

Ivo BILIŠKO

Visokonaponska električna postrojenja na plovilima koja su na unutrašnjim vodama Hrvatske

Stručni rad

Članak se bavi primjenom zaštite na radu na plovilima unutarnje plovidbe koja se napajaju iz izvora na kopnu, ako pritom koriste električnu energiju visokog napona iznad 1 kV što je novost za eksploataciju na šljunčarama. Općenito se razmatraju jaružala grabiličari, sisavci i vedričari, od pet tipova pod nadzorom HRB-a, a dodatno se opisuje izvedba jaružala grabiličara. Opisuju se načini napajanja jaružala, te važeće norme i propisi. Govori se i o visokonaponskim (VN) električnim postrojenjima na plovilima pod nadzorom HRB-a (na moru i unutrašnjim vodama), te o tri jaružala s karakterističnim, ali različitim napajanjima i izvedbom VN postrojenja. Članak se dodatno bavi izvedbom, odabirom i načinom polaganja VN kabela. Opisuju se i izvedba i način proračuna zaštitnog uzemljenja. Govori se o osnovnim propisima zaštite na radu za vrijeme boravaka na plovilu u pogonu i izvan pogona dok je VN kabel pod naponom u „praznom hodu“. U zaključku se govori o propisima koje moraju donijeti mjerodavne ustanove, kao i o internim propisima koje moraju imati vlasnici glede VN električnih postrojenja na plovilima koja se napajaju iz izvora na kopnu.

Ključne riječi: jaružalo-grabilica, visokonaponsko postrojenje, plovila unutarnje plovidbe, zaštita na radu.

High Voltage Electrical Plants on Inland Waterway Vessels in Croatia

Professional paper

The article deals with the rules for safety at work on inland waterway vessels with electrical plants supplied from external high voltage (HV) source of electrical power of over 1 kV. This is a novelty concerning exploitation in gravel pits, where voltage up to 0.4 kV is usually used. Some general notes on three different types of dredgers (grab dredgers, suction dredgers and bucket dredgers) under supervision of the *Croatian Register of Shipping (CRS)* that are used for dredging inland waters in Croatia are given. There are five floating grab dredgers (all of them of the same design) under supervision of the *CRS*. A description of the technological design of the floating grab dredgers is given. Then the ways of dredgers' HV power supply from external source and respective rules and regulations in force are considered. Also, the present and the former state of HV electrical plants on vessels (for both sea and inland navigation) under supervision of the *CRS* is considered. Three grab dredgers with characteristic but different power supply and the design of HV electrical plant are presented. In addition a detailed description of HV cable is given, including cable design, selection, and laying. Also, some information related to the design and calculation of protective earthing is provided. Then essential safety at work measures and technical precautions for the crew and special personnel on the dredger in operation or out of operation with no load alive voltage HV cable are considered. It is underlined in the conclusion that competent Croatian institutions should prescribe relevant rules and make internal regulations for each particular vessel related to the safety of work and stay on inland waterway vessels with HV electrical plants power supplied from external sources.

Keywords: grab dredgers, high voltage plants, inland waterway vessels, safety at work.

Author's address:

Nova cesta 117,
10000 Zagreb

Received (Primljeno): 2005-10-05

Accepted (Prihvaćeno): 2006-01-09

1. Općenito

U ovom članku razmatra se primjena zaštite na radu na plovilima *Unutrašnje plovidbe (UPL)* u Hrvatskoj, koja kao *Plovna postrojenja za vađenje i dopremu šljunka* pod službenim nazivom *jaružala vade šljunak i pijesak na šljunčarama* (umjetnim jezerima), ako za pogon radnog uređaja koriste električnu energiju iz

distributivne mreže napona iznad 1 kV. Ova se plovila, u skladu sa Zakonom o plovidbi na unutarnjim vodama, nalaze pod tehničkim nadzorom *Hrvatskog registra brodova (HRB)*.

Da bi se što bolje shvatila navedena problematika bit će potrebno uvodno kazati nešto o vrstama jaružala, načinu njihovog rada i dosadašnjoj praksi primjene električne energije niskog napona (NN) do 1 kV.

2. Vrste jaružala

U unutrašnjosti Hrvatske, šljunak i pijesak se osim suhoga, površinskog iskopa, vade i na unutrašnjim vodama: vodotocima (rijekama) i mirnim vodama (riječnim rukavcima ili šljunčarama).

2.1 U vodotocima Save, Drave i Dunava, radi hidrodinamičkih (tok vode) ili eksploatacijskih razloga (opravdanosti mjesta iskopa), koriste se:

- jaružala-sisavci (često nazivani *bageri-refuleri*) i
- jaružala-vedričari (obično rade zajedno s istovarnim postrojenjima *elevatorima*).

Ova dva tipa plovila, za pogon radnog uređaja, koriste motore s unutarnjim izgaranjem. Uz rijetke iznimke, ako je jaružalo ili istovarno postrojenje smješteno uz obalu u blizini odlagališta šljunka ili pijeska, a u blizini je (ekonomski opravdano) dostupan priključak nisko naponske (NN) distributivne električne mreže, može za pogon radnog uređaja koristiti električnu energiju. U vodotocima se, radi učestale promjene mjesta iskopa, najčešće koriste jaružala s vlastitim porivom ili, ako za to postoje opravdani razlozi, bez poriva.

2.2 Na mirnim unutrašnjim vodama u uporabi su jaružala-grabličari bez vlastitoga poriva, koji za pogon radnog uređaja koriste isključivo električnu energiju iz NN distributivne mreže ili iz vlastitih NN agregatskih postrojenja. Osim jaružala-grabličara, rjeđe se na mirnim vodama koriste i jaružala-sisavci. Jaružala-sisavci do sada su za pogon radnog uređaja koristili isključivo motore s unutarnjim izgaranjem. Naglašavamo do sada, jer u Europi su već u uporabi jaružala-sisavci velikih snaga, ali s električnim pogonom radnog uređaja i priključkom na srednjonaponsku (SN) distributivnu mrežu.

