

"Kopneni priključak električne energije za brodove na vezu u luci"

Pavlović, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Dubrovnik / Sveučilište u Dubrovniku**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:155:692502>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**



SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
UNIVERSITY OF DUBROVNIK

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Dubrovnik](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STUDIJ BRODOSTROJARSTVO

MISLAV PAVLOVIĆ

**KOPNENI PRIKLJUČAK ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA
BRODOVE NA VEZU U LUCI**

ZAVRŠNI RAD

DUBROVNIK, 2023.

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
POMORSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STUDIJ BRODOSTROJARSTVO

KOPNENI PRIKLJUČAK ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA BRODOVE
NA VEZU U LUCI

ZAVRŠNI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Žarko Koboević

Pristupnik: Mislav Pavlović

Komentor: Zvonimir Šoša; dipl. ing.

DUBROVNIK, 2023.

Republika Hrvatska

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU

POMORSKI ODJEL

Ur. broj: Dubrovnik, 2023. god.

Kolegij: **BRODSKI ELEKTRIČNI UREĐAJI I SUSTAVI**

Mentor: izv. prof. dr. sc. **ŽARKO KOBOEVIĆ**

Komentor: **ZVONIMIR ŠOŠA**; dipl. ing.

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: **MISLAV PAVLOVIĆ**

Zadatak: **KOPNENI PRIKLJUČAK ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA BRODOVE NA VEZU U LUCI**

Zadatak treba sadržavati:

1. Pojam i razlozi korištenja kopnenog priključka za brodove na vezu u luci
2. Utjecaji na onečišćenje zraka s brodova
3. Zakonski okvir za smanjenje onečišćenja zraka s brodova
4. Tehnički uvjeti za izvođenje kopnenog priključka električne energije za brodove na vezu u luci

Izjava

S punom odgovornošću izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora izv.prof.dr.sc. Žarka Koboevića i komentora Zvonimira Šoše, dipl. ing.

Ime i prezime studenta: Mislav Pavlović

Potpis: _____

SADRŽAJ

1.	Uvod	1
2.	O kopnenom priključku	2
3.	Razlozi za korištenje kopnenog priključka	4
4.	Onečišćenje zraka iz elektrana na kopnu	5
5.	Onečišćenje u lukama i uredbe	9
6.	Razlozi odabira kopnenog priključka	12
7.	Karakteristike mreže	14
8.	Osnovne komponente mreže	17
9.	Troškovi ugradnje kopnenog priključka	17
9.1.	Troškovi u lukama	18
9.2.	Troškovi na brodu	18
10.	IEC standardi	19
10.1.	Standardizacija transformatora	21
10.2.	Visoki napon i uzemljenje	22
10.3.	Osnovni trening	24
11.	Zaključak	25
	Popis literature	

1. UVOD

U današnjem svijetu na sve više načina pokušava se smanjiti onečišćenje. Svijest o globalnom zatopljenju svakim danom je sve veća, tako da se uvode razne uredbe kako bi se isto usporilo. Ovakve uredbe velikim dijelom se odnose na izgaranje ugljikovodika koji su jedan od najvećih problema naglog porasta globalnog zatopljenja.

Jedan od problema je onečišćenje koje proizvode brodovi u lukama pored gradova. Za potrebe normalnog rada brodu je potrebna električna energija koju proizvode generatori, a koje pokreću motori. Što je veći brod veći su motori, kao što je i veća potreba za električnom energijom. U tim situacijama dolazi do povećanog onečišćenja što utječe na kvalitetu zraka i izravno pogoršava zdravlje posade kao i stanovnike gradova.

Zbog ove vrste onečišćenja pokušavaju se pronaći drugi načini kako opskrbljivati brodove električnom energijom dok su na vezu u luci. Jedan od načina je spajanje brodova na kopneni priključak električne energije, što omogućuje gašenje motora pa se na taj način ova vrsta onečišćenja može upotpunosti izbjeći.

Kopneni električni priključci najčešće se koriste u svrhu napajanja brodova električnom energijom, ali također mogu se koristiti i u suprotnom smjeru u slučaju određenih vremenskih katastrofa ili sličnih hitnih situacija.

Ovisno o isplativosti, sve više svjetskih luka pokušava omogućiti brodovima spajanje na kopneni priključak električne mreže a jedne od najpoznatijih kao i prvih luka koje su to uvele bile su luke u Los Angelesu i Antwerpenu.

2. O KOPNENOM PRIKLJUČKU

Iako brodovi na doku više nemaju potrebu za električnom energijom za propulziju, i dalje im je električna energija potrebna za neka bitna trošila kao što su ventilacija, grijanje, hlađenje, rad pumpi i uređaja za rukovanjem teretom.

Cold ironing engleski je naziv za postupak prilikom kojeg se brodovi na vezu u luci opskrbljuju električnom energijom iz generatora na kopnu ili izravno iz gradske električne mreže, što omogućava brodovima da isključe motore. Izraz „Cold ironing“ koristi se zbog toga što se zbog gašenja motora može reći kako se „brod hladi“, a počeo se koristiti u prošlosti dok su motori bili obloženi željezom i pogonjeni na izgaranje ugljena, pa bi se prilikom dolaska u luke i prestanka loženja motori potpuno ohladili.



Slika 1. *Brodovi za kružna putovanja na vezu u luci [1]*

Povezivanje brodova na električnu mrežu u lukama koristi se već desetljećima ali je u počecima najviše bio korišten u vojne svrhe dok se danas sve više pokušava uvesti u komercijalnom pomorskom sektoru.

Spajanje brodova na električnu mrežu može se izvesti za sve vrste brodova bez obzira na njihovu starost. Međutim, za ovakav postupak luka kao i brod moraju biti opremljeni određenim uređajima kako bi povezivanje bilo moguće. Tako na primjer luka mora imat visokonaponski ili niskonaponski priključak, pretvarače frekvencije, transformatore, upravljačke ploče i priključne ormare, te koloture za kabele i konektore, dok brod može imati transformator, sustav distribucije električne energije, upravljačku ploču, frekvencijski pretvarač visoke fleksibilnosti kao i konektore i koloture za kabele.

Istraživanja su pokazala kako se, priključivanjem brodova na električnu mrežu u luci, emisije CO₂ smanjuju za 30% dok se emisije dušikovih oksida smanjuju za čak 95%. Prema istom istraživanju[1], prilikom gašenja kruzera na 10 sati, količina emisija CO₂ smanjuje se sa 72,2 tone na 50,1 tonu, a emisije sumporovih oksida sa 1,23 tone na 0,04 tone. Jedan od najboljih primjera dobrog korištenjakopnenog priključka je savezna država Kalifornija koja je, sa svoje tri najveće luke Oakland, Los Angeles i Long Beach, na pragu da sve svoje luke opremi uređajima za spajanje brodova na električnu mrežu i zabrane uplovljavanje brodovima bez te mogućnosti. Na primjer, već 2012. godine luka u Los Angelesu uvela je uredbu da svi brodovi koji uplovljavaju u luku više od 5 puta godišnje moraju imati mogućnost spajanja na električnu mrežu u luci, dok je luka u Long Beachu, također 2012. godine, sve svoje nove dokove opremala opremom za spajanje brodova na mrežu i započela sa renovacijom starih dokova kako bi se na njima omogućilo isto.



Slika 2. Luke u Los Angelesu i LongBeachu[2]

3.RAZLOZI ZA KORIŠTENJE KOPNENOG PRIKLJUČKA

Prvi i najvažniji razlog za spajanje brodova na električnu energiju u luci je već spomenuto sprječavanje onečišćavanja zraka. Prema istraživanjima[3] od posljedica emisija onečišćenja godišnje umire skoro 60 000 ljudi, dok mnogo više zbog istih osjeća posljedice. Zbog toga se svake godine uvodi sve više zakonskih odredbi kako smanjiti ili potpuno zaustaviti onečišćenje, a glavna organizacija u donošenju tih uredbi je International Maritime Organization (IMO). Osim IMO-a, države ili zajednice, kao što je Europska Unija, mogu dodatno uvoditi svoje zakone i regulative, vezane za onečišćenje zraka s brodova, unutar svojih granica.



Slika 3. *Primjer onečišćavanja zraka u luci*[4]

Drugi razlog za spajanje brodova na kopnene priključke je visoka razina buke koju proizvode motori u radu. Brodovi u lukama proizvode veliku količinu buke što utječe na zdravlje ne samo posade brodova nego i radnika u lukama, pa čak i stanovnika koji žive u okolini luka, i mogu prouzročiti hipertenziju, probleme sa sluhom i snom[3]. Spajanjem brodova na električnu energiju u luci buka se može upotpunosti anulirati.

