

Dr Vladimir Vujičić,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnička uprava GŠ VJ,
Beograd

ZNAČAJ POZNAVANJA KONTAKTNE KOROZIJE

UDC: 620.193.7:541.133/.134

Rezime:

U radu su prikazane teorijske osnove kontaktne korozije i opisani faktori koji prouzrokuju povećanje i smanjenje njene brzine. Detaljnije su opisani uticaji elektromotorne sile, otpora elektrolita i odnosa veličine anodne i katodne površine. Na kraju su ponuđena neka konstrukciona rešenja, čijom primenom se smanjuje, odnosno potpuno sprečava kontaktna korozija.

Ključne reči: kontaktna korozija, koroziona struja, korozioni spreg, elektromotorna sila.

IMPORTANCE OF HAVING KNOWLEDGE OF CONTACT CORROSION

Summary:

The basics of contact corrosion are given in the article as well as the factors influencing the increase and the decrease of contact corrosion rate. The effects of electromotive force, electrolyte resistance and anode surface to cathode surface ratio are described in detail. Some construction solutions which reduce or prevent contact corrosion are offered as well.

Key words: contact corrosion, corrosion power, corrosion coupling, electromotive force.

Uvod

Za izradu velikog broja konstrukcija, mašina i uređaja koriste se raznorodni materijali i legure. Metali čiji se elektrodni potencijali razlikuju, nakon spajanja, u elektrolitu podležu koroziji koja se razlikuje od korozije nespregnutog metala u istom elektrolitu. Manje plemeniti metal u spregu sa plemenitijim metalom obično korodira većom brzinom nego u odsustvu kontakta. U istim uslovima brzina korozije plemenitijeg metala manja je od brzine korozije istog ali nespregnutog metala.

Pojačana korozija metala pri kontaktu sa drugim metalima naziva se *kontaktna korozija*.

Kontaktna korozija se odvija u atmosferskim uslovima ispod kondenzata vodene pare, u vodi, vlažnoj zemlji i rastvorima brojnih hemijskih jedinjenja. Najčešće se susreće kod limova spojenih zakovicama od drugog metala i kod konstrukcija spojenih zavarivanjem sa elektrodom čiji se potencijal razlikuje od potencijala metala koji se spaja. Pored navedenih dvoelektrodnih sistema u praksi se susreću i višeelektrodni sistemi kao, na primer, kod sistema za hlađenje motora

tečnošću, koji se obično sastoji od elementa od čelika, mesinga, pocinkovanog čelika i legura aluminijuma.

Kontaktna korozija

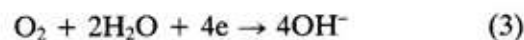
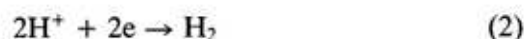
Kontaktna korozija je oblik elektrohemijske korozije. Nastaje kada su u kontaktu najmanje dva metala različitih elektrodnih potencijala. U takvom spregu elektronegativniji metal je anoda, a elektropozitivniji katoda sprega.

Na anodi se odvija proces oksidacije:



gde je Me – simbol za bilo koji metal.

Na katodi se odvija proces redukcije agensa korozije. Najčešći agensi korozije su vodonični joni u kiselim sredinama i kiseonik u ostalim rastvorima. Reakcije redukcije vodoničnog jona i kiseonika prikazuju se na sledeći način:



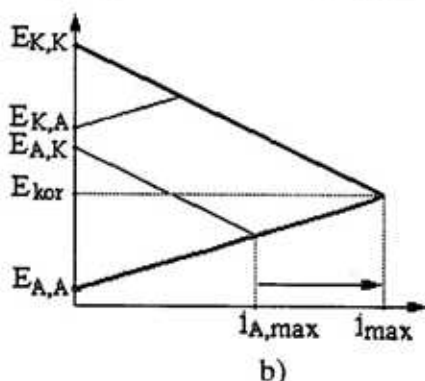
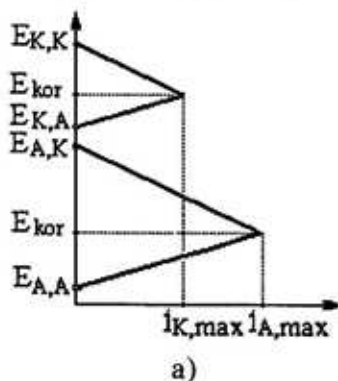
Reakcije (1), (2) i (3) nazivaju se primarne reakcije. Sekundarnim reakcijama dolazi do spajanja jona metala sa kiselinskim ostatkom (A^-) ili sa hidroksilnim jonima, pri čemu nastaje produkt korozije:



