

B. Bencetić*

KARAKTERISTIKE UZEMLJIVAČA NAFTNIH I PLINSKIH POSTROJENJA U SLUČAJU ZEMLJOSPOJA U SUSTAVU NISKOG NAPONA

UDK 621.316.99:622.276/.279

PRIMLJENO: 15.7.2005.

PRIHVACENO: 4.5.2006.

SAŽETAK: Primarni zadatak sustava uzemljivača naftnih i plinskih postrojenja je sigurnost osoblja i prevencija oštećenja opreme u normalnom radu električnog sustava kao i u slučajevima zemljospoja i atmosferskog pražnjenja. Kako bismo se uvjerali u ispravnost instalacija uzemljenja, potrebno je provoditi njihov nadzor i mjerenje njihovih značajki. Uzemljivači uređaja mogu se nalaziti u sustavu uzemljivača koji uključuje ili koji ne uključuje uzemljivač izvora električne energije (transformatorska stanica, generator). U uvjetima zemljospoja u sustavu niskog napona, među navedena dva slučaja postoji velika razlika glede impedancije uzemljenja i raspodjele potencijala na površini tla i vodičima uzemljivača što je prikazano u ovome članku. Mjerenja uglavnom pokazuju značajke sustava bez uzemljivača izvora.

Ključne riječi: uzemljivač, impedancija uzemljenja, naftno i plinsko postrojenje

UVOD

Uzemljivači su metalni dijelovi ukopani u zemlju zbog ostvarivanja galvanskog spoja određene točke električne mreže i metalnih dijelova postrojenja sa zemljom u svrhu ostvarivanja sljedećeg:

- uzemljenje neutralne točke električnog sustava
- zaštita osoblja i opreme u normalnom radu električnog sustava kao i kod odvođenja struje zemljospoja i atmosferskih ili drugih prenapona
- onemogućavanje gomilanja statičkog elektriciteta.

Sustav uzemljivača (skup međusobno vodljivo spojenih uzemljivača) je sastavni dio sustava za izjednačenje potencijala u svakom naftnom i plinskom postrojenju. Potencijal je definiran kao napon između promatrane točke i daleke zemlje na kojoj je referentna vrijednost 0 V. Neizjednačeni potencijali na metalnim strukturama i zemlji mogu uzrokovati previsoke napone dodira i koraka. Prisutnost eksplozivne atmosfere čini problem daleko složenijim. Smatra se da paljenje eksplozivne atmosfere može izazvati zagrijavanje uzrokovano strujama izjednačenja potencijala koje nastaju pri naponima većim od 1 V ili iskrenje koje nastaje pri naponima većim od 5 V. Neizjednačeni potencijali mogu nastati u normalnom pogonu kao posljedica sustava mreže, pri nastanku kvara u mreži visokog (VN) i niskog (NN) napona, zbog nakupljanja statičkog elektriciteta, zbog povratnih struja elektrificiranih željezničkih pruga, induciranih struja i struja atmosferskih

* Berislav Bencetić, dipl. ing., Naftaplin, Sektor proizvodnje nafte i plina, S. Radića 8, 31540 Donji Miholjac.

pražnjenja. U većini slučajeva nastaju zbog kvarova u NN sustavu 400/230 V. Pod tim se podrazumijeva spoj faze s kućištem uređaja ili razvodnog ormara koje je osim na zaštitni vodič (povezuje kućište s uzemljenom neutralnom točkom izvora električne energije u svrhu djelovanja zaštite) vezano i neposredno na sustav uzemljivača u svrhu izjednačenja potencijala. Dio struje kvara vraća se u izvor kroz sustav uzemljivača te su numeričkim proračunima određene njegove značajke za ovakve slučajeve.

