju kojeg VDES odabire moguće modulacijsko kodne tehnike. Potrebno je naglasiti

kako su u radu analizirani isključivo postupci i mogućnosti komunikacije putem terestričkog VDES-a.

Odabir modulacijskog postupka u sklopu VDES-a ovisi o trenutnoj kvaliteti komunikacijskog kanala baziranoj na indikatoru kvalitete, odnosno, CQI-u. Promjena, odnosno, dinamički odabir modulacijskog postupka i širine komunikacijskog kanala se u sklopu VDES-a naziva adaptivna modulacija i kodiranje (engl. adaptive modulation and coding). Sukladno prethodno obrađenim modulacijskim postupcima, može se zaključiti kako se u VDE-TER dijelu koriste tri vrste modulacije, odnosno,  $\pi/4$ -QPSK, 8-PSK i 16 QAM te se kodiranje odvija putem turbo kodera na razini 1/2 ili 3/4, na širinama kanala od 25 kHz, 50 kHz i 100 kHz. Nadalje, vidljiva je količina informacijskih bitova koju je moguće odaslati u trajanju jednog vremenskog isječka te ista ovisi korištenim modulacijskim postupcima odnosno širini kanala (Tablica 10).

Tablica 10: Usporedba propusnosti podataka VDES-a u odnosu na širinu kanala i modulacijsku tehniku

ŠIR. KANALA [kHz]	25			49,9			99,8		
MODULACIJA	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM
PODACI [bit/isječak]	432	972	1296	896	2016	2688	1872	4032	5616

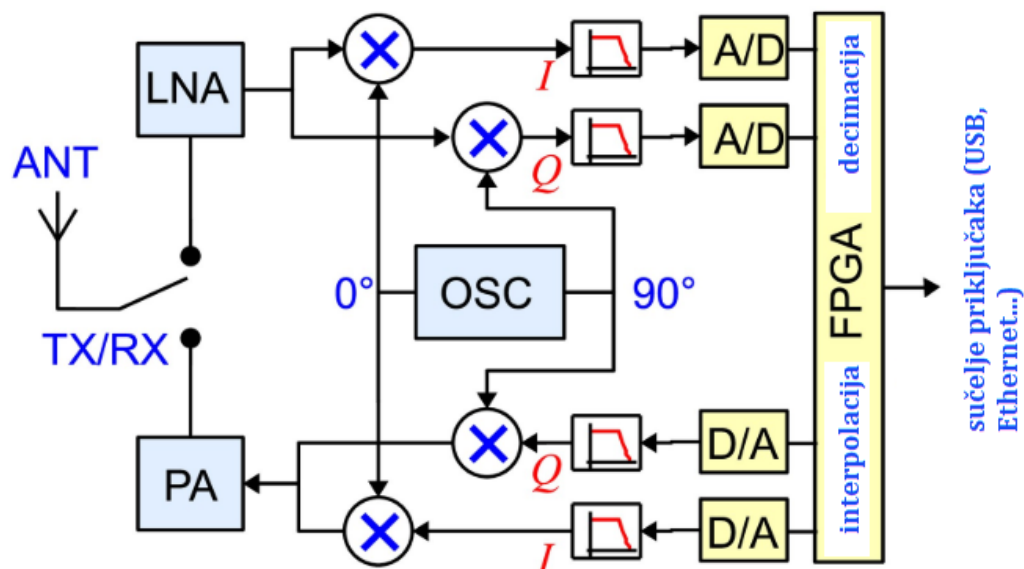
Izvor: Izradio autor prema [5]

Adaptivnu modulaciju i kodiranje, odnosno, dinamičnu promjenu modulacijskih postupaka i kodiranja omogućava SDR, koji čini temelj VDES-a. SDR predstavlja radiokomunikacijsko okruženje u kojem se obrada signala vrši unutar programskog okruženja, umjesto sklopovskog okruženja. Obrada signala pomoću programskog okruženja omogućava korištenje naprednih algoritama uzorkovanja, filtracije, ispravljanja i zaštite tijekom razmjene podataka, omogućavajući na taj način bržu i sigurniju razmjenu podataka[46].

SDR uređaji rade na arhitekturi koja se općenito može opisati kao integracija sklopovskih i programskih komponenti, pri čemu programsko okruženje čini većinu. Programska komponenta odgovorna je za obradu signala u osnovnom pojasu, uključujući generiranje i dekodiranje signala te zamjenjuje tradicionalne fizičke elemente, kao što su filteri,

pojačala, modulatori, demodulatori, detektori i razdjelnici, njihovim softverskim ekvivalentima [47] [48].

Jedan od glavnih smjerova primjene za SDR povezan je s rastućom potražnjom za iskorištavanjem postojećeg elektromagnetskog spektra. Posljedično, postoji potreba za istraživanjem tehnologija koje mogu učinkovito iskoristiti ovaj resurs, poput tehnologije interneta stvari (engl. Internet of things - IoT) [49]. Sposobnost rekonfiguracije i prilagodbe uvjetima komunikacijskog kanala čini SDR idealnom platformom za kognitivni radio koji ima mogućnost automatskog otkrivanja dostupnih kanala te mijenjanje frekvencija i ostalih parametara prijenosa podataka kako bi se dostupni spektar iskoristio na najefikasniji način. Pojednostavljena shema arhitekture SDR-a prikazana je slikom 13.



Slika 13: Općenita arhitektura SDR-a

Izvor: Izradio autor prema [50]

Prema općenitoj arhitekturi SDR-a vidljivo je kako u načinu prijema signal propagira od antene preko predajno-prijemne preklopke prema ulaznom pojačalu s niskom razinom šuma (engl. Low noise amplifier – LNA). Referentni oscilator upravljiv od strane kontrolnog sklopa stvara dva signala iste frekvencije pomaknute u fazi za  $90^\circ$ , nakon čega dolazi do filtriranja te analognog digitalne pretvorbe. U načinu predaje signal prolazi analognog-digitalnu pretvorbu, filtriranje, pretvaranje u kofaznu i kvadraturnu komponentu, sumiranje te pojačanje kroz pojačalo snage (engl. power amplifier – PA) i nakon predajno-prijemne preklopke se odašilje kroz antenu [50]. Arhitekturom je

obuhvaćen i kontrolni sklop temeljen na FPGA tehnologiji (engl. Field programmable gate array – FPGA), što predstavlja jednu od više mogućih platformi za kontrolu, parametriranje i programiranje SDR-a. Jedan od ključnih procesa u sklopu SDR-a je interpolacija, odnosno, decimacija. Interpolacija se odnosi na proces povećanja brzine uzorkovanja digitalnog signala (engl. upsampling) postupkom umetanja dodatnih uzoraka između postojećih na temelju procjene vrijednosti novih uzoraka u odnosu na postojeće uzorke te filtriranje primjenom niskopropusnog filtera. Decimacijom se postiže smanjenje brzine uzorkovanja bez gubitka važnih informacija. Decimacija se može podijeliti na filtriranje kroz upotrebu niskopropusnog filtera i smanjivanje uzorkovanja digitalnog signala (engl. downsampling) [46].

Tablicom 11 prikazani su identifikatori komunikacije (engl. Link IDs) te su unutar istih navedene sve značajke komunikacije.

Tablica 11: Značajke komunikacije VDES-a s identifikatorima

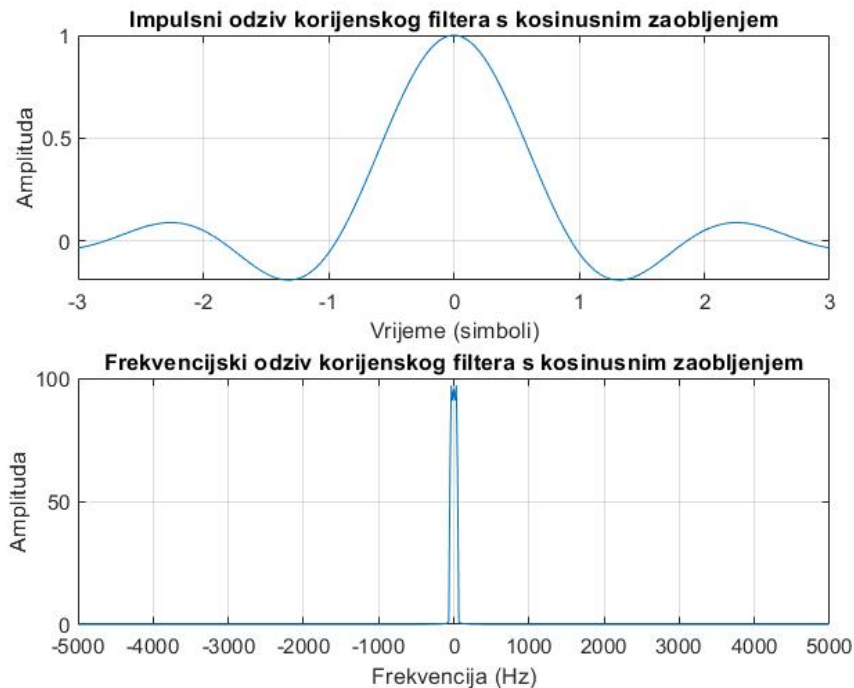
LINK ID	11	12	13	14	15	16	17	18	19
ŠIRINA KANALA [kHz]	25			49,9			99,8		
KOEFICIJENT OBLIKOVANJA IMPULSA	0,3								
BRZINA PRIJENOSA SIMBOLA [ksps]	19,2			38,4			76,8		
MODULACIJA	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM	$\pi/4$ - QPSK	8- PSK	16- QAM
PROSJEČNA IZLAZNA SNAGA [W]	12,5	11	6,5	12,5	11	6,5	12,5	11	6,5
FEC IZLAZNI BITOVI	432	972	1296	896	2016	2688	1872	4032	5616
RAZINA KODIRANJA	1/2	3/4	3/4	1/2	3/4	3/4	1/2	3/4	3/4

<b>6-BITNI ZNAKOVI</b>	72	162	216	149	336	448	312	672	936
$\frac{E_s}{N_0}$ [dB]	1,0	7,9	10,2	1,0	7,9	10,2	1,0	7,9	10,2
<b>OSJETLJIVOST PRIJEMNIKA</b>	1% PER (engl. Packet Error Rate – PER) @ -111 dBm	/	1% PER@ -108 dBm	1% PER@ -108 dBm	/	1% PER@ -105 dBm	1% PER@ -105 dBm	/	1% PER@ -102 dBm

Izvor: Izradio autor prema [5], [46]

Iz tablice 11 također je vidljivo kako se VDES komunikacija može odvijati na tri različite širine kanala uz različite izlazne snage predajne VDES stanice. Za svaku od različitih snaga predaje, upotrebljavaju se različite modulacije, s obzirom da svaka od modulacija zahtijeva različitu kvalitetu komunikacijskog kanala koja je definirana odnosom energije simbola i spektralne gustoće šuma  $E_s/N_0$ . Nadalje, FEC izlazni bitovi definirani za različite modulacije i širine kanala su bitovi korisnih informacija koje mogu biti odaslane putem VDES-a. Ukoliko se pretpostavi da se za pretvorbu znakova odaslanih podataka koristi 6-bitni ASCII kod, odnosno, svaki odaslani znak pretvara se u 6-bitnu riječ, može se proračunati koliko znakova je moguće poslati u jednom vremenskom isječku komunikacije VDES-a, što je također prikazano u sklopu tablice 11. Razina kodiranja označava količinu zaštitnih bitova na definiranu količinu informacijskih bitova. Drugim rječima, ukoliko je definirana razina kodiranja  $\frac{3}{4}$ , na 3 informacijska bita dolazi 1 zaštitni bit, odnosno, redundantni bit dodan u svrhu ispravljanja grešaka [13], [51]. Nadalje, koeficijent oblikovanja impulsa, također je definiran u tablici 11, a odnosi se na oblikovanje digitalnih impulsa, odnosno digitalnih informacija predstavljenih pravokutnim impulsima. Informacija prikazana u obliku pravokutnog impulsa, u frekvencijskoj domeni predstavlja vrlo veliki spektar. Navedena pojava negativno utječe na digitalne komunikacijske sustave uzrokujući pritom povećanu opasnost od intersimbolne interferencije i smetnji prema susjednim komunikacijskim kanalima, odnosno, impulsima. Suzbijanje takvih oscilacija signala izvodi se pomoću oblikovanja pulsa. U sklopu VDES-a izvodi se filtracija uporabom filtera s kosinusnim zaobljenjem

(engl. root raised cosine filter) i na strani predajnika i na strani prijemnika. Slikom 14 prikazan je pulsni (vremenski) i frekvencijski odziv korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem.



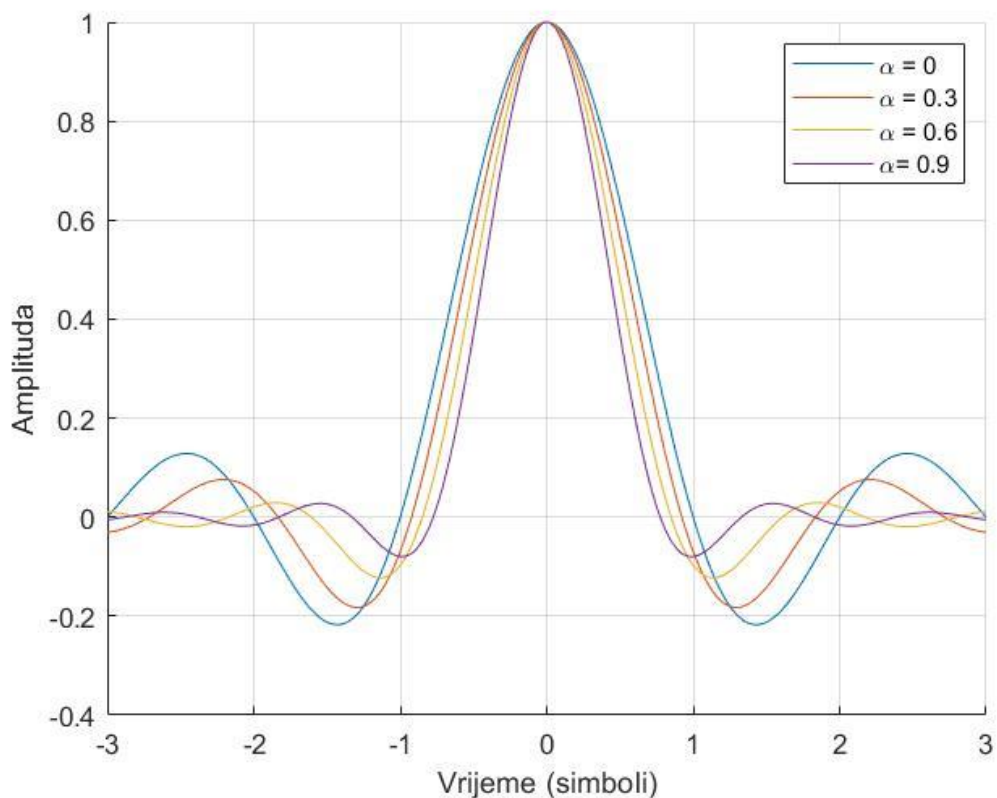
Slika 14: Vremenska i frekvencijska domena odziva korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem

Izvor: Izradio autor u sklopu MATLAB programskog alata

Analitički gledano, vremenski odziv korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem može se prikazati na sljedeći način:

$$h(t) = \frac{\sin(\pi t(1 - \alpha)) + 4\alpha t \cos(\pi t(1 + \alpha))}{\pi t(1 - (4\alpha t)^2)}, \quad (65)$$

gdje je  $\alpha$  koeficijent zaobljenja korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem. Ovisnost strmine karakteristike filtera o koeficijentu zaobljenja prikazana je slikom 15. Prikazane su krivulje za koeficijente zaobljenja od 0 do 0,9 s korakom od 0,3, kako bi bio obuhvaćen zadani koeficijent zaobljenja od 0,3 definiran u sklopu VDES-a.



Slika 15: Koeficijent zaobljenja korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem

Izvor: Izradio autor u sklopu MATLAB programskog alata

Iz prikazane slike vidljivo je kako se povećanjem iznosa koeficijenta zaobljenja postiže strmija karakteristika što dovodi do kompleksnije izvedbe filtera [40], [52], [53], [54].

Optimalan odabir koeficijenta zaobljenja može imati ključan utjecaj na performanse sustava u vidu spektralne učinkovitosti, odnosno, robusnosti, gdje manji koeficijent zaobljenja može posljedično uzrokovati veću intersimbolnu interferenciju, dok veći koeficijent zaobljenja uzrokuje i upotrebu šireg spektra, ali i manju intersimbolnu interferenciju.

### **3. SUSTAV NADZORA I UPRAVLJANJA POMORSKIM PROMETOM**

U ovom poglavlju detaljno je opisan VTS sustav, s posebnim naglaskom na razvoj VTS sustava Republike Hrvatske, od njegovog osnutka do uspostave sustava za izvješćivanje obveznih brodova. U nastavku je provedena analiza prometnog opterećenja duž cijele obale, razvrstana po nadležnim VTS centrima u Rijeci, Splitu i Dubrovniku, s njihovim udjelima u ukupnom prometu i vrstama izvješća. Također je prikazano trajanje VHF radiotelefonske komunikacije po pojedinom izvještaju, na temelju prethodnih istraživanja. Prikazani su primjeri standardnih izvješća u obliku simbola korištenih za odašiljanje putem VDES sustava, uz izračun skraćene verzije izvješća, kojom bi se smanjio broj simbola i ubrao prijenos izvješća u digitalnom obliku putem VDES-a.

#### **3.1. Općenito**

Počeci VTS-a, odnosno organiziranog upravljanja pomorskim prometom naziru se kroz prvi radarski sustav za nadzor luke na svijetu pokrenut u Liverpoolu, u srpnju 1948. godine, a u ožujku 1950. godine, kroz radarski sustav za nadzor pomorskog prometa uspostavljen i u Kaliforniji. Mogućnost obalnih vlasti da putem radara prate promet brodova, zajedno s mogućnošću slanja poruka o navigaciji tim brodovima putem radiotelefonske komunikacije predstavljala je prvi oblik VTS sustava.

Vrijednost VTS-a za sigurnost plovidbe prvi je put prepoznata od strane IMO-a u rezoluciji A.158(ES.IV) - Preporuka o sustavima savjetovanja u lukama, usvojenoj 1968. godine. Kako je tehnologija napredovala i oprema za praćenje prometa brodova postajala sofisticiranija, postalo je jasno da su potrebne smjernice za standardizaciju postupaka u uspostavi VTS-a.

Kao rezultat spomenutog, IMO je 1985. godine usvojio rezoluciju A.578(14) - Smjernice za usluge nadzora brodova, kojima je definirano da je VTS posebno prikladan u prilazima i pristupnim kanalima luke te u područjima s visokom gustoćom prometa, kretanjem štetnih ili opasnih tereta, navigacijskim poteškoćama, uskim kanalima ili osjetljivosti na okoliš. Smjernice su također jasno istaknule da odluke o učinkovitoj navigaciji i manevriranju plovila ostaju u nadležnosti kapetana broda [55].

Općenito, na globalnoj razini, služba upravljanja pomorskim prometom ustanovljena je i definirana na temelju preporuka IMO-a [56]. Preporuke su povezane sa SOLAS konvencijom koje obvezuju ugovorne države tijekom planiranja, implementiranja i



vođenja sustava nadzora i upravljanja pomorskim prometom. Nadalje, IMO je odgovoran za davanje smjernica u smislu organizacije, vođenja, kvalifikacija i treninga potrebnih za upravljanje VTS-om, što uključuje i izradu okvira funkcioniranja, usklađivanja i standardizacije VTS-a na svjetskoj razini.

Preporukama je također utvrđeno kako je IALA suradničko savjetodavno tijelo IMO-a u smislu razvijanja funkcionalnog okvira VTS-a. Nadalje, preporuke IMO-a za funkcioniranje VTS-a, smatraju se obvezujućima za implementaciju od strane ugovornih država [56].

### 3.1.1. Temeljni pojmovi strukture VTS-a

Sljedeći temeljni pojmovi koriste u smislu nadzora i upravljanja pomorskim prometom [56]:

- **VTS** – nadzor i upravljanje pomorskim prometom označava usluge uvedene od strane Vlade određene države koje osiguravaju reakciju na događaje unutar VTS područja u svrhu utvrđivanja sigurnosti i efikasnosti plovidbe
- **Nadležno tijelo** – označava tijelo imenovano od strane Vlade, zaduženo za nadzor i upravljanje pomorskim prometom
- **VTS pružatelj usluge** – označava tijelo imenovano od strane Vlade ili Nadležnog tijela zaduženo za pružanje VTS usluga
- **VTS područje** – označava područje na kojem je pružatelj VTS usluge nadležan za pružanje VTS usluga
- **VTS osoblje** – označava kvalificirano osoblje koje obavlja zadatke povezane s VTS uslugama
- **Povezane usluge** – označava usluge koje se ne odnose na VTS usluge, a uključene su u sigurnost i organizaciju plovidbe, kao što su servisi pilotaže i tegljenja
- **Brod** – označava brod koji je dužan surađivati u skladu s organizacijom VTS-a

### 3.1.2. Djelatnosti VTS-a

Svrha VTS-a je doprinijeti sigurnosti života na moru, poboljšati sigurnost i učinkovitost navigacije te podržati zaštitu okoliša unutar VTS područja smanjenjem razvoja neželjenih događaja kroz pravovremeno omogućavanje svih informacija koje mogu utjecati na plovidbu broda te omogućavanje donošenja odluka na brodu, što može uključivati sljedeće informacije [56]:

- Poziciju, identifikaciju i smjer kretanja brodova
- Pomorske sigurnosne informacije
- Ograničenja brodova u VTS području koja mogu utjecati na ostale brodove
- Ostale informacije poput detalja o sigurnosnoj zaštiti
- Podršku i suradnju s ostalim servisima koji djeluju u VTS području, a nisu dio VTS-a

Nadalje, praćenje i upravljanje pomorskim prometom u svrhu unaprijeđenja sigurnosti i učinkovitosti kretanja brodova, može uključivati sljedeće:

- Prediktivno planiranje kretanja brodova
- Organizaciju brodova u plovidbi
- Organizaciju prostora unutar VTS područja
- Uspostavu prometnih pravaca
- Uspostavu praćenja planiranog puta brodova
- Savjetovanje u kreiranju rute kretanja broda
- Utvrđivanje praćenja zakonskih propisa u nadležnosti VTS-a

VTS je prema IMO-u dužan reagirati u razvijanju nepovoljnih događaja poput:

- Broda nesigurnog u vlastitu rutu ili poziciju
- Broda koji ne plovi prema vlastitoj ruti ili ima određene devijacije od vlastite rute
- Broda koji treba dodatne smjernice tijekom izvođenja sidrenja
- Broda koji ima ustanovljene nedostatke u vidu navigacijske ili manevarske opreme
- Nepovoljnih vremenskih uvjeta
- Broda u opasnosti od nasukavanja ili sudara
- Brze reakcije u hitnim situacijama

### **3.1.3. Odgovornosti VTS-a**

Vlada ugovorne države ima sljedeće obveze:

- Uspostavljanje zakonodavnog okvira za funkcioniranje VTS-a u skladu s pravilom SOLAS V/12
- Određivanje Nadležnog tijela za VTS
- Poduzimanje odgovarajućih aktivnosti u slučaju nepoštivanja VTS pravila od strane broda

- Razmatranje razvoja VTS u tehničkom i ostalim smjerovima

Nadležno tijelo ima sljedeće obveze:

- Uspostaviti regulatorni okvir za osnivanje i upravljanje VTS-om u skladu s relevantnim međunarodnim konvencijama i IMO preporukama, IALA standardima i nacionalnim zakonodavstvom
- Ovlastiti pružatelje VTS usluga za upravljanje određenim VTS područjem
- Utvrditi odgovarajuću razinu osposobljenosti VTS pružatelja usluge u određenom VTS području
- Utvrditi uspostavljanje okvira usklađenosti i provedbe u vezi kršenja pravila VTS-a

Pružatelj VTS usluge ima sljedeće obveze:

- Osiguravanje usklađivanja s nacionalnim zakonima postavljenim od strane nadležne Vlade
- Postavljanje operativnih ciljeva usklađenih s poboljšanjem sigurnosti i učinkovitosti pomorskog prometa i zaštitom okoliša. Nadalje, potrebna je redovita procjena i evaluacija postignutih ciljeva
- Osiguravanje odgovarajuće opreme, sustava i objekata za pružanje VTS usluga
- Osiguravanje kvalificiranog osoblja u dovoljnom broju
- Utvrđivanje dostupnosti informacija i uputa VTS-a u odgovarajućim pomorskim publikacijama

Brodovi koji se nalaze u određenim VTS područjima imaju sljedeće obveze:

- Redovito izvještavanje nadležnom VTS-u na način propisan od strane VTS-a
- Redovito praćenje izdanih obavijesti i savjeta od strane VTS-a u svrhu evaluacije donesenih odluka vezanih za sigurnost plovidbe
- Poštivati zahtjeve i naredbe VTS-a u skladu s međunarodnim propisima
- Izvijestiti nadležni VTS u slučaju utvrđivanja onečišćenja ili opasnosti za pomorski promet

Brodovi koji zbog zakonodavnog okvira ne podliježu izvještavanju prema VTS-u mogu u istom sudjelovati prema uputama VTS pružatelja usluge.

Nadalje, važno je naglasiti kako su IALA standardi, publikacije i preporuke za VTS organizaciju prepoznati od strane IMO-a, te su ugovorne države potaknute pratiti iste [56].

### **3.2. VTS OPREMA**

Skupom IALA smjernica G1111 (1-9) definirana je oprema VTS-a, odnosno, projektni okvir VTS sustava, senzori, komunikacije te obrada informacija, poštujući prioritete istih [57], [58]. Na temelju spomenutog skupa smjernica prepoznate su sljedeće funkcionalne cjeline VTS opreme:

- Komunikacijski sustav
- Radarski sustav
- AIS sustav
- Sustavi za nadziranje okoliša
- Elektro optički sustavi
- Radiogoniometarski sustavi
- Sustavi velikog dometa
- Pomorski integrirani informacijski sustav

S obzirom na prikazane funkcionalne cjeline i razvojne korake VTS sustava ovim radom obuhvaćena je metodologija prikupljanja podataka te oprema koja omogućava prikupljanje podataka s naglaskom na sredstva digitalne radiokomunikacije. Nadalje, količina i vrsta opreme pojedinog VTS-a može se razlikovati u ovisnosti o nadziranom području i ustrojstvu sastavnice VTS-a.

#### **3.2.1. Komunikacijski sustav**

Pouzdan način prikupljanja i provjere podataka o brodovima i pomorskom prometu, kao i pružanje VTS usluga, izvodi se putem izravne komunikacije s brodovima koristeći radiokomunikacijski sustav – u većini slučajeva VHF radiotelefoniku komunikaciju. VTS službenik dužan je uspostaviti radiotelefoniku kontakt sa zapovjednikom ili dežurnim časnikom na brodu putem VHF sustava dok obavlja redovne zadatke. Uz spomenuti VHF uređaj, VTS centar treba biti opremljen i ostalim sredstvima komunikacije omogućavajući na taj način neometan rad sa srodnim službama koje mogu biti uključene u rad VTS centra.

VHF radiotelefoniku komunikacija jedno je od primarnih sredstava komunikacija brod-brod, brod-kopno i kopno-brod od komunikacija rutinske prirode do komunikacija pogibelji, hitnosti i sigurnosti [59]. Nadalje, VHF radiotelefoniku komunikacija se odvija

na komunikacijskim kanalima odobrenim prema Radio Pravilniku ITU-a [60]. Važno je naglasiti kako je radiotelefonska komunikacija u pomorstvu odobrena na analognoj osnovi, dok je u razmatranju i razvoju digitalna radiokomunikacija[61].

### **3.2.2. Radarski sustav**

Radarski sustav unutar VTS centra služi kao još jedan od izvora podataka i informacija o pomorskom prometu unutar definiranog VTS područja. Vrste i radne frekvencije korištenih radara mogu se razlikovati u ovisnosti o veličini nadziranog područja kao i terenskoj konfiguraciji istog. Frekvencijska područja obuhvaćena preporukama su X-područje (8-12 GHz), S-područje (2-4GHz) i Ku-područje (12-18 GHz)[62].

### **3.2.3. AIS sustav**

Sukladno osnovnim zadaćama VTS-a poput prikupljanja, evaluacije i distribucije podataka unutar pruženih usluga, jedan od osnovnih alata VTS-a je AIS koji služi automatskoj razmjeni statičkih, dinamičkih i podataka o putovanju između različitih entiteta pomorskog prometa. Informacije koje se razmjenjuju u smislu identifikacije plovnih objekata su sljedeće [63]:

Dinamičke informacije:

- Geografska pozicija
- Vrijeme pozicije (UTC)
- Smjer (engl. heading)
- Smjer preko zemlje (engl. course over ground)
- Brzina preko zemlje (engl. speed over ground)
- Navigacijski status
- Brzina rotacije (engl. rate of turn)

Podaci o putovanju:

- Gaz
- Tip opasnog tereta
- Odredište
- Vrijeme potrebno do odredišta

Statičke informacije:

- Ime plovnog objekta

- Vrsta plovnog objekta
- Dimenzije
- Pozivni znak
- IMO broj
- MMSI

Prema definiranim pravilima statički podaci i podaci vezani za putovanje odašilju se svakih 6 minuta ili kada je to zahtijevano od određene brodske AIS stanice. Dinamički podaci odašilju se ovisno o brzini broda i brzini promjene smjera broda prema tablicama 12 i 13 za klase AIS uređaja A i B. [64].

Tablica 12: Učestalost odašiljanja dinamičkih podataka AIS-a klase A

Režim plovidbe broda	Interval odašiljanja dinamičkih podataka
Usidren/Privezan–brzina manja od 3 čvora	180 s
Usidren/Privezan–brzina veća od 3 čvora	10 s
Brzina od 0 do 14 čvorova	10 s
Brzina od 0 do 14 čvorova i istovremena promjenu smjera	$3^{1/3}$ s
Brzina od 14 do 23 čvora	6s
Brzina od 14 do 23 čvora i istovremena promjena smjera	2s
Brzina veća od 23 čvora	2s
Brzina veća od 23 čvora istovremena promjena smjera	2s

Izvor: Izradio autor prema [64]

Tablica 13: Učestalost odašiljanja dinamičkih podataka AIS-a klase B

Režim plovidbe plovila	Interval odašiljanja dinamičkih podataka
„SO“-Brzina manja od 2 čvora	180 s
„SO“-Brzina između 2 i 14 čvorova	30 s
„SO“-Brzina između 14 i 23 čvorova	15 s
„SO“-Brzina preko 23 čvora	5 s
„CS“-Brzina do 2 čvora	90 s
„CS“-Brzina preko 2 čvora	30 s

Izvor: Izradio autor prema [64]

U prethodnoj tablici prikazano je kako se AIS uređaji klase B dijele na „SO“ (engl. Self Organizing) te na „CS“ (engl. Carrier Sense). Naime, AIS uređaj klase B „SO“ odašilje podatke prema unaprijed određenim vremenskim intervalima, dok AIS uređaj klase B „CS“ upotrebljava tzv. tehniku prijema vala nosioca, odnosno, ne odašilje podatke do trenutka detekcije vala nosioca, a nakon detekcije prema intervalima prikazanim u tablici 13.

Kako je već navedeno, AIS sustav se također upotrebljava za slanje ostalih informacija poput AtoN-a, ASM-a, MOB-a te EPIRB AIS-a. Nadalje, AIS sustav također omogućava izmjenu kratkih tekstualnih poruka koje se odnose na sigurnost navigacije.

Prema IMO-u, na brodovima su dozvoljene dvije klase AIS stanica: klasa A i klasa B.

Standardna brodska AIS stanica klase A uključuje:

- Tri VHF prijarnika: dva za praćenje AIS 1 (161,975 MHz) i AIS 2 (162,025 MHz) kanala, te jedan za praćenje VHF DSC kanala 70 (156,525 MHz).
- Jedan predajnik koji kontinuirano izmjenjuje odašiljanje na AIS 1 i AIS 2 kanalima.
- Tipkovnicu, zaslon i upravljačku jedinicu koja sadrži procesor i sučelja za prosljeđivanje podataka od brodskih senzora prema vanjskim uređajima kao što su ECDIS, ARPA i VDR.
- Jedan ili više GNSS/DGNSS prijarnika, a u pravilu AIS sustav posjeduje jedan GNSS prijarnik, dok je drugi GNSS prijarnik centralni brodski GNSS prijarnik podatkovno povezan s AIS sustavom. GNSS prijarnici pružaju podatke o poziciji broda i preciznom vremenu potrebnom za usklađivanje više AIS stanica za prijenos podataka putem dvaju pomorskih VHF komunikacijskih kanala.

AIS sustav koristi tehniku digitalne frekvencijske modulacije (engl. Gaussian-filtered Minimum Shift Keying – GMSK) za prijenos podataka na AIS 1 i AIS 2 kanalima širine 25 kHz ili 12,5 kHz. Digitalni podaci AIS stanice kodiraju se GMSK modulacijom, što omogućava brzinu prijenosa podataka od 9,6 kbit/s. Kako bi se izbjegla interferencija signala i gubitak podataka, AIS sustav naizmjenično koristi dva VHF komunikacijska kanala.

Za omogućavanje višestrukog pristupa istim AIS kanalima, AIS sustav koristi TDMA (engl. Time Division Multiple Access – TDMA) tehnike pristupa. AIS stanice međusobno su usklađene na temelju vremenskih podataka dobivenih od GNSS/DGNSS prijarnika. Svaka minuta podijeljena je na 2250 vremenskih isječaka, što rezultira trajanjem od 26,67 ms po isječku. S obzirom na brzinu prijenosa podataka od 9,6 kbit/s, svaki vremenski isječak može prenijeti 256 bita informacije, što odgovara jednoj standardnoj automatskoj AIS poruci [65].

IALA preporukom A-123 obuhvaćena je AIS obalna infrastruktura koja služi sljedećim zadaćama [66]:

- Izbjegavanje sudara brodova
- Izvještavanje podataka o plovnom objektu i teretu
- Pomoć VTS-u pri upravljanju pomorskim prometom

IALA preporukom A-124 istaknuta je važnost korištenja AIS-a unutar VTS usluga kao pomagala u navigaciji na temelju IALA preporuke A-126, čijim se mogućnostima stvara okvir za [67]:

- Identifikaciju brodova
- Praćenje brodova
- Pojednostavljanje razmjene informacija
- Omogućavanje dodatnih informacija u upravljanju pomorskim prometom

Općenito, AIS sustav može doprinijeti IMO smjernicama i pravilima poput omogućavanja prometne slike tijelima kao što je VTS. Na temelju generirane prometne slike može se učinkovitije upravljati prometnim pravcima unutar određenog VTS područja. Obalna AIS infrastruktura se obično sastoji od mreže baznih stanica raspoređenih prema mogućnostima i uvjetima VTS područja ovisno o količini pomorskog prometa. Prema IALA-i moguće je putem umrežavanja različitih slojeva AIS servisa dostići globalnu



umreženost na temelju spajanja nacionalnih, regionalnih i međunarodnih AIS obalnih sustava [68].

AIS se prvenstveno koristi u uslugama kontrole pomorskog prometa kao senzor za pomoć u praćenju plovila, nadopunjujući informacije koje su prethodno bile dostupne putem glasovnih izvješća plovila, radara i ostalih spomenutih sredstava. Korištenje AIS-a unutar VTS-a omogućilo je točnije i češće praćenje u područjima gdje su senzori bili ograničeni, kao i potvrdu identiteta plovila koja su prethodno bila viđena samo kao meta na radaru ili putem daljinskog video nadzora. U određenim okolnostima, upotreba AIS-a kao alata za identifikaciju i praćenje za VTS smanjila je potrebu za glasovnim izvješćivanjem o pozicijama plovila.

Postoje tri opća područja u kojima se proširena uporaba AIS kapaciteta može primijeniti unutar VTS-a:

- širenje informacija koje VTS trenutno prenosi putem glasovnog radija ili drugih sredstava, ili uopće ne prenosi zbog ograničenja komunikacije
- daljinsko upravljanje AIS opremom na plovilima kako bi se ostvarila misija VTS-a poboljšanja sigurnosti navigacije
- korištenje AIS kapaciteta za obavljanje nekih funkcija VTS-a, potencijalno krećući se prema onome što se naziva "tihan VTS"

Proširena uporaba AIS kapaciteta ima veliki potencijal za poboljšanje razine usluga koje pruža VTS. Mogućnosti AIS-a mogu se koristiti za pružanje proširenih informacija koje VTS-ovi trenutno pružaju putem glasovnog prijenosa ili ih uopće ne pružaju [25], [69]. Nadalje, razina integracije i uporabe AIS-a unutar VTS-a ovisi o nadziranom VTS području i pripadajućoj prometnoj slici. Ukoliko se u nadziranom VTS području kreće veći broj rekreativnih plovila koja nisu u obvezi odašiljanja AIS informacija te su vidljiva isključivo putem VTS radara, informacije o poziciji i kretanju istih mogu biti odaslane putem VTS AIS-a i biti prikazane kao pseudo mete na AIS uređajima brodova koji se nalaze u nadziranom VTS području [69]. Prema AIS se može uspješno integrirati i koristiti u VTS operacijama uz napomenu kako je potrebna dodatna standardizacija kvalitete brodskih senzora pozicije, smjera i brzine zbog verifikacije točnosti istih. Slikom 16 prikazana je važnost AIS-a kao jednog od vitalnih izvora statičkih i dinamičkih informacija [70].

Korisničko sučelje						
Pripadajuće aplikacije						
Brodski podaci						
.....	Pozicija broda/dinamički podaci i servisi					..... dodatni servisi
..... dodatni servisi	AIS	RADAR	Radio gonio metarski uređaj	LRIT	..... dodatni servisi pozicio- niranja	..... dodatni servisi

Slika 16: AIS servis u odnosu na ostale VTS servise

Izvor: Izradio autor prema [70]

### 3.2.4. Sustavi za nadziranje okoliša

Sustav senzora za nadziranje okoliša omogućava VTS sustavu praćenje meteoroloških i hidrometeoroloških uvjeta unutar nadziranog VTS područja. U većini slučajeva spomenuti sustav integriran je u korisničko sučelje VTS-a koje omogućava VTS službeniku jednostavan pristup informacijama o okolišu [71].

### 3.2.5. Optoelektronički sustavi

Pod optoelektroničkim sustavima unutar VTS-a smatraju se video i termovizijske kamere. Korištenje ovog tipa senzora može pomoći u vizualnoj identifikaciji objekata na moru i podići razinu sigurnosti nadziranog VTS područja. Zahtjevi za nadzorom obalnih kamera ovise o gustoći prometa, razini usluge koju pruža VTS, specifičnim lokalnim karakteristikama i pokrivenosti VTS područja. U pravilu se sustav koristi za nadzor bližih obalnih područja, područja unutar luke, udaljenih terminala i slično. Na taj način omogućava se potpuna slika pomorskog prometa u nadziranom području te pregled stanja na vezovima operativnih terminala [72].

### **3.2.6. Radiogoniometarski sustavi**

Radiogoniometarski sustav unutar VTS-a služi za automatsko određivanje smjera zračenja radiovalova. Radiogoniometarski sustav može služiti u redovnim VTS poslovima kao i za pomoć pri traganju i spašavanju. VTS pružatelj usluge odlučuje o potrebi ugradnje i integracije radiogoniometarskog uređaja u ovisnosti o vrsti pomorskog prometa unutar nadziranog područja u smislu plovila koje ne podliježu propisima SOLAS konvencija kao i rekreativnim plovilima bez opreme poput AIS-a. Pozicija ugradnje radiogoniometarskog prijemnika ovisi o terenskoj konfiguraciji nadziranog VTS područja [73].

### **3.2.7. Sustavi velikog dometa**

Sustavi velikog dometa koji se upotrebljavaju unutar VTS-a mogu se svesti u većini slučajeva na sustav identifikacije i praćenja velikog dometa (engl. long range identification and tracking – LRIT). LRIT je obvezan sustav za sve SOLAS brodove, a intervali odašiljanja geografske pozicije su ograničeni na 6 sati. LRIT podaci zaprimaju se u međunarodne podatkovne centre te su dostupni tijelima poput nacionalnog VTS-a, odnosno tijelima akreditiranim od strane pripadajuće države. Nadalje, satelitska komponenta AIS-a također se može nazvati sustavom velikog dometa za praćenje brodova [74].

### **3.2.8. Pomorski integrirani informacijski sustav**

Centraliziranim izvorom podataka o brodovima i ostalim sudionicima pomorskog prometa može se smatrati i pomorski integrirani informacijski sustav. Integrirani informacijski sustav pruža podatke o brodovima od osnovnih identifikacijskih detalja do detalja o bruto tonaži, snazi porivnog stroja te klasifikacijskom društvu broda. Nadalje, vidljivi su i podaci o putovanju kroz procijenjeno vrijeme dolaska i odlaska, ukupnom broju osoba na brodu, popisu luka ticanja te ostali administrativni podaci, kao i detaljni podaci o prevoženom teretu.