Kontaktnu koroziju karakteriše ubrzana korozija manje plemenitog metala [1, 2, 3, 4 i 5]. Ova pojava može se najjednostavnije prikazati pomoću polari-

zacionih krivih u dijagramu potencijal – struja. Za primer su uzeta dva metala različitog potencijala, i to u slučaju kada nisu i kada jesu u kontaktu. Radi raspoznavanja elektropozitivniji metal je označen sa K, a elektronegativniji sa A, zbog jednostavnosti prikazivanja kinetike korozivnog procesa uzeto je da u elektrolitu postoji jedan korozivni agens. S obzirom na to da se radi o metalima različitih potencijala, oni korodiraju i kada nisu u kontaktu, ukoliko im je elektrodni potencijal negativniji od potencijala redukcije agensa korozije. Korozija se odvija zbog pojave mikrokorozivnih spregova koji nastaju kao posledica heterogenosti površine metala. Na površinama mikrokorozivnih spregova odvijaju se reakcije oksidacije i redukcije. Istovremeni rad svih spregova jednak je ukupnoj koroziji. Zbog razlike u potencijalima na dijagramu se uočavaju razlike u vrednostima brzine korozije. Brzine korozije određene su gustinama struje anodnog rastvaranja metala i_K i i_A pri korozivnom potencijalu $E_{A,kor}$ i $E_{K,kor}$ (slika 1a).

Korozivno ponašanje oba metala menja se nakon njihovog kontakta, kada se formira makrokorozivni spreg. Nakon kontakta, površina metala A ponaša se kao anoda, a površina metala K kao katoda makrokorozivnog sprega. Kontakt dovodi do promene vrednosti korozivnih potencijala oba metala, a time i do promene vrednosti korozivne struje. Korozivni potencijal metala A pomen je prema pozitivnijim, a metala K prema negativnijim vrednostima, tako da je uspostavljen novi korozivni potencijal koji je zajednički za oba metala u slučaju elektrolita dobre provodljivosti (slika 1b). U svim drugim slučajevima potencijali oba metala nemaju istu vrednost. Vidi se da je novoformirani korozivni



Sl. 1 – Dijagram potencijal – struja:
a) kada metali A i K nisu u kontaktu; b) kada su metali A i K u kontaktu

potencijal negativniji od potencijala lokalne anode plemenitijeg metala, a pozitivniji od potencijala lokalne katode manje plemenitog metala. To ima za posledicu da manje plemeniti metal figurira kao anoda, a plemenitiji metal kao katoda makrokorozivnog sprega. Zbog toga dolazi do povećanja brzine korozije metala A, koja se manifestuje u povećanju korozivne struje od $i_{A,max}$ na i_{max} . Na površini metala K odvija se, u ovom slučaju, samo redukcija agensa korozije.

Brzina kontaktne korozije

Korozivna struja u korozivnom spregu proporcionalna je radnom naponu (ΔE_r), a obrnuto proporcionalna otporima metalnog (R_m) i elektrolitičkog (R_e) dela strujnog kruga:

$$i_{kor} = \frac{\Delta E}{R} \quad (6)$$

Radni napon sprega (ΔE^1 na slici 2) manji je od njegove elektromotorne sile (ΔE_s), zbog anodne (η_a) i katodne (η_k) polarizacije, jer ove pojave usporavaju elektrodne procese:

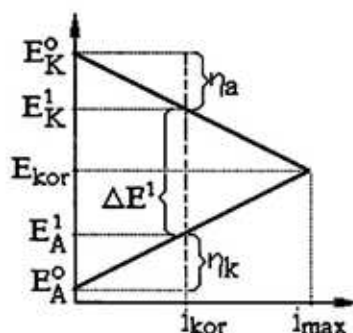
$$i_{kor} = \frac{\Delta E_s - \eta_k - \eta_a}{R_m - R_e} \quad (7)$$

Jednačina (7) pokazuje da na brzinu korozije utiču sledeći faktori:

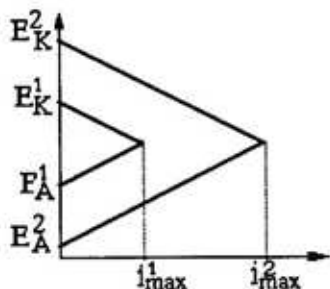
- elektromotorna sila,
- polarizacija anode i katode,
- otpor strujnog kruga.