Gašenje motora nakon spajanja na električnu mrežu omogućuje posadi da radi na održavanju istih, što ne bi bilo moguće u slučaju da su motori u pogonu. Također prema izračunima cijena održavanja motora je 1.6€ po određenom radnom satu[3], pa gašenje motora omogućuje određenu uštedu.

Luke koje omogućuju brodovima spajanje na njihovu električnu mrežu imaju posebno mjesto na tržištu s obzirom na to da mnoge svjetske luke i dalje nemaju tu mogućnost, te također postaju privlačnije za kompanije koje žele smanjiti vlastitu emisiju štetnih plinova.

4. ONEČIŠĆENJE ZRAKA IZ ELEKTRANA NA KOPNU

Iako se brodove u lukama smatra jednim od najvećih zagađivača, i iz tog razloga se što više pokušava omogućiti spajanje istih na kopnenu priključak, ipak je bitno obratiti pozornost na koji način se proizvodi električna energija koja se koristi u toj luci, i iz koje vrste elektrane ta električna energija dolazi.

Postoje različite vrste elektrana, a najvažnije su:

- nuklearne elektrane
- hidroelektrane
- elektrane na ugljen
- elektrane na dizel
- geotermalne elektrane
- plinske elektrane
- solarne elektrane
- vjetroelektrane

Svaka od tih vrsta elektrana pri proizvodnji električne energije na određeni način onečišćuje okoliš ili ima neke druge negativne posljedice, a u kojoj količini najviše određuje upravo koju vrstu goriva koriste za proizvodnju električne energije.

Tako na primjer pri proizvodnji električne energije, nuklearne elektrane izravno ne onečišćuju okoliš, ali unatoč malim izgledima za taj događaj, nekontrolirana reakcija u nuklearnom reaktoru može dovesti do kontaminacije zraka i vode na velikom području. Također pri proizvodnji električne energije u nuklearnim elektranama potreban je uran, a pri rudarenju istoga često se koriste fosilna goriva koja onečišćuju okoliš tako da se i to može neizravno povezati sa onečišćenjem iz nuklearnih elektrana, a najveći problem s nuklearnim elektranama je radioaktivni otpad i njegovo skladištenje.



Slika 4. *Nezakonito odbačen nuklearni otpad*[6]

Elektrane koje pri proizvodnji električne energije koriste obnovljive izvore energije, pri proizvodnji ne onečišćuju izravno zrak ili vode. To su vjetroelektrane, hidroelektrane i solarne elektrane. Međutim te vrste elektrana mogu imati negativan utjecaj na okoliš prilikom njihove izgradnje ili neke druge vrste negativnih posljedica. Tako na primjer vjetroelektrane pri proizvodnji električne energije ne onečišćuju okoliš, ali stvaraju problem velike buke, narušavaju sliku okoliša i velikim lopaticama mogu ozlijediti šišmiše i ptice. Hidroelektrane također ne onečišćuju vodu, ali sa svojim akumulacijskim jezerima mogu onemogućiti migracije ribama, i čak podići temperaturu vode, promijeniti tijek rijeke ili kemijski sastav vode što može uzrokovati izumiranje određenih endemskih biljaka i životinja i na taj način uništiti ekosustav čak i šireg područja nego samog područja na kojem se nalazi elektrana. Kao vjetroelektrane i hidroelektrane tako ni solarne elektrane pri proizvodnji električne energije ne onečišćuju okoliš ali je njihov problem u tome što se pri njihovoj izgradnji mora koristiti velika količina stakla i metala čija je izrada energetska izazovna.

S druge strane elektrane koje pri proizvodnji električne energije koriste neobnovljive izvore energije izravno onečišćuju zrak. Tako na primjer elektrane na ugljen prilikom sagorijevanja ugljena u zrak ispuštaju sumporov dioksid, dušikov oksid, sitne čestice, ugljikov oksid, živu i druge teške metale, te ispuštaju pepeo.



Slika 5. *Onečišćenje u elektranama na ugljen*[10]

Kao u elektranama na ugljen, iste ili slične emisije ispuštaju se u svim elektranama koje koriste neobnovljive izvore energije. Upravo iz tog razlog elektrane koje se koriste neobnovljivim izvorima energije su jedni od najvećih svjetskih zagađivača, i unatoč problemima koje sa sobom donose elektrane na obnovljive izvore energije svijet se sve više okreće upravo tim načinima proizvodnje električne energije. Tako na primjer u slučaju kada brod dolazi u luku u kojoj se dovodi električna energija proizvedena u elektrani koja koristi ugljen, spajanje broda na kopneni priključak može biti ekološki lošije nego proizvodnja električne energije na brodu.

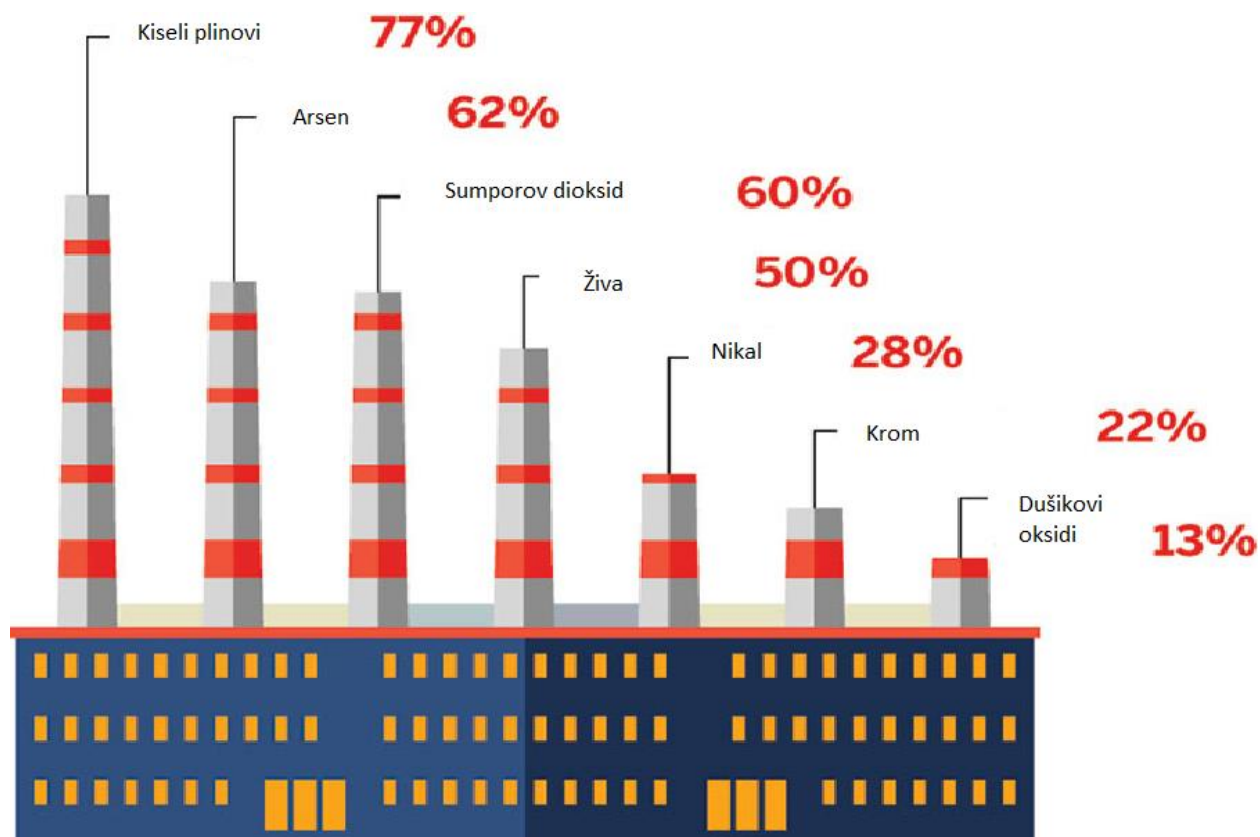
Danas se u sve većem broju država uvode zakoni i odredbe po kojima se zabranjuje, ili uvode puno stroži uvjeti za rad elektrana na neobnovljive izvore energije, kako bi iste bile ekološki prihvatljive. Tako je na primjer EPA (eng. *United State sEnviromental Protection Agency*) već krajem 2011. godine uvela prve nacionalne standarde za smanjivanje ispuštanja žive i drugih zagađivača zraka iz elektrana na ugljen i fosilna goriva. Unatoč naporima za smanjivanjem onečišćenja iz elektrana, danas je u Sjedinjenim Američkim Državama više od 1400 generatora za proizvodnju električne energije na ugljen ili fosilna goriva u više od 600 različitih elektrana, a čak više od 40% istih ne zadovoljava standarde koje je propisala EPA [11].