## **3.3. VTS sustav Republike Hrvatske**

Hrvatski sabor je 5. prosinca 2008. godine donio Zakon o izmjenama i dopunama Pomorskog zakonika, čime je stvoren temelj za uspostavu cjelovite službe za nadzor i upravljanje pomorskim prometom unutar Ministarstva mora, prometa i infrastrukture (MMPI), uključujući sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom (engl. vessel traffic monitoring and information system – VTMISS) sustav. Prema Pomorskom zakoniku, nadzor i upravljanje pomorskim prometom ima za cilj povećati sigurnost plovidbe, učinkovitost prometa i zaštitu morskog okoliša. To uključuje:

- Prikupljanje podataka o pomorskim objektima i prometu
- Davanje podataka pomorskim objektima
- Pružanje plovidbenih savjeta i podrške
- Organizaciju plovidbe i upravljanje prometom

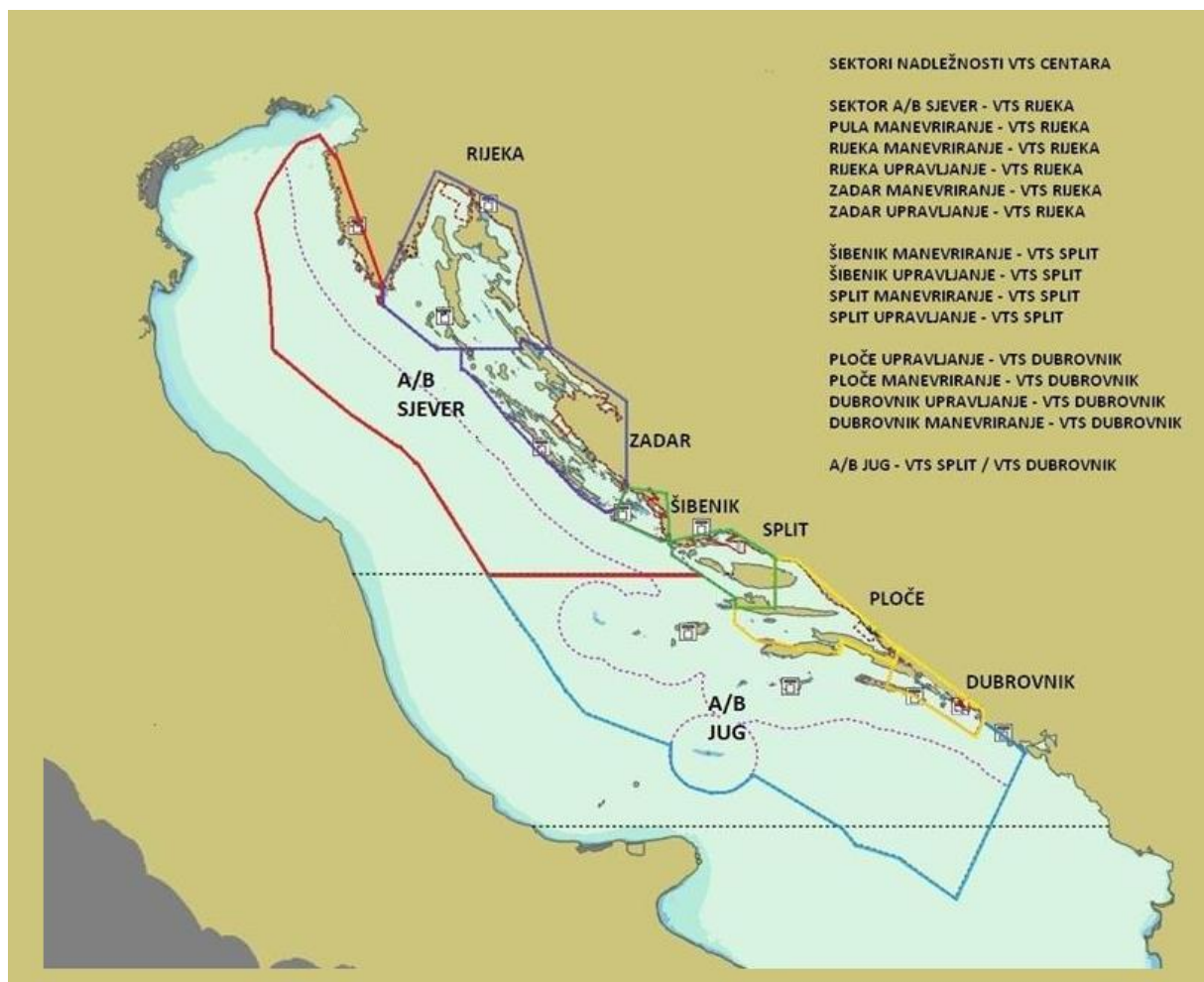
Nadzor i upravljanje se provodi kroz suradnju Ministarstva, lučkih kapetanija i pomorskih objekata unutar područja nadzora koje obuhvaća unutarnje morske vode, teritorijalno more i zaštićeni ekološko-ribolovni pojas Hrvatske. Poslove nadzora i upravljanja obavljaju služba nadzora Ministarstva i lučkih kapetanija u suradnji s lučkim upravama, Plovputom i Hrvatskim hidrografskim institutom. Služba može zatražiti suradnju Obalne straže Republike Hrvatske, policije i ostalih tijela operativnog nadzora. Uspostavom cjelovite službe nadzora i upravljanja pomorskim prometom te tehničko-informacijskog sustava (engl. Croatian vessel traffic management information system - CVTMIS), Republika Hrvatska osigurava [75]:

- Postizanje europskih standarda sigurnosti pomorskog prometa
- Ispunjenje obveza razmjene podataka o pomorskom prometu s EU članicama, EMSA-om i Europskom komisijom prema Direktivi 2002/59/EZ
- Uključenje u SafeSeaNet sustav EU-a po pristupanju EU-u
- Postizanje administrativnih kapaciteta europskih obalnih država
- Smanjenje broja pomorskih nesreća
- Poboljšanje akcija traganja i spašavanja na moru
- Smanjenje onečišćenja mora s brodova
- Poboljšanje učinkovitosti u intervencijama kod iznenadnih onečišćenja mora
- Jačanje kapaciteta za praćenje prijevoza opasnih i štetnih tvari
- Unapređenje usluga državne uprave za korisnike pomorskog prijevoza
- Poboljšanje učinkovitosti pomorskog prometa i lučkih operacija

### 3.3.1. Struktura VTS-a Republike Hrvatske

Temelj strukture službe za nadzor i upravljanje pomorskim prometom na području Republike Hrvatske čine tri centra raspoređenih u gradovima Rijeci, Splitu i Dubrovniku. Raspodjela odgovornosti navedenih centara definirana je sektorima prikazanim na slici 17. Sektori su definirani sljedećom podjelom:

- Sektori nadzora
- Sektori upravljanja
- Sektori manevriranja

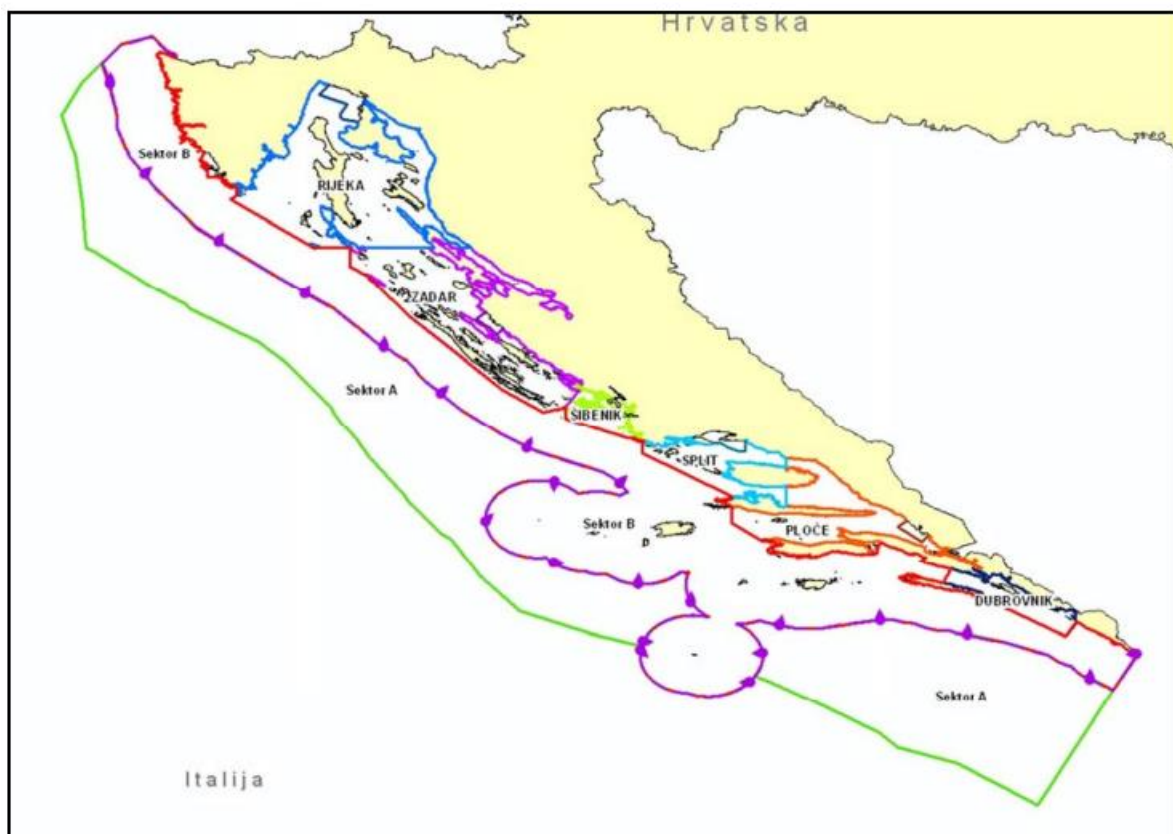


Slika 17: VTS centri i sektori u Republici Hrvatskoj

Izvor: [76]

U sektorima nadzora pružaju se informacijske usluge brodovima u plovidbi, te se daju važna upozorenja u slučaju razvoja opasnih situacija, izvanrednih događaja te ostalih radnji i postupaka koje mogu utjecati na sigurnost navigacije. Sektorom A obuhvaćeno je područje zaštićenog ekološko ribolovnog pojasa, dok je Sektorom B obuhvaćena granica

teritorijalnog mora do granice Službe nadzora pomorskog prometa Rijeka, Zadar, Šibenik, Split, Ploče i Dubrovnik. Sektor A/B sjever pripada VTS centru Rijeka, dok se nadzor sektora A/B jug dijeli između centara Split i Dubrovnik prema slici 17. Sektori upravljanja obuhvaćaju prilaze međuotočnim područjima te prilaze važnijim lukama. VTS Republike hrvatske u sektorima upravljanja uz informacijsku podršku pruža usluge upravljanja pomorskim prometom iz centara u Rijeci, Zadru, Šibeniku, Splitu, Pločama i Dubrovniku. Sektori manevriranja određeni su područjima koja obuhvaćaju lučka područja i prilaze lukama te sidrišta, uključujući peljarske postaje. Sektori manevriranja i peljarske postaje određeni su u Rijeci, Zadru, Šibeniku, Splitu, Pločama i Dubrovniku [77]. U ovom radu naglašen je sektor nadzora, odnosno, Sektor B koji graniči s granicom teritorijalnog mora, iz razloga najveće udaljenosti i najtežih propagacijskih uvjeta ostvarivanja obvezne komunikacije s nadležnim VTS centrom što je vidljivo na slici 18.



Slika 18: VTS sektori

Izvor: [76]

### 3.3.2. Izvještavanje u sklopu VTS-a Republike Hrvatske

Pravilnikom o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske te načinu i uvjetima obavljanja nadzora i upravljanja pomorskim prometom utvrđena je obveza sudjelovanja u sustavu izvještavanja brodova za sljedeće kategorije brodova [77]:

- brodove bruto tonaže 150 i više
- brodove dužine preko svega 50 m i više
- brodove na međunarodnim putovanjima
- plovne objekte ograničenih manevarskih sposobnosti
- plovne objekte koji prevoze opasne ili onečišćujuće tvari
- sve plovne objekte neovisno o dužini, tonaži i namjeni koji predstavljaju ili se nalaze u situaciji potencijalnog rizika za navigaciju ili sigurnost plovidbe, sigurnost osoba ili zaštite okoliša
- brodove koji tegle ili potiskuju drugi pomorski objekt, bez obzira na njihovu dužinu

Brodovi i ostali plovni objekti za koje je definirana obveza izvještavanja prema VTS-u Republike Hrvatske slijede unaprijed definirane obrasce izvještavanja kao i upute VTS službenika.

Predulazno izvješće predaje brod s namjerom uplovljavanja u Sektor B iz međunarodne plovidbe 15 minuta prije ili najkasnije pri ulasku u Sektor, putem radiotelefonske komunikacije na radnom kanalu VHF 10 u kojem je potrebno navesti sljedeće detalje broda i plovidbe:

- Ime broda
- Pozivni znak
- Geografsku poziciju
- Smjer (Kurs)
- Brzinu
- Stupanj sigurnosne zaštite
- Odredište
- Procijenjeno vrijeme dolaska

U slučaju izbjegavanja davanja izvještaja, VTS službenik dužan je kontaktirati brod s upozorenjem o obveznom sudjelovanju u sustavu izvještavanja prema VTS-u Republike

Hrvatske. Ukoliko brod ili plovni objekt izvješće predaje putem AIS-a ili je isti obveznik ADRIREP sustava ne postoji obveza davanja izvještaja radiotelefonskom komunikacijom.

Izvješće o poziciji dužan je predati brod ili plovni objekt obveznik sudjelovanja u VTS uslugama s namjerom uplovljavanja u Sektor upravljanja 15 minuta prije ili najkasnije pri ulasku u Sektor upravljanja putem VHF radiotelefonske komunikacije na definiranom VHF kanalu sa sljedećim podacima o brodu i plovidbi:

- Ime broda
- Pozivni znak
- Geografsku poziciju
- Gaz
- Smjer (kurs)
- Brzinu
- Odredište
- Procijenjeno vrijeme dolaska

Nakon uspješno primljenog izvještaja, VTS izdaje pozitivno izvješće o poziciji.

Dolazno izvješće dostavlja brod ili plovni objekt obveznik sudjelovanja u VTS uslugama koji ima namjeru uplovljavanja u luku, sidrište ili na vez, a dužan je to učiniti ulaskom u Sektor manevriranja. Izvještavanje također vrši putem VHF radiotelefonske komunikacije na dodijeljenom radnom kanalu sa sljedećim podacima o brodu i plovidbi:

- Ime broda
- Pozivni znak
- Navigacijski status: usidren/vezan s mjestom sidrišta, odnosno, veza

Nakon primljenog dolaznog izvješća od strane broda, VTS službenik izrađuje predmetno izvješće.

Izvješće o odstupanju dostavlja brod ili plovni objekt u slučaju promjene odredišta, većeg vremenskog odstupanja od planiranog vremena dolaska te bilo kojih drugih odstupanja u smislu organizacije putovanja broda. Izvještaj se također podnosi putem dodijeljenog VHF radiotelefonskog kanala te mora sadržavati sljedeće podatke o brodu i plovidbi:

- Ime broda
- Pozivni znak



- Opis odstupanja
- Uzrok odstupanja
- Daljnje namjere

Izvješće o izvanrednom događaju predaje brod ili plovni objekt unutar nadziranog VTS područja na dodijeljenom VHF radiotelefonskom kanalu u sljedećim slučajevima:

- Izvanredni događaj u obliku sudara, nasukavanja, naplavlivanja, oštećenja vitalnih dijelova koji utječu na sigurnost navigacije
- Izvanredni događaj u obliku smanjene sposobnosti i potpune nesposobnosti za manevar
- Izvanredni događaj u obliku postojanja mogućnosti onečišćenja ili onečišćenja

Izvješće može sadržavati sljedeće podatke o brodu, plovidbi i izvanrednom događaju:

- Ime broda
- Pozivni znak
- Geografsku poziciju
- Luku polaska
- Luku odredišta
- Podatke o broju posade/putnika
- Detalje izvanrednog događaja
- Trenutno poduzete postupke u smislu izvanrednog događaja

Obvezni sustav javljanja brodova u Jadranskom moru – ADRIREP čiji je osnovni cilj zaštita okoliša i očuvanje sigurnosti plovidbe osmišljen je u vidu razmjene odabranih podataka između brodova i administrativnih tijela svih obalnih država na području Jadranskog mora. Obvezu sudjelovanja izvještavanja u okviru ADRIREP sustava imaju svi tankeri za ulje od 150 BT ili više kao i svi brodovi od 300 BT ili više koje prevoze opasan teret. Geografske granice ADRIREP sustava pokrivaju područje cjelokupnog Jadranskog mora prema tablici 14 [78].

Tablica 14: Granice ADRIREP sustava i nadležna tijela

Sektor	Južna granica (geografska širina)	Sjeverna granica (geografska širina)	Nadležno tijelo	VHF kanali
1	40°25'00 N	41°30'00 N	Obalna straža BRINDISI	Kanal 10
2	41°30'00 N	42°00'00 N	MRCC BAR	Kanal 12

3	42°00'00 N	43°20'00 N	MRCC RIJEKA	Kanal 10
4	43°20'00 N	44°30'00 N	MRSC ANCONA	Kanal 10
5	44°30'00 N	Obalna linija	MRSC VENEZIA	Kanal 10
5	44°30'00 N	Obalna linija	MRSC TRIESTE	Kanal 10
5	44°30'00 N	Obalna linija	MRCC KOPER	Kanal 12

Izvor: Izradio autor prema [78]

ADRIREP izvještaji sastoje se od Prvog i Izvješća o poziciji, odnosno, Završnog izvješća. U Prvom izvješću moraju biti navedeni sljedeći podaci:

Tablica 15: Prvo Izvješće - ADRIREP

	Identifikator poruke:	-ADRIREP
	Tip Izvještaja	-01/FR (Prvo Izvješće)
A	Brod	-Ime, pozivni znak, IMO broj, Zastava
B	Datum/Vrijeme (UTC)	-grupa od 6 znamenki u obliku dana u mjesecu (prve 2 znamenke), sati i minute (zadnje 4 znamenke)
C	Trenutna geografska pozicija	-četveroznamenkasti broj za geografsku širinu u minutama i sekundama te oznaka „N“ ili „S“ te petoznamenkasti broj za geografsku dužinu u minutama i sekundama te oznaka „E“ ili „W“.
E	Smjer (Kurs)	-troznamenkasti broj koji označava smjer broda u stupnjevima
F	Brzina	-troznamenkasti broj koji označava brzinu broda u čvorovima
G	Odlazak	-luka odlaska
I	Odredište i procijenjeno vrijeme dolaska na odredište	-procijenjeno vrijeme dolaska kao u B dijelu u luku odredišta i luka odredišta
N	Procijenjeno vrijeme dolaska na sljedeću poziciju javljanja	-datum/vrijeme u obliku šestoznamenkastog broja, kao u B dijelu s koordinatom sljedeće pozicije javljanja
O	Gaz	-četveroznamenkasti broj koji označava gaz u centimetrima
P	Teret	-opis tereta u obliku definiranom prema međunarodnim konvencijama
T	Agent	-podaci o predstavniku broda i/ili vlasniku koji ima 24-satno dežurstvo za brodske operacije
U	Dimenzije i vrsta	-vrsta broda, bruto tonaža te dužina preko svega u metrima
W	Ukupan broj osoba na brodu	-ukupan broj posade i ostalih osoba na brodu
X	Ostale informacije	-dodatne informacije vezane za ADRIREP izvještaj

Izvor: Izradio autor prema [78]

Izvješće o poziciji, odnosno, Završno izvješće mora sadržavati detalje prikazane tablicom 16.

Tablica 16: Izvješće o poziciji/Završno izvješće - ADRIREP

	Identifikator poruke:	-ADRIREP
	Tip Izvještaja	-01/PR (Izvješće o poziciji) -02/PR -03/PR -ER (Završno izvješće)
A	Brod	-Ime, pozivni znak, IMO broj, Zastava
B	Datum/Vrijeme (UTC)	-grupa od 6 znamenki u obliku dana u mjesecu (prve 2 znamenke), sati i minute (zadnje 4 znamenke)
C	Trenutna geografska pozicija	-četveroznamenkasti broj za geografsku širinu u minutama i sekundama te oznaka „N“ ili „S“ te petoznamenkasti broj za geografsku dužinu u minutama i sekundama te oznaka „E“ ili „W“.
E	Smjer (Kurs)	-troznamenkasti broj koji označava smjer broda u stupnjevima
F	Brzina	-troznamenkasti broj koji označava brzinu broda u čvorovima
G	Odlazak	-luka odlaska
I	Odredište i procijenjeno vrijeme dolaska na odredište	-procijenjeno vrijeme dolaska kao u B dijelu u luku odredišta i luka odredišta
N	Procijenjeno vrijeme dolaska na sljedeću poziciju javljanja	-datum/vrijeme u obliku šestoznamenkastog broja, kao u B dijelu s koordinatom sljedeće pozicije javljanja
X	Ostale informacije	-dodatne informacije vezane za ADRIREP izvještaj

Izvor: Izradio autor prema [78]

### 3.3.3. Analiza prometnog opterećenja VTS-a Republike Hrvatske

Analizom prometnog opterećenja obuhvaćeni su domaći i međunarodni dolasci i odlasci, svi tipovi definiranih izvještaja prema VTS-u te informacijska (engl. information service – IS) i organizacijska (engl. Traffic organization service – TOS) djelatnost. Prema dostupnim podacima iz 2019. godine dolazi do ukupnog povećanja prometa u odnosu na prethodnih 5 godina što posljedično predstavlja i povećano opterećenje VTS službe [79]. Prema podacima Hrvatskog integriranog pomorskog informacijskog sustava CIMIS o međunarodnoj i nacionalnoj plovidbi tijekom 2019. godine, evidentirano je 399 490 dolazaka u hrvatske morske luke.

U sektoru nadzora i upravljanja pomorskim prometom u VTS području izvješća se dijele na brodove u dolasku i brodove u odlasku kojih je VTS služba tijekom 2019. godine zaprimila ukupno 26 950 što je detaljno prikazano tablicom 17.

Tablica 17: Izvješća brodova u dolasku i odlasku

Izvješća s brodova u dolasku		Izvješća s brodova u odlasku	
Predulazno	5241	Predodlazno	2743
Pozicija	4202		
Ulazno	3778	Odlazno	5493
Dolazno	5493		
<b>Ukupno</b>	<b>26950</b>		

Izvor: Izradio autor prema [79]

U IS i TOS sektoru VTS služba je tijekom 2019. godine intervenirala ukupno 8608 puta s podjelom na centre Rijeka, Split i Dubrovnik prema tablici 18.

Tablica 18: IS i TOS usluge prema VTS centrima

VRSTA USLUGE	Rijeka	Split	Dubrovnik	Ukupno
IS	3497	846	4195	8538
TOS	31	32	7	70
<b>Ukupno</b>	<b>3528</b>	<b>878</b>	<b>4202</b>	<b>8608</b>

Izvor: Izradio autor prema [79]

VTS također vrši nadzor nad ADRIREP izvješćima u suradnji s ostalim državama Jadranske regije koje također vrše nadzor nad dodijeljenim područjem. Tijekom 2019. godine predano je ukupno 7603 izvješća sa sljedećom podjelom.

Tablica 19: Podjela ADRIREP izvješća

VRSTA IZVJEŠĆA	2019. godina
Prvo izvješće	905
Pozicijsko izvješće 1	236
Pozicijsko izvješće 2	5469
Završno izvješće	993
<b>UKUPNO</b>	<b>7603</b>

Izvor: Izradio autor prema [79]

Uz prikupljanje i nadzor nad opisanim izvješćima, VTS također vrši i praćenje stranih plovniha objekata u izvanrednim okolnostima, koji zbog određene situacije moraju ploviti unutarnjim morskim vodama kao i plovidbu i sidrenje stranih plovniha objekata u neškodljivom prolazu. Zadnji javno dostupni podaci odnose se na 2019. godinu kada je VTS služba primila zahtjeve 177 plovniha objekata te izvršila odobravanje plovidbe za 570

plovnih objekata. Potrebno je napomenuti kako uz sve navedene aktivnosti VTS odobrava i planove putovanja brodova u međunarodnoj plovidbi na kružnim putovanjima te je tijekom 2019. godine odobreno ukupno 2318 planova putovanja za 726 plovnih objekata od kojih je VTS centar Rijeka odobrio 348, VTS centar Split 876 te VTS centar Dubrovnik 1094 planova putovanja. Nadalje, VTS služba surađuje i s ostalim sastavnicama poput Lučkih kapetanija, MRCC Rijeka, Obalne straže Republike Hrvatske, Ministarstva unutarnjih poslova, Plovputa, Hrvatskog hidrografskog instituta te Državnog hidrometeorološkog zavoda. Slijedom navedenog, može se zaključiti kako je modernizacija, ubrzanje i zaštita komunikacijskih sustava VTS službe od velike važnosti, imajući u vidu prijelaz na potpuno digitalne radiokomunikacije te uspostavljanje „tihog“ VTS-a korištenjem VDES-a.

### 3.3.4. VHF radiotelefonska komunikacija u sklopu VTS-a Republike Hrvatske

Osnovni poslovi VTS službe odnose se na obavljanje poslova nadzora i upravljanja pomorskim prometom u skladu s dodijeljenim poslovima određenog VTS centra. Prema istraživanju iz 2019. godine, anketnim upitnikom analizirana je raspodjela i važnost obavljanja poslova VTS službenika po prioritetima i složenosti. Ispitano je 25 ispitanika, što čini većinu zaposlenih u VTS centrima Rijeka, Split i Dubrovnik u vrijeme provođenja anketnog upitnika [80].

Rezultati anketnog upitnika koji se odnose na dvije osnovne radnje VTS službenika koje uključuju nadzor pomorskog prometa putem aplikacije za nadzor pomorskog prometa (engl. Coast Watch) te bdijenja na odgovarajućem VHF kanalu te se odvijaju neprekinuto, istaknuto je kako bdijenje na VHF kanalu ima značajnu ulogu s osrednjom složenosti.

U nastavku je prikazano prosječno trajanje VHF radiotelefonske komunikacije s plovnim objektom ovisno o vrsti izvješća.

Tablica 20: Vremenska razdioba VHF radiotelefonske komunikacije u VTS-u RH

OPIS KOMUNIKACIJE	OPIS IZVJEŠĆA	PROSJEČNO TRAJANJE [min]
<b>Ulazak u sektor nadležnosti</b>	Komunikacija	2,56
<b>Odobrenje plana putovanja</b>	Zaprimanje zamolbe	2,92
	Komunikacija	3,28
<b>Dolazak u luku u sektoru upravljanja</b>	Pozicijsko izvješće	2,44

	Dozvola ulaska	1,72
	Ulazno izvješće	2
	Dolazno izvješće	1,92
<b>Dolazak u luku u sektor nadzora</b>	Predulazno izvješće	3,17
<b>Odlazak iz luke unutar sektora upravljanja</b>	Odlazno izvješće	1,96
	Dozvola odlaska	1,68
<b>Nadzor kretanja brodova - ADRIREP</b>	Prijem izvješća	3,84
	Pružanje inform.	3,04
	Provjera podataka	2,92
<b>Izvanredni događaj</b>	Komunikacija	6,92
	Kom. s ostalima	5,54
	Upravljanje	6,5
<b>Informacijska podrška - IS</b>	Brodovi bez obveze	2,54
	Meteo podaci	3,63
	Podaci za pomorce	5,67
	Kontakt s pl. objekt.	3,08
<b>Organizacija i upravljanje pomor. prom. TOS</b>	TOS-meteo	3,54
	TOS-obavijesti	5,25
	TOS-ostali izvori	5,08
	Komun. s pl. obj.	3,33

Izvor: Izradio autor prema [80]

Podaci prikupljeni putem svih spomenutih izvješća postaju temelj za donošenje odluka u djelokrugu poslova VTS-a, odnosno, VTS službenika. Ovi podaci, prikupljeni kroz različite oblike komunikacije i izvještavanja, temelj su u osiguravanju sigurnosti plovidbe, učinkovite koordinacije brodova te u prevenciji pomorskih incidenata. Svaka odluka koju VTS službenici donose temelji se na preciznoj analizi ovih informacija, koje se prikupljaju u realnom vremenu, često u složenim i promjenjivim uvjetima na moru.

Podaci prikupljeni putem VHF radiotelefonske komunikacije zahtijevaju dodatnu obradu informacija u vidu prenošenja istih u informacijske sustave. Ovaj proces uključuje izazove, kao što su smetnje komunikacijskog kanala, koje mogu otežati prijenos jasnih i točnih informacija. Također, jezične barijere između sugovornika mogu dodatno otežati razumijevanje i prijenos ključnih podataka, što može dovesti do nesporazuma ili kašnjenja u donošenju odluka. Upravo iz tog razloga, VTS službenici moraju biti vješti u interpretaciji

informacija te u prilagodbi komunikacijskih strategija kako bi se smanjio rizik od pogrešaka.

Donošenje odluka vezanih za bilo koje izvješće temelji se na kombinaciji pravila postupanja, koja su jasno definirana procedurama, i subjektivnim prognozama VTS službenika. U tom procesu, službenici se oslanjaju na različite izvore informacija, birajući one koje smatraju najpouzdanijima u datom trenutku. Odluke često ovise o situacijskoj procjeni, iskustvu službenika i specifičnim okolnostima koje utječu na operacije u realnom vremenu. Spomenutim anketnim upitnikom također je utvrđeno kako informacija prikupljena putem informacijskog sustava ima približno jednaku vrijednost kao i informacija prikupljena putem VHF radiotelefonske komunikacije u određenim izvješćima. To ukazuje na potrebu za integracijom različitih izvora informacija kako bi se osigurala dosljednost i pouzdanost podataka korištenih u odlučivanju. Pritom, sposobnost VTS službenika da brzo i točno interpretiraju podatke iz različitih izvora postaje ključna za održavanje sigurnosti i učinkovitosti pomorskog prometa.

Nadalje, izvješća koja zahtijevaju prenošenje većeg broja informacija s bročanim podacima mogu biti vrlo zahtjevna za obradu. Unos tih podataka u informacijske sustave i njihovo vođenje u statističke svrhe često je kompleksan i podložan pogreškama. U tom kontekstu, sustavi digitalne radiokomunikacije poput VDES-a mogu značajno unaprijediti proces izvještavanja. VDES omogućuje brži, točniji i pouzdaniji prijenos podataka, čime se smanjuje vrijeme potrebno za prikupljanje i obradu informacija, a time se povećava efikasnost cijelog sustava. Valja naglasiti kako i odgovarajući mehanizmi zaštite prijenosa informacija, poput enkripcije i drugih metoda osiguranja podataka, značajno povećavaju otpornost na greške u prijenosu. Informacije dobivene u digitalnom obliku, zahvaljujući ovim zaštitnim mehanizmima, mogu se smatrati visoko pouzdanima. Pouzdanost podataka je ključna za VTS službenike, jer se na temelju tih informacija donose odluke koje direktno utječu na sigurnost plovidbe i cjelokupnog pomorskog prometa. Digitalna transformacija komunikacijskih sustava u pomorskom sektoru tako postaje jedan od ključnih faktora u unapređenju operativnih kapaciteta VTS službi, smanjenju rizika od nesporazuma i povećanju ukupne sigurnosti na moru.

### 3.4. VTS izvještavanje putem terestričkog VDES-a

Sukladno glavnom cilju u ovom istraživanju, na temelju kojeg se unaprijeđenje komunikacijskih procesa unutar VTS sustava može realizirati upotrebom terestričkog VDES-a, tablicom 21 je obuhvaćena analiza svih obrađenih izvještaja u smislu broja simbola po svakom izvještaju. Broj simbola po svakom izvještaju naglašen je iz razloga provjere mogućnosti prijenosa podataka terestričkim VDES-om i potrebnog vremena za predmetni prijenos. Valja napomenuti kako se svaki simbol odaslane poruke unutar VDES-a kodira 6-bitnim ASCII kodom. 6-bitni ASCII kod definiran je za unos slobodnog teksta i svih unaprijed definiranih tekstualnih značajki u preporuci ITU-R M.1371-5 te je kao osnova za prijenos teksta i ostalih znakova u računalni oblik korišten i u ovom radu. Drugim riječima, svaki simbol poruke zauzima 6 informacijskih bitova poruke [81]. Naime, svi obrađeni izvještaji predaju se nadležnim VTS centrima putem radiotelefonske komunikacije na unaprijed određenim kanalima. Jedan od prijedloga ovog rada jest korištenje VDES-a umjesto radiotelefonske komunikacije u VTS izvještavanju čime se može utjecati na točnost, brzinu prijenosa, svladavanje jezične barijere, kao i sigurnost prijenosa informacije putem digitalne radiokomunikacije, odnosno, nadilaženje poteškoća koje se javljaju u neposrednim glasovnim komunikacijama između VTS službenika i broda. Nadalje, prelazak na terestrički VDES unutar VTS sustava može značajno unaprijediti efikasnost i pouzdanost komunikacijskih procesa, što je od ključne važnosti za sigurnost plovidbe i učinkovitost upravljanja pomorskim prometom. Ovaj prijedlog stoga predstavlja važan korak prema modernizaciji pomorskih komunikacijskih sustava i povećanju sigurnosti na moru te dostizanju i implementaciji e-navigacije u neposredne komunikacijske procese.

Tablica 21: Izvješća prema VTS-u predstavljena simbolima i bitovima

Izvješće	Broj simbola s razmacima	Broj informacijskih bitova (6 – bitni ASCII kod)
Predulazno	170	1020
Pozicija	178	1068
Dolazno	77	462
Odstupanje	403	2418
Izvanredni događaj	513	3078
ADRIREP - Prvo	482	2892
ADRIREP – Pozicija, Završno	213	1704

Izvor: Izradio autor



Ukupan broj simbola za svako izvješće određen je na temelju sadržaja predmetnih izvješća i međunarodnih propisa za oznake pojedinih podataka iz izvješća prikazanih u tablici 21. Maksimalan broj simbola za podatke iz različitih izvješća koji se odnose na ime broda, pozivni znak, geografsku poziciju, procijenjeno vrijeme dolaska, luka polaska, luka dolaska, navigacijski status te IMO broj definiran je prema ITU pravilniku [81], dok su za podatke smjera, brzine, gaza i stupnja sigurnosne zaštite na brodu određeni troznamenasti brojevi na temelju prirode podataka te ih na taj način dovoljno precizno opisuju. U pojedinim izvješćima, kao što su izvješće o odstupanju i izvanrednom događaju definirani su podaci opisa odstupanja, uzroka odstupanja, broju posade i putnika te detalji izvanrednog događaja i trenutno poduzeti postupci u smislu izvanrednog događaja. Za spomenute podatke definiran je maksimalan broj simbola prema očekivanom sadržaju poruke, jer trenutno ne postoji jedinstveno pravilo za veličinu slobodnog opisa navedenih događaja. Obzirom na definiranu količinu bitova prema pojedinom izvješću u tablici 21, može se zaključiti kako sva izvješća mogu biti odašiljana od strane VDES-a u obliku jednog vremenskog isječka čije je trajnje ograničeno na 26 ms prema slici 5 iz Poglavlja 2 ovog rada ukoliko se koriste sve dostupne modulacijsko kodne tehnike, odnosno, širine kanala. Ukoliko se usporedi vrijeme trajanja prijenosa izvješć putem VDES s prosječnim trajanjem predaje izvješća VHF radiotelefonskim postupkom iz tablice 20, razvidna je razlika, odnosno ubrzanje predaje izvještaja korištenjem VDES-a. U spomenutom ubrzanju postupka nije uključeno vrijeme pripreme podataka te razvrstavanje informacija za kasniju statističku obradu istih. Nadalje, sustav poput VDES-a može putem različitih sučelja biti povezan na ostale sustave putem kojih se može doći do traženih informacija što može modernizirati i automatizirati proces dolaska do informacija kao i utjecati na točnost informacija unutar izvještaja. U ovom radu opis takvih događaja ograničen je na 100 simbola po događaju, odnosno, odstupanju. Opisano ADRIREP Prvo, Pozicijsko, odnosno, Završno izvješće razlikuju se prema definiciji detalja. Naime, identifikatori poruka u ovim su izvješćima zamijenjeni slovima engleske abecede, reducirajući na taj način sadržaj izvješća i mogućnost nesporazuma kao i omogućavanje bržeg prenošenja izvješća. Ukoliko se razmotri mogućnost implementacije zamjene identifikatora u ostalima opisanim izvješćima, može se reducirati sadržaj i smanjiti količina informacija u pojedinim izvješćima ne narušavajući na taj način točnost i preciznost informacija prilikom podnošenja izvješća. Tablicom 22 prikazana je količina simbola i informacijskih bitova potrebna u reduciranoj verziji.

Tablica 22: Reducirana izvješća prema VTS-u Republike Hrvatske

<b>Izvješće</b>	<b>Broj simbola s razmacima</b>	<b>Broj informacijskih bitova (6 – bitni ASCII kod)</b>
Predulazno	100	600
Pozicija	135	810
Dolazno	40	240
Odstupanje	340	2040
Izvanredni događaj	333	1998

Izvor: Izradio autor

Reduciranje, odnosno zamjena teksta u prikazanim izvješćima s jedno slovnim unaprijed definiranim identifikatorima može evidentno skratiti izvještavanje, odnosno, odašiljanje pojedinog izvješća.

#### 4. LONGLEY-RICE PROPAGACIJSKI MODEL

Longley-Rice propagacijski model koristi se za dugoročnu procjenu medijana propagacijskih gubitaka preko nepravilnog terena. Model se temelji na dobro utvrđenoj teoriji propagacije i testiran je na velikom broju mjerenja propagacijskih svojstava. Primjenjiv je za radio frekvencije iznad 20 MHz i može se koristiti ili s detaljnim profilima terena za stvarne putove ili s profilima koji predstavljaju karakteristike medijana terena za određeno područje. Procjene karakteristika medijana terena, temelje se na velikom broju profila terenskih konfiguracija za nekoliko vrsta terena, uključujući ravnice, pustinje, valovita brda, podnožja i planine. Ukoliko je poznata frekvencija radiovalova, visina predajne i prijemne antene te procjena nepravilnosti terena, može biti proračunat medijan referentne atenuacije s obzirom na gubitke slobodnog prostora u funkciji udaljenosti. Za uvjete direktne propagacije, proračun referentne atenuacije rezultat je teorije dviju zraka te ekstrapolirane vrijednosti atenuacije na bazi difrakcije. Za transhorizontske propagacijske putove, referentnu atenuaciju predstavljaju gubici zbog difrakcije (engl. diffraction) ili raspršenja (engl. scattering), ovisno koji je učinak manji [82].

Longley-Rice propagacijski model testiran je na velikom broju frekvencija, visina predajnih i prijemnih antena i udaljenosti s različitim terenskim konfiguracijama od vrlo glatkih ujednačenih površina do vrlo nepravilnih planinskih područja. Slijedom navedenog definirane su sljedeće granice korištenja modela (Tablica 23).

Tablica 23: Osnovne značajke propagacijskog modela

Parametar	Područje
Frekvencija	20 Hz – 40000 MHz
Visine predajne i prijemne antene	0,5 m – 3000 m
Udaljenost	1 km – 2000 km
Atmosferska refraktivnost	250 N jedinica – 400 N jedinica

Izvor: Izradio autor prema [82]

##### 4.1. Parametri atmosferskih utjecaja

Propagacijski gubici u troposferskom sloju ovise o atmosferskim utjecajima i terenskoj konfiguraciji. Za procjenu dugoročnih medijana propagacijskih gubitaka, indeks atmosferske refraktivnosti u blizini Zemljine površine, čimbenik je koji utječe na propagaciju, posebice na propagacijskim putovima dužim od 100 km. Indeks atmosferske refraktivnosti utječe na savijanje radiovalova kada prolaze kroz atmosferu. Zrake radiovalova mogu biti predočene kao ravne linije u području od 1 km iznad Zemljine

površine, ukoliko je efektivni polumjer Zemlje  $a$ , definiran kao funkcija indeksa refraktivnosti  $N_s$ . U proračunima dugoročnih propagacijskih gubitaka, minimalna mjesečna vrijednost indeksa refraktivnosti odabire se na temelju područja gdje se vrši procjena. Efektivni polumjer Zemlje u kilometrima definiran je na sljedeći način [82]:

$$a = 6370[1 - 0,04665^{0,005577N_s}]^{-1}, \quad (66)$$

gdje je stvarni polumjer Zemlje 6370 km.

