

Na osnovu člana 15 stav 6 Zakona o zaštiti od nejonizujućih zračenja („Službeni list CG“, broj 35/13) Ministarstvo održivog razvoja i turizma, donijelo je

## **PRAVILNIK O NAČINU PRVIH I PERIODIČNIH MJERENJA NIVOVA ELEKTROMAGNETNIH POLJA**

### **Predmet Član 1**

Ovim pravilnikom propisuje se način prvih i periodičnih mjerenja nivoa elektromagnetnih polja, kriterijumi za utvrđivanje učestalosti periodičnih mjerenja, sadržaj i obrazac izvještaja o izvršenim prvim i periodičnim mjerenjima.

### **Način mjerenja Član 2**

Prva i periodična mjerenja nivoa elektromagnetnih polja vrše se u skladu sa standardom MEST EN 50413:2011 „Osnovni standard za procedure mjerenja i kalkulacije izloženosti ljudi električnim, magnetnim i elektromagnetnim poljima (0 Hz - 300 GHz)“.

Mjerenje relevantnih fizičkih veličina za elektromagnetna polja frekvencije 50 Hz, koja generišu elementi elektroenergetskog sistema, vrši se u skladu sa Prilogom 1 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Mjerenje relevantnih fizičkih veličina za elektromagnetna polja frekvencije između 9 kHz i 300 GHz, koja generišu radio stanice radiokomunikacionih sistema, vrši se u skladu sa Prilogom 2 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Ukoliko se na istoj lokaciji nalaze izvori elektromagnetnih polja više operatora, operatori mogu izvršiti zajednička periodična mjerenja nivoa elektromagnetnih polja u okolini izvora sa učestalošću u skladu sa članom 3 ovog pravilnika.

### **Kriterijumi za utvrđivanje učestalosti periodičnih mjerenja Član 3**

Učestalost periodičnih mjerenja utvrđuje se na osnovu sljedećih kriterijuma:

1) mjerenje se vrši jedanput svake četvrte kalendarske godine ako pri prvom mjerenju u odabranim tačkama u okolini izvora izmjerene vrijednosti ne prelaze 10% propisanih vrijednosti upozorenja za elektromagnetna polja date frekvencije, odnosno ako ukupni nivo zračenja koje kumulativno generišu svi izvori ne prelazi 10% dozvoljene vrijednosti;

2) mjerenje se vrši jedanput svake druge kalendarske godine ako pri prvom mjerenju u odabranim tačkama u okolini izvora izmjerene vrijednosti iznose između 10% i 50% propisanih vrijednosti upozorenja za elektromagnetna polja date frekvencije, odnosno ako ukupni nivo zračenja koje kumulativno generišu svi izvori iznosi između 10% i 50% dozvoljene vrijednosti;

3) mjerenje se vrši jedanput godišnje ako pri prvom mjerenju u odabranim tačkama u okolini izvora izmjerene vrijednosti prelaze 50% propisanih vrijednosti upozorenja za elektromagnetna polja date frekvencije, odnosno ako ukupni nivo zračenja koje kumulativno generišu svi izvori prelazi 50% dozvoljene vrijednosti.

Periodično mjerenje nivoa elektromagnetnog polja u okolini izvora sprovodi se sa povećanom učestalošću u skladu sa stavom 1 ovog člana, ako se na lokaciji izvora elektromagnetnih polja za koje je izdata dozvola za korišćenje pusti u rad novi izvor koji povećava utvrđenu učestalost periodičnih mjerenja.

#### **Izveštaj o izvršenim prvim i periodičnim mjerenjima Član 4**

Izveštaj o izvršenim prvim i periodičnim mjerenjima nivoa elektromagnetnih polja sadrži naročito podatke o:

- 1) ovlašćenom stručnom licu koje vrši mjerenja (naziv, broj dozvole);
- 2) podnosiocu zahtjeva za mjerenje (naziv, djelatnost);
- 3) mjernom mjestu (naziv lokacije, adresa, opština, geografske koordinate u WGS84 formatu, nadmorska visina terena, tip lokacije, situacioni plan i grafički prikaz mjernih tačaka);
- 4) datumu i vremenu mjerenja;
- 5) meteorološkim uslovima tokom trajanja mjerenja (temperatura i vlažnost vazduha);
- 6) mjernoj opremi (tip, proizvođač, mjerni opseg, datum zadnje kalibracije),
- 7) mjerenim veličinama i metodi mjerenja;
- 8) rezultatima pojedinačnih mjerenja;
- 9) procjeni mjerne nesigurnosti;
- 10) analizi dobijenih rezultata mjerenja i njihovom upoređivanju sa referentnim nivoima;
- 11) licu koje je izvršilo mjerenje i licu koje je odgovorno za analizu i vrjednovanje dobijenih rezultata mjerenja.

Izveštaj o izvršenim prvim mjerenjima nivoa elektromagnetnih polja za stacionarni izvor koji uobičajeno radi snagom manjom od nominalne (elektroenergetski objekti), pored podataka iz stava 1 ovog člana, treba da sadrži dijagrame dnevnih i nedjeljnih opterećenja izvora.

Izveštaj iz stava 1 ovog člana sačinjava se na Obrascu koji je sastavni dio ovog pravilnika.

#### **Stupanje na snagu Član 5**

Ovaj pravilnik stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u „Službenom listu Crne Gore“.

Broj: 09-635/57  
Podgorica, 18. septembra 2015. godine

**MINISTAR,**  
**Branimir Gvozdenović**

## MJERENJE RELEVANTNIH FIZIČKIH VELIČINA ZA ELEKTROMAGNETNA POLJA FREKVENCije 50 Hz KOJA GENERIŠU ELEMENTI ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

### 1. OPŠTI ASPEKTI MJERENJA

Električno i magnetno polje industrijske učestanosti od 50 Hz dostiže značajne vrijednosti samo u blizini visokonaponskih elemenata elektroenergetskog sistema.

Procedure i preporuke za mjerenje komponenti elektromagnetnog polja ispod dalekovoda, primjenjuju se i na mjerenje komponenti elektromagnetnog polja koje generišu ostali elementi elektroenergetskog sistema (elektrane, transformatorske stanice, rasklopna postrojenja, konvertorska postrojenja i dr.).

#### 1.1. ELEKTRIČNO I MAGNETNO POLJE KOJE STVARA PRENOSNA ELEKTROENERGETSKA MREŽA

Vektori električnog i magnetnog polja koja generišu trofazni nadzemni vodovi rotiraju u prostoru i vrh vektora opisuje elipsu (vektori eliptično polarizovanog polja), a oblik elipse varira između kruga (kružna polarizacija) i prave linije (linearna polarizacija), u zavisnosti od pozicije mjerne tačke u odnosu na provodnike voda i u zavisnosti od vrste polja, tj. da li se radi o električnom ili magnetnom polju.

Ravan elipse je uvijek normalna na pravac provodnika nadzemnog voda.

Električno polje na nivou zemlje je linearno polarizovano duž pravca normalnog na površinu zemlje, sa zanemarljivom horizontalnom komponentom.

Ispod provodnika nadzemnog voda, između 0 i 2m iznad zemlje, vertikalna komponenta električnog polja je dominantna i vrlo malo varira sa visinom, odnosno uniformna je duž longitudinalnog profila, dok njena vrijednost varira duž lateralnog profila.

Ravan zemlje ne utiče na magnetno polje koje generiše nadzemni vod, pa njegova magnituda i vektor polarizacije polja zavise samo od rastojanja od provodnika, a ne i od rasporeda provodnika u prostoru.

Uticaj indukovanih struja u zemlji na distribuciju magnetnog polja je vrlo mali u blizini provodnika nadzemnog voda, dok je na većim udaljenostima taj uticaj značajniji i mora se uzeti u obzir.

Visoke vrijednosti električnog polja na nivou zemlje mogu se pojaviti samo u blizini elemenata elektroenergetske prenosne mreže, a interpretacija rezultata mjerenja električnog polja je vrlo jednostavna, pošto je izvor polja vrlo lako identifikovati.

Pri mjerenju magnetnog polja industrijske učestanosti više izvora može doprinijeti izmjerenoj vrijednosti, što može otežati interpretaciju mjernih rezultata.

## 1.2. MJERNI INSTRUMENTI

### Karakteristike mjernih sondi

Instrumenti za mjerenje električnog i magnetnog polja sastoje se od senzorskog uređaja (sonde) i jedinice koja određuje (i prikazuje na displeju) efektivnu (RMS) vrijednost polja.