Tablica 1. *Usporedba emisija u elektranama na ugljen i na brodu [21]*

	NO _x (g/kWh)	CO ₂ (g/kWh)	SO ₂ (g/kWh)
Emisije iz elektrane na ugljen	4,38	910	7,20
Emisije s broda tijekom korištenja teškog goriva	10,71	607	4,57
Emisije s broda tijekom korištenja goriva s niskim udjelom sumpora	9,57	607	0,14

Kao što se može vidjeti u Tablici 1. elektrane koje za proizvodnju električne energije koriste ugljen prouzrokuju veće onečišćenje nego što to čine brodovi čak i tijekom korištenja teškog goriva. S obzirom na to da se u sve većem broju svjetskih luka brodovi moraju prebaciti na korištenje goriva s niskim udjelom sumpora može se vidjeti da je spajanje na vez u lukama koje koriste električnu energiju iz elektrana na ugljen potpuno ekološki neučinkovito. Međutim, prema zadnjim uredbama koje je donijela EPA u cilju je smanjiti:

- 90% emisija žive iz elektrana na ugljen
- 88% emisija kiselih plinova u svim elektranama
- 41% emisija sumporovog dioksida više od dosad propisanih uredbi od nekih drugih američkih organizacija



Slika 6. Postotak emisije pojedinačnih plinova iz elektrana[11]

5. ONEČIŠĆENJE U LUKAMA I UREDBE

Već godinama, prema svim organizacijama i zemljama, najbitnija stavka u borbi protiv onečišćenja u lukama je kvaliteta zraka. Spojevi koji najviše uzrokuju onečišćenje su:

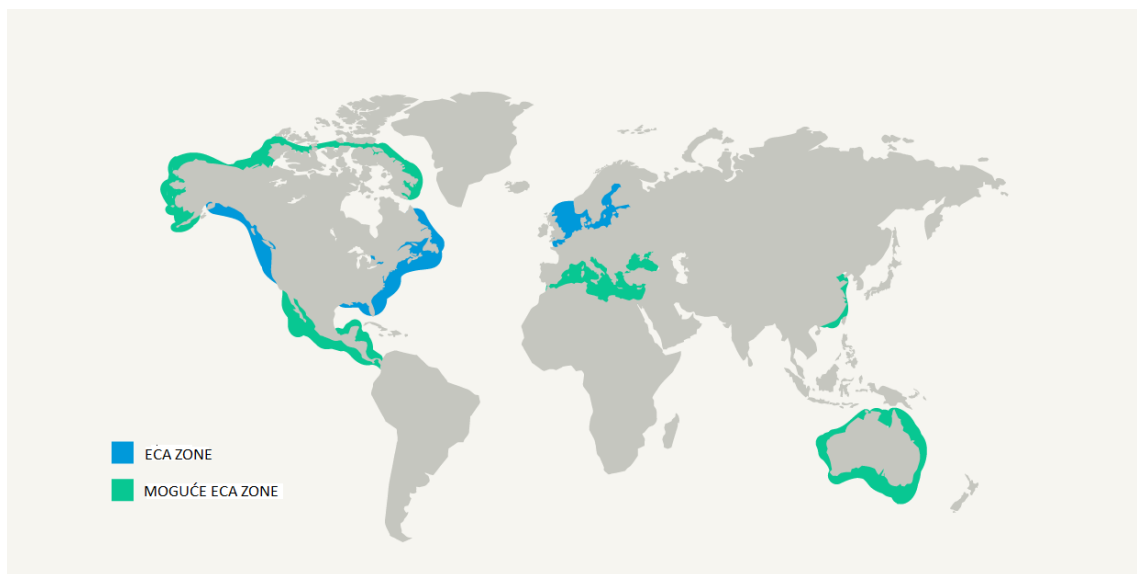
- NO_x – Sastoji se od dušikovih oksida i dušikovih dioksida. Ovaj spoj ima ogromnu ulogu u onečišćenju a pogotovo u uništavanju ozonskog omotača i uzrokuje kisele kiše i smog. Može uzrokovati probleme s disanjem i astmu, otežava već postojeće probleme sa srcem te oštećuje plućnu maramicu i može uzrokovati preranu smrt
- SO_x – Iritira nos, usta i plućne dišne puteve te uzrokuje refleksno kašljanje i stezanje u prsima, daljnje posljedice najčešće se javljaju kod ljudi s astmom ili kroničnim plućnim bolestima i može uzrokovati dodatno sužavanje dišnih puteva.
- VOC(eng. *Volatile organic compound*)– Hlapljivi organski spoj je staklenički plin koji oštećuje oči, iritira dišni trakt, uzrokuje glavobolje, vrtoglavice, probleme s vidom i moguće gubitke pamćenja

- Sitne čestice – Ovi spojevi sastoje se od uglavnom oku nevidljivih čestica koje mogu uzrokovati preranu smrt, astmu, probleme s dišnim putevima kao kašalj i bolno disanje i umanjuju postotak rada pluća.

Međunarodna pomorska organizacija (IMO) već se godinama bori protiv onečišćenja s brodova pa je tako jedna od glavnih briga onečišćenje zraka spojevima koji se ispuštaju s brodova. Ove regulative i zakoni nalaze se u konvenciji pod nazivom „Međunarodna konvencija o sprječavanju onečišćenja s brodova“ još poznatij i kao MARPOL. MARPOL je međunarodna konvencija kojoj je cilj potpuno sprječavanje slučajnog ili namjernog onečišćenja morskog okoliša s brodova i sprječavanje onečišćenja svim štetnim tvarima za ljude i ostala živa bića. MARPOL je podijeljen u 6 priloga, a upravo 6. prilog odnosi se na sprječavanje onečišćenja zraka s brodova. Danas ovu konvenciju priznaje 136 država što čini 98% svjetske brodske tonaže.

MARPOL prilog 6 prvi put je uveden 1997. godine kako bi limitirao glavne uzročnike onečišćenja zraka iz ispušnih plinova a to su SO_x, NO_x i zabranjuje ispuštanje spojeva koje uništavaju ozon. Svakih nekoliko godina ovaj se aneks revidira i donose se nove uredbe kako bi se onečišćenje što više smanjilo. Tako je, na primjer, od 1. siječnja 2020. godine uvedeno da goriva moraju imati manje od 0,50% udjela sumpora u svom sastavu, dok je već na početku 2015. godine odlučeno kako u ECA zonama udio sumpora mora biti manji od 0,10% [13].

ECA zone su područja koja su pod posebnim nadzorom i koja imaju stroža pravila za zaštitu od onečišćenja od otvorenih mora, pa samim time od brodarskih kompanija traže veća ulaganja u brodove kako bi im bilo dopušteno uplovljavati u ta područja. Na početku, pod pojmom ECA zone smatralo se samo područje unutar 200 nautičkih milja od obale SAD-a i Karipskog mora, ali se danas ta područja šire pa tako tu pripadaju Baltičko more i Sjeverno more, a postoji i daljnja mogućnost širenja kao na primjer na Mediteran.



