Dr Nedeljko Krstajić,*
profesor, dipl. inž.

Dr Vladimir D. Jović,**
profesor, dipl. inž.

Dr Branislav Bilen,**
profesor, dipl. inž.

Dr Zoran Nikolić,**
dipl. inž.

Mr Stanojko Stojković,***
potpukovnik, dipl. inž.

AKTIVNA KATODNA ZAŠTITA ČELIČNIH KONSTRUKCIJA U REČNOJ I MORSKOJ VODI

UDC: 620.197.5:629.12.011.71

Rezime:

Korozija metala i konstrukcija u rečnoj i morskoj vodi jedan je od velikih ekonomskih i tehničkih problema u brodogradnji koji dosta utiče i na borbenu gotovost plovniha objekata. U ovom članku prikazani su osnovi o elektrohemijskoj koroziji, kao i postupci zaštite. Posebno je objašnjen savremeni način zaštite pomoću električne struje, i primeri uspešno realizovani u našoj zemlji koji se odnose na morsku i rečnu vodu. Mada postoje određene specifičnosti u primeni ove zaštite koje se, prvenstveno, ogledaju u potrebnoj gustini struje od $0,3 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ za rečnu i $20 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ za morsku vodu, rezultati pokazuju da je sistem podjednako uspešan u oba slučaja.

Ključne reči: korozija metala, zaštita broda, aktivna katodna zaštita, rečna voda, morska voda, merenje potencijala.

ACTIVE CATHODIC PROTECTION OF STEEL STRUCTURES IN RIVER AND SEA WATER

Summary:

Corrosion of metals and structures in river and sea water is one of great economic and technical problems in shipbuilding; moreover, it affects vessel combat readiness a lot. This paper describes the fundamentals of electrochemical corrosion as well as protection procedures. An up-to-date corrosion protection by means of electrical current is explained in particular as well as some examples of successfully realized cases in our country, relating to both river and sea water. Although there are certain specific moments in the application of this type of protection — mainly concerning the required current density of $0.3 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ for river water and $20 \text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ for sea water — the results show that this system works successfully in both cases.

Key words: metal corrosion, ship protection, active cathodic protection, river water, sea water, potential measuring.

Uvod

Korozija je spontano razaranje metalnih delova broda, a nastaje kao posledica fizičko-hemijskih procesa pri uzajamnom delovanju metala i okoline.

* Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd.

** Institut tehničkih nauka SANU, Beograd.

*** Mornaričkotehnička uprava GŠ VJ, Beograd.

Korozivnim oštećenjima naročito su izloženi metalni delovi trupa broda koji su u stalnom kontaktu sa vodom. Radi kontrole i dobijanja eksploatacionih podataka o oštećenju trupa broda, 1993. godine u Brodogradilištu Beograd merena je debljina limova broda »Titan«, koji je plovio po Crnom moru 23 godine. Merenja su obavljena na 231 mernom mestu. Pro-

centualno smanjenje debljine od oko 10% najveće je kod limova koji se nalaze na granici vode i vazduha, gde je koncentracija kiseonika najveća, a najmanje oštećenje limova usled korozije, i to oko 5,8%, kod limova koji su stalno u vodi. Ispod krme broda, uz kobilicu, dolazi do velikih oštećenja usled višestruke korozije uzrokovane kavitacijom, erozijom i galvanskim dejstvom zbog prisutnosti propelera od bronzе. Na pramcu broda limovi su stradali, uglavnom, od mehaničkih oštećenja.

Osnovi korozije metala

Korozija je proces koji se prirodno odvija na metalima i legurama uronjenim u elektrolit (kao što su rečna i morska voda), a posledica su uspostavljanja električnog potencijala na granici metal-elektrolit. Ukoliko dođe do kontakta između dva različita metala, ili dva dela istog metala sa različitim vrednostima potencijala na granici metal-elektrolit, formiraće se korozioni spreg, odnosno počće da se odigrava proces korozije. U tom slučaju katodnu polureakciju predstavljaće proces redukcije kiseonika do OH^- jona, dok će anodna polureakcija biti rastvaranje metala uz formiranje metalnih jona u rastvoru (korozija):

Krajnji produkt reakcije korozije je hidratizani oksid gvožđa (rđa), koji nastaje reakcijom između OH^- i Fe^{2+} jona:

i daljom oksidacijom gvožđe hidroksida do hidratizanog oksida gvožđa

Najbolji primer stvaranja korozivnog sprega može se šematski prikazati na slučaju propelera i trupa broda (sl. 1). S obzirom na to da je propeler obično od bronzе, ostvariće se korozivni spreg između trupa broda (brodski čelik) i propelera, tako da će doći do korozije trupa u neposrednoj blizini propelera, jer će trup, kao neplemenitiji metal, preuzeti ulogu anode i doći će do njegovog rastvaranja.