2.3 Pod nadzorom *HRB*-a od 2003. godine proizvedeno je u Finskoj i jedno višenamjensko plovilo tvrtke *Aquamec Ltd* s mogućnošću rada i kao jaružalo s usisnom napravom i kao grabilica s krakom. Plovilo ima vlastiti poriv za plovību. Može se kretati i po kopnu, što je izvedivo pomoću dva plovna bočna stabilizatora, dva pilona na krmenom dijelu i grabilice na pramcu. Plovilo nije predviđeno za komercijalno vađenje pijeska ili šljunka nego za čišćenje ili odmuljivanje u mirnim vodama. Cjelokupan pogon je hidraulički.

Dalja razmatranja u svezi s primjenom zaštite na radu odnose se samo na jaružala-grabličare koji koriste napon iznad 1 kV. U Hrvatskoj za sada samo ta vrsta jaružala ima priključak na SN distributivnu mrežu.

3. Izvedba jaružala-grabličara

Da bi se lakše shvatila suština primjene napona iznad 1 kV i zaštite na radu kod ovoga tipa jaružala potrebno je opisati njegovu tehnološku izvedbu.

Jaružalo-grabličar, kao plovno postrojenje za vađenje i dopremu šljunka sastavljeno je od:

3.1 jaružala, koje ima:

- glavnu pontonsku konstrukciju izvedenu od plovnih pontona međusobno povezanih nezavarenim spojevima, na način da u sredini formiraju vodeni bazen u koji se spušta košara-grabilica;

- električno postrojenje s upravljačkom kućicom smješteno na a.;
 - podizni uređaj s elektroopremom izveden kao: tip *Ridinger* (*mačka* s grabilicom i mehanizmom za zatvaranje grabilice koji klizi po portalnoj konstrukciji) i tip *Rohr* (pokretni kran s grabilicom i mehanizmom za zatvaranje grabilice);
 - prihvatni koš s vibracijskim sitom koji može biti: fiksirani (tip *Ridunger*) ili pomični (tip *Rohr*);
 - vitla za sidrenje i vez (s elektropogonom), koja osim za učvršćenje jaružala za određeno mjesto na jezeru služe i za promjenu mjesta iskopa.
- Sve navedeno pod: c, d i e naziva se *radni uređaj* i smješteno je na glavnoj pontonskoj konstrukciji.

3.2 plovnog dopremača (*transportera*) koji se sastoji od:

- uređaja za dopremu izvađenog materijala (s elektroopremom) i pristupne rampe i
- plovnih pontona, na koje se na početku i na kraju oslanjaju elementi pod a. (Ukoliko postoji potreba za više *transportera* onda se oni, zbog dopreme izvađenog materijala, međusobno povezuju zglobnim mehanizmom.).

3.3 završnog dopremača koji, ovisno o proizvodnim razlozima, sa svojim početnim dijelom može biti zglobno povezan s plovnim dopremačem, a sa završnim dijelom (na različite načine) čvrsto smještenim na kopnu, uz odlagalište.

4. Napajanje jaružala električnom energijom

Sve plovne radne naprave pod nadzorom *HRB*-a, uključujući i jaružala koja za pogon radnog uređaja koriste električnu energiju, mogu biti priključene na napon 0,4 kV:

- postojeće distributivne mreže ili
- vlastitoga (prijenosnog) agregatskog pogona.

Bez obzira na izvor električne energije, priključak se ostvaruje fleksibilnim kablom koji povezuje NN električno postrojenje na jaružalu s NN (sekundarnom) stranom distributivne transformatorske stanice (TS) koja se nalazi na kopnu ili s prijenosnim agregatom (koji može biti na kopnu ili plovilu). Ako je izvor na kopnu, kabel se jednim dijelom polaže pod zemlju, a nakon toga po konstrukciji *transportera* ili na površini vode (oslanjajući se pri tome čvrsto na gusto raspoređene plutajuće naprave ili bačve), sve do ulaska u NN postrojenje na jaružalu.

Kako je riječ o niskom naponu (NN), a to znači naponu do 1 kV, zaštita na radu odnosno zaštita od električne opasnosti (tj. rizika ozljeda od električnoga postrojenja) provedena je kroz primjenu Pravila *HRB*-a, Dio 11, *Zaštita na radu i smještaj posade*, koji u sebi sadržavaju sve odredbe iz:

- Zakona o zaštiti na radu (NN 59/96 i NN 94/96),
- Pravilnika o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (dio koji se odnosi na niski napon) (NN 9/87) i
- Europskih normi EN 50110 (12/96).

Dugogodišnja praksa u radu ovakvih plovnih radnih naprava uz strogo pridržavanje navedenih odredbi pokazala je, glede zaštite na radu, svu opravdanost u korištenju napona do 1 kV. Moglo bi se uvjetno reći da su naprave s naponom do 1 kV - klasične izvedbe.

Ovisno o eksploatacijskim razlozima u radu jaružala (veličina jezera, udaljenost mjesta iskopa od obale) i smještaju izvora električne energije na kopnu, napojni vodovi mogu biti vrlo dugi. Kako je za siguran rad velikih elektromotora ograničavajući

čimbenik i pad napona, uz zahtjeve za korištenje uređaja većih snaga, presjeci kabela mogu postati relativno vrlo veliki, što zahtijeva i povećane investicije.

Stoga se iz gore navedenih razloga prelazi na napajanje električnom energijom napona iznad 1 kV s priključkom na srednjonaponsku (SN) distributivnu mrežu. Tehnologija izrade takvih «jaružala» jest da se napajaju električnom energijom iz TS smještene na plovilu, a TS na plovilu energetskim se kabelom priključuje na SN distributivnu mrežu, što znači na napon do 30 kV.

S obzirom da je u unutarnjoj plovidbi sve veće zanimanje za uporabu plovila s ugrađenim VN električnim postrojenjima, uvjetno rečeno s jaružalima novoga tipa, potrebno je nešto više reći o provedbi mjera za siguran rad i boravak na tim plovilima, što je osnovna značajka ovog razmatranja.