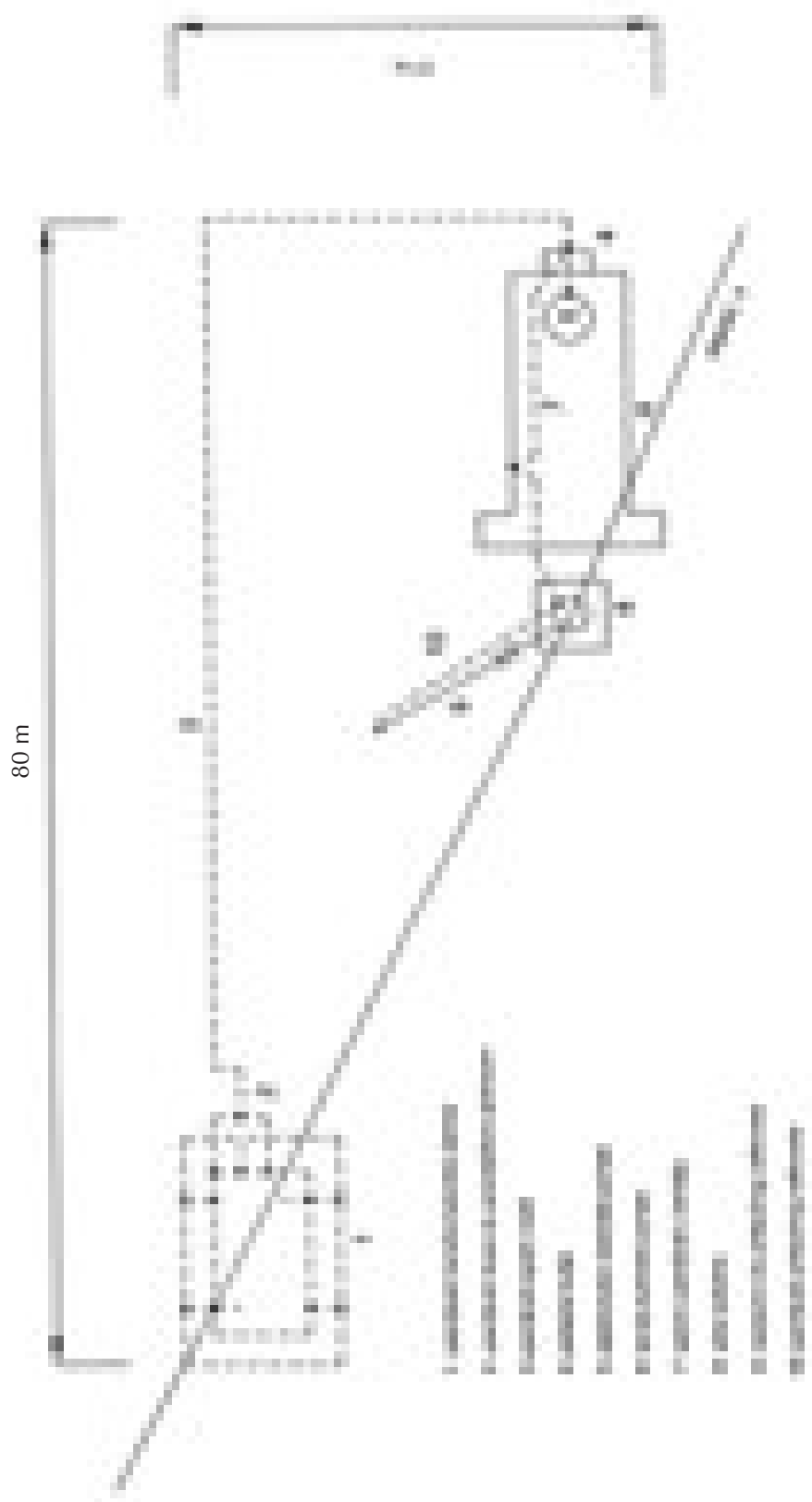
SUSTAVI UZEMLJIVAČA

Sustave uzemljivača u tehnologiji proizvodnje, sabiranja i transporta nafte i plina čine tehnološke

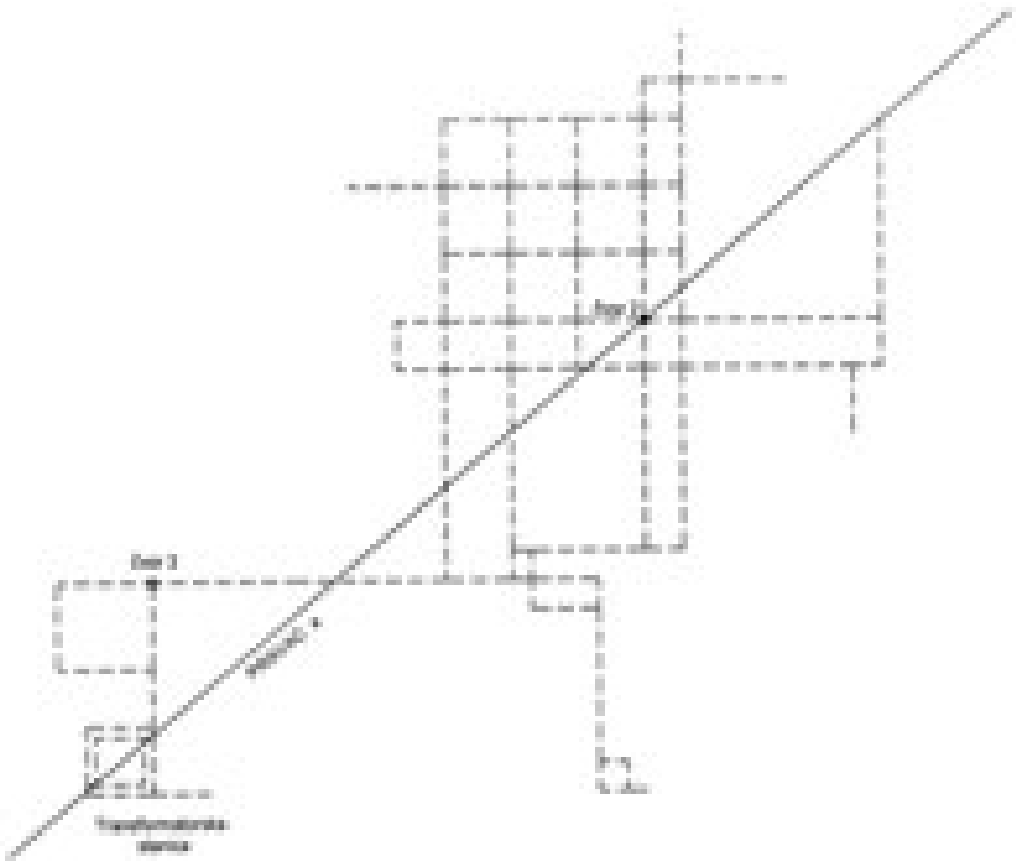
podzemne instalacije, uzemljivači nadzemne opreme te ekrani i armature kabela 10 kV distributivne električne mreže. Tipični su:

- sustav uzemljivača bušotine
- sustav uzemljivača mjerne stanice
- sustav uzemljivača otpremne stanice.