Oblici korozivnog oštećenja

Pod dejstvom korozivne sredine (vode) koja provodi električnu struju (elektrolit), pri raznim koncentracijama rastvorenog kiseonika i ugljen-dioksida i na raznim temperaturama odigrava se opšta ravnomerna i neravnomerna korozija na podvodnom delu trupa broda. Ravnomerne naslage proizvoda korozije, koji pokrivaju celokupnu površinu metala, obično ukazuju na prisustvo ovog oblika korozije. Za većinu brodskih čelika brzina korozije u slatkoj vodi je manja od 0,1 mm godišnje, čak i bez prisustva premaza kao pasivnog oblika zaštite od korozije. Međutim, opšta korozija metala se gotovo uvek javlja u kombinaciji sa različitim oblicima korozije lokalnog karaktera koji su znatno opasniji.

Lokalni oblici korozije su:

— tačkasta (pitting) korozija obično je uslovljena prisustvom koncentracionog mikrogalvanskog sprega, kao i prisustvom agresivnih anjona u vodi (hloridni joni). Ovaj vid korozije vrlo je opasan, jer može izazvati pojavu veoma uskih, ali veoma dubokih rupa (0,5 do 1,0 mm godišnje);

— međukristalna korozija selektivno napada po ivici zrna i dovodi do smanjenja jačine i duktilnosti van svih razmera u odnosu na količinu razorenog metala. Osnovni uzrok pojave ove korozije je segregacija nešistoća po

granicama zrna, najčešće kao posledica neadekvatne termičke obrade metala i zavarivanja;

— naponska korozija uglavnom se javlja usled kombinovanog delovanja korozije i naprezanja metala, izazivajući prskanje koje se naziva korozioni zamor, ili prskanje usled naponske korozije;

— erozivna korozija izražena je u tečnostima koje se kreću velikim brzinama, gde postoji mogućnost stvaranja turbulencija na površini metala;

— kavitaciona korozija pojavljuje se kada je tečnost u dodiru sa površinom metala podvrgnuta naglom naizmeničnom menjanju pritiska. Rezultat je nagla, duboka korozija nalik na sunder;

Sl. 1 — Princip elektrohemijske korozije u vodi

— galvanska (kontaktna) korozija uslovljena je kontaktom dva metala različitog elektrohemijskog potencijala (primer na slici 1).

Pokazatelji brzine korozije

Osnovni pokazatelji kojima se izražava brzina korozije su:

— dubina razaranja metala u jedinici vremena (mm godišnje);

— promena mase metala kao posledica korozije, po jedinici površine i vremena ($\text{g/m}^2\text{h}$);

— promena nekog mehaničkog svojstva pod dejstvom agresivne sredine (%);

— vreme koje protekne od početka eksploatacije do pojave određene količine produkata korozije (h).

Uslovna ocena korozivne stabilnosti metala prikazana je u tabeli 1. Kada je reč o brodovima, ova skala, u izvesnom stepenu, može biti primenjena na podvodni deo trupa broda. Ona je neprikladna za ocenu stabilnosti konstrukcija koje su podvrgnute korozivno-mehaničkom razaranju (npr. lopatica propelera), međukristalnoj koroziji i ostalim tipovima lokalne korozije, kao i za delove koji su zaštićeni metalnim katodnim prevlakama.

Tabela 1

Skala korozivne stabilnosti metala

Grupa br.	Grupa stabilnosti	Dubinski pokazatelj (mm/godišnje)
I	Visoka stabilnost	$< 0,001$
II	Povišena stabilnost	$0,001 - 0,01$
III	Stabilni	$0,01 - 0,1$
IV	Snižena stabilnost	$0,1 - 1,0$
V	Mala stabilnost	$1,0 - 10,0$
VI	Nestabilni	$> 10,0$

