



EFEKTI HIDROIZOLACIJE TEMELJA NA KARAKTERISTIKE TEMELJNIH UZEMLJIVAČA

ANA ĐORĐEVIĆ*, JELENA KUŠIĆ, ŽELJKO ĐURIŠIĆ
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU

BEOGRAD

SRBIJA

Kratak sadržaj — Temeljni uzemljivači su vrlo popularan način za rešavanje problematike uzemljenja objekata koji imaju ukopane betonske konstrukcione elemente. Ova rešenja su pokazala dobre performanse u praksi, sa jedne strane su jeftina i laka za izvođenje, a sa druge otporna na koroziju i postojana, zbog dobrih i postojećih karakteristika betona u pogledu električne provodnosti. U radu je izvršena eksperimentalna analiza uticaja naknadnog postavljanja hidroizolacije na karakteristike temeljnog uzemljivača objekta. Analize su sprovedene u laboratorijskim uslovima na modelu temeljnog uzemljivača. Postavljena hidroizolacija predstavlja barijeru za odvođenje struja kvara sa temeljnog uzemljivača i bitno utiče na njegove karakteristike. U skladu sa tim, analizirani su efekti postavljanja hidroizolacije na otpor rasprostiranja uzemljivača i raspodelu potencijala na površini tla u okolini objekta.

Ključne reči — temelj — uzemljivač — hidroizolacija

1 UVOD

Elektroenergetski sistem izložen je događajima koji rezultiraju poremećajem normalnog režima rada sistema, a kao posledica javljaju se opasna stanja za pojedine komponente i ukupan sistem. Dobro izvedeno uzemljenje je od presudne važnosti za kompletan sistem zaštite. S obzirom na tu bitnu ulogu, potrebno je posebnu pažnju posvetiti načinu izvođenja uzemljenja[1].

Temeljni uzemljivači ne zahtevaju slobodan prostor, pa su stoga naročito popularni u urbanim uslovima, kada ne postoji prostor za postavljanje namenskih uzemljivača. Izvode se polaganjem uzemljivača u betonski temelj po rubu objekta, lociran pod površinom zemlje, u obliku zatvorene konture (prstena). Delovi u betonu su relativno dobro zaštićeni od korozije, pa je vek trajanja ovog uzemljivača praktično neograničen. Osim u izuzetnim slučajevima, na običnim objektima nisu potrebna dodatna uzemljenja, jer temeljni uzemljivač u većini primera zadovoljava kriterijume

*Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija; anaetf@gmail.com

minimalne otpornosti uzemljenja. Međutim, neretko se dešava da se usled dotrajalosti izolacije na ovakvim objektima ili njenog lošeg izvođenja, naročito na objektima starije gradnje, naknadno postavlja ili ojačava hidroizolacija. Obično se ovaj građevinski zahvat izvodi otkopavanjem temelja i postavljanjem premaza i folija na bazi bitumena ili sličnih električno neprovodnih materijala na bočne zidove temelja objekta.

U radu je ilustrovan postupak eksperimentalnog određivanja karakterističnih veličina uzemljivača. Praktično rešenje uzemljivačkog sistema realizovano je korišćenjem umanjenog modela uzemljivača u elektrolitskoj kadi. Analize su izvedene za dva različita modela uzemljivača. Jedan model predstavlja mrežni uzemljivač objekta od čelične pocinkovane žice, dok je drugi model realizovan ugrađivanjem uzemljivača u sloj betona, u obliku zatvorene konture (prstena). Radi analize uticaja naknadno postavljene izolacije na karakteristike uzemljivača model je obložen ter papirom, hidroizolacijskim materijalom koji štiti uzemljivač od vlage. Predstavljeni su rezultati dobijeni modelovanjem uticaja hidroizolacije na karakteristike uzemljivača. Na osnovu dobijenih rezultata analizirani su efekti naknadnog izvođenja hidroizolacije temelja.

