



UNIVERZITET CRNE GORE | POMORSKI FAKULTET KOTOR
UNIVERSITY OF MONTENEGRO | FACULTY OF MARITIME
STUDIES KOTOR

Put I bokeljske brigade 44, 85330 KOTOR
TEL/FAX ++382(0)32 - 303 - 184
CENTRALA ++382(0)32 - 303 - 188
pfkotor@ucg.ac.me, ucg.ac.me/pfkotor
Ž.R. 510-227-38
PIB 02016702
PDV 30/31-03951-6



Kotor, 17. 02.2025.

Broj 01-555

UNIVERZITET CRNE GORE
Odbor za doktorske studije
Senat Univerziteta
PODGORICA

Poštovani,

U prilogu dostavljam odluku Vijeća Pomorskog fakulteta Kotor sa pratećim materijalima, to jest obrazac D1 za mr Nemanju Pudara, studenta doktorskih studija na studijskom programu Pomorske nauke, na dalji postupak.

Srdačno,

DEKANICA

Prof.dr Tatijana Dlabac



Vijeće Pomorskog fakulteta Kotor, na osnovu čl. 64. stav 2 Statuta Univerziteta i čl. 35. Pravila doktorskih studija, na sjednici održanoj dana 14.02. 2025. godine, donijelo je sljedeću

ODLUKU

Usvaja se izvještaj Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije „Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija“ i kandidata mr Nemanje Pudara, nakon javne prezentacije istraživanja.

Predlaže se Senatu Univerziteta da prihvati prijavu teme doktorske disertacije kandidata mr Nemanje Pudara.

Ova odluka se dostavlja Odboru za doktorske studije i Senatu Univerziteta.

Obrazloženje

Vijeće Pomorskog fakulteta Kotor je na ovoj sjednici razmatralo Izvještaj Komisije o ocjeni prijave teme doktorske disertacije „Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija“ i kandidata mr Nemanje Pudara i isti prihvatilo.

Na osnovu svega navedenog odlučeno je kao u dispozitivu.

Kotor, 14.02. 2025. godine

Broj 01-531



DEKANICA

prof.dr. Tatijana Dlabac

Tatijana Dlabac

OCJENA PRIJAVE DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Nemanja Pudar
Fakultet	Pomorski fakultet Kotor Univerzitet Crne Gore
Studijski program	Pomorske nauke
Broj indeksa	01/23
Podaci o magistarskom radu	Naziv rada: „Optimalna lokacija kondenzatorskih baterija u brodskom elektroenergetskom sistemu“ Naučna oblast: Pomorske nauke - Brodska elektrotehnika i elektronika Institucija na kojoj su završene master studije: Pomorski fakultet Kotor Univerzitet Crne Gore Godina završetka: novembar 2023. godine Srednja ocjena: 9.21 (B)
NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija
Na engleskom jeziku	Novel Approaches in Modeling and Optimization of Ship Microgrids with Integrated Photovoltaic Systems Using HIL Technologies
Datum prihvatanja teme i kandidata na sjednici Vijeća organizacione jedinice	22.01.2025.
Naučna oblast doktorske disertacije	Pomorske nauke - Brodska elektrotehnika i elektronika
Za navedenu oblast matični su sljedeći fakulteti	
Pomorski fakultet Kotor	
A. IZVJEŠTAJ SA JAVNE ODBRANE POLAZNIH ISTRAŽIVANJA DOKTORSKE DISERTACIJE	
Javna odbrana polaznih istraživanja doktorske disertacije radnog naslova „Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija“ kandidata MSc Nemanje Pudara održana je 11.01.2025. godine u Sali za sjednice Pomorskog fakulteta Kotor, u terminu od 9:30 do 11:00h pred komisijom u sastavu: 1. Prof. dr Martin Čalasan, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, predsjednik 2. Prof. dr Tatijana Dlabac, Pomorski fakultet Kotor Univerziteta Crne Gore, mentor, 3. Dr Ivana Radonjić Mitić, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Nišu, komentor, 4. Prof. dr Milutin Petronijević, Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu, član i 5. Prof. dr Maja Krčum, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu, član.	

Komisija za odbranu polaznih istraživanja imenovana je odlukom Vijeća Pomorskog fakulteta Kotor br. 01-155 od 22.01.2025. na koju je data saglasnost Odbora za doktorske studije Univerziteta Crne Gore br. 01/2-411/1 od 27.01.2025. godine.

Kandidat je precizno i sistematično obrazložio temu doktorske disertacije i dao pregled dosadašnjih istraživanja. Nakon toga je prikazao postavljene hipoteze i cilj same disertacije koji predstavlja kreiranje različitih modela brodskih mikromreža (BM) sa integrisanim PV sistemom korišćenjem tehnologije *Model Based Engineering*, za potrebe izvršenja *offline* i *Hardware-in-the-Loop* (HIL) simulacija u realnom vremenu, što omogućava njihovo sevobuhvatno testiranje u unaprijed definisanom okruženju. Na taj način biće realizovane vjerodostojne simulacije različitih radnih scenarija i testiranje inovativnih upravljačkih algoritama u kontrolisanom okruženju, bez rizika od oštećenja opreme ili prekida rada sistema. Takođe, kandidat je prikazao naučno-istraživačke metode koje će primijeniti kako bi postigao postavljeni cilj. Na završetku, kandidat je izložio detaljan plan istraživanja i očekivani naučni doprinos.

Nakon javne odbrane polaznih istraživanja od strane kandidata, članovi Komisije su postavljali pitanja na koja je kandidat uspješno odgovorio, pruživši detaljna objašnjenja o dosadašnjim rezultatima istraživanja. Nakon usmene prezentacije i diskusije, članovi Komisije su dali preporuke kandidatu kako bi na što bolji i kvalitetniji način nastavio sa istraživanjima i radom na doktoroskoj disertaciji.

Članovi Komisije su bili jednoglasni da je kandidat uspješno odbranio polazna istraživanja doktorske disertacije i da može nastaviti dalji rad.

B. OCJENA PRIJAVE TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

B1. Obrazloženje teme

Pomorski transport ima ključnu ulogu u svjetskoj ekonomiji, ali istovremeno predstavlja značajan izvor emisija gasova sa efektom staklene bašte (eng. *Greenhouse Gas* - GHG). Kako bi se postigli ciljevi neto nulte emisije do 2050. godine koje je postavila Međunarodna pomorska organizacija (eng. *International Maritime Organization* - IMO), sve veći je fokus na integraciji obnovljivih izvora energije (OIE) u brodske energetske sisteme (BES).

Brodski elektroenergetski sistemi su po svojoj prirodi mikromreže koji integrišu više izvora energije i potrošača u jedinstvenu, kontrolabilnu cjelinu. Shodno ciljevima smanjenja GHG veoma je značajan rad na integraciji OIE u BES. U ovoj doktorskoj disertaciji će se analizirati primjena fotonaponskih (PV) sistema, kao jedne od tehnologija OIE koje nude značajan potencijal za povećanje energetske efikasnosti i smanjenje emisija plovila u okviru BM. Tehnologija HIL omogućava modelovanje i simulaciju BM u realnom vremenu, odnosno nudi mogućnost pravljenja različitih operativnih scenarija i testiranje istih što omogućava optimizaciju performansi sistema i smanjuje rizik od kvarova.

B2. Cilj i hipoteze

Cilj ovog istraživanja je da se korišćenjem tehnologije *Model Based Engineering*, *offline* simulacija, kao i HIL simulacija u realnom vremenu naprave različiti modeli BM sa integrisanim PV sistemom što će omogućiti njihovo testiranje i optimizaciju rada broskog sistema za upravljanje tokovima energije u kontrolisanom okruženju. Ovo će omogućiti simulaciju i optimizaciju različitih operativnih scenarija i testiranje upravljačkih algoritama u uslovima bliskim realnim, bez rizika od oštećenja opreme ili prekida rada sistema.

