**NEJONIZIRAJUĆA ZRAČENJA U OKOLINI ELEKTROENERGETSKIH POSTROJENJA**

H.SALKIĆ, JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina

A.SOFTIĆ, JP EP BiH Elektrodistribucija Tuzla, Bosna i Hercegovina

**1. UVOD**

Elektroenergetski objekti, u koja ulaze svi tipovi elektrana, energetskih postrojenja, transformatorskih stanica, centri za upravljanje, kao i ukupna električna mreža, postaju sve kompleksniji, pa su tako i standardi koji definišu njihov rad sve zahtevniji. Mnogo pažnje se posvećuje nejonizirajućim zračenjima elektromagnetnih polja generisanim u elektroenergetskim objektima, jer postoji interakcija elektromagnetnih polja i bioloških tkiva na makroskopskom i statičnom nivou. Učinci tih polja mogu biti štetni po čoveka ako jačina polja prelazi određene granične vrednosti, za područja opšte populacije i profesionalne izloženosti. Savremena istraživanja elektromagnetnih polja baziraju se na konceptu da komplikovana teoretska istraživanja kao rezultat daju odgovarajuća izvedbena rešenja, odnosno razvijaju se gotovo isključivo kao primenjena istraživanja. Pri tome su uglavnom prisutna dva pravca, od kojih se prvi bazira na pojednostavljenim numeričkim modelima proračuna i drugi na modelima objektiviziranih fizikalnih merenja u teškim uslovima. U Bosni i Hercegovini ne postoje propisi iz ove oblasti, a predviđeni su Zakonom o električnoj energiji „Službene novine Federacije BiH“ br.41/02 i 38/05, poglavlje VIII-Proizvodnja električne energije, član 32. „Objekti za proizvodnju električne energije moraju zadovoljavati utvrđene kriterije zaštite okoline i osigurati trajnu kontrolu uticaja na okolinu“. U praksi se koriste različiti referentni nivoi ograničenja na izloženost ljudi elektromagnetnim poljima, različiti modeli za proračun prostiranja elektromagnetnih talasa, kao i različite merne metode pri proceni nivoa elektromagnetnog zračenja. Nakon izgradnje samog postrojenja, potrebno je obaviti proračun i merenja nivoa električnih i magnetnih polja od strane ovlaštene pravne osobe. Izveštaj proračuna i merenja je sastavni dio dokumentacije na tehničkom pregledu postrojenja i služi za izdavanje upotrebne dozvole građevine. Merenja moraju potvrditi nivoe električnih i magnetnih polja u skladu sa proračunom u ranijem elaboratu, a kojima je projektant odredio gabarite samog postrojenja. Prema studiji CENELEC-a (Evropski komitete za standardizaciju iz elektrotehnike), za potrebe Evropske komisije, postoji preko 130 zakona, pravilnika, standarda i preporuka u oblasti zaštite. Od posebnog značaja su preporuke Evropskog veća, Parlamenta Evropske Unije za direktive, Britanske nacionalne komisije za magnetno zračenje NRPB-UK, Internacionalne komisije za zaštitu od nejonizirajućeg zračenja ICNIRP, Američkog vladinog udruženja za zaštitu okoline ACGIH, Američkog Nacionalnog veća za zaštitu od zračenja i metrologiju NCRP, Instituta inžinjera elektrike i elektronike IEEE.Sve norme za zaštitu od elektromagnetnih polja propisuju osnovna ograničenja (basic restrictions) i referentne granične vrednosti (reference levels) za iznose vremenski promenjivih elektromagnetnih polja i područja profesionalne izloženosti i povećane osetljivosti. Te su smernice donesene na osnovu naučnih istraživanja i spoznaja o štetnom efektu elektromagnetnog zračenja na zdravstveno stanje ljudi. Evropska unija izdala je direktive *2004/40/EC, 2008/46/EC* i preporuku 1999/519/EC koje se odnose na minimum zahteva za zaštitu ljudi od rizika za zdravlje i njihovu sigurnost. Ista preporuka davala je nivoe električnog i magnetnog polja koja se preporučuju za maksimalne dopuštene nivoe u zakonskoj regulativi unutar pojedine zemlje članice. Preporuka Veća Evrope daje sledeće referentne nivoe:

* 5 kV/m – za jačinu električnog polja
* 100 μT – za gustinu magnetnog toka

Ove granične vrednosti vrede uz uslov osnovnog ograničenja gustine struje u telu čoveka u iznosu od 2 mA/m2, pri frekvenciji 50 Hz. Ove granične vrednosti odnose se na područja u kojima ljudi borave veći deo svog vremena, što je u pojedinoj zakonskoj regulativi definisano kao područje povećane osetljivosti. Područja povremenog boravka ljudi definisana su kao područja profesionalne izloženosti i za ta područja su u pojedinim zemljama definisane više dopuštene vrednosti električnog i magnetnog polja. One se zasnivaju na načelima zabrane, srazmernosti i javnosti. Zakonom o zaštiti od nejonizirajućeg zračenja se propisuje decentralizovanje utvrđenih mera, uslova i nadziranja od strane nadležnih organa na svim nivoima lokalne samouprave, entitetima, Ministarstvima životne sredine i prostornog uređenja. Radi njegove implementacije formiraju se podzakonski akti koji sadrže tehničke propise i standarde. Prijavljeni su različiti zdravstveni efekti zbog izloženosti niskofrekventnim magnetnim poljima, uključujući glavobolju, kardiovaskularne promene, promene u ponašanju, psihičke promene kao što su konfuzija i depresija, slabija koncentracija, poremećaji u spavanju, slabo varenje, itd. Centralni nervni sistem koji se sastoji od perifernih nerava, kičmenog stuba i mozga je potencijalno mesto interakcije sa elektromagnetnim poljem zbog električne osetljivosti tkiva. Zavisno od vremena i jačine izloženosti niskofrekventnim magnetnim poljima, dolazi do pojava neurofizioloških poremećaja. Zabrinutost mora postojati. Naravno, da će se na problematici elektromagnetnih zračenja još više raditi u budućnosti, kada nijedna ljudska delatnost neće biti moguća bez upotrebe elektomagnetnih polja koja će predstavljati najveću potencijalnu opasnost po ljudsko zdravlje i životnu sredinu u celini. Smatra se da je na globalnom nivou to mnogo važnije i od zagrevanja, ali i od povećanja količine hemijskih elemenata u životnoj sredini. Treba imati u vidu da se zračenje emituje ne samo za vreme rada uređaja, već i kada je u stanju mirovanja.

1. **MATEMATIČKI MODEL**

Pri proračunavanju niskofrekventnih elektromagnetnih polja ELF (Extra Low Frequency) u i oko elektroenergetskih objekata, urbanih područja, u stacionarnim režimima rada, u cilju dobijanja nivoa električnog i magnetnog polja u prostoru gde borave povremeno ili stalno ljudi, u okviru elektromagnetnog spektra nejonizirajućeg zračenja koji će inicirati donošenje Zakona o zaštiti od nejonizirajućeg zračenja u BiH, potrebno je da se:

1. jasno definišu izvori niskofrekventnih elektromagnetnih polja u EEO (elektroenergetski objekat),
2. izvrši modelovanje elemenata EEO, bliskih objekata i ljudi,
3. razradi i postavi matematička metoda za proračun niskofrekventnih elektromagnetnih polja u prostorima gde se smešta elektronska kompjuterska oprema i gde borave ljudi stalno ili povremeno,
4. numeričkim putem izvrši proračun niskofrekventnih elektromagnetnih polja po razrađenim matematičkim metodama na konkretnom EEO,
5. proveri valjanost utvrđene metodologije proračuna niskofrekventnih elektromagnetnih polja implementacijom merenja na odabranom EEO,
6. analiziraju rezultati proračuna i merenja i ukaže na eventualna ugrožena mesta i da predlog mera za otklanjanje elektromagnetnih uticaja ili njihovo smanjenje na prihvatljiv nivo, u skladu sa svetskim normama za zaštitu od izloženosti niskofrekventnim elektromagnetnim poljima,
7. pokrene donošenje zakonskih akata o zaštiti životne sredine od štetnih efekata niskofrekventnih elektromagnetnih polja, kao vrste nejonizirajučeg zračenja.