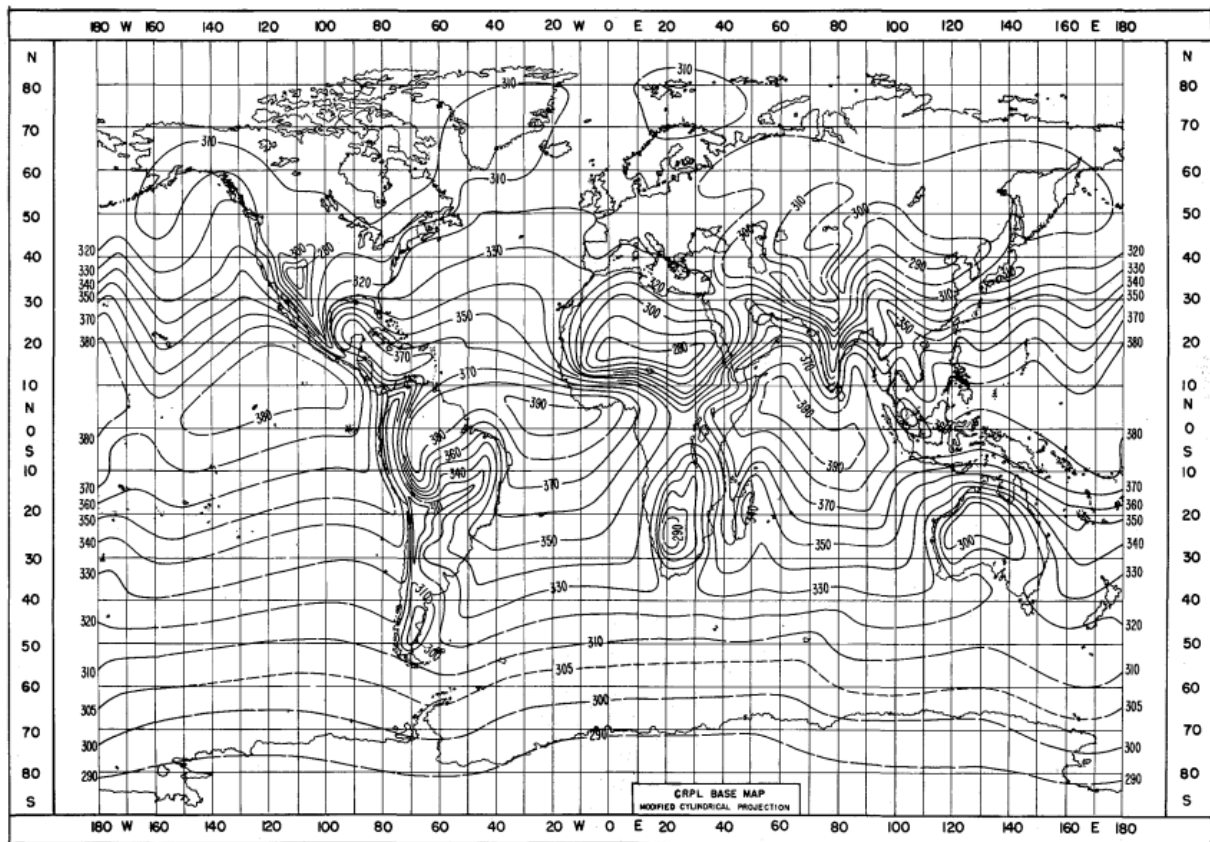
Indeks refraktivnosti može se izraziti na sljedeći način, s pomoću indeksa refraktivnosti na razini mora  $N_0$ .

$$N_s = N_0^{-0,1057h_s}, \quad (67)$$

gdje je  $h_s$  visina Zemljine površine iznad mora u kilometrima. Navedena visina  $h_s$  određena je bazom niže antene radiokomunikacijskog sustava u uvjetima direktne propagacije. Za transhorizontske propagacijske putove indeks refraktivnosti dobiven je iz prosjeka iznosa dvije visine prepreka na horizontu  $h_{L1}$  i  $h_{L2}$ . Ukoliko je antena niža od 150 m u odnosu na vlastiti horizont,  $h_s$  i  $N_0$  određeni su lokacijom antene. Najčešće korišten iznos atmosferske refraktivnosti  $N_s$  jednak je 301 s efektivnim polumjerom Zemlje  $a$  jednakim 8497 km, koji odgovara 4/3 stvarnog polumjera.

Utjecaj ostalih atmosferskih efekata poput promjene u indeksu refraktivnosti, promjena u količini turbulencija kao i apsorpcije kisika, vodene pare, oblaka i padalina može se modelirati na iskustvenoj bazi, što je detaljno opisano u [82], [83], [84].

U svrhu vizualizacije indeksa refraktivnosti na razini mora, prikazane su vrijednosti istog na svjetskoj razini (Slika 19).



Slika 19: Indeks atmosfere refraktivnosti na razini mora

Izvor: [82]

#### 4.2. Parametri terenske konfiguracije

Propagacijski gubici tijekom planiranja radiokomunikacijskog sustava mogu biti dobiveni na temelju preciznih terenskih profila, što je u praksi rjeđi slučaj, a propagacijski model posebno je koristan kada je poznato manje detalja o propagacijskim putovima, odnosno terenskoj konfiguraciji. Faktor nepravilnosti terena  $\Delta h$  koristi se kako bi se definirao propagacijski put, odnosno, pretežita terenska konfiguracija u vidu razlike visina terena. Interdecilni raspon  $\Delta h(d)$  različitih visina terena iznad i ispod linije elevacija iznad razine mora proračunat je na definiranim udaljenostima. Vrijednost medijana interdecilnog raspona  $\Delta h(d)$  povećava se s dužinom propagacijskog puta do asimptotske vrijednosti  $\Delta h$  koja karakterizira teren prema navedenim podacima (Tablica 24).

Tablica 24: Faktor nepravilnosti terena

Terenska konfiguracija	$\Delta h$ [m]
Voda ili vrlo glatke površine	0-5
Glatke površine	5-20
Umjereno nepravilne površine	20-40
Nepravilne površine	40-80
Brežuljci	80-150
Planine	150-300
Krševite planine	300-700
Vrlo krševite planine	>700

Izvor: Izradio autor prema [82]

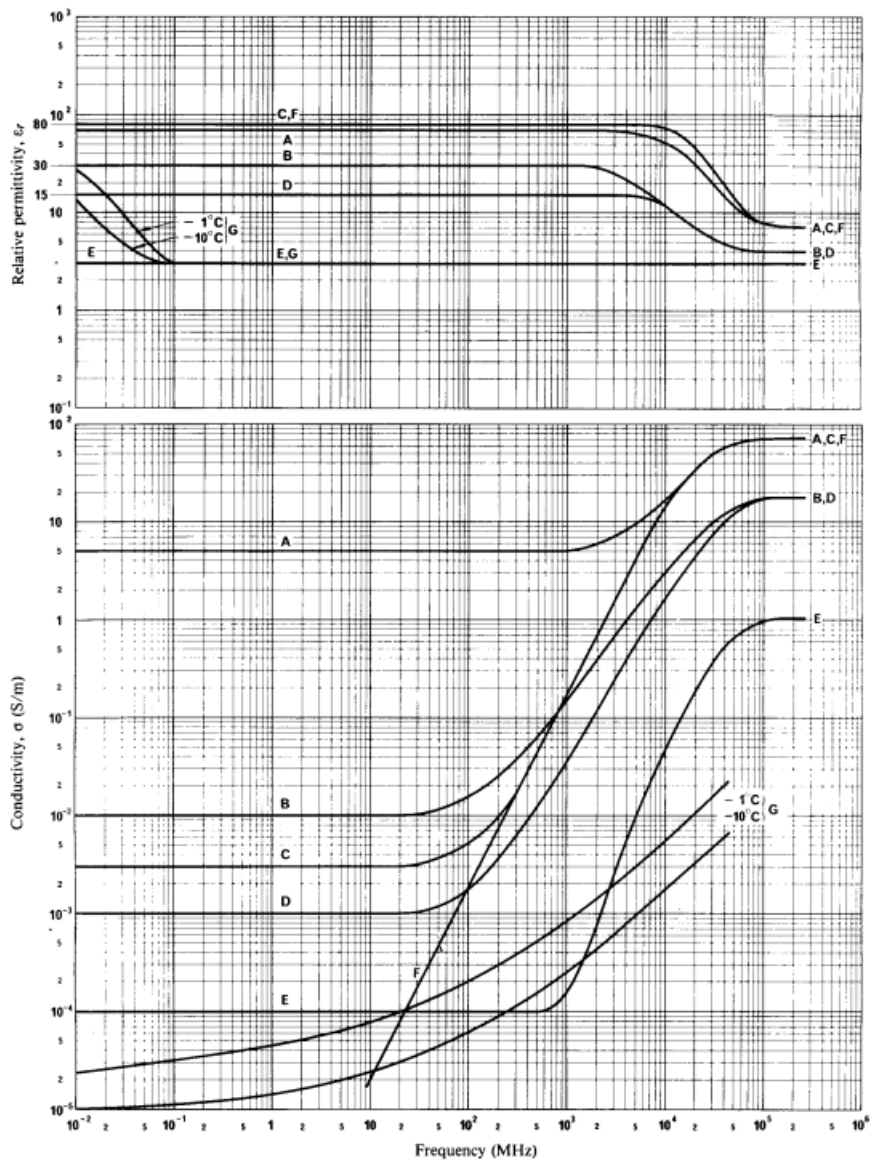
Potrebno je napomenuti kako se navedene vrijednosti koriste, upravo kada detaljna terenska konfiguracija, odnosno, terenski profil propagacijskog puta nije dostupan. Medijani interdecilnog raspona  $\Delta h(d)$  u metrima na određenih udaljenostima, mogu biti dobiveni putem sljedećeg empirijskog izraza 68:

$$\Delta h(d) = \Delta h(1 - 0,8^{-0,02d}), \quad (68)$$

gdje je  $\Delta h$  u metrima, a udaljenost  $d$  u kilometrima. Detalji terenskih studija nalaze se u [82], [85].

#### 4.3. Osnovni parametri izračuna propagacijskih gubitaka

Minimalni potrebni parametri pri procjeni, odnosno, izračunu potencijalnih propagacijskih gubitaka su frekvencija radiokomunikacijskog sustava  $f$  u megahercima, dužina propagacijskog puta  $d$  u kilometrima te visine predajne i prijemne antene  $h_{g1}$  i  $h_{g2}$  iznad tla u metrima. Nadalje, uz procjenu spomenute atmosferske refraktivnosti i faktora nepravilnosti terena, u propagacijskom modelu, mogu biti razmotrene i konstante poput provodljivosti Zemljine površine  $\sigma$  te permitivnosti  $\varepsilon$ , koje su uzete u obzir u proračunima atenuacije u uvjetima direktne propagacije i difrakcije. Vrijednosti spomenutih konstanti u ovom radu određene su putem električnih svojstava Zemljine površine prema ITU preporuci (Slika 20: Električna svojstva Zemljine površine) [86]. Propagacijskim modelom obuhvaćene su vrijednosti isključivo za morsku vodu zbog propagacijskog puta koji se nalazi iznad morske površine. Vrijednosti permitivnosti i provodljivosti za morsku vodu označene su slovom A.



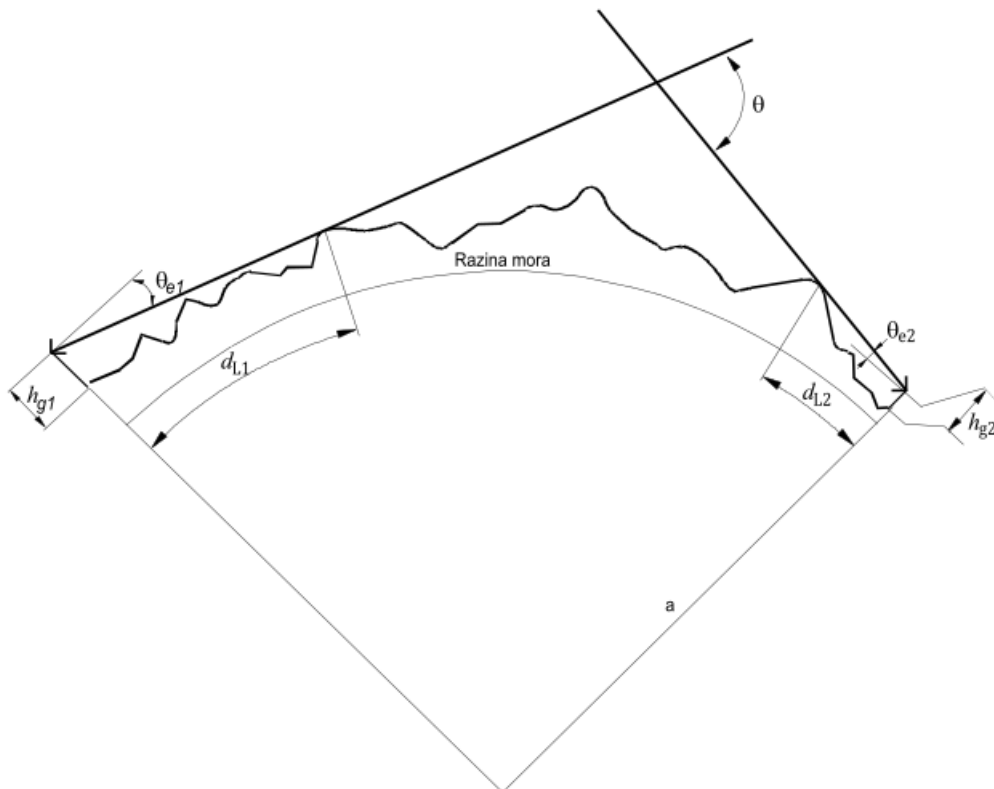
Slika 20: Električna svojstva Zemljine površine

Izvor: [86]

Na nižim frekvencijama, provodljivost površine ima dominantniju ulogu u propagaciji, dok na višim frekvencijama, permitivnost površine utječe na propagaciju.

#### 4.4. Dodatni parametri izračuna propagacijskih gubitaka

Pod dodatnim parametrima proračuna propagacijskih gubitaka smatraju se efektivne visine predajne i prijemne antene  $h_{e1}$  i  $h_{e2}$ , koje definiraju visine antena u odnosu na okolnu terensku konfiguraciju i propagacijski put, udaljenosti pripadajućih horizonata  $d_{L1}$  i  $d_{L2}$  te kuteva elevacije  $\theta_{e1}$  i  $\theta_{e2}$ . Udaljenosti pripadajućih horizonata i elevacijskih kutova mogu biti prikazane na sljedeći način (Slika 21).



Slika 21: Dodatni parametri propagacijskog puta

Izvor: Izradio autor prema [82]

Ukoliko je dostupan detaljan profil propagacijskog puta, svi spomenuti parametri mogu biti izračunati prema [82]. U slučaju kada nije poznat detaljan profil propagacijskog puta, spomenuti dodatni parametri mogu biti dobiveni na temelju procjene temeljene na faktoru nepravilnosti terena  $\Delta h$ , visinama antena iznad tla  $h_{g1}$  i  $h_{g2}$  te postupku odabira lokacije predajne i prijemne antene radiokomunikacijskog sustava. Kada su antene pozicionirane na relativno visokim pozicijama, a terenska konfiguracija ujednačena, odnosno, glatka, udaljenosti pripadajućih horizonata  $d_{L1}$  i  $d_{L2}$  jednake su  $d_{LS1}$  i  $d_{LS2}$  koje označavaju udaljenosti horizonata kada je Zemljina površina zamišljena kao sfera bez nepravilnosti terena u smislu planina, brežuljaka i ostalih prepreka. U slučaju kada su



predajna i prijemna antena postavljene relativno nisko u odnosu na okolne prepreke poput planina i brežuljaka, stvarne udaljenosti horizonta varirat će u većini slučajeva, a njihov medijan biti će manji od idealnog horizonta  $d_{LS}$ . Estimacija efektivnih visina predajnih i prijemnih antena može biti raščlanjena u dva slučaja [82]:

- Za mrežne komunikacije, s nasumičnim pozicijama antena vrijedi:

$$h_{e1,2} = h_{g1,2}, \quad (69)$$

gdje su obje veličine u metrima.

- Za radio relejne sustave s antenama smještenim na uzvisinama ili blizu vrhova planina ili brežuljaka, vrijedi da su efektivne visine antena veće od strukturalnih visina, odnosno, visina antena iznad tla, čiji medijan ovisi o faktoru nepravilnosti terena i navedenim strukturalnim visinama:

$$h_{e1,2} = h_{g1,2} + k^{-2h_{g1,2}/\Delta h}, \quad (70)$$

gdje su veličine visina u metrima, a  $k$  predstavlja vrijednost razlike vrijednosti medijana strukturalne i efektivne visine antena.

Faktor  $k$  može biti dobiven na sljedeća dva načina [82]:

- Kada su lokacije antena pažljivo odabrane s određenim ograničenjima prostora

$$k = \begin{cases} 1 + 4\sin(\pi h_{g1,2}/10) & \text{ako je } 0 \leq h_{g1,2} \leq 5, \\ 5 & \text{u ostalim slučajevima.} \end{cases} \quad (71)$$

- Kada su lokacije antena odabrane s većom pažnjom od prethodnog slučaja

$$k = \begin{cases} 1 + 9\sin(\pi h_{g1,2}/10) & \text{ako je } 0 \leq h_{g1,2} \leq 5, \\ 10 & \text{u ostalim slučajevima.} \end{cases} \quad (72)$$

Jedan od ključnih koraka u projektiranju radiokomunikacijskih sustava je odabir lokacije antene, ukoliko je odabir moguć. Naime, ako se razmatra radiokomunikacijski sustav korišten u komunikaciji brod-kopno i kopno-brod, lokacija antene može biti odabrana isključivo na jednoj strani, odnosno strani kopna, dok se lokacija brodske antene može svesti isključivo na prosječnu visinu antene prema konstrukciji broda ili dostupnim preporukama.

Ukoliko nisu poznati detaljni profili propagacijskih putova, medijani udaljenosti horizonta od predajne i prijemne antene  $d_{L1}$  i  $d_{L2}$  procjenjuju se kao funkcije medijana efektivnih visina predajne i prijemne antene  $h_{e1}$  i  $h_{e2}$ , faktora nepravilnosti terena  $\Delta h$  te udaljenosti horizonta od predajne i prijemne antene za idealiziranu Zemljinu površinu  $d_{LS1}$  i  $d_{LS2}$  u kilometrima, koje mogu biti definirane izrazom 73 [82]:

$$d_{LS1,2} = \sqrt{0,002 a h_{e1,2}}, \quad (74)$$

gdje su efektivne visine antena  $h_{e1,2}$  u metrima, a efektivni polumjer Zemlje  $a$  u kilometrima.

Zbroj udaljenosti horizonta od predajne i prijemne antene kada je Zemljina površina idealizirana, može se prikazati izrazom 75 [82]:

$$d_{LS} = d_{LS1} + d_{LS2}, \quad (75)$$

gdje su sve udaljenosti izražene u kilometrima.

Procjena vrijednosti medijana udaljenosti horizonta od predajne i prijemne antene preko nepravilnog terena može biti prikazana izrazom 76 [82]:

$$d_{L1,2} = d_{LS1,2}^{-0,07\sqrt{\Delta h/h_e}}, \quad (76)$$

gdje je  $h_e$  visina potrebna za izračun udaljenosti horizonta u metrima te vrijedi za sljedeće uvjete [82]:

$$h_e = \begin{cases} h_{e1,2} & \text{za } h_{e1,2} \geq 5 \text{ m,} \\ 5 & \text{u ostalim slučajevima.} \end{cases} \quad (77)$$

Ukupna udaljenost između predajne i prijemne antena i pripadajućih horizonata  $d_L$  jednaka je zbroju u kilometrima [82]:

$$d_L = d_{L1} + d_{L2}. \quad (78)$$

Za direktne propagacijske puteve između antena, procjena propagacijskih gubitaka temelji se na efektivnim visinama antena koje definiraju dominantnu reflektirajuću površinu između predajne i prijemne antene. Također, i za dobro poznate propagacijske puteve s direktnom propagacijom, procjena zbroja udaljenosti horizonata mora zadovoljavati uvjet,  $d_L \geq d$ , kako bi se mogla proračunati referentna atenuacija  $A_{cr}$  u odnosu na slobodni prostor, odnosno, propagacijski gubici  $L_{cr}$  uz uvjet iz izraza 79:

$$d_{Ls} \geq d_L \geq d. \quad (79)$$

Ukoliko uvjet iz izraza 79 nije zadovoljen, proračuni za uvjete indirektno propagacije, procjene efektivnih visina predajne i prijemne antene su preniske te bi trebale biti umnožene s najmanjim faktorom koji zadovoljava prethodno navedeni uvjet.

Elevacijski kutovi horizonta  $\theta_{e1}$  i  $\theta_{e2}$  su kutovi radio valova u odnosu na horizontalnu ravninu predajne i prijemne antene. Ukoliko nije dostupna detaljna konfiguracija propagacijskog puta, procjena medijana spomenutih kutova može se izraziti na sljedeći način [82]:

$$\theta_{e1,2} = \frac{0,0005}{d_{Ls1,2}} \left[ 1,3 \left( \frac{d_{Ls1,2}}{d_{L1,2}} - 1 \right) \Delta h - 4h_{e1,2} \right], \quad (80)$$

gdje su elevacijski kutovi  $\theta_{e1,2}$  u radijanima, dok su visine u metrima, a udaljenosti u kilometrima.

Zbroj elevacijskih kutova  $\theta_e$  u radijanima jednak je zbroju oba elevacijska kuta prema izrazu 81 [82]:

$$\theta_e = \theta_{e1} + \theta_{e2}, \quad (81)$$

Odnosno

$$\theta_e = -d_L/a, \quad (82)$$

gdje je udaljenost  $d_L$  u kilometrima,  $a$  efektivni polumjer Zemlje, također u kilometrima.

Za transhorizontske propagacijske putove, ortodromska udaljenost  $d$  jednaka je ili veća od zbroja udaljenosti horizonta  $d_L$ . Kutna udaljenost za transhorizontske puteve  $\theta$ , uvijek je pozitivna i može biti definirana u radijanima na sljedeći način [82]:

$$\theta = \theta_e + d/a, \quad (83)$$

gdje je  $d$  duljina propagacijskog puta u kilometrima, dok je  $a$  efektivni polumjer Zemlje, također u kilometrima.

Svi navedeni dodatni parametri propagacijskog puta  $h_{e1,2}$ ,  $d_{L1,2}$ ,  $\theta_{e1,2}$  kao i  $\theta$  koriste se u proračunu referentne atenuacije u odnosu na slobodni prostor  $A_{cr}$ , odnosno propagacijskih gubitaka  $L_{cr}$ . Ukoliko su dostupni isključivo osnovni parametri propagacijskog puta, procjena navedenih dodatnih parametara vrši se pomoću prikazanih izraza u ovom potpoglavlju.

#### 4.5. Proračun propagacijskih gubitaka

U proračunu propagacijskih gubitaka Longley-Rice propagacijskog modela, na početku se proračunavaju medijalne vrijednosti referentne atenuacije  $A_{cr}$ . Referentne vrijednosti prijenosnih propagacijskih gubitaka  $L_{cr}$  mogu biti izražene putem zbroja propagacijskih gubitaka u slobodnom prostoru  $L_{bf}$  i referentne atenuacije  $A_{cr}$  [82].

$$L_{cr} = L_{bf} + A_{cr}, \quad (84)$$

gdje su sve veličine izražene u decibelima.

Propagacijski gubici u slobodnom prostoru mogu biti izraženi na sljedeći način [82]:

$$L_{bf} = 32,45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d, \quad (85)$$

gdje je frekvencija  $f$  u megahercima, a udaljenost  $d$  u kilometrima.

Referentna atenuacija  $A_{cr}$  se u modelu proračunava na temelju različitih propagacijskih mehanizama za tri različita raspona udaljenosti predajne i prijemne antene. U uvjetima direktne propagacije, referentna atenuacija u odnosu na slobodni prostor rezultat je proračuna temeljenog na dvije zrake (engl. Two ray mechanism). U propagacijskim uvjetima koji nadilaze uvjete direktne propagacije, odnosno, nakon prijeđene granice direktne propagacije, referentna atenuacija postaje rezultat proračuna koji uključuje difrakciju kao glavni propagacijski mehanizam. U sklopu difrakcije, atenuacija  $A_d$ , proračunata je na temelju ponderiranih prosjeka atenuacije, odnosno, proračuna tzv. dvostruke oštrice noža (engl. Double knife edge) i preko nepravilnog terena.

Na većim udaljenostima predajne i prijemne antene, odnosno, nakon prestanka radio horizonta, dominantna komponenta koja utječe na proračun propagacijskih gubitaka  $A_s$  postaje raspršenje (engl. Scattering). Referentna atenuacija  $A_{cr}$  za transhorizontske propagacijske puteve jednaka je atenuaciji zbog difrakcije  $A_d$  ili atenuaciji zbog raspršenja  $A_s$ , ovisno koja od atenuacija ima manji iznos. Udaljenost gdje su gubici difrakcije i raspršenja jednaki u ovom propagacijskom modelu se naziva  $d_x$ .

#### 4.5.1. Proračun referentne atenuacije $A_{cr}$ u uvjetima direktne propagacije

Ukoliko su predajna i prijemna antena u uvjetima direktne propagacije, u proračunima se primjenjuje teorija dvije zrake kao što je ranije navedeno, a detaljno razrađeno u [82]. Spomenuta teorija dvije zrake koristi se za proračune atenuacija  $A_0$  i  $A_1$  na udaljenostima  $d_0$  i  $d_1$  unutar horizonta. Udaljenost  $d_0$  aproksimira najveću udaljenost gdje je atenuacija slobodnog prostora jednaka nuli. Udaljenost  $d_1$  veća je od  $d_0$ , ali zadovoljava kriterij dvije zrake. Sljedećim izrazom moguće je prikazati referentnu atenuaciju  $A_{cr}$  u decibelima u uvjetima direktne propagacije kada vrijedi uvjet  $1 \leq d \leq d_{Ls}$  [82]:

$$A_{cr} = A_0 + k_1(d - d_0) + k_2 \log_{10}(d/d_0), \quad (86)$$

gdje su  $k_1$  i  $k_2$  koeficijenti koji određuju nagib krivulje referentne atenuacije  $A_{cr}$ , a  $d$  i  $d_0$  pripadajuće udaljenosti u kilometrima, dok je  $A_0$  atenuacija u decibelima na pripadajućoj udaljenosti  $d_0$ . Detaljni izračun za koeficijente  $k_1$  i  $k_2$  nalazi se u [82].

#### 4.5.2 Proračun atenuacije zbog difrakcije $A_d$

Atenuacija zbog difrakcije proračunava se u propagacijskom modelu na temelju kombiniranja procjene difrakcije zbog tzv. oštrice noža (engl. knife edge diffraction), temeljene na Fresnel-Kirchoff teoriji, s modifikacijom proračuna difrakcije preko idealiziranog terena razvijene prema Vogleru (1964) [87]. Voglerova metoda temelji se na procjeni atenuacije zbog difrakcije,  $A_r$ , uračunavajući prepreku Zemljine površine u dalekoj difrakcijskoj regiji te je primjenjiva za glatke terene. Teorija tzv. oštrice noža uzima u obzir procjenu atenuacije zbog difrakcije preko izoliranih brežuljaka, odnosno, uzvisina. Atenuacija zbog oštrice noža  $A_k$ , u ovom se modelu promatra kao propagacijski put s dvije prepreke u obliku izoliranih brežuljaka ili uzvisina.

Općenito, za nepravilan teren, atenuacija zbog difrakcije  $A_d$ , proračunava se putem ponderiranih prosjeka procijenjenih atenuacija  $A_k$  i  $A_r$  prema izrazu 87 [82]:

$$A_d = (1 - w)A_k + wA_r, \quad (87)$$

gdje su sve atenuacije prikazane u decibelima, a ponder  $w$  određen je empirijskim metodama kao funkcija frekvencije i terenske konfiguracije.

Atenuacija zbog difrakcije proračunava se na udaljenostima  $d_3$  i  $d_4$  ( $A_3$  i  $A_4$ ) u dalekoj difrakcijskoj regiji, odabranih daleko izvan horizonta. Detaljni izračun za udaljenosti  $d_3$  i  $d_4$  i atenuacija  $A_3$  i  $A_4$  nalazi se u [82]. Pravac koji povezuje točke ( $A_3, d_3$ ) i ( $A_4, d_4$ )

definiran je sjecištem  $A_{ed}$ , odnosno atenuacijom zbog difrakcije u slobodnom prostoru i nagibom  $m_d$  u decibelima po kilometru, na sljedeći način [82]:

$$m_d = (A_4 - A_3)/(d_4 - d_3), \quad (88)$$

dok je atenuacija  $A_{ed}$  u decibelima, definirana na sljedeći način [82]:

$$A_{ed} = A_{f0} + A_4 - m_d d_4, \quad (89)$$

gdje je  $A_{f0}$  procijenjena atenuacija na temelju površinskih smetnji u decibelima.

Referentna atenuacija  $A_{cr}$  na bilo kojoj udaljenosti  $d$  većoj od udaljenosti horizonta idealizirane Zemljine površine  $d_{LS}$  i manjoj od udaljenosti  $d_x$ , gdje su atenuacija zbog difrakcije i raspršenja jednake, može se prikazati u decibelima na sljedeći način [82]:

$$A_{cr} = A_d = A_{ed} + m_d d, \quad (90)$$

gdje je atenuacija  $A_{ed}$  u decibelima, a nagib  $m_d$  u decibelima po kilometru.

#### 4.5.3. Proračun atenuacije zbog raspršenja $A_s$

Atenuacija zbog raspršenja  $A_s$  proračunava se u propagacijskom modelu na velikim udaljenostima  $d_5$  i  $d_6$ . Pravac koji prolazi kroz točke  $(A_5, d_5)$  i  $(A_6, d_6)$  definiran je sjecištem  $A_{es}$  i nagibom  $m_s$  prema izrazu 91 [82]:

$$A_{es} = A_5 - m_s d_5, \quad (91)$$

gdje je procijenjena atenuacija  $A_{es}$  u decibelima, dok je nagib  $m_s$  u decibelima po kilometru, a udaljenost  $d_5$  u kilometrima.

Nagib  $m_s$  može se izraziti na sljedeći način [82]:

$$m_s = (A_6 - A_5)/(d_6 - d_5), \quad (92)$$

gdje su sve atenuacije u decibelima, a udaljenosti u kilometrima.

Referentna atenuacija  $A_{cr}$  na bilo kojoj udaljenosti  $d$ , većoj od  $d_x$ , gdje su atenuacije zbog difrakcije i raspršenja jednake, može biti prikazana na sljedeći način [82]:

$$A_{cr} = A_s = A_{es} + m_s d, \quad (93)$$

gdje su sve atenuacije u decibelima, nagib  $m_s$  u decibelima po kilometru, dok je udaljenost  $d$  u kilometrima.

#### 4.5.4. Varijacija vremena, lokacije i situacije

Varijacija vremena, lokacije i situacije može se smatrati mjerom kvalitete usluge planiranog radiokomunikacijskog sustava u vidu procjene postojanja odgovarajuće razine snage radio vala za određeni dio vremena s određenom razinom vjerojatnosti, odnosno, mjerom pouzdanosti usluge navedenog radiokomunikacijskog sustava na određenoj lokaciji.

Ukoliko  $R(q_T)$  predstavlja raspoloživu razinu usluge, odnosno, raspoloživi odnos snage signala u odnosu na snagu šuma za određeni dio vremena  $q_T$ , a  $R_r(g_r)$  potrebni odnos snage signala i snage šuma, gdje  $g$ , općenito, predstavlja ocjenu razine usluge, može se zaključiti kako će radiokomunikacijski sustav pružati zadovoljavajuću uslugu, ukoliko je zadovoljen uvjet  $R(q_T) > R_r$ . Podaci normalizirani da odgovaraju danim uvjetima mogu se koristiti za predviđanje  $R(q_T)$ . Mjera pouzdanosti pružanja usluge (engl. service probability)  $Q$ , definirana je kao očekivani udio normaliziranih podataka, odnosno, odnosa snage signala i snage šuma kada vrijedi  $R(q_T) > R_r$ .

Mjera pouzdanosti  $Q$  tijekom planiranja radiokomunikacijskog sustava može služiti kao težinski faktor, odnosno, ponder pri odlučivanju i projektiranju.

##### 4.5.4.1. Varijacija vremena

Procjena, odnosno, prilagodba na proračunatu referentnu atenuaciju  $A_{cr}$  potrebna je kako bi se prikazala dugoročna projekcija rezultata propagacijskog modela. Pod prilagodbom projekcije se u ovom slučaju smatra  $A(0,5)$  za cjelogodišnje vremenske periode i različite klimatske regije. Proračunata referentna atenuacija  $A_{cr}$  predstavlja medijan atenuacije koja se može dugoročno očekivati s obzirom na vrijednosti refraktivnosti atmosfere  $N_s$ . Nadalje, može se zaključiti kako proračunata referentna atenuacija  $A_{cr}$  može poprimiti različite vrijednosti kada se uračunaju spomenuti parametri, poput funkcije prilagodbe  $V(0,5)$  i atmosferske refraktivnosti u ovisnosti o udaljenosti između predajne i prijemne antene. Vrijednost medijana cjelogodišnje atenuacije  $A(0,5)$ , razlikuje se od proračunate atenuacije  $A_{cr}$  za iznos funkcije prilagodbe  $V(0,5)$  u decibelima [82]:

$$A(0,5) = A_{cr} - V(0,5). \quad (94)$$

Ova razlika  $V(0,5)$  između medijana cjelogodišnje atenuacije  $A(0,5)$  i proračunate atenuacije  $A_{cr}$  definirana je kao funkcija efektivne udaljenosti,  $d_e$ , izražene u kilometrima. Efektivna udaljenost  $d_e$  ovisi o udaljenosti na kojoj su atenuacije zbog difrakcije i raspršenja približno jednake u vidu idealizirane Zemljine površine te o zbroju udaljenosti

idealizirane Zemljine površine  $d_{L0}$  uz efektivni polumjer Zemlje koji iznosi 9000 kilometara. Ukoliko je  $\theta_{s1}$  kutna udaljenost gdje su atenuacije bog difrakcije i raspršenja približno jednake uz idealiziranu Zemljinu površinu, može se prikazati sljedeće [82]:

$$d_{s1} = a\theta_{s1} = 65(100/f)^{\frac{1}{3}} \quad (95)$$

I

$$d_{L0} = 3(\sqrt{2h_{e1}} + \sqrt{2h_{e2}}), \quad (96)$$

gdje je  $f$  frekvencija u megahercima, a  $h_{e1,2}$  efektivne visine predajne i prijemne antene u metrima. Efektivna udaljenost  $d_e$  tada može biti definirana na sljedeći način [82]:

$$\text{Za } d \leq (d_{L0} + d_{s1}), \quad (97)$$

$$d_e = 130d/(d_{L0} + d_{s1}), \quad (98)$$

odnosno

$$\text{Za } d > (d_{L0} + d_{s1}), \quad (99)$$

$$d_e = 130 + d - (d_{L0} + d_{s1}). \quad (100)$$

U svakoj klimatskoj zoni, referentna atenuacija treba sadržavati iznos  $V(0,5, d_e)$ , kako bi rezultati odgovarali vrijednosti cjelogodišnjeg medijana referentne atenuacije. Prema projekcijama cjelogodišnje atenuacije propagacijskog modela, znatnije promjene u vrijednosti atenuacije u ovisnosti od klimatske zone, nastupaju na propagacijskim putevima dužim od 200 kilometara [82].

Dugoročna procjena medijana atenuacije može biti procijenjena na temelju standardne devijacije  $\sigma_{Ta}$ , uz standardno normalno odstupanje  $z_0(q)$ . Simbol  $q$  predstavlja bilo koji dio između 0 i 1, i može biti prikazan na temelju funkcije greške  $erf(x)$ , dok  $z_0(q)$  može biti prikazan na temelju inverzne funkcije greške  $erf^{-1}(x)$  putem izraza 101 i 102 [82]:

$$q = 0.5 + 0.5erf(z_0/\sqrt{2}), \quad (101)$$

$$z_0(q) = \sqrt{2} erf^{-1}(2q - 1). \quad (102)$$

Dugoročna varijacija medijana, koja postoji u bilo kojem dijelu vremena  $q_T$ , može biti prikazana na sljedeći način u decibelima [82]:



$$Y(q_T) = -\sigma_{Ta}z_0(q_T), \quad (103)$$

gdje je  $Y(q_T)$  razlika između medijana atenuacije s prilagodbom  $A(0,5)$  i atenuacije koja nije premašila dio vremena  $q_T$ .

#### 4.5.4.2. Varijacija lokacije

Varijacija lokacije može se prikazati putem različitih propagacijskih puteva između predajne i prijemne antene na istim lokacijama. Spomenute slučajne varijacije između lokacija za bilo koji dio vremena  $q_T$  smatraju se normalno distribuiranima sa standardnom devijacijom  $\sigma_{La}$  u decibelima. Tada je  $A(q_L)$  atenuacija u odnosu na slobodni prostor koja nije prekoračena za barem  $q_L$  svih slučajno odabranih propagacijskih puteva s fiksnim parametrima poput frekvencije, visina antena i dužine propagacijskog puta. Ukoliko je  $q_L$  ograničen na vrijednost 0,5, može se smatrati da su postignuti uvjeti medijana. Ukoliko  $q_L$  iznosi 0,1, može se pretpostaviti kako se predajne i prijeme antene nalaze na pozicijama koje su odabrane među 10% najboljih od svih mogućih pozicija u određenom području.

Varijacija lokacije  $Y(q_L)$  u decibelima za bilo koji dio  $q_L$  može se predočiti standardnom devijacijom  $\sigma_{La}$  i odstupanjem  $z_0(q_L)$  na sljedeći način [82]:

$$Y_L \equiv Y(q_L) = -\sigma_{La}z_0(q_L), \quad (104)$$

gdje je odstupanje  $z_0(q_L)$

$$z_0(q_L) = \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2q_L - 1). \quad (105)$$

#### 4.5.4.3. Varijacija situacije

Usluga radiokomunikacijskog sustava može se smatrati zadovoljavajuće razine  $g_r$ , ukoliko raspoloživi odnos snage signala i snage šuma  $R$ , nadilazi zaštitnu granicu  $R_r(g_r)$  za dio vremena  $q_T$  i dio  $q_L$  svih propagacijskih puteva. Zahtijevana razina usluge u decibelima može biti prikazana na sljedeći način [82]:

$$R(q_T, q_L, Q) = R_0 + Y_T + Y_L + Y_C, \quad (106)$$

gdje je  $R_0$  medijan raspoloživog odnosa signal-šum, dok simboli  $Y_T, Y_L$  i  $Y_C$  predstavljaju sigurnosne faktore dugoročne varijacije vremena, lokacije i situacije u decibelima potrebne za postizanje postojane usluge barem  $q_T$  dijela vremena na barem  $q_L$  propagacijskih puteva s vjerojatnosti usluge  $Q$ . Navedeni faktori varijacije vremena, lokacije i situacije izraženi u decibelima pretpostavljaju se normalno distribuiranima te iz

navedenog razloga mogu biti prikazani putem standardne normalne devijacije  $z_0(q)$  i varijance dostupnog odnosa signal-šum u vremenu  $\sigma_T^2$ , s lokacijom  $\sigma_L^2$  te greškom procjene vjerojatnosti  $\sigma_c^2$ . Varijanca  $\sigma_T^2$  izražena kroz kvadrat decibela, definirana je varijancama vremena  $\sigma_{Ta}^2$  i  $\sigma_{Tn}^2$  povezanima s dostupnom razinom snage radio vala  $W_a$  i razinom snage šuma  $W_n$  te  $\rho_T$ , koeficijentom koji predstavlja korelaciju između dviju navedenih snaga [82]:

$$\sigma_T^2 = \sigma_{Ta}^2 + \sigma_{Tn}^2 - 2\rho_T\sigma_{Ta}\sigma_{Tn}. \quad (107)$$

Na isti način definirana je i varijanca lokacije  $\sigma_L^2$  dostupnog odnosa signal-šum, koja može biti također izražena kroz kvadrat decibela [82]:

$$\sigma_L^2 = \sigma_{La}^2 + \sigma_{Ln}^2 - 2\rho_L\sigma_{La}\sigma_{Ln}, \quad (108)$$

gdje su  $\sigma_{La}$  i  $\sigma_{Ln}$  standardne devijacije različitih propagacijskih puteva dostupne razine snage radio vala  $W_a$  i snage šuma  $W_n$ , dok je  $\rho_L$  koeficijent korelacije između dviju navedenih snaga.

Standardna devijacija greške predviđanja  $\sigma_c$  izražena kroz kvadrat decibela može biti definirana varijancom  $\sigma_{ca}^2$  povezanom s razinom snage na prijemu za dio vremena  $q_T$  na lokacijama  $q_L$ , kao i varijancom  $\sigma_{cn}^2$  povezanom sa snagom šuma te korelacijskim faktorom  $\rho_c$ , s dodatnim razlikama koje uključuju varijacije vremena i lokacije [82]:

$$\sigma_c^2 = \sigma_{ca}^2 + \sigma_{cn}^2 - 2\rho_c\sigma_{ca}\sigma_{cn} + 0,12\sigma_T^2z_0^2(q_T) + 4z_0^2(q_L) + \sigma_x^2, \quad (109)$$

gdje je  $\sigma_{ca} = 5[1 + 0,6^{-d_e/100}]$  u decibelima.

Koeficijenti 0,12 i 4 dobiveni su empirijskim načinom kao i koeficijenti 5 i 0,6. Standardna devijacija greške procjene  $\sigma_c$  uključuje i standardnu devijaciju greški  $\sigma_x$  u predviđanju zahtijevanog odnosa signal-šum  $R_r(g_r)$ . Empirijska procjena za standardnu devijaciju  $\sigma_{cn}$  iznosi približno 4 decibela, dok za standardnu devijaciju  $\sigma_x$  iznosi približno 5 decibela, dok je  $d_e$  efektivna udaljenost u kilometrima, ranije definirana [82].

Faktor varijacije vremena  $Y_T$ , pod pretpostavkom da kvantil, odnosno, dio vremena iznosi  $q_T = 0,99$ , predstavlja razliku između dostupnog odnosa signal-šum  $R = (0,99, q_L)$  u decibelima koju spomenuti odnos nadilazi u odnosu na  $R = (0,5, q_L)$ . Ukoliko se prethodnim izrazima definira kvantil lokacije  $q_L = 0,1$ , može se zaključiti kako odnos signal-šum  $R = (0,99, 0,1)$  postoji 99% vremena na barem 10% lokacija promatranog

područja, dok se medijan spomenutih varijacija u decibelima može prikazati kao  $R = (0,5, 0,5)$  te vrijedi [82]:

$$Y_T = -\sigma_T(\rho_T)z_0(q_T), \quad (110)$$

$$Y_L = -\sigma_L(\rho_L)z_0(q_L), \quad (111)$$

gdje je  $\rho_T$  korelacijski koeficijent vremena, dok je  $\rho_L$  korelacijski faktor lokacije između željen snage signala i snage šuma.