Uticaj elektromotorne sile

Načelno, može se reći da je brzina kontaktne korozije veća ako je veća elektromotorna sila, odnosno ako je veća razlika potencijala katode i anode (sli-



Sl. 2 – Faktori koji utiču na elektrohemijsku koroziju



Sl. 3 – Uticaj elektromotorne sile na vrednost korozivne struje

ka 3). Ukoliko se u nekoj konstrukciji ili opremi moraju naći u kontaktu razni metali, odnosno legure koje će biti u kontaktu sa elektrolitom, onda se mora odabrati optimalan sastav u korozionom pogledu. Pre svega, treba izbegavati kontakt metala čija je razlika potencijala velika, na primer, kontakt anodnog cinka, aluminijuma i ugljeničnog čelika s katodnim bakrom ili mesingom. Ako je takav kontakt neizbežan, onda treba, kao katodne metale, koristiti one koji imaju visoku prenapetost za izdvajanje vodonika ili redukciju kiseonika, ili za anodne metale one koji su pod istim okolnostima pasivni.

Korisne informacije o elektromotornoj sili pri kontaktnoj koroziji mogu se naći u literaturi u kojoj se nalaze tabele sa naponskim nizom potencijala. Međutim, te podatke ne treba shvatiti dogmatski, a pri njihovoj primeni treba biti obazriv iz više razloga. Pre svega, vrednosti potencijala metala koje su date u

tabelama odnose se samo na određeni elektrolit u kojem su eksperimentalno određeni, kao i radi toga što se pod izvesnim okolnostima naponski redosled nekih metala, može promeniti. Tako reaguju metali koji su skloni pasiviranju, jer u prisustvu jakih oksidanasa postaju plemenitiji od uobičajenog stanja. Takođe, u praksi se veoma retko koriste čisti metali za konstrukcione svrhe, a u korozivnoj sredini se vremenom stvaraju novi uslovi koji mogu prouzrokovati promenu odnosa potencijala konkretnih parova, pa očekivana katoda može postati anoda. Na primer, u naponskom nizu kalaj je plemenitiji od gvožđa, ali u razblaženim rastvorima pri koncentraciji jona kalaja od 10^{-24} , kalaj je anodan prema gvožđu pri koncentraciji Fe^{2+} jona od 10^{-6} mol/l. Kada se želi utvrditi kako će se u nepoznatom elektrolitu ponašati metali, potrebno je izmeriti njihove razlike potencijala u određenom vremenskom periodu pomoću referentne elektrode, najčešće pomoću zasićene kalomelske elektrode. Ukoliko se merenjem dobije razlika potencijala do 0,5 V, metali se mogu naći u kontaktu bez veće opasnosti od pojave korozije u toj korozivnoj sredini.

Orijentacioni izbor metala koji se mogu naći u međusobnom kontaktu bez veće opasnosti od pojave kontaktne korozije može se izvršiti na osnovu podataka datih u tabeli 1. Ona pokazuje da metali iz pojedinih grupa mogu biti u kontaktu. Međutim, kada se metali iz dve grupe nađu u kontaktu, onda metal naredne

Tabela 1

Raspodela metala po grupama

Grupe				
I	II	III	IV	V
magnezijum	aluminijum cink kadmijum	gvožđe ugljenični čelici olovo kalaj	nikal hrom nerđajući čelici	zlato srebro bakar mesing

Red. br.	Metal	U kontaktu sa metalom										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	titan	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2.	hrom	N	-	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3.	nikal	S	S	-	N	N	N	N	N	N	N	N
4.	bakar, mesing i bronza	S	N	N	-	N	N	N	N	N	N	N
5.	nerđajući čelici	N/S	N	N	N/S	-	N	N	N	N	N	N
6.	nelegirani čelici	J	S	S	S	S	-	N	S	S	N	N
7.	kadmijum	J	S	S	S	S	S	-	S	N	N	N
8.	olovo i kalaj	S	S	N	S	S	N	N	-	N	N	N
9.	Al (legure Al), atm. bez Cl ⁻	J	N	S	J	N	S	N	N	-	N	S
	Al (legure Al), atm. sa Cl ⁻	J	S	J	J	S	J	N	S/J	-	N	S
10.	cink (legure Zn)	J	S	J	J	S	J	S	S	S	-	N
11.	magnezijum (legure Mg)	J	J	J	J	J	J	J	J	S	S	-

grupe pojačava koroziju metala iz prethodne grupe. I ovo pravilo ima izuzetak, jer se korozija bakra pojačava pri kontaktu sa pasiviranim niklom ili nerđajućim čelikom.

