

PRIMENA PROGRAMSKIH ALATA U PROJEKTOVANJU ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA I INSTALACIJA ZA NAPAJANJE BAZNIH STANICA MOBILNIH I BEŽIČNIH SISTEMA U TELEKOMUNIKACIJAMA

Dr Zlatan Stojković, redovni profesor
Mr Zoran Stojanović, asistent
Aleksandar Jovanović, student
Elektrotehnički fakultet, Beograd

SADRŽAJ

Pouzdanost i kvalitetno snabdevanje električnom energijom predstavlja osnovni zahtev koji pred elektroenergetski sistem (EES) postavljaju potrošači električne energije. Ovaj zahtev EES mora ispuniti na svim funkcionalnim nivoima proizvodnje, prenosa i distribucije električne energije. Distributivne mreže, kao deo EES-a, predstavljaju vezu između prenosnog sistema i potrošača. Bazne stanice mobilnih i bežičnih sistema u telekomunikacijama predstavljaju potrošače električne energije koja se može obezbediti iz neobnovljivih izvora energije (fossilna goriva, nuklearna energija) ili, danas posebno aktuelnih, obnovljivih izvora energije (biomasa, hidroelektrane, energija Sunca, energija vetra, geotermalna energija, itd.).

U zavisnosti od vrste telekomunikacione (TK) opreme i njenog nazivnog napona napajanja, bira se i odgovarajući sistem za napajanje i rezervno napajanje, što predstavlja sastavni deo izrade investiciono-tehničke dokumentacije. Za objekte koji sadrže TK opremu neophodno je projektovati odgovarajuću gromobransku zaštitu. U ovom preglednom radu izloženi su primeri primene sopstveno razvijenih programskih alata u projektovanju elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema u telekomunikacijama. Prvi programski alat odnosi se na projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene primenom programa AutoCAD i Visual Basic (VB). Mogućnosti primene ovog programskog alata u projektovanju gromobranske zaštite prikazane su na primeru konkretnog objekta. U nastavku su prikazani namena, opis i primeri primene programskog alata za projektovanje uzemljivača u udarnom režimu. Formiran primenom savremenih programa Visual C++ i MATLAB, ovaj korisnički orijentisan programski alat ima za cilj analizu udarnih karakteristika uzemljivača na način pogodan u projektantskoj praksi. Treći programski alat koristi se za projektovanje sistema za napajanje TK opreme. Zasnovan je na primeni baza podataka i programa Excel i VB i, kao takav, omogućava automatizaciju tehničkih proračuna i odgovarajućeg izbora uređaja za napajanje i rezervno napajanje. Primena ovog programskog alata ilustrovana je na primeru izbora stacionarnih olovničkih akumulatorskih baterija.

1. UVOD

Projektovanje elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema u telekomunikacijama definisano je Uputstvom [1]. Ovim Uputstvom određeni su način i potreban obim izrade investiciono-tehničke dokumentacije. Za objekte koji sadrže opremu baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema (TK oprema) neophodno je projektovati odgovarajuću gromobransku zaštitu. Pod gromobranskom zaštitom podrazumeva se kompleks zaštitnih mera protiv direktnog udara groma i njegovog sekundarnog dejstva, koje obezbeđuje sigurnost ljudi i životinja, opreme i materijala od eksplozije, požara i rušenja. U cilju zaštite objekata od atmosferskog pražnjenja projektuje se i izvodi odgovarajuća instalacija. Ostvarivanje navedene zaštite ima socijalni i ekonomski karakter. Prvi aspekt odnosi se na zaštitu ljudi i životinja, i ona je uslovljena zakonskim propisima i normativima [2]. Drugi aspekt podrazumeva zaštitu materijalnih dobara od štetnog dejstva atmosferskog pražnjenja. Atmosferska pražnjenja na objektima bez odgovarajuće gromobranske zaštite predstavljaju uzrok velikih šteta i gubitaka u privredi [3].

U radu je prikazan deo mogućnosti sopstveno razvijenog programskog alata za projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene [4-7]. Dati su algoritam za proračun zaštitne zone prihvatnog sistema i odgovarajući metodi. Na primeru konkretnog objekta ilustrovan je postupak određivanja 3D prikaza zaštitne zone ostvarene primenom štapne hvataljke. Postupak određivanja zaštitne zone automatizovan je primenom naprednih tehnika programa AutoCAD [8, 9] i VB [10], čime je omogućeno projektovanje optimalnog rešenja gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene.

Sistem uzemljenja predstavlja sastavni deo objekata koji sadrže TK opremu. Poznavanje udarnih karakteristika uzemljivača je od velikog značaja u analizi ugroženosti objekata od atmosferskih pražnjenja. Njihovo određivanje predstavlja složen problem zbog velikog broja različitih uticajnih parametara. Najvažniji uticaj na ove karakteristike imaju konstruktivni parametri uzemljivača, električne karakteristike tla, kao i oblik, amplituda i mesto injektiranja strujnog talasa. Kao rezultat višegodišnjeg istraživanja formiran je matematički model kojim se može odrediti ponašanje uzemljivača u udarnom periodu, uz obuhvatanje uticajnih parametara [2, 11-16]. Rezultati eksperimentalnih istraživanja udarnih karakteristika uzemljivača ukazuju na prihvatljivu tačnost formiranog modela [17, 18]. Na osnovu razvijenog matematičkog modela nastao je programski alat za proračun udarnih karakteristika GIC (Grounding Impulse Characteristics). Formiran primenom savremenih programa Visual C++ i MATLAB [19], ovaj korisnički orijentisan programski alat ima za cilj analizu udarnih karakteristika uzemljivača na način pogodan u projektantskoj praksi. U radu su prikazani namena, opis i primeri primene navedenog programskog alata.

U poslednjem delu rada prikazane su neke mogućnosti primene baza podataka u projektovanju elemenata elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema. Tehnički proračuni i odgovarajući izbor elemenata potpuno su automatizovani primenom programa Excel i VB [20-24]. Primena baza podataka ilustrovana je na primeru izbora stacionarnih olovničkih akumulatorskih baterija.

2. PRIMENA PROGRAMSKIH ALATA

2.1 Projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene

Kao što je napomenuto u Uvodu, pod gromobranskom zaštitom podrazumeva se kompleks zaštitnih mera protiv direktnog udara groma i njegovog sekundarnog dejstva, koje obezbeđuju sigurnost ljudi i životinja, opreme i materijala od eksplozije, požara i rušenja. U cilju zaštite objekata od atmosferskog pražnjenja, projektuje se i izvodi odgovarajuća instalacija. Ostvarivanje navedene zaštite ima socijalni i ekonomski aspekt.