Problemi velike duljine i velikih presjeka napojnih kabela iz izvora na kopnu ne odnose se na plovila koja imaju napajanje iz vlastitih NN agregatskih izvora i neće biti predmet naših daljnjih razmatranja.

5. VN postrojenja na plovilima

5.1 Dosadašnje stanje u Hrvatskoj glede primjene napona iznad 1 kV na plovilima

Na plovilima koja su pod nadzorom HRB-a, VN električna postrojenja bila su u uporabi jedino na plutajućim dokovima u pomorskoj plovidbi. Plutajući dok, kao plovilo koje je smješteno uz uređenu morskobalu, tijekom uporabe osim nadziranih ili očekivanih vertikalnih, nema drugih pomicanja. Stoga se napajanje plutajućeg doka električnom energijom VN, radi relativne blizine izvora s kopna, može riješiti vrlo jednostavno i to: napajanjem sa SN zračnim vodom, SN kabelom ili vlastitim agregatima. Za napajanje s kopna, na doku se koristi TS sa suhim transformatorom i pripadajućim SN i NN postrojenjem. Kod starijih dokova transformator je mogao biti hlađen i uljem.

Kako u unutrašnjoj plovidbi (UPL) u Hrvatskoj dosad nije postojalo niti jedno plovilo koje bi se iz izvanjskog izvora napajalo električnom energijom napona iznad 1 kV, a smještaj jaružala u UPL bitno je drugačiji od smještaja doka na moru, postoje valjani razlozi da se ta problematika iscrpnije razmotri.

Ti razlozi su sljedeći: šljunčare nemaju uređene obale, jaružalo iz proizvodnih razloga može mijenjati mjesto iskopa na jezeru, SN napojni kabel jednim se dijelom polaže pod zemlju, a ostatkom po plovnim dopremačima ili po plutajućim napravama i kao najvažnije, kabel je uvijek pod naponom, bilo da je radni uređaj u pogonu ili izvan pogona (u praznom hodu). Ovim razlozima valja dodati i činjenicu da, koliko nam je poznato, ni strana klasifikacijska društva niti nacionalni standardi ne obrađuju ovu problematiku glede zaštite na radu na plovilima, te nema mogućnosti njihove primjene na plovila u UPL u Hrvatskoj.

Da bi se bolje shvatila složenost ove teme i dobio bolji uvid u primjenu zaštite na radu, usporedit ćemo tri jaružala-grabiličara (od pet postojećih) s priključkom na SN distributivnu mrežu, budući je svako plovilo primjer za sebe.

5.2 Vrste SN postrojenja na plovilima unutarnjih voda koja su danas u uporabi u Hrvatskoj

5.2.1 Prvo jaružalo (tip *Ridinger*) proizvedeno je 2002. g. u Njemačkoj, a nabavila ga je tvrtka *Cesta Mineral* iz Varaždina i ono je izvedeno kako slijedi:

- Konstrukcijski, prema opisanom u 3.1 proizvela ga je tvrtka *Fa. Beyer GmbH* iz Mannheima;
- SN (tip MBL20-200T) i NN (tip NB-UR-2000) rasklopna postrojenja su od tvrtke *EAI GmbH* iz Mannheima, s ostalom pripadajućom električnom opremom;
- suhi trafo sa SN namotajima zalivenim u epoksidnu smolu: napona 10(20)/0,4kV, snage 800 kVA (tip RF600.0) je od tvrtke *Resitra* iz Hengelo u Nizozemskoj i
- SN rudarskoga kabela NTSCGEWÖU 3x25+3x16/3E mm², duljine 620 m, iz 2003. g. proizvodnje *ELKA*, Zagreb. Kabel koji povezuje SN sabirnice u TS na plovilu sa sabirnicama SN vodnoga polja u TS *Šljunčara Hrastovljan* na kopnu, na koje je priključen zračni vod SN distributivne mreže, položen je na sljedeći način:
 - a) Od TS na kopnu uvučen je u zaštitnu cijev i položen u zemlju.
 - b) Nakon izlaska iz zemlje, neposredno uz obalu, oblikuje se u pričuvnu petlju u obliku osmica, za slučaj povećanja broja transporterata.
 - c) Ostatok kabela položen je po konstrukciji transporterata do ulaska u pontonsku uvodnicu do SN sabirnica.

Bitne značajke električnog postrojenja:

- kompletna TS je nova, tj. svi su elementi jednake starosti;
- učinski, naponski preklopivi suhi transformator 10(20)/0,4 kV;
- SN kabel priključen je u vodnom polju TS na kopnu.

5.2.2 Drugo je jaružalo (tip *Ridinger*) 2003. godine u Njemačkoj nabavila tvrtka *Beton Prelog* iz Preloga. Jaružalo je 1961. godine izgrađeno u cijelosti od tvrtke *Ridinger AG Mannheim* i rekonstruirano 1996. godine. Radi neispravne električne opreme nakon dopreme je, a pod nadzorom HRB-a, napravljena u Hrvatskoj nova rekonstrukcija kompletnoga SN i NN postrojenja, te je sadašnje stanje sljedeće:

- Čelična konstrukcija s radnim uređajem (tip SG 45 K) ostaje ista kao što je dopremljena iz Njemačke.
- Učinski transformator (tip DOS 500/10) iz 1969. godine, snage 500 kVA, napona 10(20)/0,4 kV, hlađen uljem, nakon pregleda i provjere električnih veličina i trafo ulja od *Instituta za elektrotehniku - Končar*, ostaje u uporabi.
- SN i NN rasklopna postrojenja zamijenjena su novom opremom tip tvrtke *ABB* i to: SN tip *DeF SAFERING* u SF izvedbi i NN tipne tvorničke izvedbe iste tvrtke.
- SN napojni kabel je rudarski, tip NTSCGEWÖU 3x25+3x16/3E mm², duljine 350 m, proizvodnja 2005. g. *ELKA*, Zagreb. Kabel izravno povezuje SN sabirnice u TS na plovilu sa zračnim vodom SN distributivne mreže putem odcijepnog i linijskog rastavljača, smještenih na stupu zračnog voda, na sljedeći način:
 - a) Od odcijepnog rastavljača na betonskom stupu kabel se spušta i uvlači u zaštitnu cijev i oblikuje u prvu pričuvnu petlju, a nakon toga uvlači u zaštitnu cijev i polaže u zemlju.
 - b) Nakon izlaska iz zemlje formira se u drugu pričuvnu petlju i polaže po konstrukciji transporterata do ulaska u pontonsku uvodnicu.