2 MODELOVANJE UZEMLJIVAČA U ELEKTROLITSKOJ KADI

2.1 Opis mernog sistema

Karakteristike realnih uzemljivača određene su merenjima na modelu uzemljivača u dubokoj elektrolitskoj kadi [2]. Model uzemljivača pravi se umanjivanjem svih dimenzija uzemljivača isti broj puta, na primer q puta [3]. Ovaj model se postavlja u središnji deo kade napunjene vodom, na dubinu koja je q puta manja od dubine polaganja stvarnog uzemljivača (slika 1). Zidovi kade su od provodnog materijala i predstavljaju "referentnu zemlju", tj. ekvipotencijalnu površinu na nultom potencijalu. Da bi rezultati dobijeni merenjima na modelu bili dovoljno tačni, udaljenost ivica modela uzemljivača od zidova suda treba da bude nekoliko puta veće od horizontalnih dimenzija uzemljivača.

Raspodela potencijala na zadatom pravcu određuje se na modelu merenjem potencijala tačaka na samoj površini vode pomoću merne sonde. Merna sonda se pomera sa korakom od 1 cm duž nosača od pleksiglasa prema oznakama na nosaču. Merenja je potrebno izvršiti duž celog nosača, od jedne do druge ivice suda. Pri tom je potrebno stalno održavati ranije podešenu vrednost struje. Iz dobijene raspodele potencijala zatim se određuju karakteristične potencijalne razlike za model. Da bi se odredile karakteristike realnog uzemljivača, mora se izvršiti preračunavanje rezultata dobijenih merenjima na modelu.



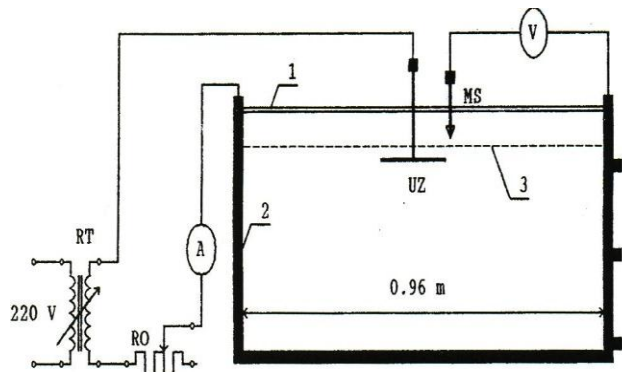
Slika 1. Umanjen model uzemljivača u kadi

2.2 Merna aparatura

Merenje karakteristika modela u elektrolitskoj kadi vrši se pomoću aparature prikazane na slici 2, čija je šema veza prikazana na slici 3. Oznake na šemi su sledeće: 1-nosač od pleksiglasa sa otvorima za mernu sondu, 2-duboka elektrolitska kada, limeni sud debljine 1mm, 3-nivo vode, UZ-model uzemljivača, MS-merna sonda za merenje potencijala, RT-regulacioni transformator, RO-regulacioni otpornik za podešavanje struje.



Slika 2. Uređaj za merenje raspodele potencijala na zadatom pravcu

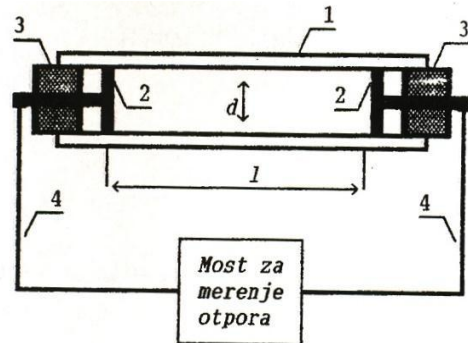


Slika 3. Šema veza uređaja za merenje raspodele potencijala

Merenje specifičnog električnog otpora tla (to je u ovom slučaju otpor vode u kadi) se vrši pomoću konduktometra čelika prikazanog na slici 4. On se sastoji iz staklene cevi koja je sa obe svoje strane zatvorena elektrodama. Staklena cev se puni vodom tako da između elektroda nema vazdušnih mehura. Meri se unutrašnji prečnik cevi d i dužina l vodenog stuba između elektroda u konduktometru. Otpor R vodenog stuba meri se mostom (slika 5).