Faktor varijacije  $Y_C$ , koji označava grešku procjene vjerojatnosti u decibelima može biti prikazan na sljedeći način [82]:

$$Y_C = -\sigma_c(\rho_c)z_0(Q). \quad (112)$$

Drugim riječima, varijacija potrebna za dostizanje zadanog odnosa signal-šum s vjerojatnošću željene kvalitete usluge  $Q$ , ovisi i korelacijskom faktorom  $\rho_c$ .

Dostupna razina snage radio vala u decibel vatima može biti prikazana na sljedeći način [82]:

$$W_a = W_t + G_p - L_b, \quad (113)$$

gdje je  $W_t$  snaga na izlazu iz odašiljača u decibel vatima,  $G_p$  dobitak antene u decibelima, a  $L_b$  gubici propagacijskog puta u decibelima.

Dostupna razina odnosa signal-šum  $R$  u decibelima, može biti prikazana na sljedeći način [82]:

$$R = W_a - W_n, \quad (114)$$

gdje je  $W_n$  ekvivalent snage šuma u decibel vatima.

Spomenute snage radiovala i šuma  $W_a$  i  $W_n$  kao i propagacijski gubici  $L_b$  pretpostavljaju se normalno distribuiranima u promatranom vremenu i lokacijama. Medijalne vrijednosti  $W_a$ ,  $W_n$  i  $L_b$  mogu biti prikazane putem  $W_0$ ,  $W_{n0}$  i  $L_{b0}$ . Sukladno navedenom, medijan dostupnog odnosa signal-šum može biti prikazan putem  $R_0$  u decibelima na sljedeći način [82]:

$$R_0 = W_0 - W_{n0} = W_t + G_p - L_{b0} - W_{n0}. \quad (115)$$

Odnos signal-šum  $R$  u decibelima može se prikazati i na temelju spomenutih faktora varijacija [82]:

$$R = R_0 + Y_T + Y_L + Y_C, \quad (116)$$

gdje je

$$Y_C = -\sigma_c z_0(Q). \quad (117)$$

Nadalje, odgovarajuća razina usluge na bilo kojoj prijemnoj lokaciji je zadovoljavajuća, ukoliko je dostupni željeni odnos signal-šum  $R$  veći od odnosa signal-šum potrebnog za zadovoljavajuću razinu usluge u prisutnosti varijacija vremena i lokacija signala i šuma  $R_r$ . Spomenuti uvjet može biti prikazan pomoću izraza 118 [82]:

$$R - R_r = R_0 + Y_T + Y_L - R_r - \sigma_c z_0(Q). \quad (118)$$

Ukoliko se supstitucijom uvede  $S_0$  u decibelima

$$S_0 = W_t + G_P - R_T - W_{n0} + Y_T + Y_L, \quad (119)$$

tada se može definirati sljedeće:

$$R - R_r = S_0 - L_{b0} - \sigma_c z_0(Q). \quad (120)$$

Vjerojatnost postojanja procijenjene razine usluge  $Q$  može se dobiti na način da se odnos  $R - R_r$  izjednači s nulom, te se u smislu funkcije greške dobiva  $Q$  na sljedeći način u decibelima [82]:

$$\sigma_c z_0(Q) = S_0 - L_{b0} \quad (121)$$

$$Q = 0,5 + 0,5 \operatorname{erf} [(S_0 - L_{b0}) / (\sigma_c \sqrt{2})]. \quad (122)$$

Ili se za zadanu vrijednost  $Q$ , kao što je  $Q_0 = 0,95$  dolazi do vrijednosti  $S_0$  potrebne za održavanje vjerojatnosti procijenjene razine usluge.

## 5. SIMULACIJSKI MODEL VDES SUSTAVA

Simulacijski model VDES sustava u potpunosti je izrađen u programskom sustavu MATLAB R2021b s pripadajućim alatima i važećim licencama za iste u vrijeme istraživanja i izrade rada. Osnovu simulacijskog modela čini geografski raspored potencijalnih VDES baznih stanica na pozicijama postojećih AIS baznih stanica u sastavu VTS sustava Republike Hrvatske. U postojećem sustavu nalazi se 25 AIS baznih stanica razmještenih na različitim pozicijama koje su nadograđivane od uvođenja AIS sustava do danas u svrhu pokrivanja granice teritorijalnog mora Republike Hrvatske kao i unutarnjeg pojasa koji se nalazi između otoka i kopna. Unutarnji pojas nije razmatran u ovom radu iz razloga davanja naglaska na pokrivenost granice teritorijalnog mora te nadzora brodova koji ulaze na područje Republike Hrvatske. U tablici 25 prikazan je popis svih AIS baznih stanica koje se nalaze u VTS sustavu Republike Hrvatske. Prikazane pozicije prikupljene su od strane Ministarstva mora, prometa i infrastrukture, službenim putem.

Tablica 25: AIS bazne stanice u sustavu VTS-a

REDNI BROJ	BAZNA STANICA	GEOGRAFSKA ŠIRINA (° N)	GEOGRAFSKA DUŽINA (° E)
1.	Crikvenica	45,179167	14,696389
2.	Osoršćica	44,665017	14,366517
3.	Koromačno	44,966595	14,122057
4.	Sveti Martin	45,12455	13,7401
5.	Razromir	45,239583	14,678533
6.	Dugi Otok	43,990517	15,05905
7.	Žirje	43,6543	15,6443
8.	Rab	44,773056	14,784167
9.	Brijuni	44,913602	13,762094
10.	Jadrija	43,721697	15,85027
11.	Zadar	44,12	15,2266667
12.	Susak	44,514444	14,306667
13.	Rijeka	45,323831	14,440717

14.	Savudrija	45,49	13,495833
15.	Labinštica	43,5779	16,215083
16.	Vis	43,02995	16,1138
17.	Mljet	42,694188	17,748285
18.	Lastovo	42,751333	16,860611
19.	Ilijino Brdo	42,498767	18,38575
20.	Rota	42,962833	17,363783
21.	Srđ	42,652872	18,111056
22.	Makarska	43,291667	17,025
23.	Split	43,507778	16,444167
24.	Ploče	43,051667	17,436667
25.	Petka	42,657778	18,076667

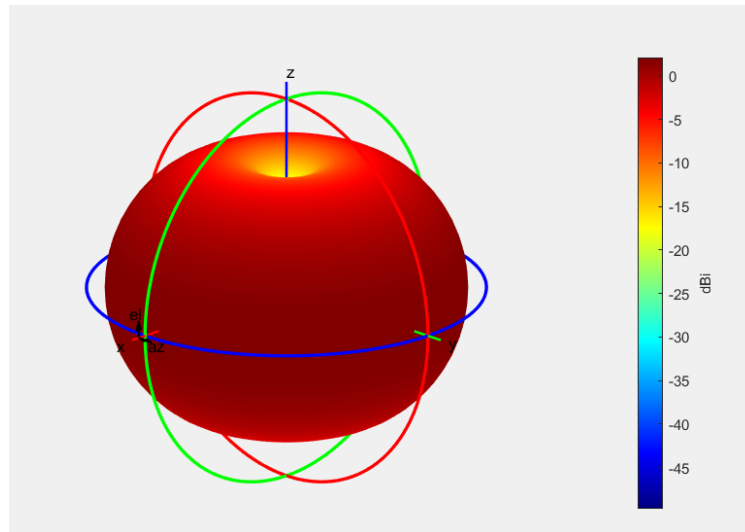
Izvor: Ministarstvo pomorstva prometa i infrastrukture

Lokacija određene bazne stanice uvjetovana je ponajprije mogućnošću pristupa do zamišljene pozicije, a zatim i energetsom i građevinskom infrastrukturuom u koje su uključene različite norme za gradnju i napajanje objekata. Može se zaključiti da spomenuta infrastrukturna problematika u većini slučajeva uvjetuje smještaj, a time i broj potencijalnih baznih stanica kako bi iste održale planiranu pokrivenost određenog područja.

### 5.1. Značajke simulacijskog modela

Uz parametre propagacijskog modela opisane u prethodnom poglavlju, simulacijski model obuhvaća i parametre kao što su dizajn primopredajne antene i gubitke primopredajnika, odnosno prijenosnog voda između primopredajnika i antene. U ovom radu pretpostavljeno je da su prijemna i predajna, odnosno brodska i kopnena antena, jednake. Za simulaciju navedene antene korišten je odgovarajući alat unutar programskog paketa MATLAB. Simulacijski model navedene antene izrađen je na temelju parametara tipične pomorske VHF antene *CX-4*, proizvođača „*AC ANTENNAS*“, čije su električne i mehaničke karakteristike navedene u nastavku. Vrsta navedene antene je dipol antena, koja podržava frekvencijski raspon od 146,0 do 162,5 MHz. Unutar navedenog frekvencijskog raspona

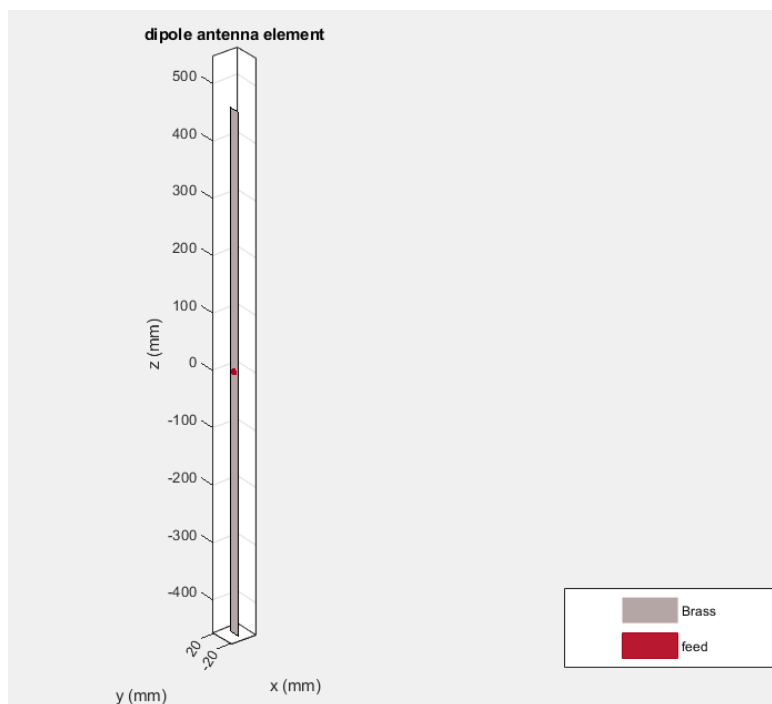
nalazi se i jedna od centralnih frekvencija VDES sustava od 161,0 MHz, koja je korištena kao ulazni parametar u simulacijskom modelu. Antena je vertikalno polarizirana te ima dobitak od 2,15 dBi (0 dBd). Njezina dužina iznosi 1,26 m te posjeduje zaštitu razine IP66. Materijal predajnog/prijemnog elementa antene proizveden je od mjedi. Maksimalna brzina vjetra na kojoj antena mora biti funkcionalna iznosi 200 km/h, dok je temperaturni raspon koji mora zadovoljavati od  $-55^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ . Dijagram zračenja antene prikazan je slikom 22, a maksimalna snaga radio vala za koju se proizvodi antena iznosi 150 W [88].



Slika 22: 3D dijagram zračenja simuliranog dipola

Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB

Dizajn simulirane antene s pripadajućim mjerama i materijalom prikazan je slikom 23. Centralna frekvencija CX-4 antene iznosi 154,25 MHz, što je definirano i u simulacijskom modelu antene, kao i frekvencijski raspon od 146,0 MHz do 162,5 MHz.



Slika 23: Dizajn odašiljačkog/prijemnog elementa antene

Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB

Gubici u prijenosnom vodu od predajnika do antene, odnosno od antene do prijemnika izraženi su putem gubitaka u prijenosnom vodu, odnosno koaksijalnom kabelu koji se standardno koristi u pomorskim VHF sustavima. U ovom radu također je pretpostavljeno da su koaksijalni kabeli na prijemnoj i predajnoj strani jednaki i temelje se na koaksijalnom kabelu tipa RG 214. Tipični gubici za ovaj kabel iznose 10 dB na 100 m dužine, bez gubitaka u spojnim konektorima, koji su u simulacijskom modelu zanemareni. Shodno navedenom, simulirani gubici na predajnoj, odnosno, prijemnoj strani iznose 1,5 dB i 2,5 dB, respektivno, budući da su pretpostavljene dužine prijenosnih vodova od 10 do 30 m. Postoji mogućnost da su dužine prijenosnih vodova i veće i manje od pretpostavljenih, što se u praksi nadoknađuje boljom kvalitetom prijenosnog voda te na taj način smanjuje gubitke. U svrhu dokazivanja pokrivenosti pretpostavljenih pozicija brodova od strane baznih stanica, kao i pokrivenosti pozicija baznih stanica od strane brodova, simulacije su provedene u oba smjera, uz iskustveno pretpostavljene dvije različite visine brodskih antena, ovisno o veličini i vrsti broda. Navedene simulirane antene nalaze se na visinama od 15 i 30 m iznad mora. Nadalje, simulacije su također provedene za tri različite snage VDES predajnika, odnosno, 6,5 W, 11,5 W i 12,5 W, u ovisnosti o dostupnoj modulacijsko-kodnoj tehnici. Također, simulacijskim rezultatima

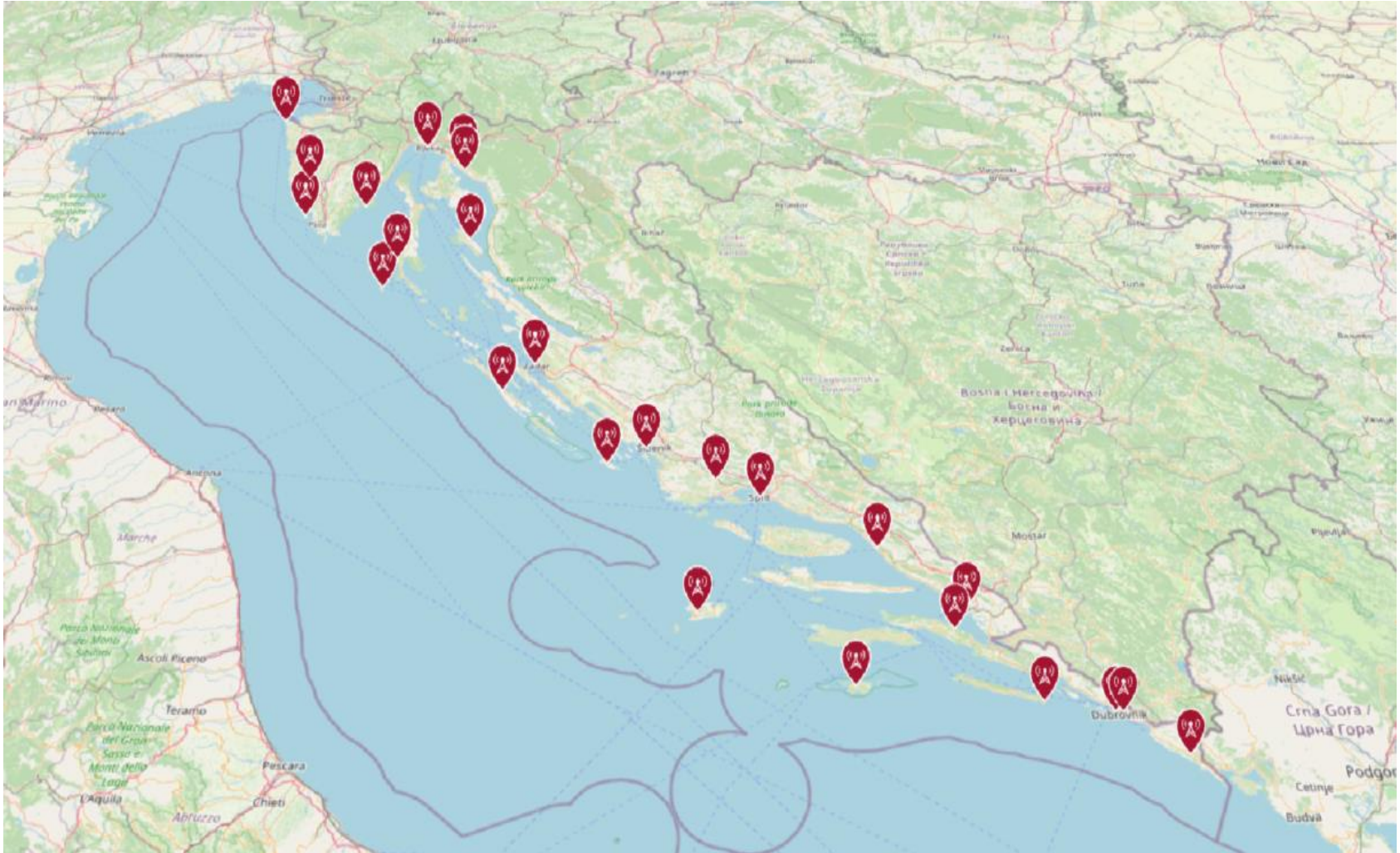


obuhvaćene su i dvije različite varijacije vremena i situacije u vrijednostima od 0,5 i 0,8. Varijacije lokacija nisu obuhvaćene simulacijskim modelom zbog unificiranog propagacijskog puta koji se dominantno nalazi iznad jednolike morske površine te se također u MATLAB programskom paketu izuzima varijacija lokacije iz razloga pojednostavljivanja proračuna za jednoliki propagacijski put i kao takva nije potrebna kao dio ulaznih varijabli za proračun kvalitete bežične veze kao verifikacije simulacijskog modela [53]. Nadalje, varijacija lokacije uključuje promjene malog razmjera na pojedinačnim lokacijama koje nisu relevantne za izračun u ovom radu, odnosno, kompletno područje teritorijalnog mora Republike Hrvatske u većinskom dijelu iznad morske površine. Značajke simulacija koje ostaju nepromijenjene kroz sve iteracije su sljedeće:

- Polarizacija antene: Vertikalna;
- Centralna frekvencija: 161 MHz;
- Provodljivost tla: 5 S/m;
- Permitivnost tla: 70;
- Atmosferska refraktivnost: 320;
- Klimatska zona: Morska, iznad mora.

Potrebno je napomenuti kako je iznos atmosferske refraktivnosti dobiven iz mjesečnih iznosa atmosferske refraktivnosti na razini mora (Slika 19). Vrijednosti permitivnosti i provodljivosti tla odabrane su na temelju [86]. Odabrane vrijednosti odnose se na permitivnost i provodljivost iznad morske površine zbog propagacijskog puta koji se u najvećem djelu nalazi iznad morske površine. Nadalje, simulacijskim rezultatima obuhvaćena je snaga radio vala na pretpostavljenim pozicijama brodskih i baznih stanica koje su u dometu brodova, s obzirom da je jedan od ciljeva ubrzati prikupljanje podataka dijela VTS-a koji se odnosi na praćenje pomorskog prometa pri ulasku brodova u teritorijalno more Republike Hrvatske. Pretpostavljene pozicije brodova su na ravnim djelovima granice teritorijalnog mora Republike Hrvatske međusobno priližno jednakih udaljenosti, dok na djelovima gdje je granica teritorijalnog mora zaobljena, pozicije brodova su odabrane na način da se stvore što nepovoljniji propagacijski uvjeti u vidu udaljenosti od najbliže bazne stanice. S obzirom na raspored potencijalnih VDES stanica, simulacijski rezultati razmatrani su u dva dijela, odnosno, za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana i dio Srednjeg i Južni Jadran, zbog programskog ograničenja nemogućnosti izrade

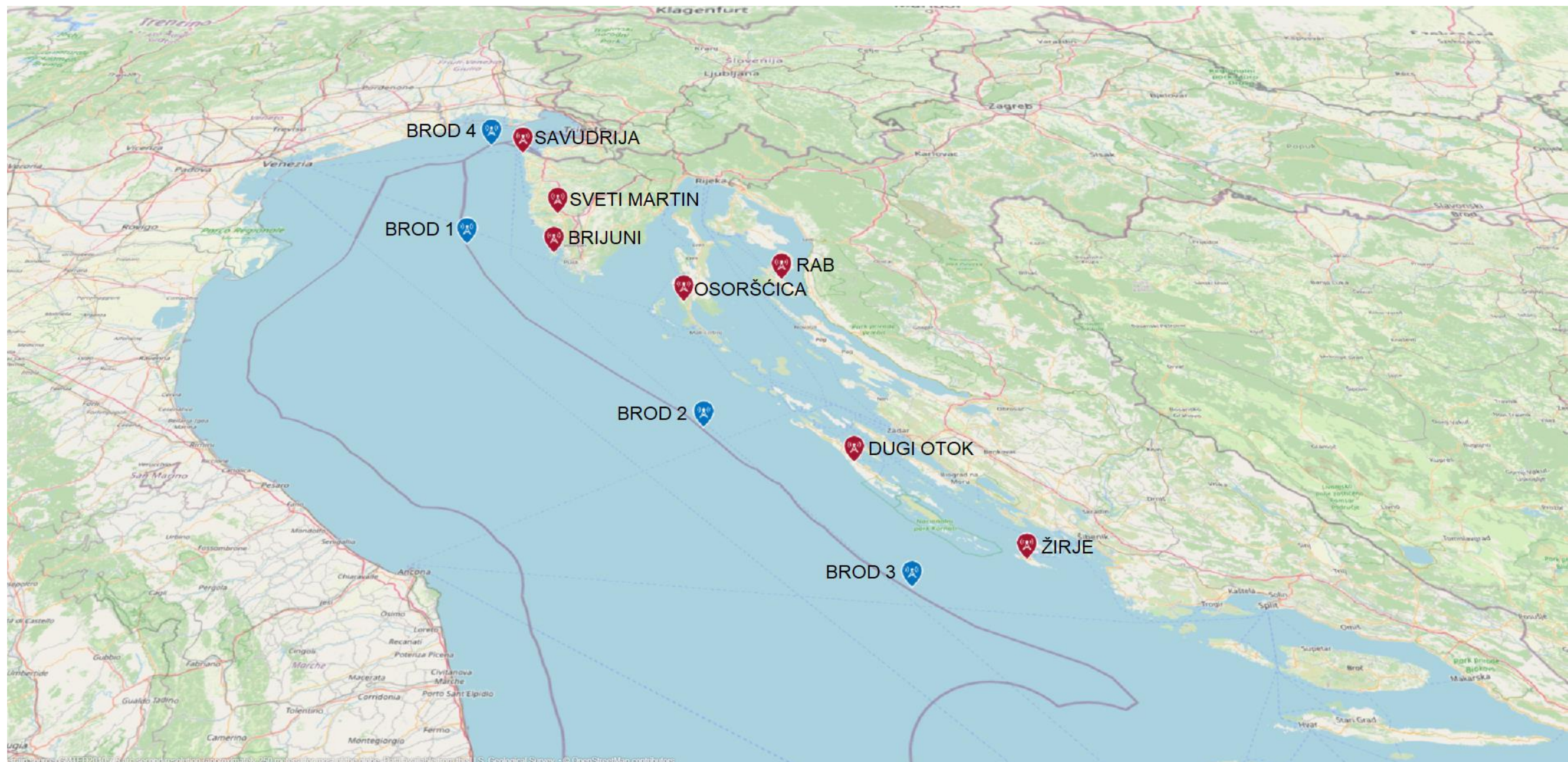
simulacije za dvije pozicije koje su međusobno udaljene 500 km ili više, što je slučaj za bazne stanice Savudrija i Ilijino brdo. Nadalje, osim propagacijskih značajki, u obzir je uzeta i geografska pozicija svake bazne stanice kao i nadmorska visina terena, te visina nosive konstrukcije antene (strukturnalna visina) na određenoj poziciji. Simulacijski rezultati iskazani su u obliku snage radio vala na prijemnoj poziciji izraženoj u dBm, a koriste se kao ulazni podatak validacije simulacijskog modela u narednom poglavlju. Nadalje, u rezultatima simulacije uključeni su gubici u prijenosnim vodovima predajnika i prijemnika, gubici antena, gubici zbog prijeđenog puta, atmosferski uvjeti, električna svojstva Zemljine površine, geografska pozicija i terenska konfiguracija u vidu razlike u visini predajnika i prijemnika te statističke pojave u obliku varijacije vremena i situacije kao faktora propagacije, koje je nemoguće analitički dokazati. Karta na kojoj je prikazan geografski raspored svih baznih stanica temeljena je na otvorenoj geografskoj bazi podataka „OpenStreetMap“, dok je terenski model temeljen na Global Multi-resolution Terrain Elevation Data (GMTED2010 7,5) [89], razvijen 2010. godine od strane Američkog Geološkog društva (engl. *United States Geological Survey*) (Slika 24). Navedeni terenski model izveden je iz različitih izvora podataka o nadmorskoj visini, uključujući opservacije temeljene na satelitima, radarske podatke i druge tehnike daljinskog promatranja. Pruža informacije o nadmorskoj visini na više prostornih razlučivosti, krećući se od približno 250 m do približno 1 km. Ova varijacija u razlučivosti omogućava odabir razine detalja potrebnih za specifične primjene, što je vidljivo i na simulacijskim rezultatima, gdje se pomoću podataka iz GMTED2010 7,5 dolazi do izračuna nadmorske visine za svaku baznu stanicu. Skup ovakvih podataka se koristi u različitim područjima, uključujući geografske informacijske sustave, modeliranje okoliša, hidrologiju, geologiju i mnoge druge.



Slika 24: Razmještaj svih potencijalnih baznih stanica

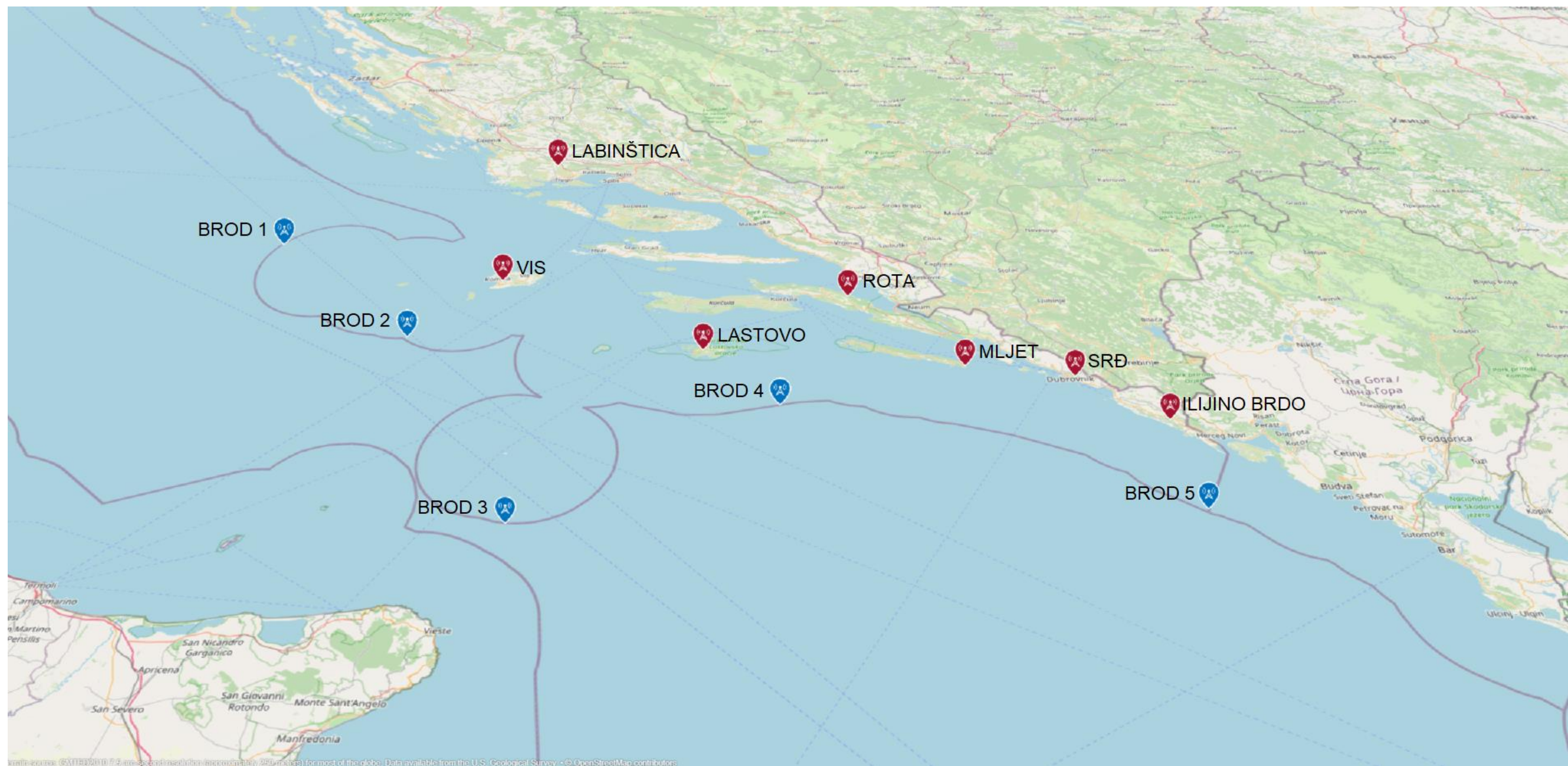
Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB

Simulacijski rezultati, odnosno, snaga radio vala s uračunatim propagacijskim gubicima na pojedinom prijemniku prikazana je u Prilogu 1 za sve iteracije simulacija, dok u proračun kvalitete bežične veze, odnosno, validaciju simulacijskih rezultata ulaze prosjeci snaga izraženi u dBm na pojedinom prijemniku, koji zadovoljavaju uvjet praga osjetljivosti prijemnika te vrijednosti prijernih snaga najviših iznosa. Drugim riječima, u proračun prosjeka snage za određenu prijemnu brodsku ili baznu stanicu koji služi kao ulazni podatak za proračun kvalitete bežične veze ulaze one vrijednosti snaga na prijemu koje zadovoljavaju kriterij praga osjetljivosti prijernika VDES-a. Pragom osjetljivosti prijernika, za tipične VHF sustave, smatra se snaga radio vala od -100 dBm. VDES bazne stanice koje ulaze u proračun označene su pripadajućim imenima, dok su brodske stanice označene brojevima od 1 do 4 za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana te od 1 do 5 za dio Srednjeg i Južnog Jadrana. Za dio Srednjeg i Južnog Jadrana postoji 5 brodova isključivo zbog oblika granice teritorijalnog mora, koja je u dijelu Srednjeg Jadrana nešto složenija. Odabrane pozicije brodova duž granice teritorijalnog mora približno su ekvidistantne te su određene na temelju udaljenosti od pojedine bazne stanice u svrhu postizanja što nepovoljnijih uvjeta propagacije. Obrađeni broj brodova, odnosno, 10 brodova u svim iteracijama i simulacijskim značajkama smatra se dovoljnim iz razloga jednolikog propagacijskog puta iznad morske površine bez prepreka između predajnih i prijernih stanica te u slučaju promjene pozicije pojedinog broda po granici teritorijalnog mora ne može uzrokovati anomalije u snazi elektromagnetskog vala na prijernoj strani u slučaju kada je bazna stanica ili brod u funkciji predajnika kao i za slučaj kada je bazna stanica ili brod u funkciji prijernika. Kao što je već naglašeno, bazne stanice koje sudjeluju u simulacijama i verifikaciji istih su one bazne stanice koje zadovoljavaju uvjet praga prijerna od -100 dBm, dok su bazne stanice koje ne zadovoljavaju spomenuti uvjet izostavljene iz simulacija i verifikacijskog proračuna. Izostavljene bazne stanice većim dijelom se nalaze i pokrivaju unutarnji pojas teritorijalnog mora što nije predmet razmatranja rada. U nastavku je prikazan raspored pretpostavljenih brodskih i baznih stanica u oba slučaja (Slika 25 i Slika 26).



Slika 25: Razmještaj baznih i brodskih stanica - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana

Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB



Slika 26: Razmještaj baznih i brodskih stanica - dio Srednjeg i Južnog Jadrana

Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB

## 5.2. Analiza rezultata simulacija za komunikaciju u smjeru kopno-brod

U prvom dijelu prikazani su rezultati koji se odnose na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana u slučaju kada se simulacija odnosi na baznu stanicu u ulozi predajnika. Analizirane su dvije visine prijemnih brodskih antena, odnosno, visine od 15 metara i 30 metara za varijacije vremena i situacije od 0,5 i 0,8, s predajnim snagama od 6,5 W, 11,5 W te 12,5 W. U daljnjem tekstu se u opisu svake tablice za visinu predajne/prijemne antene koriste simboli  $h_t/h_r$ , dok se za varijacije vremena/situacije koriste simboli  $V_t/V_s$ .

Tablica 26: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske prijemne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-89,0873	-86,6095	-86,2474
Brod 2	-78,2976	-75,8198	-75,4576
Brod 3	-81,8285	-79,3506	-78,9885
Brod 4	-85,3013	-82,8235	-82,4614

Izvor: Izradio autor

Simulacijski rezultati dobiveni su u slučaju kada su bazne stanice u funkciji predajnika pri visini prijemne brodske antene od 15 metara te varijaciji vremena i situacije 0,5 (Tablica 26), dok su simulacijski rezultati prikazani u narednoj tablici dobiveni na temelju visine prijemne brodske antene od 30 metara te istim varijacijama vremena i situacije od 0,5 (Tablica 27).

Tablica 27: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske prijemne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-82,4577	-82,4577	-82,0956
Brod 2	-73,8427	-73,8427	-73,4806
Brod 3	-76,2431	-76,2431	-75,881
Brod 4	-79,371	-79,371	-79,0088

Izvor: Izradio autor

Iz prethodne dvije tablice može se zaključiti kako se većom visinom brodske antene može znatno povećati razina snage na prijemu u slučaju kada je bazna stanica u funkciji predajnika.

U nastavku su prikazani simulacijski rezultati za visine prijemnih brodskih antena od 15 (Tablica 28) i 30 metara (Tablica 29), uz povećane varijacije vremena i situacije od 0,8. Shodno ranije izloženoj teoriji, očekivani rezultati su u vidu smanjenja snage radio vala na prijemnoj strani.

Tablica 28: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske prijemne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-95,7105	-93,2326	-92,8705
Brod 2	-84,6684	-82,1905	-81,8284
Brod 3	-88,1733	-85,6954	-85,3333
Brod 4	-91,8049	-89,3271	-88,965

Izvor: Izradio autor

Tablica 29: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske prijemne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-91,5071	-89,0293	-88,6671
Brod 2	-82,6742	-80,1963	-79,8342
Brod 3	-85,0499	-82,5721	-82,2099
Brod 4	-88,3332	-85,8553	-85,4932

Izvor: Izradio autor

Unatoč padu razine snage na brodskim stanicama, vrijednosti zadovoljavaju kriterij osjetljivosti prijemnika, dok je razlika između gubitaka na 15 m i 30 m manja u odnosu na istovrsne vrijednosti za varijaciju vremena i situacije od 0,5. U nastavku su prikazane iste vrste rezultata za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, odnosno, druga polovica simuliranog sustava kada su bazne stanice u funkciji predajnika s visinom prijemne brodske antene od 15 i 30 metara i varijacijom vremena i situacije od 0,5 (Tablica 30 i Tablica 31).

Tablica 30: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske prijemne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-82,1662	-79,688	-79,3262
Brod 2	-76,8047	-74,327	-73,9647
Brod 3	-88,4549	-85,977	-85,6149
Brod 4	-70,2809	-67,803	-67,4409
Brod 5	-72,9384	-70,461	-70,0985

Izvor: Izradio autor

Tablica 31: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske prijemne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-81,3761	-78,898	-78,5362
Brod 2	-76,7745	-74,297	-73,9345
Brod 3	-86,7496	-84,272	-83,9096
Brod 4	-70,0382	-67,56	-67,1982
Brod 5	-71,6989	-69,221	-68,859

Izvor: Izradio autor



Potrebno je napomenuti kako je na dijelu Srednjeg i Južnog Jadrana u simulaciji pretpostavljeno pet brodova, što je isključivo iz razloga praćenja granice teritorijalnog mora Republike Hrvatske, koja za dio Srednjeg i Južnog Jadrana ima nešto kompleksniji oblik od Sjevernog Jadrana. Nadalje, može se zaključiti, kao i u slučaju Sjevernog Jadrana, snaga na prijemnoj strani ima tendenciju rasta s povećanjem visine antene. Sljedećim simulacijskim rezultatima obuhvaćeno je povećanje varijacije vremena i situacije na 0,8 za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika (Tablica 32 i Tablica 33).

Tablica 32: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske prijemne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-88,8195	-86,342	-85,9795
Brod 2	-83,3724	-80,895	-80,5324
Brod 3	-95,4947	-93,017	-92,6547
Brod 4	-76,5856	-74,108	-73,7456
Brod 5	-79,2924	-76,815	-76,4525

Izvor: Izradio autor

Tablica 33: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske prijemne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Brod 1	-87,9938	-85,516	-85,1539
Brod 2	-83,3216	-80,844	-80,4816
Brod 3	-93,6995	-91,222	-90,8596
Brod 4	-76,3446	-73,867	-73,5046
Brod 5	-78,0459	-75,568	-75,2059

Izvor: Izradio autor

Usporedbom prijemnih snaga na brodovima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana uzimajući u obzir različite varijacije vremena i situacija, može se zaključiti kako je najveća razlika u rezultatima dobivena kada je visina brodske prijemne antene 30 m te varijacija vremena i situacije 0,5 i kada je visina brodske prijemne antene 15 m te varijacija vremena i situacije 0,8, što je u skladu s teoretskim pretpostavkama. Također je vidljivo kako vrijednosti, odnosno prosjeci vrijednosti dobivenih u simulacijama, još uvijek zadovoljavaju kriterij osjetljivosti prijemnika od -100 dBm.

### 5.3. Analiza rezultata simulacija za komunikaciju u smjeru brod-kopno

U sklopu narednih simulacijskih rezultata analizirana je snaga na prijemnicima baznih stanica, kada su brodovi u funkciji predajnika, također za dvije različite visine antena od 15 metara i 30 metara, kao i dvije različite varijacije vremena i situacije od 0,5 i 0,8. Nadalje, prikazane su isključivo bazne stanice čiji prosjek primljene snage zadovoljava prag osjetljivosti prijemnika. Valja napomenuti kako u simulacijskim rezultatima sada nema brodova, jer su isti u funkciji predajnika, dok su prikazane bazne stanice s navedenim kriterijem praga osjetljivosti. Sljedeći skup simulacijskih rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana s visinama brodskih predajnih antena od 15 i 30 m te varijacijom vremena i situacije od 0,5 (Tablica 34 i Tablica 35).

Tablica 34: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske predajne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Osorščica	-81,5471413	-79,0693	-78,7072
Sv. Martin	-87,2947592	-84,8169	-84,4548
Dugi Otok	-79,9306628	-77,4528	-77,0907
Žirje	-83,5918701	-81,114	-80,7519
Rab	-87,430214	-84,9524	-84,5902
Brijuni	-91,8793466	-89,4015	-89,0394
Savudrija	-83,3078953	-80,8301	-80,4679

Izvor: Izradio autor

Tablica 35: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske predajne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Osorščica	-79,9541568	-77,4763	-77,1142
Sv. Martin	-85,7558875	-83,278	-82,9159
Dugi Otok	-77,9692659	-75,4914	-75,1293
Žirje	-78,0343075	-75,5565	-75,1293
Rab	-84,8618052	-82,384	-82,0218
Brijuni	-86,0730601	-83,5952	-83,2331
Savudrija	-77,9417135	-75,4639	-75,1017

Izvor: Izradio autor

U skladu s prethodnim simulacijskim rezultatima, vidljivo je kako se povećanjem visine predajne brodske antene povećava snaga na prijemu baznih stanica koje su u dometu pojedinog broda. Uspoređivanjem s rezultatima sa slučajem baznih stanica u funkciji predajnika ne postoje veća odstupanja u rezultatima, što potvrđuje pokrivenost sustava u oba smjera.

U sljedećoj skupini rezultata prikazane su razine prijemnih snaga za iste pozicije brodova i baznih stanica s povećanim varijacijama vremena i situacije na 0,8 (Tablica 36 i Tablica 37).

Tablica 36: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske predajne antene = 15 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Osoršćica	-88,1837872	-85,7059	-85,3438
Sveti Martin	-93,950442	-91,4726	-91,1105
Dugi Otok	-86,2972951	-83,8195	-83,4573
Žirje	-89,9106256	-87,4328	-87,0707
Rab	-94,2501023	-91,7723	-91,4101
Brijuni	-98,2314379	-95,7536	-95,3915
Savudrija	-89,6594474	-87,1816	-86,8195

Izvor: Izradio autor

Tablica 37: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske predajne antene = 30 m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Osoršćica	-86,5449699	-84,0671	-83,705
Sveti Martin	-92,3570622	-89,8792	-89,5171
Dugi Otok	-84,3168938	-81,839	-81,4769
Žirje	-84,3400943	-81,8622	-81,5001
Rab	-91,6046501	-89,1268	-88,7647
Brijuni	-92,3986056	-89,9208	-89,5586
Savudrija	-84,3092687	-81,8314	-81,4693

Izvor: Izradio autor

Povećanjem varijacije vremena i situacije na 0,8 vidljiv je pad razine snage na prijemnicima baznih stanica, sukladno teoretskim pretpostavkama te u isto vrijeme povećanje prijemne snage s povećanom visinom brodske predajne antene na 30 m za istu varijaciju vremena i situacije od 0,8. Shodno prethodnim simulacijskim rezultatima, niže su prikazani simulacijski rezultati za dio Srednjeg i Južnog Jadrana u slučaju kada su brodovi u funkciji predajnika, a bazne stanice u funkciji prijemnika (Tablica 38 i Tablica 39).