Sonde mogu biti troosne ili jednoosne.

Mjerni instrument sa troosnim tipom sonde mjeri RMS vrijednost polja istovremeno duž tri ortogonalne ose i određuje rezultantno polje  $F$  prema jednačini (1):

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (1)$$

gdje je:

$F$  - rezultantno polje koje je jednako RMS vrijednosti eliptičnog polja u mjernoj tački,  
 $F_x, F_y, F_z$  - RMS vrijednosti tri ortogonalne komponente polja u mjernoj tački.

Prikazana vrijednost rezultantnog polja je zbog toga nezavisna od orijentacije sonde u prostoru.

Mjerni instrument može prikazati odvojeno  $x$ ,  $y$  i  $z$  komponente jačine električnog i magnetnog polja, bilo u apsolutnim ili procentualnim iznosima, što olakšava shvatanje i identifikaciju izvora polja (posebno za mjerenja magnetnog polja).

Neki mjerni instrumenti daju informaciju o polarizaciji polja, što može biti značajno za ispravnu interpretaciju rezultata mjerenja.

Ako se prilikom mjerenja koristi jednoosna sonda, rezultantno polje se može dobiti preko jednačine (1), mjerenjem polja duž tri ortogonalna pravca, bez pomjeranja centra sonde.

Mjerenje jednoosnom sondom duž tri ortogonalna pravca nije simultano, što može uticati na izmjerene vrijednosti, ako se polje značajno mijenja u toku vremena, što je čest slučaj sa magnetnim poljem koje generišu distributivne i prenosne mreže i elementi.

Pored toga, treba napomenuti da nije lak zadatak da se sonda precizno postavi u tri ortogonalna pravca bez upotrebe pomoćnog uređaja koji će sondu precizno rotirati za  $90^\circ$ .

Jednoosna sonda se može koristiti za nalaženje RMS vrijednosti glavne i minorne ose elipse polarizovanog polja i tako se dobija kompletan opis polja u zoni od interesa sa minimalnim i maksimalnim vrijednostima i njihovoj orijentaciji u ravni elipse.

Ako je od značaja samo horizontalna ili vertikalna komponenta za posebnu potrebu, jednoosna sonda takođe može biti upotrijebljena.

U odnosu na opšti cilj provjere ispunjenosti smjernica za izloženost ljudi, mjerenje pojedinih  $x$ ,  $y$ ,  $z$  komponenti električnog i magnetnog polja je rijetko potrebno.

## Kalibracija instrumenta

Da bi se obezbijedila tačnost i upotrebljivost rezultata mjerenja, mjerni instrumenti se moraju periodično kalibrisati (u skladu sa preporukama proizvođača ili prema postupcima za izvođenje kontrole kvaliteta).

## Imunost na smetnje

Na mjerač električnog polja ne smije značajno uticati magnetno polje industrijske učestanosti magnetne indukcije do 1mT, tj. uticaj magnetnog polja na pokazivanje mjerača mora biti manji od 1 V/m, a u slučaju istovremenog djelovanja magnetnog polja magnetne indukcije iznad 1mT, prihvatljiva greška mjerenja mjernog uređaja, izazvana interferencijom magnetnog polja, treba da bude 1% očitane vrijednosti + 1 V/m.

Na mjerač magnetnog polja ne smije značajno uticati električno polje industrijske učestanosti jačine do 20 kV/m, tj. uticaj električnog polja na pokazivanje mjerača treba da bude manji od 0,02μT, a u slučaju istovremenog djelovanja električnog polja jačine iznad 20 kV/m, prihvatljiva greška mjerenja mjernog uređaja, izazvana interferencijom električnog polja, treba da bude 1% očitane vrijednosti + 0,02 μT.

## Mjerna nesigurnost

Mjernu nesigurnost je potrebno procijeniti u skladu sa odgovarajućim međunarodno prihvaćenim standardom, uz uzimanje u obzir svih veličina koje mogu uticati na tačnost mjernih rezultata.

Procijenjena mjerna nesigurnost se navodi u izvještaju o izvršenim mjerenjima.

## 1.3. NAČIN MJERENJA

Granice izlaganja ljudi električnom i magnetnom polju ekstremno niske učestanosti date su u obliku efektivnih (RMS) vrijednosti neometanog polja zbog čega mjerenje treba da bude izvršeno sa takvim vrijednostima i u takvim uslovima.

### Efektivna vrijednost (*Root-Mean-Square - RMS*)

Efektivna ili srednje kvadratna (RMS) vrijednost matematički se definiše jednačinom (2):

$$\text{RMS vrijednost} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} \quad (2)$$

gdje je  $x(t)$  signal promjenjiv u vremenu, a  $T$  je period harmonijskog signala.

### Neometano polje

Električno polje se može vrlo lako deformisati prisustvom provodnih objekata, čak i ako su ti objekti loši električni provodnici (drveće, ograde, vegetacija, zgrade itd).

Provodni objekti imaju direktan uticaj na jačinu električnog polja i taj uticaj se uzima u obzir kad je potrebna precizna procjena izloženosti.

Bez obzira na svrhu mjerenja (karakterizacija izlaganja lica na nekoj lokaciji ili karakterizacija emisije nadzemnog voda), mjerenje električnog polja treba da se vrši u uslovima neometanog polja (*unperturbed field*).

Kada se mjerenje vrši u cilju karakterizacije izlaganja lica (*immission*), izraz "neometano polje" treba shvatiti kao "polje u odsustvu pokretnih objekata ili lica", a kada se mjerenja vrše u cilju karakterizacije emisije (*emission*), izraz "neometano polje" treba shvatiti kao "polje u odsustvu bilo kojih pokretnih ili nepokretnih objekata ili lica".

### **Lateralni profil**

Lateralni profil je profil polja normalan na pravac linije.

U slučaju kada je nadzemna linija simetrična a teren ispod nje ravan, lateralni profil polja treba da bude određen od centra linije do zadate udaljenosti od krajnjeg provodnika.

Mjerenja komponenti elektromagnetnog polja vrše se na zadatoj visini iznad zemlje, od ose linije prema krajnjem provodniku.

Osa profila treba da bude izabrana u prostoru u kojem nema prepreka, ali koji je reprezentativno mjesto za procjenu izloženosti.

Intervali između mjernih tačaka treba da budu prilagođeni željenom nivou informacija: ispod linije se primjenjuju kraći intervale (npr. 1-2 m) za karakterizaciju lokalnih promjena polja, dok su na većoj udaljenosti od centra linije primjenjuju duži intervale (npr. 5m).

U slučaju kada nadzemna linija nije simetrična u odnosu na centralnu liniju zbog geometrije/rasporeda faza (faze nisu izvedene simetrično) ili zbog profila terena ili zbog postojanja više kola, lateralni profil polja treba da bude određen kompletno polazeći od jedne strane linije (obično desetak metara od krajnjeg provodnika) idući prema suprotnoj strani.

### **Longitudinalni profil**

Longitudinalni profil je profil polja paralelan sa linijom.

Mjerenje u longitudinalnom profilu vrši se kako bi se pokazalo kako polje opada kada se sonda pomjera od mjesta gdje je visina provodnika iznad zemlje najmanja prema krajnjim tačkama raspona, a alternativno, longitudinalni profil se koristi za iznalaženje poprečnog presjeka sa maksimalnim vrijednostima polja.

### **Zapisivanje vremena mjerenja**

U toku kampanje mjerenja oko viskonaponske opreme (tipično nekoliko minuta do polovine dana), električno polje ne varira mnogo, pošto ono zavisi od visine provodnika i napona, koji može imati samo vrlo male varijacije, a zapisivanje preciznog vremena za svaku pojedinačnu mjernu tačku električnog polja nije neophodno.

Promjena struje u provodnicima (koja zavisi od opterećenja voda) u toku vremena mijenja vrijednost magnetnog polja, bilo da se radi o mjerenju lateralnog ili longitudinalnog profila polja iz kog razloga je za pravilnu interpretaciju rezultata mjerenja veoma važno zapisivati vrijeme sprovođenja mjerenja.

## **Zapisivanje faktora okoline**

Temperatura vazduha, vjetar i temperatura provodnika utiču na ugib provodnika, pa prema tome i na visinu provodnika iznad zemlje.

Mjerenja električnog i magnetnog polja u svakoj pojedinačnoj tački mogu se razlikovati od slučaja do slučaja, u zavisnosti od temperature provodnika i njegove visine, zbog čega se zapisuju vremenski uslovi i parametri, naročito kad treba izvršiti upoređivanje sa rezultatima proračuna.