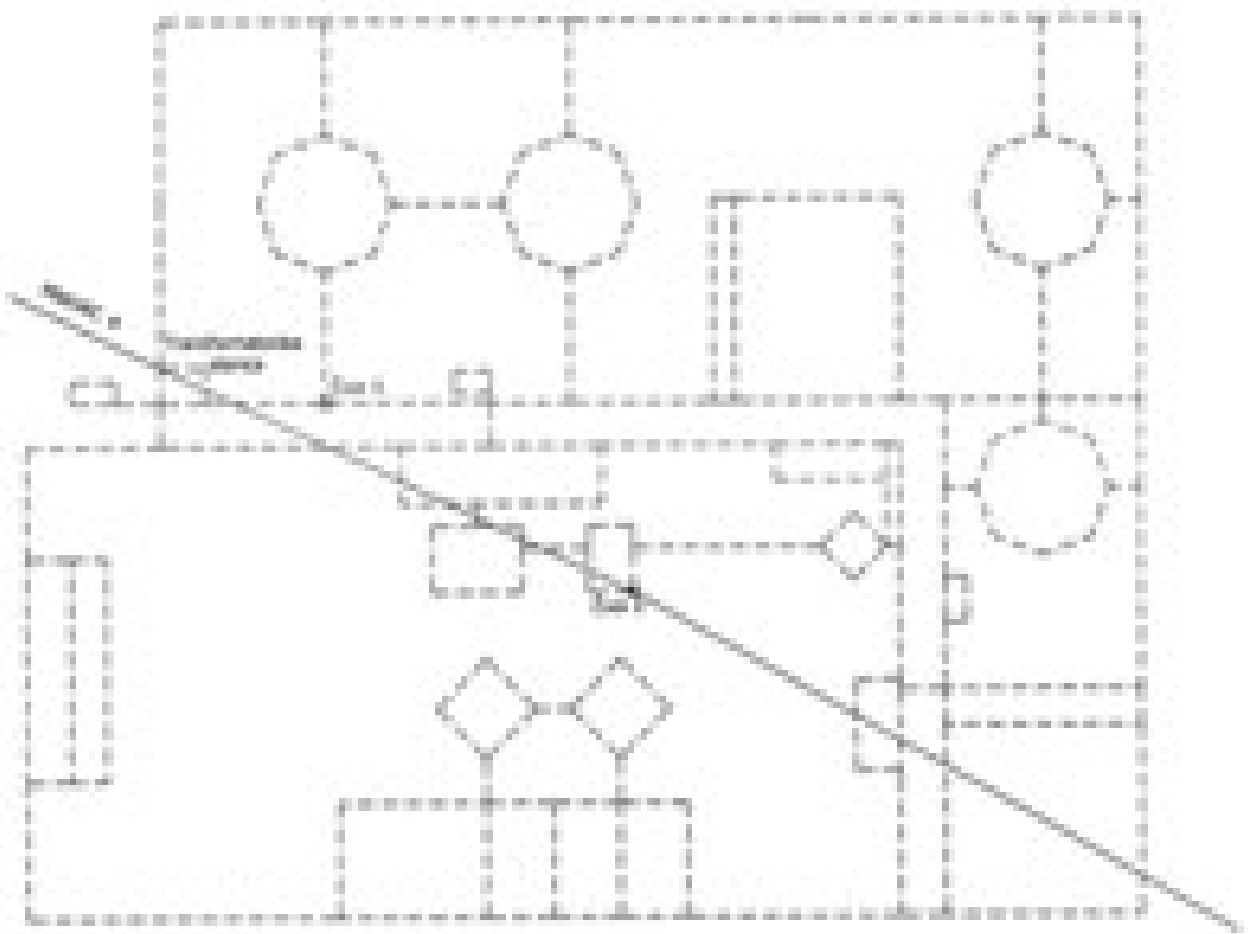
Sustav uzemljivača bušotine sastoji se od uzemljivača opreme na bušotini i zaštitnih čeličnih cijevi bušotine kao što je prikazano na slici 1, a detaljno opisano u L1. Uzemljivači opreme su površinski, horizontalni, napravljeni od pocinčane čelične trake dimenzije 4 x 30 mm, položene u dubini do 0,8 m, a zaštitne cijevi čine vertikalni dugi (duljina može biti i do 3500 m) uzemljivač promjera do 340 mm.



Slika 1. Sustav uzemljivača bušotine
Figure 1. Well grounding system



Slika 2. Glavni uzemljivač mjerne stanice 90 x 80 m
Figure 2. Main grounding of the measuring station 90 x 80 m



Slika 3. Glavni uzemljivač otpremne stanice 250 x 200 m
Figure 3. Main grounding of the delivery station 250 x 200 m

Mjerne stanice su prvi objekti u tehnološkom nizu prikupljanja nafte, plina i vode s bušotina. Na njima se provodi regulacija rada bušotina, separacija plina od kapljevine, mjerenja, obrada nafte i plina kemikalijama i sl. Sustav uzemljivača mjerne stanice čine glavni uzemljivač (povezani uzemljivači opreme na mjernoj stanici), ekrani i armature VN kabela te cjevovodi sa sustavima uzemljivača spojenih bušotina. Glavni uzemljivač sastoji se od pocinčane čelične trake dimenzije 3,5 x 35 mm, položene u dubini 0,8 m (slika 2).

Kapljevina se dalje otprema naftovodom do otpremne stanice. Namjena otpremnih stanica je privremeno skladištenje, dehidracija, kemijska obrada, mjerenje odvojenih faza te daljnja otprema nafte, vode i eventualno plina odvojenog u drugostupanjskoj separaciji. Sustav uzemljivača otpremne stanice čine glavni uzemljivač (povezani uzemljivači opreme na otpremnoj stanici), ekrani i armature VN kabela te cjevovodi sa sustavima uzemljivača spojenih mjernih stanica. Glavni uzemljivač sastoji se od pocinčane čelične trake dimenzije 3,5 x 35 mm, položene u dubini 0,8 m (slika 3).

METODA PRORAČUNA SUSTAVA UZEMLJIVAČA

Proračun sustava uzemljivača napravljen je numerički na elektroničkom računalu. S obzirom da se radi o velikim sustavima, primjenjivao se model s promjenjivim potencijalom. Vodiči uzemljivača su podijeljeni na niz pravocrtnih segmenata kružnog presjeka i konstantne linijske gustoće struje odvođenja. Svaki segment je modeliran Π četveropolom s koncentriranim parametrima: uzdužnom impedancijom i poprečnom admitancijom. Cijeli sustav je modeliran mrežom Π četveropola i proračunat iterativnim postupkom, kombinacijom proračuna parametara četveropola i potencijala čvorova mreže (detaljnije u L2). U obzir su uzeti i površinski učinak i krivulja prvog magnetiziranja materijala od kojeg su izrađeni vodiči, odnosno ovisnost unutarnje uzdužne impedancije vodiča o jakosti uzdužne struje. Pomoću izračunate raspodjele struje odvođenja segmenata uzemljivača određeni su potencijali na površini tla.

REZULTATI PRORAČUNA

Specifični otpor tla jedan je od najvažnijih ulaznih podataka pri proračunima sustava uzemljivača. Procjenjuje se na osnovi izvida i analize strukture tla ili mjerenjem. Ovisi o vrsti, vlažnosti i temperaturi tla te se tijekom godine mijenja i može varirati i do 60%. Specifični otpor tla u ravničarskim predjelima Hrvatske, gdje su smještena ova postrojenja, nema visoke vrijednosti te se za ove proračune primjenjuju jednoslojni modeli tla od 100 i 400 Ω m kako bi se dobio uvid u utjecaj specifičnog otpora tla na značajke sustava.