Tablica 38: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske predajne antene = 15m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Labinštica	-84,7836	-82,3057	-81,9436
Vis	-81,5842	-79,1064	-78,7442
Mljet	-100,802	-98,3242	-97,9621
Lastovo	-82,6806	-80,2027	-79,8406

Ilijino Brdo	-80,0869	-77,6091	-77,247
Rota	-72,0759	-69,598	-69,2359
Srđ	-83,3415	-80,8637	-80,5015

Izvor: Izradio autor

Tablica 39: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Visina brodske predajne antene = 30m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Labinštica	-84,8988	-82,4209	-82,0588
Vis	-80,2408	-77,763	-77,4009
Mljet	-95,9636	-93,4858	-93,1237
Lastovo	-81,2787	-78,8009	-78,4388
Ilijino Brdo	-79,7164	-77,2385	-76,8764
Rota	-72,0798	-69,602	-69,2399
Srđ	-80,9423	-78,4645	-78,1024

Izvor: Izradio autor

Iz prikazanih simulacijskih rezultata vidljiv je trend povećanja snage, s povećanjem visine antene, dok spomenuti trend nije opažen za prijemnu snagu bazne stanice Labinštica, gdje se može vidjeti zanemarivo odstupanje snage na niže, s povećanjem visine antene, dok je za ostale bazne stanice prisutan otprije ustanovljeni trend. Također se može primijetiti kako je bazna stanica Mljet na granici osjetljivosti prijemnika za slučaj visine brodske predajne antene od 15 m. Za slučaj povećanja varijacije vremena i situacije na 0,8, prikazani su sljedeći simulacijski rezultati (Tablica 40 i Tablica 41).

Tablica 40: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južni Jadran,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske predajne antene = 15m	6,5 W	11,5 W	12,5 W
Labinštica	-91,5712	-89,0933	-88,7312
Vis	-88,3975	-85,9197	-85,5576
Mljet	-108,279	-105,801	-105,439
Lastovo	-89,473	-86,9952	-86,633
Ilijino Brdo	-86,999	-84,5211	-84,159
Rota	-78,3697	-93,4946	-75,5298
Srđ	-90,0194	-87,5416	-87,1795

Izvor: Izradio autor

Tablica 41: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južni Jadran,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

Visina brodske predajne antene = 30m	6,5W	11,5 W	12,5 W
Labinštica	-91,6461	-89,1682	-88,8061
Vis	-86,9965	-84,5186	-84,1565
Mljet	-103,216	-100,738	-100,376
Lastovo	-88,0071	-85,5293	-85,1671

Ilijino Brdo	-86,5731	-84,0952	-83,7331
Rota	-78,3726	-75,8948	-75,5327
Srđ	-87,5646	-85,0867	-84,7246

Izvor: Izradio autor

Usporedbom posljednjih simulacijskih rezultata s rezultatima za definirane varijacije vremena i situacije od 0,5, može se vidjeti jednaki trend u prijemnim snagama baznih stanica. Također, vidljiv je daljnji pad snage na baznoj stanici Mljet, čija snaga pada ispod definiranog praga osjetljivosti. Usporedbom rezultata za baznu stanicu Labinštica, vidljiv je jednak trend zanemarivog porasta prijemne snaga na manjoj visini antene, što je slučaj i u simulacijskim rezultatima dobivenim za varijaciju vremena i situacije od 0,5. U sklopu svih prethodnih prikazanih rezultata obuhvaćena je distribucija snage elektromagnetskog vala u slučajevima baznih stanica u funkciji predajnika i brodskih stanica u funkciji predajnika. Prikazani rezultati koriste se kao ulazni podaci u svrhu evaluacije kvalitete bežične veze i validacije ostvarivih brzina prijenosa podataka u predloženom VDES radiokomunikacijskom sustavu u narednom poglavlju.

## 6. VREDNOVANJE REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Simulacijski rezultati iz prethodnog poglavlja iskorišteni su za dokazivanje potencijalnih brzina prijenosa podataka unutar VDES radiokomunikacijskog sustava. Rezultati su obrađeni na način da se dobivene snage radiovalova na pozicijama prijemnika koriste za proračun kvalitete bežične veze (engl. *link budget*) na pozicijama brodova, odnosno, baznih stanica. Proračun kvalitete bežične veze jedan je od temeljnih procesa u projektiranju i vrednovanju radiokomunikacijskih sustava, što obuhvaća analizu parametara poput snage predajnika, gubitaka propagacije radio valova, antenskog sustava predajnika i prijemnika, gubitka na prijenosnim linijama i spojevima, udaljenosti između predajnika i prijemnika, frekvencije vala nosioca, šuma u prijemniku, širine kanala. Uz postojeće rezultate simulacijskog modela, koji uključuje gubitke zbog prijeđenog puta, model komunikacijskog kanala koji uključuje i snagu termalnog šuma, a koristi se za proračune kvalitete veze u komunikacijama, jest aditivni bijeli Gaussov šum (engl. *Additive white Gaussian noise - AWGN*). Navedeni model je često korišten matematički model za karakterizaciju šuma. Pojam aditivni označava dodavanje šuma originalnom signalu koji putuje kroz komunikacijski kanal, odnosno, označava da je primljeni signal zbroj signala poslanog iz predajnika i šuma. Bijeli šum je vrsta šuma koji ima konstantnu spektralnu gustoću snage na svim frekvencijama, dok se pojam Gaussov, odnosi na sumpu šuma koja slijedi Gaussovu, odnosno, normalnu distribuciju. AWGN model komunikacijskog kanala je ključan u dizajnu komunikacijskog sustava, jer omogućava određivanje odnosa signala i šuma, kao i ponašanje komunikacijskog sustava u prisutnosti šuma na različitim temperaturama. Model AWGN kanala, odnosno, odnos energije po simbolu i spektralne gustoće šuma  $E_s/N_0$  na AWGN kanalu polazišna je točka za određivanje kvalitete kanala prema [5] i osnovni uvjet za odabir partikularne modulacijsko-kodne tehnike koja će se koristiti pri prijenosu podataka. Različite modulacijsko-kodne tehnike omogućavaju različite brzine prijenosa podataka, ovisno o utvrđenoj kvaliteti komunikacijskog kanala.

U proračunima potencijalne brzine prijenosa podataka za brodsku odnosno baznu stanicu, spomenuti omjer pretvoren je u omjer energije po podatkovnom bitu i spektralne gustoće snage šuma  $E_b/N_0$ . Proračun kvalitete bežične veze zahtijeva višekriterijski pristup, koji obuhvaća parametre predajne i prijemne antene, što je obuhvaćeno modeliranjem dipol antene u prethodnom poglavlju, utjecaj područja i medija rasprostiranja radiovalova, što je također obuhvaćeno simulacijama na tri različite

predajne snage i u različitim propagacijskim uvjetima unutar prethodnog poglavlja te odnos snaga signala i šuma, što je predmet ovog poglavlja. Drugim riječima, prikazan je utjecaj navedenih parametara na kvalitetu bežične veze, odnosno ostvarive brzine prijenosa podataka. Proračunom kvalitete bežične veze, može se nazvati i karakteriziranje čimbenika bežične veze u kvantitativnom smislu, gdje su glavni ciljevi maksimizirati brzinu prijenosa podataka  $R_{bit}$ , minimizirati učestalost pojave greški  $BER$  (engl. bit error rate), minimizirati potrebnu energiju po prenesenom bitu u odnosu na spektralnu gustoću šuma  $E_b/N_0$ , kao i minimizirati potrebnu širinu kanala  $B_w$ , kako bi se postigla što bolja spektralna učinkovitost.

Snaga termalnog šuma je definirana [90]:

$$N = kT_s B_w, \quad (123)$$

gdje je  $k$  Boltzmann-ova konstanta u iznosu  $1,38 \cdot 10^{-23}$  u J/K,  $T_s$  je temperatura šuma u K, a  $B_w$ , širina kanala u Hz. U vidu odnosa snaga signala i šuma, za digitalne komunikacijske sustave definiran je odnos energije po odaslanom simbolu  $E_s$  prema spektralnoj gustoći snage šuma  $N_0$  u uvjetima AWGN kanala, koji je potrebno zadovoljiti kako bi se postigla odgovarajuća brzina prijenosa podataka. Energija po simbolu zadana je iz razloga korištene modulacije i tehnike kodiranja u kojoj se u jednom moduliranom simbolu može prenijeti više bitova ovisno o razini odabrane modulacije. Spomenuti odnos može se definirati izrazom 124 u decibelima [90]:

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log_{10}(N_{bps} \cdot R), \quad (124)$$

gdje je omjer  $E_b/N_0$  u decibelima, dok je  $N_{bps}$  jednak broju bitova po simbolu, a  $R$ , omjer kodiranja.

Shodno gornjem izrazu, za  $E_b/N_0$  u decibelima, vrijedi sljedeće:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{E_s}{N_0} - 10 \log_{10}(N_{bps}) - 10 \log_{10}(R), \quad (125)$$

gdje je omjer  $E_s/N_0$  u decibelima.

Omjer  $E_b/N_0$  može se izraziti i na sljedeći način, koji uključuje i omjer snaga signala i šuma, a koji je potreban u sljedećim proračunima [90]:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} \cdot \frac{B_w}{R_{bit}}, \quad (126)$$

gdje je  $B_w$  širina kanala u Hz, a  $R_{bit}$  brzina prijenosa podataka u bit/s, a podaci na koje se navedena brzina odnosi, su podaci bez dodanog zaštitnog kodiranja. Shodno prethodnom izrazu, za omjer signal-šum vrijedi izraz 127 [90]:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} \cdot \frac{R_{bit}}{B_w}. \quad (127)$$

Ako se navedeni izraz prikaže u decibelima vrijedi izraz 128 [90]:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log_{10} \left( \frac{R_{bit}}{B_w} \right), \quad (128)$$

gdje je  $E_b/N_0$  u decibelima. Odnos signal šum na prijemu, potreban za održavanje definiranog odnosa  $E_b/N_0$  u decibelima određen je izrazom 129 [90]:

$$\frac{C}{N} = C - N, \quad (129)$$

gdje je  $N$  snaga termalnog šuma u decibelima, koja je definirana u prethodno navedenim izrazima, a  $C$  snaga radio vala u decibelima na prijemnoj strani s uračunatim prijenosnim gubicima.

U sklopu vrednovanja simulacijskog modela, odnosno, analize ostvarivih brzina u radiokomunikacijskom sustavu, provedena je analiza na temperaturi termalnog šuma od 290 K koja je standardni odabir u proračunima kvalitete bežične veze [91], dok je rezultat analize numerički iskazan u obliku odnosa energije po bitu i spektralne gustoće šuma  $E_b/N_0$  u dB. Ulazni podatak pri izračunu navedenog odnosa jest odnos signal šum  $C/N$  za čiji izračun se koristi simulacijski rezultat iz prethodnog poglavlja, odnosno tablično iskazani prosjeci snaga  $C$  iskazanim u dBm s uračunatim propagacijskim gubicima. Detaljan prikaz rezultata izračuna nalazi se u Prilogu 2 ovog rada gdje je vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  prikazana za svaku od tri moguće širine kanala VDES sustava. U svrhu utvrđivanja ekvivalentnog iznosa  $E_b/N_0$ , prema zadanim iznosima  $E_s/N_0$  u sklopu [5], u nastavku je prikazan pregled istih s pripadajućim modulacijama i omjerima kodiranja (Tablica 42).



Tablica 42: Ekvivalenti odnosa energije po simbolu/bitu i spektralne gustoće šuma sa značajkama modulacije i kodiranja

LINK ID	$E_s/N_0$ [dB]	$E_b/N_0$ [dB]	MODULACIJA	OMJER KODIRANJA
12	1,000	1	PI/4 QPSK	1/2
13	7,900	4,378174819	8 PSK	3/4
14	10,100	5,328787453	16 QAM	3/4
15	1,000	1	PI/4 QPSK	1/2
16	7,900	4,378174819	8 PSK	3/4
17	10,100	5,328787453	16 QAM	3/4
18	1,000	1	PI/4 QPSK	1/2
19	7,900	4,378174819	8 PSK	3/4
11	10,100	5,328787453	16 QAM	3/4

Izvor: Izradio autor prema [5]

Prema izrazu 126 za odnos  $E_b/N_0$ , vidljivo je kako su obvezni ulazni podaci širina komunikacijskog kanala u Hz te brzina prijenosa informacija u bit/s kao i omjer zaštitnog kodiranja. U nastavku je prikazan pregled mogućih širina kanala i brzina prijenosa (Tablica 43) koji su korišteni u proračunu.

Tablica 43: Širine komunikacijskog kanala i pripadajuće brzine prijenosa informacija s definiranim šumovima

ŠIRINA KANALA [Hz]	BRZINA PRIJENOSA [bit/s]	ŠUM PRIJEMNIKA - NF [dB]	TERMALNI ŠUM - N [dB]
25000	38400	7	-159,9978291
25000	57600	7	-159,9978291
25000	76800	7	-159,9978291
50000	76800	7	-156,9875291
50000	115200	7	-156,9875291
50000	153600	7	-156,9875291
100000	153600	7	-153,9772292
100000	230400	7	-153,9772292
100000	307200	7	-153,9772292

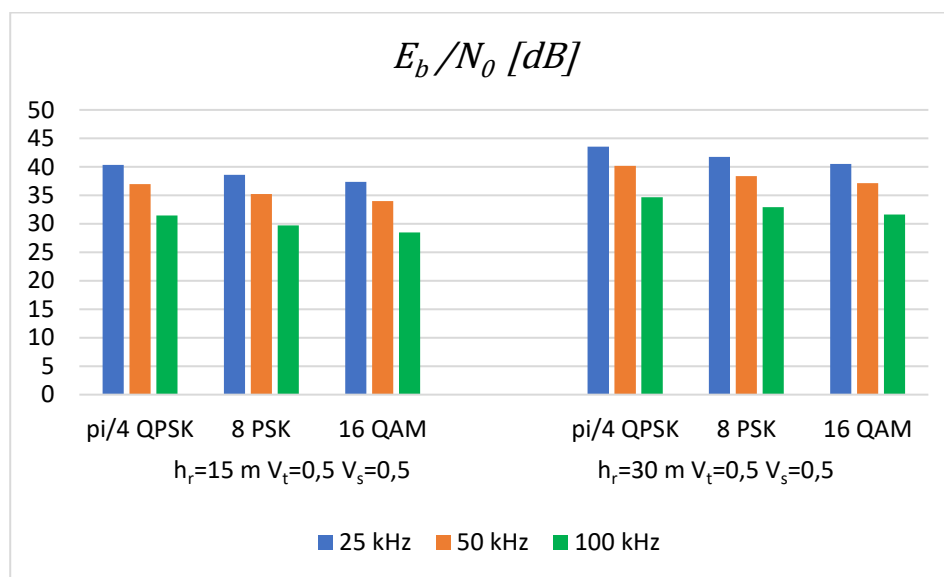
Izvor: Izradio autor prema [5]

Potrebno je napomenuti kako je u proračun odnosa  $E_b/N_0$  uključen i šum prijemnika (engl. Noise Figure - NF), koji svaki prijemnik unosi u primljeni signal zbog termalnog šuma vlastitih komponenti. Spomenuti šum iznosi 7 dB za sve proračune u ovom radu (Tablica 43). Šum prijemnika nastaje uslijed značajnog povećanja temperature prijemnika, koje ovisi o unutarnjem dizajnu te izboru dostupnih komponenti korištenih tijekom projektiranja prijemnika. Tipičan iznos termalnog šuma VDES VHF prijemnika definiran je u iznosu od 6 dB [5]. U ovom radu definiran je iznos od 7 dB u svrhu analize

nepovoljnije situacije. Uz šum prijemnika, u proračun je uključen i već spomenuti termalni šum komunikacijskog kanala koji odgovara temperaturi od 290 K te je definiran tablici 43.

### 6.1. Rezultati proračuna kvalitete bežične veze za komunikaciju u smjeru kopno-brod

Grafovi predstavljaju prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  na pripadajućim širinama kanala te su podijeljeni u dva dijela, gdje se lijeva strana odnosi na visinu prijemne/predajne antene od 15 m, a desna strana na visinu prijemne ( $h_r$ )/predajne ( $h_t$ ) antene od 30 m. Ispod svakog skupa grafova detaljno su prikazani i iznosi varijacije vremena  $V_t$  i varijacije situacije  $V_s$ . Prvi prikazani rezultati proračuna odnose se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana kada su bazne stanice u funkciji predajnika (Slika 27).

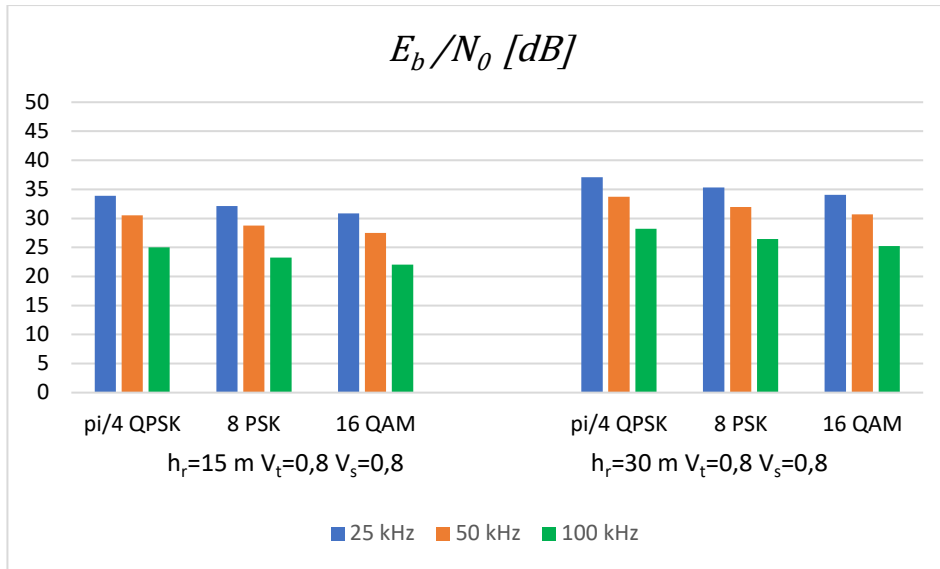


Slika 27: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika

Izvor: Izradio autor

Iz prikazanih rezultata vidljivo je kako dominantan utjecaj na vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  ima visina predajne, odnosno, prijemne antene što potvrđuje teoretske pretpostavke o propagaciji elektromagnetskih valova na VHF frekvencijskom području. Nadalje, vidljivo je kako povećanjem varijacije vremena i situacije isto tako dolazi do smanjenja vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$ . Ukoliko se analiziraju isključivo rezultati promjene visine brodske prijemne antene, vidljivo je smanjenje vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  za 3 dB, dok je najveća razlika u vrijednostima odnosa  $E_b/N_0$  vidljiva pri promjeni visine brodske prijemne antene na 15 m i povećanju varijacije vremena i situacije na 0,8, kada vrijednost odnosa  $E_b/N_0$ , u usporedbi s visinom brodske prijemne antene od 30 m i varijacije vremena i situacije od 0,5, opada za 10 dB (Slika 28). Potrebno je naglasiti kako se u VDES uređaju

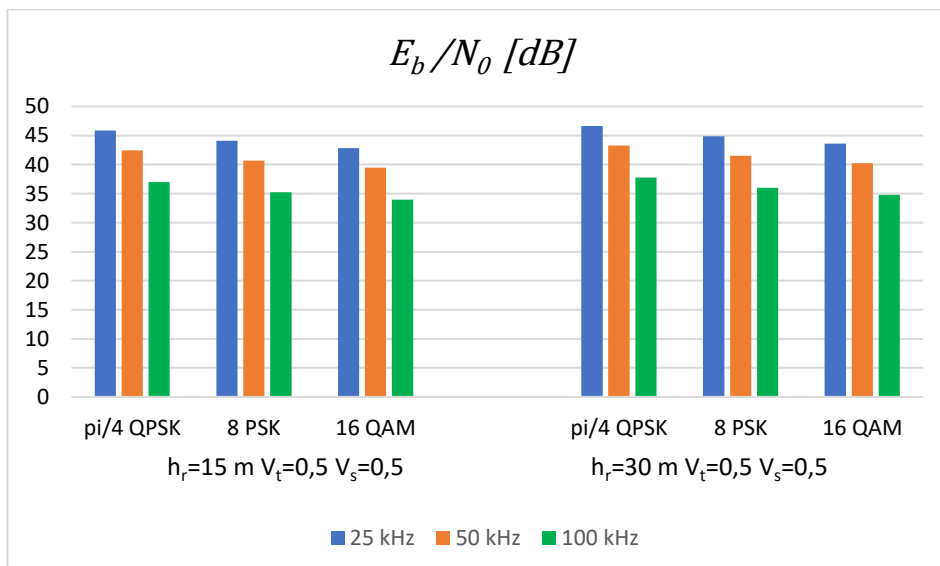
za različite modulacijske tehnike koristi različite predajne snage, što također utječe na vrijednost odnosa  $E_b/N_0$ , što je opisano u Poglavlju 2 ovog rada.



Slika 28: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije

Izvor: Izradio autor

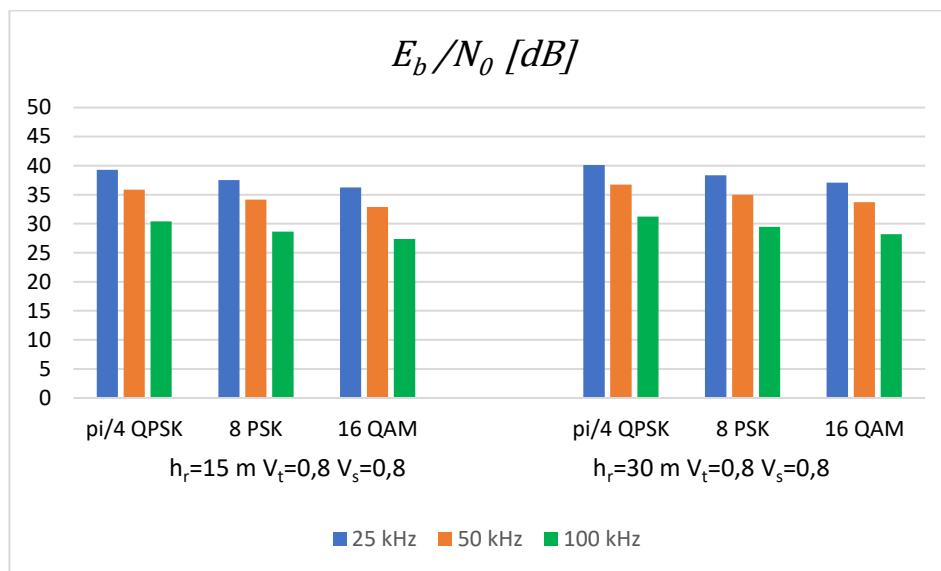
Naredni rezultati proračuna odnose se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su bazne stanice također u funkciji predajnika (Slika 29) na obje definirane visine i varijacije vremena i situacija od 0,5.



Slika 29: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika

Izvor: Izradio autor

Kao i u Sjevernom i dijelu Srednjeg Jadrana može se zaključiti kako je vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  zadovoljavajuća s obzirom na minimalne vrijednosti istaknute u ranijoj analizi sustava. Potrebno je napomenuti kako se usporedbom rezultata za slučaj odašiljanja baznih stanica za oba proračunska dijela može zaključiti kako su prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  nešto više za dio Srednjeg i Južnog Jadrana čemu je razlog razmještaj baznih stanica navedenim dijelovima Jadrana. Ukoliko se promatraju vrijednosti s povećanim varijacijama vremena i situacije na 0,8 za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, sukladno prethodnom primjeru dolazi do snižavanja prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  (Slika 30). Usporedbom s istovrsnim rezultatima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, također su dobivene više vrijednosti iz već spomenutih razloga.



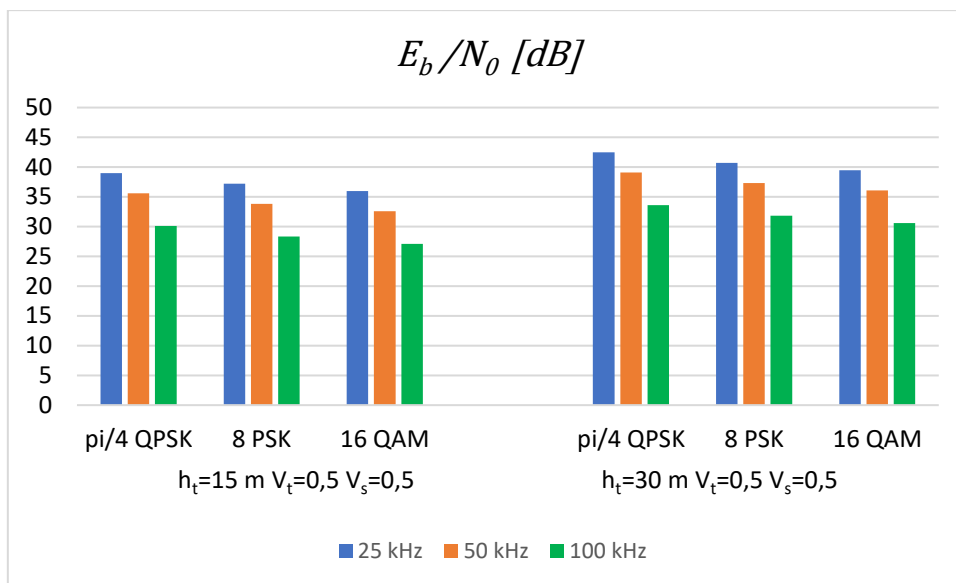
Slika 30: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije

Izvor: Izradio autor

Usporedbom svih do sada prikazanih rezultata, dokazano je kako u slučaju komunikacije u smjeru kopno-brod postoji mogućnost za održavanje, odnosno, komunikaciju u svim režimima VDES-a prema brodovima na pretpostavljenim pozicijama.

## 6.2. Rezultati proračuna kvalitete bežične veze za komunikaciju u smjeru brod-kopno

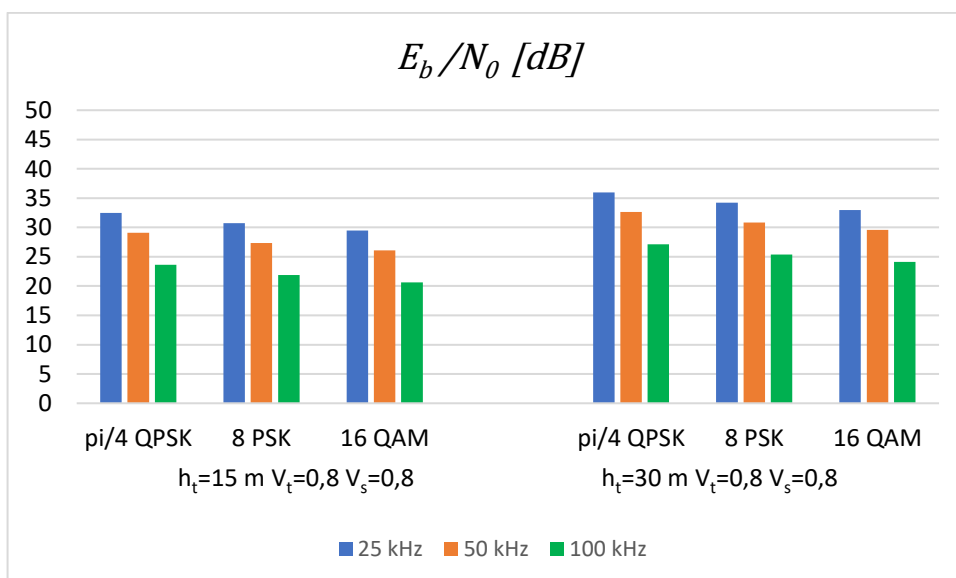
U nastavku su predloženi rezultati proračuna za slučaj kada je brodska stanica u funkciji predajnika. Spomenute rezultate potrebno je analizirati u svrhu dokazivanja obostrane pokrivenosti područja, kako od strane baznih stanica, tako i od strane brodskih stanica. Prvi prikazani rezultati odnose se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana.



Slika 31: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – brodske stanice u funkciji predajnika

Izvor: Izradio autor

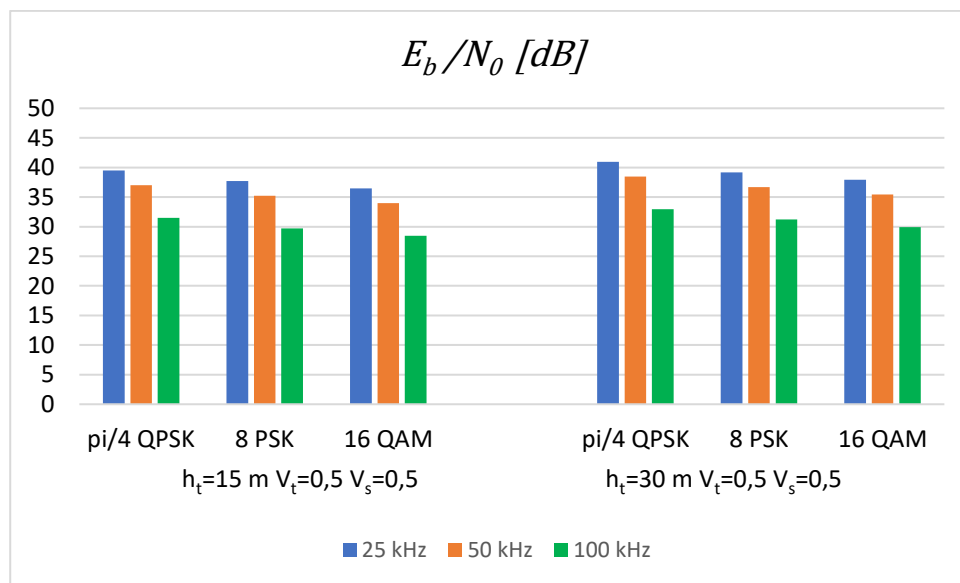
Usporedbom rezultata sa slučajem kada su bazne stanice u funkciji odašiljača može se primijetiti kako je vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  niža u prosjeku za 2 dB, za obje visine brodske predajne antene. Uslijed povećanja varijacije vremena i situacije na 0,8, sukladno prethodnim rezultatima dolazi do snižavanja vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  (Slika31 i Slika 32).



Slika 32: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – brodske stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije

Izvor: Izradio autor

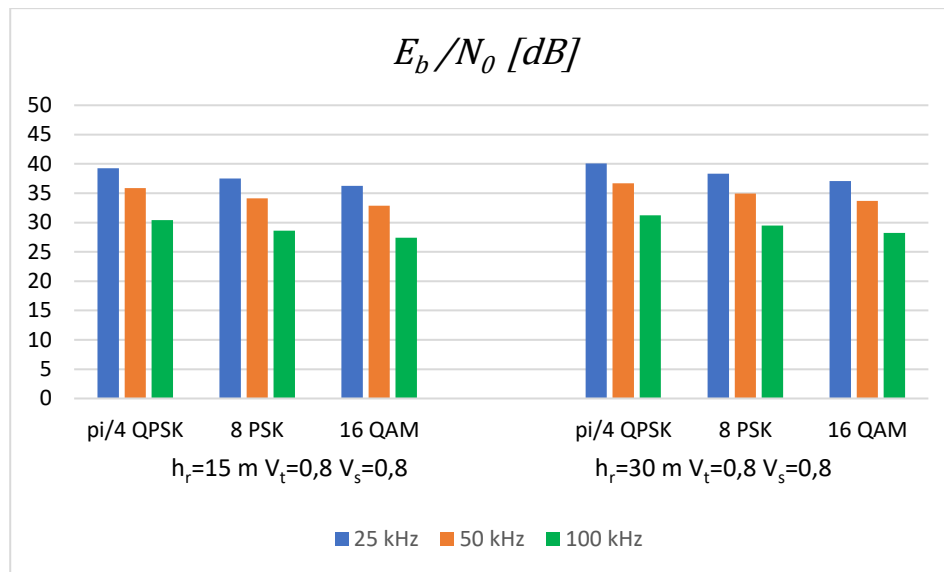
Usporedbom s rezultatima prikazanim za slučaj bazne stanice u funkciji predajnika i istim varijacijama vremena i situacije, također dolazi do nešto niže vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$ , dok je razlika manja za prosječno 1 dB u odnosu na slučaj s varijacijama vremena i situacije od 0,5 za obje visine brodske predajne antene. Ukoliko se usporede prethodne dvije skupine rezultata, odnosno, isključivo povećanje varijacije vremena i situacije na 0,8, vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  snižava se za prosječno za 6 dB. Narednim rezultatima obuhvaćen je dio Srednjeg i Južnog Jadrana s varijacijama vremena i situacije od 0,5 (Slika 33).



Slika 33: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  - dio Srednjeg i Južnog Jadrana- brodske stanice u funkciji predajnika

Izvor: Izradio autor

Usporedbom rezultata za slučaj kada je bazna stanica u funkciji predajnika, za dio Srednjeg i Južnog Jadrana vidljiva je razlika u vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  od 6 dB za iste varijacije vremena i situacije. U sljedećoj skupini rezultata obuhvaćeno je povećanje varijacije vremena i situacije na 0,8 (Slika 34).



Slika 34: Prosječne vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$  - dio Srednjeg i Južnog Jadrana- brodske stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije

Izvor: Izradio autor

Sukladno prethodnim skupinama rezultata, s povećanjem varijacije vremena i situacije dolazi do dodatnog snižavanja vrijednosti odnosa  $E_b/N_0$ . Potrebno je napomenuti kako je razlika u dobivenim rezultatima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana uvećana, odnosno za razlike u vrijednostima odnosa  $E_b/N_0$  koje nastaju isključivo povećanjem varijacije vremena i situacije u dijelu Srednjeg i Južnog Jadrana i iznose do 6 dB, za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana navedena razlika iznosi do 2 dB. Prikazom svih prethodnih rezultata analize kvalitete bežične veze obuhvaćen je vanjski dio obale hrvatskog dijela Jadrana za slučajeve baznih stanica u funkciji predajnika i brodskih stanica u funkciji predajnika. Usporedbom prikazanih rezultata, može se zaključiti kako uz visinu predajne/prijemne antene, utjecaj na vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  imaju i varijacija vremena i situacije kao značajke simulacije. Uz navedene čimbenike, utjecaj ima i širina komunikacijskog kanala s čijim povećanjem opada vrijednost odnosa  $E_b/N_0$ . Iz svih prikazanih rezultata vidljivo je kako povećanjem širine kanala vrijednost odnosa  $E_b/N_0$  opada za do 6 dB.

Za učinkovito planiranje VDES radiokomunikacijskog sustava, važno je uzeti u obzir ne samo rezultate dobivene simulacijama, već i potrebu za dodatnom rezervom (engl. fade margin) koja kompenzira gubitke koji nisu obuhvaćeni simulacijama. Ovi dodatni gubici uključuju, primjerice, polarizacijske gubitke koji nastaju zbog nagiba broda tijekom plovidbe. Planiranje sustava sa dodatnom rezervom pomaže u osiguravanju učinkovitog funkcioniranja unatoč određenim nepredvidivim čimbenicima.

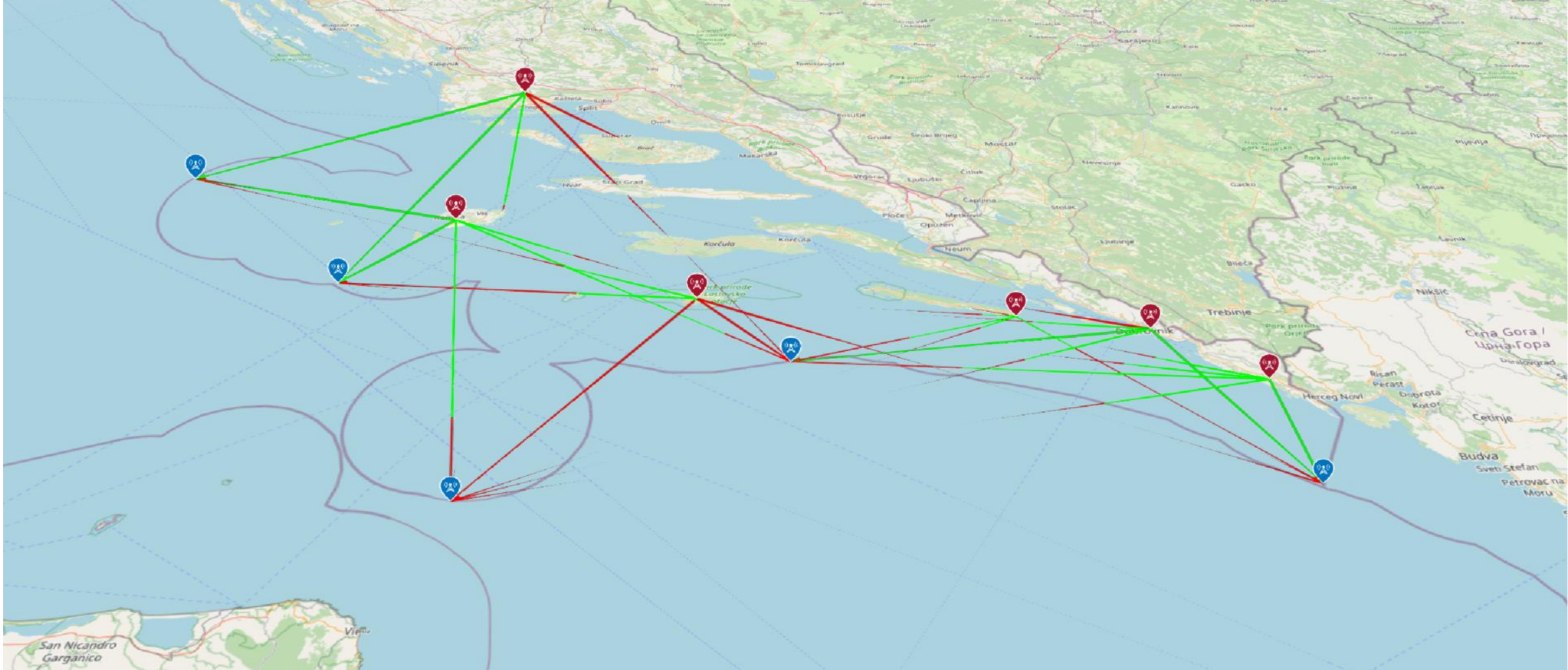
Provedena simulacija uključuje VDES bazne stanice i brodove, demonstrirajući uvjete direktne propagacije signala. Cilj simulacije bio je pokazati da su svi brodovi u uvjetima direktne vidljivosti (engl. line of sight - LOS) s barem jednom baznom stanicom (Slika 35 i Slika 36). Simulacija koristi tzv. LOS funkciju koja vizualno predstavlja direktne propagacijske puteve zelenom linijom, dok crvena linija ukazuje na prepreke koje onemogućavaju direktan prijenos signala između dva entiteta u sustavu.

Ova metoda omogućava projektantima dublje razumijevanje dinamike i izazova koji prate projektiranje VDES radiokomunikacijskih sustava, posebno u kontekstu varijabilnih i nepredvidivih uvjeta na moru. Uzimajući u obzir dodatne gubitke i primjenjujući rezultate simulacije, moguće je optimizirati planiranje i osigurati pouzdanost komunikacije među brodovima i baznim stanicama, što je ključno za sigurnost i efikasnost pomorskog prometa.

Važnost preciznog planiranja i razumijevanja svih aspekata radiokomunikacijskog sustava ne može se dovoljno naglasiti. Uključivanje realističnih pretpostavki o gubicima i direktnoj propagaciji ključno je za razvoj robusnih, pouzdanih i efikasnih radiokomunikacijskih sustava.







Slika 36: Uvjeti direktne propagacije za dio Srednjeg i Južnog Jadrana

Izvor: Izradio autor u sklopu programskog alata MATLAB

Uvidom u rezultate tzv. LOS simulacije, može se uočiti da uvjeti za direktan prijenos signala između baznih stanica i brodova generalno postoje na svim predviđenim lokacijama, što ukazuje na visoku efikasnost i pouzdanost planiranog radiokomunikacijskog sustava u većini slučajeva. Međutim, primjećuje se iznimka kod pozicije Broda 3, koji se nalazi u području dijela Srednjeg i Južnog Jadrana, gdje uvjeti za direktan prijenos signala nisu uvijek zadovoljeni zbog geografskih okolnosti.

Unatoč ovom izazovu, rezultat analize pokazuje da je razina prijemne snage na lokaciji Broda 3 ipak dovoljna za uspostavu i održavanje stabilne i kvalitetne bežične veze u svim režimima rada VDES-a te na visini brodskih antena, koja je postavljena na 15 metara iznad površine mora.

Rezultati simulacija i provedenih analiza pružaju ključne uvide u dinamiku i performanse radiokomunikacijskog sustava u realnim uvjetima, ističući važnost detaljnog planiranja i prilagodbe parametara sustava specifičnostima operativnog okruženja.

Ovaj detaljni pregled i analiza simulacija VDES radiokomunikacijskog sustava naglašavaju važnost temeljitog razumijevanja i prilagodbe svim aspektima sustava, od geografskih karakteristika i visine antena do specifične selekcije baznih stanica, kako bi se osigurala optimalna implementacija i performanse sustava u svim uvjetima, čime se doprinosi sigurnosti, efikasnosti i pouzdanosti pomorskog prometa i navigacije.