Prema svetskim pravilima o zaštiti od elektromagnetnih polja visokonaponski transformatori, rasklopna postrojenja, nadzemni i podzemni vodovi i bilo koja druga oprema nominalnog napona iznad 1 kV, smatraju se izvorima niskofrekventnih električnih i magnetnih polja, dominantne frekvencije 50 Hz i podležu obavezi ispitivanja u pogledu zaštite od elektromagnetnih polja. Specifične karakteristike izvora elektromagnetnih polja u elektroenergetskim objektima su: jačina polja, frekvencija, talasni oblik (sadržaj harmonika), polarizacija, prostorna varijacija polja i vremenska varijacija polja. Na području niskofrekventnih elektromagnetnih polja ELF-a (talasna dužina 6000 km na frekvenciji 50 Hz) ozračivanje se događa isključivo u bližoj zoni, u kojoj ne vredi međusobna okomitost električnog polja, magnetnog polja i smera širenja talasa, konstantan odnos amplituda električnog i magnetnog polja, zavisnost amplituda električnog i magnetnog polja o udaljenosti od izvora po zakonu 1/r, odnosno gustine snage s 1/r2. Zbog toga je potrebno odvojeno posmatrati električno i magnetno polje. Osnove makroskopske elektromagnetne teorije elektromagnetnih polja su neophodne podloge za proračun vektorskih veličina električnog i magnetnog polja u provodnim i dielektričnim sredinama kao što je npr. vazduh unutar i van energetskog postrojenja. Primenjene diferencijalne i integralne jednačine te uslovi kvazistatičnosti u vidu zanemarivanja struje pomaka ili retardacije polja, su bitni za proračun niskofrekventnih elektromagnetnih polja, jer se tada električna i magnetna polja mogu odvojeno računati. Proračuni EMP-a za EEO provedeni su programskim paketom EFC-400 koji omogućava simulaciju u trodimenzionalnom prostoru. Predpostavimo da izvor struje predstavljaju linijski provodnici koji se mogu predstaviti kao tanke žice (zanemaruje se dimenzija preseka). Provodnik sa kojeg otiče struja u prostor predstavlja se preko pravolinijskih segmenata. Proračunavanje električnih i magnetnih polja, u tačkama u prostoru koje se nalaze daleko od linijskog izvora (element mrežastog uzemljivača), vrši se preko raspodele struje, odnosno potencijala. Vrednost struje ravnomerno raspodeljene na segmentu linijskog provodnika određuje se na osnovu pada napona između krajnjih tačaka koje ograničavaju segment. Pri tome se uzima u obzir i impedansa segmenta linijskog provodnika. Za određivanje potencijala u nekoj tački prostora, kao rezultat postojanja segmenta linijskog izvora, koristi se metoda ogledala. Fazor električnog potencijala u nekoj tački prostora dobija se primenom teoreme superpozicije kao konačna suma potencijala uzrokovana elementarnim, vremenski promenjivim, naelektrisanjima na površini provodnika. Ukupna vrednost potencijala neke tačke u prostoru uzrokovana ravnomerno raspodeljenom strujom na segmentu tankog linijskog provodnika računa se prema jednačini:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