Sustav uzemljivača može imati dva oblika:

A - sustav koji ne uključuje uzemljivač izvora električne energije

Struja kvara odlazi prema dalekoj zemlji (izvor je negdje daleko). Impedancija uzemljenja definirana je kao omjer potencijala V_z u točki ulaza struje u sustav uzemljivača i struje koja ulazi u sustav.

$$Z_z = \frac{V_z}{I_z} \quad [1]$$

B - sustav koji uključuje uzemljivač izvora električne energije

Struja kvara odlazi prema neutralnoj točki izvora uzemljenoj u istom sustavu. Definicija [1] nije pogodna za ovaj slučaj.

U slučaju A, na slikama 1, 2 i 3 nalaze se umjesto uzemljivača transformatorske stanice uzemljivači razvodnih ormarića.

Mjerenjima značajki sustava uz uporabu posebnog izvora napona mjere se značajke koje vrijede samo za slučaj A.

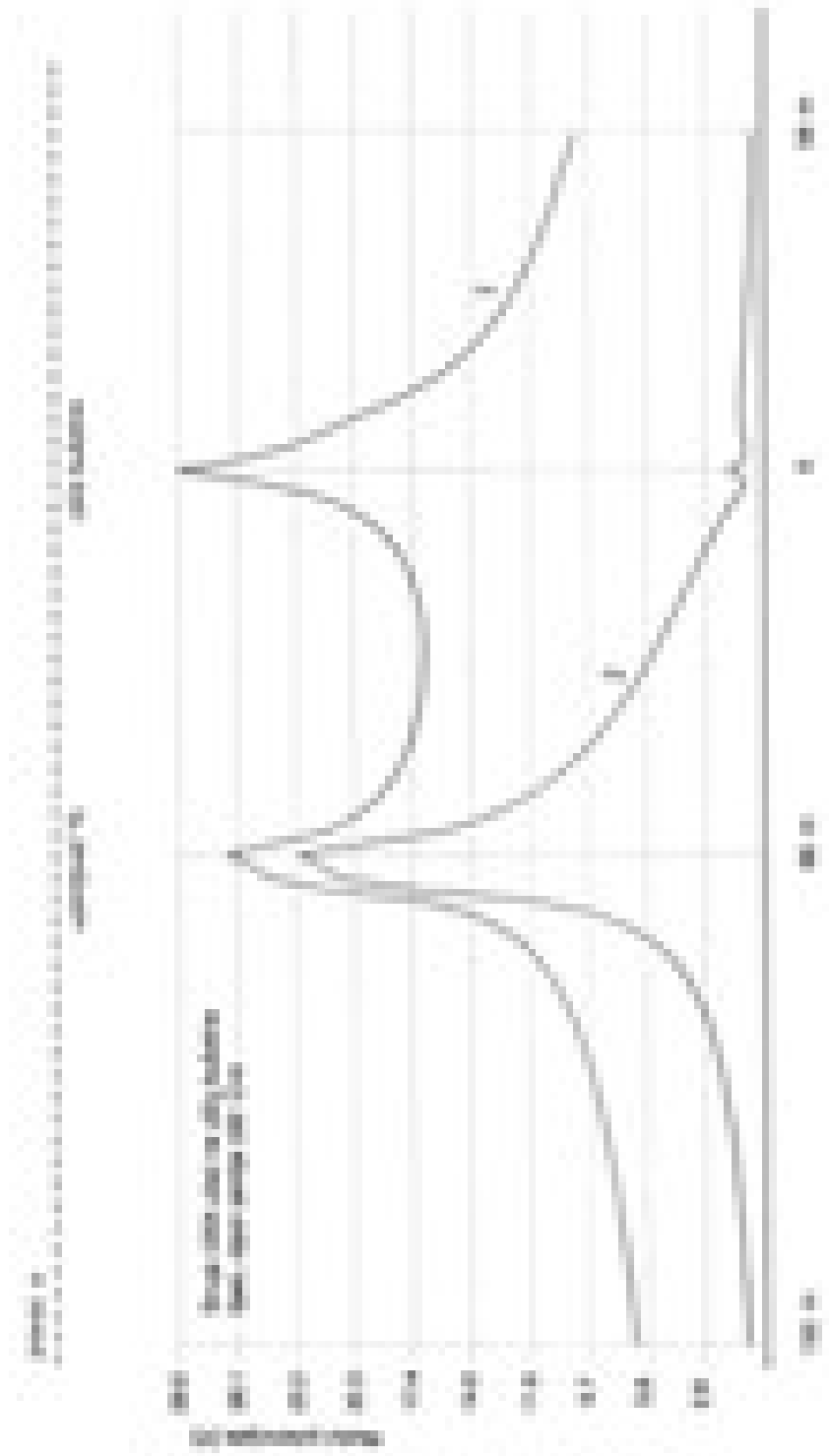
Sustav uzemljivača bušotine

Za napajanje električnih trošila, bušotina može biti opremljena ili NN razvodnim ormarićem (slučaj A) ili transformatorskom stanicom (slučaj B). Pri nastanku kvara će na NN električnom uređaju (npr. na elektromotoru njihalice) poteći struja kvara.

U proračun je uključen samo dio struje (100 A) koji ulazi u sustav uzemljivača na ušću bušotine. Raspodjela potencijala na površini tla uzduž pravca ucrtanog na slici 1 prikazana je na slikama 4 i 5 za specifične otpora tla 100 i 400 Ω m, za slučajeve A i B.