Slika 4. Uređaj za merenje specifične električne otpornosti vode



Slika 5. Šema veza uređaja za merenje specifične električne otpornosti vode, 1- staklena cev, 2- metalna elektroda, 3- gumeni zaptivač, 4- provodnici za vezivanje na merni most

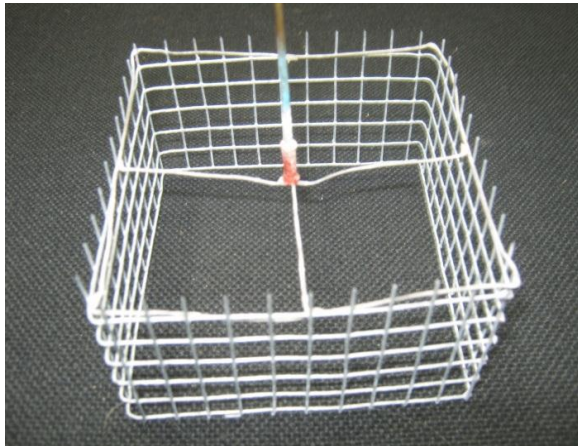
3 EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA UZEMLJIVAČA

Uzemljivač dimenzija 10 m x10 m je položen u tlo specifične električne otpornosti $\rho = 100 \Omega m$, na dubinu od 1m. Dimenzije uzemljivača su 100 puta veće od dimenzija modela. Obzirom na usvojeni odnos dimenzija uzemljivača i modela, model je dimenzija 10 cm x10 cm (slika 6) i postavlja se u središnji deo kade napunjene vodom, na dubinu od 1cm (slika 7).

Najpre je merenjem određen specifični otpor tla ρ_m (to je u ovom slučaju otpor vode u kadi). Pomoću regulacionog transformatora i otpornika podešena je struja koja se odvodi sa modela na vrednost $J_m = 340$ mA. Izmerene karakteristične vrednosti za model prikazane su u tabeli I.

Tabela I Specifični električni otpor vode

$R_{vode} [k\Omega]$	$l [mm]$	$d [mm]$	$\rho_m = \frac{d^2 \pi}{4l} \cdot R_{vode} [\Omega m]$
65	555	13	15.537



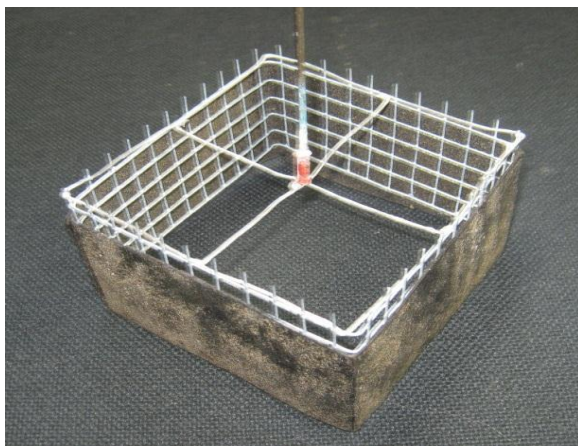
Slika 6. Model uzemljivača



Slika 7. Merenje raspodele potencijala

Specifični otpor tla u koje se ukopava uzemljivač određuje vrednost otpora uzemljenja, a time i visinu potencijala na koji će uzemljivač doći pri kvaru. Vrednost dobijena merenjem je značajno niža od stvarne vrednosti specifičnog otpora tla u koje je položen realni uzemljivač. Zbog različitog specifičnog otpora tla, karakteristike uzemljivača određene preračunavanjem rezultata dobijenih merenjima na modelu se razlikuju od stvarnih.

Zatim se meri potencijal modela uzemljivača U_m na taj način što se mernom sondom dodirne sam model uzemljivača, a na osnovu vrednosti podešene struje odvođenja i izmerenog potencijala izračunava se otpor rasprostiranja modela R_m . Radi analize uticaja hidroizolacije na karakteristike uzemljivača prethodno korišćeni model je obložen ter papirom. Ter papir je hidroizolacijska traka sa uloškom od kartona koji je potpuno impregnisan, obostrano obložen bitumenom i zaštićen kvarcnim peskom. Model uzemljivača prikazan je na slici 8, dok je na slici 9 model postavljen u središnji deo kade napunjene vodom radi merenja raspodele potencijala na zadatom pravcu.