## **2. MJERENJE ELEKTRIČNOG POLJA**

### **2.1. PROTOKOL MJERENJA ELEKTRIČNOG POLJA**

#### **Instrumenti za mjerenje električnog polja**

Instrumenti za mjerenje električnog polja su sastavljeni iz dva glavna dijela: sonde i jedinice sa displejom.

Sonda i jedinica sa displejom se napajaju iz baterije i u većini slučajeva su povezani optičkim vlaknom, što omogućava da se ograniči uticaj operatora na polje koje se mjeri.

Za mjerenje jačine električnog polja koriste se jednoosne i troosne sonde.

Jednoosna sonda može se koristiti samo kad se mjeri električno polje na nivou zemlje.

Ako se mjere obje komponente polja sa jednoosnim instrumentom, sračunato rezultantno polje treba da bude isto kao polje dobijeno troosnim instrumentom.

#### **Pozicija sonde u prostoru- rastojanje od operatora i bliskih objekata**

Mjerenja električnog polja treba da budu izvršena na visini koja odgovara izlaganju ljudskog tijela, a ta visina je obično 1 m ili 1,5m od zemlje, što odgovara visini grudi.

Stvarna visina mjerne tačke treba da bude zapisana u protokolu mjerenja, a operator treba da bude pozicioniran na udaljenosti od najmanje 1,5m (a preporučljivo je 3m) od mjerne sonde, da bi se ograničili uticaji blizine operatera na mjerenje.

Detaljne informacije o mogućoj grešci mjerenja zbog efekta blizine date su u poglavlju 2.2 ovog priloga.

Za procjenu zračenja elektroenergetskog voda, lokacija mjerenja treba da bude ravna i bez drveća, visoke trave ili žitarica, ograda, zgrada i dr., a svi pokretni objekti se moraju ukloniti kad god je to moguće, a ako nije moguće, onda rastojanje sonde i objekta treba da bude jednako najmanje trostrukoj visini pokretnog objekta ili 1 m za stalni objekat.

Objekte koji se ne mogu pomjerati treba navesti u izvještaju i prikazati njihove dimenzije i lokaciju.

## **Nosač sonde**

Da bi se osigurala konstantna visina sonde iznad zemlje, sonda mjerila polja treba da bude postavljena na izolovani stalak, koji ne utiče na rezultat mjerenja.

Sonda postavljena na štap od neprovodnog materijala koji operater drži u ruci daje prihvatljiv rezultat ako je štap duži od 1,5 m, a takva mjerenja su manje tačna i manje pouzdana sa aspekta pozicije i visine sonde.

Takođe, treba napomenuti da je izolovani stalak jedan od glavnih izvora grešaka mjerenja električnog polja.

Detaljne informacije o mogućoj grešci mjerenja uzrokovanoj nepravilnim postavljanjem sonde su date u poglavlju 2.2 ovog priloga.

## **Mjerenje lateralnog i longitudinalnog profila**

Da bi se obezbijedilo da sve mjerne tačke budu zapisane, profil polja se crta u realnom vremenu.

Vrijeme u kome je mjerenje izvršeno treba da bude zapisano, radi uspostavljanja korelacije sa vrijednošću parametara nadzemnog voda koje registruju dispečerski centar ili operator mreže.

S obzirom da električno polje koje generišu dalekovodi ima malu varijaciju u vremenu, srednja vrijednost struje dalekovoda u periodu vršenja mjerenja je generalno dovoljna za ekstrapolaciju na veće i niže vrijednosti struje provodnika.

## **2.2. USLOVI MJERENJA ELEKTRIČNOG POLJA**

Karakteristike viskonaponske linije zapisuju se radi poređenja rezultata mjerenja i proračuna.

Mjerenje jačine električnog polja zahtijeva značajnu pažnju pošto na rezultat mjerenja mogu uticati sljedeći faktori:

- tačnost i stabilnost mjernog instrumenta;
- efekat blizine operatora;
- uticaj stalka;
- vlažnost i temperatura vazduha;
- učestanost harmonika izvora polja;
- neuniformnost polja; i
- uticaj korone.

### **Tačnost i stabilnost mjernog instrumenta**

Za povećanje tačnosti mjerenja, na rezultat mjerenja treba primijeniti korekcionni faktor dobijen na osnovu podataka iz sertifikata kalibracije.



## **Efekat blizine operatora**

Mjerenje jačine električnog polja industrijske učestanosti treba da se izvrši na takav način da se interakcija sonde i operatora, odnosno objekata lociranih blizu sonde snizi na prihvatljivi nivo.

Pri udaljenosti operatora od sonde od 1,5 m na visini mjerenja od 1 m unosi se dodatna netačnost rezultata manja od 5%, dok se pri rastojanju od 3 m unosi greška manja od 1%.

## **Uticao stalka**

Mjerenje električnog polja može biti ometano prisustvom izolacionog stalka postavljenog na zemlju ako se na njega postavi mjerni instrument.

U cilju otklanjanja uticaja blizine stalka na rezultat mjerenja električnog polja mjerni instrument treba pomjeriti dalje od vertikalne ose stalka na rastojanje od najmanje 0,5m.

Na mjerenje električnog polja može uticati materijal od kojeg je urađen stalak, kao i geometrija stalka, pa se preporučuje korišćenje stalka tipa tripod-tronožac, izrađenog od električno neprovodnog materijala, čija se permeabilnost značajno ne razlikuje od permeabilnosti vazduha.

Kako bi se uzeo u obzir uticaj stalka na rezultat mjerenja električnog polja primjenjuje se odgovarajući korekcionni faktor ili uključuje dodatna mjerna nesigurnost.

## **Vlažnost i temperatura vazduha**

Ne očekuje se da vlažnost utiče na raspodjelu električnog polja, ali laboratorijski testovi su demonstrirali da ona može da utiče na mjerni sistem u slučaju kad je vlažnost dovoljna da prouzrokuje kondenzaciju na senzoru i na stalku.

Uzimajući u obzir relativno veliku osjetljivost drveta na vlagu, primjenu drvenog stalka treba izbjegavati u uslovima visoke vlažnosti.

Testovi u klimatskoj sobi su pokazali da na očitavanje jačine električnog polja može značajno da utiče relativna vlažnost vazduha veća od 70%.

U slučaju kad se koristi dodatna palica za horizontalno pomjeranje sonde od stalka, amplituda greške mjerenja izazvana efektom vlažnosti se značajno smanjuje.

U toku laboratorijskih testova utvrđeno je da je jačina električnog polja mjerena u uslovima visoke vlažnosti uvijek veća od korektne (stvarne) vrijednosti i takva mjerenja su održiva i prihvatljiva za provjeru usaglašenosti sa graničnim vrijednostima.

U slučaju kad se zahtijeva tačno mjerenje, preporučljivo je da se ono ne izvodi pri visokoj vlažnosti vazduha.

Treba omogućiti da se temperatura ambijenta značajno ne razlikuje od temperature pri kojoj je izvršena kalibracija mjernog instrumenta.

Na mjernom instrumentu treba da bude specificiran opseg temperature i vlažnosti pri kojima se postiže deklarirana tačnost instrumenta.

## **Učestanost harmonika naizmjeničnog izvora polja**

Kada je potrebno procijeniti sadržaj harmonika polja, neophodno je da se koristi mjerni instrument koji ima mogućnost mjerenja harmonika.

## **Neuniformnost polja**

Budući da je mjerni instrument kalibrisan u uniformnom polju, greška se može pojaviti u slučaju kada se mjerni instrument koristi u neuniformnom polju, odnosno kada su provodni i dielektrični objekti blizu tačke mjerenja.

Relativno odstupanje između izmjerenog polja i stvarnog polja u centru mjerila može se zanemariti ako je rastojanje od provodnih i dielektričnih objekata najmanje pet puta veće od dijagonale sonde.

## **Uticao korone**

Korona formira jonizaciju u oblasti oko provodnika koji se nalazi pod visokim naponom, pa ekvivalentni prečnik provodnika postaje veći i kao posljedica toga, električno polje na nivou zemlje blago raste sa intezitetom korone.

Korona je više izražena u slučaju jednog provodnika po fazi, nego kada fazu formira snop provodnika, gdje ekvivalentni prečnik varira sa kvadratnim korijenom prečnika pojedinih provodnika, a takav uticaj je vrlo težak za istraživanje, jer se korona pojavljuje u uslovima visoke vlažnosti, magle i kiše, pa je u takvim uslovima mjerenje netačno.