Bitne značajke električnoga postrojenja:

- učinski transformator 10(20)/0,4 kV (iz 1969 g.) je preklopiv i hlađen uljem;

- mora se osigurati skupljanje ulja u uljnu jamu;
- postojeće SN i NN postrojenje električki je neuporabljivo, pa se zamjenjuje;
- SN kabel priključen je na zračni vod SN distributivne mreže.

5.2.3 Treće jaružalo (tip *Rohr*) kompletno je proizvedeno u 1991. godini u Njemačkoj. Nabavila ga je tvrtka *IGM Šljunčara*, Trstenik, a sastoji se od:

- čelične konstrukcije s radnim uređajem (tip *Rohr*) koju je proizvela tvrtka *Rohr GmbH* iz Mannheima;
- suhoga transformatora sa SN namotajima zalivenim u smolu: napona 20/0,4kV, snage 630 kVA (tip 4GB5864-3HA) od tvrtke *Siemens* iz 2002. godine;
- NN rasklopnoga postrojenja tvorničke izvedbe *Siemens*;
- SN rudarskoga kabela *NTSCGEWÖU* 3x25+3x16/3E mm², duljine 400 m, iz 2005. g. proizvodnje *ELKA*, Zagreb. Kabel povezuje novoizgrađeno SN rasklopno polje u TS na plovilu sa sabirnicama SN vodnoga polja u TS na sljedeći način:
- d) Od TS na kopnu uvučen je u zaštitnu cijev i položen u zemlju.
- e) Nakon izlaska iz zemlje, neposredno uz obalu, oblikuje se u pričuvnu petlju. Na petlji je izvedena spojnica, jer se ukupan kabel sastoji od dva kabela istoga tipa. Nakon toga se polaže po plutajućim napravama do uspona na prvi ploveći transporter.
- f) Ostatak kabela položen je po konstrukciji transporterera do ulaska u pontonsku uvodnicu do SN sabirnica.

Bitne značajke električnoga postrojenja:

- učinski transformator, suhi, samo za 20/0,4 kV bez mogućnosti preklapanja i radi toga neuporabljiv za postojeću 10 kV distributivnu mrežu;
- transformator je imao izravan spoj na VN otcjepe bez sklopnoga SN postrojenja;
- SN kabel priključen je u vodnom polju TS na kopnu i polaže se po plutajućim napravama

Radi boljeg razumijevanja kompleksnosti osposobljavanja za siguran rad jaružala–grabiličara s VN postrojenjima navedena su tri, jer imaju bitne posebnosti:

- Prvo jaružalo (pod 5.2.1) je kompletno novo: sa suhim transformatorom (SN namotaj u epoksidnoj smoli), $U_n = 10(20)/0,4$ kV i SN kabelom položenim po transporterima.
- Drugo (pod 5.2.2) je rabljeno: s uljnim transformatorom, $U_n = 10(20)/0,4$ kV, s kompletno novim SN i NN postrojenjem i SN kabelom položenim po transporterima.
- Treće (pod 5.2.3) je «rabljeno»: sa suhim transformatorom, s novim VN namotajem napona $U_n = 10(20)/0,4$ kV (sa SN namotajem koji nije u aralditnoj smoli), s potpuno novim SN postrojenjem i SN kabelom položenim po vodi (po plutajućim napravama).

Dalja razmatranja u svezi s VN postrojenjem pokazat će koliko je, glede zaštite na radu, potrebno voditi računa o pravilnom izboru SN i NN električne opreme, a osobito o izboru SN napojnoga kabela.

5.3 Sredjonaponski (SN) i niskonaponski (NN) blok ili razdjelnica u trafostanici (TS) na plovilu

Bez obzira je li plovilo nabavljeno u inozemstvu kao novogradnja ili kao rabljeno, je li na njemu obavljena preinaka, jesu

li novogradnja ili preinaka izrađene pod nadzorom ovlaštene ili priznate ustanove, sva oprema u TS, a to znači kompletno SN i NN postrojenje kao i sam transformator, moraju biti u potpunosti usklađeni sa zahtjevima Pravila *HRB*-a za unutarnju plovidbu, *Dio 9. Električna oprema* i *Dio 11. Zaštita na radu i smještaj posade*.

5.4 SN kabel

S obzirom da se plovna naprava napaja električnom energijom iz distributivne mreže naponskih razina 10, 20 ili 35 kV, napojni SN kabel može se polagati:

- pod zemljom,
- po konstrukciji ili
- koristeći plutajuće naprave,

zbog čega se posebna pozornost mora posvetiti: pravilnom odabiru kabela i načinu njegova polaganja.

5.4.1 Odabir tipa i konstrukcijska izvedba

Općenita izvedba kabela za napone iznad 1 kV određena je Pravilima UPL, Dio 9, pogl. S. Međutim, izvedbu SN kabela koji napajaju postrojenje iz distributivne mreže u prvom redu određuje tip kabela koji će se, glede načina polaganja, odabrati. Kako kabel od priključka na kopnu jednim (kopnenim) dijelom ide pod zemlju, a ostalo po konstrukciji ili u vodu/po vodi, onda primjena brodskih kabela prema IEC 60092-354 možda ne bi bila najbolje rješenje. Stoga su za napone od 6 do 30 kV bolje rješenje:

- energetski kabeli, oznake XHP (IEC 60502-2), ili rudarski, HR oznake EpN ili VDE oznake NTSCGEWÖU (HRN N.C5.370), ako se polažu pod zemlju i nakon toga po konstrukciji (na otvorenom) ili unutar konstrukcije;
- podmorski kabel, oznake XHE 49 (IEC 60502-2), ako se polaže po vodi ili u vodu.