Kombinacija spomenutih faktora doprinosi poboljšanju sigurnosti, efikasnosti i pouzdanosti pomorskog prometa i navigacije. Temeljito razumijevanje i prilagodba svakog od ovih aspekata omogućava maksimalno iskorištavanje mogućnosti VDES sustava, čime se značajno povećava sposobnost udovoljavanja svim zahtjevima i izazovima modernog pomorskog okruženja.

## 7. ZAKLJUČAK

Ovim radom istražene su mogućnosti implementacije terestričkog VDES-a u brodske komunikacijske procese, odnosno, u obveznu dvosmjernu komunikaciju koja se odvija između brodova i VTS-a. Nadalje, detaljno je opisan VDES sustav u smislu fizičkog sloja, odnosno, modulacijski postupci te dostupne širine kanala. Također je detaljno opisan tijekom odobravanja potencijalnih frekvencija za VDES. Detaljno su opisane i razlike u brzini prijenosa podataka u odnosu na AIS sustav te spektralna učinkovitost VDES terestričkog dijela, koja za posljedicu ima veću brzinu prijenosa podataka, a time i sposobnost prijenosa veće količine podataka.

U vidu potencijalne implementacije VDES-a u VTS Republike Hrvatske provedena je ekstenzivna analiza sadašnjeg AIS sustava baznih stanica u Republici Hrvatskoj te je na temelju istih predložen sustav VDES baznih stanica. U sklopu analize razvijen je simulacijski model kojim se dokazala razina snage radiovala na prijemnoj strani pojedine brodske, odnosno, bazne stanice VDES-a. Simulacijski model razvijen je na bazi Longley-Rice propagacijskog modela detaljno opisanog u sklopu ovog rada, dok je za proračun i implementaciju korišten MATLAB programski paket s pripadajućim značajkama za dizajniranje radiokomunikacijskih sustava. Longley-Rice propagacijski model može se koristiti u detaljnijoj kao i jednostavnijoj verziji u kojoj je i korišten tijekom izrade ovog rada. Kako bi se dobio izlazni rezultat simulacijskog modela koji u sebi obuhvaća propagacijske gubitke bazirane na Longley-Rice propagacijskom modelu potrebni su podaci o geografskoj poziciji bazne ili brodske stanice, snazi radio vala na izlazu iz antene, simulacijskom modelu antene, visini konstrukcije antene iznad tla, centralnoj frekvenciji sustava, klimatskoj zoni, atmosferskoj refraktivnosti u ovisnosti o definiranom propagacijskom putu, provodljivosti i permitivnosti Zemljine površine te varijacije vremena i situacije. Potrebno je naglasiti kako je kroz iteracije simulacija mijenjana visina brodske antene na 15 metara i 30 metara, kao i varijacije vremena i situacije na 0,5 i 0,8. Varijaciju vremena može se shvatiti kao statističku veličinu, odnosno, postotak vremena u kojem radioval na definiranoj poziciji ima proračunatu snagu. Varijaciju situacije, koja se ponekad naziva i mjerom pouzdanosti predstavlja statističku varijaciju proračunatih vrijednosti propagacijskog modela kao i prethodno iskustvo projektanta radiokomunikacijskog sustava u vezi s parametrima uključenim u izračune kvalitete bežične veze te aspekte instalacije na određenom području. Nakon dobivenih simulacijskih rezultata, na bazi izračuna kvalitete bežične veze, verificiran je simulacijski

model te su prikazane pojedinačne vrijednosti odnosa energije po bitu i spektralne gustoće šuma. Prikazano je kako je spomenuti odnos temelj za korištenje adaptivne tehnike modulacije i kodiranja u VDES-u. Također je prikazan izračun kvalitete bežične veze za sve širine kanala od 25 kHz, 50 kHz i 100 kHz na sve tri razine simulirane snage sustava od 6,5 W, 11,5 W i 12,5 W. Dokazano je kako VDES bazne i brodske stanice imaju sposobnost komunikacijskog pokrivanja teritorijalnog mora Republike Hrvatske u svim režimima rada VDES-a. Nadalje, korišteni propagacijski model za izradu osnovnih proračuna propagacijskih gubitaka, odnosno snage elektromagnetskog vala na prijemnoj strani, može biti korišten za istovjetne proračune na globalnoj razini uz uvjet poštivanja frekvencijskog područja radiokomunikacijskog sustava te prepostavku poznavanja terenske konfiguracije istraživanog područja.

Radom je obuhvaćen i detaljan opis te zakonski okvir djelovanja VTS službe Republike Hrvatske te su prikazani svi dostupni primjeri izvješća s brodske strane prema VTS-u Republike Hrvatske kao i primjeri izvješća VTS-a prema brodovima. Prikazano je prosječno trajanje izvješća te ostali načini prikupljanja podataka VTS službe u svrhu stvaranja slike pomorskog prometa. Dokazano je kako VDES terestrički sustav može izmjenjivati izvješća u vidu smanjenja potrebe za VHF radiotelefonskom komunikacijom što rezultira djelomičnim rasterećenjem časnika plovidbene straže u smislu vremena provedenog u dijelu radiotelefonske komunikacije. Nadalje, dokazana je pomoćna znanstvena hipoteza u vidu prenošenja veće količine podataka u odnosu na postojeće pomorske digitalne VHF sustave poput VHF DSC-a koji koristi isključivo jedan komunikacijski kanal s brzinom prijenosa od 1200 bit/s. Kako je VHF DSC dio GMDSS sustava, djelomičnim uvođenjem VDES-a u GMDSS potencijalno se može modernizirati i GMDSS komunikacije shodno navedeno pomoćnoj znanstvenoj hipotezi.

Sve spomenute verzije izvještaja isključivo služe kao primjer potencijalne komunikacije unutar VTS-a Republike Hrvatske, a na istom se principu, odnosno, djelomičnom prelasku na digitalne komunikacije može bazirati komunikacija na globalnoj razini djelomičnom nadogradnjom obalnih postaja, adekvatnom edukacijom osoblja te integracijom prema međunarodnim IMO i ITU standardima. Optimizacijom sadržaja poruka te izbjegavanjem radiotelefonske komunikacije kada to uvjeti dopuštaju može se pridonijeti učinkovitijoj razmjeni informacija između entiteta pomorskog prometa na siguran način, ne ugrožavajući organizaciju, nadzor i upravljanje pomorskim prometom. Nadalje, obrada

podataka dobivenih na digitalni način može olakšati i ubrzati donošenje odluka vezanih uz planiranje i nadzor pomorskog prometa na temelju visokog stupnja integracije s ostalim informacijskim sustavima unutar VTS-a čime se smanjuje mogućnost donošenja pogrešne odluke uz visoku razinu sigurnosti i pouzdanosti sustava. Modernizacija komunikacijskih proces unutar VTS-a osim unaprjeđivanja trenutnih operacija može postati temeljem napretka razvoja u pomorskoj industriji i pridonijeti pojmu e-navigacije kao zajedničkog cilja modernizacije u pomorstvu. Jedan od ključnih elemenata e-navigacije je interoperabilnost između različitih sustava i platformi, što se može postići standardizacijom i harmonizacijom komunikacijskih protokola. Implementacija digitalne komunikacije unutar VTS-a omogućava lakšu integraciju s drugim informacijskim sustavima, kao što su sustavi za upravljanje brodovima, sustavi za nadzor i kontrolu prometa, te meteorološki i oceanografski informacijski sustavi. Ova integracija omogućava sveobuhvatniji pristup informacijama, čime se poboljšava situacijska svjesnost i donošenje odluka u realnom vremenu. Daljnja modernizacija može uključivati razvoj pametnih algoritama i umjetne inteligencije za analizu velikih količina podataka, predviđanje potencijalnih opasnosti i optimizaciju rute. Na primjer, sustavi mogu automatski analizirati podatke o vremenskim uvjetima, morskim strujama i gustoći prometa kako bi preporučili najsigurnije i najefikasnije rute za plovidbu. To ne samo da povećava sigurnost na moru, već i smanjuje troškove operacija te emisiju štetnih plinova, pridonoseći ekološkoj održivosti pomorske industrije. Nadalje, modernizacija komunikacijskih procesa može unaprijediti i suradnju između različitih sudionika u pomorskoj industriji, uključujući brodare, luke, regulatore i pružatelje usluga. Digitalne platforme omogućavaju lakšu i bržu razmjenu informacija, koordinaciju aktivnosti i zajedničko planiranje. Na primjer, sustavi za upravljanje lučkim operacijama mogu se integrirati s VTS sustavima kako bi se optimizirali dolazak i odlazak brodova, smanjilo vrijeme čekanja i poboljšala efikasnost lučkih operacija.

Izvornim znanstvenim doprinosom ovog rada smatra se razvoj simulacijskog modela te oplemenjivanje postojećih znanja o propagaciji radio valova na istraživanom području koje može poslužiti kao podloga za razvoj budućih sustava na ovom i sličnim frekvencijskim područjima. Iako dugotrajna realna mjerenja prije očekivane implementacije radiokomunikacijskog sustava mogu polučiti najpreciznije rezultate i dati jasan uvid u potencijalne izazove implementacije, treba naglasiti da se u praksi provode vrlo rijetko zbog ekonomskih faktora. Izvornim znanstvenim doprinosom ovog rada može

se smatrati i prijedlog uvođenja terestričke komponente VDES-a u VTS komunikaciju u svrhu modernizacije, ubrzavanja i zaštite komunikacijskog procesa. Implementacija terestričke komponente VDES-a u VTS komunikacije može služiti kao temelj modernizacije pomorskih komunikacija u vidu rasterećenja i automatiziranja spomenutih procesa i ostalim oblicima pomorskih komunikacija.

Potrebno je naglasiti kako se potencijalnim uvođenjem VDES-a mogu zaštititi odaslane informacije zaštitnim kodiranjem te algoritmima enkripcijske zaštite što u dosadašnjim sustavima poput AIS-a nije bilo moguće implementirati. Rezultati istraživanja mogu utjecati na budući razvoj pomorskih radiokomunikacija posebice u vidu već spomenute automatizacije odašiljanja određenih podataka, budući da VDES kao cjelina može biti povezan na ostale brodske sustave putem razvijenih komunikacijskih sučelja. Nadalje, VDES uređaj ima mogućnost udaljenog upita od strane baznih stanica što također može poslužiti u svrhu nadzora i bržeg dolaska do podataka u interesu nadležnih tijela. Sustavi poput VDES radiokomunikacijskog sustava zbog svih navedenih mogućnosti integracije, zaštite i ubrzavanja dolaska do željenih podataka mogu poslužiti u svrhu pridonosa razvoju i primjeni e-navigacije što je definirano pomoćnom znanstvenom hipotezom.

Istraživanjem je dokazano kako primjena terestričkog VDES-a može predstavljati značajan iskorak u pomorskim radiokomunikacijama, budući da uz ostale i pomorska industrija postaje sve složenija sa sve većim oslanjanjem na digitalizaciju i automatizaciju komunikacijskih procesa uz rastuću potrebu za što većom količinom prenesenih podataka u što kraćem vremenu i na siguran način. Istraživanja koja se mogu nastaviti na temelju ovog rada mogu se odnositi na optimizaciju VDES radiokomunikacijskog sustava u svrhu potencijalnog smanjivanja broja baznih stanica na određenom geografskom području uz istovremeno zadovoljavanje kriterija raspoloživosti i pouzdanosti VDES radiokomunikacijskog sustava.

## LITERATURA

- [1] VHF Data Exchange System (VDES) overview. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [2] VHF Data Exchange System Channel Sounding Campaign. (2014), Geneve: International Telecommunication Union
- [3] Report on IALA workshop on development of VHF data exchange system (VDES). (2016), Tokyo.
- [4] World Radiocommunication Conference (WRC-19) - Final acts. (2020), Geneve: International Telecommunication Union.
- [5] *Recommendation ITU-R M.2092-0. Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band*, sv. M.[VDES]. (2015), Geneve: International Telecommunication Union.
- [6] Lázaro, F., R. Raulefs, W. Wang, F. Clazzer, i S. Plass. (2019) VHF Data Exchange System (VDES): an enabling technology for maritime communications“, *CEAS Space Journal*, sv. 11, izd. 1. doi: 10.1007/s12567-018-0214-8.
- [7] Johnson , G., K. Dykstra, S. Ordell, i J. Forster. (2021) An initial assessment of VDES ASM channel performance. U: *Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS+ 2021*. doi: 10.33012/2021.18135.
- [8] Very High Frequency Data Exchange System (VDES) Technology Roadmap, 2021.
- [9] Raulefs, R. (2022) Overview of the VHF Data Exchange System. U: *Oceans Conference Record (IEEE)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/OCEANS47191.2022.9977118.
- [10] Valčić, S., Z. Mrak, i M. Gulić. (2016) Analysis of advantages and disadvantages of existing maritime communication systems for data exchange. *Pomorstvo*, 30(1), 28-37. doi: 10.31217/p.30.1.4.
- [11] Bronk, K. P. Koncicki, A. Lipka, D. Rutkowski, i B. Wereszko. (2019) Simulation and Measurement Studies of the Vdes System's Terrestrial Component. *Polish Maritime Research*, 26(1), 95–106. doi: 10.2478/pomr-2019-0011.
- [12] Šafář, J., M. Bransby, A. Grant, i N. Ward. (2017) The VHF data exchange system, a new communications system for maritime. U: *30th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, ION GNSS 2017*. doi: 10.33012/2017.15216.
- [13] Li, Z., H. Li, i Q. Zhang. (2020) Research and Improvement of Adaptive Modulation and Coding Scheme for VDE-TER System. U: *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, 2020., 5. doi: 10.1088/1742-6596/1550/3/032092.



- [14] Molina, N., F. Cabrera, V. Araña, i M. Tichavska. (2020) An Overview About the Physical Layer of the VHF Data Exchange System (VDES). U: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2020., 67-74. doi: 10.1007/978-3-030-45093-9\_9.
- [15] Škrobonja, A., S. Valčić, S. Žuškin, D. Brčić. (2020) On VDES/ECDIS integration. *Pomorstvo*, 34(1), 195-200. doi: 10.31217/p.34.1.21.
- [16] Valčić, S. A. Škrobonja, L. Maglić, i B. Sviličić. (2021) GMDSS equipment usage: Seafarers' experience. *Journal of marine science and engineering*, 9(5), 476. doi: 10.3390/jmse9050476.
- [17] Y. Hızlı *i ostali*. (2008) Investigation on the Factors of VTS Operators' Mental Workload: Case of Turkish Operators Identifying Characteristics of Accidents in Japan's Five Major Ports View project. Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/351006186>
- [18] Komadina, P., L. Maglić. (2011) Čimbenici utjecaja i metode određivanja radnog opterećenja VTS operatera. *Pomorstvo*, 25(2), 343-369.
- [19] Yoo, S. L., K. Il Kim. (2021) Optimal staffing for vessel traffic service operators: a case study of yeosu VTS. *Sensors*, 21(23), 8004. doi: 10.3390/s21238004.
- [20] Aylward, K. A. Johannesson, R. Weber, S. N. MacKinnon, i M. Lundh. (2020) An evaluation of low-level automation navigation functions upon vessel traffic services work practices. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 19(3), 313–335. doi: 10.1007/s13437-020-00206-y.
- [21] Xu, G., C. H. Chen, F. Li, i X. Qiu. (2020) AIS data analytics for adaptive rotating shift in vessel traffic service. *Industrial Management and Data Systems*, 120(4), 749–767. doi: 10.1108/IMDS-01-2019-0056.
- [22] Li, F., C. H. Chen, C. H. Lee, i L. P. Khoo. (2020) A User Requirement-driven Approach Incorporating TRIZ and QFD for Designing a Smart Vessel Alarm System to Reduce Alarm Fatigue. *Journal of Navigation*, 73(1), 212–232. doi: 10.1017/S0373463319000547.
- [23] Koshevoy V. M., A. V. Shishkin. (2013) Enhancement of VHF radiotelephony in the frame of integrated VHF/DSC - ECDIS/AIS system. U: *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation: Navigational Problems*. London [etc.]: CRC Press Taylor & Francis Group, 2013., 299-303. doi: 10.1201/b14962-49.
- [24] Brodje , A., R. Weber, D. Camre, O. Borup, i T. Porathe. (2015) Supporting Voice Communication Between Navigator and VTS by Visual Solutions — Exploring the Use of the ‚Route Suggestion‘ Functionality within VTS. U: *Information, Communication and Environment*. London [etc.]: CRC Press, 2015., 267–273. doi: 10.1201/b18514-42.
- [25] Tetreault, B. J. (2010) Expanded use of Automatic Identification System (AIS) navigation technology in Vessel Traffic Services (VTS). U: *Ports 2010: Building on*

- the Past, Respecting the Future - Proceedings of the 12th Triannual International Conference*. Reston: American Society of Civil Engineers, 2010., 789-796. doi: 10.1061/41098(368)81.
- [26] Vukić, M. (2021) Optimizacija razmjene informacija unutar VTS sustava. Doktorska disertacija. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:078333>
- [27] MSC.1-Circ.1460-Rev.4. (2023) London: International Maritime Organization
- [28] Guidance on the validity of radiocommunications equipment installed and used on ships. (2017) London: International Maritime Organization.
- [29] MSC.1-Circ.1595. (2018) E-Navigation Strategy Implementation Plan - Update 1 (Secretariat) (2). London: International Maritime Organization.
- [30] Baldauf, M., S. B. Hong. (2016) Improving and Assessing the Impact of e-Navigation applications. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 4, 1–12. doi: 10.1016/j.enavi.2016.06.001.
- [31] Zhang, X., J. Li, S. Zhu, C. Wang. (2020) Vessel intelligent transportation maritime service portfolios in port areas under e-navigation framework. *Journal of Marine Science and Technology*, 25(4), 1296–1307. doi: 10.1007/s00773-020-00715-8.
- [32] Perrig, A., R. Canetti, J. D. Tygar, D. Song. (2002) The TESLA Broadcast Authentication Protocol, 2 – 13.
- [33] Anderson, R., F. Bergadano, B. Crispo, J. Lee, C. Manifavas, R. Needham. (1998) A new family of authentication protocols. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 32(4), 9-20. doi.org/10.1145/302350.302353.
- [34] Kang, Z., J. Yang, Z. Chen. (2018) VDES Data Transmission Encryption Based on ECC Algorithm. *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, 466(1), 12073. doi: 10.1088/1757-899X/466/1/012073.
- [35] Frits Eriksson, O. (2023) Guideline G1181 VDES VHF data link (VDL) integrity monitoring Edition 1.0, 2023. Saint Germain en Laye: IALA. 1– 15.
- [36] Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Dostupno na: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- [37] The Radiocommunication Bureau. (2022) Recommendation ITU-R M.585-9 Assignment and use of identities in the maritime mobile service M Series Mobile, radiodetermination, amateur and related satellite services. Dostupno na: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- [38] Hammoudi, A. (2022) OSI Model. Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/358768960>

- [39] Jepsen, W. (2022). Cyclic Redundancy Checks and Error Detection. Dostupno na: <http://arxiv.org/abs/2205.11344> [ ]
- [40] Proakis, J. G., M. Salehi. (2008) Digital Communications. 5th ed. Boston: McGraw-Hill.
- [41] Ziemer, R. E., R. L. (2001) *Introduction to digital communication*. 2nd ed. London: Pearson.
- [42] ETSI EN 302 583 - V1.2.1 - Digital Video Broadcasting (DVB); Framing Structure, channel coding and modulation for Satellite Services to Handheld devices (SH) below 3 GHz. (2011) Dostupno na: [http://portal.etsi.org/chairecor/ETSI\\_support.asp](http://portal.etsi.org/chairecor/ETSI_support.asp)
- [43] Xiong, F. (2006) *Digital Modulation Techniques*. 2nd ed. Boston: Artech House.
- [44] Simon, K. M., M Hinedi, W. C. Lindsey. (1995) *Digital Communication Techniques: Signal Design and Detection*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [45] Hanzo, L. (1994) Modern Quadrature Amplitude Modulation: Principles and applications for fixed and wireless channels. Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/37530662>
- [46] Machado-Fernández, J. R. (2014) Software Defined Radio: Basic Principles and Applications. *Revista facultad de ingeniería*, 24(38), 79-96. doi: 10.19053/01211129.3160.
- [47] Bard, J., V. J. Kovarik. (2007) *Software Defined Radio The Software Communications Architecture*. New York: Wiley.
- [48] Flood, D., L. Doyle, K. Nolan, D. O'Mahony. (2004) Symbol timing synchronization in software radio receivers.
- [49] *HPCA-22 : Proceedings of the 2016 IEEE International Symposium on High-Performance Computer Architecture (HPCA)*. (2016). Barcelona, Spain, March 12-16, 2016. IEEE.
- [50] Knauth, S. (2008) Implementation of an IEEE 802.15. 4 Transceiver with a Software-defined Radio setup. Dostupno na: <https://www.researchgate.net/publication/228830651>
- [51] Takedal, D., Y. C. Chow', P. Strauch', H. Tsurumi'. (2004) Threshold controlling scheme for adaptive modulation and coding system. U: IEEE 15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Barcelona: IEEE, 1351-1355.
- [52] *3rd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing : ISCCSP. (2008). 12th-14th March 2008, Le Méridien Hotel, St. Julians, MALTA*. IEEE.
- [53] Rappaport T. (2001) *Digital Communications: Fundamentals and Applications*. New Jersey: Prentice Hall

- [54] *Oceans 2015 : MTS/IEEE Washington : 19-22 October 2015*. IEEE, 2016.
- [55] International Maritime Organization, „History of VTS“, <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/VesselTrafficServices.aspx>.
- [56] Resolutions A.1158(32). (2022) Guidelines for vessel traffic services. London: International Maritime Organization
- [57] VTS-MANUAL. Edition-8.4-Simple-pages-HD“.
- [58] Olli, S., I. Secretariat. (2022) G1111 Establishing Functional Performance Requirements. Dostupno na: [www.iala-aism.org](http://www.iala-aism.org)
- [59] Maritime radio communications plan. (2017), Saint Germain en Laye: IALA.
- [60] *Radio Regulations - Appendix 18, 2024*. (2024), Geneva: International Telecommunication Union
- [61] Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR Appendix 18 channels. (2008), Geneva: International Telecommunication Union.
- [62] G1111-3 Producing Requirements for Radar. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [63] G1111-4 Producing Requirements for AIS. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [64] Revised guidelines for the onboard operational use of shipborne Automatic Identification Systems (AIS). (2015), London: International Maritime Organization. Dostupno na: <https://edocs.imo.org/Final>
- [65] Valčić, S. (2016) Model pomorskog VHF komunikacijskog sustava za prijenos podataka temeljen na OFDM modulaciji Valčić, Sanjin. Doktorska disertacija. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:187:764984>
- [66] Recommendation A-123 On the provision of Shore Based Automatic Identification System. (2007), Saint Germain en Laye: IALA.
- [67] Recommendation A-124 On The AIS Service. (2012), Saint Germain en Laye: IALA.
- [68] G1082 - An overview of AIS. (2016), Saint Germain en Laye: IALA.
- [69] Guidance on the application of AIS binary messages. (2004), London: International Maritime Organization.
- [70] R0123 The provision of shore based automatic identification system. (2007), Saint Germain en Laye: IALA.
- [71] G1111-5 Producing requirements for environment monitoring sensors. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [72] G111- Producing requirements for electro optical systems. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.

- [73] G1111-7 Producing requirements for radio direction finders. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [74] G1111-8 Producing requirements for long range sensors. (2022), Saint Germain en Laye: IALA.
- [75] VTS Croatia. (2011-2016), Zagreb: Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture.
- [76] Bradarić, Ž. (2011) Prilog razmatranjima sa stanovišta pružanja informacija o Hrvatskom VTS-u na službenim navigacijskim kartama i priručnicima, Split: Hrvatski hidrografski insitut.
- [77] Pravilnik o sigurnosti pomorske plovidbe u unutarnjim morskim vodama i teritorijalnom moru Republike Hrvatske te načinu i uvjetima obavljanja nadzora i upravljanja pomorskim prometom, Narodne novine 79/13, Zagreb 2013.
- [78] Mandatory ship reporting systems. (2002), London: International Maritime Organizaton.
- [79] Nacionalna središnjica za nadzor i upravljanje pomorskim prometom VTS Hrvatska Pregled aktivnosti. (2019), Zagreb: Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture.
- [80] Vukić, M. (2021) *Optimizacija razmjene informacija unutar VTS sustava*. Doktorska disertacija. Rijeka: Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet.
- [81] Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band. (2014). Geneve: International Telecommunication Union.
- [82] Longley, A. G., P. L. Rice. (1968) *Prediction of tropospheric raio transmission loss over irregular terrain*. Boulder: Institute for telecommunications sciences.
- [83] Bean, B. R., J. D. Horn, A. M. Ozanich. (1960) Climatic charts and data of the radio refractive index for the United States and the world. *Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology*. doi: <https://doi.org/10.6028/NBS.MONO.22>.
- [84] McQuate, P. L., A. P. Barsis, J. M. Harman (1968) Institute for Telecommunication Sciences, *Tabulations of propagation data over irregular terrain in the 230-to 9200-MHz frequency range*.
- [85] Miles, M. J., A. P. Barsis. (1966) Summary of 20-100 MHz propagation measurement results over irregular terrain using low antenna heights.
- [86] Electrical characteristics of the surface of the Earth. (2021), Geneve: International Telecommunication Union.
- [87] Vogler, L. E. (1964) Calculation of groundwave attenuation in the far diffraction region. *Radio Scince Journal Ressarch NBS/USNC-URSI*, 68D(7), 819–826.
- [88] AC ANTENNAS  
<https://acantennas.com/sites/default/files/productsheets/CX4.pdf>.

- [89] United States Geological Survey. <https://www.usgs.gov/coastal-changes-and-impacts/gmted2010>.
- [90] Seybold, J. S. (2005) Introduction to RF propagation. New Jersey: Wiley.
- [91] Freeman, R. L. Freeman. (2007) Radio System Design for Telecommunications. 3rd ed. New Jersey: Wiley.

## POPIS SLIKA

Slika 1: Plan razvoja VDES-a prema IALA-i.....	15
Slika 2: VDES arhitektura .....	17
Slika 3: Usporedba AIS, ASM i VDE brzine prijenosa podataka .....	18
Slika 4: Koncept VDES komunikacijskog sustava .....	19
Slika 5: VDES vremenski isječak .....	27
Slika 6: Period korisnih podataka .....	29
Slika 7: Koncept turbo koderu .....	30
Slika 8: Aditivni mješač bitova.....	33
Slika 9: Podjela digitalnih modulacija.....	34
Slika 10: Dijagram stanja za $\pi/4$ kvaternarnu modulaciju faze .....	36
Slika 11: Dijagram stanja 8-PSK modulacija .....	41
Slika 12: Dijagram stanja - 16 QAM .....	46
Slika 13: Općenita arhitektura SDR-a .....	49
Slika 14: Vremenska i frekvencijska domena odziva korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem.....	52
Slika 15: Koeficijent zaobljenja korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem.....	53
Slika 16: AIS servis u odnosu na ostale VTS servise .....	64
Slika 17: VTS centri i sektori u Republici Hrvatskoj.....	67
Slika 18: VTS sektori.....	68
Slika 19: Indeks atmosferske refraktivnosti na razini mora .....	83
Slika 20: Električna svojstva Zemljine površine .....	85
Slika 21: Dodatni parametri propagacijskog puta .....	86
Slika 22: 3D dijagram zračenja simuliranog dipola.....	101
Slika 23: Dizajn odašiljačkog/prijemnog elementa antene.....	102
Slika 24: Razmještaj svih potencijalnih baznih stanica .....	105
Slika 25: Razmještaj baznih i brodskih stanica - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana .....	107
Slika 26: Razmještaj baznih i brodskih stanica - dio Srednjeg i Južnog Jadrana .....	108
Slika 27: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika .....	120
Slika 28: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije.....	121

Slika 29: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika .....	121
Slika 30: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana – bazne stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije.....	122
Slika 31: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – brodske stanice u funkciji predajnika .....	123
Slika 32: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana – brodske stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije.....	123
Slika 33: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ - dio Srednjeg i Južnog Jadrana– brodske stanice u funkciji predajnika .....	124
Slika 34: Prosječne vrijednosti odnosa $E_b/N_0$ - dio Srednjeg i Južnog Jadrana– brodske stanice u funkciji predajnika s povećanim varijacijama vremena i situacije.....	125
Slika 35: Uvjeti direktne propagacije za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana .....	127
Slika 36: Uvjeti direktne propagacije za dio Srednjeg i Južnog Jadrana .....	128



## POPIS TABLICA

Tablica 1: Portfelj pomorskih usluga definiranih od strane IMO-a .....	16
Tablica 2: VDE formati protokola – VPFI.....	20
Tablica 3: Analiza potencijalnih rizika VDL-a .....	23
Tablica 4: Raspodjela i namjena kanala/frekvencija VDES-a .....	25
Tablica 5: OSI model .....	26
Tablica 6: Reed-Muller generirajuća matrica.....	28
Tablica 7: Uzorak prilagodbe količine kodiranja u sklopu VDES-a.....	32
Tablica 8: Koordinate QPSK signala.....	38
Tablica 9: Koordinate $\pi/4$ QPSK signala .....	41
Tablica 10: Usporedba propusnosti podataka VDES-a u odnosu na širinu kanala i modulacijsku tehniku.....	48
Tablica 11: Značajke komunikacije VDES-a s identifikatorima.....	50
Tablica 12: Učestalost odašiljanja dinamičkih podataka AIS-a klase A .....	60
Tablica 13: Učestalost odašiljanja dinamičkih podataka AIS-a klase B .....	61
Tablica 14: Granice ADRIREP sustava i nadležna tijela .....	71
Tablica 15: Prvo Izvješće - ADRIREP .....	72
Tablica 16: Izvješće o poziciji/Završno izvješće - ADRIREP .....	73
Tablica 17: Izvješća brodova u dolasku i odlasku .....	74
Tablica 18: IS i TOS usluge prema VTS centrima.....	74
Tablica 19: Podjela ADRIREP izvješća .....	74
Tablica 20: Vremenska razdioba VHF radiotelefonske komunikacije u VTS-u RH.....	75
Tablica 21: Izvješća prema VTS-u predstavljena simbolima i bitovima .....	78
Tablica 22: Optimizirana izvješća prema VTS-u Republike Hrvatske .....	80
Tablica 23: Osnovne značajke propagacijskog modela .....	81
Tablica 24: Faktor nepravilnosti terena.....	84
Tablica 25: AIS bazne stanice u sustavu VTS-a.....	99
Tablica 26: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	109
Tablica 27: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	109
Tablica 28: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	110

Tablica 29: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	110
Tablica 30: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	110
Tablica 31: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	110
Tablica 32: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	111
Tablica 33: Srednja vrijednost snage na brodskim prijemnicima za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	111
Tablica 34: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	112
Tablica 35: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	112
Tablica 36: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	113
Tablica 37: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	113
Tablica 38: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	113
Tablica 39: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	114
Tablica 40: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južni Jadran, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	114
Tablica 41: Srednja vrijednost snage na prijemnicima baznih stanica za dio Srednjeg i Južni Jadran, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	114
Tablica 42: Ekvivalenti odnosa energije po simbolu/bit u i spektralne gustoće šuma sa značajkama modulacije i kodiranja .....	119
Tablica 43: Širine komunikacijskog kanala i pripadajuće brzine prijenosa informacija s definiranim šumovima .....	119
Tablica 44: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana $h_r=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	162

Tablica 45: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	162
Tablica 46: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	163
Tablica 47: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	163
Tablica 48: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	164
Tablica 49: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	164
Tablica 50: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	165
Tablica 51: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W– Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	165
Tablica 52: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	166
Tablica 53: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	166
Tablica 54: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	167
Tablica 55: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	167
Tablica 56: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	168
Tablica 57: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	168
Tablica 58: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	168
Tablica 59: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m,$ $V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	169
Tablica 60: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	169

Tablica 61: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	170
Tablica 62: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m,$ $V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	170
Tablica 63: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	171
Tablica 64: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	171
Tablica 65: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m,$ $V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	172
Tablica 66: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	172
Tablica 67: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	172
Tablica 68: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	174
Tablica 69: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	174
Tablica 70: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	175
Tablica 71: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	175
Tablica 72: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	176
Tablica 73: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m, V_t=0,8, V_s=0,8$ .....	176
Tablica 74: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	177
Tablica 75: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	177
Tablica 76: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15m, V_t=0,5, V_s=0,5$ .....	178

Tablica 77: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	178
Tablica 78: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	179
Tablica 79: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	179
Tablica 80: Predajna snaga brodske stanice 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	180
Tablica 81: Predajna snaga brodske stanice 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	180
Tablica 82: Predajna snaga brodske stanice 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	180
Tablica 83: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	181
Tablica 84: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	181
Tablica 85: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	181
Tablica 86: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	182
Tablica 87: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	182
Tablica 88: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	182
Tablica 89: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	183
Tablica 90: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	183
Tablica 91: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15\text{m}$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	183
Tablica 92: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30\text{m}$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	185

Tablica 93: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=30m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	186
Tablica 94: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	187
Tablica 95: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	188
Tablica 96: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .	189
Tablica 97: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=30m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .	190
Tablica 98: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .	191
Tablica 99: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_r=15m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .	192
Tablica 100: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	194
Tablica 101: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=30m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	196
Tablica 102: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	198
Tablica 103: Vrijednosti $E_b/N_0$ -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, $h_t=15m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	200
Tablica 104: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	202
Tablica 105: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=30m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	204
Tablica 106: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15m$ , $V_t=0,5$ , $V_s=0,5$ .....	206
Tablica 107: Vrijednosti $E_b/N_0$ -dio Srednjeg i Južnog Jadrana, $h_t=15m$ , $V_t=0,8$ , $V_s=0,8$ .....	208

## POPIS SIMBOLA

$s_i(t)$  – signal  $i$ -tog reda modulacije u vremenskoj domeni

$A$  – amplituda signala

$f_c$  – centralna frekvencija signala

$t$  – vrijeme trajanja simbola

$\theta_i$  – fazni kut

$n$  – broj bitova po simbolu

$M$  – red modulacije

$s_{i1}$  – točka pozicije dibita u konstelaciji

$s_{i2}$  – točka pozicije dibita u konstelaciji

$\phi_1$  – ortonormalna funkcija moduliranog signala

$\phi_2$  – ortonormalna funkcija moduliranog signala

$E$  – energija simbola

$T$  – period signala

$I(t)$  – kofazna komponenta moduliranog signala

$Q(t)$  – kvadratura komponenta moduliranog signala

$p(t)$  – puls oblikovanja

$u_k$  – kodirani signal kofazne komponente  $\pi/4$  QPSK modulacije

$v_k$  – kodirani signal kvadrature komponente  $\pi/4$  QPSK modulacije

$u_{k-1}$  – kofazna komponenta prethodnog simbola  $\pi/4$  QPSK modulacije

$v_{k-1}$  – kvadratura komponenta prethodnog simbola  $\pi/4$  QPSK modulacije

$u_0$  – početno stanje kodiranog signala kofazne komponente  $\pi/4$  QPSK modulacije

$v_0$  – početno stanje kodiranog signala kvadrature komponente  $\pi/4$  QPSK modulacije

$\Phi_k$  - apsolutna faza kofazne i kvadraturene komponente signala  $\pi/4$  QPSK modulacije

$\Phi_{k-1}$  - fazni kut prethodnog simbola  $\pi/4$  QPSK modulacije

$\Delta\theta_k$  - pomak u fazi u odnosu na prethodni simbol

$A_i$  - amplituda simbola i-tog reda kvadraturene amplitudne modulacije

$A_{i1}$  - amplituda kofazne komponente kvadraturene amplitudne modulacije

$A_{i2}$  - amplituda kvadraturene komponente kvadraturene amplitudne modulacije

$E_p$  - energija pulsa oblikovanja

$\mathbf{s}_i$  - fazor signala kvadraturene amplitudne modulacije

$\|\mathbf{s}_i\|$  - veličina simbola kvadraturene amplitudne modulacije

$E_i$  - energija i-tog simbola kvadraturene amplitudne modulacije

$E_{avg}$  - prosječna energija simbola kvadraturene amplitudne modulacije

$d_{ij}$  - udaljenost između parova simbola kvadraturene amplitudne modulacije

$E_0$  - energija simbola najniže amplitude

$E_s/N_0$  - odnos energije simbola i spektralne gustoće šuma u decibelima

$C$  - snaga vala nosioca

$N_0$  - spektralna gustoća šuma

$I_0$  - interferencija

$R_s$  - brzina prijenosa simbola

$h(t)$  - vremenski odziv korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem

$\alpha$  - koeficijent zaobljenja korijenskog filtera s kosinusnim zaobljenjem

$N_s$  - indeks atmosfere refraktivnosti u N jedinicama

$a$  - efektivni polumjer Zemlje u kilometrima

$N_0$  - indeks refraktivnosti na razini mora

$h_s$  - visina Zemljine površine iznad mora u kilometrima



$h_{L1}$  – nadmorska visina prepreke na horizontu predajnika

$h_{L2}$  – nadmorska visina prepreke na horizontu prijemnika

$\Delta h$  – faktor nepravilnosti terena

$\Delta h(d)$  – medijan interdecilnog raspona različitih visina terena iznad razine mora

$f$  – frekvencija radiokomunikacijskog sustava u megahercima ili hercima

$d$  – dužina propagacijskog puta u kilometrima

$h_{g1}$  – visina predajne antene iznad tla u metrima

$h_{g2}$  – visina prijemne antene iznad tla u metrima

$\sigma$  – konstanta provodljivosti Zemljine površine

$\varepsilon$  – konstanta permitivnosti Zemljine površine

$h_{e1}$  – efektivna visina predajne antene

$h_{e2}$  – efektivna visina prijemne antene

$d_{L1}$  – udaljenost prepreke na horizontu predajne antene

$d_{L2}$  – udaljenost prepreke na horizontu prijemne antene

$\theta_{e1}$  – elevacijski kut u odnosu na prepreku na horizontu predajne antene

$\theta_{e2}$  – elevacijski kut u odnosu na prepreku na horizontu prijemne antene

$d_{LS1}$  – udaljenost prepreke na horizontu predajne antene uz idealiziranu Zemljinu površinu

$d_{LS2}$  – udaljenost prepreke na horizontu prijemne antene uz idealiziranu Zemljinu površinu

$d_{LS}$  – zbroj udaljenosti  $d_{LS1}$  i  $d_{LS2}$

$k$  – koeficijent efektivnih visina predajne i prijemne antene

$d_L$  – zbroj udaljenosti  $d_{L1}$  i  $d_{L2}$

$\theta$  – kutna udaljenost za transhorizontalni propagacijski put

$h_e$  – visina pri izračunu udaljenosti horizonta

$\theta_e$  – zbroj elevacijskih kutova  $\theta_{e1}$  i  $\theta_{e2}$

$A_{cr}$  – referentna atenuacija u odnosu na slobodni prostor

$L_{cr}$  – medijan propagacijskih gubitaka

$L_{bf}$  – propagacijski gubici u slobodnom prostoru

$A_d$  – atenuacija zbog difrakcije

$A_s$  – atenuacija zbog raspršenja

$d_x$  – udaljenost na kojoj su gubici zbog difrakcije i gubici zbog raspršenja izjednačeni

$A_0$  – atenuacija u teoriji dviju zraka na udaljenosti  $d_0$

$A_1$  – atenuacija u teoriji dviju zraka na udaljenosti  $d_1$

$d_0$  – udaljenost u teoriji dviju zraka na kojoj je atenuacija jednaka nuli

$d_1$  – udaljenost veća od  $d_0$ , a manja od  $d_L$

$k_1, k_2$  – koeficijenti koji određuju nagib krivulje referentne atenuacije  $A_{cr}$

$A_r$  – atenuacija zbog difrakcije nakon Zemljine prepreke na većim udaljenostima

$A_k$  – procjena atenuacije na temelju teorije dviju zraka

$w$  – iskustveno određeni ponder u funkciji terenske konfiguracije i frekvencije

$d_3, d_4$  – udaljenosti za proračun difrakcijske atenuacije

$A_3, A_4$  – predviđena difrakcijska atenuacija na udaljenostima  $d_3$  i  $d_4$

$m_d$  – koeficijent nagiba krivulje atenuacije zbog difrakcije

$A_{ed}$  – procijenjena difrakcijska atenuacija u odnosu na atenuaciju slobodnog prostora

$A_{f0}$  – procijenjena atenuacija zbog površinskih čimbenika

$d_5, d_6$  – udaljenosti za proračun atenuacije zbog raspršenja

$A_{es}$  – procijenjena atenuacija zbog raspršenja u odnosu na atenuaciju slobodnog prostora

$m_s$  – koeficijent nagiba krivulje atenuacije zbog raspršenja

$A_5, A_6$  – procijenjena atenuacija zbog raspršenja na udaljenostima  $d_5$  i  $d_6$

$R(q_T)$  – odnos signal-šum održavan određeni dio vremena u vidu varijacije vremena

$q_T$  – promatrani dio vremena

$R_r$  – odnos signal-šum potreban za zadovoljavajuću razinu usluge u prisutnosti varijacija vremena

$Q$  – vjerojatnost postojanja odgovarajuće razine usluge

$A(0,5)$  – dugoročni medijalni iznos atenuacije slobodnog prostora za definirani dio vremena, klimatsku regiju i ostale parametre propagacijskog modela

$V(0,5)$  – razlika između proračunate atenuacije  $A_{cr}$  i medijana atenuacije  $A(0,5)$  s uračunatima parametrima propagacijskog modela

$d_{L0}$  – zbroj udaljenosti horizonta idealizirane Zemljine površine za efektivni polumjer Zemlje  $a=9000$  kilometara