Slika 8. Model uzemljivača sa izolacijom



Slika 9. Merenje raspodele potencijala za uzemljivač sa izolacijom

Izmerene karakteristične veličine za model bez izolacije i sa naknadno postavljenom izolacijom prikazane su u tabeli II.

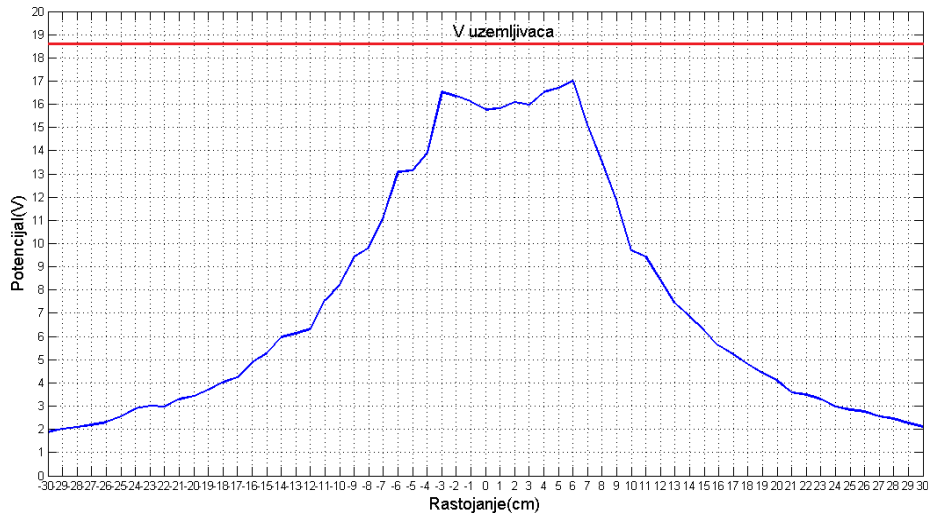
Tabela II Poređenje izmerenih vrednosti za model bez izolacije i sa izolacijom

Merena veličina	$I_m(A)$	$U_m(V)$	$R_m(\Omega)$
Uzemljivač bez izolacije	0.34	18.6	54.71
Uzemljivač sa izolacijom	0.34	36.7	107.94

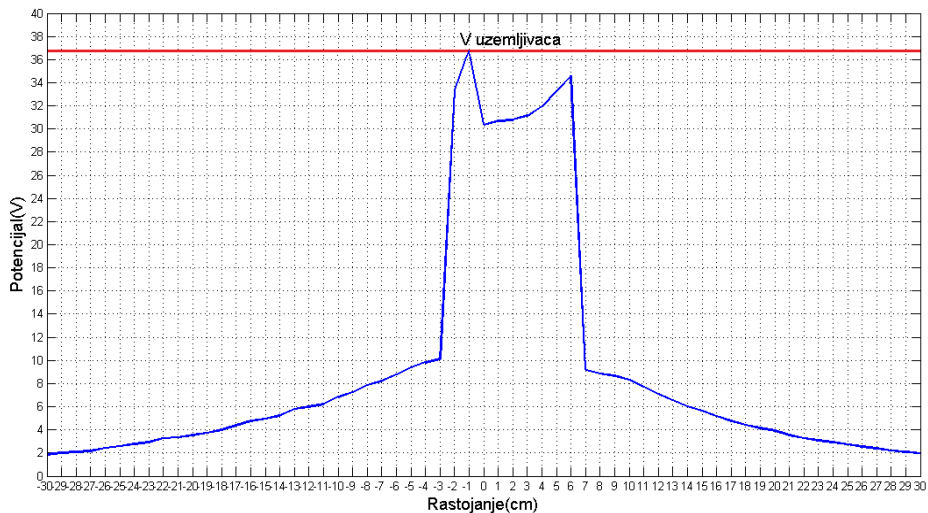
Odnos otpornosti uzemljenja uzemljivača sa izolacijom i otpornosti uzemljenja samog uzemljivača je:

$$\frac{R_{m2}}{R_{m1}} = \frac{107.94\Omega}{54.71\Omega} = 1.97 \quad (1)$$

Struja uzemljivača uzrokuje prostornu raspodelu potencijala duž otpora uzemljenja. Na taj način dovodi uzemljivač i zemlju u njegovoj neposrednoj blizini na potencijal koji, udaljavajući se u područje gde se gubi uticaj uzemljivača, pada [4]. Raspodela potencijala na površini tla za uzemljivač bez izolacije i sa naknadno postavljenom izolacijom prikazana je krivama na dijagramima (slika 10 i slika 11):