Kriteriji za odabir kabela mogu biti sljedeći:

- u koliko će duljini biti na zraku izložen djelovanju sunčevoga zračenja;
- koliko mogu biti učestali zglobni prijelazi kod polaganja po konstrukciji ili po plutajućim napravama, glede dopuštenoga konstrukcijskog polumjera zakrivljenosti;
- koliko mora biti fleksibilan glede namjernih i nenamjernih pomicanja kad se polaže po vodi ili u vodu;
- koliki je utjecaj prisutnosti vlažnosti na njegov rad, ako nije podmorski;
- koliko je otporan na mehanička oštećenja ili na očekivana vlačna naprezanja.

Dakle, tek nakon odabira tipa kabela mogu se s projektantom dogovoriti pojedinosti o njegovoj izvedbi. U svakom slučaju, bez obzira na tip, kabele na otvorenom se radi smanjenja utjecaja sunčevoga zračenja obvezno pojačava grafitnim slojem u izolaciji. Radi svega navedenog, poželjno je nabavu kabela obaviti tek nakon što se odrede parametri smještaja plovila i njegova priključka na kopneni izvor.

5.4.2 Pogonska stanja kabela

Glede primjene zaštite na radu važno je jasno definirati dva pogonska stanja kabela na jaružalu, znakovita za rad cijelog VN električnog postrojenja:

- Kad je radni uređaj u pogonu, TS i SN napojni kabel su pod opterećenjem s nazivnim naponom.

- b. Kad je radni uređaj izvan pogona, TS na NN strani je bez opterećenja, ali su zato SN strana TS i SN kabel pod naponom, u praznom hodu.

Za oba pogonska stanja moraju se primijeniti propisi koji su u skladu s Pravilnikom o zaštiti na radu pri korištenju električne energije VN (NN 9/87), koji je usklađen s EN 50110-1 (12/96), što znači da se za svako pojedino plovilo s VN postrojenjem, i svaki njegov sastavni dio, glede zaštite na radu, mora odrediti uvjete za: siguran rad na plovilu pod naponom, u beznaponskom stanju i u blizini napona te siguran boravak na plovilu (unutar ili izvan radnog vremena), bez obzira na naponsko stanje.

S obzirom da su TS sa SN i NN postrojenjem obično smješteni u zasebne kontejnere i zaštićeni u skladu s relevantnim propisima, problem se svodi na određivanje propisa u svezi s polaganjem SN kabela koji je:

- položen na otvorenom po metalnoj konstrukciji plovila s relativno malim D_s (vidi tablicu u 7.1) ili je položen po plutajućim napravama;
- na otvorenom i stalno izložen djelovanju ultraljubičastim zračenjima;
- zbog izloženosti namjernim i nenamjernim pomicanjima ima mogućnost mehaničkih oštećenja;
- na plovilu stalno pod naponom, bez obzira na pogonsko stanje radnog uređaja.

Kako je sve navedeno od a. do d. izvan uobičajene prakse kakva je u elektroenergetskim postrojenjima na kopnu, potrebno je navesti neke osnovne značajke glede polaganja kabela koji napajaju VN postrojenja na plovilima.

5.4.3 Polaganje kabela

Ako plovilo s VN postrojenjem ima priključak s kopna onda se glede izvedbe, VN napojnu trasu može podijeliti na:

- kopneni dio, koji ide od VN distributivnoga priključka (s dalekovodnoga stupa ili iz trafostanice) do prijelaza na plovilo. Ovaj dio izvodi se prema zahtjevima elektrodistributivnoga poduzeća uz znanje HRB-a.
- vodni dio, koji ide od električki pouzdanog mjesta na kopnu do ulaska u VN postrojenje na plovilu. Ovaj se dio polaže: po površini konstrukcije plovila ili koristeći plutajuće naprave i ako je potrebno unutar konstrukcije. Da li će se kabel do ulaska u VN postrojenje polagati po površini konstrukcije ili po plutajućim napravama, stvar je odabira vlasnika jaružala. Bilo koji od ovih načina izvodi se kako slijedi:

a) po površini konstrukcije:

- na prijelazu iz zemlje u zrak (ili obrnuto) kabel mora biti zaštićen od mehaničkih oštećenja najmanje 0,3 m u zemlji i 2,2 m iznad zemlje;
- na obali je, nakon izlaska iz zemlje a prije prijelaza na konstrukciju plovila, potrebno kabel formirati u dilatcijsku petlju kao nužnu pričuvu u slučaju promjene položaja i povećanja udaljenosti plovila od obale radi eksploatacijskih razloga. Petlju treba posebno zaštititi od mehaničkih oštećenja i sunčevoga zračenja;
- kod prijelaza na plovilo, a nakon toga i na svim mjestima zakrivljenja, kabel se mora formirati tako da polumjer zakrivljenosti ne bude manji od $6xD$;
- na svim mjestima zakrivljenja, mora biti u zaštitnim cijevima ili u zatvorenim perforiranim limenim kanalima, koje moraju biti glatke i čvrste;

- zaštitne cijevi ili kanali moraju biti zaštićeni od: izravno sunčevog zračenja, dodira sa stranim tijelima (šljunak ili pijesak) i moraju omogućiti maksimalno odvođenje topline;
- limeni kanali i poklopci, kao i sve druge mehaničke zaštite kabela, koje su izrađene od električki vodljivih materijala, moraju međusobno biti dobro vodljivo povezani i spojeni na metalnu masu konstrukcije plovila i dalje na zajednički uzemljivač;
- pri proračunu kabela treba voditi računa da površina kabela, na bilo kojem svome dijelu, ne bude izložena izravnom sunčevom zračenju u duljini većoj od 10 m, jer to utječe na odabir presjeka;
- kabel se s: obujmicama, konzolama, nosačima i sl. mora osigurati od mogućih mehaničkih oštećenja, npr. udara šiljatih ili oštih predmeta, trenja i sl.
- na mjestu uspona trase (ili obrnuto), kabel ne smije biti opterećen više od vlastite težine;
- na kabelu položenom po konstrukciji ne smiju se izrađivati kableske spojnice.