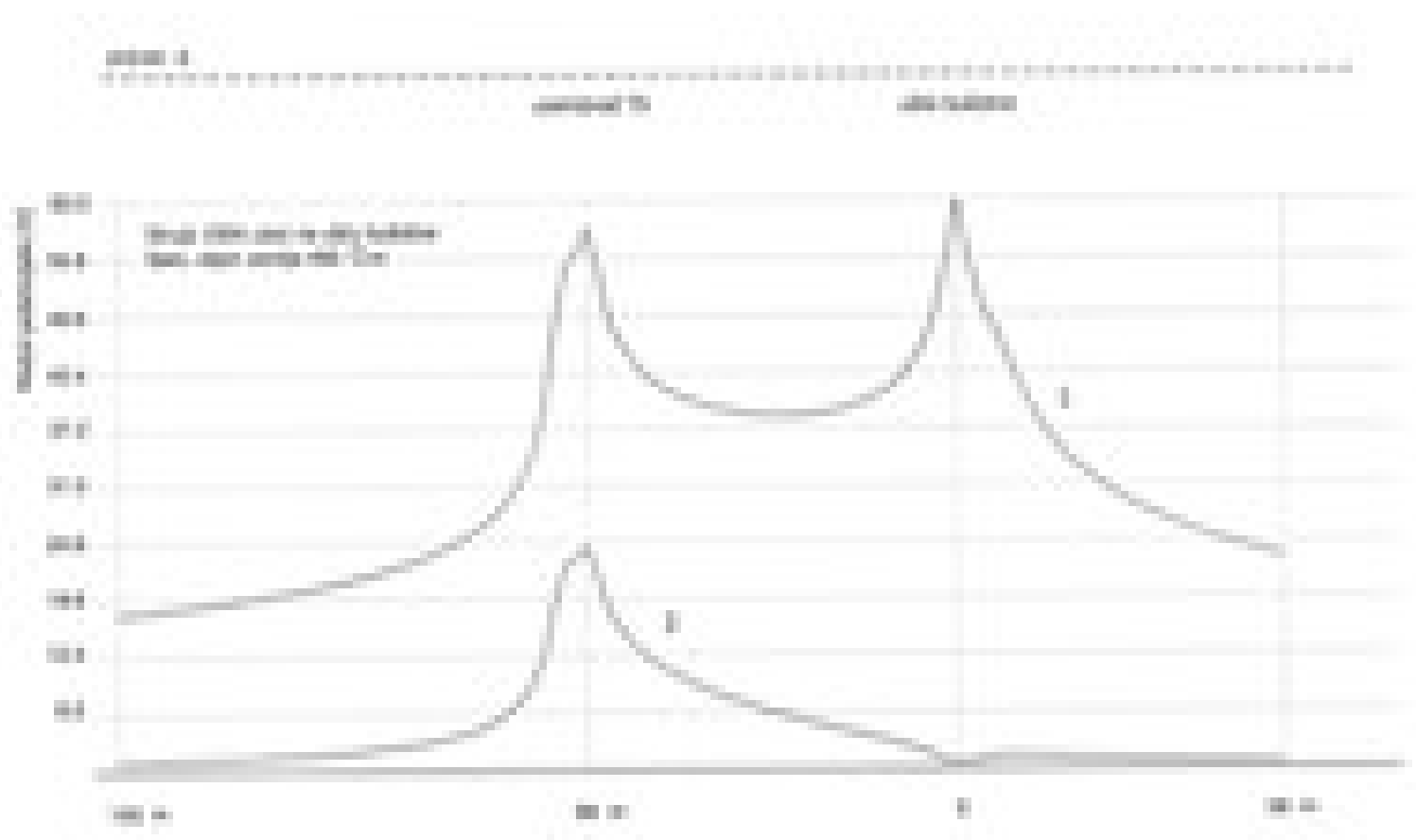
Impedancije i potencijali su kompleksne vrijednosti zbog uzdužne impedancije uzemljivača koji je zbog zaštitnih cijevi vrlo dug. Modul

potencijala uzduž vodiča uzemljivača između ušća bušotine i uzemljivača transformatorske stanice (razvodnog ormarića) prikazan je na slici 6.



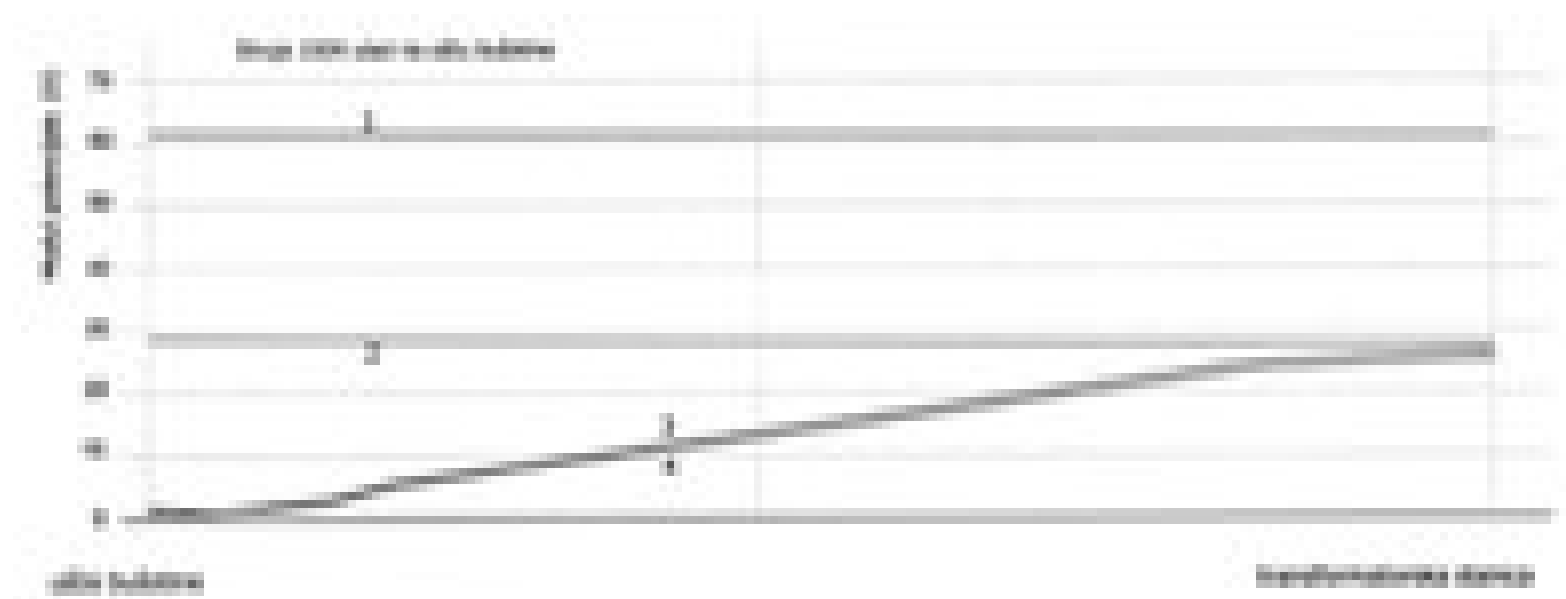
Slika 4. Potencijal na površini tla na pravcu (a) na bušotini
1 – tok struje prema dalekoj zemlji
2 – tok struje prema transformatorskoj stanici