Gromobranska instalacija za zaštitu objekata od atmosferskih pražnjenja sastoji se od spoljašnje i unutrašnje gromobranske instalacije. Smatra se da je objekat zaštićen od direktnog atmosferskog pražnjenja ako je verovatnoća pražnjenja mimo gromobranske instalacije manja od tehnički prihvatljive vrednosti. Ne postoji apsolutno sigurna zaštita od direktnog atmosferskog pražnjenja koja bi bila ekonomski prihvatljiva. Zbog toga se definišu zone zaštite u kojima se, sa velikom verovatnoćom, objekti mogu smatrati zaštićenim od direktnog atmosferskog pražnjenja. Pored zaštite od direktnog atmosferskog pražnjenja, na objektu se mora predvideti i zaštita od induktivnih uticaja nastalih atmosferskim pražnjenjem u gromobransku instalaciju štićenog objekta ili u blizini štićenog objekta.

Pod zaštitnom zonom prihvatnog sistema podrazumeva se zona u kojoj se sa malom verovatnoćom može dogoditi direktno atmosfersko pražnjenje. Metod zaštitnog ugla i metod fiktivne (kotrljajuće) sfere predstavljaju dva najčešće korišćena postupka za određivanje zaštitne zone prihvatnog sistema [2, 6]. Prema prvom metodu definiše se zaštitni ugao kao ugao koji zaklapa izvodnica kupe i vertikalna linija postavljena kroz osu štapne hvataljke (Slika 1a). Smatra se da u konusnom prostoru ne može doći do direktnog atmosferskog pražnjenja ako ugao ima vrednost između 30° i 60° . Metod zaštitnog ugla moguće je primeniti kako na izolovanu, tako i na neizolovanu gromobransku zaštitu. Fiktivnu (kotrljajuću) sferu definiše poluprečnik jednak udarnom rastojanju za određenu struju groma, koja zavisi od nivoa zaštite objekta. Zaštitna zona se dobija kao geometrijsko mesto tačaka u kojima sfera dodiruje horizontalnu podlogu pri rotiranju oko štapne hvataljke, tako da sfera stalno dodiruje i hvataljku.

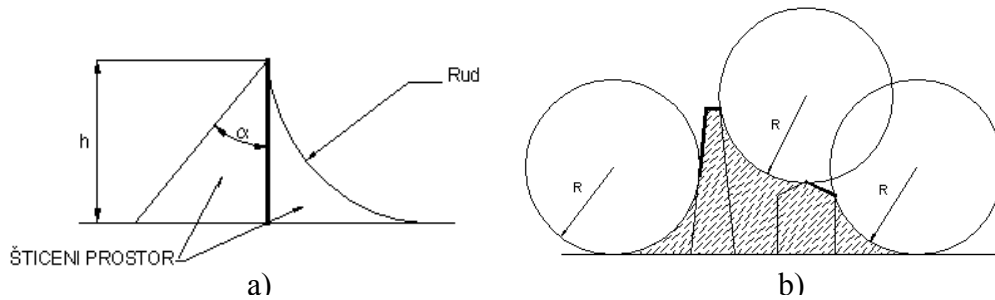
Udarno rastojanje R (m) zavisi od amplitude struje groma I (kA) i izračunava se primenom izraza:

$$R = K \cdot I^n \quad (1)$$

gde K i n predstavljaju empirijske konstante, čije su vrednosti definisane od strane više autora [2, 6].

Na Slici 1.a) prikazane su zaštitne zone jedne štapne hvataljke određene metodom zaštitnog ugla i metodom fiktivne (kotrljajuće) sfere. Primena metoda fiktivne sfere na različitim objektima ilustrovana je na Slici 1.b). Fiktivnu sferu je potrebno "valjati",

postavljati oko i iznad objekta u sve moguće položaje do tla, kako bi se pronašla dodirna mesta i površine na kojima se moraju postaviti elementi prihvatnog sistema, jer se na tim mestima može dogoditi udar. Na zadebljanim linijama prema Slici 1.b) potrebno je postaviti prihvatni sistem.



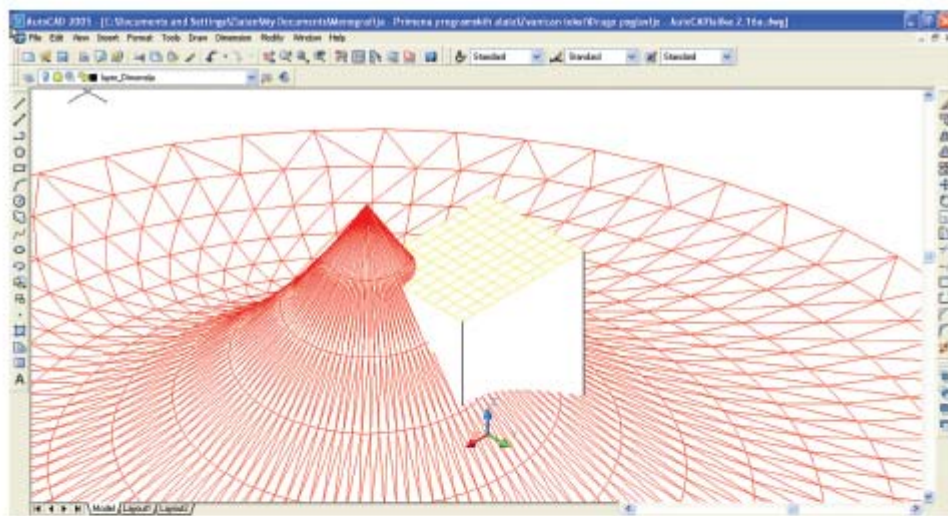
Slika 1. a) Skica zaštitne zone određene metodom zaštitnog ugla i metodom fiktivne (kotrljajuće) sfere; b) Određivanje zaštitne zone različitih objekata primenom metoda fiktivne sfere

Algoritam za proračun zaštitne zone sastoji se od sledećih koraka:

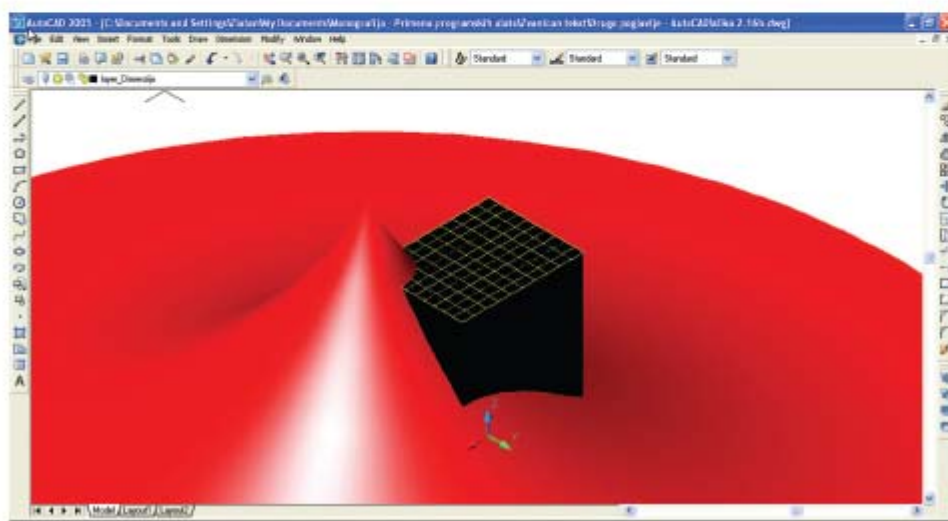
- pokreće se program AutoCAD da bi se nacrtao objekat u 2D ili 3D prikazu,
- za nacrtan objekat moguće je izabrati tip štapne hvataljke i zadati njegove dimenzije,
- u zavisnosti od nivoa zaštite usvaja se vrednost udarne struje,
- za tako definisanu udarnu struju primenom izraza (1) proračunava se udarno rastojanje,
- na osnovu udarnog rastojanja određuje se zaštitna zona koja predstavlja kupu sa spoljnom stranom u vidu izlomljene linije,
- postupak se ponavlja za sledeću štapnu hvataljku, čiji se položaj može proizvoljno definisati u odnosu na objekat.

Crtanje objekata ostvaruje se programom AutoCAD, dok se proračun zaštitne zone vrši primenom programa VB.

Za objekat dimenzija 8x9x19 m i štapnu hvataljku visine 4 m koja je postavljena u ugao krova razmatranog objekta određena je zaštitna zona u vidu žičanog modela (Slika 2.a). Primenom efikasne tehnike rasterizacije u AutoCAD-u [7-9] moguće je formirati odgovarajući 3D prikaz zaštitne zone u vidu punog tela (Slika 2.b).



a)



b)

Slika 2. 3D prikaz zaštitne zone ostvarene primenom jedne štapne hvataljke visine 4 m, postavljene u ugao krova objekta dimenzija $8 \times 9 \times 19$ m: a) Žičani model; b) Puno telo

Na osnovu 3D prikaza zaštitne zone datih na Slikama 2.a) i 2.b) jasno se mogu uvideti prednosti vizuelizacije postupka projektovanja gromobranske zaštite primenom odgovarajućih tehnika u AutoCAD-u.

2.2 Programski alat za proračun udarnih karakteristika uzemljivača

Poznavanje udarnih karakteristika uzemljivača od velikog je značaja u analizi ugroženosti objekata od atmosferskih pražnjenja. Njihovo određivanje predstavlja složen problem zbog velikog broja različitih uticajnih parametara. Najvažniji uticaj na ove karakteristike

imaju konstruktivni parametri uzemljivača, električne karakteristike tla, kao i oblik, amplituda i mesto injektiranja strujnog talasa.

Programski alat za proračun udarnih karakteristika GIC omogućava:

- proračun raspodele napona i struja duž uzemljivača pri injektiranju udarne struje;
- proračun udarne impedanse uzemljivača za slučajeve bez i sa jonizacijom tla;
- proračun parametara modela ekvivalentnog uzemljivača, čijim se inkorporiranjem u neki od postojećih programa za proračun prenapona atmosferskog porekla može tačnije proceniti pouzdanost rada elemenata elektroenergetskog sistema koji omogućavaju napajanje objekta. Modeli se mogu formirati za slučajeve bez i sa jonizacijom tla, što je posebno važno za konfiguracije uzemljivača u tlu velike specifične električne otpornosti i u zoni izražene grmljavinske aktivnosti;
- proračun efektivne dužine uzemljivača. Ovaj parametar je važan sa aspekta projektantske prakse i predstavlja dužinu uzemljivača sa koje se celokupna struja atmosferskog pražnjenja odvede u zemlju. Uvažavanje ovog efekta omogućava ekonomična rešenja u projektovanju lineičnih i složenih uzemljivača u obliku mreže;
- optimalan postupak modelovanja uzemljivača sa aspekta preciznosti i trajanja proračuna, zahvaljujući elementima ekspertskog sistema sadržanim u programu. Konceptija programskog alata omogućava i manje iskusnim korisnicima postizanje ekonomičnih rešenja u projektovanju uzemljivača i prenaponske zaštite energetske i elektronske opreme.

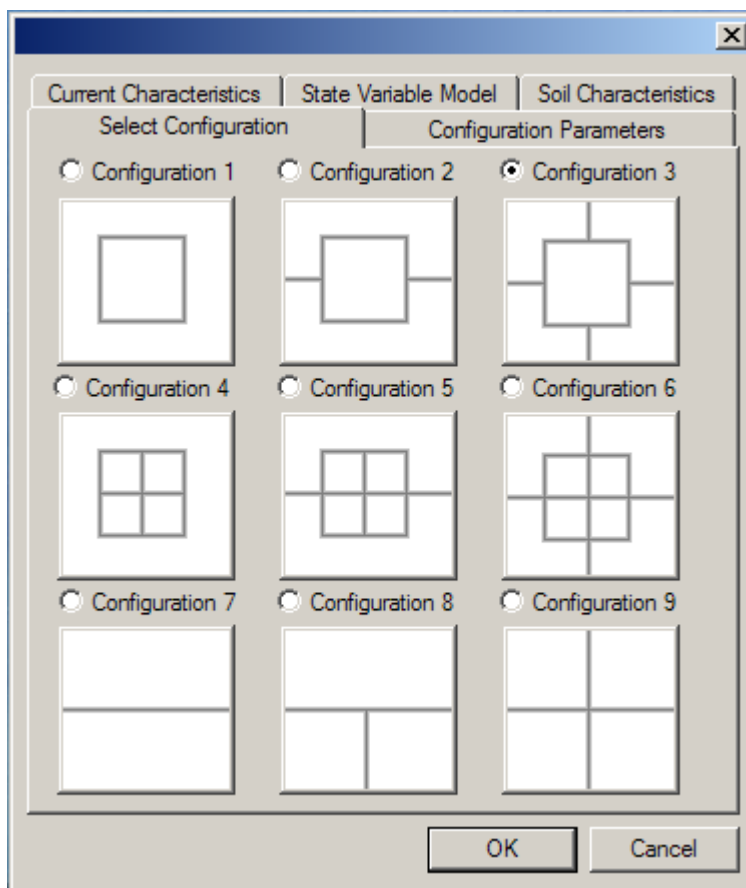
Mogućnosti programskog alata ilustrovane su na primerima proračuna. Aktiviranjem ikone pod nazivom GIC otvara se komandni meni koji omogućava komunikaciju korisnika i računara. Komandni meni sadrži dve grupe menija. Prva grupa odnosi se na uobičajene komande programa u Windows okruženju. Drugu grupu predstavlja sistem menija kojim se vrši izbor jedne od sledećih opcija:

1. Definisanje parametara proračuna udarnih karakteristika uzemljivača;
2. Izvršenje proračuna;
3. Prikaz rezultata proračuna.

Opcija 1 predstavlja važan deo programa i uključuje sledeće operacije:

- izbor matematičkog modela,
- definisanje konfiguracije uzemljivača,
- unos konstruktivnih parametara uzemljivača,
- definisanje karakteristika tla,
- izbor parametara strujnog talasa,
- definisanje trajanja proračuna,
- izbor prikaza izlaznih promenljivih.

Na Slici 3. prikazan je izgled komandnog prozora za definisanje navedenih parametara.



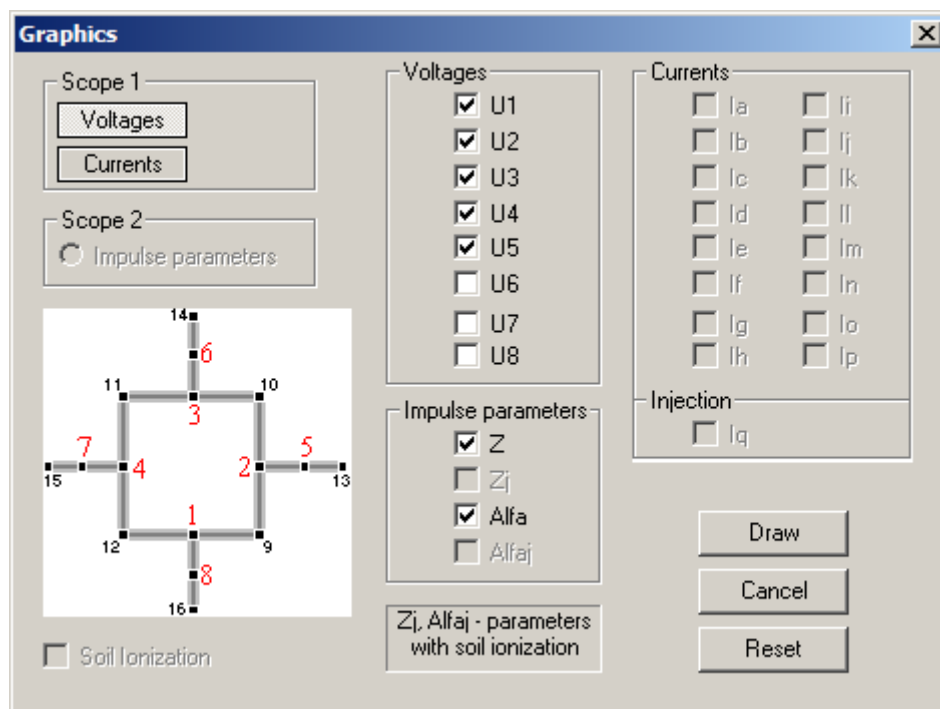
Slika 3. Komandni prozor za definisanje parametara proračuna udarnih karakteristika uzemljivača

Nakon izbora odgovarajuće konfiguracije vrši se unos konstruktivnih parametara uzemljivača. Sledi definisanje parametara proračuna, izvršenje proračuna i, konačno, prikaz rezultata proračuna.

Rezultati proračuna mogu se prikazati grafički i tekstualno. Grafički prikaz odnosi se na vremenske promene sledećih veličina:

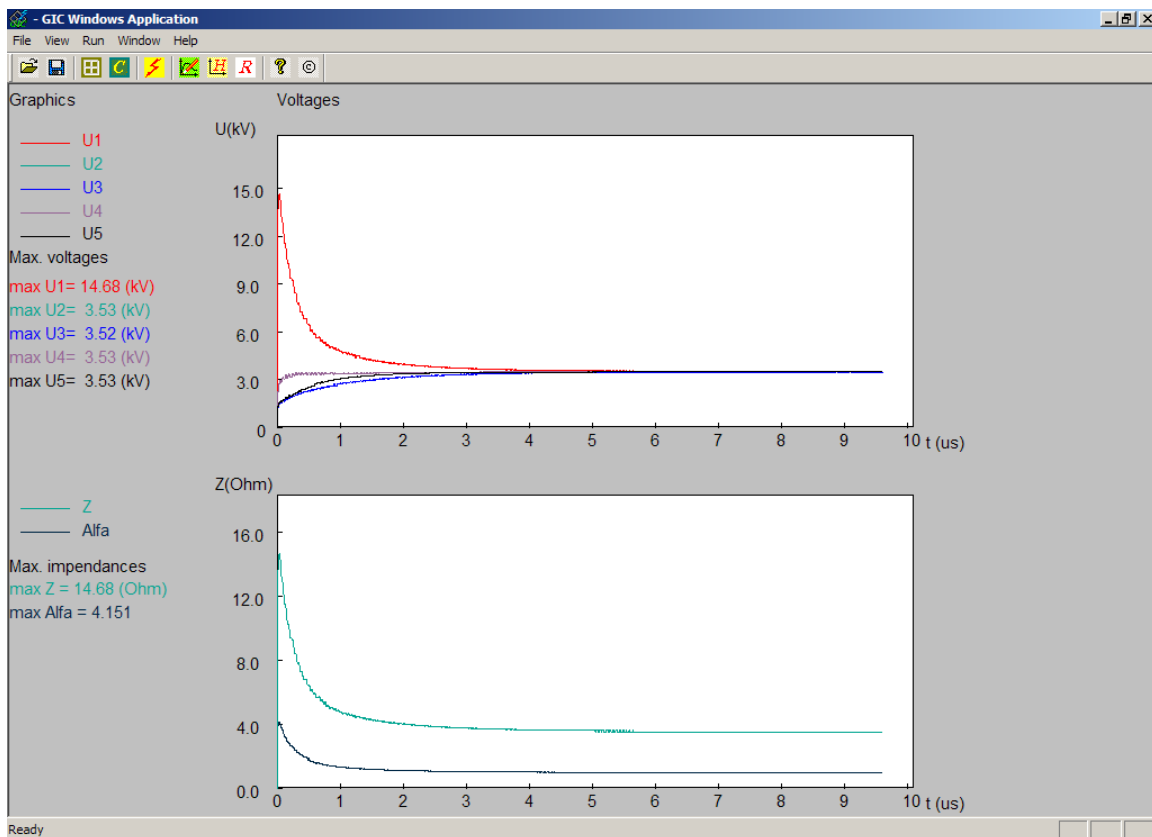
- napona u čvorovima uzemljivača,
- injektiranog strujnog talasa i struja u granama uzemljivača,
- udarne impedanse uzemljivača Z i udarnog koeficijenta uzemljivača (Alfa) za slučajeve bez i sa pojavom jonizacije tla oko uzemljivača.