b) unutar konstrukcije

- treba biti položen u kanalima, po konzolama ili nosačima i tako pričvršćen da se osigura od bilo kakvih pomicanja,
- a pri prijelazu kroz pregrade mora biti odgovarajuće mehanički zaštićen od površinskih oštećenja;
- u prostorima u unutrašnjosti plovila u kojima su smješteni kabeli, stupanj vlažnosti (voda ili vodeni kondenzat) ne smije biti prisutan u tolikoj mjeri da bude opasnost za normalan rad kabela.

c) koristeći plutajuće naprave:

Polaganje po plutajućim napravama zahtijeva posebnu pozornost, jer su različite mogućnosti njegove izvedbe kao npr.:

- uobičajenim načinom, tj. naizmjenično (sinusoidalno) višekratno uronjen u vodu i položen izvan vode na nosačima plutajućih naprava, vodeći računa da se prijelazi «voda-zrak» moraju tako formirati da polumjer zakrivljenosti ne bude manji od, za tu vrstu kabela, propisanih zahtjeva proizvođača;
- stalno položen izvan vode po plutajućim napravama, sa zglobnim prijelazima na nosačima plutajućih naprava izvan vode, na kojima kabeli moraju biti u zaštitnim perforiranim cijevima, zaštićeni od sunčevoga zračenja i s dobrim odvođenjem topline;
- cijelom dužinom u vodi koristeći poluuronjive naprave.

Pri odabiru jednog od ova tri načina polaganja po plutajućim napravama, valja uzeti u obzir preporuku proizvođača koji je tip kabela prihvatljiv: rudarski / energetske ili podmorski kabel (vidi 5.4.1).

Bez obzira na odabrani tip, kabel pored svih ostalih zahtjeva mora biti i fleksibilan, jer tijekom rada jaružala može biti:

- namjernih pomicanja, nastalih zbog promjene položaja jaružala radi potreba proizvodnje ili
- nenamjernih, kao posljedice vremenskih nepogoda.

Da bi se vjerojatnost nenamjernih pomicanja svela na najmanju moguću mjeru, pribor za učvršćenje na svakoj plutajućoj ili poluuronjivoj napravi (nosači, obujmice, konzole, užad, vez,

sidra itd.) mora biti takav da mehanički osigurava kabel dok je u pogonu (pod naponom) i biti takve izvedbe da ne oštećuje njegovu površinu.

6. Zaštitno uzemljenje

6.1 Uzemljivanje metalnih masa

6.1.1 Općenito

S obzirom da se plovila priključuju na postojeću VN mrežu na kopnu, koja ima instaliranu zaštitu od kratkoga spoja, preopterećenja i zemljospoja, potrebno je radi ispunjenja uvjeta bezopasnosti izjednačiti naponske razine plovila i dotične mreže. Taj uvjet bit će ispunjen ako se metalne mase cjelokupne konstrukcije plovila zajedno s radnim i zaštitnim uzemljenjem VN kabela i cjelokupnog VN postrojenja na plovilu međusobno galvanski povežu na zaštitno uzemljenje distributivne mreže.

6.1.2 Metalne mase

Metalne mase na plovilu i kopnu koje treba međusobno povezati i zaštitno uzemljiti su:

- kompletna metalna konstrukcija plovila sa svim sastavnim dijelovima koji plutaju na vodi
- metalni dijelovi SN i NN postrojenja na plovilu
- zaštitni vodič priključnoga SN kabela od pokositrene bakrene žice ili zaštitni ekran od bakrene žice
- uzemljivač položen u rov paralelno sa SN napojnim kabelom
- uzemljivač distributivne TS na kopnu na koju je priključen VN kabel
- uzemljivač zračnog voda.

Ako je VN priključak izveden iz TS na kopnu onda se u proračunu uzemljivača (otpora uzemljenja) ne uzima u obzir uzemljivač pod f., a ako je sa zračnog voda onda ne pod e.

6.1.3 Izvedba

- Kompletna metalna konstrukcija plovila sa svim sastavnim dijelovima koji plutaju na vodi, kao i sve metalne konstrukcije koje su sastavni dio plovila, moraju biti električki dobro povezane. To se može ostvariti premosnicama od savitljivoga bakrenog užeta ili pokositrenih bakrenih pletenica najmanjega presjeka 16 mm², pri čemu treba obratiti pozornost da ovakvi spojevi ne budu mehanički opterećeni. Ako se radi o većim masama, premosnice mogu biti i 95 mm².
- Metalno kućište trafostanice i sve SN i NN metalne mase npr.:
 - kotao transformatora
 - sekundarni strujni krugovi strujnih i kućišta naponskih transformatora
 - odvodnici prenapona
 - sabirnice neutralnih vodiča
 - metalni plaševi i ekrani SN i NN kabela
 moraju biti spojeni na jedinstvenu metalnu masu plovila ako su ispunjeni uvjeti iz a.

- Zaštitni vodič SN kabela priključuje se na sabirnice neutralnog vodiča u TS na plovilu s jedne strane i sabirnice neutralnog vodiča u TS na kopnu ili uzemljivač zračnoga priključka s druge strane, i poveznica je metalnih masa na vodi i postojećih distributivnih uzemljenja na kopnu.
- Uzemljivač položen u zemljani rov paralelno s VN kabelom je Cu uže presjeka većeg od 50 mm² koje izravno spaja uzemljenja masa na plovilu iz a. s postojećima na kopnu.
- Uzemljivač TS je postojeći distributivni uzemljivač na kopnu.
- Uzemljivač zračnog voda je postojeći uzemljivač stupne trafostanice i otcijepnoga stupa.