Faktori koji određuju agresivnost rečne i morske vode

Jedan od osnovnih faktora koji određuje agresivnost rečne vode je kon-

centracija rastvorenog kiseonika, koji diktira katodnu polureakciju — jednačina (1). Uloga rastvorenog kiseonika je dvojaka. Kao agens korozije povećava njenu brzinu, ali utiče i na formiranje zaštitne oksidne prevlake na površini metala, čime smanjuje brzinu korozije. Zbog toga, brzina korozije raste sa povećanjem koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi do 4—5 mg dm⁻³, kada dostiže maksimum, dok pri većim koncentracijama rastvorenog kiseonika preovlađuje zaštitno dejstvo oksidne prevlake i brzina korozije opada. Pored kiseonika, na proces korozije utiče ugljendioksid rastvoren u vodi, čijim se povećanjem koncentracije povećava brzina korozije, jer se potpomaže odslojavanje zaštitnog oksidnog filma. Pored toga, na brzinu korozije utiču temperatura, pH vode, brzina protoka vode, sastav i sadržina soli u vodi, itd.

Morska voda pripada grupi najagresivnijih elektrolita zbog visoke koncentracije natrijumhlorida (NaCl), visokog sadržaja rastvorenog kiseonika i visoke provodljivosti. Pored toga, kao i u slučaju rečne vode, na proces korozije utiču temperatura, pH vode, brzina protoka vode itd.

Postupci zaštite od korozije u rečnoj i morskoj vodi

Upotreba premaza (pasivni oblik zaštite)

Pasivni oblik zaštite od korozije, koji se zasniva na primeni organskih premaza, nije dovoljan (naročito u morskoj vodi) i, po pravilu, kombinuje se sa elektrohemijском zaštitom. Razlog tome je što prelazni otpor premaza eksponencijalno opada sa vremenom eksploatacije, kao što je prikazano u tabeli 2 gde je dat pregled ispitivanja u eksploatacionim uslovima, a odnosi se na morsku vodu.

Tabela 2

Promena vrednosti prelaznog otpora prema-
za sa vremenom eksploatacije

Vreme eksploatacije	Prelazni otpor premaza ($\Omega \text{ m}^2$)
1 mesec	50 — 100
2 meseca	25 — 30
6 meseci	5 — 6
1 godina	2,5 — 3,0
2 godine	1,5 — 2,0
3 — 4 godine	0,5 — 1,0

Elektrohemijсka (katodna) zaštita

Elektrohemijсka zaštita predstavlja relativno nov i veoma perspektivan oblik zaštite metala od korozije. Njenom primenom metali se u potpunosti mogu zaštititi od gotovo svih oblika korozivnih i korozivno-mehaničkih oštećenja.

Princip elektrohemijске zaštite zasniva se na katodnoj (negativnoj) polarizaciji metala, čime se njegov korozivni potencijal pomera ka ravnotežnom potencijalu, što izaziva smanjenje struje korozije, odnosno brzine rastvaranja metala.

Katodna polarizacija može se ostvariti primenom elektronegativnijih metala ili legura koji se dovode u direktan kontakt sa metalom koji se štiti (protektorska zaštita), ili primenom spoljnog izvora jednosmerne struje, uz odgovarajuće anode i referentne elektrode (aktivna katodna zaštita — AKZ).

Osnovni kriterijumi katodne zaštite jesu zaštitna gustina struje katodne polarizacije i zaštitni potencijal metala [1]. Mogućnost neposrednog merenja ovih veličina u uslovima eksploatacije metalnih konstrukcija predstavlja značajnu prednost AKZ u odnosu

na različite oblike pasivne zaštite i projektorsku zaštitu metala od korozije.

Kriterijumi za katodnu zaštitu gvožđa i čelika, zasnovani na »BSI Code of Practice for Cathodic Protection — CP 1021:1973«, prikazani su u tabeli 3. Na potencijalima negativnijim od vrednosti u tabeli 3 čelična konstrukcija je zaštićena od korozije. Pri tome, naravno, postoji i druga granica potencijala koja ne sme biti premašena, a to je prevelika katodna polarizacija čelika koja bi mogla izazvati proces izdvajanja vodonika i dovesti do vodonične krtosti materijala. Ova granica zavisi od kvaliteta premaza i sredine u kojoj se primenjuje sistem AKZ, a može se uslovno postaviti na vrednost od $-1,2\text{ V}$ u odnosu na Cu/CuSO_4 referentnu elektrodu [3].

Sl. 2 — Principijelna šema uređaja AKZ
1 — stanica AKZ, 2 — anoda, 3 — okolano-
dni ekran, 4 — referentna elektroda, 5 —
regulaciona jedinica, 6 — trup broda

Osnovne komponente sistema AKZ su anode, referentne elektrode i izvor jednosmerne struje, odnosno stanica katodne zaštite. Princip rada sistema AKZ, bez obzira na to da li se primenjuje u rečnoj ili morskoj vodi, šematski je prikazan na slici 2.