U atmosferskim uslovima, zbog velike otpornosti elektrolita, kontaktna korozija može da se pojavi na udaljenosti do 5 mm od mesta spajanja metala [2]. Unutar ovog rastojanja kontaktna korozija se povećava sa povećanjem odnosa površine plemenitog i manje plemenitog metala. U tabeli 2 prikazani su metali i mogućnosti kontaktne korozije u atmosferskim uslovima [2]. Stepem korozije podeljen je u tri grupe:

N – nema kontaktne korozije;

S – slaba kontaktna korozija, pa je zaštita kontaktnih mesta potrebna samo u industrijskoj atmosferi;

J – jaka kontaktna korozija, zbog čega se mora izbegavati kontakt ovih metala.

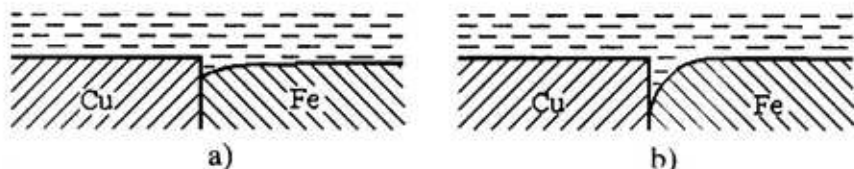
Uticao otpora strujnog kruga

Brzina kontaktne korozije zavisi od provodljivosti metala i provodljivosti

elektrolita, odnosno od otpornosti elektrolitičkog dela strujnog kruga. Otpornost metalnog dela strujnog kruga može se zanemariti, jer su metali u direktnom kontaktu, a njihova provodljivost je daleko veća od provodljivosti elektrolita.

Spreg dva metala daje maksimalnu struju kada otpornost strujnog kruga padne na nulu. Takve se okolnosti mogu ostvariti samo pri koroziji mikro i submikrokorozijskog sprega u elektrolitima visoke provodljivosti. Međutim, u svim drugim slučajevima dobija se neka koroziona struja.

Provodljivost elektrolita ima veliki uticaj i na oblik korozivnog razaranja manje plemenitog metala. Ako elektrolit ima dobru provodljivost, kao morska voda, onda manje plemeniti metal ravnomernije korodira po čitavoj površini, jer strujne linije dosežu veću udaljenost od mesta dodira. Doduše, u takvim elektrolitima veći je gubitak mase manje plemenitog metala u jedinici vremena, ali je korozija ravnomernije raspoređena na anodnom metalu (slika 4a). Zbog toga površina metala uz mesto kontakta sporije korodira u morskoj nego u destilova-



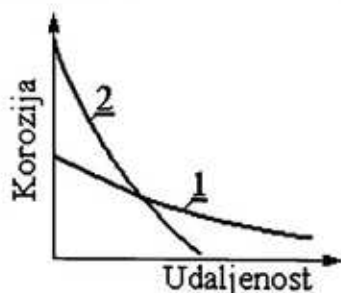
Sl. 4 - Uticaj provodljivosti elektrolita na brzinu kontaktne korozije

noj vodi. Nasuprot tome, u elektrolitima slabe provodljivosti, kao što je destilovana voda, korozija se odvija uz kontrolu otpora elektrolita. Galvanski efekti su skoncentrisani na maloj površini, blizu mesta dodira, jer otpornost elektrolita naglo raste od mesta kontakta dva metala. Zbog male anodne površine nastaje visoka gustina anodne struje, pa manje plemeniti metal najintenzivnije korodira na mestu dodira (slika 4b). Takva korozija odvija se u zemlji male vlažnosti i u destilovanoj vodi.

Uticaj provodljivosti elektrolita na profil razaranja anodnog metala od mesta kontakta prikazan je i na slici 5.