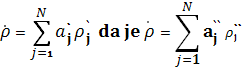


gde su:

|  |  |
| --- | --- |
|  | – fazor gustine linijskih naelektrisanja originalnog provodnika (A/m) |
|  | – fazor gustine linijskih naelektrisanja provodnika u ogledalu (A/m) |
|  | – rastojanje između posmatrane tačke i fazora gustine linijskog naelektrisanja originalnog provodnika (m) |
|  | – rastojanje između posmatrane tačke i fazora gustine linijskog naelektrisanja provodnika u ogledalu (m) |

Da bi se rešila jednačina (1) potrebno je izvršiti njenu diskretizaciju. Ovo je urađeno preko diskretizacije polja izvora nepoznate raspodele, npr. gustina linijskog naelektrisanja upotrebom kombinacije odgovarajućeg broja N linearnih nezavisnih fundamentalnih funkcija. U tom slučaju su povezane diskretizacija dužine provodnika na N segmenata i diskretizacija posmatranih tačaka. Neka se vrši podela provodnika na segmente konačnih dužina Δlj (j=1,...,N). Nakon toga je potrebno izvršiti aproksimaciju nepoznate raspodele polja sa odgovarajućim brojem fundamentalnih funkcija *ρ*j u formi sledećeg izraza:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

gde su:

|  |  |
| --- | --- |
|  | – fundamentalna funkcija na segmentu j originalnog provodnika |
|  | – fundamentalna funkcija na segmentu j provodnika u ogledalu |

Odabrane su konstante za posmatrani segment , odnosno , dok su u ostalim segmentima 0. Uzimajući u obzir da je konstanta segmenta odabrana kao fundamentalna funkcija i da zahteva veliku tačnost, broj segmenata po provodniku je povećan tako da dužina najdužeg segmenta ne prelazi 1m. U tom slučaju jednačina potencijala može se predstaviti kao:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Pošto je ρ' =ρ'' izraz (3) ima N nepoznatih na desnoj strani jednačine. U cilju rešavanja izraza (3), odabrano jeN posmatranih tačaka u prostoru poznatog potencijala i koje odgovaraju provodnicima pod naponom. To uspostavlja sistem od N jednačina sa N nepoznatih koji je određen u matričnoj formi kao:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

gde elementi Mi,j matričnog sistema [M] predstavljaju potencijal posmatrane tačke *i* smeštene na površini provodnika gustine struje ρj.

Za rešavanje matrične jednačine korišćen je Gauss-Sedel-ov metod. Kada je aproksimacija gustine struje na provodnicima dobijena, vektor-fazor konzervativne komponente jačine električnog polja na posmatranoj tački sa pozicijom vektora *r* može biti određen primenom jednačine:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

U trodimenzionalnom proračunu vektor jačine električnog polja je u svakoj tački eliptično polarizovan, odnosno vrh vektora Eu vremenu opisuje elipsu. Uzrok eliptične polarizacije je fazni pomak između faza u višefaznom sistemu, a takva polarizacija može nastati i u jednofaznim sistemima, usled prisustva više izvora polja koji imaju međusobni fazni pomak. Zavisno od geometrije i struja u provodnicima eliptična polarizacija može varirati od linearne do kružne. Svaka od tri komponente ima različitu veličinu i fazni pomak:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |
|  |
|  |

Vektor električnog polja je eliptično polarizovan i rotira u vremenu. Za prezentaciju električnog polja koristi se efektivna vrednost (RMS) apsolutne vrednosti jačine električnog polja prema izrazu:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Proračun raspodele gustine magnetnog toka se izvodi postupkom baziranim na primeni Biot-Savartovog zakona za indukciju ravne strujnice konačne dužine i zakona superpozicije. Gustina magnetnog toka u svakoj tački prostora može se izračunati superpozicijom doprinosa svakog provodnika kojim teče struja. Prostorni položaj segmenata vodiča, njihove struje i fazni uglovi predstavljaju ulazne veličine za proračun gustine magnetnog toka u željenim tačkama prostora. Smer vektora gustine magnetnog toka je određen sa jediničnim vektorom u cilindričnom koordinatnom sistemu vezanom za posmatrani segment. Kako je položaj segmenata u prostoru različit, a time i smerovi vektora indukcije, potrebno je vektor gustine magnetnog toka razložiti na komponente u smeru svake koordinatne ose globalnog sistema koji nije vezan za pojedini segment. Smer vektora gustine magnetnog toka okomit je na graničnu ravan i definisan kao:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