Slika 7. Područja ECA zona [14]

Također u ovom aneksu sve se više postrožuje zaštita od ispuštanja NO_x-a, pa je tako da podjela određena prema rangovima (eng. *Tier*) koja se određuju prema datumima izgradnje brodova pa tako vrijede:

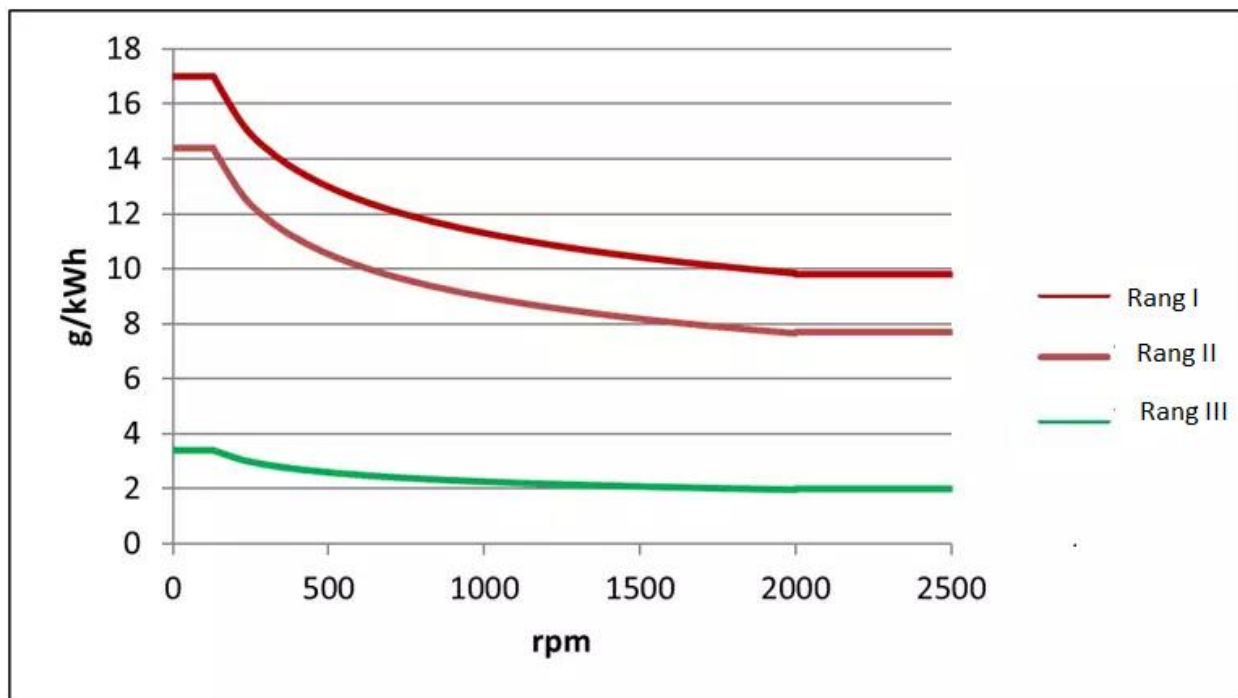
- Rang I – Za brodove izgrađene nakon 1. siječnja 2000.
- Rang II – Za brodove izgrađene nakon 1. siječnja 2011.
- Rang III – Za brodove izgrađene nakon 1. siječnja 2016.

Rang III vrijedi za brodove izgrađene nakon 1. siječnja 2016. godine ali samo u području ECA zona dok u ostalim dijelovima svijeta se koristi Rang II.

U idućoj tablici 2. prikazano je koliko je dopušteno ispuštanje NO_x prema rangovima

Tablica 2. *Dopuštena ispuštanja NO_x-a prema rangovima [15]*

Rang	Datum izgradnje broda ili nakon	Granične vrijednosti emisija (g/kwh)		
		n = broj okretaja motora		
		n<130	n = 130 – 1999	n≥ 2000
I	1. siječnja 2000.	17.0	45*n(-0.2) e.g., 720rpm – 12.1	9.8
II	1. siječnja 2011.	14.4	44*n(-0.23) e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1. siječnja 2016.	3.4	9*n(-0.2)e.g., 720 rpm – 2.4	2.0



Slika 8. Ispuštanje NOx-a prema određenom rangu [16]

6. RAZLOZI ODABIRA KOPNENOG PRIKLJUČKA

Kao što je ranije spomenuto mnoge brodarske kompanije biraju luke u kojima je omogućeno spajanje na kopneni priključak upravo zbog gore navedenih zakona. Ograničenja u ispuštanju SOx i NOx tjeraju brodarske kompanije na korištenje kvalitetnijih, to jest čistijih goriva, koja su ujedno i skuplja. Tako na primjer u ECA zonama nije moguće korištenje teškog goriva bez ugradnje prečišćavača pa je potrebno koristiti gorivo sa postotkom sumpora manjim od 0,10% (eng. *very low sulphur fuel oil*). Cijena prečišćavača iznosi između 2 i 3 miliona \$ po brodu, dok razlika u cijeni između teškog goriva i goriva s niskom razinom sumpora postaje sve veća. Tako je na primjer, u srpnju 2022. razlika po toni bila 369,50\$ u 20 najvećih svjetskih luka za krcanje goriva, dok je 5. srpnja 2022. ta razlika bila rekordnih 420.5\$, dok je u nekim lukama čak prelazila i 500\$ [17]. Iz tog razloga kompanije kojima su prečišćavači prevelika trenutna investicija a žele izbjeći preveliku razliku u plaćanju vrsta goriva uplovljavaju u luke koje im omogućuju spajanje na kopneni priključak jer tako, unatoč plaćanju struje, štede na potrošnji skupog goriva, i istovremeno izbjegavaju ugradnju prečišćavača.

Također, uz same troškove na gorivo ili prečišćavače, brodarske kompanije mogu imati velike troškove zbog plaćanja kazni zbog nepoštivanja donesenih regulativa. U tom segmentu posebno prednjači EPA (eng. *United States Environmental Protection Agency*) koja je nadležna za brodove koji plove u području Sjeverne Amerike i u Karipskom moru pod nadzorom SAD-a. Tako EPA u suradnji s Obalnom stražom SAD-a kažnjava sve one koji krše Poglavlje VI, a kazne, ovisno o prirodi prekršaja, okolnostima i povijesti bivših prekršaja, se mogu kretati i do

25 000\$ za prekršaj po danu [18].Svrha ovih kazni je da se osigura pridržavanje pravila određenih u MARPOLU, a kazne se izračunavaju tako da se ukloni svaka ekonomska dobit koja je stečena nepoštivanjem pravila, i još uvećana kako bi se ukazalo na ozbiljnost prekršaja. EPA najčešće provjerava razinu goriva u tankovima, kako bi provjerili jeli brod, prije ulaska u ECA zonu, na vrijeme prešao na gorivo s malim postotkom sumpora. Nezakonito stečena ekonomska dobit računa se po jednostavnoj formuli:

$$B=(Fe-Fw)*U \quad (1)$$

Gdje su:

- B – ekonomska dobit
- Fe – cijena metričke tone (MT) goriva koje odgovara zakonima
- Fw – cijena metričke tone goriva koje ne odgovara zakonima
- U – količina u metričkim tonama neodgovarajućeg goriva koje je korišteno za vrijeme plovidbe kroz obalne vode SAD-a [18]

U tablici 3. prikazan je način na koji EPA kažnjava one koji prvi put krše zahtjeve o količini sumpora u gorivu. Tablica prikazuje ozbiljnost prekršaja na temelju stvarnog sadržaja sumpora u gorivu koje je korišteno i razine za koju to gorivo premašuje dopuštenu vrijednost. Također EPA veće odstupanje od dopuštenog smatra većim prekršajem pa je tako visina kazne viša.

Kao što je već spomenuto tablica 3. odnosi se samo za one brodove ili kompanije kojima je to prvi napravljeni prekršaj, a u slučaju ponavljanja prekršaja ove se kazne mogu značajno uvećati, pa se tako dolazi do zaključka kako je kompanijama prevelik rizik koristiti se teškim gorivom u ECA zonama pa im osim korištenja goriva s niskom razinom sumpora ili ugradnje prečišćaća, spajanje na kopneni priključak ostaje kao jedno od najboljih rješenja kako bi pri dolasku u luku mogli ugasiti motore i na taj način sačuvati veću količinu čisteg goriva.

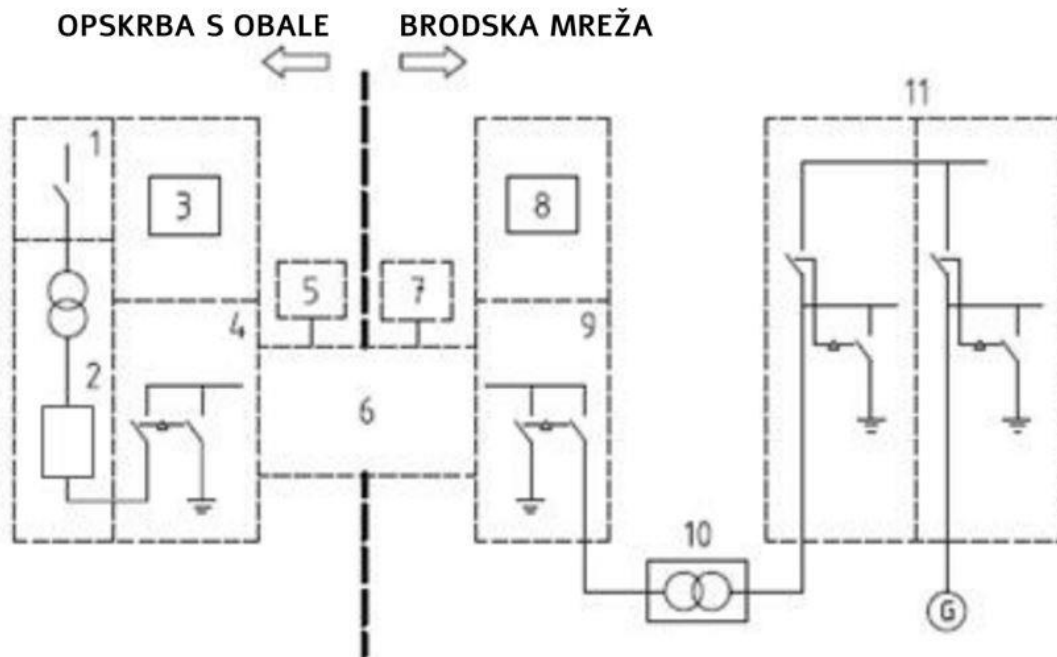
Tablica 3. Kazne predviđene za kršenje razine sumpora u gorivu u SAD-u[18]