$\theta_{s1}$  – kutna udaljenost horizonta na kojoj su atenuacije zbog difrakcije i raspršenja približno jednake

$d_{s1}$  – udaljenost horizonta na kojoj u atenuacije zbog difrakcije i raspršenja približno jednake uz idealiziranu Zemljinu površinu

$q$  – simbol koji predstavlja bilo koji dio između 0 i 1

$z_0$  – standardna normalna devijacija

$z_0(q)$  – standardna normalna devijacija gdje  $q$  predstavlja bilo koji dio između 0 i određene cjeline

$erf(x)$  – funkcija greške varijable  $x$ , definirane kao  $H(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\alpha^2} d\alpha$

$Y(q_T)$  – varijacija u vremenu oko dugoročne medijalne vrijednosti koja postoji barem  $q_T$  vremena

$\sigma_{Ta}, \sigma_{Tn}$  – standardna devijacija u vremenu dostupnog željenog odnosa signal-šum

$A(q_L)$  – atenuacija u odnosu na slobodni prostor koja ne postoji na barem  $q_L$  svih slučajno odabranih propagacijskih puteva za fiksne parametre poput frekvencije, visina antena i dužine propagacijskog puta

$q_L$  – simbol koji označava bilo koji dio svih slučajno odabranih propagacijskih puteva za fiksne parametre poput frekvencije, visina antena i dužine propagacijskog puta

$Y(q_L)$  – varijacija lokacije za bilo koji dio  $q_L$  slučajno odabranih propagacijskih puteva za fiksne parametre poput frekvencije, visina antena i dužine propagacijskog puta

$\sigma_{La}, \sigma_{Ln}$  – standardne devijacije od lokacije do lokacije željenog dostupnog odnosa signal-šum, respektivno

$z_0(q_L)$  – standardna normalna devijacija gdje  $q_L$  označava bilo koji dio slučajno odabranih propagacijskih puteva za fiksne parametre poput frekvencije, visina antena i dužine propagacijskog puta

$R(q_T, q_L, Q)$  – odnos signal-šum dostupan barem  $q_T$  na  $q_L$  lokacija s vjerojatnošću  $Q$

$R_0$  – medijan dostupnog odnosa signal-šum u decibelima

$Y_T$  – varijacija vremena u decibelima

$Y_L$  – varijacija lokacije u decibelima

$Y_C$  – varijacija situacije u decibelima

$\sigma_T, \sigma_T^2$  – standardna devijacija i varijanca, respektivno, dostupnog željenog odnosa signal-šum u vremenu

$\sigma_{Ta}^2, \sigma_{Tn}^2$  – varijanca u vremenu dostupnog željenog odnosa signal-šum

$\rho_T$  – korelacijski koeficijent vremena između dostupnog odnosa signal-šum

$\sigma_L, \sigma_L^2$  – standardna devijacija i varijanca, respektivno, dostupnog odnosa signal-šum od lokacije do lokacije

$\sigma_{La}^2, \sigma_{Ln}^2$  – varijance dostupnog odnosa signal-šum, respektivno, od lokacije do lokacije

$W_a$  – spektralna gustoća snage dostupna iz ekvivalenta idealne prijemne antene

$W_n$  – spektralna gustoća snage na krajevima idealne antene

$\sigma_{ca}^2, \sigma_{cn}^2$  – varijance prijemnog odnosa signal-šum, respektivno, koje postoje barem  $q_T$  vremena na  $q_L$  lokacija

$\sigma_c, \sigma_c^2$  – standardna devijacija i varijanca, respektivno, procijenjene vjerojatnosti dostupnosti servisa

$\rho_c$  – korelacijski koeficijent između varijacija snage primljenog signala koji postoji barem  $q_T$  vremena na  $q_L$  lokacija i varijacija snage pripadajućeg šuma

$\sigma_{ca}, \sigma_{cn}$  – standardne devijacije prijemnog odnosa signal-šum, respektivno, koje postoje barem  $q_T$  vremena na  $q_L$  lokacija

$W_t$  – ukupna snaga zračena iz antene

$G_p$  – pojačanje antene u decibelima u odnosu na izotropsku antenu

$L_b$  – osnovni gubitak prijenosa u decibelima

$R$  – dostupni odnos signal-šum u decibelima

$R_0$  – medijan dostupnog odnosa signal-šum u decibelima

$W_0$  – medijalna vrijednost  $W_a$

$W_{n0}$  – medijalna vrijednost  $W_n$

$L_{b0}$  – vrijednost dugoročnog medijana osnovnih gubitaka prijenosa u decibelima

$R_r$  – odnos signal-šum potreban za zadovoljavajuću razinu služe u prisustvu varijacije odnosa signala i šuma s obzirom na vrijeme i lokacije

$S_0$  – supstitut za preračunavanje odnosa signal-šum

$h_r$  – visina prijemne antene u metrima u sklopu simulacijskog modela

$V_t$  – varijacija vremena u sklopu simulacijskog modela

$V_s$  – varijacija situacije u sklopu simulacijskog modela

$h_t$  – visina predajne antene u metrima u sklopu simulacijskog modela

$N$  – snaga termalnog šuma u sklopu vrednovanja rezultata istraživanja

$k$  – Boltzmann-ova konstanta

$T_s$  – temperatura šuma

$B_w$  – širina kanala

$\frac{E_s}{N_0}$  – odnos energije simbola i spektralne gustoće šuma

$\frac{E_b}{N_0}$  – odnos energije bita i spektralne gustoće šuma

$N_{bps}$  – broj bitova po simbolu

$R$  – omjer kodiranja u sklopu vrednovanja rezultata istraživanja

## **POPIS KRATICA**

VHF – very high frequency (Frekvencijski spektar vrlo visokih frekvencija)

VDES – VHF data exchange system (VHF sustav razmjene podataka)

AIS – Automatic identification system (Automatski identifikacijski sustav)

VTS – Vessel traffic services (Služba nadzora i upravljanja pomorskim prometom)

AtoN – Aids to navigation (Pomagala za navigaciju)

ASM – Application specific message (Poruka posebne namjene)

AIS SART – AIS search and rescue transmitter (AIS predajnik za traganje i spašavanje)

MOB - Man overboard unit (jedinica za označavanje „čovjeka u moru“)

EPIRB AIS – Emergency position indicating radio beacon AIS (AIS predajnik za uzbuñjivanje i označavanje pozicije)

ITU – International telecommunication union (Međunarodna telekomunikacijska unija)

ITM – Irregular Terrain Model (Propagacijski model nepravilnog terena)đ

DSC – Digital selective calling (Digitalni selektivni poziv)

VDL – VHF data link (VHF podatkovna veza)

GMDSS – Global maritime distress and safety system (Svjetski pomorski sustav za pogibelj i sigurnost)

GLA – General lighthouse authorities (?)

ITR – Institute for telecommunications research (Institut za istraživanje telekomunikacija)

IALA – International association of lighthouse authorities (Međunarodno udruga svjetioničarskih službi)

WRC – World radiocommunication conference (Svjetska radiokomunikacijska konferencija)

RR – Radio regulations (Radio pravilnik)

STEDS – Sensitive but unclassified tactical information (Osjetljive javne taktičke informacije)

eMSI – Enhanced maritime safety information (Unaprijeđeni sustav pomorskih sigurnosnih informacija)

VDES R mode – VDES ranging mode (VDES u ulozi određivanja geografske pozicije)

SAR – Search and rescue (Traganje i spašavanje)

AMSA – Australian maritime safety authority (Australaska služba za sigurnost pomorskog prometa)

AWGN – Additive White Gaussian noise (Aditivni bijeli Gausov šum)

IoV – Internet of vessel (Internet plovila)

ECDIS – Electronic chart display and information system (Sustav prikaza elektroničkih karti i informacija)

STM – Sea traffic management (Upravljanje pomorskim prometom)

GMSK – Gaussian minimum shift keying (Vrsta digitalne frekvencijske modulacije)

MSC – Maritime safety Committee (Odbor za pomorsku sigurnost)

MSP – Maritime Service Portfolio (Skup pomorskih usluga)

IMO – International maritime organization (Međunarodna pomorska organizacija)

NAS – Navigation assistance service (Usluge pomoći vezanih uz navigaciju)

TOS – Traffic organization service (Usluga organizacije prometa)

LPS – Local port service (Usluge lučkih servisa)

IHMA – International harbour masters association (Međunarodna udruga lučkih kapetana)

MSI – Maritime safety information (Sustav pomorskih sigurnosnih informacija)

IHO – International hydrographic organization (Međunarodna hidrografska organizacija)

IMPA – International maritime pilot association (Međunarodna udruga pomorskih peljara)



TMAS – Telemedical maritime assistance service (Telemedicinski pomorski servis)

WMO – World meteorological organization (Svjetska meteorološka organizacija)

SDR – Software defined radio (?)

VDE - VHF Data Exchange (Općenita razmjena podataka na VHF frekvencijskom području korištenjem VDES sustava)

VPMI – VDE protocol format identifier (Identifikator VDE protokola)

ECC – Elliptic curve cryptography (Eliptička enkripcija)

MCP – Maritime Connectivity platform (Platforma za objedinjenu razmjenu pomorskih podataka)

GNSS – Global navigation satellite service (Globalni sustav satelitske navigacije)

TESLA – Timed efficient stream loss tolerant authentication (Autentikacijski protokol)

VDE-TER – VDE terrestrial component (VDE terestrička komponenta)

VDE-SAT – VDE satellite component (VDE satelitska komponenta)

OSI – Open system interconnection (Slojevi otvorenog sustava međusobne veze)

PL – Physical layer (Fizički sloj)

LINK ID -identification link (identifikacija komunikacije VDES-a)

CRC – Cyclic redundancy check (Ciklička redundantna provjera)

RSC – Recursive systematic convolutional encoder (Rekurzivni sistematski konvolucijski koder)

FSK – Frequency shift keying (Digitalna frekvencijska modulacija)

PSK – Phase shift keying (Digitalna fazna modulacija)

CPM – Continuous phase modulation (Modulacija s konstantnom fazom)

ASK – Amplitude shift keying (Digitalna amplitudna modulacija)

QAM – Quadrature amplitude modulation (Kvadratura amplitudna modulacija)

$\pi/4$ -QPSK -  $\pi/4$  quadrature phase shift keying ( $\pi/4$  kvaternarna digitalna fazna modulacija s četiri diskretna stanja)

8-PSK – 8 phase shift keying (Digitalna fazna modulacija s osam diskretnih stanja)

16 QAM – 16 quadrature amplitude modulation (Digitalna kvadratura amplitudna modulacija s 16 diskretnih stanja)

QPSK – Quadrature phase shift keying (Kvaternarna digitalna fazna modulacija)

CQI – Channel quality indicator (Indikator kvalitete kanala)

SINR – Signal plus interference to noise ratio (Odnos signala s interferencijom i šuma) u decibelima

LNA – Low noise amplifier (Pojačalo niske razine šuma)

PA – Power amplifier (Pojačalo snage)

FPGA – Field programmable gate array (Platforma za kontrolu, parametriranje i programiranje programski definiranog radija)

PER – Packet error rate (Postotak pogošno primljenih podatkovnih paketa)

ASCII - American Standard Code for Information Interchange (Standardni kodni sustav za pretvaranje teksta i tekstualnih simbol na računalni jezik)

ISI – Intersymbol interference (Međusimbolna interferencija)

SOLAS – Safety of life at sea (Konvencija o sigurnosti života na moru)

TDMA – Time division multiple access (Višestruki pristup s vremenskom raspodjelom)

DGNSS – Differential global navigation satellite system (Globalni navigacijski sustav pozicioniranja s diferencijalnim ispravljanjem)

LRIT – Long range identification and tracking (Sustav identifikacije i praćenja brodova na velikim udaljenostima uz pomoć satelita)

VTMIS - Vessel traffic monitoring and information system (Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom)

CVTMIS – Croatian vessel traffic management information system (Sustav za nadzor i upravljanje pomorskim prometom Republike Hrvatske)

EU – European Union (Europska unija)

EMSA – European maritime safety agency (Europaska agencija za pomorsku sigurnost)

ADRIREP – Adria reporting (Sustav obveznog izvješćivanja brodova koji prevoze opasan teret)

MRCC – Maritime rescue coordination center (Kordinacijski centar traganja i spašavanja)

MRSC – Maritime rescue sub center (Područni centar traganja i spašavanja)

GMTED – Global multi resolution terrain elevation data (Terenski model razvijen 2010. godine od strane Američkog geološkog društva)

NF – Noise figure (Šum koji unosi prijemnik u radu)

## PRILOG 1 – Distribucija prijemnih snaga na svim baznim i brodskim stanicama

Prva skupina rezultata prikazuje distribuciju snaga za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, kada je brodska prijemna antena na visini od 30 metara uz varijaciju vremena od 0,5 i varijaciju situacije od 0,5

Tablica 44: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-140,066	-137,195	-143,667	-150,479
Osoršćica	-83,7981	-76,1102	-104,264	-116,029
Koromačno	-118,508	-120,564	-138,478	-125,969
Sveti Martin	-102,479	-128,967	-136,534	-85,7559
Razromir	-105,881	-98,8424	-120,466	-120,75
Dugi Otok	-152,812	-76,531	-79,4076	-142,097
Zirje	-132,573	-115,749	-78,0343	-136,979
Rab	-111,036	-84,8618	-112,034	-123,374
Brijuni	-86,0731	-125,547	-130,402	-113,422
Jadrija	-143,632	-135,698	-115,384	-148,158
Zadar	-131,562	-118,32	-126,499	-136,506
Susak	-115,015	-92,4625	-124,263	-120,496
Rijeka	-136,379	-132,385	-142,085	-142,157
Savudrija	-110,408	-135,197	-143,709	-77,9417

Tablica 45: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-137,589	-134,717	-141,189	-148,001
Osoršćica	-81,3203	-73,6323	-101,786	-113,551
Koromačno	-116,031	-118,087	-136,001	-123,491
Sveti Martin	-100,001	-126,489	-134,057	-83,278
Razromir	-103,403	-96,3645	-117,988	-118,272
Dugi Otok	-150,334	-74,0531	-76,9297	-139,619
Žirje	-130,095	-113,271	-75,5565	-134,501
Rab	-108,558	-82,384	-109,556	-120,897
Brijuni	-83,5952	-123,069	-127,924	-110,945
Jadrija	-141,154	-133,22	-112,906	-145,68
Zadar	-129,084	-115,842	-124,021	-134,028
Susak	-112,537	-89,9846	-121,786	-118,018
Rijeka	-133,902	-129,907	-139,607	-139,679
Savudrija	-107,93	-132,719	-141,231	-75,4639

Tablica 46: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-137,227	-134,355	-140,827	-147,639
Osoršćica	-80,9582	-73,2702	-101,424	-113,189
Koromačno	-115,669	-117,725	-135,639	-123,129
Sveti Martin	-99,6391	-126,127	-133,694	-82,9159
Razromir	-103,041	-96,0024	-117,626	-117,91
Dugi Otok	-149,972	-73,691	-76,5676	-139,257
Žirje	-129,733	-112,909	-75,1943	-134,139
Rab	-108,196	-82,0218	-109,194	-120,534
Brijuni	-83,2331	-122,707	-127,562	-110,583
Jadrija	-140,792	-132,858	-112,544	-145,318
Zadar	-128,722	-115,48	-123,659	-133,666
Susak	-112,175	-89,6225	-121,423	-117,656
Rijeka	-133,539	-129,545	-139,245	-139,317
Savudrija	-107,568	-132,357	-140,869	-75,1017

Sljedeća skupina rezultata prikazuje distribuciju snaga za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, kada je brodska prijemna antena na visini od 30 metara uz varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 47: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-152,089	-149,897	-158,505	-162,74
Osoršćica	-90,6156	-82,4743	-113,977	-129,455
Koromačno	-125,645	-131,747	-153,376	-134,718
Sveti Martin	-108,883	-142,822	-151,049	-92,3571
Razromir	-113,041	-107,049	-132,862	-128,022
Dugi Otok	-167,702	-82,874	-85,7597	-156,627
Žirje	-147,138	-126,409	-84,3401	-150,984
Rab	-119,787	-91,6047	-122,427	-133,591
Brijuni	-92,3986	-137,638	-145,26	-122,322
Jadrija	-157,675	-149,316	-122,669	-161,67
Zadar	-146,45	-126,146	-134,458	-151,148
Susak	-124,952	-99,0346	-137,641	-133,728
Rijeka	-144,45	-146,672	-156,723	-149,747
Savudrija	-118,168	-150,093	-157,455	-84,3093

Tablica 48: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-149,611	-147,419	-156,027	-160,262
Osoršćica	-88,1378	-79,9965	-111,499	-126,977
Koromačno	-123,167	-129,269	-150,898	-132,24
Sveti Martin	-106,405	-140,344	-148,571	-89,8792
Razromir	-110,563	-104,571	-130,384	-125,545
Dugi Otok	-165,224	-80,3962	-83,2819	-154,149
Žirje	-144,66	-123,931	-81,8622	-148,506
Rab	-117,309	-89,1268	-119,949	-131,114
Brijuni	-89,9208	-135,16	-142,782	-119,844
Jadrija	-155,198	-146,839	-120,191	-159,193
Zadar	-143,973	-123,669	-131,98	-148,67
Susak	-122,475	-96,5567	-135,163	-131,25
Rijeka	-141,972	-144,194	-154,245	-147,269
Savudrija	-115,69	-147,615	-154,977	-81,8314

Tablica 49: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-149,249	-147,057	-155,665	-159,9
Osoršćica	-87,7756	-79,6344	-111,137	-126,615
Koromačno	-122,805	-128,907	-150,536	-131,878
Sveti Martin	-106,043	-139,982	-148,209	-89,5171
Razromir	-110,201	-104,209	-130,022	-125,182
Dugi Otok	-164,862	-80,0341	-82,9198	-153,787
Žirje	-144,298	-123,569	-81,5001	-148,144
Rab	-116,947	-88,7647	-119,587	-130,751
Brijuni	-89,5586	-134,798	-142,42	-119,482
Jadrija	-154,835	-146,477	-119,829	-158,83
Zadar	-143,61	-123,306	-131,618	-148,308
Susak	-122,112	-96,1946	-134,801	-130,888
Rijeka	-141,61	-143,832	-153,883	-146,907
Savudrija	-115,328	-147,253	-154,615	-81,4693

Sljedeća skupina rezultata prikazuje distribuciju snaga za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, kada je brodska prijemna antena na visini od 15 metara uz varijaciju vremena od 0,5 i varijaciju situacije od 0,5.

Tablica 50: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-138,301	-138,195	-144,54	-148,906
Osorščica	-86,2953	-76,799	-105,999	-114,444
Koromačno	-117,453	-125,186	-138,59	-124,272
Sveti Martin	-104,156	-130,774	-138,754	-87,2948
Razromir	-105,302	-99,592	-120,7	-120,22
Dugi Otok	-153,51	-79,7962	-80,0651	-142,226
Žirje	-135,208	-119,49	-83,5919	-137,322
Rab	-111,682	-87,4302	-113,069	-121,896
Brijuni	-91,8793	-127,748	-132,862	-117,147
Jadrija	-144,029	-138,681	-118,031	-148,368
Zadar	-133,84	-121,26	-129,414	-136,638
Susak	-119,601	-97,5826	-126,753	-118,822
Rijeka	-134,909	-134,022	-143,423	-140,59
Savudrija	-115,728	-137,132	-145,776	-83,3079

Tablica 51: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W– Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

Crikvenica	-135,823	-135,718	-142,062	-146,428
Osorščica	-83,8175	-74,3211	-103,521	-111,966
Koromačno	-114,976	-122,708	-136,112	-121,794
Sveti Martin	-101,678	-128,296	-136,276	-84,8169
Razromir	-102,824	-97,1142	-118,222	-117,742
Dugi Otok	-151,032	-77,3184	-77,5872	-139,748
Žirje	-132,73	-117,012	-81,114	-134,844
Rab	-109,204	-84,9524	-110,591	-119,418
Brijuni	-89,4015	-125,27	-130,384	-114,669
Jadrija	-141,551	-136,203	-115,553	-145,89
Zadar	-131,362	-118,782	-126,936	-134,16
Susak	-117,123	-95,1048	-124,275	-116,344
Rijeka	-132,431	-131,544	-140,945	-138,112
Savudrija	-113,25	-134,654	-143,298	-80,8301

Tablica 52: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-135,461	-135,355	-141,7	-146,066
Osoršćica	-83,4553	-73,959	-103,159	-111,604
Koromačno	-114,613	-122,346	-135,75	-121,432
Sveti Martin	-101,316	-127,934	-135,914	-84,4548
Razromir	-102,462	-96,752	-117,86	-117,38
Dugi Otok	-150,67	-76,9563	-77,2251	-139,386
Žirje	-132,368	-116,65	-80,7519	-134,482
Rab	-108,842	-84,5902	-110,229	-119,056
Brijuni	-89,0394	-124,908	-130,022	-114,307
Jadrija	-141,189	-135,841	-115,191	-145,528
Zadar	-131	-118,42	-126,574	-133,798
Susak	-116,761	-94,7426	-123,913	-115,982
Rijeka	-132,069	-131,182	-140,583	-137,75
Savudrija	-112,888	-134,292	-142,936	-80,4679

Sljedeća skupina rezultata prikazuje distribuciju snaga za Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana, kada je brodska prijemna antena na visini od 15 metara uz varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 53: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-150,682	-151,383	-159,316	-161,498
Osoršćica	-93,1895	-83,1781	-116,113	-128,123
Koromačno	-124,756	-137,074	-153,469	-133,27
Sveti Martin	-110,608	-144,948	-153,16	-93,9504
Razromir	-112,535	-108,049	-133,603	-127,571
Dugi Otok	-168,365	-86,1586	-86,4359	-156,69
Žirje	-149,668	-130,806	-89,9106	-151,256
Rab	-120,793	-94,2501	-123,933	-132,524
Brijuni	-98,2314	-140,383	-147,664	-126,627
Jadrija	-157,956	-152,659	-125,64	-161,819
Zadar	-148,692	-129,538	-137,844	-151,225
Susak	-130,218	-104,276	-140,529	-132,358
Rijeka	-143,153	-148,537	-157,962	-148,296
Savudrija	-123,912	-152,002	-159,411	-89,6594



Tablica 54: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-148,204	-148,905	-156,838	-159,02
Osorščica	-90,7117	-80,7002	-113,635	-125,645
Koromačno	-122,278	-134,596	-150,991	-130,792
Sveti Martin	-108,13	-142,47	-150,682	-91,4726
Razromir	-110,057	-105,572	-131,125	-125,093
Dugi Otok	-165,887	-83,6808	-83,9581	-154,213
Žirje	-147,191	-128,328	-87,4328	-148,778
Rab	-118,315	-91,7723	-121,455	-130,046
Brijuni	-95,7536	-137,906	-145,186	-124,149
Jadrija	-155,478	-150,181	-123,162	-159,341
Zadar	-146,214	-127,06	-135,366	-148,747
Susak	-127,74	-101,798	-138,051	-129,88
Rijeka	-140,675	-146,06	-155,484	-145,819
Savudrija	-121,434	-149,524	-156,933	-87,1816

Tablica 55: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W – Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-147,842	-148,543	-156,476	-158,658
Osorščica	-90,3495	-80,3381	-113,273	-125,283
Koromačno	-121,916	-134,234	-150,629	-130,43
Sveti Martin	-107,768	-142,108	-150,32	-91,1105
Razromir	-109,695	-105,209	-130,763	-124,731
Dugi Otok	-165,525	-83,3187	-83,596	-153,85
Žirje	-146,829	-127,966	-87,0707	-148,416
Rab	-117,953	-91,4101	-121,093	-129,684
Brijuni	-95,3915	-137,543	-144,824	-123,787
Jadrija	-155,116	-149,819	-122,8	-158,979
Zadar	-145,852	-126,698	-135,004	-148,385
Susak	-127,378	-101,436	-137,689	-129,518
Rijeka	-140,313	-145,698	-155,122	-145,456
Savudrija	-121,072	-149,162	-156,571	-86,8195

Sljedeća skupina rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južni Jadran kada je brodska prijemna antena na visini od 30 metara uz varijaciju vremena od 0,5 te varijaciju situacije od 0,5.

Tablica 56: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-85,1133	-84,6843	-105,676	-118,099	-131,29
Vis	-77,639	-68,8646	-86,818	-87,6418	-129,319
Mljet	-144,006	-133,31	-123,544	-89,8326	-102,095
Lastovo	-112,455	-89,1585	-86,6812	-67,9965	-110,529
Ilijino Brdo	-131,403	-126,545	-116,328	-91,2432	-68,1895
Rota	-131,148	-96,8175	-95,2337	-72,0798	-100,972
Srđ	-133,665	-126,295	-116,255	-86,6763	-75,2084
Makarska	-131,214	-130,628	-136,974	-125,004	-152,762
Split	-133,088	-126,138	-127,571	-139,242	-138,083
Ploče	-190,429	-155,458	-150,363	-138,015	-133,969
Petka	-157,244	-168,88	-139,071	-151,659	-136,013

Tablica 57: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,6354	-82,2065	-103,198	-115,621	-128,812
Vis	-75,1612	-66,3868	-84,3401	-85,1639	-126,841
Mljet	-141,528	-130,832	-121,067	-87,3548	-99,6168
Lastovo	-109,978	-86,6806	-84,2034	-65,5187	-108,051
Ilijino Brdo	-128,925	-124,067	-113,85	-88,7654	-65,7117
Rota	-128,67	-94,3397	-92,7559	-69,602	-98,4946
Srđ	-131,188	-123,817	-113,778	-84,1984	-72,7305
Makarska	-128,736	-128,151	-134,496	-122,526	-150,284
Split	-130,61	-123,66	-125,094	-136,764	-135,605
Ploče	-187,951	-152,98	-147,885	-135,537	-131,491
Petka	-154,766	-166,402	-136,594	-149,181	-133,535

Tablica 58: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,2733	-81,8443	-102,836	-115,259	-128,45
Vis	-74,799	-66,0246	-83,978	-84,8018	-126,479
Mljet	-141,166	-130,47	-120,704	-86,9927	-99,2547
Lastovo	-109,615	-86,3185	-83,8413	-65,1565	-107,689
Ilijino Brdo	-128,563	-123,705	-113,488	-88,4032	-65,3495
Rota	-128,308	-93,9775	-92,3937	-69,2399	-98,1325
Srđ	-130,825	-123,455	-113,415	-83,8363	-72,3684
Makarska	-128,374	-127,788	-134,134	-122,164	-149,922
Split	-130,248	-123,298	-124,732	-136,402	-135,243
Ploče	-187,589	-152,618	-147,523	-135,175	-131,129
Petka	-154,404	-166,04	-136,231	-148,819	-133,173

Sljedeća skupina rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južni Jadran kada je brodska prijemna antena na visini od 30 metara uz varijaciju vremena od 0,8 te varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 59: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-91,8384	-91,4538	-115,987	-127,521	-146,037
Vis	-84,1493	-75,1894	-93,889	-94,7583	-143,461
Mljet	-158,792	-147,551	-136,312	-96,4837	-109,949
Lastovo	-123,013	-96,1947	-93,5101	-74,3165	-121,147
Ilijino Brdo	-146,129	-140,953	-128,354	-98,6212	-74,5249
Rota	-145,681	-104,783	-103,188	-78,3726	-113,632
Srđ	-148,547	-140,011	-127,816	-93,5623	-81,5668
Makarska	-144,04	-143,003	-151,117	-134,656	-167,544
Split	-144,952	-136,895	-142,12	-149,992	-152,776
Ploče	-205,306	-168,508	-164,425	-145,495	-146,781
Petka	-171,252	-183,698	-153,903	-161,683	-143,478

Tablica 60: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-89,3605	-88,9759	-113,509	-125,044	-143,559
Vis	-81,6714	-72,7116	-91,4111	-92,2804	-140,983
Mljet	-156,314	-145,074	-133,834	-94,0058	-107,471
Lastovo	-120,536	-93,7169	-91,0322	-71,8387	-118,669
Ilijino Brdo	-143,652	-138,475	-125,876	-96,1434	-72,0471
Rota	-143,203	-102,305	-100,71	-75,8948	-111,154
Srđ	-146,069	-137,533	-125,338	-91,0845	-79,089
Makarska	-141,562	-140,525	-148,639	-132,178	-165,066
Split	-142,474	-134,417	-139,642	-147,514	-150,298
Ploče	-202,829	-166,03	-161,947	-143,017	-144,303
Petka	-168,775	-181,221	-151,425	-159,205	-141,001

Tablica 61: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-88,9984	-88,6138	-113,147	-124,681	-143,197
Vis	-81,3093	-72,3494	-91,049	-91,9183	-140,621
Mljet	-155,952	-144,711	-133,472	-93,6437	-107,109
Lastovo	-120,173	-93,3548	-90,6701	-71,4766	-118,307
Ilijino Brdo	-143,289	-138,113	-125,514	-95,7813	-71,6849
Rota	-142,841	-101,943	-100,348	-75,5327	-110,792
Srđ	-145,707	-137,171	-124,976	-90,7224	-78,7269
Makarska	-141,2	-140,163	-148,277	-131,816	-164,704
Split	-142,112	-134,055	-139,28	-147,152	-149,936
Ploče	-202,466	-165,668	-161,585	-142,655	-143,941
Petka	-168,412	-180,858	-151,063	-158,843	-140,638

Sljedeća skupina rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južni Jadran kada je brodska prijemna antena na visini od 15 metara uz varijaciju vremena od 0,5 te varijaciju situacije od 0,5.

Tablica 62: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-84,8205	-84,7467	-106,934	-118,238	-133,988
Vis	-79,5118	-68,8627	-88,8492	-89,113	-132,048
Mljet	-144,802	-137,016	-126,207	-94,614	-106,99
Lastovo	-115,057	-91,4952	-88,0605	-68,486	-113,017
Ilijino Brdo	-133,565	-128,215	-118,365	-91,9861	-68,1878
Rota	-133,304	-116,163	-98,0236	-72,0759	-99,9458
Srđ	-135,39	-129,08	-119,133	-88,9939	-77,6891
Makarska	-130,911	-132,496	-136,837	-125,429	-152,94
Split	-134,118	-127,77	-129,855	-139,087	-138,423
Ploče	-190,565	-154,15	-149,671	-138,039	-135,456
Petka	-158,402	-172,533	-141,387	-152,967	-139,859

Tablica 63: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,3426	-82,2688	-104,456	-115,76	-131,51
Vis	-77,034	-66,3849	-86,3714	-86,6352	-129,571
Mljet	-142,324	-134,538	-123,729	-92,1361	-104,512
Lastovo	-112,58	-89,0173	-85,5827	-66,0081	-110,539
Ilijino Brdo	-131,087	-125,737	-115,887	-89,5082	-65,7099
Rota	-130,826	-113,685	-95,5458	-69,598	-97,468
Srđ	-132,912	-126,602	-116,656	-86,516	-75,2113
Makarska	-128,433	-130,018	-134,359	-122,951	-150,463
Split	-131,64	-125,292	-127,377	-136,609	-135,945
Ploče	-188,087	-151,672	-147,193	-135,562	-132,978
Petka	-155,924	-170,055	-138,909	-150,489	-137,381

Tablica 64: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-81,9805	-81,9067	-104,094	-115,398	-131,148
Vis	-76,6719	-66,0228	-86,0093	-86,273	-129,208
Mljet	-141,962	-134,176	-123,367	-91,774	-104,15
Lastovo	-112,217	-88,6552	-85,2206	-65,646	-110,177
Ilijino Brdo	-130,725	-125,375	-115,525	-89,1461	-65,3478
Rota	-130,464	-113,323	-95,1836	-69,2359	-97,1059
Srđ	-132,55	-126,24	-116,293	-86,1539	-74,8492
Makarska	-128,071	-129,656	-133,997	-122,589	-150,1
Split	-131,278	-124,93	-127,015	-136,247	-135,583
Ploče	-187,725	-151,31	-146,831	-135,199	-132,616
Petka	-155,562	-169,693	-138,547	-150,127	-137,019

Sljedeća skupina rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južni Jadran kada je brodska prijemna antena na visini od 15 metara uz varijaciju vremena od 0,8 te varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 65: Predajna snaga baznih stanica 6,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-91,5811	-91,5613	-117,657	-128,042	-148,827
Vis	-86,058	-75,1835	-96,0197	-96,3289	-146,451
Mljet	-159,51	-151,496	-139,453	-101,371	-115,187
Lastovo	-126,098	-98,6479	-94,9697	-74,8014	-124,12
Ilijino Brdo	-148,203	-142,821	-130,939	-99,4796	-74,5184
Rota	-148,001	-126,511	-106,518	-78,3697	-112,942
Srđ	-150,229	-143,14	-131,243	-95,9724	-84,0664
Makarska	-144,207	-145,389	-151,241	-135,776	-167,799
Split	-146,544	-139,299	-144,563	-150,422	-153,023
Ploče	-205,462	-167,569	-164,01	-145,849	-148,923
Petka	-172,294	-187,281	-156,27	-163,791	-147,678

Tablica 66: Predajna snaga baznih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-89,1032	-89,0835	-115,179	-125,564	-146,349
Vis	-83,5801	-72,7057	-93,5419	-93,8511	-143,973
Mljet	-157,032	-149,018	-136,975	-98,893	-112,709
Lastovo	-123,62	-96,17	-92,4919	-72,3236	-121,643
Ilijino Brdo	-145,725	-140,343	-128,462	-97,0017	-72,0406
Rota	-145,523	-124,033	-104,04	-75,8919	-110,464
Srđ	-147,751	-140,662	-128,765	-93,4946	-81,5886
Makarska	-141,729	-142,911	-148,763	-133,298	-165,322
Split	-144,066	-136,821	-142,085	-147,944	-150,545
Ploče	-202,984	-165,092	-161,533	-143,371	-146,445
Petka	-169,817	-184,803	-153,792	-161,313	-145,201

Tablica 67: Predajna snaga baznih stanica 12,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-88,7411	-88,7214	-114,817	-125,202	-145,987
Vis	-83,218	-72,3435	-93,1798	-93,4889	-143,611
Mljet	-156,67	-148,656	-136,613	-98,5309	-112,347
Lastovo	-123,258	-95,8079	-92,1297	-71,9615	-121,281
Ilijino Brdo	-145,363	-139,981	-128,099	-96,6396	-71,6785
Rota	-145,161	-123,671	-103,678	-75,5298	-110,102
Srđ	-147,389	-140,3	-128,403	-93,1325	-81,2265
Makarska	-141,367	-142,549	-148,401	-132,936	-164,959
Split	-143,704	-136,459	-141,723	-147,582	-150,183
Ploče	-202,622	-164,729	-161,17	-143,009	-146,083
Petka	-169,454	-184,441	-153,43	-160,951	-144,838

U sljedećoj skupini rezultata obrađena je distribucija snage prema baznim stanicama, kada su brodovi u funkciji predajnika. Shodno prethodnim rezultatima, prvi rezultati se

odnose na visinu brodske predajne antene od 30 metara uz varijaciju vremena od 0,5 te varijaciju situacije od 0,5 u Sjevernom i dijelu Srednjeg Jadrana.

Tablica 68: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-140,066	-137,195	-143,667	-150,479
Osoršćica	-83,7981	-76,1102	-104,264	-116,029
Koromačno	-118,508	-120,564	-138,478	-125,969
Sveti Martin	-102,479	-128,967	-136,534	-85,7559
Razromir	-105,881	-98,8424	-120,466	-120,75
Dugi Otok	-152,812	-76,531	-79,4076	-142,097
Žirje	-132,573	-115,749	-78,0343	-136,979
Rab	-111,036	-84,8618	-112,034	-123,374
Brijuni	-86,0731	-125,547	-130,402	-113,422
Jadrija	-143,632	-135,698	-115,384	-148,158
Zadar	-131,562	-118,32	-126,499	-136,506
Susak	-115,015	-92,4625	-124,263	-120,496
Rijeka	-136,379	-132,385	-142,085	-142,006
Savudrija	-110,408	-135,197	-143,709	-77,9417

Tablica 69: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-137,589	-134,717	-141,189	-148,001
Osoršćica	-81,3203	-73,6323	-101,786	-113,551
Koromačno	-116,031	-118,087	-136,001	-123,491
Sveti Martin	-100,001	-126,489	-134,057	-83,278
Razromir	-103,403	-96,3645	-117,988	-118,272
Dugi Otok	-150,334	-74,0531	-76,9297	-139,619
Žirje	-130,095	-113,271	-75,5565	-134,501
Rab	-108,558	-82,384	-109,556	-120,897
Brijuni	-83,5952	-123,069	-127,924	-110,945
Jadrija	-141,154	-133,22	-112,906	-145,68
Zadar	-129,084	-115,842	-124,021	-134,028
Susak	-112,537	-89,9846	-121,786	-118,018
Rijeka	-133,902	-129,907	-139,607	-139,528
Savudrija	-107,93	-132,719	-141,231	-75,4639



Tablica 70: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-137,227	-134,355	-140,827	-147,639
Osoršćica	-80,9582	-73,2702	-101,424	-113,189
Koromačno	-115,669	-117,725	-135,639	-123,129
Sveti Martin	-99,6391	-126,127	-133,694	-82,9159
Razromir	-103,041	-96,0024	-117,626	-117,91
Dugi Otok	-149,972	-73,691	-76,5676	-139,257
Žirje	-129,733	-112,909	-75,1943	-134,139
Rab	-108,196	-82,0218	-109,194	-120,534
Brijuni	-83,2331	-122,707	-127,562	-110,583
Jadrija	-140,792	-132,858	-112,544	-145,318
Zadar	-128,722	-115,48	-123,659	-133,666
Susak	-112,175	-89,6225	-121,423	-117,656
Rijeka	-133,539	-129,545	-139,245	-139,166
Savudrija	-107,568	-132,357	-140,869	-75,1017

U sljedećoj skupini rezultata obrađena je distribucija snage prema baznim stanicama za visinu brodske predajne antene od 30 metara te varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 71: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-152,089	-149,897	-158,505	-162,74
Osoršćica	-90,6156	-82,4743	-113,977	-129,455
Koromačno	-125,645	-131,747	-153,376	-134,718
Sveti Martin	-108,883	-142,822	-151,049	-92,3571
Razromir	-113,041	-107,049	-132,862	-128,022
Dugi Otok	-167,702	-82,874	-85,7597	-156,627
Žirje	-147,138	-126,409	-84,3401	-150,984
Rab	-119,787	-91,6047	-122,427	-133,591
Brijuni	-92,3986	-137,638	-145,26	-122,322
Jadrija	-157,675	-149,316	-122,669	-161,67
Zadar	-146,45	-126,146	-134,458	-151,148
Susak	-124,952	-99,0346	-137,641	-133,728
Rijeka	-144,45	-146,672	-156,723	-149,584
Savudrija	-118,168	-150,093	-157,455	-84,3093

Tablica 72: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-149,611	-147,419	-156,027	-160,262
Osoršćica	-88,1378	-79,9965	-111,499	-126,977
Koromačno	-123,167	-129,269	-150,898	-132,24
Sveti Martin	-106,405	-140,344	-148,571	-89,8792
Razromir	-110,563	-104,571	-130,384	-125,545
Dugi Otok	-165,224	-80,3962	-83,2819	-154,149
Žirje	-144,66	-123,931	-81,8622	-148,506
Rab	-117,309	-89,1268	-119,949	-131,114
Brijuni	-89,9208	-135,16	-142,782	-119,844
Jadrija	-155,198	-146,839	-120,191	-159,193
Zadar	-143,973	-123,669	-131,98	-148,67
Susak	-122,475	-96,5567	-135,163	-131,25
Rijeka	-141,972	-144,194	-154,245	-147,106
Savudrija	-115,69	-147,615	-154,977	-81,8314

Tablica 73: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-149,249	-147,057	-155,665	-159,9
Osoršćica	-87,7756	-79,6344	-111,137	-126,615
Koromačno	-122,805	-128,907	-150,536	-131,878
Sveti Martin	-106,043	-139,982	-148,209	-89,5171
Razromir	-110,201	-104,209	-130,022	-125,182
Dugi Otok	-164,862	-80,0341	-82,9198	-153,787
Žirje	-144,298	-123,569	-81,5001	-148,144
Rab	-116,947	-88,7647	-119,587	-130,751
Brijuni	-89,5586	-134,798	-142,42	-119,482
Jadrija	-154,835	-146,477	-119,829	-158,83
Zadar	-143,61	-123,306	-131,618	-148,308
Susak	-122,112	-96,1946	-134,801	-130,888
Rijeka	-141,61	-143,832	-153,883	-146,744
Savudrija	-115,328	-147,253	-154,615	-81,4693

U sljedećoj skupini rezultata prikazana je distribucija snaga u slučaju visine brodske predajne antene od 15 metara te varijacije vremena od 0,5 i varijacije situacije od 0,5.