## **3. MJERENJE MAGNETNOG POLJA**

### **3.1. PROTOKOL MJERENJA MAGNETNOG POLJA**

#### **Instrumenti za mjerenje magnetnog polja**

Instrumenti za mjerenje magnetnog polja sastoje se od senzorskog uređaja (sonde) i jedinice sa displejom na kome se prikazuje efektivna (RMS) vrijednost polja.

Sonde za mjerenje magnetnog polja su najčešće napravljene od jednog kalema od provodne žice ili od grupe od tri kalema, koji daju tačan rezultat, ali mogu da mjere samo naizmjenično (AC) polje.

Sonde zasnovane na *Hall*-ovom efektu mogu mjeriti oba polja: naizmjenično (AC) i jednosmjerno (DC) magnetno polje, njihova osjetljivost je niska i zahtijevaju posebnu pažnju (redovno resetovanje i kalibraciju), pa njihova primjena za mjerenje AC magnetnih polja ispod dalekovoda nije preporučljiva.

#### **Položaj sonde u prostoru – rastojanje od operatora i susjednih objekata**

Mjerenja magnetnog polja treba da budu izvršena na pozicijama koje su reprezentativne za sagledavanje izlaganja ljudskog tijela.

Obično se mjerna sonda pozicionira na visini 1 m ili 1,5 m iznad zemlje, kako bi se mjerenje sprovedo u visini grudi, a stvarna visina na koju se pozicionira sonda treba da bude zapisana u protokol mjerenja.

Prisustvo operatora ne utiče na magnetno polje ekstremno niske učestanosti.

Većina instrumenata za mjerenje magnetnog polja može se držati u ruci, a većina objekata koja mogu perturbirati električno polje, ne utiču na magnetno polje ekstremno niske učestanosti.

Metalni objekti, a posebno feromagnetni materijali mogu uticati na raspodjelu magnetnog polja, zbog čega mobilni metalni objekti treba da budu pomjereni prije početka mjerenja.

### **Nosač sonde**

Primjena nosača sonde nije potrebna za mjerenje magnetnog polja ekstremno niske frekvencije.

Nosač sonde može pomoći za precizno pozicioniranje sonde u prostoru kada je to potrebno.

Isti tipovi izolacionih nosača za mjerenje električnog polja mogu se koristiti i prilikom mjerenja magnetnog polja, ali mjere predostrožnosti potrebne za električno polje (tj. upozorenje na vlažnost) nijesu neophodne pri mjerenju magnetnog polja.

### **Mjerenje lateralnog i longitudinalnog profila**

Specijalno projektovani uređaji za mjerenje lateralnog i longitudinalnog profila uključuju točak koji daje informaciju o poziciji mjernog instrumenta koja se snima zajedno sa informacijom o magnetnom polju i mjere polje na fiksnoj visini iznad zemlje, koja se može razlikovati od uobičajne ili specificirane visine mjerenja, pa se o tome mora voditi računa.

Zbog promjene struje koja protiče kroz provodnike dalekovoda i distributivnog sistema, od izuzetne važnosti je zapisivati vrijeme mjerenja, posebno kada se snima lateralni ili longitudinalni profil polja.

Nakon završetka mjerenja potrebno je da se od operatora mreže dobiju podaci o strujama dalekovoda u trenucima mjerenja za svaku mjernu tačku.

Informacije operatora mreže ne mogu biti dovoljne ako je vremenski interval registrovanja opterećenja duži od intervala očitavanja polja u pojedinim mjernim tačkama.

U slučaju kada nije moguće dobiti precizne podatke o strujama dalekovoda koriste se dva sinhronizovana mjerna uređaja, od kojih se jedan postavlja na fiksnoj poziciji na kojoj na polje ne utiču drugi izvori (pa se tako mjeri promjena struje dalekovoda) i drugog koji se pomjera duž profila.

Poređenje dva simultana mjerenja omogućava direktnu korekciju mjerenja duž profila u zavisnosti od promjene struje.

U slučaju dvosistemskih dalekovoda ili kad u koridoru ima više dalekovoda posebna pažnja se mora obratiti na korelaciju sa promjenama u strujama (magnituda, faza i smjer) u ovim dalekovodima, koja je teorijski moguća, ali praktično je vrlo teško izvršiti odgovarajuću korekciju.

## **Mjerenje harmonika**

Sadržaj harmonika u struji dalekovoda je normalno mali, dok harmonici u distributivnom sistemu mogu biti više izraženi.

Da bi se uzeo u obzir uticaj harmonika na rezultat mjerenja magnetnog polja potrebno je na mjernom instrumentu podesiti propusni opseg koji omogućava da se mjere najviši značajni harmonici, a propusni opseg oko 1 kHz je pogodan za većinu situacija.

S obzirom da su referentni nivoi relevantnih fizičkih veličina frekvencijski zavisni, pri mjerenju magnetnog polja sa sadržajem viših harmonika moraju se uzeti u obzir svi pojedinačni harmonici, primjenom filtriranja u širokom opsegu.

### **3.2. MJERENJA MAGNETNOG POLJA**

Pri mjerenju magnetnog polja posebna pažnja se mora posvetiti promjeni struje dalekovoda, ako je trajanje mjerenja dugo.

Mnogi parametri koji utiču na mjerenje električnog polja nijesu značajni kada se vrši mjerenje magnetnog polja, kao što su efekat blizine operatera ili uticaj stalka.

Na tačnost mjerenja magnetnog polja mogu uticati sljedeći faktori:

- pomjeranje sonde;
- vremenska konstanta mjernog instrumenta;
- tačnost i stabilnost mjernog instrumenta;
- neuniformnost raspodjele magnetnog polja; i
- ne-ortogonalnost i relativna pozicija kalema sonde.

#### **Pomjeranje sonde**

Sonde magnetnog polja su osjetljive na brzo pomjeranje ili vibracije u statičkom magnetnom polju zemlje.

Za tačno mjerenje magnetnog polja preporučuje se da se mjerni instrument prije očitavanja drži na statičnoj poziciji nekoliko sekundi.

#### **Vremenska konstanta mjernog instrumenta**

Nagle promjene polja kojem je izložena sonda može dovesti do nekorektne evaluacije rezultata mjerenja zbog vremenske konstante mjernih kola instrumenta.

Pogrešno očitavanje mjernog instrumenta može se pojaviti, ako se pokazivanje instrumenta očita odmah nakon postavljanja sonde u jako polje ili ako je pokazivanje instrumenta očitano odmah nakon pomjeranja sonde u toku mjerenja u profilu.

Pogrešno očitavanje može se pojaviti i kao posljedica promjene polja izazvane brzom fluktuacijom opterećenja u odnosu na brzinu odziva mjernog instrumenta.

Na mjernom instrumentu treba da bude specificirana vremenska konstanta.

## **Tačnost i stabilnost mjernog instrumenta**

Da bi se poboljšala tačnost mjerenja magnetnog polja može se izvršiti korekcija rezultata mjerenja na osnovu podataka iz sertifikata kalibracije.

## **Neuniformnost raspodjele magnetnog polja**

Kad je jako izražena neuniformnost magnetnog polja (blizu nepokretnih feromagnetnih objekata), može se pojaviti *usrednjena greška* mjerenja zbog dimenzija sonde u odnosu na varijaciju polja u prostoru, ali ako je sonda dovoljno daleko od objekta (najmanje 1m), ova greška se može smatrati zanemarljivom.

## **Ne-ortogonalnost i relativna pozicija kalema sonde**

Ne-ortogonalnost tri jednoosna kalema, *cross-talk* i razlika njihove osjetljivosti može dovesti do dodatne netačnosti, koja se može kvantifikovati u toku kalibracije, a za održavanje te greške na konstantnom nivou tokom mjerenja, preporučuje se da se mjerni instrument uvijek drži u istoj orijentaciji u odnosu na dalekovod.

Kada je polje jako neuniformno, odnosno kada mjerenje magnetnog polja treba da bude izvršeno u blizini izvora, do značajne greške mjerenja može doći kada tri ortogonalna kalema nijesu koncentrična, što u slučaju mjerenja magnetnog polja dalekovoda nikada nije slučaj.