Potencijal trupa broda se u svakom trenutku meri u odnosu na referentnu elektrodu i pomoću regulacione jedinice, na stanici katodne zaštite, podešava se jednosmerna struja na izlazu iz ispravljača koja se preko anode i morske (rečne) vode usmerava prema trupu broda izazivajući katodnu polarizaciju trupa, tako da se potencijal trupa broda dovede u oblast u kojoj je čelik zaštićen od korozije (npr. $-1,0\text{ V}$ u odnosu na Cu/CuSO_4 referentnu elektrodu). Jedan od važnih elemenata sistema AKZ je i okolanoanodni ekran koji je napravljen od izolacionog materijala propisanih dimenzija i postavljen oko anode. Okolanoanodni ekran sprečava mogućnost prevelike katodne polarizacije čelika u neposrednoj blizini anode, koja bi mogla izazvati proces izdvajanja vodonika i dovesti do vodonične krtosti materijala u okolini anode. Treba naglasiti da anode i referentne elektrode ne smeju biti u kontaktu sa trupom broda, odnosno da se mora obezbediti propisna izolacija njihovog kontakta sa kablovima koji su postavljeni u unutrašnjosti broda.

Tabela 3

Zaštitni potencijal u odnosu na različite referentne elektrode

Referentna elektroda	Aerobna sredina	Anaerobna sredina
Bakar/bakar sulfat	$-0,85\text{ V}$	$-0,95\text{ V}$
Srebro/srebro hlorid/morska voda	$-0,80\text{ V}$	$-0,90\text{ V}$
Srebro/srebro hlorid/kalijum hlorid	$-0,75\text{ V}$	$-0,85\text{ V}$
Cink/morska voda	$0,25\text{ V}$	$0,15\text{ V}$

Potrošnja aktivne prevlake i tipična gustina struje anoda (j_t)

Tip anode	Sredina	j_t (Am^{-2})	Potrošnja aktivne prevlake ($\mu\text{g A}^{-1}\text{h}^{-1}$)
	rečna voda	100	približno 5
Pt — Ti	zagađena voda	300	približno 10 — 15
	morska voda	700	približno 1
MDSA	morska voda	500	< 0,1

Danas se u svetu koriste različite anode u sistemu AKZ, od kojih su tzv. dimenziono stabilne anode na bazi titana [4], razvijene pre petnaestak godina, najčešće u upotrebi zbog mogućnosti dugotrajnog rada bez zamene (10 i više godina).

Kod nas su razvijene i upotrebljavaju se dve vrste titanskih anoda: platinizirane titanske anode (Ti-Pt) za primenu u rečnoj i morskoj vodi i modifikovane titanske anode (MDSA) sa aktivnom prevlakom na bazi smeše oksida plemenitih i neplemenitih metala [5], koje su specijalno razvijene za primenu u morskoj vodi. U tabeli 4 date su osnovne karakteristike ovih anoda, koje se mogu praviti u bilo kom željenom obliku.

Pored veoma male potrošnje aktivne prevlake, prednost MDSA anoda u odnosu na Ti-Pt anode u morskoj vodi ogleda se u činjenici da se na MDSA anodama pri radu sistema AKZ izdvaja hipohlorit (poznati fingicid) sa iskorišćenjem struje od 95%, tako da se u neposrednoj blizini anoda istovremeno sprečava obrastanje čelične konstrukcije algama i školjkama [6, 7]. To znači da bi se pogodnim izborom dimenzija i položaja MDSA anoda, pored katodne zaštite, mogla obezbediti i potpuna zaštita trupa broda od obrastanja u morskoj vodi.

Merenje zaštitnog potencijala

Radi merenja potencijala čelika u rečnoj ili morskoj vodi potrebno je posedovati fiksno postavljene ili prenosne referentne elektrode. Vrlo je važno da se prema sredini u kojoj se vrši korozija odabere i referentna elektroda. U morskoj vodi to je, najčešće, elektroda od cinka, a u rečnoj može biti Ag/AgCl.