Hipoteze ove disertacije su:

- **Prva hipoteza:** Pravilan odabir i dimenzionisanje PV panela i njihova integracija u BM doprinosi smanjenju potrošnje fosilnih goriva i emisije GHG.

- **Druga hipoteza:** Korišćenjem HIL tehnologija mogu se optimizovati performanse BM, osigurati njihova otpornost na poremećaje i smanjiti rizik od operativnih kvarova.

B3. Metode i plan istraživanja

Realizacija ove doktorske disertacije zasniva se na kombinaciji empirijskih istraživanja, simulacija i analitičkih metoda, sa ciljem razvoja energetske efikasne i održive BM. Prvi korak u istraživanju će biti posvećen prikupljanju i analizi relevantnih podataka o postojećim tehnologijama i rješenjima u oblasti dekarbonizacije i energetske efikasnosti BM. Ova faza će uključiti analizu tehničkih karakteristika brodova u priobalnoj plovidbi koji će biti obuhvaćeni istraživanjem, sistematičan pregled literature o integraciji PV sistema, kao i primjeni savremenih metoda simulacija korišćenjem HIL tehnologija.

Eksperimentalna postavka će biti implementirana na jednom od plovila u Bokokotorskom zalivu. Oprema, uključujući PV panele, hibridni inverter i baterijski sistem za skladištenje energije, će biti prilagođena specifičnim uslovima morskog okruženja, dok će napredni softverski alati poput LabVIEW-a, PVsyst-a i HOMER Pro-a omogućiti precizno prikupljanje podataka, dimenzionisanje hibridnog PV sistema i kasniju analizu i optimizaciju energetske tokova. Uz ovu postavku na plovilu, eksperimenti će se sprovoditi u specijalizovanim laboratorijama, uključujući Laboratoriju za brodsku elektrotehniku i elektroniku Pomorskog fakulteta Kotor, Laboratoriju za energetske pretvarače za napredne energetske tehnologije Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, Laboratoriju za solarnu energetiku Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu i Laboratoriju za mikromreže i pametne mreže Univerziteta u Nišu.

Kao ključni dio istraživanja, koristiće se HIL tehnologija za validaciju kontrolnih algoritama u realnom vremenu. Simulacije će omogućiti analizu performansi BES u različitim operativnim scenarijima koji će biti kreirani na bazi virtuelnih modela komponenti broskog sistema razvijenih uz pomoć softvera *Typhoon Sim* i *VHIL*. Eksperimenti u realnom vremenu, koji koriste digitalne blizance (eng. *digital twins* – DT) BM i sistema za skladištenje energije (eng. *Energy Storage Systems* – ESS), omogućit će testiranje sistema za upravljanje tokovima energije (eng. *Energy Management System* – EMS) i primjenu različitih više-objektnih optimizacionih strategija prethodno projektovanih u softveru *HOMER Pro*, čime će se osigurati njihova efikasnost i skalabilnost.

Podaci prikupljeni tokom eksperimentalnih ispitivanja će biti detaljno analizirani uz primjenu statističkih metoda i naprednih analitičkih alata. Metoda komparacije biće korišćena za poređenje rezultata simulacija i eksperimentalnih mjerenja, što će omogućiti pouzdanu procjenu tehničke izvodljivosti i operativnih performansi razvijenih sistema. Na osnovu dobijenih rezultata biće izrađene konkretne preporuke za integraciju PV sistema i optimizaciju BM, s posebnim fokusom na specifične uslove rada u morskome okruženju.

Plan istraživanja:

Ova doktorska disertacija zasniva se na istraživanju koje će biti realizovano kroz dva pravca. **Prvi pravac** istraživanja doktorske disertacije biće fokusiran na modelovanje i simulaciju BM, dok će **drugi pravac** biti usmjeren na eksperimentalna istraživanja, validaciju modela elemenata i kompletnog sistema BM, kao i na verifikaciju DT sa realnim podacima. Ovaj sinergijski pristup omogućava sveobuhvatno sagledavanje problema energetske efikasnosti i dekarbonizacije brodskih elektroenergetskih sistema, kao i razvoj praktičnih rješenja koja će biti testirana u realnom morskome okruženju.

Na osnovu pregleda literature i dostupnih podataka, u **prvom pravcu** istraživanja će biti razvijen model hibridne BM sa integrisanim OIE (PV paneli) i odgovarajućim sistemom za skladištenje energije. Korišćenjem softverskih alata kao što su *PVsyst*, *HOMER Pro* i *Typhoon Sim*, simuliraće se rad hibridnih sistema u različitim operativnim scenarijima. Cilj ovog dijela istraživanja je da napravi detaljan uvid u funkcionalnost BM, optimizaciju energetske tokova, kao i da ukaže na razvoj strategija upravljanja energijom i procjena efikasnosti i pouzdanosti razvijenih EMS

modela. Poseban fokus će biti stavljen na primjenu tehnologije DT i HIL simulacija za verifikaciju EMS kontrolnih algoritama u realnom vremenu.

Drugi pravac istraživanja će biti usmjeren na eksperimentalna ispitivanja i validaciju sistema sa ciljem što vjerodostojnijeg modelovanja BM. Eksperimentalna postavka će biti implementirana na brodu u priobalnoj plovidbi u Bokokotorskom zalivu, opremljenom PV panelima, hibridnim inverterom i sistemom za skladištenje energije. Pored eksperimentalne postavke u realnom morskom okruženju biće vršeni eksperimenti i u: Laboratoriji za brodsku elektrotehniku i elektroniku Pomorskog fakulteta Kotor, Laboratoriji za solarnu energetiku Prirodno-matematičkog fakulteta i Laboratoriji za mikromreže i pametne mreže Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu. Oprema za mjerenje I-U karakteristika PV panela i sistem za prikupljanje podataka o tokovima snaga omogućit će precizno praćenje performansi sistema. Prikupljeni podaci će biti analizirani primjenom statističkih i analitičkih metoda, kako bi se validirali rezultati simulacija i razvijeni modeli.

Oba pravca istraživanja su komplementarna i biće usmjerena ka istom cilju – razvoju održivih BM sa integrisanim PV sistemima i povećanju energetske efikasnosti. Sinergija teorijskog i eksperimentalnog rada biće ne samo razvoj inovativnih rješenja, već i njihova primjena u realnom morskom okruženju, čime će biti dati doprinosi globalnim naporima za dekarbonizaciju pomorskog sektora.

B4. Naučni doprinos

Očekivani naučni doprinosi ove disertacije će biti:

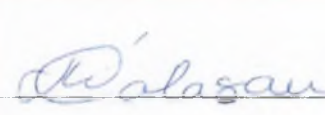
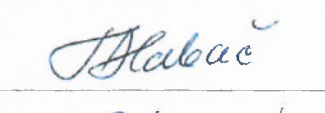
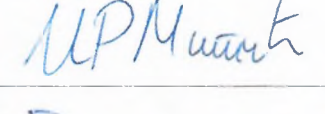
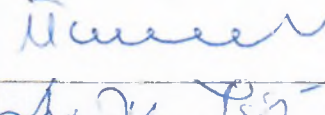
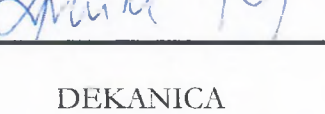
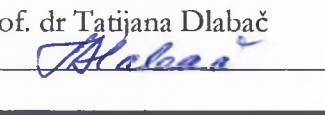
- formiranje simulacionih modela BM sa unaprijeđenim modelima elemenata pogodnih za HIL simulacije u realnom vremenu i testiranje inovativnog EMS za hibridne BM primjenom tehnologije DT,
- doprinos razvoju modela PV sistema integrisanog u BM s obzirom na specifičnost morskog okruženja, i
- validacija predloženog simulacionog modela kroz eksperimentalnu postavku, čime će se potvrditi skalabilnost i primjenjivost modela u stvarnim uslovima.