Stvarna razina sumpora, %	Kazna tijekom trajanja prekršaja – prvi prekršaj	
	Kršenje granice sumpora od 1,00% (U = MT goriva utrošenog dok je u ECA u SAD-u)	Kršenje granice sumpora od 0,10% (U = MT goriva utrošenog dok je u ECA u SAD-u)
3.5 ili više	\$400*U	\$750*U
3.0	\$350*U	\$700*U
2.5	\$300*U	\$650*U
2.0	\$250*U	\$600*U
1.5	\$200*U	\$550*U
1.25	\$150*U	\$500*U
1.10	\$100*U	\$450*U
1.00	N/A	\$400*U
0.80		\$350*U
0.60		\$300*U
0.40		\$250*U
0.20		\$200*U
0.15		\$150*U
0.10		N/A

Još jedan od razloga zbog kojeg kompanije mogu birati spajanje na kopneni priključak je taj što se u današnjem svijetu sve više pazi na ekologiju i sprječavanje onečišćenja u svim sektorima rada, pa se tako kompanije mogu promovirati kao poželjniji suradnici i ojačati svoj brend upravo zbog brige o okolišu.

7. KARAKTERISTIKE MREŽE

Kod projektiranja sustava za napajanje brodova električnom energijom u obzir se trebaju uzeti različiti parametri električne energije kao što su snaga sustava, napon i frekvencija. Ovakvi sustavi su podijeljeni u dva bloka pri kojem jedan služi za opskrbu s obale dok drugi služi za opskrbu mreže na brodu.



- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. VN – SUSTAV OPSKRBE S OBALE | 7. KONTROLNI PANEL |
| 2. TRANSFORMATOR NA OBALE | 8. ZAŠTITNI RELEJ NA BRODU |
| 3. ZAŠTITNI RELEJ NA OBALE | 9. RAZVODNA PLOČA ZA SPOJ S OBALE |
| 4. PREKIDAČ STRUJNOG KRUGA I SKLOPKA
ZA UZEMLJENJE | 10. TRANSFORMATOR NA BRODU |
| 5. KONTROLNI PANEL | 11. BRODSKA RAZVODNA PLOČA |
| 6. SPOJ S OBALE NA BROD I OPREMA
SUČELJA | |

Slika 9. Blok dijagram visokonaponskog sustava[3]

Kao što je prikazano na slici 9. lijevi blok prikazuje opskrbu s obale koji se sastoji od elemenata koji su instalirani u luci, dok desni blok prikazuje mrežu broda s potrebnim elementima.

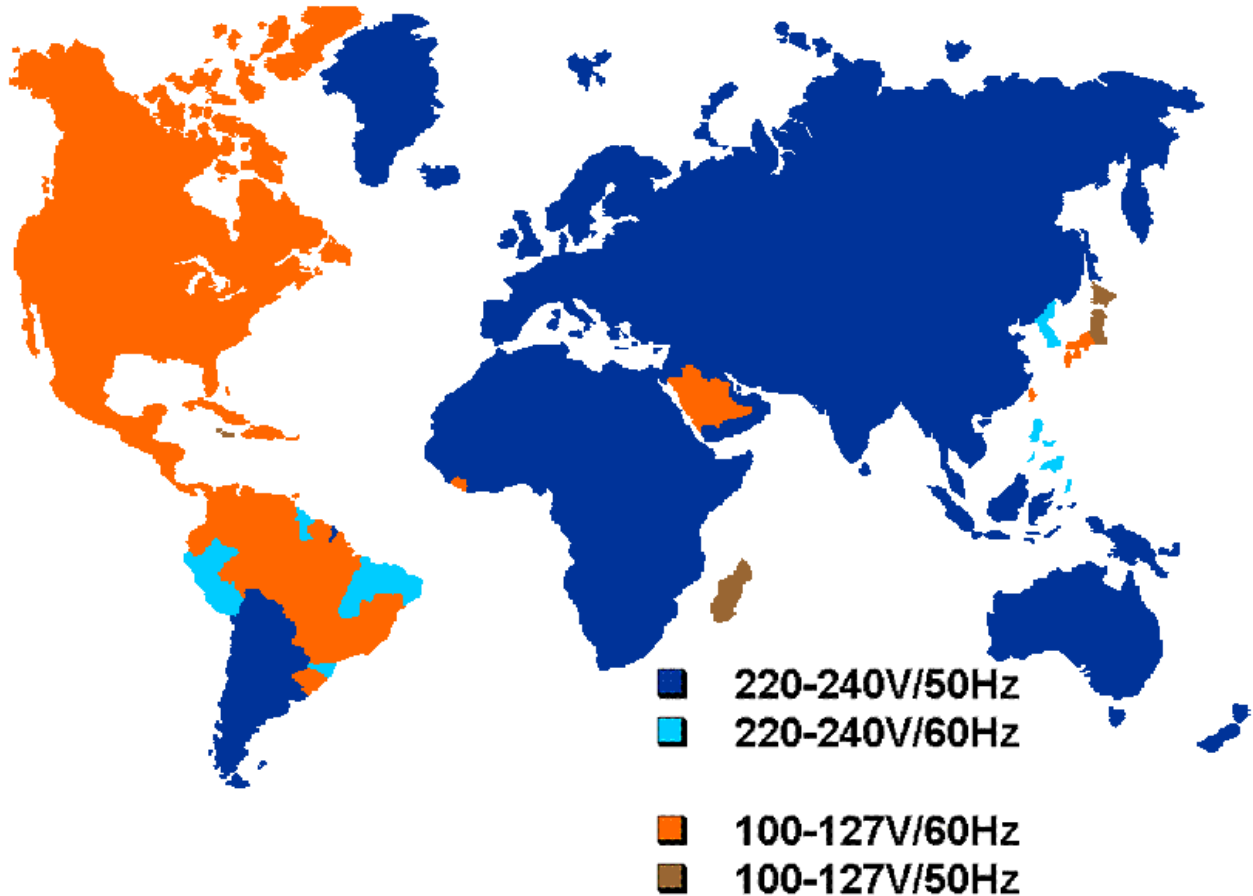
Na kopненоj strani se nalaze:

1. Visokonaponski sustav opskrbe s obale – Ovaj sustav uzima električnu energiju iz gradske ili nacionalne mreže, generatora u luci ili nekog drugog izvora električne energije
2. Transformator – Služi za transformaciju napona kopnene mreže na standardizirane napone visokonaponskog kopnenog priključka
3. Zaštitni relej – Ovo je jedna od najbitnijih komponenti vezan uz sigurnost, štiti sustav od bilo kakve štete uzrokovane nekim kvarom, preopterećenjem ili kratkim spojem
4. Prekidač strujnog kruga i sklopka za uzemljenje – ove komponente koriste se za uključivanje i isključivanje, te uzemljenje sustava napajanja s obale

5. Kontrolni panel – Služi za nadzor i upravljanje
6. Spoj s obale na brod i oprema sučelja – ova komponenta povezuje električne sustave obale i broda i čini ih jedinstvenom mrežom.

Kao što je već spomenuto električna energija kopnene mreže može se razlikovati po naponu i frekvenciji od brodske mreže pa zbog toga sustav mora omogućiti da se kopnena mreža može prilagoditi potrebama broda.

Također napon i frekvencija koje se koriste na obali razlikuju se diljem svijeta.