Ukupni iznos vektora gustine magnetnog toka, koji je uzrokovan strujama Nsegmenata, dobijamo sabiranjem doprinosa svih segmenta:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

gde su Bx,i(t), By,i(t), Bz,i(t) komponente gustine magnetnog toka *i-*tog segmenta.

Vektor gustine magnetnog toka je takođe eliptično polarizovan i rotira u vremenu. Za prezentaciju magnetnog polja koristi se efektivna vrednost (RMS) gustine magnetnog toka prema izrazu:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

1. **PRIMERI PRORAČUNA NISKOFREKVENTNIH ELEKTROMAGNETNIH POLJA OKO EEO**

Razvijena metodologija proračuna niskofrekventnih elektromagnetnih polja je predstavljena na EEO prenosne i distributivne mreže*.* Vrši se modelovanje svakog pojedinog elementa elektroenergetskih postrojenja (transformatorske stanice, srednjenaponskog sklopnog bloka, niskonaponskog sklopnog bloka, energetskih transformatora, dalekovoda, provodnika,...) na osnovu podataka iz projektne dokumentacije, uz prethodne pripreme ulaznih podataka neophodnih za proračun (raspodele provodnika na konačan broj segmenata, određivanje strujnog opterećenja EEO, dimenzionisanje horizontalnih i vertikalnih ravnina od interesa za proračun, određivanje veličina rezolucije i geometrije provodnika). Vrši se analiza dobijenih rezultata i komparacija proračunatih vrednosti sa dozvoljenim vrednostima za područje povećane osetljivost i profesionalne izloženosti ljudi i obrazlaže doprinos pojedinih elemenata energetskih postrojenja na nivo polja. Moguća je identifikacija tačaka prostora u kojima se javljaju izrazito visoke vrednosti polja i analiza razloga pojave ovakvih vrednosti kao i mogućnosti da ljudi budu izloženi tim vrednostima polja. U vremenu kada se svi segmenti rada u elektroenergetici sve više suočavaju sa donošenjem raznih odluka, ideja da se istraži i analizira, kroz relevantne i naučno priznate metode, alokacija ovog istraživanja, predstavlja važan pokušaj objektiviziranja savremenog inžinjeringa i ima posebnu aplikativnu vrednost. Razvijena metodologija proračuna niskofrekventnih elektromagnetnih polja EEO predstavlja osnovu za budući razvoj dizajna elektroenergetskih postrojenja, redizajniranje postojećih elektroenergetskih postrojenja i normativno regulisanje elektromagnetne kompatibilnosti u segmentu niskofrekventnih elektromagnetnih polja.Poseban izvorni naučni doprinos provedenih istraživanja se ogleda u razvijenoj originalnoj metodologiji proračuna 3D niskofrekventnih elektromagnetnih polja EEO za bilo koju složenu geometriju, razvijenoj originalnoj metodologiji modelovanja EEO za numerički proračun električnih i magnetnih polja. Podstaći će predloge i mere za redukovanje elektromagnetnih polja koje se metodologijom proračuna nadograđuju do postizanja elektromagnetne kompatibilnosti u fazi dizajniranja i redizajniranja EEO.