B5. Finansijska i organizaciona izvodljivost istraživanja

Komisija smatra da, uz posvećenost kandidata i podršku mentora i komentora, kandidat ima potencijal da stvori odgovarajuće organizacione okolnosti za izradu ove doktorske disertacije. Kada je riječ o finansijskoj izvodljivosti, troškovi za objavljivanje naučnih radova i za učešće i prezentacije na naučnim konferencijama biće finansirani iz sredstava koja su obezbijedena od strane Ministarstvo prosvjete, nauke i inovacija Crne Gore (stipendija izvrsnosti za doktorska istraživanja koju je doktorand dobio od Ministarstva prosvjete, nauke i inovacija Vlade Crne Gore i nacionalni naučno-istraživački projekat „Dekarbonizacijom u pomorskom sektoru do zelenog Bokokotorskog zaliva – DeMS-GBB“), kao i od drugih projekata na kojima je doktorand uključen, a koji pripadaju oblasti istraživanja.

Mišljenje i prijedlog komisije

Komisija za ocjenu prijave doktorske disertacije je, nakon razmatranja prijave teme i odbrane polaznih istraživanja, mišljenja da polazna istraživanja, na temu „*Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija*“ kandidata MSc Nemanje Pudara, ukazuju da je u pitanju veoma značajno istraživanje koje doprinosi dekarbonizaciji pomorskog sektora. Kandidat je predstavio veoma dobre početne rezultate i osnove za dokazivanje postavljenih naučnih hipoteza. Pravci, metodologija i plan istraživanja su jasno definisani. Osim konkretnih rezultata ove doktorske disertacije, kandidat će tokom njene izrade dati doprinos daljim istraživanjima u oblasti formiranja modela hibridnih BM za simulacije u realnom vremenu i primjenu tehnologija DT.

Komisija smatra da je predložena tema istraživanja veoma aktuelna i da po predviđenom obimu, sadržaju i postavljenim hipotezama odgovara nivou doktorskih studija, odnosno omogućava ostvarivanje originalnog naučno-istraživačkog doprinosa u oblasti. Stoga Komisija zaključuje da su početna istraživanja uspješno sprovedena i da je predložena tema disertabilna, te predlaže Vijeću Pomorskog fakulteta Kotor i Senatu Univerziteta Crne Gore da odobri doktorandu MSc Nemanji Pudarar nastavak rada na doktorskoj disertaciji pod naslovom „<i>Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija</i>“.		
Prijedlog izmjene naslova		
Prijedlog promjene mentora i/ili imenovanje drugog mentora		
(titula, ime i prezime, ustanova)		
Planirana odbrana doktorske disertacije		
Decembar 2027.		
Izdvojeno mišljenje		
(popuniti ukoliko neki član komisije ima izdvojeno mišljenje)		
		Ime i prezime
Napomena		
(popuniti po potrebi)		
ZAKLJUČAK		
Predložena tema po svom sadržaju odgovara nivou doktorskih studija.	DA	NE
Tema je originalan naučno-istraživački rad koji odgovara međunarodnim kriterijumima kvaliteta disertacije.	DA	NE
Kandidat može na osnovu sopstvenog akademskog kvaliteta i stečenog znanja da uz adekvatno mentorsko vođenje realizuje postavljeni cilj i dokaže hipoteze.	DA	NE
Komisija za ocjenu podobnosti teme i kandidata		
Predsjednik Prof. dr Martin Čalasan, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore		
Mentor Prof. dr Tatijana Dlabač, Pomorski fakultet Kotor Univerziteta Crne Gore		
Komentor Dr Ivana Radonjić Mitić, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Nišu		
Član Prof. dr Milutin Petronijević, Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu		
Član Prof. dr Maja Krčum, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu		
U Kotoru, <u>14. 2. 2025.</u>  DEKANICA Prof. dr Tatijana Dlabač 		

PRILOG

PITANJA KOMISIJE ZA OCJENU PODOBNOSTI DOKTORSKE TEZE I KANDIDATA	
<i>Predsjednik</i> Prof. dr Martin Čalasan, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore	1. Koji su ključni regulatorni zahtjevi i industrijski standardi koji utiču na integraciju obnovljivih izvora energije u brodske energetske sisteme? 2. Kako integracija fotonaponskih panela utiče na stabilnost i pouzdanost broskog elektroenergetskog sistema, posebno u uslovima promjenjivih vremenskih uslova i različitih operativnih scenarija?
<i>Mentor</i> Prof. dr Tatijana Dlabač, Pomorski fakultet Kotor Univerziteta Crne Gore	1. Na koji način će korišćenje HIL tehnologije i DT unaprijediti validaciju modela BM u odnosu na konvencionalne metode simulacije?
<i>Komentor</i> Dr Ivana Radonjić Mitić, Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Nišu	1. Na koji način će se ispitivati uticaj pomorskog okruženja na performanse PV panela?
<i>Član</i> Prof. dr Milutin Petronijević, Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu	1. Koji su izazovi u pogledu verodostojnosti modela za formiranje digitalnog blizanca brodske mikromreže?
<i>Član</i> Prof. dr Maja Krčum, Pomorski fakultet Sveučilišta u Splitu	1. Kako softverski alati poput LabVIEW-a, PVsyst-a i HOMER doprinose ukupnom radu? Da li će se koristiti za izradu modela BES i kako doprinose HIL tehnologiji?
PITANJA PUBLIKE DATA U PISANOJ FORMI	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
(Ime i prezime)	
ZNAČAJNI KOMENTARI	

PRIJAVA TEME DOKTORSKE DISERTACIJE

OPŠTI PODACI O DOKTORANDU	
Titula, ime i prezime	MSc Nemanja Pudar
Fakultet	Pomorski fakultet Kotor Univerzitet Crne Gore
Studijski program	Pomorske nauke
Broj indeksa	01/23
Ime i prezime roditelja	Miro Pudar Snježana Pudar
Datum i mjesto rođenja	24.05.1999. godine, Kotor
Adresa prebivališta	Treća Baošićka 77, Herceg Novi
Telefon	+382 67 115 016
E-mail	nemanjap@ucg.ac.me
BIOGRAFIJA I BIBLIOGRAFIJA	
Obrazovanje	Stepen MSc Pomorske nauke, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, 01.11.2023. godine. Stepen BSc Pomorska elektrotehnika, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore, 07.07.2021. godine.
Radno iskustvo	(April 2024 -) Saradnik na projektu, Nacionalni naučno-istraživački projekat „Dekarbonizacijom u pomorskom sektoru do zelenog Bokokotorskog zaliva – DeMS-GBB“, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore. (Janura 2023 – Oktobar 2023) Pripravnički staž, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore. (Decembar 2021 - Jun 2022) Stručni saradnik, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore. (Oktobar 2021 - Decembar 2021) Student demonstrator, Pomorski fakultet Kotor, Univerzitet Crne Gore.
Popis radova	Naučni rad na međunarodnom naučnom skupu (štampano u cjelini) [1] N. Pudar , I. Knežević, M. Čalasan, M. Krčum, and T. Dlabač, "Possible Integration of PV Systems on Ferries in Boka Bay," International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Niš, Serbia, June 3-6 2024. [2] N. Pudar , I. Čavor, I. Knežević, Z. Đurović, T. Dlabač, "Utilizing Digital Twins for the Decarbonization of the Maritime Traffic in Boka Bay," 2024.

[3] **N. Pudar**, L.Mrdović, I.Knežević, N.Marvučić, M.Ćalasan and T.Dlabač, "Application of capacitor banks in the ship's power system", 10th International Maritime Science Conference (IMSC 2023), 08-09 May 2023, Solin, Croatia.