Tablica 74: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-138,301	-138,195	-144,54	-148,906
Osoršćica	-86,2953	-76,799	-105,999	-114,444
Koromačno	-117,453	-125,186	-138,59	-124,272
Sveti Martin	-104,156	-130,774	-138,754	-87,2948
Razromir	-105,302	-99,592	-120,7	-120,22
Dugi Otok	-153,51	-79,7962	-80,0651	-142,226
Žirje	-135,208	-119,49	-83,5919	-137,322
Rab	-111,682	-87,4302	-113,069	-121,896
Brijuni	-91,8793	-127,748	-132,862	-117,147
Jadrija	-144,029	-138,681	-118,031	-148,368
Zadar	-133,84	-121,26	-129,414	-136,638
Susak	-119,601	-97,5826	-126,753	-118,822
Rijeka	-134,909	-134,022	-143,423	-140,578
Savudrija	-115,728	-137,132	-145,776	-83,3079

Tablica 75: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-135,823	-135,718	-142,062	-146,428
Osoršćica	-83,8175	-74,3211	-103,521	-111,966
Koromačno	-114,976	-122,708	-136,112	-121,794
Sveti Martin	-101,678	-128,296	-136,276	-84,8169
Razromir	-102,824	-97,1142	-118,222	-117,742
Dugi Otok	-151,032	-77,3184	-77,5872	-139,748
Žirje	-132,73	-117,012	-81,114	-134,844
Rab	-109,204	-84,9524	-110,591	-119,418
Brijuni	-89,4015	-125,27	-130,384	-114,669
Jadrija	-141,551	-136,203	-115,553	-145,89
Zadar	-131,362	-118,782	-126,936	-134,16
Susak	-117,123	-95,1048	-124,275	-116,344
Rijeka	-132,431	-131,544	-140,945	-138,1
Savudrija	-113,25	-134,654	-143,298	-80,8301

Tablica 76: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-135,461	-135,355	-141,7	-146,066
Osoršćica	-83,4553	-73,959	-103,159	-111,604
Koromačno	-114,613	-122,346	-135,75	-121,432
Sveti Martin	-101,316	-127,934	-135,914	-84,4548
Razromir	-102,462	-96,752	-117,86	-117,38
Dugi Otok	-150,67	-76,9563	-77,2251	-139,386
Žirje	-132,368	-116,65	-80,7519	-134,482
Rab	-108,842	-84,5902	-110,229	-119,056
Brijuni	-89,0394	-124,908	-130,022	-114,307
Jadrija	-141,189	-135,841	-115,191	-145,528
Zadar	-131	-118,42	-126,574	-133,798
Susak	-116,761	-94,7426	-123,913	-115,982
Rijeka	-132,069	-131,182	-140,583	-137,738
Savudrija	-112,888	-134,292	-142,936	-80,4679

U sljedećoj skupini rezultata obrađena je distribucija snage prema baznim stanicama za visinu brodske predajne antene od 15 metara te varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 77: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-150,682	-151,383	-159,316	-161,498
Osoršćica	-93,1895	-83,1781	-116,113	-128,123
Koromačno	-124,756	-137,074	-153,469	-133,27
Sveti Martin	-110,608	-144,948	-153,16	-93,9504
Razromir	-112,535	-108,049	-133,603	-127,571
Dugi Otok	-168,365	-86,1586	-86,4359	-156,69
Žirje	-149,668	-130,806	-89,9106	-151,256
Rab	-120,793	-94,2501	-123,933	-132,524
Brijuni	-98,2314	-140,383	-147,664	-126,627
Jadrija	-157,956	-152,659	-125,64	-161,819
Zadar	-148,692	-129,538	-137,844	-151,225
Susak	-130,218	-104,276	-140,529	-132,358
Rijeka	-143,153	-148,537	-157,962	-148,27
Savudrija	-123,912	-152,002	-159,411	-89,6594

Tablica 78: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-148,204	-148,905	-156,838	-159,02
Osoršćica	-90,7117	-80,7002	-113,635	-125,645
Koromačno	-122,278	-134,596	-150,991	-130,792
Sveti Martin	-108,13	-142,47	-150,682	-91,4726
Razromir	-110,057	-105,572	-131,125	-125,093
Dugi Otok	-165,887	-83,6808	-83,9581	-154,213
Žirje	-147,191	-128,328	-87,4328	-148,778
Rab	-118,315	-91,7723	-121,455	-130,046
Brijuni	-95,7536	-137,906	-145,186	-124,149
Jadrija	-155,478	-150,181	-123,162	-159,341
Zadar	-146,214	-127,06	-135,366	-148,747
Susak	-127,74	-101,798	-138,051	-129,88
Rijeka	-140,675	-146,06	-155,484	-145,793
Savudrija	-121,434	-149,524	-156,933	-87,1816

Tablica 79: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4
Crikvenica	-147,842	-148,543	-156,476	-158,658
Osoršćica	-90,3495	-80,3381	-113,273	-125,283
Koromačno	-121,916	-134,234	-150,629	-130,43
Sveti Martin	-107,768	-142,108	-150,32	-91,1105
Razromir	-109,695	-105,209	-130,763	-124,731
Dugi Otok	-165,525	-83,3187	-83,596	-153,85
Žirje	-146,829	-127,966	-87,0707	-148,416
Rab	-117,953	-91,4101	-121,093	-129,684
Brijuni	-95,3915	-137,543	-144,824	-123,787
Jadrija	-155,116	-149,819	-122,8	-158,979
Zadar	-145,852	-126,698	-135,004	-148,385
Susak	-127,378	-101,436	-137,689	-129,518
Rijeka	-140,313	-145,698	-155,122	-145,431
Savudrija	-121,072	-149,162	-156,571	-86,8195

Shodno prethodno prikazanim rezultatima, niži rezultati prikazuju distribuciju snage prema baznim stanicama na području dijela Srednjeg i Južnog Jadrana. Prvi prikazani rezultati odnose se na visinu brodske predajne antene od 30 metara te varijaciju vremena od 0,5 i varijaciju situacije od 0,5.

Tablica 80: Predajna snaga brodske stanice 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-85,1133	-84,6843	-105,676	-118,099	-131,29
Vis	-77,639	-68,8646	-86,818	-87,6418	-129,319
Mljet	-144,006	-133,31	-123,544	-89,8326	-102,095
Lastovo	-112,455	-89,1585	-86,6812	-67,9965	-110,529
Ilijino Brdo	-131,403	-126,545	-116,328	-91,2432	-68,1895
Rota	-131,175	-96,8175	-95,2337	-72,0798	-100,972
Srđ	-133,665	-126,295	-116,255	-86,6763	-75,2084
Makarska	-131,214	-130,628	-136,974	-125,004	-152,762
Split	-133,088	-126,138	-127,571	-139,242	-138,035
Ploče	-190,429	-155,458	-150,363	-138,015	-133,969
Petka	-157,244	-168,88	-139,071	-151,659	-136,013

Tablica 81: Predajna snaga brodske stanice 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,6354	-82,2065	-103,198	-115,621	-128,812
Vis	-75,1612	-66,3868	-84,3401	-85,1639	-126,841
Mljet	-141,528	-130,832	-121,067	-87,3548	-99,6168
Lastovo	-109,978	-86,6806	-84,2034	-65,5187	-108,051
Ilijino Brdo	-128,925	-124,067	-113,85	-88,7654	-65,7117
Rota	-128,697	-94,3397	-92,7559	-69,602	-98,4946
Srđ	-131,188	-123,817	-113,778	-84,1984	-72,7305
Makarska	-128,736	-128,151	-134,496	-122,526	-150,284
Split	-130,61	-123,66	-125,094	-136,764	-135,557
Ploče	-187,951	-152,98	-147,885	-135,537	-131,491
Petka	-154,766	-166,402	-136,594	-149,181	-133,535

Tablica 82: Predajna snaga brodske stanice 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,2733	-81,8443	-102,836	-115,259	-128,45
Vis	-74,799	-66,0246	-83,978	-84,8018	-126,479
Mljet	-141,166	-130,47	-120,704	-86,9927	-99,2547
Lastovo	-109,615	-86,3185	-83,8413	-65,1565	-107,689
Ilijino Brdo	-128,563	-123,705	-113,488	-88,4032	-65,3495
Rota	-128,335	-93,9775	-92,3937	-69,2399	-98,1325
Srđ	-130,825	-123,455	-113,415	-83,8363	-72,3684
Makarska	-128,374	-127,788	-134,134	-122,164	-149,922
Split	-130,248	-123,298	-124,732	-136,402	-135,195
Ploče	-187,589	-152,618	-147,523	-135,175	-131,129
Petka	-154,404	-166,04	-136,231	-148,819	-133,173

U sljedećoj skupini rezultata prikazana je distribucija snaga za visinu brodske predajne antene od 30 metara te varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 83: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-91,8384	-91,4538	-115,987	-127,521	-146,037
Vis	-84,1493	-75,1894	-93,889	-94,7583	-143,461
Mljet	-158,792	-147,551	-136,312	-96,4837	-109,949
Lastovo	-123,013	-96,1947	-93,5101	-74,3165	-121,147
Ilijino Brdo	-146,129	-140,953	-128,354	-98,6212	-74,5249
Rota	-145,69	-104,783	-103,188	-78,3726	-113,632
Srđ	-148,547	-140,011	-127,816	-93,5623	-81,5668
Makarska	-144,04	-143,003	-151,117	-134,656	-167,544
Split	-144,952	-136,895	-142,12	-149,992	-152,733
Ploče	-205,306	-168,508	-164,425	-145,495	-146,781
Petka	-171,252	-183,698	-153,903	-161,683	-143,478

Tablica 84: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-89,3605	-88,9759	-113,509	-125,044	-143,559
Vis	-81,6714	-72,7116	-91,4111	-92,2804	-140,983
Mljet	-156,314	-145,074	-133,834	-94,0058	-107,471
Lastovo	-120,536	-93,7169	-91,0322	-71,8387	-118,669
Ilijino Brdo	-143,652	-138,475	-125,876	-96,1434	-72,0471
Rota	-143,212	-102,305	-100,71	-75,8948	-111,154
Srđ	-146,069	-137,533	-125,338	-91,0845	-79,089
Makarska	-141,562	-140,525	-148,639	-132,178	-165,066
Split	-142,474	-134,417	-139,642	-147,514	-150,255
Ploče	-202,829	-166,03	-161,947	-143,017	-144,303
Petka	-168,775	-181,221	-151,425	-159,205	-141,001

Tablica 85: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-88,9984	-88,6138	-113,147	-124,681	-143,197
Vis	-81,3093	-72,3494	-91,049	-91,9183	-140,621
Mljet	-155,952	-144,711	-133,472	-93,6437	-107,109
Lastovo	-120,173	-93,3548	-90,6701	-71,4766	-118,307
Ilijino Brdo	-143,289	-138,113	-125,514	-95,7813	-71,6849
Rota	-142,85	-101,943	-100,348	-75,5327	-110,792
Srđ	-145,707	-137,171	-124,976	-90,7224	-78,7269
Makarska	-141,2	-140,163	-148,277	-131,816	-164,704
Split	-142,112	-134,055	-139,28	-147,152	-149,893
Ploče	-202,466	-165,668	-161,585	-142,655	-143,941
Petka	-168,412	-180,858	-151,063	-158,843	-140,638

U sljedećoj skupini rezultata prikazana je distribucija snaga za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena od 0,5 i varijaciju situacije od 0,5.

Tablica 86: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-84,8205	-84,7467	-106,934	-118,238	-133,988
Vis	-79,5118	-68,8627	-88,8492	-89,113	-132,048
Mljet	-144,802	-137,016	-126,207	-94,614	-106,99
Lastovo	-115,057	-91,4952	-88,0605	-68,486	-113,017
Ilijino Brdo	-133,565	-128,215	-118,365	-91,9861	-68,1878
Rota	-133,329	-116,163	-98,0236	-72,0759	-99,9458
Srđ	-135,39	-129,08	-119,133	-88,9939	-77,6891
Makarska	-130,911	-132,496	-136,837	-125,429	-152,94
Split	-134,118	-127,77	-129,855	-139,087	-138,371
Ploče	-190,565	-154,15	-149,671	-138,039	-135,456
Petka	-158,402	-172,533	-141,387	-152,967	-139,859

Tablica 87: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-82,3426	-82,2688	-104,456	-115,76	-131,51
Vis	-77,034	-66,3849	-86,3714	-86,6352	-129,571
Mljet	-142,324	-134,538	-123,729	-92,1361	-104,512
Lastovo	-112,58	-89,0173	-85,5827	-66,0081	-110,539
Ilijino Brdo	-131,087	-125,737	-115,887	-89,5082	-65,7099
Rota	-130,852	-113,685	-95,5458	-69,598	-97,468
Srđ	-132,912	-126,602	-116,656	-86,516	-75,2113
Makarska	-128,433	-130,018	-134,359	-122,951	-150,463
Split	-131,64	-125,292	-127,377	-136,609	-135,893
Ploče	-188,087	-151,672	-147,193	-135,562	-132,978
Petka	-155,924	-170,055	-138,909	-150,489	-137,381

Tablica 88: Predajna snaga brodskih stanica 12,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-81,9805	-81,9067	-104,094	-115,398	-131,148
Vis	-76,6719	-66,0228	-86,0093	-86,273	-129,208
Mljet	-141,962	-134,176	-123,367	-91,774	-104,15
Lastovo	-112,217	-88,6552	-85,2206	-65,646	-110,177
Ilijino Brdo	-130,725	-125,375	-115,525	-89,1461	-65,3478
Rota	-130,49	-113,323	-95,1836	-69,2359	-97,1059
Srđ	-132,55	-126,24	-116,293	-86,1539	-74,8492
Makarska	-128,071	-129,656	-133,997	-122,589	-150,1
Split	-131,278	-124,93	-127,015	-136,247	-135,531
Ploče	-187,725	-151,31	-146,831	-135,199	-132,616
Petka	-155,562	-169,693	-138,547	-150,127	-137,019



U sljedećoj skupini rezultata prikazana je distribucija snaga za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena od 0,8 i varijaciju situacije od 0,8.

Tablica 89: Predajna snaga brodskih stanica 6,5 W – dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-91,5811	-91,5613	-117,657	-128,042	-148,827
Vis	-86,058	-75,1835	-96,0197	-96,3289	-146,451
Mljet	-159,51	-151,496	-139,453	-101,371	-115,187
Lastovo	-126,098	-98,6479	-94,9697	-74,8014	-124,12
IlijinoBrdo	-148,203	-142,821	-130,939	-99,4796	-74,5184
Rota	-148,013	-126,511	-106,518	-78,3697	-112,942
Srđ	-150,229	-143,14	-131,243	-95,9724	-84,0664
Makarska	-144,207	-145,389	-151,241	-135,776	-167,799
Split	-146,544	-139,299	-144,563	-150,422	-152,976
Ploče	-205,462	-167,569	-164,01	-145,849	-148,923
Petka	-172,294	-187,281	-156,27	-163,791	-147,678

Tablica 90: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-89,1032	-89,0835	-115,179	-125,564	-146,349
Vis	-83,5801	-72,7057	-93,5419	-93,8511	-143,973
Mljet	-157,032	-149,018	-136,975	-98,893	-112,709
Lastovo	-123,62	-96,17	-92,4919	-72,3236	-121,643
IlijinoBrdo	-145,725	-140,343	-128,462	-97,0017	-72,0406
Rota	-145,536	-124,033	-104,04	-75,8919	-110,464
Srđ	-147,751	-140,662	-128,765	-93,4946	-81,5886
Makarska	-141,729	-142,911	-148,763	-133,298	-165,322
Split	-144,066	-136,821	-142,085	-147,944	-150,498
Ploče	-202,984	-165,092	-161,533	-143,371	-146,445
Petka	-169,817	-184,803	-153,792	-161,313	-145,201

Tablica 91: Predajna snaga brodskih stanica 11,5 W - dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	Brod 1	Brod 2	Brod 3	Brod 4	Brod 5
Labinštica	-87,7411	-87,7214	-113,817	-124,202	-144,987
Vis	-82,218	-71,3435	-92,1798	-92,4889	-142,611
Mljet	-155,67	-147,656	-135,613	-97,5309	-111,347
Lastovo	-122,258	-94,8079	-91,1297	-70,9615	-120,281
IlijinoBrdo	-144,363	-138,981	-127,099	-95,6396	-70,6785
Rota	-144,173	-122,671	-102,678	-74,5298	-109,102
Srđ	-146,389	-139,3	-127,403	-92,1325	-80,2265
Makarska	-140,367	-141,549	-147,401	-131,936	-163,959
Split	-142,704	-135,459	-140,723	-146,582	-149,136
Ploče	-201,622	-163,729	-160,17	-142,009	-145,083
Petka	-168,454	-183,441	-152,43	-159,951	-143,838

## **PRILOG 2 – Proračun kvalitete bežične veze na svim baznim i brodskim stanicama**

U sklopu ovog priloga tablično su prikazane vrijednosti ostvarivih odnosa energije bita u odnosu na spektralnu gustoću šuma. Termalni šum koji je uključen u izračun odnosi se na temperaturu od 290 K. Kao u prethodnom prilogu, obrađeni su slučajevi bazne stanice u funkciji predajnika i broda u funkciji predajnika na tri različite snage odašiljanja, odnosno, na tri različite širine kanala i tri različite modulacijske tehnike.

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 92).

Tablica 92: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	39,03831691	37,27740432	36,02801696	40,90222907	-82,0956
Brod 2	47,65331691	45,89240432	44,64301696	49,51722907	-73,4806
Brod 3	45,25291691	43,49200432	42,24261696	47,11682907	-75,881
Brod 4	42,12511691	40,36420432	39,11481696	43,98902907	-79,0088
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	35,66591696	33,90500437	32,655617	37,52982911	-82,4577
Brod 2	44,28091696	42,52000437	41,270617	46,14482911	-73,8427
Brod 3	41,88051696	40,11960437	38,870217	43,74442911	-76,2431
Brod 4	38,75261696	36,99170437	35,742317	40,61652911	-79,371
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	30,177717	28,41680441	27,16741704	32,04162916	-84,9356
Brod 2	38,792717	37,03180441	35,78241704	40,65662916	-76,3206
Brod 3	36,392417	34,63150441	33,38211704	38,25632916	-78,7209
Brod 4	33,264517	31,50360441	30,25421704	35,12842916	-81,8488

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 93).

Tablica 93: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	32,46681691	30,70590432	29,45651696	34,33072907	-88,6671
Brod 2	41,29971691	39,53880432	38,28941696	43,16362907	-79,8342
Brod 3	38,92401691	37,16310432	35,91371696	40,78792907	-82,2099
Brod 4	35,64071691	33,87980432	32,63041696	37,50462907	-85,4932
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	29,09431696	27,33340437	26,084017	30,95822911	-89,0293
Brod 2	37,92731696	36,16640437	34,917017	39,79122911	-80,1963
Brod 3	35,55151696	33,79060437	32,541217	37,41542911	-82,5721
Brod 4	32,26831696	30,50740437	29,258017	34,13222911	-85,8553
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	23,606217	21,84530441	20,59591704	25,47012916	-91,5071
Brod 2	32,439117	30,67820441	29,42881704	34,30302916	-82,6742
Brod 3	30,063417	28,30250441	27,05311704	31,92732916	-85,0499
Brod 4	26,780117	25,01920441	23,76981704	28,64402916	-88,3332

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 94)

Tablica 94: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	34,88655742	33,12564483	31,87625746	36,75046957	-86,2473595
Brod 2	45,67627137	43,91535878	42,66597142	47,54018353	-75,45764554
Brod 3	42,14540906	40,38449647	39,1351091	44,00932122	-78,98850785
Brod 4	38,67255623	36,91164364	35,66225627	40,53646839	-82,46136068
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	31,51413573	29,75322314	28,50383578	33,37804789	-86,60948122
Brod 2	42,30384969	40,5429371	39,29354973	44,16776185	-75,81976727
Brod 3	38,77298738	37,01207479	35,76268742	40,63689954	-79,35062958
Brod 4	35,30013455	33,53922196	32,28983459	37,1640467	-82,82348241
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	26,02599094	24,26507835	23,01569098	27,8899031	-89,08732606
Brod 2	36,8157049	35,05479231	33,80540494	38,67961705	-78,2976121
Brod 3	33,28484258	31,52392999	30,27454263	35,14875474	-81,82847442
Brod 4	29,81198975	28,05107716	26,8016898	31,67590191	-85,30132725

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 95).

Tablica 95: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	28,26341037	26,50249778	25,25311041	30,12732252	-92,87050655
Brod 2	39,30552877	37,54461618	36,29522881	41,16944093	-81,82838814
Brod 3	35,80059705	34,03968446	32,79029709	37,66450921	-85,33331986
Brod 4	32,16893878	30,40802619	29,15863883	34,03285094	-88,96497813
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	24,89098868	23,13007609	21,88068873	26,75490084	-93,23262827
Brod 2	35,93310709	34,1721945	32,92280713	37,79701924	-82,19050987
Brod 3	32,42817537	30,66726278	29,41787541	34,29208752	-85,69544159
Brod 4	28,7965171	27,03560451	25,78621715	30,66042926	-89,32709986
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	19,40284389	17,6419313	16,39254393	21,26675605	-95,71047311
Brod 2	30,44496229	28,6840497	27,43466234	32,30887445	-84,66835471
Brod 3	26,94003057	25,17911798	23,92973062	28,80394273	-88,17328643
Brod 4	23,30837231	21,54745972	20,29807235	25,17228446	-91,80494469

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 96).

Tablica 96: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	42,59771691	40,83680432	39,58741696	44,46162907	-78,5362
Brod 2	47,19941691	45,43850432	44,18911696	49,06332907	-73,9345
Brod 3	37,22431691	35,46340432	34,21401696	39,08822907	-83,9096
Brod 4	53,93571691	52,17480432	50,92541696	55,79962907	-67,1982
Brod 5	52,27491691	50,51400432	49,26461696	54,13882907	-68,859
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	39,22561696	37,46470437	36,215317	41,08952911	-78,898
Brod 2	43,82661696	42,06570437	40,816317	45,69052911	-74,297
Brod 3	33,85161696	32,09070437	30,841317	35,71552911	-84,272
Brod 4	50,56361696	48,80270437	47,553317	52,42752911	-67,56
Brod 5	48,90261696	47,14170437	45,892317	50,76652911	-69,221
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	33,737217	31,97630441	30,72691704	35,60112916	-81,3761
Brod 2	38,338817	36,57790441	35,32851704	40,20272916	-76,7745
Brod 3	28,363717	26,60280441	25,35341704	30,22762916	-86,7496
Brod 4	45,075117	43,31420441	42,06481704	46,93902916	-70,0382
Brod 5	43,414417	41,65350441	40,40411704	45,27832916	-71,6989

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 97).

Tablica 97: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	35,98001691	34,21910432	32,96971696	37,84392907	-85,1539
Brod 2	40,65231691	38,89140432	37,64201696	42,51622907	-80,4816
Brod 3	30,27431691	28,51340432	27,26401696	32,13822907	-90,8596
Brod 4	47,62931691	45,86840432	44,61901696	49,49322907	-73,5046
Brod 5	45,92801691	44,16710432	42,91771696	47,79192907	-75,2059
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	32,60764395	30,84673136	29,59734399	34,4715561	-85,51597301
Brod 2	37,27987138	35,51895879	34,26957143	39,14378354	-80,84374557
Brod 3	26,90194286	25,14103027	23,8916429	28,76585502	-91,2216741
Brod 4	44,25688079	42,4959682	41,24658083	46,12079294	-73,86673617
Brod 5	42,55559709	40,7946845	39,54529714	44,41950925	-75,56801986
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	27,11949915	25,35858656	24,1091992	28,98341131	-87,99381785
Brod 2	31,79172659	30,030814	28,78142663	33,65563875	-83,32159041
Brod 3	21,41379807	19,65288548	18,40349811	23,27771022	-93,69951893
Brod 4	38,76873599	37,0078234	35,75843604	40,63264815	-76,34458101
Brod 5	37,0674523	35,30653971	34,05715234	38,93136446	-78,0458647



Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 98).

Tablica 98: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	41,80772792	40,04681533	38,79742797	43,67164008	-79,32618899
Brod 2	47,16919048	45,40827789	44,15889052	49,03310264	-73,96472643
Brod 3	35,51898811	33,75807552	32,50868815	37,38290027	-85,6149288
Brod 4	53,69297369	51,9320611	50,68267374	55,55688585	-67,44094322
Brod 5	51,03543463	49,27452204	48,02513467	52,89934678	-70,09848229
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	38,43530624	36,67439365	35,42500628	40,2992184	-79,68831072
Brod 2	43,7967688	42,03585621	40,78646884	45,66068096	-74,32684816
Brod 3	32,14656643	30,38565384	29,13626647	34,01047858	-85,97705053
Brod 4	50,32055201	48,55963942	47,31025205	52,18446417	-67,80306495
Brod 5	47,66301294	45,90210035	44,65271299	49,5269251	-70,46060401
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	32,94716145	31,18624885	29,93686149	34,8110736	-82,16615555
Brod 2	38,308624	36,54771141	35,29832405	40,17253616	-76,804693
Brod 3	26,65842163	24,89750904	23,64812168	28,52233379	-88,45489537
Brod 4	44,83240722	43,07149463	41,82210726	46,69631937	-70,28090978
Brod 5	42,17486815	40,41395556	39,16456819	44,03878031	-72,93844885

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su bazne stanice u funkciji predajnika za visinu prijemne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 99).

Tablica 99: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_r=15m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	35,15437359	33,393461	32,14407363	37,01828575	-85,97954332
Brod 2	40,60147101	38,84055842	37,59117105	42,46538316	-80,53244591
Brod 3	28,47916752	26,71825493	25,46886756	30,34307968	-92,65474939
Brod 4	47,38828885	45,62737626	44,37798889	49,25220101	-73,74562806
Brod 5	44,68144632	42,92053373	41,67114637	46,54535848	-76,45247059
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	31,78195191	30,02103932	28,77165195	33,64586407	-86,34166505
Brod 2	37,22904932	35,46813673	34,21874937	39,09296148	-80,89456763
Brod 3	25,10674584	23,34583325	22,09644588	26,97065799	-93,01687112
Brod 4	44,01586717	42,25495458	41,00556721	45,87977932	-74,10774979
Brod 5	41,30902464	39,54811205	38,29872468	43,1729368	-76,81459232
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Brod 1	26,29380711	24,53289452	23,28350716	28,15771927	-88,81950989
Brod 2	31,74090453	29,97999194	28,73060457	33,60481669	-83,37241247
Brod 3	19,61860104	17,85768845	16,60830109	21,4825132	-95,49471596
Brod 4	38,52772237	36,76680978	35,51742242	40,39163453	-76,58559463
Brod 5	35,82087985	34,05996726	32,81057989	37,684792	-79,29243715

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 100).

Tablica 100: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	44,01971691	42,25880432	41,00941696	45,88362907	-77,1142
Sveti Martin	38,21801691	36,45710432	35,20771696	40,08192907	-82,9159
DugiOtok	46,00461691	44,24370432	42,99431696	47,86852907	-75,1293
Žirje	46,00461691	44,24370432	42,99431696	47,86852907	-75,1293
Rab	39,11211691	37,35120432	36,10181696	40,97602907	-82,0218
Brijuni	37,90081691	36,13990432	34,89051696	39,76472907	-83,2331
Savudrija	46,03221691	44,27130432	43,02191696	47,89612907	-75,1017
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	40,64731696	38,88640437	37,637017	42,51122911	-77,4763
Sveti Martin	34,84561696	33,08470437	31,835317	36,70952911	-83,278
DugiOtok	42,63221696	40,87130437	39,621917	44,49612911	-75,4914
Žirje	42,56711696	40,80620437	39,556817	44,43102911	-75,5565
Rab	35,73961696	33,97870437	32,729317	37,60352911	-82,384
Brijuni	34,52841696	32,76750437	31,518117	36,39232911	-83,5952
Savudrija	42,65971696	40,89880437	39,649417	44,52362911	-75,4639
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	35,1591602	33,39824761	32,14886024	37,02307236	-79,9541568
Sveti Martin	29,3574295	27,59651691	26,34712954	31,22134166	-85,7558875
DugiOtok	37,1440511	35,38313851	34,13375114	39,00796326	-77,9692659
Žirje	37,0790095	35,31809691	34,06870954	38,94292166	-78,0343075
Rab	30,2515118	28,49059921	27,24121184	32,11542396	-84,8618052
Brijuni	29,0402569	27,27934431	26,02995694	30,90416906	-86,0730601
Savudrija	37,1716035	35,41069091	34,16130354	39,03551566	-77,9417135

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 101).

Tablica 101: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=30m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	37,42891691	35,66800432	34,41861696	39,29282907	-83,705
Sveti Martin	31,61681691	29,85590432	28,60651696	33,48072907	-89,5171
DugiOtok	39,65701691	37,89610432	36,64671696	41,52092907	-81,4769
Žirje	39,63381691	37,87290432	36,62351696	41,49772907	-81,5001
Rab	32,36921691	30,60830432	29,35891696	34,23312907	-88,7647
Brijuni	31,57531691	29,81440432	28,56501696	33,43922907	-89,5586
Savudrija	39,66461691	37,90370432	36,65431696	41,52852907	-81,4693
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	34,05651696	32,29560437	31,046217	35,92042911	-84,0671
Sveti Martin	28,24441696	26,48350437	25,234117	30,10832911	-89,8792
DugiOtok	36,28461696	34,52370437	33,274317	38,14852911	-81,839
Žirje	36,26141696	34,50050437	33,251117	38,12532911	-81,8622
Rab	28,99681696	27,23590437	25,986517	30,86072911	-89,1268
Brijuni	28,20281696	26,44190437	25,192517	30,06672911	-89,9208
Savudrija	36,29221696	34,53130437	33,281917	38,15612911	-81,8314
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	28,5683471	26,80743451	25,55804714	30,43225926	-86,5449699
Sveti Martin	22,7562548	20,99534221	19,74595484	24,62016696	-92,3570622
DugiOtok	30,7964232	29,03551061	27,78612324	32,66033536	-84,3168938
Žirje	30,7732227	29,01231011	27,76292274	32,63713486	-84,3400943
Rab	23,5086669	21,74775431	20,49836694	25,37257906	-91,6046501
Brijuni	22,7147114	20,95379881	19,70441144	24,57862356	-92,3986056
Savudrija	30,8040483	29,04313571	27,79374834	32,66796046	-84,3092687

Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 102).

Tablica 102: Vrijednosti  $E_b/N_0$  - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	42,4267422	40,66582961	39,41644225	44,29065436	-78,70717471
Sveti Martin	36,67912431	34,91821172	33,66882435	38,54303647	-84,4547926
DugiOtok	44,04322065	42,28230806	41,03292069	45,9071328	-77,09069627
Žirje	40,38201338	38,62110079	37,37171342	42,24592553	-80,75190354
Rab	36,54366945	34,78275686	33,53336949	38,40758161	-84,59024746
Brijuni	32,09453685	30,33362426	29,08423689	33,958449	-89,03938007
Savudrija	40,66598815	38,90507556	37,65568819	42,5299003	-80,46792877
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	39,05432052	37,29340793	36,04402056	40,91823268	-79,06929644
Sveti Martin	33,30670263	31,54579004	30,29640267	35,17061478	-84,81691433
DugiOtok	40,67079896	38,90988637	37,66049901	42,53471112	-77,45281799
Žirje	37,00959169	35,2486791	33,99929174	38,87350385	-81,11402526
Rab	33,17124777	31,41033518	30,16094781	35,03515992	-84,95236919
Brijuni	28,72211516	26,96120257	25,71181521	30,58602732	-89,40150179
Savudrija	37,29356646	35,53265387	34,28326651	39,15747862	-80,83005049
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	33,56617573	31,80526314	30,55587577	35,43008788	-81,54714127
Sveti Martin	27,81855783	26,05764524	24,80825788	29,68246999	-87,29475917
DugiOtok	35,18265417	33,42174158	32,17235421	37,04656633	-79,93066283
Žirje	31,5214469	29,76053431	28,51114694	33,38535906	-83,5918701
Rab	27,68310297	25,92219038	24,67280302	29,54701513	-87,43021403
Brijuni	23,23397037	21,47305778	20,22367041	25,09788253	-91,87934663
Savudrija	31,80542167	30,04450908	28,79512171	33,66933383	-83,30789533



Sljedeći skup rezultata odnosi se na Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 103).

Tablica 103: Vrijednosti  $E_b/N_0$  - Sjeverni i dio Srednjeg Jadrana,  $h_t=15\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	35,79009628	34,02918368	32,77979632	37,65400843	-85,34382064
Sveti Martin	30,02344152	28,26252893	27,01314156	31,88735368	-91,11047539
DugiOtok	37,67658833	35,91567574	34,66628838	39,54050049	-83,45732858
Žirje	34,06325783	32,30234524	31,05295788	35,92716999	-87,07065908
Rab	29,72378118	27,96286859	26,71348122	31,58769334	-91,41013574
Brijuni	25,74244555	23,98153296	22,73214559	27,60635771	-95,39147136
Savudrija	34,31443605	32,55352346	31,30413609	36,17834821	-86,81948086
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	32,41767459	30,656762	29,40737464	34,28158675	-85,70594236
Sveti Martin	26,65101984	24,89010724	23,64071988	28,51493199	-91,47259712
DugiOtok	34,30416665	32,54325406	31,29386669	36,16807881	-83,81945031
Žirje	30,69083615	28,92992356	27,68053619	32,55474831	-87,43278081
Rab	26,3513595	24,5904469	23,34105954	28,21527165	-91,77225746
Brijuni	22,37002387	20,60911127	19,35972391	24,23393602	-95,75359309
Savudrija	30,94201437	29,18110178	27,93171441	32,80592652	-87,18160259
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Osoršćica	26,9295298	25,16861721	23,91922984	28,79344196	-88,1837872
Sveti Martin	21,16287504	19,40196245	18,15257509	23,0267872	-93,95044196
DugiOtok	28,81602186	27,05510927	25,8057219	30,67993401	-86,29729514
Žirje	25,20269136	23,44177877	22,1923914	27,06660351	-89,91062564
Rab	20,8632147	19,10230211	17,85291474	22,72712686	-94,2501023
Brijuni	16,88187907	15,12096648	13,87157911	18,74579123	-98,23143793
Savudrija	25,45386957	23,69295698	22,44356962	27,31778173	-89,65944743

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 104).

Tablica 104: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	39,07509191	37,31417932	36,06479195	40,93900406	-82,05882501
Vis	43,73303431	41,97212172	40,72273436	45,59694647	-77,4008826
Mljet	28,01024334	26,24933074	24,99994338	29,87415549	-93,12367358
Lastovo	42,69514596	40,93423337	39,684846	44,55905812	-78,43877095
IlijinoBrdo	44,25752949	42,4966169	41,24722953	46,12144164	-76,87638743
Rota	51,89404138	50,13312879	48,88374142	53,75795354	-69,23987553
Srđ	37,01096633	35,25005374	34,00066637	38,87487849	-78,10235067
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	35,70267022	33,94175763	32,69237027	37,56658238	-82,42094673
Vis	40,36061263	38,59970004	37,35031267	42,22452479	-77,76300433
Mljet	24,63782165	22,87690906	21,6275217	26,50173381	-93,4857953
Lastovo	39,32272428	37,56181169	36,31242432	41,18663643	-78,80089268
IlijinoBrdo	40,8851078	39,12419521	37,87480785	42,74901996	-77,23850915
Rota	48,5216197	46,7607071	45,51131974	50,38553185	-69,60199726
Srđ	39,65914456	37,89823197	36,6488446	41,52305672	-78,4644724
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	30,21452543	28,45361284	27,20422547	32,07843759	-84,89879157
Vis	34,87246784	33,11155524	31,86216788	36,73637999	-80,24084916
Mljet	19,14967686	17,38876427	16,1393769	21,01358902	-95,96364014
Lastovo	33,83457948	32,07366689	30,82427953	35,69849164	-81,27873752
IlijinoBrdo	35,39696301	33,63605042	32,38666305	37,26087517	-79,71635399
Rota	43,0334749	41,27256231	40,02317494	44,89738706	-72,0798421
Srđ	34,17099977	32,41008718	31,16069981	36,03491192	-80,94231723

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 30 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 105).

Tablica 105: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=30\text{m}$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	32,32781503	30,56690244	29,31751508	34,19172719	-88,80610188
Vis	36,9774111	35,21649851	33,96711114	38,84132326	-84,15650581
Mljet	20,75777067	18,99685808	17,74747071	22,62168283	-100,3761462
Lastovo	35,96676887	34,20585628	32,95646892	37,83068103	-85,16714804
IlijinoBrdo	37,4008143	35,63990171	34,39051434	39,26472646	-83,73310261
Rota	45,60125371	43,84034112	42,59095375	47,46516586	-75,53266321
Srđ	30,3887108	28,62779821	27,37841084	32,25262296	-84,7246062
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	28,95539335	27,19448076	25,94509339	30,81930551	-89,16822361
Vis	33,60498942	31,84407683	30,59468946	35,46890157	-84,51862754
Mljet	17,38534899	15,62443639	14,37504903	19,24926114	-100,738268
Lastovo	32,59434719	30,8334346	29,58404723	34,45825935	-85,52926977
IlijinoBrdo	34,02839262	32,26748003	31,01809266	35,89230477	-84,09522434
Rota	42,22883202	40,46791943	39,21853207	44,09274418	-75,89478493
Srđ	33,03688903	31,27597644	30,02658907	34,90080119	-85,08672793
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	23,46724856	21,70633597	20,4569486	25,33116071	-91,64606844
Vis	28,11684462	26,35593203	25,10654467	29,98075678	-86,99647238
Mljet	11,89720419	10,1362916	8,886904235	13,76111635	-103,2161128
Lastovo	27,1062024	25,34528981	24,09590244	28,97011455	-88,0071146
IlijinoBrdo	28,54024782	26,77933523	25,52994787	30,40415998	-86,57306918
Rota	36,74068723	34,97977464	33,73038727	38,60459939	-78,37262977
Srđ	27,54874424	25,78783165	24,53844428	29,41265639	-87,56457276

Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,5 (Tablica 106).

Tablica 106: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,5$ ,  $V_s=0,5$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	39,19031502	37,42940243	36,18001506	41,05422717	-81,9436019
Vis	42,38968315	40,62877056	39,37938319	44,25359531	-78,74423376
Mljet	23,17179054	21,41087795	20,16149058	25,0357027	-97,96212637
Lastovo	41,29332398	39,53241139	38,28302403	43,15723614	-79,84059293
IlijinoBrdo	43,88696217	42,12604958	40,87666222	45,75087433	-77,24695474
Rota	51,89802899	50,1371164	48,88772903	53,76194115	-69,23588792
Srđ	34,61178314	32,85087055	31,60148318	36,47569529	-80,50153386
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	35,81789333	34,05698074	32,80759338	37,68180549	-82,30572362
Vis	39,01726147	37,25634887	36,00696151	40,88117362	-79,10635549
Mljet	19,79936886	18,03845627	16,7890689	21,66328101	-98,3242481
Lastovo	37,9209023	36,15998971	34,91060234	39,78481446	-80,20271466
IlijinoBrdo	40,51454049	38,7536279	37,50424053	42,37845265	-77,60907647
Rota	48,52560731	46,76469472	45,51530735	50,38951946	-69,59800965
Srđ	37,25996137	35,49904878	34,24966141	39,12387352	-80,86365559
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	30,32974854	28,56883595	27,31944858	32,1936607	-84,78356846
Vis	33,52911667	31,76820408	30,51881672	35,39302883	-81,58420033
Mljet	14,31122406	12,55031147	11,30092411	16,17513622	-100,8020929
Lastovo	32,43275751	30,67184492	29,42245755	34,29666966	-82,68055949
IlijinoBrdo	35,0263957	33,26548311	32,01609574	36,89030785	-80,0869213
Rota	43,03746251	41,27654992	40,02716256	44,90137467	-72,07585449
Srđ	31,77181657	30,01090398	28,76151662	33,63572873	-83,34150043



Sljedeći skup rezultata odnosi se na dio Srednjeg i Južnog Jadrana za slučaj kada su brodske stanice u funkciji predajnika za visinu predajne brodske antene od 15 metara te varijaciju vremena i situacije od 0,8 (Tablica 107).

Tablica 107: Vrijednosti  $E_b/N_0$  -dio Srednjeg i Južnog Jadrana,  $h_t=15m$ ,  $V_t=0,8$ ,  $V_s=0,8$

	$E_b/N_0$ [dB]				
$P_t = 12,5$ [W]	$B_w = 25$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	32,40268918	30,64177659	29,39238923	34,26660134	-88,73122773
Vis	35,57636447	33,81545188	32,56606452	37,44027663	-85,55755244
Mljet	15,69503451	13,93412192	12,68473456	17,55894667	-105,4388824
Lastovo	34,50087263	32,73996004	31,49057267	36,36478478	-86,63304429
IlijinoBrdo	36,9748907	35,21397811	33,96459074	38,83880286	-84,15902621
Rota	45,60413794	43,84322535	42,59383799	47,4680501	-75,52977897
Srđ	27,93384182	26,17292923	24,92354187	29,79775398	-87,17947518
$P_t = 11,5$ [W]	$B_w = 50$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	29,0302675	27,26935491	26,01996754	30,89417966	-89,09334946
Vis	32,20394279	30,4430302	29,19364283	34,06785495	-85,91967417
Mljet	12,32261283	10,56170024	9,312312872	14,18652499	-105,8010041
Lastovo	31,12845094	29,36753835	28,11815099	32,9923631	-86,99516601
IlijinoBrdo	33,60246902	31,84155643	30,59216906	35,46638117	-84,52114794
Rota	24,62902442	22,86811183	21,61872447	26,49293658	-93,49459253
Srđ	30,58202005	28,82110746	27,5717201	32,44593221	-87,5415969
$P_t = 6,5$ [W]	$B_w = 100$ [kHz]			C/N [dB]	C [dBm]
Labinštica	23,54212271	21,78121012	20,53182275	25,40603486	-91,57119429
Vis	26,715798	24,95488541	23,70549804	28,57971015	-88,397519
Mljet	6,834468035	5,073555444	3,824168078	8,698380192	-108,278849
Lastovo	25,64030615	23,87939356	22,63000619	27,50421831	-89,47301085
IlijinoBrdo	28,11432422	26,35341163	25,10402427	29,97823638	-86,99899278
Rota	36,74357147	34,98265887	33,73327151	38,60748362	-78,36974553
Srđ	25,09387526	23,33296267	22,0835753	26,95778742	-90,01944174