Uticaj odnosa anodne i katodne površine

Odnos veličine anodne i katodne površine ima veliki uticaj na brzinu koro-



Sl. 5 - Uticaj provodljivosti elektrolita na profil razaranja anodnog metala:

- 1 - elektrolit dobre provodljivosti;
2 - elektrolit slabe provodljivosti

zivnog razaranja manje plemenitog metala. Brzina korozije (v) proporcionalna je gustini anodne struje (i_a):

$$v = k \cdot i_a$$

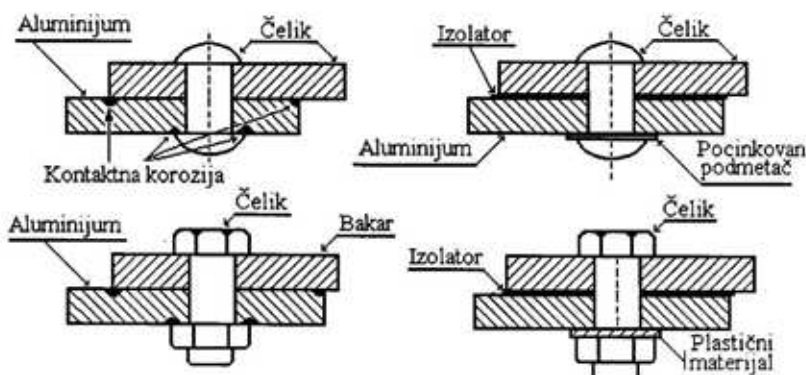
Anodna gustina struje se, uz konstantnu struju korozije (I_{kor}), povećava sa smanjenjem anodne površine (S):

$$v = k \frac{I_{kor}}{S}$$

Zbog toga su opasni spregovi malog odnosa anodne i katodne površine, pogotovo u slučajevima kada se anoda ne pasivira. U takvim slučajevima koroziona struja je skoncentrisana na relativno maloj površini, pa je brzina korozije velika iako je mali prosečan gubitak mase metala. Takva korozija javlja se kod bakarnih limova spojenih čeličnim zakovicama u dobro provodljivim elektrolitima. Obrnuti slučaj, kada postoje velike anodne i male katodne površine, obično nije zabrinjavajući, pa ga treba primenjivati pri izradi svih konstrukcija sa spojevima raznorodnih metala.

Konstrukciona rešenja koja doprinose smanjenju kontaktne korozije

Kontaktna korozija može se sprečiti ako se mesto spajanja izoluje premazom ili nekom pogodnom oblogom od izola-



Sl. 6 – Primeri kontaktne korozije i izolacije kontaktnih mesta

cionog materijala (slika 6). Time se prekida električna veza i sprečava kontaktna korozija.

Premazno sredstvo mora se nanositi na anodne i katodne površine, jer zbog poroznosti i oštećenja premaza dolazi do tačkaste korozije anodnog metala.

Izolacioni materijali mogu biti na bazi organskih i neorganskih jedinjenja. Osnovni zahtev koji se postavlja za njihovu upotrebu jeste da nisu porozni i da ne adsorbuju vlagu. Nažalost, električni izolatori na bazi organskih jedinjenja manje su pouzdani, odnosno ne pružaju sigurnu zaštitu, jer se oštećuju pri kontaktu pod visokim pritiskom. Nasuprot njima, neorganski materijali su pouzdani, ali su obično kruti.

Kao izolator može se primeniti i metalni umetak, pod uslovom da se vrednost njegovog potencijala nalazi između vrednosti elektrodnih potencijala metala koje treba izolovati. Primenuju se u slučajevima kada konstrukcija omogućava jednostavnu zamenu metalnog uložka.

Pri postavljanju umetka od elektroizolacionih materijala između raznorodnih metala, treba voditi računa o njihovoj

veličini i načinu postavljanja. Ukoliko zaptivač „štrči“, onda je zbog sakupljanja i zadržavanja vlage omogućeno odvijanje korozije u zazoru.

U novije vreme spajanje metala obavlja se pomoću lepka za metale tako da lepak deluje i kao električni izolator. Osnovni nedostatak ovakvog načina spajanja jeste što se ne može primeniti za metale koji su u kontaktu sa jako agresivnom sredinom.

Zaključak

Kontaktna korozija nastaje pri spoju metala različitog potencijala, a karakteriše je ubrzana korozija manje plemenitog metala.

Opasnost od kontaktne korozije uvek postoji, jer se konstrukcije, mašine i uređaji izrađuju od raznorodnih metala. Na brzinu razaranja utiču: razlika potencijala, otpor elektrolita i odnos veličine anodnih i katodnih površina.