[4] **N. Pudar** and Š. Ivošević, "FIB Analysis of Corrosion Effects on Shape Memory Alloys in Marine Environments", 28th International Conference on Information Technology (IT 2023), 15 -17 February 2023, Žabljak, Montenegro.

Saopštenje na međunarodnom naučnom skupu (štampano u izvodu)

[1] **N. Pudar**, Č. Karatuž, I. Knežević, M. Krčum, T. Dlabač „Evaluation of Solar Energy Potential for Small Vessels in Boka Bay“, 4th Kotor International Maritime Conference (KIMC 2024) -, Kotor, Montenegro, November 2024

[2] M. Petronijević, I. Radonjić, **N. Pudar**, M. Ćalasan, T. Dlabač, „Experimental Investigation and Performance Analysis of a PV-Based Microgrid Suitable for Marine Applications“, 4th Kotor International Maritime Conference (KIMC 2024), Kotor, Montenegro, November 2024

[3] Z. Đurović, T. Dlabač, **N. Pudar**, "Word list of research in decarbonization in the maritime industry a case study on lexical analysis of technical corpora", International Association of Maritime Universities Conference (IAMUC), Massachusetts Maritime Academy, 7 – 12 October 2024, Massachusetts USA

[4] T.Dlabač, M. Dževerdanović Pejović, I.Knežević, **N.Pudar**, "Utilizing software for automatic reference citing –A case study of the Faculty of Maritime Studies Kotor“, International Scientific Conference “Science, Philosophy of Science and Scientific Methodology”, 27-28. September 2024. Niksic and Podgorica, Montenegro

[5] J. Nikčević, **N. Pudar**, and T. Dlabač, "Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Maritime Transport: Legal Challenges and Opportunities for Sustainable Bay of Kotor," in Proc. of the Adriatic Maritime Law Conference VI, Trieste, Italy, 20-22 Jun. 2024.

[6] **N. Pudar**, I. Knežević, M. Ćalasan, T. Dlabač „Overview of the use of Black box, Gray Box and White Box Modelling in Ship Systems“, 3rd Kotor International Maritime Conference (KIMC 2023) -, Kotor, Montenegro, November 2023

NASLOV PREDLOŽENE TEME	
Na službenom jeziku	Novi pristupi u modelovanju i optimizaciji brodskih mikromreža sa integrisanim fotonaponskim sistemima primjenom HIL tehnologija
Na engleskom jeziku	Novel Approaches in Modeling and Optimization of Ship Microgrids with Integrated Photovoltaic Systems Using HIL Technologies
Obrazloženje teme	
Pomorski transport ima ključnu ulogu u svjetskoj ekonomiji, ali istovremeno predstavlja značajan izvor emisija gasova sa efektom staklene bašte (eng. <i>Greenhouse Gas</i> - GHG). Kako bi se postigli ciljevi neto nulte emisije do 2050. godine, koje je postavila Međunarodna pomorska organizacija (eng. <i>International Maritime Organization</i> - IMO), sve veći je fokus na integraciji obnovljivih izvora energije (OIE) u brodske energetske sisteme (BES). Brodski elektroenergetski sistemi su po svojoj prirodi mikromreže tj. složeni sistemi koji integrišu više izvora energije i potrošača u jedinstvenu, kontrolabilnu cjelinu. Shodno ciljevima smanjenja GHG veoma je značajan rad na integraciji OIE u BES. U ovoj doktorskoj disertaciji će se analizirati primjena fotonaponskih (PV) sistema, kao jedne od tehnologija OIE koje nude značajan potencijal za povećanje energetske efikasnosti i smanjenje emisija plovila u okviru brodskih mikromreža (BM). Tehnologija <i>Hardware-in-the-Loop</i> (HIL) omogućava modelovanje i simulaciju BM u realnom vremenu, odnosno nudi mogućnost pravljenja različitih operativnih scenarija i testiranje istih što omogućava optimizaciju performansi sistema i smanjuje rizik od kvarova.	
Pregled istraživanja	
Ključnu ulogu u svjetskoj ekonomiji ima pomorski transport kojim se prevozi više od 80% globalnog tereta [1]. IMO kontinuirano radi na donošenju mjera za smanjenje emisija CO₂ koje potiču iz globalnog pomorskog saobraćaja kroz uvođenje mjera energetske efikasnosti [2]. Integracija tehnologija OIE, kao što su PV sistemi, vjetroturbine i gorivne ćelije, dovodi do razvoja hibridnih BES pa ovaj pristup postaje veoma važan za smanjenje emisija GHG i povećanje energetske efikasnosti brodova [3], [4], [5], [6], [7], [8]. U pomorskoj industriji je posebno značajna upotreba PV sistema [9]. U radu [10] autori su vršili analizu implementacije PV sistema koji obezbeđuje energiju glavnoj BES komercijalnog Ro-Ro broda, kao i inovativan pristup u rasporedu PV panela. Na ovaj način je 7.38% potrošnje goriva pomenutog broda zadovoljeno pomoću dizajniranog solarnog sistema, a spriječeno je i ispuštanje 232.393 tona CO₂ u atmosferu. Navedeni primjer je pokazao da su u dizajnu sistema napajanja korišćeni odgovarajući softveri za procjenu doprinosa i optimizacije rada kompletnog rada PV sistema. PVsyst je jedan od najčešće korišćenih softvera za proračune i dimenzionisanje PV sistema [10], [11]. Za rješavanje optimizacionih problema u hibridnim mrežama često korišćeno komercijalno softversko rješenje je softver HOMER Pro. U radu [12] je kao rezultat nove konfiguracije sistema (pomoćni dizel generatori, baterije i gorive ćelije), pomoću simulacija softvera HOMER Pro procenjeno najveće smanjenje emisija CO₂ za 10.69%. Kao i na kopnu, i u pomorskoj industriji se PV paneli mogu koristiti u autonomnom ili mrežno povezanim režimima rada. U autonomnom režimu rada, PV sistemi rade nezavisno od glavne mreže, obezbeđujući energiju prilagođenu zahtjevima potrošnje. Ova autonomija osigurava da karakteristike rada PV sistema nisu pod uticajem fluktuacija u glavnoj mreži, ali u funkcionisanje BES unosi dodatne funkcionalne zahtjeve. Ukoliko proizvedena električna energija iz	

generatora nije dovoljna da zadovolji potrošnju, višak energije skladišten u baterijama može se koristiti za pokrivanje deficita. U slučaju mrežno povezanih sistema ovaj deficit se uobičajeno pokriva iz glavne distributivne mreže [13].

Brod se može posmatrati kao jedna mikromreža, jer objedinjuje izvore električne energije i različite potrošače u jedinstven i upravljiv sistem [14], [15], [16]. Moderne BM koriste pametne sisteme za upravljanje tokovima energije (eng. *Energy Management System* - EMS) koji optimizuju potrošnju energije i integrišu više izvora napajanja, pomažući u usklađivanju kompletnog BES s ekološkim standardima [17], [18], [19]. Međutim, upravljanje tokovima energije unutar BM može biti veoma izazovno, s jedne strane zbog prisustva više različitih izvora energije uključujući i OIE, a s druge strane zbog različitih tipova pasivnih i aktivnih opterećenja koji vrlo često mogu imati i nelinearni karakter [18], [19]. U radu [15] autori se bave upravljanjem tokovima energije u BM koje integrišu sisteme za skladištenje energije (eng. *Energy Storage Systems* - ESS). U radu je dat pregled cjelokupne strukture BM koja integriše sistem za upravljanje snagom i energijom (eng. *Power Management System/Energy Management System* - PMS/EMS). U istom radu autori navode da BM uključuje hibridni elektroenergetski sistem sastavljen od tradicionalnih generatora, generatora koji koriste OIE (kao što su PV paneli, vjetroturbine i generatora na bazi energije morskih talasa), gorivnih ćelija i ESS poput baterija, zamajaca i ultrakondenzatora. Električna opterećenja BM karakterišu visoka dinamika, periodičnost, nesigurnost i zavisnost od morskog okruženja. Ona uključuju opterećenja za propulziju, usluge na brodu i impulsna opterećenja. PMS/EMS djeluje kao koordinator između opterećenja na brodu i izvora energije [20]. BM takođe uključuje elektronske konvertore, prenosne mreže, komunikacijske linije i druge pomoćne komponente koje omogućavaju integraciju i rad različitih izvora energije. Arhitektura BM dijeli sličnosti sa kopnenim mikromrežama, kao što je upotreba OIE i masovna upotreba elektronskih konvertora. Kao rezultat toga, neke strategije razvijene za kopnene mikromreže mogu se prilagoditi BM [17].