Slika 10. Napon i frekvencija diljem svijeta[12]

Kao što je prikazano na slici 10. postoje dvije različite razine faznih napona: 220-240V i 100-127V kao i dvije različite vrijednosti frekvencija 50Hz i 60Hz. Sustavi koji koriste električnu energiju napravljeni su prema naponu i frekvenciji koje se koriste u toj državi, to jest u tom dijelu svijeta, i također je opremljeno s utičnicama koje se tu koriste. Ovo se također odnosi i na brodove, ali problem nastaje kada brod plovi diljem svijeta i veže se u luku koja nema isti nazivni napon i frekvenciju. U ovom slučaju ključno je odraditi promjenu parametara električne energije nacionalne mreže kako bi se brod mogao uspješno spojiti.

8. OSNOVNE KOMPONENTE MREŽE

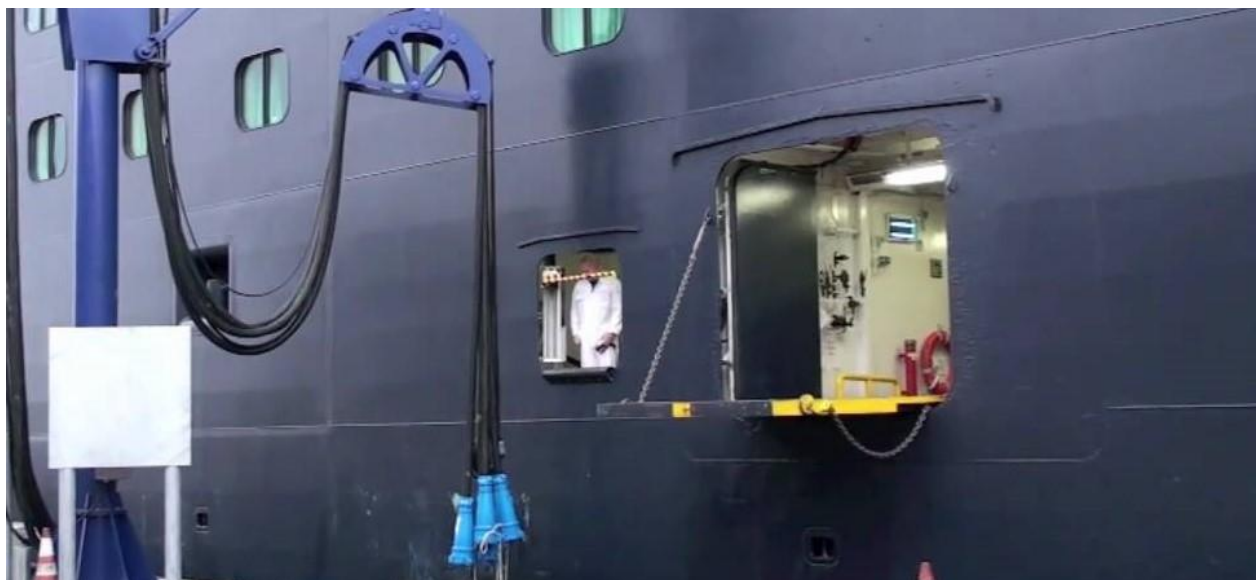
Visokonaponski dio kopnenog priključka (HVSC) sastoji se od različitih komponenti koje i u zajedničkoj interakciji omogućuju spajanje broda na gradsku mrežu ili generator u luci.

Glavne komponente ovoga kruga su:

- izvor – uloga izvora je napajati cijeli krug električnom energijom. U slučaju luka, izvor je najčešće gradska mreža
- transformator – transformator je električni uređaj koji služi kako bi napon električne energije iz nacionalne mreže prilagodio brodu na vezu koji se spaja na priključak u luci
- frekvencijski pretvarač – električni uređaj koji omogućuje promjenu frekvencije izmjenične struje (npr. 50 Hz na 60 Hz ili obratno). Danas su najpopularniji PWM pretvarači koji omogućuju modulaciju širine impulsa to jest modulaciju trajanja impulsa.

9. TROŠKOVI UGRADNJE KOPNEG PRIKLJUČKA

Kod ugradnje kopnenog priključka potrebne su mnoge investicije, koje najviše ovise o lokalnoj situaciji i vrsti terminala na koji se ugrađuje. Tako je na primjer, zbog njihove male potrebe za električnom energijom, jedna od najmanjih investicija ugradnja naponskog priključka za RoRo brodove, za razliku od kontejnerskih brodova i brodova za prijevoz rasutog tereta koji osim za osnovne funkcije mogu koristiti veliku količinu električne energije za iskrcaj ili ukrcaj tereta. U slučaju potrebe za pretvaračem frekvencije također se dolazi do značajnijih troškova, a isplativost ugradnje kopnenog priključka najviše ovisi o cijeni goriva, cijeni električne energije i poreza na električnu energiju.



Slika 11. Priprema broda za spajanje na kopneni priključak[12]

9.1. Troškovi u lukama

Za spajanje brodova na kopneni priključak poželjno je imati visokonaponski sustav. U nekim lukama koje se nalaze u industrijskim ili stambenim područjima visokonaponski sustav može već biti dostupan. Međutim u lukama koje se nalaze na udaljenim mjestima, a žele omogućiti brodovima spajanje na kopneni priključak, dolazi do dodatnih troškova zbog udaljenosti luke od visokonaponske trafostanice, te je često potrebno izgraditi novu transformatorsku stanicu.

Kopneni priključci projektiraju se prema dostupnim mogućnostima, a od najveće važnosti kod procjene troška ulaganja u lukama uzimaju se slijedeće stavke

- troškovi vezani za mogućnost nabave/ispоруke tražene količine električne energije
- troškovi potrebni za ugradnju transformatora
- razvodna ploča i upravljačka ploča
- moguća potreba za pretvaračem frekvencije
- duljina podzemnih kabela i ostalih vodova

Uzevši u obzir ove stavke, lokaciju luke, količinu potrebne električne energije, napon, frekvenciju i vrstu brodova, u lukama SAD-a cijena potrebna za instaliranje priključka je od 300 000\$ do 4 000 000\$ po vezu. Za luku u Rotterdamu procijenjeno je 4 000 000\$ po vezu, osim za kruzere, za koje bi bilo potrebno uložiti 6 000 000\$. Za luku u Gothenburgu izračunato je 255 000\$ za dva veza zbog već dostupnog visokonaponskog priključka, nepotrebnosti pretvarača frekvencije i limitirane potrebe za električnom energijom RoRo brodova koji većinom uplovljavaju u tu luku [12].

9.2. Troškovi na brodu

Komponente koje se moraju ugraditi na brod kako bi se omogućilo spajanje na kopneni priključak su:

- razvodni ormar na palubi
- kolotura za kabele
- transformator
- kontrolni panel
- zaštitni relej na brodu

Razliku u cijeni ulaganja može činiti i to što određeni brod može uvijek biti na istoj ruti i uplovljavati u iste luke, pa tako na primjer ako su te luke već opremljene koloturuom za kabele i transformatorom brod ne mora ugrađivati te komponente i na taj način može uštediti.

Procijenjeno je da su ulaganja po brodu između 300 000\$ i 2 000 000\$ ovisno o vrsti i veličini broda, te količini potrebe za električnom energijom[12]. Također veliku ulogu može

imati jeli se brod prerađuje ili je riječ o izgradnji novoga, jer naknadna ugradnja može koštati od 150 do 200% više nego kod izgradnje novog broda[12].

10. IEC STANDARDI

Danas se pri proizvodnji praktički svih glavnih vrsta proizvoda želi izaći na svjetsko tržište, a da bi se to postiglo potrebno je omogućiti korištenje tih predmeta po cijelom svijetu. Isto tako, kada su se prvi brodovi počeli povezivat na priključak u luci, uskoro se shvatilo da se to neće moći raditi po cijelom svijetu ako se ne uvedu određeni standardi po kojima će svi raditi. U posljednjih nekoliko godina razne svjetske organizacije pokušale su na što više načina standardizirati opremu i komponente koje će se koristiti prilikom priključivanja brodova, a za to su se najviše pobrinule tri svjetske organizacije:

- ISO (eng. *International Organization for Standardization*)
- IEC (eng. *International Electrotechnical Commission*)
- IEEE (eng. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*)

Ove tri organizacije zasebno su provodile standardizaciju priključaka brodova na kopneni vez u luci, pa je nakon toga donesena odluka o donošenju zajedničke uredbe „IEC/IEEE 80005-1:2019“ koja se još naziva „Priključci u luci – Dio 1: Visokonaponski sustavi kopnenih priključaka (HVSC) – Opći zahtjevi“ (eng. *Utility connections in port — Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems: General requirements*).