Slika 10. Raspodela potencijala za uzemljivač



Slika 11. Raspodela potencijala za uzemljivač sa naknadno postavljenom izolacijom

Prilikom odvođenja struje sa uzemljivača u okolno zemljište, uspostavljaju se određene razlike potencijala u tačkama na površini tla. Potencijalna razlika koraka je određena kao najveća razlika potencijala dve tačke (a,b) na tlu postrojenja, međusobno udaljene 1m:

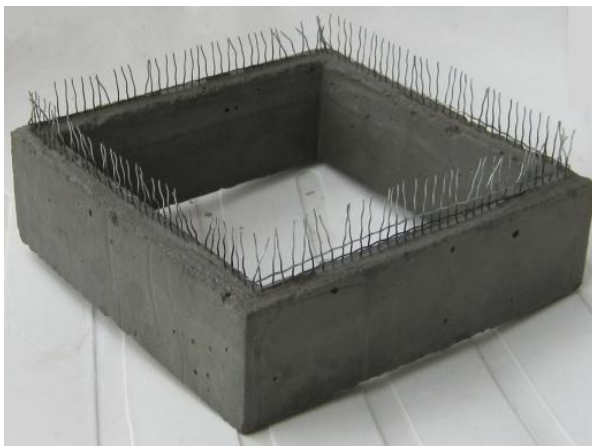
$$E_k = V_{tla}^a - V_{tla}^b \quad (2)$$

Potencijalna razlika koraka zavisi isključivo od raspodele potencijala na površini tla. Ova električna veličina bitno utiče na dimenzionisanje uzemljivača.

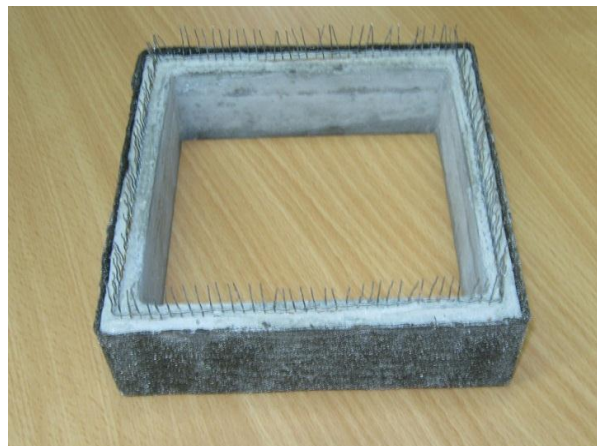
Potencijalna razlika koraka za model uzemljivača je $E_k = 2.61V$, dok je potencijalna razlika koraka uzemljivača sa izolacijom $E_k = 36.7V$.

Potencijalna razlika dodira je najveća potencijalna razlika između uzemljenih uređaja (tačke dodira) i svih stajnih tačaka koje su udaljene 1m od izloženih elektroprovodnih delova galvanski povezanih sa uzemljivačem, a koja može da se premosti dodirom. Potencijalna razlika dodira zavisi ne samo od raspodele potencijala na površini tla nad uzemljivačem, već i od razmeštaja opreme i drugih delova koji se uzemljuju u postrojenju u odnosu na uzemljivač. Potencijalna razlika dodira je po pravilu veća i za čovečiji organizam opasnija od potencijalne razlike koraka. Najveća potencijalna razlika bi se premostila dodirom metalnih delova na samom rubu objekta.