Na Slici 4. prikazan je komandni prozor za izbor prikaza izlaznih veličina.



Slika 4. Komandni prozor za izbor prikaza izlaznih veličina

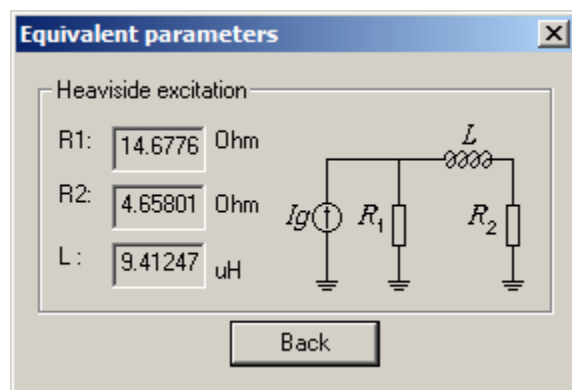
Na Slici 5. određene su vremenske promene napona u pojedinim čvorovima, udarne impedanse uzemljivača i udarnog koeficijenta uzemljivača pri injektiranju strujnog talasa u obliku odskočne funkcije jedinične amplitude za specifičnu električnu otpornost tla $\rho = 100 \Omega\text{m}$.



Slika 5. Vremenske promene napona u pojedinim čvorovima, udarne impedanse uzemljivača i udarnog koeficijenta uzemljivača; $\rho = 100 \Omega\text{m}$, strujni talas u obliku odskočne funkcije jedinične amplitude

Za slučajeve modelovanja složenih sistema veoma je važno formiranje odgovarajućih ekvivalenata pogodnih za inženjersku praksu. Postupak svođenja složenog modela uzemljivača u udarnom periodu na ekvivalent pogodan za inženjersku praksu ilustrovan je u [2]. Postupak određivanja parametara ekvivalentnog uzemljivača zasniva se na analizi naponskog odziva uzemljivača usled injektiranog strujnog talasa u obliku odskočne funkcije. Složena ekvivalentna šema uzemljivača proizvoljnog oblika može se svesti na ekvivalentnu šemu koja sadrži samo tri parametra R_1 , R_2 i L , čije vrednosti su funkcije parametara realnog uzemljivača.

Na Slici 6. dat je tekstualni prikaz parametara ekvivalentnog uzemljivača konfiguracije 3 za $\rho = 100 \Omega\text{m}$ i strujni talas u obliku odskočne funkcije jedinične amplitude.



Slika 6. Parametri ekvivalentnog uzemljivača konfiguracije 3 sadržani u tekstualnom prikazu rezultata; $\rho = 100 \text{ } \Omega\text{m}$, strujni talas u obliku odskočne funkcije jedinične amplitude

Kao što je napomenuto, inkorporiranjem parametara ekvivalentnog uzemljivača u neki od postojećih programa za proračun prenapona atmosferskog porekla može se tačnije proceniti pouzdanost rada elemenata elektroenergetskog sistema koji omogućavaju napajanje objekta.

2.3 Programski alat za projektovanje sistema za napajanje TK opreme

U ovom odeljku prikazane su neke mogućnosti primene baza podataka u projektovanju sistema za napajanje TK opreme. Izbor uređaja za napajanje i rezervno napajanje izvršen je prema Uputstvu [1]. Tehnički proračuni i odgovarajući izbor navedenih uređaja potpuno su automatizovani primenom programa Excel i VB, što je ilustrovano na primeru izbora stacionarnih olovničkih akumulatorskih baterija.

U Uputstvu [1] dati su pojmovi i definicije elemenata sistema za napajanje. Na Slici 7. prikazan je komandni prozor programskog alata za projektovanje sistema za napajanje TK opreme.



Slika 7. Komandni prozor programskog alata za projektovanje sistema za napajanje TK opreme

Nakon aktiviranja programa otvara se meni za izbor pojedinih elemenata. U nastavku je prikazan celokupan postupak izbora stacionarnih olovnih akumulatorskih baterija.

Osnovni parametri na osnovu kojih se određuje potreban kapacitet akumulatorskih baterija, kao rezervnog izvora električne energije za napajanje TK opreme, su:

- $I_{\max}$ – maksimalno strujno opterećenje TK opreme i invertora na jednosmernom naponu -48V, u skladu sa tačkom 4.1. Uputstva [1] (A);
- T – vreme zahtevane vremenske autonomije u napajanju TK opreme, u skladu sa tačkom 4.2. Uputstva [1] (h);
- k_1 – 1,15 – faktor povećanja kapaciteta zbog sulfatizacije ploča i moguće niske temperature ambijenta kod klasičnih baterija. Kod baterija sa kontrolom pritiska pomoću ventila, tzv. hermetičkih baterija, ovaj faktor se ne uzima u obzir, tj. on iznosi 1;
- k_2 – faktor povećanja kapaciteta akumulatorskih baterija koje se dimenzionišu za autonomiju manju od 10 sati. Ovaj faktor definiše isporučilac akumulatorskih baterija u zavisnosti od predviđene autonomije.

Kapacitet akumulatorskih baterija Q (Ah) određuje se na osnovu izraza:

$$Q = \frac{I_{\max} \cdot T \cdot k_1}{k_2} \quad (2)$$

Zahtevana autonomija obezbeđuje se sa najmanje dve akumulatorske baterije, čiji zbir kapaciteta mora da bude veći od Q.