Kod konstrukcija od raznorodnih metala u spoju treba da budu metali sa što manjom razlikom potencijala. Spajanje metala sa velikom razlikom potencijala može se primeniti jedino za zatvore-

ne sisteme, ukoliko je iz rastvora uklonjen depolarizator, najčešće kiseonik.

Ukoliko se u kontaktu moraju naći metali sa velikom razlikom potencijala, potrebno je primeniti jedan od sledećih postupaka: kontaktna mesta izolovati nemetalnim materijalima; upotrebiti metale koji se u datom elektrolitu polariziraju; kontaktna mesta zaštititi prevlakom metala koji je manje plemenit od kontaktnih metala; ugraditi delove koji se mogu menjati.

Dodir metala različite plemenitosti opasniji je u slabije provodljivom elektrolitu.

Odnos veličine anodne i katodne površine ima veliki uticaj na brzinu razaranja manje plemenitog metala. Korozivno razaranje jače je izraženo ako je anodna površina znatno manja od katod-

ne. Zato je pri izradi konstrukcija sa spojevima od raznorodnih metala, neophodno pridržavati se principa prema kojem površina anodnog metala treba da bude znatno veća od površine katodnog metala. Vijci, zakovice, varovi, itd. treba da budu izrađeni od metala koji je plemenitiji od metala za spajanje.

Literatura:

- [1] Mladenović, S.: Korozija materijala, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1978.
- [2] Sebenji, F., Hakl, L.: Korozija metala, Tehnička knjiga, Beograd, 1980.
- [3] Esih, I., Dugi, Z.: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [4] Mladenović, S.: Dopustivi i nedopustivi kontakti, Zaštita materijala organskim, metalnim i konverzionim prevlakama, 15. savetovanje. Savez inženjera i tehničara za zaštitu materijala Srbije, 1997.
- [5] Mladenović, S., Petrović, M., Rikovski, G.: Korozija i zaštita materijala, IRO Rad, Beograd, 1985.

MOGUĆNOSTI PROJEKTOVANJA TRENAŽERA SASTAVLJENOG OD ELEMENTA PERSONALNOG RAČUNARA

UDC: 355.235.693:681.322

Rezime:

Univerzalnost, pristupačnost, cene hardvera i softvera za personalne računare čine da se komponente personalnih računara koriste za razne konstrukcije. Na taj način moguće je konstruisati trenažer sa moćnom hardverskom i softverskom podrškom na bazi personalnog računara. U ovom članku obavljena je sistematizacija postupka i relevantnih informacija za projektovanje trenažera koji bi se koristio u kabinetskim uslovima, posebnoj prostoriji ili platformi koja simulira borbena vozila (ili plovila). Izloženi pristup projektovanju zasnovan je na mogućnostima realizacije, interesovanju za ovaj problem i rasprostranjenosti primene personalnih računara.

Ključne reči: projektovanje, trenažer, personalni računar.

POSSIBILITIES TO DESIGN A TRAINING DEVICE USING PERSONAL COMPUTER PARTS

Summary:

Universality, accessibility and low price of hardware and software are priorities which determine using PCs as much as possible. According to that, there is a way to construct a training device with powerful configuration. This article systematizes procedures and data for designing a training device. The device can be used in offices, special rooms or platforms which simulate battle vehicles or battleships. The represented preliminary of constructing is based on realization possibilities, interest for this problem and personal computers availability.

Key words: design, training device, personal computer.

Uvod

Obuka posade za rad na savremenim borbenim sistemima složena je i skupa, a u nekim fazama i veoma rizična. Da bi se smanjili troškovi deo obuke mora se izvoditi na simulatorima oružja i raznim pomoćnim sredstvima postavljenim na oruđe i metu, tako da se gađanje simulira a rezultat elektronski beleži. Za složenije oružne sisteme često se koriste simulator-

ski sistemi, tj. trenažeri, gde računari simuliraju ulazne podatke i funkcije oružnih sistema, registruju tok obuke i daju podatke za ocenu stepena osposobljenosti posluge (operatora). Upotreba takvih sistema ne isključuje obuku na realnim borbenim sistemima, ali se posade efikasno pripremaju za rad uz manji utrošak resursa neophodnih za upotrebu borbenog sistema. Trenažeri su vremenom pokazali svoju efikasnost, ali zbog visoke