6.2 Proračun uzemljenja

Za proračun uzemljivača odnosno ukupnog otpora uzemljenja svih potrebnih uzemljenja R treba koristiti formulu u opsegu koji ovisi o načinu priključka, npr.: zračni vod ili u TS na kopnu

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{PL}} + \frac{1}{R_{TS}} + \frac{1}{R_{STS}} + \frac{1}{R_{OS}}$$

gdje je:

- R_{PL} - otpor rasprostiranja metalnih konstrukcija plovila uključujući sve njegove sastavne dijelove
- R_{TS} - otpor rasprostiranja uzemljivača postojeće distributivne trafostanice na kopnu
- R_{STS} - otpor rasprostiranja uzemljivača postojeće stupne trafostanice
- R_{OS} - otpor rasprostiranja uzemljivača ručki linijskog i odcijepnog rastavljača koji su smješteni na odcijepnom stupu.

Vrijednost ukupnog otpora uzemljenja mora odgovarati vrijednosti koja stvara onu struju zemljospoja na koju je podešena zaštita od zemljospoja od distributera u sredjonaponskoj (SN) mreži.

7. Zaštita na radu na plovilima s VN postrojenjima

U sklopu zaštite na radu razmotrit ćemo mjere zaštite od visokog napona kako bi se rizik od električnih ozljeda sveo na najmanju moguću mjeru. Zaštitne mjere koje treba poduzeti odnose se na rad ili boravak u blizini uređaja koji su pod visokim naponom, a to znači TS i VN napojni kabel.

7.1 Općenito

Na pojedinim radnim mjestima na plovilima s VN rasklopnim postrojenjima potrebno je na poseban način označiti ili upozoriti na minimalne razmake ili udaljenosti, kao jedne od mjera zaštite od električne opasnosti. Vrijednosti navedene u tablici 1 u skladu su sa zahtjevima IEC i EN normi, a odnose se na VN elektroener-

Tablica 1 Minimalni razmaci i udaljenosti

Nazivni napon mreže U_n (kV)	Minimalni radni razmak D_r (mm)	Minimalni zaštitni razmak D_z (mm)	Minimalna sigurnosna udaljenost D_s (mm)
< 1	250	800	1000
10	400	1200	2000
20	500	1500	2000

getska postrojenja na kopnu. Koliko su one primjenjive za VN postrojenja na plovilima bit će više rečeno u točki 8.

U blizini VN kabela za napajanje s kopna položenoga po konstrukciji plovila ako je pod naponom, na vidnome mjestu i na prikladan način moraju biti postavljene

- oznake opasnosti od električnog udara VN i naznake o minimalnom sigurnosnom razmaku ili
- ograde psihološkog učinka, npr.: crveno trepćuće svjetlo vidljivo sa svih strana, plastična traka s natpisom VN kabel pod visokim naponom ili užad sa zastavicama upozorenja.

7.2 Uvjeti za siguran rad i boravak na plovilu

7.2.1 Stručni uvjeti

Kako radovi na električnim postrojenjima VN spadaju u kategoriju poslova s posebnim uvjetima rada, osobe koje nisu stručne niti podučene, ne smiju samostalno obavljati električarski rad, niti boraviti unutar zone približavanja. Jedino i samo ovlaštene ustanove ocjenjuju potrebnu razinu stručnosti osoba za rad u ovakvim uvjetima.

Zdravstveni uvjeti

Ovlaštene ustanove ocjenjuju zdravstvene i psihofizičke sposobnosti za rad u ovakvim uvjetima.

Uvjete okoliša (atmosferska pražnjenja, vjetar, vidljivost, temperatura), vremenske nepogode (kiša, snijeg, led, magla, slana) i uređenje mjesta rada procjenjuje, a osobna zaštitna sredstva i zaštitne naprave osigurava vlasnik/brodar.

7.2.2 Osnovna načela rada i boravka na plovilu

Zbog mogućnosti utjecaja elektromagnetske i elektrostatičke indukcije s pojedinih dijelova postrojenja ili kablenskog voda koji su pod naponom, na ostale vodiče ili vodljive dijelove u njihovoj blizini, potrebno je poduzeti mjere za izvedbu zaštitnog uzemljenja i izjednačenje potencijala u skladu s Pravilima UPL, Dio 9. B.6.

Na plovilu s VN, moraju na prikladnom i vidnom mjestu u transformatorskoj stanici (TS), biti postavljene:

- ažurna jednopolna shema
- uputa s označenih pet pravila sigurnosti
- uputa za pružanje prve pomoći
- oznake opasnosti od električnog udara.

7.2.3 Organizacija radova na plovilima

Radovi na postrojenjima VN temelje se na primjeni zaštitnih mjera od električnog udara ili učinka kratkoga spoja i električnog luka, a dijele se na radove:

- pod naponom,
- u beznaponskom stanju,
- u blizini napona,
- na kablenskom vodu.

7.4.1 Rad pod naponom

Rad pod naponom je svaki rad pri kojem se dijelove postrojenja koji su pod naponom dodiruje prema propisanom postupku.

Dopušten je rad pod naponom na postrojenjima i kabelima kod kojih nazivni napon ne prelazi 50 V, ukoliko se tijekom rada koriste osobna zaštitna sredstva (izolacijska: kacige, cipele, rukavice, rukavi, pregače, motke) i alati (priključno-rastavni pribor sa zaštitom od izravnog dodira).

Na postrojenjima s naponom koji prelazi 50 V dopušten je rad samo u slučaju kad:

- radove obavlja stručna osoba ili podučena, ali pod nadzorom stručne osobe;
- kada se koriste odgovarajuća zaštitna sredstva i alat i
- kada se izvodi prema posebnom pravilniku odobrenom od ovlaštene institucije.