## MJERENJE RELEVANTNIH FIZIČKIH VELIČINA ZA ELEKTROMAGNETNA POLJA FREKVENCije IZMEĐU 9 KHz i 300 GHz KOJA GENERIŠU RADIO STANICE RADIOKOMUNIKACIONIH SISTEMA

### 1. OPŠTE INFORMACIJE O METODI MJERENJA RELEVANTNIH FIZIČKIH VELIČINA ZA ELEKTROMAGNETNA POLJA FREKVENCije IZMEĐU 9 KHz i 300 GHz, KOJA GENERIŠU RADIO STANICE RADIOKOMUNIKACIONIH SISTEMA

#### 1.1. POJMOVI I DEFINICIJE

##### Daleka zona i bliska zona zračenja (radijaciona i indukciona zona)

Komponente elektromagnetnog polja slabe sa porastom rastojanja od antene  $r$ , a s obzirom da su realne antene po dužini ili visini reda talasne dužine elektromagnetnog talasa  $\lambda$ , ili manje od  $\lambda$ , razlikujemo dva karakteristična slučaja i to:

- ukoliko je  $r \ll \lambda$ , tada govorimo o **bliskoj zoni zračenja** (*engl. radiating near-field region*),
- ukoliko je  $r \gg \lambda$ , tada govorimo o **dalekoj zoni zračenja** (*engl. radiating far-field region*).

Daleka zona zračenja antene (*Fraunhofer-ov region*) je zona polja antene u kojem je raspodjela ugaonog polja skoro nezavisna od udaljenosti od antene, u toj zoni polje ima karakter ravninskog talasa, a granica zone je pri udaljenosti od antene od  $r > 2D^2/\lambda$ , gdje je  $D$  najveća dimenzija antene.

Bliska zona zračenja antene je područje locirano blizu antene, gdje električno i magnetno polje nemaju postojani karakter ravninskog talasa, nego značajno variraju od tačke do tačke.

Pojam "bliska zona zračenja" nema preciznu definiciju, a i razlikuju se od značenja za velike i male antene.

Bliska zona zračenja je podijeljena u podzone: bliska zona zračenja i reaktivna bliska zona, koja je najbliža anteni i sadrži skoro svu energiju emitovanu sa antene.

U slučaju da je najveća dimenzija antene mala u poređenju sa talasnom dužinom, radijaciona bliska zona može i da ne postoji.

Za antene koje imaju veliku talasnu dužinu bliska zona zračenja se nekad naziva i *Fresnel-ov region*.

##### Efektivna vrijednost (*Root-Mean-Square- RMS*)

Efektivna ili srednje kvadratna (RMS) vrijednost matematički se definiše jednačinom (1):

$$\text{RMS vrijednost} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 dt} \quad (1),$$

gdje je  $x(t)$  signal promjenjiv u vremenu, a  $T$  je period harmonijskog signala.

## Vršna vrijednost

Vršna vrijednost odgovara maksimalnoj pozitivnoj vrijednosti funkcije.

## Srednja vrijednost

Srednja vrijednost se matematički definiše jednačinom (2):

$$\bar{x} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2)$$

Srednja vrijednost ne obezbjeđuje dovoljno informacija koje se mogu upotrijebiti u razlikovanju dvije pojave, koje, iako imaju istu srednju vrijednost, mogu biti ukupno drugačije kad se posmatraju u vremenu.

## 1.2. PRIMJERI EMISIJA U FREKVENCIJSKOM PODRUČJU 9 kHz DO 300 GHz

Primjeri emisija u frekvencijskom području 9 kHz do 300 GHz date su u tabeli 1:

Tabela 1

Oznaka	Frekvencijski opseg (donja granica nije uključena, gornja granica uključena)	Primjena
VLF	9 do 30 kHz	indukciono zagrijavanje
LF	30 do 300 kHz	industrijsko indukciono zagrijavanje, AM radio-difuzija, predajnici koji daju tačno vrijeme
MF	300 do 3 000 kHz	AM radio, industrijsko indukciono zagrijavanje
HF	3 do 30 MHz	Radio-difuzija, radio amateri, oružane snage
VHF	30 do 300 MHz	PMR, TV, oružane snage, radio amateri, FM radio-difuzija, aeronautički servisi
UHF	300 MHz do 3 000 MHz	TV, GSM, DCS, DECT, UMTS, Bluetooth, zemaljske stanice, radari
SHF	3 do 30 GHz	radari, WLL, zemaljske stanice, mikrotalasne veze
EHF	30 do 300 GHz	radari, mikrotalasne veze

## 1.3. OPŠTIASPEKTI MJERENJA

### Električna i magnetna polja

Elektromagnetna polja mogu se podijeliti na dvije komponente: električno polje E (mjereno u V/m) i magnetno polje H (mjereno u A/m).

E-polje i H-polje su matematički međuzavisni u dalekoj zoni zračenja antene, što znači da je dovoljno mjeriti samo jednu komponentu, na primjer ako u dalekoj zoni zračenja mjerimo H-polje, onda E-polje, kao i gustinu snage  $S$  [W/m<sup>2</sup>], možemo izračunati prema jednačini (3):

$$E = H \times Z_0, \quad S = H^2 \times Z_0 \quad (3), \quad \text{znajući da je } Z_0 = 377\Omega$$

U bliskoj zoni zračenja, H-polje i E-polje treba da se mjere odvojeno.

Kako se mjerenje obično vrši u dalekoj zoni zračenja antene, onda se mjeri samo jačina električnog polja.

Magnetno polje se računa korišćenjem unutrašnje vrijednosti impedanse slobodnog prostora koja je poznata i iznosi  $Z_0 = 377\Omega$ .

Ukoliko su i električno i magnetno polje značajno manji od najstrožijeg referentnog nivoa, onda je i gustina snage takođe manja.

Komponenta koju treba mjeriti u zavisnosti od udaljenosti od antene data je u tabeli 2.

Tabela 2

	<b>reaktivna zona</b>	<b>bliska zona zračenja</b>	<b>daleka zona zračenja</b>
bočna ivica zone, mjerena od antene	0 do $\lambda$	$\lambda$ do $\lambda + 2D^2/\lambda$	$\lambda + 2D^2/\lambda$ do $\infty$
$E \perp H$	Ne	da	da
$Z = E/H$	$\neq Z_0$	$\approx Z_0$	$= Z_0$
komponenta koja se mjeri	E i H	E ili H	E ili H

Dje najveća dimenzija antene.

Mjerenja samo jedne komponente (E ili H) su dovoljna za sljedeće primjene:

- HF rado-difuzija, pri približnoj udaljenosti od 500 m ( $\lambda$  za 150 kHz),
- FM radio-difuzija, na udaljenosti od 3 m ( $\lambda$  za 100 MHz),
- TV radio-difuzija, na udaljenosti od 6 m ( $\lambda$  za opseg I), 1,5 m ( $\lambda$  za opseg III ) i 50 cm ( $\lambda$  za opsege IV i V),
- GSM bazne stanice, na udaljenosti od 30 cm ( $\lambda$  za 935 MHz) i 15 cm ( $\lambda$  za 1800 MHz).

### Mjerne tačke

Potrebno je izvršiti pregled i mjerenje onih prostora u kojima grupa ljudi boravi u dužem vremenskom periodu i potrebno je izvršiti konsultacije sa licima koja borave u tom prostoru o tome da li postoje neki drugi prostori za koje postoji interes da budu pregledani (odnosno da se izmjeri jačina električnog polja).

Mjerne tačke je potrebno odabrati tako da predstavljaju najizloženije tačke elektromagnetnim poljima kojima mogu biti izložena lica koja se nalaze u posmatranom prostoru.

Procjena najizloženijih tačaka se najlakše postiže prvom provjerom uz upotrebu mjernih instrumenata, a ako se na taj način ne uspije, onda se procjena najizloženije lokacije obližnjim antenama može izvršiti uz teorijska razmatranja propagacije elektromagnetnog talasa sa obližnjih antena.

Broj lokacija na kojima je potrebno izvršiti odgovarajuće mjerenje treba odabrati tako da se nivo zračenja sagleda na cjelovit način.

Mjerenja treba obaviti u jednoj jedinstvenoj tački na visini od 1,5 m od nivoa zemlje (ili nivoa poda).

U slučaju sprovođenja mjerenja metodom brzog pregleda ili metodom detaljnog ispitivanja, ako su rezultati mjerenja blizu referentnih nivoa, potrebno je izvršiti tzv. prostorno



usrednjavanje u tri tačke (na visinama 1,1 m, 1,5 m i 1,7 m iznad tla, odnosno poda), a jačina polja se u tom slučaju dobija usrednjavanjem izmjerenih vrijednosti dobijenih u svakoj tački prema jednačini (4):

$$E_{\text{prostorno\_usrednjeno}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 E_i^2}{3}}, \quad H_{\text{prostorno\_usrednjeno}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 H_i^2}{3}} \quad (4)$$

## Mjerna nesigurnost

Mjernu nesigurnost je potrebno procijeniti u skladu sa odgovarajućim međunarodno prihvaćenim standardom, uzimajući u obzir sve veličine koje mogu uticati na tačnost mjernih rezultata.