Ova metoda koristi se za merenje potencijala brodskog trupa kada zaštita deluje, a može se koristiti i za merenje prirodnog potencijala korozije. Važno je napomenuti da su svi potencijali izmereni u odnosu na referentnu tačku koja se nalazi u beskonačnosti. Zbog toga će smerovi ele-

Sl. 3 — Elektromotorne sile u kolu merenja potencijala trupa broda

1 — visokoomski milivoltmetar, 2 — trup broda, 3 — merna ili referentna elektroda

ktromotornih sila za trup broda, kao i za referentnu elektrodu, biti kao na slici 3. Visokoomski milivoltmetar negativnim krajem treba da bude spojen sa trupom broda, a pozitivnim sa referentnom elektrodom.

Kada je isključena stanica katodne zaštite, obavljena merenja pokazuju potencijal korozije broskog trupa. U skladu sa II Kirhofovom pravilom, primenjenim na slučaj prikazan na slici 3, može se napisati:

$$U_I - U_{Re} + U_{Fe} = 0$$

Ako je, na primer, referentna elektroda od Zn $U_{re} = -0,78$ V vs SVE, i ako je potencijal broskog čelika $U_{fe} \approx 0,44$ V vs SVE, na visokoomskom voltmetru će se očitati:

$$U_i = U_{Re} - U_{Fe} = -0,78 - (-0,44) = -0,34 \text{ V}$$

Postavljanjem ovešanih protektora ili postepenim povećanjem izlaznog napona iz stanice katodne zaštite, veličine na mernom instrumentu će se polako menjati ka pozitivnijim vrednostima. Kada izmereni potencijal dosti-

gne maksimalno dozvoljenu vrednost $U_i = +0,15$ V, potencijal broskog čelika u odnosu na SVE iznosiće:

$$U_{Fe} = U_{Re} - U_i = -0,78 - 0,15 = -0,93 \text{ V}$$

i čelik će biti potpuno zaštićen od korozije.

Primeri uspešne primene sistema AKZ

Prvi sistem AKZ sa MDSA anodama postavljen je 1989. godine na jednom brodu RM u MTRZ »Savo Kovačević« u Tivtu. S obzirom na to da je brod bio na remontu i da sa postojećim protektorima nije bila postignuta zaštita od korozije, postavljen je privremeni sistem AKZ sa ovešanim anodama i nezavisnim ispravljačima za svaku anodu [8]. Sistem je radio oko osam meseci, posle čega je brod prebačen na suvi dok, gde je ustanovljeno da ni površine sa kojih je potpuno skinut premaz nisu korodirale, a da je na delovima broda u neposrednoj blizini anoda u potpunosti sprečeno obrastanje [9].

Sl. 4 — Sistem AKZ sa tri anode na vatrogasnom brodu
A1, A2, A3 — anode, SKZ — stanica katodne zaštite

Početkom 1991. godine sistem AKZ sa istim anodama (MDSA) postavljen je na Velikom i Malom doku u MTRZ »Savo Kovačević« u Tivtu, gde i danas uspešno štiti čeličnu konstrukciju dokova od korozije.

Aprila 1995. godine u luci Bar postavljeni su istovetni sistemi AKZ na nekoliko gatova, gde funkcionišu uz redovnu mesečnu kontrolu potencijala čeličnih šipova.

Zbog intenzivne korozije vatrogasnog broda u reci Savi, 1992. godine na njemu je postavljen sistem AKZ, pri čemu su primenjene Ti-Pt anode koje su bile postavljene na šlepu uz koji je ovaj brod bio privezan 95% vremena, kao što je šematski prikazano na slici 4. Posle godinu dana brod je izvađen na suvi dok u brodogradilištu »Beograd«, gde je ustanovljeno da nema tragova korozije, čak ni na onim delovima broda sa kojih je zbog naknadnog varenja sa unutrašnje strane, sa spoljne površine trupa potpuno otpao premaz. Sistem AKZ je još uvek u funkciji sa istovetnim anodama, pri čemu se ukupna zaštitna struja kreće u rasponu od 0,2—0,4 A, a napon od 8—10 V.

Posebno interesantni rezultati primene istovetnog sistema ostvareni su na plovnoj dizalici u bazenu brodogradilišta »Beograd«. Na ovom objektu postavljene su privremene Ti-Pt anode i vršeno je merenje raspodele potencijala i zaštitne struje po trupu broda. Pokazano je da se sa vrlo malim strujama može postići potpuna zaštita trupa dizalice na svim pozicijama [10].