Drugi model je realizovan ugrađivanjem uzemljivača u betonski temelj u obliku zatvorene konture (slika 12). Stvarni uzemljivač je dimenzija $15m \cdot 15m$ i položen je u tlo specifične električne otpornosti $\rho = 100\Omega m$, na dubinu od 1m. Debljina betonskog temelja je 1m. Dimenzije uzemljivača su kao i u prethodnom slučaju 100 puta veće od dimenzija modela, pa je model dimenzija $15cm \cdot 15cm$ i postavlja se u središnji deo kade napunjene vodom na dubinu od $1cm$, pri čemu je debljina betonskog temelja $1cm$ (slika 13).



Slika 12. Model uzemljivača u betonu



Slika 13. Model uzemljivača u betonu sa izolacijom

Izmerene karakteristične veličine za model bez izolacije i sa naknadno postavljenom izolacijom prikazane su u tabeli III.

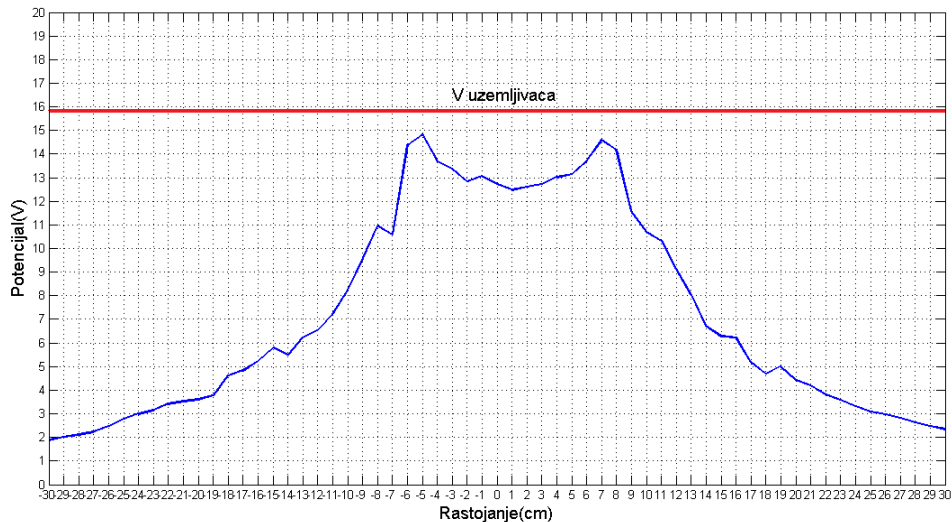
Tabela III Poređenje izmerenih vrednosti za model bez izolacije i sa izolacijom

Merena veličina	$I_m(A)$	$U_m(V)$	$R_m(\Omega)$
Uzemljivač bez izolacije	0.34	15.84	46.59
Uzemljivač sa izolacijom	0.34	20	58.82

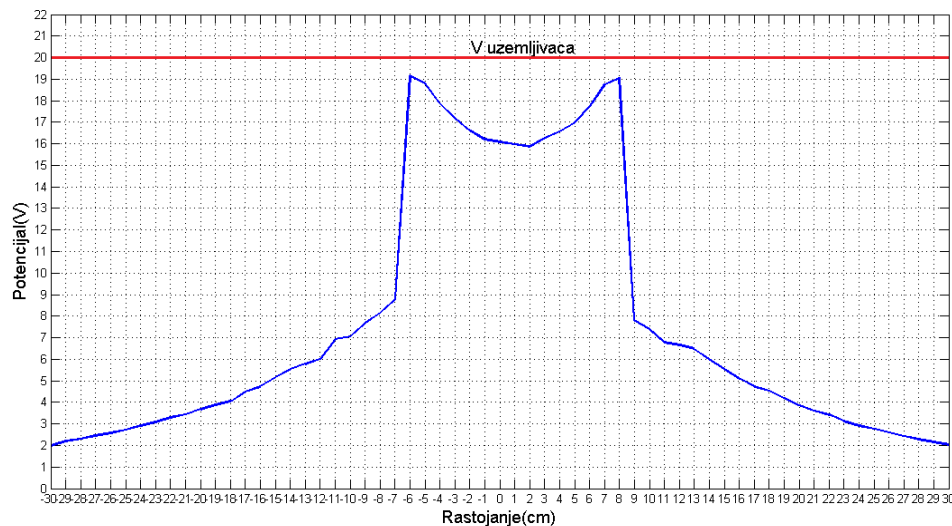
Odnos otpornosti uzemljenja uzemljivača sa izolacijom i otpornosti uzemljenja samog uzemljivača je:

$$\frac{R_{m2}}{R_{m1}} = \frac{58.82\Omega}{46.59\Omega} = 1.26 \quad (3)$$

Na dijagramima su prikazane raspodele potencijala za uzemljivač bez izolacije i sa naknadno postavljenom izolacijom:



Slika 14. Raspodela potencijala za uzemljivač



Slika 15. Raspodela potencijala za uzemljivač sa izolacijom

Potencijalna razlika koraka uzemljivača je $E_k = 3.73V$, dok je potencijalna razlika koraka uzemljivača sa izolacijom $E_k = 11.22V$.

4 ANALIZA REZULTATA

Rezultati dobijeni analizom konkretnih uzemljivačkih sistema predstavljeni su u Poglavlju 3. Određeni su otpor rasprostiranja uzemljivačkih sistema, potencijal uzemljivača, kao i raspodela električnog potencijala na površini tla. Uzemljivač se dimenzioniše tako da otpor uzemljenja i odgovarajući naponi ne prelaze dozvoljene vrednosti, što se pokazuje proračunom i merenjima na izvedenom uzemljivaču objekta.

Otpor uzemljenja mora imati dovoljno malu vrednost da uzemljeni objekat, u slučaju kvara ili smetnji, ne dođe na visoki potencijal u odnosu na zemlju. Naknadnim izvođenjem hidroizolacije uvećava se vrednost izmerenog otpora rasprostiranja uzemljivača. Sa povećanjem otpora rasprostiranja, pri istoj struji odvođenja, raste i potencijal uzemljivača, povećava se verovatnoća pojave prenapona određene vrednosti na izolaciji, odnosno povećava se rizik od preskoka na izolaciji.

Na dijagramima je radi ilustracije prikazana snimljena raspodela potencijala. U slučaju uzemljivača sa izolacijom, strmina potencijalne krive je veća, što izaziva stvaranje znatno većih napona dodira i koraka. Propis zahteva da naponi dodira i koraka ne prelaze dozvoljene vrednosti. To znači da su sa aspekta zaštite ljudi i opreme karakteristike uzemljivača sa izolacijom znatno nepovoljnije.

Porast otpora uzemljenja uzemljivača položenog u betonski temelj je manji, a time i porast napona uzemljivača i potencijalnih razlika koraka i dodira. Beton koji obavlja armaturu ima specifičnu otpornost u opsegu od 200-500 Ωm , u zavisnosti od vrste betona, dok je izmerena specifična električna otpornost vode 15 Ωm . Struja pri odvođenju sa uzemljivača nailazi na granicu dve sredine različitih specifičnih električnih otpornosti, što utiče na vrednost resultantnog otpora rasprostiranja uzemljivača.

5 ZAKLJUČAK

Hidroizolacija je jedan od najvažnijih elemenata konstrukcije objekta, stoga modelovanje uticaja hidroizolacije na karakteristike temeljnog uzemljivača objekta ima praktičan značaj. U radu je primenom odgovarajućih modela ilustrovan efekat naknadnog postavljanja hidroizolacije temelja. Rezultati eksperimentalnih istraživanja pokazuju da izvedena hidroizolacija negativno utiče na sve razmatrane karakteristike uzemljivača. Povećane vrednosti otpora rasprostiranja, potencijala uzemljivača, kao i odgovarajućih napona dodira i koraka, zahtevaju preduzimanje dodatnih mera za oblikovanje potencijalnog levka i smanjivanje opasnih napona.

6 LITERATURA

- [1] J. Nahman, "Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža", Naučna knjiga, Beograd, 2008
- [2] M. Đurić, M. Graovac, D. Kušić, J. Nahman, Z. Radojević, N. Rajaković, M. S. Savić, D. Salamon, I. Škokljević, V. Terzija, "Laboratorijske vežbe iz elektroenergetskih sistema – upustvo za vežbe", Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 1992
- [3] Z. Stojković, "Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici – primena programskih alata", Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd, 2009