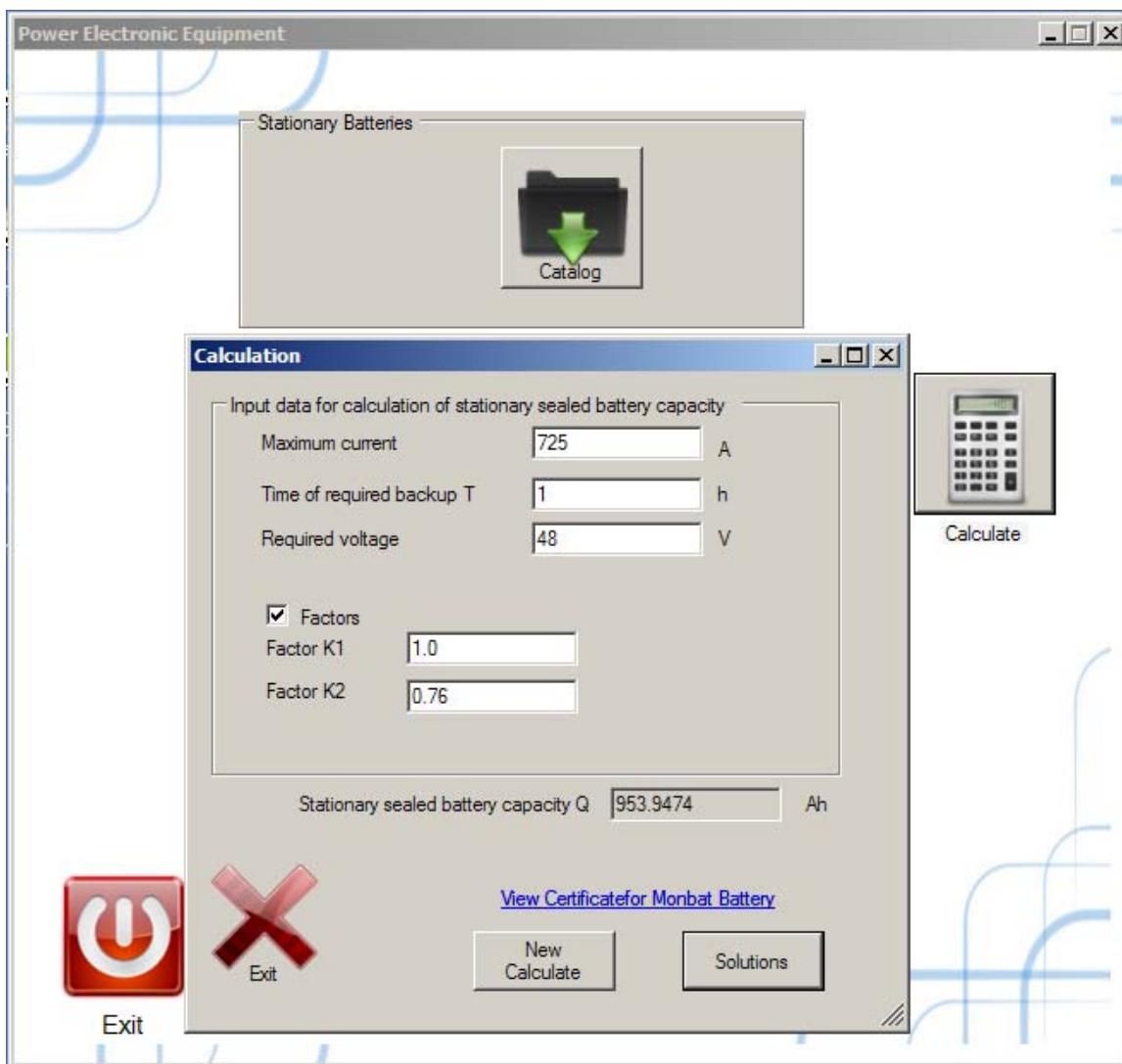
Zahtevana vremenska autonomija u napajanju TK opreme pri punom opterećenju, u skladu sa tačkom 4.2. Uputstva [1] iznosi:

- 2 sata, u slučaju da objekat (lokacija) ne poseduje dizel električni agregat,
- 1 sat, u slučaju da objekat (lokacija) poseduje stacionaran dizel električni agregat.

U navedenom objektu predviđen je stacionaran dizel električni agregat pa je za vreme zahtevane rezerve u napajanju telekomunikacione opreme usvojena vrednost $T=1$ h.

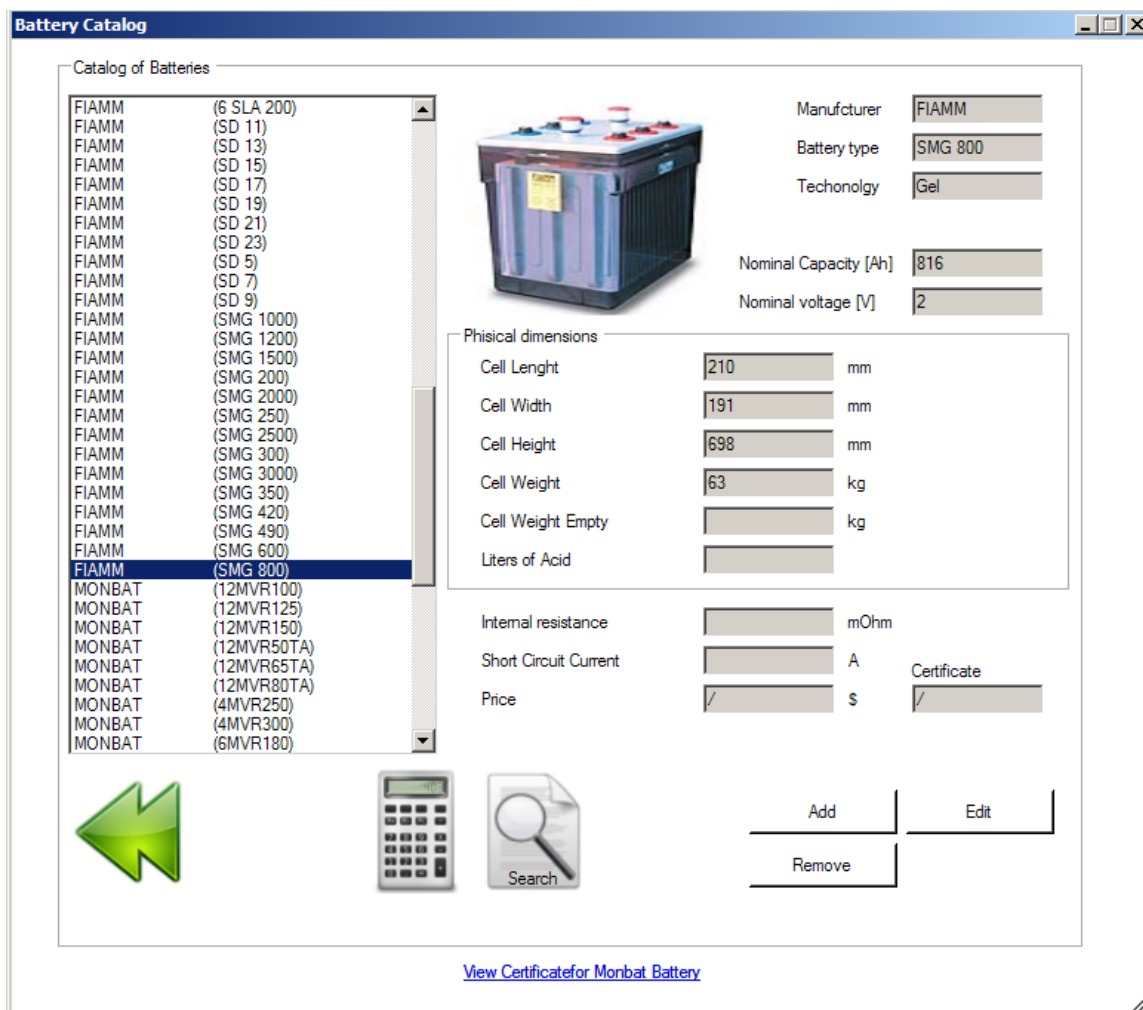
Na osnovu podataka o potrošnji TK opreme dobijenih od proizvođača, a za predviđen jednosmerni napon napajanja od -48 V, određena je vrednost $I_{\max}$ od 725 A.