Figure 4. Surface potential in line (a) at the well
1 – current flow towards far earth
2 – current flow towards the transformer facility



Slika 5. Potencijal na površini tla na pravcu (a) na bušotini
 1 – tok struje prema dalekoj zemlji
 2 - tok struje prema transformatorskoj stanici

Figure 5. Surface potential in line (a) at the well
 1 – current flow towards far earth
 2 – current flow towards the transformer facility



Slika 6. Potencijal uzduž trake uzemljivača na bušotini

- 1 – tok struje prema dalekoj zemlji, spec. otpor zemlje $400 \Omega m$
- 2 – tok struje prema dalekoj zemlji, spec. otpor zemlje $100 \Omega m$
- 3 - tok struje prema transformatorskoj stanici, spec. otpor zemlje $400 \Omega m$
- 4 - tok struje prema transformatorskoj stanici, spec. otpor zemlje $100 \Omega m$

Figure 6. The potential along the grounding line at the well

- 1 – current flow towards far earth, specific resistance of the soil $400 \Omega m$
- 2 - current flow towards far earth, specific resistance of the soil $100 \Omega m$
- 3 – current flow towards the transformer facility, specific resistance of the soil $400 \Omega m$
- 4 - current flow towards the transformer facility, specific resistance of the soil $100 \Omega m$

Impedancije uzemljenja prema [1] za slučaj A su:

$$100 \Omega \quad 0,29 e^{j32} \Omega$$

$$400 \Omega \quad 0,62 e^{j30} \Omega$$

Vidljivo je da se raspodjela potencijala na površini tla kao i na vodičima uzemljivača znatno razlikuje u navedenim slučajevima. U slučaju A horizontalni dio sustava uzemljivača (čelična traka) je praktički ekvipotencijalan, a potencijal kao i impedancija uzemljenja rastu s povećanjem specifičnog otpora tla, ali ne izravno proporcionalno zbog utjecaja uzdužne impedancije zaštitnih cijevi. Pad potencijala postoji uzduž zaštitnih cijevi što nije značajno.

U slučaju B potencijal je znatno manji i mijenja se uzduž horizontalnog dijela sustava i na površini tla od mjesta ulaza struje, pa do izvora. Pri tome pada na 0 V i zatim raste, ali sa suprotnim faznim kutom. Drugim riječima potencijali oko mjesta kvara i oko izvora

međusobno su pomaknuti u fazi za 180°. Potencijal praktički ne ovisi o specifičnom otporu tla.

Sustav uzemljivača mjerne stanice

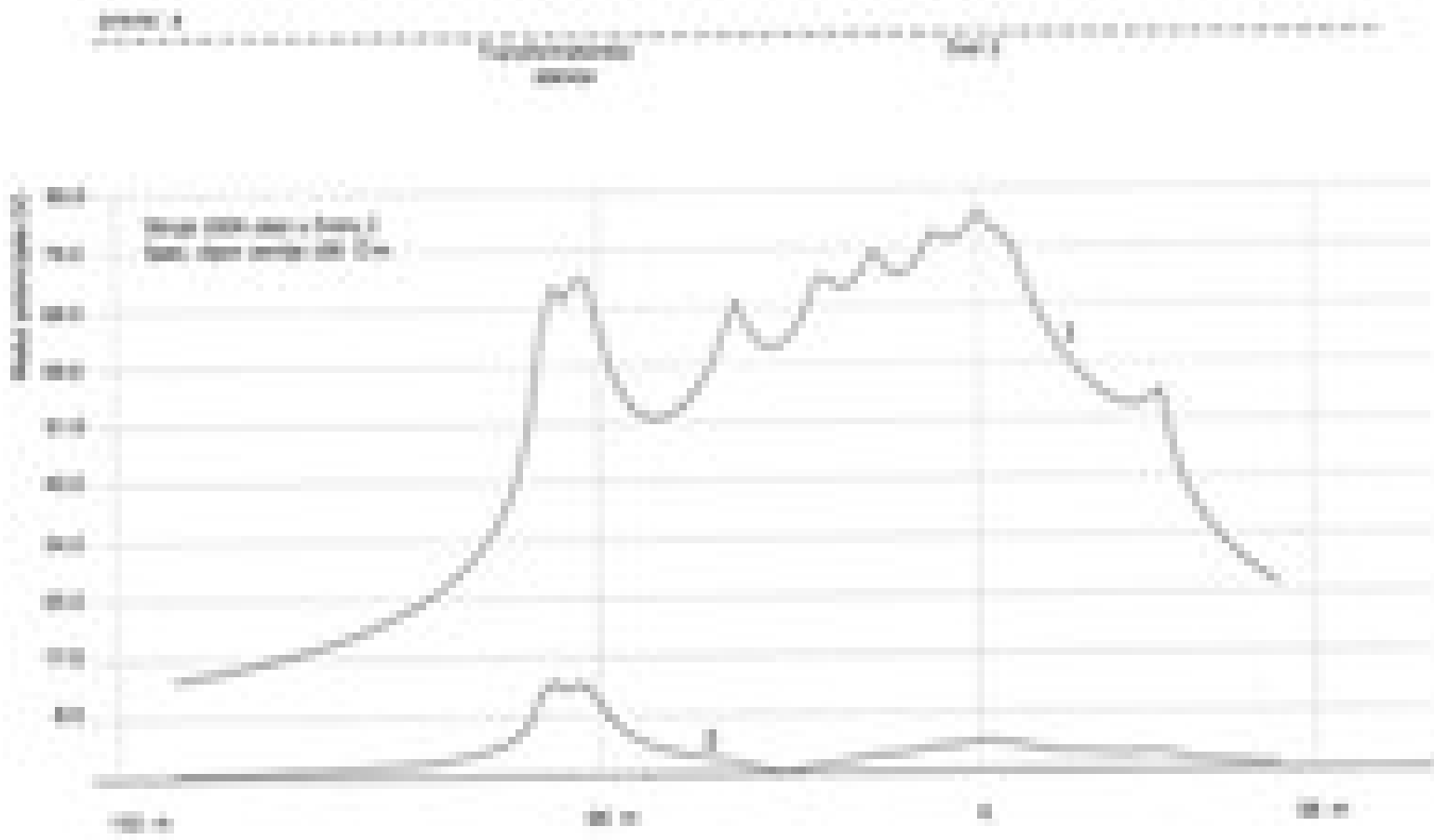
U sustavu uzemljivača mjerne stanice u proračun je uključen samo glavni uzemljivač (slika 2), dimenzija cca 90 x 80 m, i dio struje kvara (100 A) koji ulazi u čvorovima 2 ili 3. Uzimajući u obzir činjenicu da ima mnogo više trošila nego na bušotini, struja kvara može ulaziti gotovo u bilo kojoj točki uzemljivača.