U radu [21] opisuje se primjena PV sistema u BM koja omogućava efikasniju upotrebu solarne energije kroz optimizaciju rada sistema upravljanja energijom. Osim što smanjuju emisije GHG i troškove goriva, PV sistemi u kombinaciji sa ESS osiguravaju stabilnost napajanja i fleksibilnost u različitim režimima rada. Istaknuto je da uprkos tome što je na kopnu instalacija PV sistema uobičajena i dobro istražena, njihova primjena na brodovima zahtijeva dodatno prilagođavanje. Ključne razlike između PV aplikacija razvijenih za kopno i pomorski sektor jesu u specifičnim uslovima morskog okruženja, koje nameću potrebu za povećanom tolerancijom PV sistema kao npr. na visoku vlažnost, prisustvo soli, ekstremne vjetrove, itd. što utiče na način montaže PV panela na plovilima. Fiksna montaža ograničava iskorišćenje sunčeve energije tokom plovidbe. Alternativno, PV sistemi sa ugrađenim mehanizmima za rotaciju nude veću efikasnost, ali su osjetljivi na oluje, zahtijevaju dodatno održavanje i imaju veći trošak prilikom montaže i kasnije tokom upotrebe. Osim toga, instalacije PV sistema na brodovima često su ograničene dostupnim prostorom za postavljanje PV panela. Osnovni tehnički zahtjevi PV sistema, kao što su praćenje tačke maksimalne snage (eng. *Maximum Power Point Tracking* - MPPT), sprječavanje ostrvskog režima rada, funkcionalna pouzdanost i električna bezbjednost, kao i visok stepen efikasnosti, ostaju isti i za kopnene i za pomorske aplikacije, ali zahtijevaju pažljivu implementaciju prilagođenu specifičnostima BES. Jedan primjer značajnog uticaja eksploatacionih uslova je ilustriran u referenci [22] gdje su autori analizirali performanse jednofaznih PV pretvarača unutar hibridnih mikromreža u uslovima zaprljanosti PV panela. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da zaprljanost može smanjiti raspoloživu energiju PV panela do 30%, što ugrožava stabilnost mikromreža i funkcionalnost algoritama za upravljanje energijom.

Implementacija OIE u BES zahtijeva pažljivo planiranje i testiranje kako bi se osigurala njihova

pouzdanost i otpornost na poremećaje. Jedan od ključnih koncepata u modernizaciji BES i tranziciji ka OIE jeste primjena digitalnih blizanaca (eng. *Digital Twin* - DT). DT su visokoprecizni matematički modeli fizičkog uređaja ili sistema. To znači da će se, za iste uslove, DT ponašati potpuno isto kao i fizički uređaj ili sistem [23], [24], [25]. Na primjer, DT solarne elektrane „proizvodiće” istu količinu energije i “obezbijediti” isti kvalitet energije (npr. napon, frekvenciju, harmonike itd.) kao i fizička elektrana u identičnim uslovima: sunčevo zračenje, spoljašnja temperatura, tip PV panela, stanje PV panela (npr. nedavno očišćeni ili kontaminirani atmosferskim uticajima), tip invertora koji se koristi u solarnoj elektrani, itd.

Tehnologija HIL omogućava simulaciju BES u realnom vremenu sa velikom preciznošću (eng. *ultra-high fidelity*) što je od izuzetnog značaja za testiranje interoperabilnosti pojedinih komponenti BES u kontrolisanom okruženju i za validaciju cijelog sistema. HIL simulacije se sastoje od dva uvezana sloja: virtuelnog, gdje se energetska sistem modeluje i simulira, i stvarnog, koji uključuje kontrolne i zaštitne uređaje pod testiranjem (eng. *Device Under Test* - DUT). U *Controller-Hardware-in-the-Loop* (C-HIL) simulacijama, stvarni kontroler komunicira sa simuliranim okruženjem koje replicira fizički dio energetskog sistema. Ovakva interakcija u realnom vremenu omogućava visoko preciznu virtuelnu validaciju performansi kontrolera i cijelog sistema prije implementacije, uz visok nivo sigurnosti i tačnosti. *Power-Hardware-in-the-Loop* (P-HIL) simulacije omogućavaju testiranje energetskih komponenti, poput pretvarača i izvora napajanja, pod punom ili djelimičnom snagom u stvarnim uslovima [26]. Ovi uređaji generišu talasne oblike prilagođene zahtjevima testiranja, što je korisno za mikromreže i elektrifikaciju brodova. P-HIL simulacije omogućavaju emulaciju različitih režima rada i optimizaciju sistema, što je ključno za razvoj i validaciju hibridnih energetskih sistema [27], [28], [29]. HIL tehnologija u kombinaciji sa DT otvara nove mogućnosti za efektivno rješavanje izazova u razvoju “zelenijih” BM i pružaju razvojno rješenje za brz razvoj i validaciju novih koncepata, što je od posebnog značaja za energetska transformaciju u pomorskom sektoru.

Cilj i hipoteze

Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je da se korišćenjem tehnologije *Model Based Engineering*, kao i *offline* HIL simulacija u realnom vremenu naprave različiti modeli BM sa integrisanim PV sistemom što će omogućiti njihovo testiranje u kontrolisanom okruženju. Ovo će omogućiti simulaciju različitih scenarija i testiranje upravljačkih algoritama u kontrolisanom okruženju, bez rizika od oštećenja opreme ili prekida rada sistema.

Hipoteze istraživanja

1. Pravilan odabir i dimenzionisanje PV panela i njihova integracija u BM doprinosi smanjenju potrošnje fosilnih goriva i emisije GHG.
2. Korišćenjem HIL tehnologija mogu se optimizovati performanse BM, osigurati njihova otpornost na poremećaje i smanjiti rizik od operativnih kvarova.

Materijali, metode i plan istraživanja

Materijali:

Za izradu ove doktorske disertacije, odabrani su specijalizovani materijali i oprema kako bi se obezbijedila sveobuhvatna analiza, eksperimentalna ispitivanja i verifikacija. U istraživanju će se koristiti: PV paneli različitih tipova, jednofazni hibridni solarni inverter, baterije za skladištenje energije, instrument za praćenje strujno-naponskih (I-U) karakteristika PV panela i višekanalni sistem za mjerenje potrošnje sa funkcijom zapisivanja podataka.

Eksperimentalna postavka uključuje instalaciju hibridnog PV sistema na brodu u priobalnoj plovidbi u Bokokotorskom zalivu. U eksperimentalnom istraživanju će se koristiti specijalizovani softveri, uključujući: *LabVIEW* za izradu aplikacije za monitoring i kontrolu sistema u realnom vremenu, *PVsyst* i *HOMER Pro* za simulaciju i analizu performansi PV sistema i optimizaciju BM, *Typhoon-HIL Control Center* za simulaciju u realnom vremenu i *VHIL* i *Typhoon Sim* softverski alati za razvoj simulacionih modela i testiranje u off-line režimu.