Procijenjena mjerna nesigurnost se mora navesti u izvještaju o izvršenim mjerenjima.

## 2. METOD BRZOG PREGLEDA

### 2.1. PODRUČJE PRIMJENE I SPECIFIČNOSTI

Metod brzog pregleda se primjenjuje kada je potrebno mjeriti sumu nivoa elektromagnetnog zračenja koje generiše više izvora.

Metod brzog pregleda primjenjuje se isključivo za mjerenje u dalekoj zoni zračenja antene.

Metod brzog pregleda ima određena ograničenja, iz kog razloga ga ne treba primjenjivati u slučaju:

- a) kada treba utvrditi nivo elektromagnetnog zračenja na određenoj frekvenciji;
- b) ukoliko vrijednosti dobijene ovom metodom prekoračuju najniži referentni nivo za frekvencijsko područje u kome radi mjerna oprema;
- c) ukoliko su izmjerene vrijednosti veoma niskog nivoa, odnosno ukoliko je nivo elektromagnetnog zračenja ispod praga osjetljivosti opreme.

U slučajevima iz stava 3 ove tačke primjenjuje se metod skeniranja promjenjivog frekvencijskog opsega, ukoliko je pogodan.

### 2.2. MJERNA OPREMA

Za mjerenje jačine polja metodom brzog pregleda koriste se ručni mjerni instrumenti sa izotropnim sondama (antenama), koji omogućavaju procjenu ukupne vrijednosti zračenja na određenoj lokaciji.

Mjerni instrument i sonda treba da omoguće jednostavno mjerenje efektivne (RMS) vrijednosti jačine električnog polja.

### 2.3. MJERNI POSTUPAK

Postupak mjerenja jačine polja metodom brzog pregleda se sprovodi u sljedećim koracima:

#### 1. Izbor antene za frekvencijsko područje od interesa

Antene se biraju tako da pokrivaju određeno frekvencijsko područje.

U pojedinim slučajevima potrebno je koristiti dvije ili više antena kako bi se mjerio željeni frekvencijski opseg.

U slučaju korišćenja dvije ili više antena krajnji rezultat će se izračunati korišćenjem vrijednosti dobijenih sa svake antene (ili instrumenta, ukoliko se mjeri sa više instrumenata) korišćenjem jednačine (5):

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \text{ ili } H = \sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2} \quad (5),$$

gdje je  $n$  broj mjerenja koje pokriva cjelokupni frekvencijski opseg, a  $E_i$  (ili  $H_i$ ) su pojedinačne vrijednosti dobijene korišćenjem svake pojedinačne antene/instrumenta.

Dobijena vrijednost je često veća od procijenjene, pošto se opsezi primjene antena međusobno preklapaju, a jednačina to ne isključuje.

## 2. Izvođenje mjerenja

Izbor mjerne tačke (lokacija i broj tačaka) vrši se u skladu satačkom 1.3 ovog priloga.

Vrijeme trajanja mjerenja je šest minuta.

Prenosivi ručni RF-metar potrebno je fiksirati (npr. na tronošcu) i izmjeriti efektivnu (RMS) vrijednost polja  $E$  (ili  $H$ ).

### 2.4. OBRADA PODATAKA

#### Obrada podataka u odnosu na dobijene vrijednosti

U odnosu na dobijene vrijednosti, mjerni rezultat se tretira na sljedeći način:

- ako je dobijena vrijednost ispod praga osjetljivosti mjernih instrumenata, ista se mora zanemariti,
- u zavisnosti od primijenjene antene, korekcionni faktor se uzima prema instrukcijama proizvođača.

#### Izračunavanje vrijednosti jačine električnog polja (E) / magnetnog polja (H) / gustine snage (S)

Uzimajući u obzir da se mjerenja sprovode u dalekoj zoni zračenja, na osnovu jedne izmjerene veličine (jačine električnog polja ( $E$ ) ili jačine magnetnog polja ( $H$ )), ostale neizmjerene veličine (jačina magnetnog polja ( $H$ ) ili jačina električnog polja ( $E$ ) i gustina snage ( $S$ )) mogu se izračunati prema jednačini (6):

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 Z_0 \quad (6),$$

gdje je  $E$  izraženo u V/m,  $H$  u A/m, a  $S$  u W/m<sup>2</sup>.

#### Izloženost jednostrukom / višestrukum frekvencijskom polju

Izloženost jednostrukom frekvencijskom polju je idealna situacija, ali je u praksi situacija u kojoj se pojavljuje višestruko frekvencijsko polje najčešća.

U polju višestrukih frekvencija polje signala jedne frekvencije dominira.

Uzimajući u obzir simultanu izloženost višestrukim poljima različitih frekvencija, lako je matematički dokazati da ako vrijednost dobijena prenosivim RF metrom ne prelazi najstrožije referentne vrijednosti za frekvencijski opseg pokriven primijenjenim antenama, možemo biti sigurni da će doprinos svih postojećih višestrukih frekvencijskih zračenja biti ispod te vrijednosti, s obzirom da je:

$$E_{mj} = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (7)$$

gdje je  $E_{mj}$  vrijednost očitana na ručnom RF-metru.

U slučaju kada nivo izloženosti izmjeren ručnim RF-metrom dostiže ili čak premašuje granične vrijednosti potrebno je koristiti analizator spektra ili mjerač snage sa odgovarajućim antenama.

### **3. METOD SKENIRANJA PROMJENJIVOG FREKVENCIJSKOG OPSEGA**

#### **3.1. PODRUČJE PRIMJENE I SPECIFIČNOSTI**

Metod skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega primijenjuje se kada je potrebno mjeriti nivo elektromagnetnog zračenja po određenim frekvencijama unutar skeniranog opsega.

Metod skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega primjenjuje se isključivo u dalekoj zoni zračenja antene.

Metod skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega ima određena ograničenja i ne primjenjuje se:

- a) kada je potrebno mjerenje nivoa u bliskoj zoni zračenja;
- b) ako se moraju mjeriti impulsne, diskontinualne ili širokopojasne emisije;
- c) ukoliko koeficijent izloženosti (kumulativni efekat) prelazi svoje ograničenje.

U slučajevima iz stava 3 ove tačke primjenjuje se metod detaljnog ispitivanja.

#### **3.2. MJERNA OPREMA**

Za mjerenje jačine polja metodom skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega najbolje je koristiti lagane, baterijski napajane prijemnike ili analizatore spektra (SA).

Prijemnik ili analizator spektra treba da ima mogućnost softverske kontrole, koja je neophodna zbog velike količine podataka koji se moraju prikupiti tokom ispitivanja, a da bi se zadržala konzistentnost rezultata dobijenih od većeg broja kompleta mjerne opreme kojom rukuje više lica.

Softver za kontrolu mjernih instrumenata, takođe, treba da ima mogućnost programiranja faktora antene i gubitaka na sastavima kablova, što treba da omogući sistemu za ispitivanje da koristi različite antene i kablove, dozvoljavajući veći stepen prilagođavanja za svaki opseg, čime se mogućnost greške ljudskog faktora svodi na minimum.

Prijemnici za ispitivanje ili analizatori spektra povremeno treba da rade u opstruirajućem RF okruženju (*hostile RF environments*), pa su dobar dinamički opseg i intermodulacione performanse od najveće važnosti za vjerodostojne i ponovljive rezultate.

Antene za ispitivanje treba da budu lagane i robusne, a koriste se i napojni kablovi dobrog kvaliteta.

Antene koje se preporučuju za korišćenje su:

- magnetna petlja za HF opseg;
- širokopojasna dipol antena ili (zatvorena) log periodična antena;
- bi-konična antena;
- direkciona antena za druge emisione tipove (korišćenje ovih antena se preporučuje kada postoji glavno zračenje, a sekundarno zračenje je zanemarljivo);
- kvazi izotropna, troosna antena.

Za niže frekvencije, uzimajući u obzir veliku talasnu dužinu, neophodno je izabrati magnetnu ili električnu antenu manje veličine (u poređenju sa talasnom dužinom).

Kada se koristi pasivna električna antena, rastojanje između antene i bilo koje prepreke (zid ili tlo na primjer) mora biti veće od talasne dužine.