Raspodjela potencijala na površini tla uzduž pravca ucrtanog na slici 2 prikazana je na slici 7 za specifični otpor tla 100 Ωm , za slučajeve A i B. Uzdužna impedancija uzemljivača za slučaj A nije bitna jer uzemljivač nije velik.

Impedancije uzemljenja prema [1] za slučaj A su:

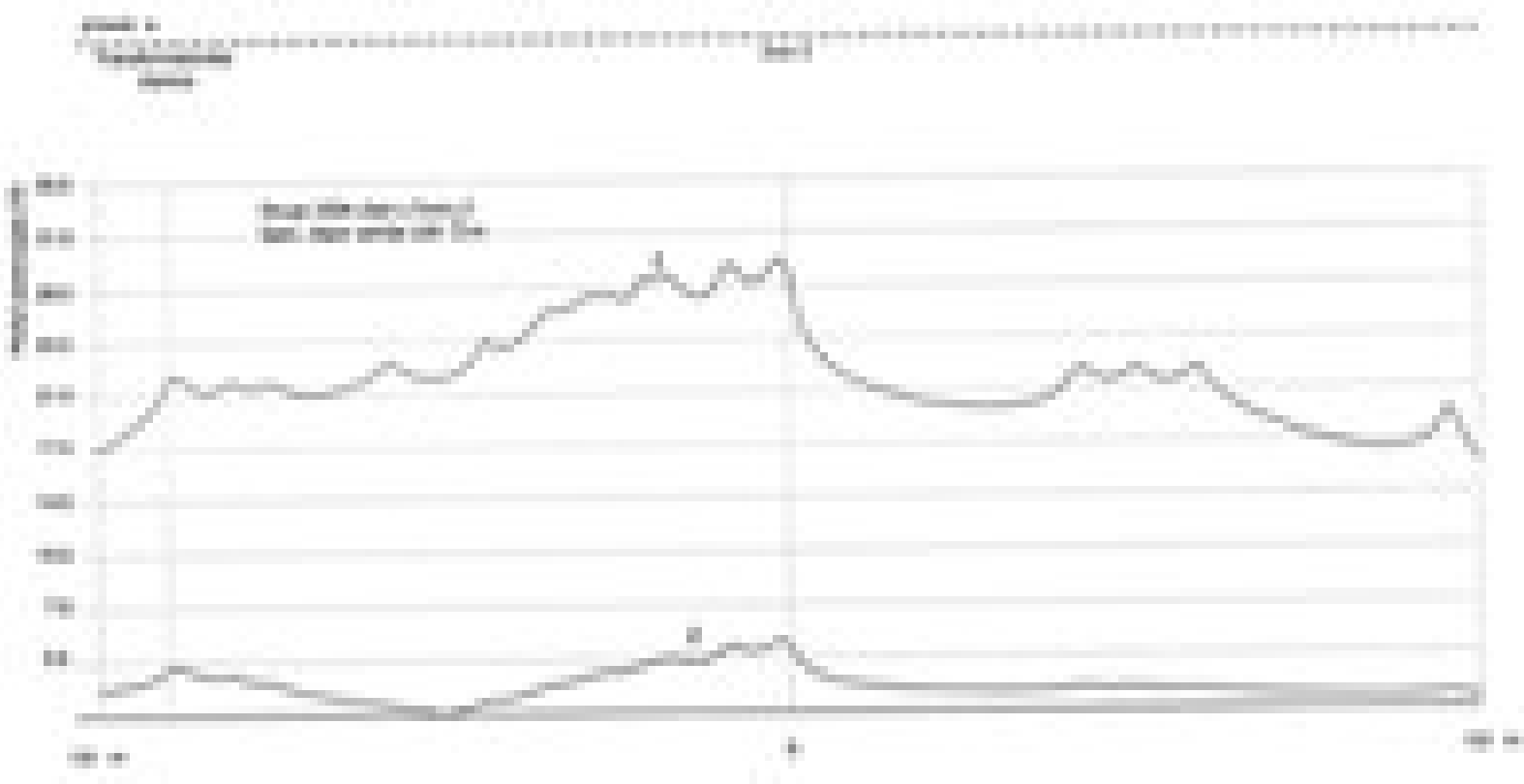
$$100 \Omega \quad 0,85 \Omega$$

$$400 \Omega \quad 3,35 \Omega$$



Slika 7. Potencijal na površini tla na pravcu (a) na mjestnoj stanici
1 – tok struje prema dalekoj zemlji
2 – tok struje prema transformatorskoj stanici

Figure 7. Surface potential in line (a) at the measuring station
1 – current flow towards far earth
2 – current flow towards the transformer facility



Slika 8. Potencijal na površini tla na pravcu (a) na mjernoj stanici
1 – tok struje prema dalekoj zemlji
2 - tok struje prema transformatorskoj stanici

Figure 8. Surface potential in line (a) at the delivery station
1 – current flow towards far earth
2 – current flow towards the transformer facility

Raspodjela potencijala na površini tla kao i na vodičima uzemljivača i ovdje se znatno razlikuje u oba slučaja. U slučaju A uzemljivač je praktički ekvipotencijalan, a potencijal kao i impedancija uzemljenja rastu izravno proporcionalno s povećanjem specifičnog otpora tla.