* 1. **Vanjska 110/x kV postrojenja**

Vanjska postrojenja trafostanica 110/x kV veoma su nepopularna za izgradnju u blizini stambenih objekata, iako je, zbog povećane potrošnje električne energije, povećana potreba izgradnje takvih postrojenja sve bliže stambenim objektima. Na slikama 1 i 2 je prikazan primer proračuna za takva postrojenja, na visini 2m od tla,

|  |  |
| --- | --- |
| PIC1 | DISPOZICIJA2 |

Slika 1. Model vanjskog 110/x kV postrojenja

|  |  |
| --- | --- |
| EL-ISO | MAGN-ISO |

Slika 2. Proračuni elelektričnih i magnetnih polja na vanjskom 110/x kV postrojenju

Proračuni električnog polja su pokazali da je najveća dostignuta vrednost na visini 2m iznad tla ispod 400 kV sabirnica (1-1,4kV/m) i provodnicima koji povezuju 400 kV sabirnice i transformatore, kao i na 110 kV strani postrojenja ispod 110 kV prekidača i rastavljača. Situacija sa gustinom magnetnog polja je mnogo bolja pošto samo mala oblast sadrži vrednosti veće od 100 μT, na 400 kV i 110 kV sabirnicama kojima se povezuje energetski transformator. Izvan ograde postrojenja polja su na zanemarivim nivoima za 24-satnu izloženost ljudi.

1. **110 kV dalekovodi**

110 kV dalekovod izgrađen je čelično rešetkastim stubovima s provodnicima 3xHRN N.C1.351-Al/Č-240/49 mm2 i zaštitnim užetom, tip HRN N.C1.551 - AlMg1E/Č 95/55. Trodimenzionalni prikaz dispozicije postrojenja u programu EFC-400 prikazan je na slici 3. Vod je modelovan sa maksimalnim strujnim opterećenjem 530 A, što je maksimalno strujno opterećenje koje provodnici voda mogu podneti.

|  |  |
| --- | --- |
| EL-SOLID-POPR | MAGN-SOLID-POPR |

Slika 3. Proračuni električnih i magnetnih polja 110 kV dalekovoda na visini 1m iznad tla

Iz rezultata se može videti da jačina električnog polja ispod elektroenergetskog voda, na visini 1 m, ne prelazi vrednosti 1,5 kV/m. Otprilike dvadesetak metara od voda električno polje pada na vrednosti ispod 0,2 kV/m. Na autocesti, električno polje je jačine između 0,2 i 0,6 kV/m. Gustina magnetnog toka ispod elektroenergetskog voda na visini 1 m ne prelazi vrednosti 10 μT. Otprilike dvadesetak metara od voda vrednost gustine magnetnog toka pada na vrednosti ispod 2 μT. Na autocesti, gustina magnetnog polja dostiže vrednosti između 1 i 3 μT. Jačina električnog polja vrednosti iznad 5,0 kV/m i gustina magnetnog toka vrednosti iznad 40 μT javlja se isključivo u neposrednoj blizini 110 kV provodnika, odnosno ispod njih. Budući da u pogonu svakako nije predviđeno zadržavanje osoblja u tom području, zbog opasnosti od visokog napona, nisu potrebne nikakve dodatne zaštitne mere, niti preporuke. Ispod visine od 5 m iznad površine zemlje vrednosti jačine električnog polja padaju ispod vrednosti 2 kV/m, a gustine magnetnog toka padaju ispod vrednosti 20 μT.

1. **Ukrštanje 400 kV i 110 kV dalekovoda**

Lokacija na kojoj se vrši proračun je mesto ukrštanja DV 400 kV i dvostrukog DV 110 kV (slike 4 i 5). Ugao preseka ova dva pravca dalekovoda je približno 105 stepeni. Kod nadzemnog 400 kV voda stub je nosni, čelično rešetkasti , tipa Y. Ima tri fazna provodnika i dva zaštitna užeta. Dvostruki nadzemni 110 kV vod prolazi ispod DV 400 kV i na tom delu linije između dva stuba nema zaštitnog užeta. Na sebi nosi dve linije sa po tri fazna provodnika. Stub je zatezni tipa jela. I ovaj stub je čelično rešetkasti. Na osnovu ovih podataka izvršeno je modelovanje elemenata u programskom paketu EFC-400, koji su obuhvaćeni mernom površinom i izvršen je proračun raspodele električnog i magnetnog polja na mestu gde se ukrštaju ovi nadzemni vodovi.