Zamenom brojnih vrednosti u izraz (2) dobija se kapacitet akumulatorskih baterija $Q=954$ Ah (Slika 8).



Slika 8. Komandni prozor za proračun potrebnog kapaciteta akumulatorskih baterija

Aktiviranjem ikone *Solutions* vrši se pretraživanje mogućih rešenja iz ponuđene baze podataka o akumulatorskim baterijama. Na Slici 9. prikazan je katalog sa osnovnim karakteristikama akumulatorske baterije FIAMM SMG 800, kao jednog mogućeg rešenja.



Slika 9. Katalog sa osnovnim karakteristikama izabrane akumulatorske baterije FIAMM SMG 800

Na osnovu proračunatog kapaciteta izvršen je sledeći izbor:

- usvojene su dve akumulatorske baterije, FIAMM SMG 800 sa sledećim karakteristikama:
 - svaka baterija ima 24 ćelije, sa naponom po ćeliji od 2 V, odnosno ukupno 48 V,
 - kapacitet po ćeliji iznosi 800 Ah za desetočasovnu struju pražnjenja,
 - baterije su stacionarne olovne sa kontrolom pritiska u ćelijama pomoću ventila (VRLA) i sa elektrolitom u gelu.

Na osnovu proračunate i usvojene vrednosti kapaciteta akumulatorskih baterija može se zaključiti da je ukupan kapacitet (kapacitet obe baterije) znatno veći od potrebnog kapaciteta, što omogućava korišćenje izabranih baterija i za slučaj eventualnog budućeg proširenja kapaciteta TK opreme.

3. ZAKLJUČAK

U preglednom radu je prikazana primena programskih alata za projektovanje elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema u telekomunikacijama. Programski alat za projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene zasnovan je na korišćenju naprednih tehnika programa AutoCAD i VB i, kao takav, omogućava proračun zaštitne zone u zavisnosti od tipa, broja, rasporeda i dimenzija štapnih hvataljki. Razmatran programski alat i programski alat za projektovanje uzemljivača u udarnom režimu (GIC) predstavljaju celinu, čijom primenom je omogućena automatizacija projektovanja optimalnog rešenja gromobranske zaštite objekata različitog oblika i namene. Programski alat za projektovanje sistema za napajanje TK opreme, zasnovan na primeni baza podataka, omogućava automatizaciju tehničkih proračuna i odgovarajućeg izbora uređaja za napajanje i rezervno napajanje. Primena prikazanih programskih alata doprinosi automatizaciji izrade projektne dokumentacije, čime se postiže povećanje produktivnosti.

Literatura

- [1] Uputstvo za projektovanje elektroenergetskih sistema i instalacija za napajanje baznih stanica mobilnih i bežičnih sistema, Republička agencija za telekomunikacije - RATEL, Beograd, 2007.
- [2] Z. Stojković : Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici – primena programskih alata, monografija, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Akademska misao, Beograd, jul 2009, str. 529.
- [3] P. Hasse : Overvoltage protection of low voltage systems, IEE Power series 12, Peter Peregrinus Ltd., London, 1992.
- [4] Z. Stojković, D. Medan : Softverski alat za projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene, Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2005, Vol. 4, Ref. D-11, mart 2005, str. 186-190.
- [5] Z. Stojković, Ž. Stankić: Projektovanje gromobranske zaštite objekata opšte i posebne namene, Elektroprivreda, Br. 3, 2005, str. 84-91.
- [6] Z. Stojković, Ž. Stankić : AutoCAD-based concept for estimating lightning protection zone of transmission lines and structures, International Journal of Electrical Engineering Education (IJEEE), Vol. 43, No. 4, pp. 299-317, Oct 2006.
- [7] Z. Stojković : Evaluation of lightning protection zone using AutoCAD-based software tool, Institute of Power Transmission and High Voltage Technology, University of Stuttgart, FR Germany, Annual Report 2006, pp. 64-67.
- [8] Z. Stojković, D. Medan, M. Nikolić, Ž. Stankić, S. Oparnica : Neki aspekti primene programa AutoCAD u računarskom projektovanju, Elektroprivreda Br. 4, 2003, str. 18-26.
- [9] H. J. Engelke : 3D – Konstruktion mit AutoCAD 2002, Volumen - Modellieren fur Einsteiger, Hanser Verlag Munchen Wien, 2002.
- [10] P.G. Mc Keown, C.A. Piercy : Learning to program with Visual Basic, Second Edition, John Wiley & Sons Inc., New York, 2002.