U slučaju B potencijal je znatno manji i mijenja se uzduž uzemljivača i na površini tla od mjesta ulaza struje pa do izvora. Pada na 0 V i zatim raste, ali sa suprotnim faznim kutom, odnosno potencijali oko mjesta kvara i izvora su međusobno pomaknuti u fazi za 180°. Potencijal praktički ne ovisi o specifičnom otporu tla, ali ovisi o lokaciji kvara. Ako je lokacija kvara bliže izvoru, potencijali su manji. U slučaju kvara u čvoru 2, odnosno 3 potencijal uzemljivača na mjestu kvara je 5 V, odnosno 1 V, a uzemljivača izvora 17 V, odnosno 9 V.

Sustav uzemljivača otpremne stanice

U sustavu uzemljivača otpremne stanice u proračun je uključen samo glavni uzemljivač (slika 3), dimenzija cca 250 x 200 m, i dio struje kvara (100 A) koji ulazi u čvorovima 2 ili 3. Uzimajući u obzir činjenicu da ima mnogo trošila, struja kvara može ulaziti gotovo u bilo kojoj točki uzemljivača.

Raspodjela potencijala na površini tla uzduž pravca ucrtanog na slici 3 prikazana je na slici 8 za specifični otpor tla 100 Ωm, za slučajeve A i B.

Impedancije i potencijali su kompleksne vrijednosti jer se u obzir uzima i uzdužna impedancija uzemljivača, a uzemljivač je većih dimenzija.

Impedancije uzemljenja prema [1] za slučaj A su:

$$100 \text{ } \Omega\text{m} \quad 0,35 e^{j18} \text{ } \Omega$$

$$400 \text{ } \Omega\text{m} \quad 1,03 e^{j17} \text{ } \Omega$$

Raspodjela potencijala na površini tla kao i na vodičima uzemljivača i ovdje se znatno razlikuje u ova dva slučaja. U slučaju A uzemljivač zbog svoje veličine nije ekvipotencijalan, a potencijal i impedancija uzemljenja ne rastu izravno proporcionalno s povećanjem specifičnog otpora tla.

U slučaju B potencijal je znatno manji i mijenja se uzduž uzemljivača i na površini tla od mjesta ulaza struje pa do izvora. I u ovom sustavu pada na 0 V i zatim raste, ali sa suprotnim faznim kutom, odnosno potencijali oko mjesta kvara i oko izvora su međusobno pomaknuti u fazi za 180°. Potencijal praktički ne ovisi o specifičnom otporu tla, ali ovisi o lokaciji kvara. Ako je lokacija kvara bliže izvoru, potencijali su manji. U slučaju kvara u čvoru 2, odnosno 3 potencijal uzemljivača na mjestu kvara je 6,6 V odnosno 1,6 V, a uzemljivača izvora 4 V, odnosno 2 V.

ZAKLJUČAK

Prilikom ispitivanja kvalitete električne zaštite uređaja, mjerenje značajki njihovih uzemljivača uglavnom se provodi kao da se radi o toku struje s uzemljivača prema dalekoj zemlji. Međutim, kada se radi o sustavu uzemljivača koji uključuje i uzemljivač izvora električne energije, izmjereni rezultati na ovaj način nisu korektni za slučaj kvara na NN uređaju. Potencijali na slikama dobiveni su za struju iznosa 100 A. Potencijali za neku drugu vrijednost struje I mogu se približno odrediti da se oni pomnože s faktorom:

$$k = \frac{I}{100} \quad [2]$$

Proračuni su pokazali da:

A – u sustavima koji ne uključuju uzemljivač izvora električne energije, impedancija uzemljenja i potencijali na površini tla i uzemljivaču:

- rastu s porastom vrijednosti specifičnog otpora tla
- za manje sustave postoji izravna proporcionalnost
- kod većih sustava, s promjenom vrijednosti specifičnog otpora tla, mijenja se i aktivna duljina sustava koja sudjeluje u odvođenju struje
- utjecaj lokacije kvara postoji samo kod većih sustava

B – u sustavima koji uključuju uzemljivač izvora električne energije, potencijali na površini tla i uzemljivaču:

- drugačije su raspodjele i znatno manji nego pod A
- praktički nisu ovisni o specifičnom otporu tla
- ovise o lokaciji kvara (udaljenost od neutralne točke izvora).

LITERATURA

Bencetić, B.: Naponi dodira na proizvodnim naftnim bušotinama, *Sigurnost*, 44, 2002., 2, 101-108.

Bencetić, B.: Inducirani potencijali na instalacijama sustava za proizvodnju i prikupljanje nafte u uvjetima zemljospoja, *Elektrotehnika*, 43, 2000., 5-6, 87-93.

Berberović, S.: Uzemljivački sistemi u naftnim i plinskim postrojenjima, *Elektrotehnika*, 32, 1989., 3-4, 185-191.

Grupa autora: *Osnove tehnologije, proizvodnje, sabiranja i transporta nafte i plina (za internu upotrebu)*, Naftaplin, Zagreb, 2000.

Majdandžić, F.: *Uzemljivači i sustavi uzemljenja*, Graphis, Zagreb, 2004.

THE OIL AND GAS PLANTS GROUNDING PERFORMANCES IN THE CASE OF A GROUND FAULT IN LOW-VOLTAGE SYSTEM

SUMMARY: The primary goal of oil and gas plants grounding systems is to ensure the safety of personnel and prevent damages of equipment under normal conditions of power system as well as in cases of ground fault and lightning flash. To ensure that the grounding installations are in satisfactory condition, their inspection as well as their grounding performance measurements must be carried out. Device groundings can be placed in grounding system which includes or does not include the grounding of power source (transformer substation, electric generator). Under ground fault condition in low-voltage system, there is a great difference between mentioned the two cases regarding grounding impedance and potential profile of ground surface and of grounding conductors as is shown in this paper. The measurements usually show the system performances and do not include the grounding of power source.

Key words: *grounding, grounding impedance, oil and gas plant*

*Professional paper
Received: 2005-07-15
Accepted: 2006-05-04*