|  |  |
| --- | --- |
| DSCN0439 |  |

Slika 4. Skica terena gdje se ukrštaju 400 kV i 110 kV dalekovodi

Najmanje efektivne vrednosti električnog polja su ispod 300 V/m, a najveća proračunata efektivna vrednost električnog polja, za visinu 1 metar izna tla, iznosi 2670 V/m. Raspodela gustine magnetnog toka na visini 1 m od tla je ispod 1,4 µT, a najveća proračunata efektivna vrednost gustine magnetnog toka, za visinu 1 m izna tla, iznosi 3,299 µT.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Slika 5. Raspodela električnog polja za ukrštanje 400 kV i 110 kV dalekovoda, na visini 1 metar od tla

1. **Distributivne TS 10(20)/0,4 kV**

Na slici 6 su predstavljeni rezulti proračuna maksimalnih vrednosti jačine električnih i magnetnih polja oko projektovane TS 10(20)/0,4 kV (5x1600 kVA), u sastavu trgovačkog centra.Proračuni efektivnih vrednosti gustine magnetnih tokova provedeni su za visinu 1,5 m iznad površine tla uz maksimalno strujno opterećenje pojedinih delova opreme. Ova se opterećenja retko pojavljuju u stvarnom pogonu pa su rezultati proračuna na strani sigurnosti. Rezultati proračuna i merenja pokazuju da vrednosti jačine električnog polja ne prelaze vrednosti 0,5 kV/m, dok vrednosti gustine magnetnog toka na udaljenosti iznad 2 m su ispod 20 μT. Vrednosti su relativno niske, elementi ugrađeni u transformatorsku stanicu su oklopljeni pa je električno polje znatno niže. Budući da su proračuni rađeni s vrednostima koje su više od vrednosti koje se pojavljuju u normalnom pogonu, može se zaključiti da su proračuni na strani sigurnosti i da su očekivane jačine električnog i magnetnog polja u normalnom pogonu niže od graničnih vrednosti propisanih standardima o zaštiti od elektromagnetnih polja.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Slika 6. Proračuni električnih i magnetnih polja TS 10(20)/0,4 kV, 5x1600 kVA

1. **Vetroelektrane**

Rezultati proračuna prikazuju raspodelu gustine magnetnog toka i jačine električnog polja unutar i oko vetroelektrane koja se sastoji od 7 vetroagregata, snage 1,5MW tip LTW77-1,5, proizvođača Leitwind u programskom paketom EFC-400,na visini 1,5 m iznad tla, u 2D i 3D prikazu. Iz rezultata (slike 7 i 8) je vidljivo da jačina električnog polja već na manjim udaljenostima (oko 1-2 m) od delova postrojenja pada ispod vrednosti 0,2 kV/m, što je ispod 2,0 kV/m koliko iznosi granična vrednost za područja povećane osetljivosti. Prostor znatno širi od opisanog odvojen je stubom vetroagregata te označen posebnim znakovima upozorenja. Vrednosti električnog polja iznad 2,0 kV/m javljaju se isključivo u neposrednoj blizini opreme i to srednjenaponskog priključka na transformator gde je u normalnom pogonu onemogućen pristup. U pogonu vetroelektrane mogu se očekivati i manje vrednosti budući da će uzemljeni stub vetroagregata svojim delovanjem u obliku Faradey-evog kaveza sniziti vrednosti električnog polja na vrlo niske nivoe. Vrednosti jačine električnog polja na površini zemlje ne prelaze vrednosti iznad 1,5-2 kV/m. Veće vrednosti jačine električnog polja pojavljuju se isključivo u neposrednoj blizini provodnika koji je za vreme pogona nedostupan. Iz prikazanih rezultata proračuna vidljivo je da su vrednosti gustine magnetnog toka, isključivo u neposrednoj blizini provodnika, odnosno na udaljenosti 30 cm od provodnika, veće od graničnih vrednosti propisanih za područja profesionalne izloženosti. Na većim udaljenostima te veličine padaju na još manje vrednosti. Na površini zemlje vrednosti gustine magnetnog toka padaju na vrednosti ispod 20 μT, što je puno manje od vrednosti 40 μT propisane za područja povećane osetljivosti.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Slika7. Trodimenzionalni (3D) prikaz dispozicije postrojenja vetroelektrane u programu EFC-400