- [11] Z. Stojković: Proračun udarne impedanse uzemljivača visokonaponskog postrojenja u jednoslojnom i dvoslojnom tlu, 22. Savetovanje JUKO-CIGRE, Ref. 33-01, Vrnjačka Banja, maj 1995.
- [12] Z. Stojković, M. S. Savić: Influence of transmission line tower grounding impedance to the line flashover rate, European Transactions on Electrical Power - ETEP Vol. 9, No. 4, July/ August 1999, pp. 261-270.
- [13] Z. Stojković, M. S. Savić, Lj. Gerić : Lokalni efekat udarnih karakteristika uzemljivača, Elektroprivreda, Br. 3, Beograd, 2000, str. 20-28.
- [14] Z. Stojković : The soil ionization influence on the lightning performance of transmission lines, Electrical engineering, Archiv fur elektrotechnik, Vol. 82, No. 1, Sep. 1999, pp. 49-58.
- [15] Z. Stojković, M. S. Savić : Dinamički model udarnih karakteristika uzemljivača dalekovodnih stubova, 25. Savetovanje JUKO-CIGRE, Herceg Novi, Ref. 33-02, Sep. 2001.
- [16] Z. Stojković, S. Jakovljević, J. Lošić : Poboljšanje postupka proračuna udarne otpornosti uzemljivača predloženog u TP-9, 3. Savetovanje JUKO CIRED, Ref. 2.4, Vrnjačka Banja, Okt. 2002.
- [17] Z. Stojković, M. S. Savić, J. M. Nahman, D. Salamon, B. Bukorović : Sensitivity analysis of experimentally determined grounding grid impulse characteristics, IEEE Transactions on Power Delivery, Oct 1998, Vol. 13, (4), pp. 1136-1142.
- [18] Z. Stojković, M. S. Savić, J. M. Nahman, D. Salamon, B. Bukorović.: Experimental investigation of grounding grid impulse characteristics, European Transactions on Electrical Power - ETEP Vol. 8, No. 6, Nov / Dec 1998, pp. 417-421.
- [19] MATLAB – The Language of Technical Computing, Version 7.10.0 (R2010a), The Math Works Inc., 2010.
- [20] Glavni projekt napajanja jednosmernim naponom uređaja proširenja 2 upravljačko-komutacionog centra “Beograd” GSM mreže javnih mobilnih telekomunikacija Srbije preduzeća “Telekom Srbija” a.d., Elektrotehnički fakultet, Beograd, jun 2004, (odgovorni projektant Z. Stojković).
- [21] Glavni projekat napajanja upravljačko-komutacionog centra “Beograd” GSM /UMTS MREŽE “VIP MOBILE” (deo Mobilkom Austria grupe) - faza 1, Elektrotehnički fakultet, Beograd, jun 2007, (odgovorni projektant Z. Stojković).
- [22] Glavni projekat izgradnje upravljačko-komutacionog centra “Podgorica” GSM /UMTS mreže Društva za telekomunikacije "MTEL" d.o.o. (napajanje uređaja), jun 2007, Elektrotehnički fakultet, Beograd (odgovorni projektant Z. Stojković).
- [23] I. Jovanov, Z. Stojković : Primena programa Excel u projektovanju napajanja telekomunikacione opreme, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2007.
- [24] Z. Stojković, A. Jovanović : Programski alat za projektovanje sistema za napajanje telekomunikacione opreme, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2010.

Autori

Zlatan Stojković (1960) diplomirao je 1984, magistrirao 1991. i doktorirao 1995. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. U periodu od 1984. godine do 1993. godine radio je kao projektant u Energoprojekt – Hidroinženjering A.D. Od 1993. godine radi na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu pri Katedri za

elektroenergetske sisteme, čiji je šef od 2006. godine. Kao redovni profesor izvodi nastavu iz predmeta *Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici*, *Monitoring i dijagnostika visokonaponskih postrojenja*, *Primena programskih alata u elektroenergetici* i *Visokonaponska merenja u elektroenergetici*. Kao stipendista Fondacije “Alexander von Humboldt”, Bon, SR Nemačka, boravio je na posledoktorskom usavršavanju u Institutima za elektroenergetske sisteme i visok napon Univerziteta u Karlsruheu, Štutgartu i Rostoku, SR Nemačka. Posедуje licence Inženjerske komore Srbije za odgovornog projektanta elektroenergetskih instalacija visokog i srednjeg napona – razvodna postrojenja i prenos električne energije, kao i elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona. Autor i koautor je 3 monografije nacionalnog značaja i jednog praktikuma, 65 radova u međunarodnim i domaćim časopisima i konferencijama. Učestvovao je u realizaciji 56 projekata i 6 programskih alata. Recenzent je 10 knjiga i monografija, kao i međunarodnih i domaćih časopisa, odnosno konferencija. Nagrađen je za 6 radova objavljenih na domaćim konferencijama.

Zoran Stojanović (1979) diplomirao je 2003. i magistrirao 2009. godine na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu U periodu od 2003. godine do 2004. godine radio je kao projektant u Energoprojekt – Hidroinženjering A.D. Od kraja 2004. godine radi na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu pri Katedri za elektroenergetske sisteme. Kao asistent učestvuje u izvođenju nastave iz predmeta *Praktikum iz softverskih alata u elektroenergetici*, *Električna merenja 1*, *Električna merenja 2*, *Projektovanje pomoću računara u elektroenergetici*, *Relejna zaštita*, *Praktikum – Laboratorijske vežbe iz elektroenergetskih sistema*, *Monitoring i dijagnostika visokonaponskih postrojenja* i *Digitalne relejne zaštite*. Poseduje licence Inženjerske komore Srbije za odgovornog projektanta elektroenergetskih instalacija visokog i srednjeg napona – razvodna postrojenja i prenos električne energije, kao i elektroenergetskih instalacija niskog i srednjeg napona. Učestvovao je u izradi 34 projekata. Koautor je jednog praktikuma, jednog rada publikovanog u međunarodnom časopisu, jednog rada publikovanog u domaćem časopisu, jednog rada publikovanog na međunarodnoj konferenciji i dva rada publikovana na domaćim konferencijama. Dobitnik je godišnje nagrade Privredne komore Beograda za najbolju magistarsku tezu za 2009. godinu.

Aleksandar Jovanović je student Odseka za energetiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Oblast njegovog interesovanja je izrada programskih alata i primena u elektroenergetici.

Zahvalnica

Autori zahvaljuju Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije koje je u okviru Projekta tehnološkog razvoja TR 17031 omogućilo izradu ovog rada. Prvi autor zahvaljuje Fondaciji “Alexander von Humboldt”, Bon, SR Nemačka, na celokupnoj podršci njegovom naučno-istraživačkom radu.