Za mjerenje na visini većoj od 50 cm iznad nivoa tla, ne preporučuje se upotreba dipola za frekvencije niže od 600 MHz, za koje je neophodno izabrati širokopojasnu magnetnu ili električnu antenu manje veličine (u poređenju sa talasnom dužinom).

### **3.3. PREDOBRAĐA**

#### **Provjera opreme**

Sva mjerna oprema treba da je kalibrisana (u skladu sa preporukama proizvođača ili prema postupcima za izvođenje kontrole kvaliteta).

RF instalacije (kablovi, konektori, talasovodi i dr.) se pojedinačno označavaju i provjeravaju prije upotrebe zbog mogućih mehaničkih oštećenja.

Svaka promjena antenskih faktora i gubitaka na kablovima programira se u mjerni prijemnik. Mjerni tim treba da snosi odgovornost za provjeru tačnosti kalibracionih faktora koje treba ažurirati prije svakog mjerenja.

### **3.4. MJERNI POSTUPAK**

Postupak mjerenja jačine polja metodom skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega se sprovodi u sljedećim koracima:

#### **1. Izbor mjerne tačke**

Izbor mjerne tačke (lokacija i broj tačaka) vrši se u skladu sa tačkom 1.3 ovog priloga.

#### **2. Frekvencijski opseg**

Postupak mjerenja jačine polja metodom skeniranja promjenljivog frekvencijskog opsega primjenjuje se za frekvencije između 9 kHz i 3 GHz, za koji opseg frekvencija pri navedenim podešavanjima mjerni postupak daje pouzdane rezultate.

Za polja frekvencije iznad 3 GHz (radari, mikrotalasne veze) koristi se metod brzog pregleda ili metod detaljnog ispitivanja.

### 3. Podešavanje prijemnika ili analizatora spektra

#### Širina opsega i veličina koraka

Usljed različitih RF izvora u radio spektru, mjerna širina opsega treba da bude kompromisna veličina.

Unutar spektra postoji mješavina širokopojasnih/uskopojasnih, analognih/digitalnih i kontinualnih/diskontinualnih izvora zračenja.

Pored opsega u kojima rade pojedinačni sistemi, postoji mnogo opsega koji se dijele među više servisa i u kojima egzistiraju signali različitih karakteristika.

Za prijemnike se preporučuje korišćenje sljedeće širine opsega (BW) i veličine koraka:

- za opseg 9 kHz - 30 MHz: BW = 9 ili 10kHz sa korakom veličine 10 kHz;
- za opseg 30 MHz – 3GHz: BW = 100 kHz sa korakom veličine 100 kHz.

Za prijemnike se preporučuje minimalno "dwell" vrijeme od 0,1 sec.

Za analizatore spektra preporučuje se da koriste sljedeću širinu opsega (BW) i "sweep" vrijeme:

- za opseg 9 kHz - 30 MHz: BW = 10 kHz sa "sweep" vremenom od 50 - 100 ms;
- za opseg 30 MHz - 300 MHz: BW = 100 kHz sa "sweep" vremenom od 100 ms;
- za opseg 300 MHz - 3 GHz: BW = 100 kHz sa "sweep" vremenom od 700-1000 ms.

#### Nivo praga

Nivo praga treba da bude 40 dB ispod referentnog nivoa, a u slučaju da u frekvencijskom opsegu nijedno zračenje nema vrijednost iznad nivoa praga, u izvještaju treba navesti dva najveća izmjerena nivoa.

#### Polarizacija antene

Mjerenje jačine polja treba da se vrši antenom i u horizontalnoj i vertikalnoj ravni.

#### Način rada

Pri mjerenju jačine polja treba koristiti "Max-hold" tehnike i "peak" mod detektora.

### 3.5. OBRADA PODATAKA

#### Izračunavanje magnetnog polja (H) / gustine snage (S)

Uzimajući u obzir da se mjerenja sprovode u dalekoj zoni zračenja, na osnovu izmjerene vrijednosti jačine električnog polja (E), ostale neizmjerene veličine (jačina magnetnog polja (H) i gustina snage (S)) mogu se izračunati prema jednačini (8):

$$S = EH = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 Z_0 \quad (8),$$

gdje je  $E$  izraženo u V/m,  $H$  u A/m, a  $S$  u W/m<sup>2</sup>.

## **4. METOD DETALJNOG ISPITIVANJA**

### **4.1. PODRUČJE PRIMJENE I SPECIFIČNOSTI**

Metod detaljnog ispitivanja treba primijeniti kada metod brzog pregleda i metod skeniranja promjenjivog frekvencijskog opsega nijesu odgovarajući.

Metod detaljnog ispitivanja primijenjuje se naročito u sljedećim slučajevima:

- a) kada je potrebno mjerenje u bliskoj zoni zračenja;
- b) kada je potrebno mjerenje električnog ili magnetnog polja veoma visokog nivoa;
- c) pri mjerenjima neklasičnih servisa (impulsni signali, diskontinualne ili širokopoljasne emisije i dr.).

### **4.2. MJERNA OPREMA**

Za mjerenje jačine polja metodom detaljnog ispitivanja u dalekoj zoni zračenja antene koristi se identična oprema kao za mjerenje metodom brzog pregleda i metodom skeniranja promjenjivog frekvencijskog opsega.

Za mjerenje nivoa elektromagnetnih polja metodom detaljnog ispitivanja u bliskoj zoni zračenja neophodna su mjerenja i električnog i magnetnog polja (korišćenje E i H senzora), a za diskontinualne signale koristi se *time domain* prijemnik.

### **4.3. PREDOBRAĐA**

Provjera opreme je identična kao za metod skeniranja promjenjivog frekvencijskog opsega. Osim toga, korisno je od operatora dobiti više detalja o radio stanici (broj predajnika, vrijeme rada, antenski sistem/dijagram).

### **4.4. MJERNI POSTUPAK**

Postupak mjerenja jačine polja metodom detaljnog ispitivanja sprovodi se u sljedećim koracima:

#### **1. Izbor mjerne tačke**

Izbor mjerne tačke (lokacija i broj tačaka) vrši se u skladu satačkom 1.3 ovog priloga.

#### **2. Frekvencijski opseg**

Postupak mjerenja jačine polja metodom detaljnog ispitivanja primjenjuje se za frekvencije između 9 kHz i 3 GHz.

Ako na mornoj lokaciji postoje emisije na frekvencijama iznad 3GHz (npr. radar ili WLL), takve emisije se mjere uzimajući u obzir preporuke navedene u nastavku ovog priloga.

#### **3. Podešavanje opreme**

Za mjerenje jačine polja metodom detaljnog ispitivanja mjerna oprema se podešava na isti način kao za metod skeniranja promjenjivog frekvencijskog opsega, osim za zračenje koje dostiže propisane granice izlaganja elektromagnetnim poljima (mjerenja jakih zračenja), impulsne signale, diskontinualne ili širokopoljasne emisije, kada se primjenjuje posebna konfiguracija.

## 4. Posebna konfiguracija

### Mjerenje u bliskoj zoni zračenja antene

Za razliku od daleke zone zračenja, u bliskoj zoni zračenja antene, H-polje i E-polje mjere se odvojeno, što može biti urađeno korišćenjem posebnih senzora.

Električna komponenta (E) elektromagnetnog polja može se lako izmjeriti korišćenjem odgovarajućih antena, kao što su dipol, bi-konična, log-periodična itd, dok se magnetna komponenta (H) elektromagnetnog polja obično mjeri "loop" sensorima (struja indukovana u petlji je proporcionalna jačini magnetnog polja koje siječe konturu petlje).

### Mjerenje jakog električnog ili magnetnog polja

Otpornost opreme na velike vrijednosti električnog ili magnetnog polja, posebno prijemnika i analizatora spektra mora se provjeriti i ako je potrebno, treba koristiti antene sa većom otpornošću na jake signale.

Ako je korišćenje prijemnika ili analizatora spektra neophodno, treba:

- koristiti pasivne antene i zaštićenu opremu;
- Ili smanjiti snagu jedanog ili više predajnika i bilježiti faktor redukcije.

Kada se koristi prijemnik ili analizator spektra, postupak mjerenja treba sprovesti u sljedećim koracima:

- podesiti centralnu frekvenciju na svakom kanalu sa rezolucijom jednakom (ako je tako moguće, inače sa većom) širini opsega kanala;
- odabrati "Average mode" tokom trajanja mjerenja (preporučeno vrijeme trajanja mjerenja je šest minuta);
- odabrati "RMS" detektor;
- ako se koristi pojedinačni dipol ili pojedinačna "loop" antena, moraju se izvršiti tri mjerenja u tri ortogonalna pravca da bi se dobile vrijednosti različitih komponenti polja.