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Slika 8. Proračuni električnog i magnetnog polja na visini 1,5 m – kontinuirana raspodela u xy ravni

1. **ZAKLJUČAK**

Sigurno je da se mora razvijati strategija razvoja i organizacija zaštite od nejonizirajućih zračenja proračunom, procenom i merenjem u okolini izvora zračenja, smanjivanjem nivoa zračenja, vremenskim ograničavanjem izloženosti ljudi nejonizirajućem zračenju i primenjivati lična i uzajamna zaštita ljudi. Primenom principa predostrožnosti i normativa za ograničenje izloženosti niskofrekventnim elektromagnetnim poljima učinio bi se ogroman korak u sprečavanju bolesti, te poboljšanju i unapređenju zdravlja stanovništva. Pokretanjem predloga i donošenjem zakonskih propisa i preporuka na nacionalnom nivou o opasnostima po zdravlje, pri izlaganju niskofrekventnim elektromagnetnim poljima velike snage i dugotrajnog dejstva, najviše bi se učinilo za populaciju u celini. U radu su prezentovani proračuni nivoa električnih i magnetnih polja u skladu sa Evropskom legislativom. Proračuni su obavljeni na nekoliko različitih objekata oko kojih se pojavljuju najveći problemi u smislu otpora prema građenju. Prema istim primerima vidljivo je da se, uz pridržavanje projektanata normama i pravilnicima, mogu izbeći svi problemi vezani za povećane nivoe električnih i magnetnih polja u okolini elektroenergetske infrastrukture.

**LITERATURA**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. | H.Salkić, A.Softić, A.Muharemović, I.Turković and M.Klarić. ELECTROMAGNETIC RADIATION, Edited by Saad Osman Bashir, ISBN 978-953-51-06395, Hardcover, 288 pages, Publisher InTech, june 05,2012 under CCBY3.0 license, in subject Electrical and Electronik Engineering DOI: 10.5772/2009, Chapter 9 *“Calculation and Measurement of Electromagnetic Fields”* by H.Salkić, A.Softić, A.Muharemović, I.Turković and M.Klarić. |
| 2. | A.Muharemović, V.Madžarević, H.Salkić, I.Turković, N.Mehinović, *“Calculation of Low-frequency Magnetic Field Distribution of a Transformer Station in Stationary State”*, IREMOS-International Review on Modeling and Simulations, pp. 650-656, Vol. 2 n.6, December 2009. |
| 3. | A.Muharemović, H.Salkić, M.Klarić, I.Turković, A.Muharemović “*The Calculation of Electromagnetic Fields (EMF) in Substations of Shopping Centers“*, IJEEE-International Journal of Electronics and Electrical Engineering , pp.140-148, ISSN: 0975-4814, Vol.6, 2012. |
| 4. | H.Salkić, N.Mehinović, A.Softić *“*[*Elimination of the Influence of Electromagnetic Radiation in Transformer Station Located in the Facility“*,](javascript:show('div26A',26,'A');)IREE-International Review of Electrical Engineering, ISSN 1627-6660, Cd-Rom ISSN 1627-6679, Vol.8.N.1, February 2013. |