Pored navedenih materijala i opreme, za eksperimente na navedenom plovilu u Bokokotorskom zalivu, eksperimentalna ispitivanja i mjerenja biće sprovedena u tri specijalizovane laboratorije: Laboratorija za brodsku elektrotehniku i elektroniku na Pomorskom fakultetu Kotor, Univerzitet Crne Gore, Laboratorija za solarnu energetiku na Prirodno-matematičkom fakultetu, Univerzitet u Nišu i Laboratorija za mikromreže i pametne mreže na Elektronskom fakultetu, Univerzitet u Nišu.

Ova infrastruktura omogućit će realizaciju eksperimentalnog dijela istraživanja uz visok nivo preciznosti i pouzdanosti, pružajući osnovu za validaciju rezultata i primjenu u stvarnom morskom okruženju. Sredstva potrebna za eksperimentalna istraživanja, objavljivanje naučnih radova i učešće i prezentacije radova na naučnim konferencijama, te kratkoročne mobilnosti u Laboratoriji za solarnu energetiku Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu podržana su kroz stipendiju izvrsnosti za doktorska istraživanja koju je doktorand dobio od Ministarstva prosvjete, nauke i inovacija Vlade Crne Gore.

Metode:

Realizacija ove doktorske disertacije zasniva se na kombinaciji empirijskih istraživanja, simulacija i analitičkih metoda, sa ciljem razvoja energetske efikasne i održive BM. Prvi korak u istraživanju podrazumijeva prikupljanje i analizu relevantnih podataka o postojećim tehnologijama i rješenjima u oblasti dekarbonizacije i energetske efikasnosti BM. Ova faza uključuje analizu tehničkih karakteristika brodova u priobalnoj plovidbi koji će biti obuhvaćeni istraživanjem, sistematičan pregled literature o integraciji PV sistema, kao i primjena savremenih metoda simulacija korišćenjem HIL tehnologija.

Eksperimentalna postavka će biti implementirana na jednom od plovila u Bokokotorskom zalivu. Oprema, uključujući PV panele, hibridni inverter i baterijski sistem za skladištenje energije, će biti prilagođena specifičnim uslovima morskog okruženja, dok će napredni softverski alati poput *LabVIEW*-a, *PVsyst*-a i *HOMER Pro*-a omogućiti precizno prikupljanje podataka, dimenzionisanje hibridnog PV sistema i kasniju analizu i optimizaciju energetske tokova. Uz ovu postavku na plovilu, eksperimenti će se sprovoditi u specijalizovanim laboratorijama, uključujući Laboratoriju za brodsku elektrotehniku i elektroniku Pomorskog fakulteta Kotor, Laboratoriju za solarnu energetiku Univerziteta u Nišu i Laboratoriju za mikromreže i pametne mreže Univerziteta u Nišu.

Kao ključni dio istraživanja, koristiće se HIL tehnologija za validaciju kontrolnih algoritama u realnom vremenu. Simulacije će omogućiti analizu performansi brodskih elektroenergetskih sistema u različitim operativnim scenarijima koji će biti kreirani na bazi virtuelnih modela komponenti brodskog sistema razvijenih uz pomoć softvera *Typhoon Sim* i *VHIL*. Eksperimenti u realnom vremenu, koji koriste DT BM i ESS, omogućit će testiranje poboljšanog EMS i primenu različitih više-objektnih optimizacionih strategija prethodno projektovanih u softveru *HOMER Pro*, čime će se osigurati njihova efikasnost i skalabilnost.

Podaci prikupljeni tokom eksperimentalnih ispitivanja će se detaljno analizirati uz primjenu statističkih metoda i naprednih analitičkih alata. Metoda komparacije biće korišćena za poređenje rezultata simulacija i eksperimentalnih mjerenja, što će omogućiti pouzdanu procjenu tehničke

izvodljivosti i operativnih performansi razvijenih sistema. Na osnovu dobijenih rezultata biće izrađene konkretne preporuke za integraciju PV sistema i optimizaciju BM, s posebnim fokusom na specifične uslove rada u morskom okruženju.

Plan istraživanja:

Ova doktorska disertacija zasniva se na istraživanju koje će se realizovati kroz dva pravca. **Prvi pravac** istraživanja doktorske disertacije fokusira se na modelovanje i simulaciju BM, dok se **drugi pravac** fokusira na eksperimentalna istraživanja, validaciju modela elemenata i kompletnog sistema BM, kao i na verifikaciju DT sa realnim podacima. Ovaj sinergijski pristup omogućava sveobuhvatno sagledavanje problema energetske efikasnosti i dekarbonizacije brodskih elektroenergetskih sistema, kao i razvoj praktičnih rješenja koja će biti testirana u realnom morskom okruženju.

Na osnovu pregleda literature i dostupnih podataka, u **prvom pravcu** istraživanja će biti razvijen model hibridne BM sa integrisanim OIE (PV paneli i odgovarajući sistem za skladištenje energije). Korišćenjem softverskih alata kao što su *PVysst*, *HOMER Pro* i *Typhoon Sim*, simuliraće se rad hibridnih sistema u različitim operativnim scenarijima. Cilj ovog dijela istraživanja je detaljan uvid u funkcionalnost BM, optimizacija energetske tokova, razvoj strategija upravljanja energijom i procjena efikasnosti i pouzdanosti razvijenih EMS modela. Poseban fokus će biti stavljen na primjenu tehnologije DT i HIL simulacija za verifikaciju EMS kontrolnih algoritama u realnom vremenu.

Drugi pravac istraživanja će biti usmjeren na eksperimentalna ispitivanja i validaciju sistema sa ciljem što vjerodostojnijeg modelovanja BM. Eksperimentalna postavka će biti implementirana na brodu u priobalnoj plovidbi u Bokokotorskom zalivu, opremljenom PV panelima, hibridnim inverterom i sistemom za skladištenje energije. Pored eksperimentalne postavke u realnom morskom okruženju biće vršeni eksperimenti i u: Laboratoriji za brodsku elektrotehniku i elektroniku Pomorskog fakulteta Kotor, Laboratoriji za solarnu energetiku Prirodno-matematičkog fakulteta i Laboratoriji za mikromreže i pametne mreže Elektronskog fakulteta Univerziteta u Nišu. Oprema za mjerenje I-U karakteristika PV panela i sistem za prikupljanje podataka o tokovima snaga omogućavaće precizno praćenje performansi sistema. Prikupljeni podaci će se analizirati statističkim i analitičkim metodama, kako bi se validirali rezultati simulacija i razvijeni modeli.

Oba pravca istraživanja su komplementarna i usmjerena ka istom cilju – razvoju održivih BM sa integrisanim PV sistemima i povećanju energetske efikasnosti. Sinergija teorijskog i eksperimentalnog rada omogućava ne samo razvoj inovativnih rješenja, već i njihovu primjenu u realnom morskom okruženju, čime se doprinosi globalnim naporima za dekarbonizaciju pomorskog sektora.

Očekivani naučni doprinos

Očekivani naučni doprinos biće:

- formiranje simulacionih modela BM sa unaprijeđenim modelima elemenata pogodnih za HIL simulacije u realnom vremenu i testiranje inovativnog EMS za hibridne BM primjenom tehnologije DT,
- doprinos razvoju modela PV sistema integrisanog u BM s obzirom na specifičnost morskog okruženja, i
- validacija predloženog simulacionog modela kroz eksperimentalnu postavku, čime će se potvrditi tačnost i primjenjivost modela u stvarnim uslovima.