Zabranjuje se rad pod naponom:

- ako na mjestu rada može biti pojava električne iskre može izazvati požar ili eksploziju
- ako se tijekom nevremena praćenog atmosferskim izbijanjima prenaponi mogu prenijeti na mjesto rada
- pri smanjenoj vidljivosti, jakom vjetru i oborinama
- ako nije propisan posebnim pravilnikom ili uputom odobrenom od ovlaštene ustanove.

7.4.2 Rad u beznaponskom stanju

Prije početka rada u beznaponskom stanju, odnosno prije pristupa na mjesto rada obvezno je osigurati mjesto rada primjenom mjera pet pravila sigurnosti koje sadrže:

- potpuno isključenje i odvajanje od napona
- sprječavanje ponovnog uključanja
- utvrđivanje beznaponskoga stanja
- uzemljenje i kratko spajanje na svakoj dionici voda ili postrojenja koji mogu doći pod napon
- ograđivanje mjesta rada od dijelova pod naponom.

Ove zaštitne mjere primjenjuju se ovakvim slijedom kod isključenja, a obrnutim kod uključanja. Posebnom uputom mora biti opisan postupak za provođenje svakog od navedenih pet pravila.

7.4.3 Rad u blizini napona

Zaštita od električne opasnosti tijekom rada u blizini napona postiže se sa:

- zaštitnim izolacijskim napravama (navlake, omotači, prekrivke, ploče, pregrade i slično)
- sigurnosnim udaljenostima (tablica u 6.1) i trajnim nadzorom.

Rad na kablenskom vodu

Uz sve navedeno u 7.4.1, 7.4.2 i 7.4.3 potrebno se pridržavati odredbi ove podtočke, a to znači da:

- kablenski vod treba biti uzemljen i kratko spojen na svim mjestima isključenja i odvajanja od napona
- prije početka radova obvezno je isprazniti zaostali naboj dostatno dugim pražnjenjem
- se onemogućiti pojava opasnih napona na mjestu rada (tzv. inducirani napon)
- se kablenski vod s metalnim plaštom na mjestu rada (ako je potrebno) premesti Cu vodičem ne manjega presjeka od 16 mm²
- kablenski vod bez metalnoga plašta smije biti uzemljen i kratko spojen samo na jednoj strani, a na drugoj samo kratko spojen, da se izbjegne zatvorena petlja između kabela i zemlje
- se iz svih prostora na plovilu kroz koja prolazi ili se nalazi kablenski vod odstrani voda, sadržaj otrovnih ili eksplozijskih plinova i da se očiste i provjetre.

7.5 Organizacija boravka na plovilima

Organizacija boravka na plovilima: stručnih i podučениh osoba (zaposlenika), osoba druge tvrtke, osoba ovlaštenih pre-

ma Zakonu, osoba izvanjskog nadzora i državnih organa kao i nestručnih osoba (posjetitelja), mora biti propisan posebnim internim aktima u skladu sa Zakonom o zaštiti na radu.

8. Zaključak

Kako je navedeno u 5.1 ovoga članka, ni priznati klasifikacijski zavodi u svojim Pravilima, a niti nacionalne norme relevantnih država, ne propisuju mjere o Zaštiti na radu na plovilima koje bi bile primjenjive na naše uvjete.

IEC ili EN norme samo propisuju izvedbe VN elektroenergetskih postrojenja ne navodeći jesu li na kopnu ili moru/vodi. Na njima se temelje domaći propisi iz kojih proizlaze naše norme o Zaštiti na radu, koje također ne naglašavaju: kopno ili more/voda, a pogotovo ne govore o uvjetima za rad i boravak na plovilima koja se, s naponima iznad 1 kV do 30 kV, napajaju s kopna. O tome ne govore ni postojeća Pravila HRB-a za pomorske brodove.

Stoga Pravila HRB-a moraju odrediti norme gradnje, ne manje od onih koje se primjenjuju u distribuciji HEP-a, uključujući posebnosti koje se primjenjuju u brodogradnji.

Glede specifičnosti ovih postrojenja:

- konfiguracije distributivne mreže (uzemljenje nul točke) na koju se plovilo priključuje,
- naponske razine (10 ili 20 kV) na kojoj će raditi postrojenje na plovilu,
- izvedbe priključka (zračna mreža ili priključak u TS na kopnu) i
- načina polaganja VN napojnoga kabela (po konstrukciji plovila, pod vodom ili po plutajućim napravama),

u sklopu općih mjera zaštite na radu, a uzimajući u obzir sve gore navedeno, treba za svako pojedino plovilo odrediti Interne propise za rad i boravak na plovilu s VN postrojenjem, koji moraju biti dostavljeni na uvid *HRB*-u i to:

- a) procjena uvjeta za početak i izvođenje radova
- b) procjena rizika od rada na siguran način
- c) upute kojih se moraju pridržavati sve osobe koje rade ili borave na plovilu
- d) upute za rad: pod naponom, u beznaponskom stanju ili u blizini dijelova pod naponom
- e) upute za boravak u blizini dijelova pod naponom kad je postrojenje u pogonu i izvan pogona, ali pod naponom (u praznom hodu)
- f) upute o djelokrugu ovlaštenih osoba za izdavanje dopuštenja za rad i boravak na plovilu
- g) upute o potrebi boravka na plovilu osoba: izvanjskog nadzora, državnih ustanova i posjetitelja, kao i uvjetima za takav boravak.

Da bi se uspješno provele navedene mjere zaštite na radu, potrebna je povećana skrb svih sudionika, i to:

- vlasnika plovila, pri izradi «Internih propisa» i njihovoj strogoj primjeni u praksi;
- *HRB*-a, za donošenje i ažuriranje Pravila u skladu s međunarodnim normama i njihove dopune s relevantnim podacima iz prakse;
- inspeksijskih službi, za redoviti i stalni nadzor rada plovila u skladu sa Zakonom.

Jedino na taj način smanjit će se opasnosti od rizika ozljeda na plovilima s VN električnim postrojenjima.