Tako na primjer tijekom stajanja broda na vezu, različite vrste brodova imaju različitu potrebu za količinom električne energije koja im je potrebna. U slučaju da se na brodovima koristi visokonaponski sustav, prilikom spajanja, brod dobija transformator na koji će se spojiti i koji ima sekundarni napon ili 6,6kV ili 11.0kV. Svaki brod spaja se na dodijeljeni transformator kako bi se zadovoljila galvanska izolacija. Ovakav sustav služi za zaštitu broda od poremećaja u kopnenoj mreži, pogotovo u slučajevima kada ista ta mreža opskrbljuje i neke druge lučke objekte.

Tablica 4. Standardizirani energetske zahtjevi za pojedine vrste brodova[19]

ENERGETSKI ZAHTEJEVI ZA BROD NA VEZU		
Tip broda	Napon (kV)	Snaga (MVA)
Kruzeri	6.6 ili 11	16-20
Kontejnerski brodovi	6.6	7.5
LNG brodovi	6.6 ili 11	10.7
Ro-Ro brodovi	11	6.5
Tankeri	6.6	7.2

Najveći broj brodova danas dizajniran je za rad na frekvenciji od 60Hz, tako da se 60Hz smatra standardom. Ukoliko postoji razlika u frekvencijama kopnene i brodske mreže potrebno je koristiti pretvarače frekvencije. Transformatori na obali ostaju pod naponom čak i kada brod nije spojen na priključak pa se zahtijevaju transformatori s malim gubitcima u praznom hodu, a pri svakoj operaciji spajanja broda na priključak u luci, i brod i luka moraju imati prekidače. Pri spajanju broda koriste se teški i savitljivi kabeli koji se spajaju uz pomoć dizalica, a u slučaju velikog gibanja brodova i iskopčavanja nekog od kabela isključuju se prekidači i na brodu i u luci te se na taj način štiti sustav od oštećenja.

Također propisane su i neke druge komponente koji svaki sustav mora imati, a to su:

- Tropolni prekidač za uzemljenje koji se koristi za pražnjenje srednjenaponskih kabela
- Tropolni glavni prekidač koji se koristi za izolaciju AMP (eng. *Alternative marine power*) kutija
- Utičnice su dimenzionirane za struju od 350A ili 500A i za napone od 6.6kV ili 11.0kV
- Odgovarajuće utikače koji se nalaze na krajevima fleksibilnih kabela dizajniranih da omogućе sigurno spajanje. Također su namijenjeni za struju od 350A ili 500A i napone od 6.6kV ili 11.0kV
- Sustav za upravljanje kabelima (CMS) koji se koristi za odmotavanje i namotavanje fleksibilnih kabela. Može se nalaziti na brodu ili u luci na pokretnim kolicima. Također su ugrađeni sigurnosni prekidači koji osiguravaju da se izbjegnu prevelike vučne sile na kabelu i spoju utikača i utičnice
- Odvojenu utičnicu i utikač koji služe za komunikaciju i isklop u slučaju nužde
- Glavni prekidač za isključivanje, prekidač za uzemljenje i okvir utičnice moraju biti mehanički blokiranida bi se osiguralo da je sustav u beznaponskom stanju, i da je sustav ispražnjen od naboja prije ponovnog stavljanja u funkciju
- Višenamjenske releje na svakom dovodu do utičnice kao i svjetlosnu signalizaciju u svrhu zaštite operatera i opreme
- Višenamjenski releji za primarnu i sekundarnu zaštitu transformatora

Organizacije su prilikom standardiziranja opreme i postupaka prilikom spajanja na kopneni priključak uzele u obzir i niskonaponske sustave, te je donešen standard IEC/IEEE DIS 80005-3 koji se još naziva „Priključci u luci – Dio 3: Niskonaponski sustavi kopnenih priključaka (LVSC) – Opći zahtjevi“ (eng. *Utility connections in port — Part 3: Low voltage shore connection (LVSC) systems: General requirements*). U ovom standardu govori se o osnovnim zahtjevima prilikom spajanja brodova na niskonaponski kopneni priključak. Neke od najbitnijih stavki kojih se dotiče su: distribucijski sustav, procjena kompatibilnosti sustava prije spajanja, zahtjevi kod dizajniranja sustava, gašenje u slučaju nužde, sigurnost osoblja.

Također donešen je standard IEC/IEEE 80005-2:2016 pod nazivom „Priklučci u luci – Dio 2: Visokonaponski i niskonaponski sustavi kopnenih priključaka – podatkovna komunikacija za nadzor i kontrolu“ (eng. *Utility connections in port — Part 2: High and low voltage shore connection systems — Data communication for monitoring and control*) u kojem se govori o komunikaciji između luke i broda prilikom spajanja broda na kopneni priključak, te postupci za praćenje i kontrolu podataka o prijenosu energije. Tako su neke od najbitnijih stavki koje se nalaze u tom standardu: sučelje koje se nalazi na obali, sučelje na brodu, procedure za započinjanje i zaustavljanje operacije spajanja broda na kopneni priključak.

Također se pokušava uvesti komunikaciju preko IP adrese u kojoj bi svaki brod dobio bi svoju IP adresu. Međutim ovakav način komunikacije trebao bi uključiti veliki broj IT stručnjaka koji bi omogućili komunikaciju između broda i obale putem otvorenih protokola, kako se ne bi dogodilo da je ovaj način komunikacije prihvatljiv za samo jednu određenu vrstu proizvođača.

10.1. Standardizacija transformatora

Kao što je prikazano u tablici 4. različite vrste brodova traže različite vrijednosti snage i električne energije, pa zbog toga treba uzeti u obzir mogućost rada transformatora u preopterećenju. Mogućnost rada transformatora u preopterećenju standardizirano je prema vrsti hlađenja transformatora pa tako postoje dvije osnovne vrste

- transformatori hlađeni uljem
- suhi transformatori

Opterećenje obje vrste transformatora može se povećati prisilnim zračnim hlađenjem, pa tako za uljni transformator može omogućiti 12% preopterećenja za snage manje ili jednake od ≤ 2.5 MVA ili 25% za sve iznose veće od toga. Za suhe transformatore prisilno zračno hlađenje omogućuje 33% preopterećenja za snage manje ili jednake od 3.75MVA ili 25% za veće vrijednosti[19].



Slika 12. *Uljni transformator*[20]

10.2. Visoki napon i uzemljenje

U većim svjetskim lukama koje nude mogućnost spajanja brodova na kopneni priključak često postoji priključak visokog napona. Visoki napon može dovesti do novih izazova vezanih za sigurnost osoblja pogotovo u slučajevima zemljospojnog kvara, kada dolazi do povećanja napona na brodskom trupu koji tada može postati opasan i čak smrtonosan na dodir.

Kako bi ovakvi sustavi bili sigurni za korištenje, i kako bi se spriječila potencijalna šteta na opremi ili opasnost za ljudsko zdravlje koriste se uzemljivački sustavi i relejna zaštita.

Kod zemljospoja, potencijal tla se povećava iznad uobičajenog potencijala i dovodi svu električnu opremu koja je zaštitno uzemljena na povećani potencijal. Ovisno o iznosu potencijala, ovakva situacija može biti izrazito opasna za ljudske živote prilikom dodirivanja te opreme. Potencijal tla izračunava se po formuli:

$$V_{GPR} = G_R I_G \quad (2)$$

gdje su:

- V_{GPR} – Potencijal tla izražen u voltima
- G_R – Otpor tla izražen u ohmima
- I_G – Struja kroz uzemljivač izražena u amperima[19].

Kako bi se spriječila bilo kakva opasnost po ljudske živote, otpor tla i struja moraju biti dovoljno niski kako bi se smanjio potencijal tla i na taj način neutralizirala opasnost pri doticaju s tom opremom.

Za projektiranje sigurnog sustava koristi se IEEE standard 80, pa se tako na primjer u lukama, kod visokonaponskih trafostanica, na tlo stavlja drobljeni pijesak jer ima najveći otpor i zbog toga najviše štiti osobu prilikom dodira ili samog prolaska u krugu trafostanice. U ovom standardu izračunato je koliki je dozvoljeni potencijal prilikom zemljospoja, odnosno napon dodira i napon koraka, bez opasnosti od električnih udara opasnih po život. Prilikom izračunavanja, prema jednostavnoj formuli, u obzir se uzimaju:

- Otpor ljudskog tijela
- Otpor površine na kojoj osoba stoji
- Struja koju osoba prosječne težine može podnijeti
- Vrijeme u kojem je osoba izložena

Uzimajući u obzir ove podatke, dolazi se do izračuna u tablicama 5. i 6.