Spisak objavljenih radova kandidata

Naučni rad na međunarodnom naučnom skupu (štampano u cjelini)

- [1] **N. Pudar**, I. Knežević, M. Čalasan, M. Krčum, and T. Dlabac, "Possible Integration of PV Systems on Ferries in Boka Bay," International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), Niš, Serbia, June 3-6 2024.
- [2] **N. Pudar**, I. Čavor, I. Knežević, Z. Đurović, T. Dlabac, "Utilizing Digital Twins for the Decarbonization of the Maritime Traffic in Boka Bay", 28th International Conference on Information Technology (IT 2024), 21-24 February 2024, Žabljak, Montenegro.
- [3] I. Knežević, S. Dragičević, D. Kovač, **N. Pudar**, „Energy efficiency analysis of solar powered ship - the case of Bay of Kotor“, COAST 2022, I International Conference on Advances in Science and Technology, Herceg Novi, Montenegro, 26-29, May 2022.

Saopštenje na međunarodnom naučnom skupu (štampano u izvodu)

- [1] **N. Pudar**, Č. Karatuž, I. Knežević, M. Krčum, T. Dlabac „Evaluation of Solar Energy Potential for Small Vessels in Boka Bay“, 4th Kotor International Maritime Conference (KIMC 2024) -, Kotor, Montenegro, November 2024
- [2] M. Petronijević, I. Radonjić, **N. Pudar**, M. Čalasan, T. Dlabac, „Experimental Investigation and Performance Analysis of a PV-Based Microgrid Suitable for Marine Applications“, 4th Kotor International Maritime Conference (KIMC 2024) -, Kotor, Montenegro, November 2024
- [3] J. Nikčević, **N. Pudar**, and T. Dlabac, "Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Maritime Transport: Legal Challenges and Opportunities for Sustainable Bay of Kotor," in Proc. of the Adriatic Maritime Law Conference VI, Trieste, Italy, 20-22 Jun. 2024.

Popis literature

- [1] "Review of Maritime Transport 2024 - Navigating maritime chokepoints (Overview)," *Rev. Marit. Transp.*, 2024.
- [2] Annex 1 Resolution MEPC.377(80) "2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships", Adopted on 7 July 2023.
- [3] P. Pan, Y. Sun, C. Yuan, X. Yan, and X. Tang, "Research progress on ship power systems integrated with new energy sources: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 144, p. 111048, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111048.
- [4] C. Ghenai, M. Bettayeb, B. Brdjanin, and A. K. Hamid, "Hybrid solar PV/PEM fuel Cell/Diesel Generator power system for cruise ship: A case study in Stockholm, Sweden," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 14, p. 100497, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.csite.2019.100497.
- [5] M. Abdullah-Al-Mahbub, A. R. Md. Towfiqul Islam, E. Alam, and M. R. Asha, "Sustainable solar energy potential on marine passenger ships of Bay of Bengal: A way of reducing carbon

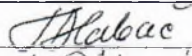
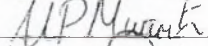
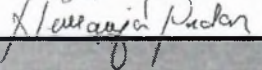
- dioxide emissions and disaster risk reduction,” *Energy Explor. Exploit.*, vol. 41, no. 5, pp. 1697–1723, Sep. 2023, doi: 10.1177/01445987231173097.
- [6] Ç. Karatuğ, “An evaluation of solar energy, wind power, and battery system applications onboard ships,” in *Innovations in Renewable Energies Offshore*, 1st ed., London: CRC Press, 2024, pp. 1091–1099. doi: 10.1201/9781003558859-116.
- [7] M. N. Nyanya, H. B. Vu, A. Schönborn, and A. I. Ölçer, “Wind and solar assisted ship propulsion optimisation and its application to a bulk carrier,” *Sustain. Energy Technol. Assess.*, vol. 47, p. 101397, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101397.
- [8] Y. Yuan, J. Wang, X. Yan, Q. Li, and T. Long, “A design and experimental investigation of a large-scale solar energy/diesel generator powered hybrid ship,” *Energy*, vol. 165, pp. 965–978, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.085.
- [9] F. Baldi, “Sustainable Energy Systems on Ships: Novel Technologies for Low Carbon Shipping,” 2024.
- [10] Ç. Karatuğ and Y. Durmuşoğlu, “Design of a solar photovoltaic system for a Ro-Ro ship and estimation of performance analysis: A case study,” *Sol. Energy*, vol. 207, pp. 1259–1268, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.solener.2020.07.037.
- [11] N. Pudar, I. Knežević, M. Čalasan, M. Krčum, and T. Dlabac, “Possible Integration of PV Systems on Ferries in Boka Bay,” in *2024 11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN)*, Nis, Serbia: IEEE, Jun. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1109/icetran62308.2024.10735421.
- [12] G. T. T. Vieira *et al.*, “Optimized Configuration of Diesel Engine-Fuel Cell-Battery Hybrid Power Systems in a Platform Supply Vessel to Reduce CO2 Emissions,” *Energies*, vol. 15, no. 6, p. 2184, Mar. 2022, doi: 10.3390/en15062184.
- [13] A. Mohammed, J. Pasupuleti, T. Khatib, and W. Elmenreich, “A review of process and operational system control of hybrid photovoltaic/diesel generator systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 44, pp. 436–446, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2014.12.035.
- [14] A. M. Aboelezz, B. E. Sedhom, M. M. El-Saadawi, A. A. Eladl, and P. Siano, “State-of-the-Art Review on Shipboard Microgrids: Architecture, Control, Management, Protection, and Future Perspectives,” *Smart Cities*, vol. 6, no. 3, pp. 1435–1484, May 2023, doi: 10.3390/smartcities6030069.
- [15] E. Nivolianiti, Y. L. Karnavas, and J.-F. Charpentier, “Energy management of shipboard microgrids integrating energy storage systems: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 189, p. 114012, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.rser.2023.114012.
- [16] S. Jayasinghe, L. Meegahapola, N. Fernando, Z. Jin, and J. Guerrero, “Review of Ship Microgrids: System Architectures, Storage Technologies and Power Quality Aspects,” *Inventions*, vol. 2, no. 1, p. 4, Feb. 2017, doi: 10.3390/inventions2010004.

- [17] M. U. Mutarraf, Y. Terriche, K. A. K. Niazi, J. C. Vasquez, and J. M. Guerrero, "Energy Storage Systems for Shipboard Microgrids—A Review," *Energies*, vol. 11, no. 12, p. 3492, Dec. 2018, doi: 10.3390/en11123492.
- [18] M.-H. Khooban *et al.*, "Robust Frequency Regulation in Mobile Microgrids: HIL Implementation," *IEEE Syst. J.*, vol. 13, no. 4, pp. 4281–4291, Dec. 2019, doi: 10.1109/JSYST.2019.2911210.
- [19] H. Yin *et al.*, "A Comprehensive Review of Shipboard Power Systems with New Energy Sources," *Energies*, vol. 16, no. 5, p. 2307, Feb. 2023, doi: 10.3390/en16052307.
- [20] M. Gaber, M. Hamad, S. El-banna, and M. El-Dabah, "An Intelligent Energy Management System For Ship Hybrid Power System Based On Renewable Energy Resources," *J. Al-Azhar Univ. Eng. Sect.*, vol. 16, no. 60, pp. 712–723, Jul. 2021, doi: 10.21608/aej.2021.187967.
- [21] I. Kobougias, E. Tatakis, and J. Prousalidis, "PV Systems Installed in Marine Vessels: Technologies and Specifications," *Adv. Power Electron.*, vol. 2013, pp. 1–8, Mar. 2013, doi: 10.1155/2013/831560.
- [22] M. P. Petronijevic, I. Radonjic, M. Dimitrijevic, L. Pantić, and M. Calasan, "Performance evaluation of single-stage photovoltaic inverters under soiling conditions," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 15, no. 1, p. 102353, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2023.102353.
- [23] Í. A. Fonseca, H. M. Gaspar, P. C. De Mello, and H. A. U. Sasaki, "A Standards-Based Digital Twin of an Experiment with a Scale Model Ship," *Comput.-Aided Des.*, vol. 145, p. 103191, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.cad.2021.103191.
- [24] Í. A. Fonseca and H. M. Gaspar, "Challenges when creating a cohesive digital twin ship: a data modelling perspective," *Ship Technol. Res.*, vol. 68, no. 2, pp. 70–83, May 2021, doi: 10.1080/09377255.2020.1815140.
- [25] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, and D. Fogli, "A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653–167671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953499.
- [26] A. Von Jouanne, E. Agamloh, and A. Yokochi, "Power Hardware-in-the-Loop (PHIL): A Review to Advance Smart Inverter-Based Grid-Edge Solutions," *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 916, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16020916.
- [27] F. Mihalić, M. Truntiĉ, and A. Hren, "Hardware-in-the-Loop Simulations: A Historical Overview of Engineering Challenges," *Electronics*, vol. 11, no. 15, p. 2462, Aug. 2022, doi: 10.3390/electronics11152462.
- [28] T. Akiyama, K. Roncin, and J.-F. Bousquet, "A Hardware-in-the-Loop Simulator to Optimize Autonomous Sailboat Performance in Real Ocean Conditions," *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 11, no. 6, p. 1104, May 2023, doi: 10.3390/jmse11061104.