Zbog znatno manje provodljivosti i agresivnosti rečne vode zaštitna gustina struje je za dva reda veličine manja od zaštitne gustine struje koja se mora primeniti u morskoj vodi. Tako je za sveže premazane čelične površine u morskoj vodi usvojena vrednost zaštitne gustine struje od 20 mA^{m⁻²}, dok je za rečnu vodu određena vrednost od svega 0,3 mA^{m⁻²}. Iz

istog razloga izlazni napon na stanici katodne zaštite u morskoj vodi kreće se u rasponu 2—5 V, dok je u rečnoj vodi minimalna vrednost napona oko 8—12 V. Interesantno je napomenuti da je raspodela zaštitnog potencijala u morskoj vodi nešto ravnomernija, što je posledica znatno veće provodljivosti morske vode.

Na osnovu nedavno sprovedenih ispitivanja funkcionisanja katodne zaštite na objektima RM u MTRZ »Savo Kovačević« [11] napravljena je uporedna analiza troškova postavljanja i održavanja katodne zaštite postojećim Zn protektorima i postavljanja i održavanja sistema AKZ na jednoj manjoj plovnoj jedinici RM. Iako je ova plovna jedinica relativno mala i za nju sistem AKZ nije toliko potreban kao za veće plovne jedinice, pokazano je da samo Zn protektori (bez troškova montaže i dokovanja na svake dve godine) koštaju oko 50 000 dinara za deset godina eksploatacije. S obzirom na to da je cena sistema AKZ za ovu plovnu jedinicu oko 30 000 dinara, pri čemu bi sistem funkcionisao najmanje deset godina bez remonta (nepotrebno je izvlačenje objekta na suvi dok i farbanje svake dve godine), prednost sistema AKZ, čak i u ovom slučaju, očigledna je.

Zaključak

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da su prednosti sistema AKZ u odnosu na protektorsku i pasivnu zaštitu sledeće:

- pouzdana zaštita od korozije koja se može kontrolisati i podešavati;
- smanjeno održavanje brodova;
- dugotrajna zaštita;
- manji troškovi ugradnje i održavanja.

Treba naglasiti da kvalifikaciono i osiguravajuće društvo Lloyd [12]

daje određene beneficije za primenu sistema AKZ na plovnim objektima.

Na kraju, posebno treba naglasiti da je ovaj sistem u potpunosti proiz-

vod domaćeg znanja i tehnologije, kako u projektovanju celokupnog sistema AKZ, tako i u proizvodnji Ti-Pt i MDSA anoda.

Literatura:

- [1] Standard ratne mornarice: Efikasnost katodne zaštite na podvodnim površinama broskog trupa — metoda merenja, SNO 2925.
- [2] British Standard Institution: Code of Practice for Cathodic Protection, CP 1021, 1973.
- [3] Ashworth, V., Booker, C. J. L., Cathodic Protection: Theory and Practice, John Wiley and Sons Limited, Ellis Harwood Ltd, England, 1986.
- [4] Bazzoni, B., Faita, G.: Cathodic protection in natural environments, Journee d'electrochimie, Florence, 1985.
- [5] Jović, V., Krstajić, N., Jović, B.: Zaštita objekata od korozije u morskoj vodi, Plovni putevi brodogradnja i brodarstvo, br. 32/33, Beograd, 1992.
- [6] Krstajić, N., Bilen, B., Jović, V., Jovićić, M., Nikolić, Z.: Aktivna katodna zaštita plovni objekata u morskoj vodi primenom hlorogen sistema, Zbornik radova IX simpozijuma Teorija i praksa brodogradnje, Knjiga 3, 471—479, Dubrovnik, 1990.
- [7] Krstajić, N., Jović, V., Bilen, B., Nikolić, Z.: International Shipbuilding Progress, 39 (1992) 279.
- [8] Institut tehničkih nauka SANU: Izveštaj o puštanju u rad i početnim merenjima aktivne katodne zaštite plovnog objekta VPPR-31, Interni izveštaj, Beograd, 1989.
- [9] Institut tehničkih nauka SANU: Dodatni izveštaj o ispitivanju Hlorogen sistema aktivne katodne zaštite na plovnom objektu VPPR-31, Interni izveštaj, Beograd, 1989.
- [10] Nikolić, Z.: Metod za određivanje efikasnosti sistema aktivne katodne zaštite plovni objekata od korozije, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1995.
- [11] Institut tehničkih nauka SANU: Izveštaj o ispitivanju pojava intenzivne korozije na propelerskim osovina... , Beograd, 1995.
- [12] L'loyd's Registrar: Rules and Regulations for the Classification of Ships, Part 3, London, 1989. Ch 2.5.1.2.