Tablica 5. *Dozvoljeni napon dodira*[19]

Vrijeme izloženosti (s)	Vlažni beton otpora 21 ohm/m	Vlažni beton otpora 100 ohm/m	Suho tlo otpora 1000 ohm/m
0.03	691 V	770 V	1 674 V
0.05	535 V	597 V	1 297 V
U ovoj tablici pretpostavlja se da je otpor stopala i dlana jednak nuli i da je otpor rukavice također jednak nuli			

Tablica 6. *Dozvoljeni napon dodira uz korištenje zaštitne opreme*[19]

Vrijeme izloženosti (s)	Vlažni beton otpora 21 ohm/m	Vlažni beton otpora 100 ohm/m	Suho tlo otpora 1000 ohm/m
0.03	2700 V	2779 V	3684 V
0.05	2092 V	2153 V	2853 V
0.10	1479 V	1522 V	2018 V
U ovoj tablici pretpostavlja se da osoba ima odgovarajuću zaštitnu opremu, to jest rukavice i obuću otpora 3000 ohma što će ukupni otpor ljudskog tijela podići na 4000 ohm.			

Unatoč naporima spomenute tri organizacije da zajednički, standardizacijom, maksimalno povećaju učinkovitost i sigurnost tijekom korištenja priključka na struju u luci, neke određene stavke i dalje stvaraju probleme kao na primjer:

- Utvrditi postoji li razlog da se vodič za izjednačavanje potencijala uvede kao standardni dio opreme. Ovaj vodič služi kako bi se izjednačili potencijali obale i broskog trupa, ali postoji i drugi načini na koji se to može postići pa se dolazi do pitanja je li dizajn s ovim vodičem uvijek potreban.

10.3. Osnovni trening

U lukama u kojima je ugrađen kopneni priključak brzo se shvatilo da su potrebni tečajevi za osposobljavanje i treninzi za osoblje, u luci i na brodu, koje će rukovati tom opremom kako bi se zaštitili ljudski životi i spriječilo oštećivanje opreme. Osnovni treninzi koje osoblje mora proći su:

- Trening o opasnostima od električnog luka
- Trening o osnovnom poznavanju i razumijevanju rada sustava za kopneni priključak
- Obuka o postupcima i procedurama prilikom spajanja broda na kopneni priključak

Sva oprema mora zadovoljavati IEEE standarde i na sebi imati odgovarajuće energetske oznake i oznake opasnosti, i potrebno je definirati način komunikacije između odgovorne osobe u luci i odgovorne osobe na obali.

11. ZAKLJUČAK

Spajanje brodova na kopneni priključak električne energije u lukama jedan je od najboljih načina na koji bi se moglo smanjiti onečišćenje s brodova. Unatoč tome ovi sustavi još nisu dovoljno rašireni u pomorstvu i trenutno se koristi samo u najrazvijenijim i najbogatijim državama svijeta koje si mogu priuštiti troškove ugrađivanja opreme potrebne za spajanje broda na električnu energiju u luci. Također u mnogim svjetskim državama električna energija se i dalje proizvodi u elektranama na ugljen koji su veliki uzročnik zagađenja zraka, pa spajanje brodova na električnu energiju u tim lukama nema financijski ni ekološki smisao. Ipak, s obzirom da se svakim danom podiže ekološka osviještenost i uvode se sve strože odredbe koje se moraju poštivati, kao i kazne u slučaju ne poštivanja istih, može se očekivati da će se u narednim godinama sustavi za spajanje brodova na kopneni priključak električne energije pojavljivati u sve više i više svjetskih luka.

Popis literature

- [1] Do you know what cold ironing is?, 2022, online: <https://safety4sea.com/cm-do-you-know-what-cold-ironing-is/> , 06.12.2022.
- [2] The ports of Los Angeles County in San Pedro Bay <https://dornsife.usc.edu/uscseagrant/3-la-ports-in-san-pedro-bay/> , 08.12. 2022.
- [3] A. Roser; HighVoltage Shore Connections; Barcelona 2016.
- [4] Turizam je postao problem – najviše zagađuje okoliš <https://express.24sata.hr/znanost/turizam-je-postao-problem-najvise-zaga-uje-okolis-15625> 10. 12. 2022.
- [5] Nuclear explained <https://www.eia.gov/energyexplained/nuclear/nuclear-power-and-the-environment.php>, 15.12.2022
- [6] What are the negative effects of nuclear waste? <https://zenbird.media/what-are-the-negative-effects-of-nuclear-waste/> 15.12.2022.
- [7] Hydro power and environment <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/hydropower-and-the-environment.php> 15.12.2022.
- [8] Solar energy and environment <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-energy-and-the-environment.php> 16.12.2022.
- [9] Wind energy and the environment <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/wind-energy-and-the-environment.php> 16.12.2022.
- [10] India temporarily shuts five coal-fired power plants around new delhi <https://www.dubaieye1038.com/news/international/india-temporarily-shuts-five-coal-fired-power-plants-around-new-delhi/> 16.12.2022.
- [11] Cleaner power plants <https://www.epa.gov/mats/cleaner-power-plants> 21.12.2022.
- [12] On shore power supply and lng <https://www.onthemosway.eu/wp-content/uploads/2015/06/2-OPS-LNG-.pdf> 23.12.2022.
- [13] MARPOLannex vi and the act to prevent pollution from ships (APPS) <https://www.epa.gov/enforcement/marpol-annex-vi-and-act-prevent-pollution-ships-apps> 02.01.2023.
- [14] Reducing Sea Freight Emissions <https://home.kuehne-nagel.com/-/knowledge/emission-control-areas> 02.01.2023.

[15] Nitrogen Oxides (NO_x) – Regulation 13

[https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx) 05.01.2023.

[16] Three tier scheme of IMO for NO_x emissions of diesel

engines https://www.researchgate.net/figure/Three-tier-scheme-of-IMO-for-NO-x-emissions-of-diesel-engines-Tier-II-represents-20_fig3_256681064 10.01.2023.

[17] Ships that „scrub“ emissions earn twice as much as those that don't [Shipsthat ‘scrub’ emissionsearntwice as much as thosethatdon’t \(freightwaves.com\)](https://www.freightwaves.com/news/shipsthat-scrub-emissions-earn-twice-as-much-as-those-that-dont) 10.01.2023.

[18] EPA penalty policy for violations by ships of the sulfur in fuel standard and related provisions <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-03/documents/marinepenaltypolicy.pdf> 15.01.2023.

[19] Designing cold ironing power systems <https://www.p2sinc.com/uploads/Designing-Cold-Ironing-Power-Systems.pdf> 20.02.2023.

[20] Distributivni uljni transformatori <https://www.emattransformatori.com/distributivni-uljni-transformatori/distributivni-uljni-transformatori-10kv-0-42kv-sa-snizenim-gubicima/> 20.02.2023.

[21] Particle Emissions from Ships: Dependence on Fuel Type

<https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3155/1047-3289.59.12.1391> 03.03.2023.

Popis slika:

Slika 1. Brodovi za kružna putovanja na vezu u luci [1]

Slika 2. Luke u Los Angelesu i LongBeachu [2]

Slika 3. Primjer onečišćenja zraka u luci [4]

Slika 4. Nezakonito odbačen nuklearni otpad [6]

Slika 5. Onečišćenje u elektranama na ugljen [10]

Slika 6. Postotak emisije pojedinačnih plinova iz elektrana [11]

Slika 7. Područja ECA zona [14]

Slika 8. Ispuštanje NO_x-a prema određenom rangui [16]

Slika 9. Blok dijagram visokonaponskog sustava s obale [3]

Slika 10. Napon i frekvencija diljem svijeta [12]

Slika 11. Priprema broda za spajanje na kopneni priključak [12]

Slika 12. Uljni transformator [20]

Popis tablica:

Tablica 1. *Usporedba emisija u elektranama na ugljen i na brodu* [11]

Tablica 2. *Dopuštena ispuštanja NO_x-a prema rangovima* [15]

Tablica 3. *Kazne predviđene za kršenje razine sumpora u gorivu u SAD-u* [18]

Tablica 4. *Standardizirani energetske zahtjevi za pojedine vrste brodova* [19]

Tablica 5. *Napon podnošljiv za dodir* [19]

Tablica 6. *Napon podnošljiv za dodir uz korištenje zaštitne opreme*[19]

Popis formula:

Formula 1. $B=(Fe-Fw)*U$ [18]

Formula 2. $V_{GPR} = G_R I_G$ [19]