[29] L. Huijgens, A. Vrijdag, and H. Hopman, "Hardware in the loop experiments with ship propulsion systems in the towing tank: Scale effects, corrections and demonstration," *Ocean Eng.*, vol. 226, p. 108789, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.108789.

SAGLASNOST PREDLOŽENIH MENTORA I DOKTORANDA SA PRIJAVOM

Odgovorno potvrđujem da sam saglasan sa temom koja se prijavljuje.

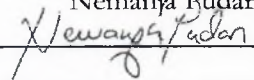
Prvi mentor	Prof. dr Tatijana Dlabač	
Drugi mentor	Dr Ivana Radonjić Mitić	
Doktorand	MSc Nemanja Pudar	

IZJAVA

Odgovorno izjavljujem da doktorsku disertaciju sa istom temom nisam prijavio ni na jednom drugom fakultetu.

U Kotoru,
21.01.2025 godine

Nemanja Pudar, MSc



Na osnovu člana 8 stav 4, a u vezi sa članom 32a Pravila doktorskih studija, Odbor za doktorske studije, nakon sprovedenog postupka glasanja, na sjednici održanoj 27. 01. 2025. godine dao je

SAGLASNOST

I

Da se prihvati prijedlog Vijeća Pomorskog fakulteta Kotor, broj 01-155 od 22. 01. 2025. godine, za imenovanje Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije mr Nemanje Pudara, u sastavu: dr Tatijana Dlabač, vanredna profesorica Pomorskog fakulteta Kotor Univerziteta Crne Gore, dr Ivanja Radonjić-Mitić, viša naučna saradnica Prirodno-matematičkog fakulteta Univerziteta u Nišu, dr Martin Čalasan, vanredni profesor Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta Crne Gore, dr Milutin Petronijević, vanredni profesor Elektronski fakultet Univerziteta u Nišu i dr Maja Krčum, redovna profesorica Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Splitu.

OBRAZLOŽENJE:

Odboru za doktorske studije dostavljen je prijedlog Pomorskog fakulteta Kotor broj 01-155 od 22. 01. 2025. godine za imenovanje Komisije za ocjenu prijave doktorske disertacije mr Nemanje Pudara, u gore navedenom sastavu.

Pravilima doktorskih studija propisano je da Komisija ima, po pravilu, tri člana, od kojih je jedan član mentor. Članovi komisije moraju biti iz naučne/umjetničke oblasti iz koje se doktorska teza predlaže. Uvidom u prijavu teme, zaključeno je da je predložena Komisija formirana u skladu sa Pravilima doktorskih studija.

Nakon sprovedenog postupka glasanja, od ukupno 11 članova Odbora, glasalo je 9 članova – 9 glasova ZA, nije bilo glasova protiv i uzdržanih, utvrđen je prijedlog kao u dispozitivu.

Broj: 01/2-44/1

Podgorica, 27. 01. 2024. godine



Predsjednik Odbora za doktorske studije
Prof. dr Boris Vukićević

UNIVERZITET CRNE GORE
POMORSKI FAKULTET KOTOR
POMORSKE NAUKE
Broj dosijea 1/2023

Na osnovu člana 33 Zakona o upravnom postupku (Službeni list CG, br. 56/14,20/15, 40/16 i 37/17) i službene evidencije, a po zahtjevu Pudar (Miro) Nemanja, izdaje se

POTVRDA O STUDIRANJU

Student Pudar (Miro) Nemanja rođen 24.05.1999. godine u mjestu Kotor, opština Kotor, Crna Gora upisan je studijske 2023/2024 godine u I godinu studija, kao student koji se finansira samostalno na doktorske akademske studije, studijski program POMORSKE NAUKE, koji realizuje POMORSKI FAKULTET KOTOR Univerziteta Crne Gore u trajanju od 3 (tri) godine sa obimom od 180 kredita.

Studijske 2024/2025 godine upisao je II godinu studija po 1. put i prijavio je da sluša 2 predmeta sa 50.00 (pedeset) ECTS kredita.

Pudar (Miro) Nemanja studijske 2024/2025 godine ima status studenta koji se finansira samostalno.

Uvjerenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski saobraćaj, studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).

Broj: -
Kotor, 14.01.2025.



Š. SEKRETAR, "a

N. Tolonović

UNIVERZITET CRNE GORE
POMORSKI FAKULTET KOTOR
POMORSKE NAUKE

Broj dosijea 1/2023

Na osnovu člana 33 Zakona o upravnom postupku (Službeni list CG, br. 56/14,20/15, 40/16 i 37/17), člana 115 Zakona o visokom obrazovanju Službeni list CG, br. 44/14, 52/14, 47/15, 40/16, 42/17, 71/17, 55/18, 3/19,17/19,47/19,72/19,74/20 104-/21) i službene evidencije, a po zahtjevu studenta Pudar (Miro) Nemanja, izdaje se

UVJERENJE O POLOŽENIM ISPITIMA

Student **Pudar (Miro) Nemanja** rođen **24.05.1999.** godine u mjestu **Kotor**, opština **Kotor**, Republika **Crna Gora** upisan je studijske **2023/2024** godine u I godinu studija, kao student koji se **finansira samostalno na doktorske akademske studije**, studijski program **POMORSKE NAUKE**, koji realizuje **POMORSKI FAKULTET KOTOR** Univerziteta Crne Gore u trajanju od **3 (tri)** godine sa obimom od **180 ECTS kredita**

Student je položio ispite iz sljedećih predmeta:

Red. broj	Se	Naziv predmeta	Datum polaganja	Ocjena	Uspjeh	Broj ECTS kredita
1.	1	Matematičke metode i numerička analiza	19.02.2024.	A	(odličan)	8.00
2.	1	Metodologija naučno istraživačkog rada	19.02.2024.	A	(odličan)	8.00
3.	1	Upravljanje elektromotornim pogonima	20.02.2024.	A	(odličan)	8.00
4.	1	Sistemi za podršku odlučivanja u pomorstvu	11.07.2024.	A	(odličan)	8.00
5.	2	Odabrana poglavlja iz elektro.kompat. brod.uređaja	11.07.2024.	A	(odličan)	8.00

Zaključno sa rednim brojem 5.

Ostvareni uspjeh u toku studija:

- srednja ocjena položenih ispita (A) 10.00
- broj osvojenih ECTS kredita 40.00 ili 66.6 %
- indeks uspjeha 6.67

Uvjerenje se izdaje na osnovu službene evidencije, a u svrhu ostvarivanja prava na: (dječji dodatak, porodičnu penziju, invalidski dodatak, zdravstvenu legitimaciju, povlašćenu vožnju za gradski sniženi studentski dom, studentski kredit, stipendiju, regulisanje vojne obaveze i slično).

Broj: -

Kotor 14.01.2025.



SEKRETAR, - a

N. Tolonović