Ukupno polje se računa prema jednačini (9):

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}, \quad |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (9)$$

### Signali iznad 3 GHz

Za mjerenje jačine polja u frekvencijskim opsezima iznad 3 GHz može se koristiti samo nekoliko dostupnih omni-direktivnih antena, zbog čega se često koriste usmjerene antene (horn, sferna, konična, log-periodična i dr.).

Postupak mjerenja jačine polja treba sprovesti u sljedećim koracima:

- podesiti centralnu frekvenciju na svakom kanalu sa rezolucijom jednakom (ako je tako moguće, inače sa većom) širini opsega kanala;
- odabrati "Average mode" tokom trajanja mjerenja (preporučeno vrijeme trajanja mjerenja je šest minuta);
- odabrati "RMS" detektor;
- antena treba biti korišćena u jednoj od pozicija (u kojoj prima maksimalni signal) sa odgovarajućom polarizacijom, u kom slučaju su refleksije zanemarljive.

## Mjerenje impulsne / radarske emisije

Kod impulsnih/radarskih emisija mikrotalasna energija je nošena u kratkim impulsima, a trajanje impulsa je kratko u poređenju sa trajanjem intervala između impulsa.

Postoji mnogo različitih vrsta radara, posebno za radionavigacione primjene, ali i na drugim poljima, kao što su monitoring i kontrolne aktivnosti.

Kod različitih primjena radara javljaju se signali veoma različitih karakteristika, na frekvencijama između 100 MHz i 95 GHz sa vršnom snagom između 1W i 50 MW, a vrijednosti koje se trebaju odrediti (za električno i magnetno polje) su vršna vrijednost i efektivna (RMS) vrijednost impulsnog polja.

Za određivanje vršne vrijednosti, proceduru treba sprovesti u sljedećim koracima:

- odabrati dovoljno širokopoljasan filter da se izvrši mjerenje u vremenu kraćem od trajanja impulsa (u slučaju nemodulisanog impulsa, preporučuje se filter širine  $4/\tau$ , gdje je  $\tau$  trajanje impulsa, kako bi se omogućilo da se dobije 99% snage signala);
- odabrati "*max hold*" način za jednu ili više rotacija radara (sve do stabilizacije signala);
- odabrati "*positive peak detection*" mod;
- sa razmakom "0" centrirano na frekvenciju emitovanja.

Vršna snaga signala ne može da prekorači referentni nivo sa faktorom od:

- 1000 ako se radi o gustini snage;
- 32 ako se radi o jačini polja.

Za određivanje RMS vrijednosti jačine polja, neophodno je:

- znati vremenske karakteristike signala da bi se odredila prosječna vrijednost, znajući vršnu vrijednost; ili
- dobiti srednju vrijednost trenutnog signala u "RMS" načinu rada.

"RMS" vrijednost usrednjena u toku vremena trajanja mjerenja ne mogu da prekorače referentni nivo.

Mnoge radarske antene imaju uski snop jakog zračenja u pravcu koji se može odrediti bilo mehanički bilo elektronski, i u tim slučajevima ne koristi se srednja vrijednost.

## Diskontinualni signali

Za diskontinualne signale, dva različita slučaja uzimaju se u razmatranje:

- 1) kada su poznati tehnički parametri signala (ciklus rada, modulacija i dr.), preporučuje se sljedeća procedura:
  - podesiti centralnu frekvenciju na svakom kanalu sa rezolucijom jednakom (ako je tako moguće, inače sa većom) širini opsega kanala;
  - odabrati "*max hold mode*";
  - odabrati "*peak*" detektor.

RMS vrijednost se određuje računanjem:

- ako se koristi pojedinačni dipol ili pojedinačna "*loop*" antena moraju se izvršiti tri mjerenja u tri ortogonalna pravca da bi se dobile vrijednosti različitih komponenti polja, a ukupno polje se računa prema jednačini (10):



$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}, \quad |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (10).$$

2) kada su tehnički parametri signala nepoznati, preporučuje se sljedeća procedura:

- podesiti centralnu frekvenciju na svakom kanalu sa rezolucijom jednakom (ako je tako moguće, inače sa većom) širini opsega kanala;
- odabrati "Average mode" tokom trajanja mjerenja (preporučeno vrijeme trajanja mjerenja je šest minuta);
- odabrati "RMS" detektor.
- ako se koristi pojedinačni dipol ili pojedinačna "loop" antena moraju se izvršiti tri mjerenja u tri ortogonalna pravca da bi se dobile vrijednosti različitih komponenti polja, a ukupno polje se računa prema jednačini (11):

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}, \quad |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (11).$$

Od operatera je potrebno zahtjevati aktiviranje stanice da bi se izbjeglo vremenski dugačko mjerenje.

### Sistemi za prenos (GSM, TETRA i dr.)

Rad sistema za prenos podrazumijeva emitovanje stalnog kontrolnog kanala i dodatnih kanala za saobraćaj.

Bazna stanica se može tretirati kao  $n$  kolociranih predajnika:

- 1 predajnik (npr. u GSM900/1800 sistemu BCCH kanal) sa konstantnim nivoom snage,  $P_{Control Channel}$ ,
- $(n-1)$  predajnik snage jedanke  $P_{Control Channel}$  ( $n$  ukupan broj predajnika ili "TRX" bazne stanice).

U svrhu utvrđivanja maksimalno mogućeg saobraćaja, preporučuje se sljedeća procedura:

- identifikovati stalni kontrolni kanal, što može biti urađeno koristeći analizator spektra (stalni kontrolni kanal se identifikuje prema njegovoj nepromjenljivosti i njegovom stalnom nivou);
- podesiti centralnu frekvenciju na svakom kanalu sa rezolucijom jednakom (ako je tako moguće, inače sa većom) širini opsega kanala;
- odabrati "max hold mode";
- odabrati "peak" detektor.
- ako se koristi pojedinačni dipol ili pojedinačna "loop" antena moraju se izvršiti tri mjerenja u tri ortogonalna pravca da bi se dobile vrijednosti različitih komponenti polja, a ukupno polje se računa prema jednačini (12), kojom se određuje jačina polja kontrolnog kanala,  $E_{Control Channel}$  :

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}, \quad |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (12).$$

- ispitati broj predajnika bazne stanice (kanali za saobraćaj i kontrolni kanal) koristeći analizator spektra, kojim se može utvrditi broj kanala, osim u slučajevima kada se primjenjuje tehnika "frekvencijskog skakanja".

Ekstrapolacija na maksimalni saobraćaj se proračunava prema jednačini (13):

$$E_{\max} = E_{Control Channel} \times \sqrt{n_{Transmitters}} \quad (13).$$

Ako prenosni kanali koji pripadaju istoj ćeliji koriste različite nivoe snage, koristi se jednačina (14):

$$E_{\max} = E_{\text{Control Channel}} \times \sqrt{\frac{P_{\text{total}}}{P_{\text{Control-Channel}}}} \quad (14).$$

$P_{\text{total}}$  je maksimalna moguća snaga.

### Analogne / Digitalne širokopojasne emisije (TV, T-DAB, DVB-T i dr.)

Za analogne / digitalne širokopojasne emisije (TV, T-DAB, DVB-T i dr.) tip emisija vrlo je teško postići rezoluciju jednaku širini emisije, tako da se procedura mora sprovesti prema sljedećim koracima:

- odabrati filter s manjom rezolucijom i sprovesti kumulativni proračun uzimajući u obzir oblik filtra (ova vrsta procedure poznata je pod nazivom "Channel Power" mod);
- preporučena dužina trajanja mjerenja treba da bude šest minuta;
- ako se koristi pojedinačni dipol ili pojedinačna "loop" antena moraju se izvršiti tri mjerenja u tri ortogonalna pravca da bi se dobile vrijednosti različitih komponenti polja, a ukupno polje se računa prema jednačini (15):

$$|E| = \sqrt{|E_x|^2 + |E_y|^2 + |E_z|^2}, \quad |H| = \sqrt{|H_x|^2 + |H_y|^2 + |H_z|^2} \quad (15).$$

### W-CDMA tehnologija

Ekstrapolacija na maksimalni sabračaj morada se izvrši i kod UMTS mreža, ali je metodologija različita u poređenju sa GSM mrežama.

Za UMTS mreže koje koriste CDMA (*Code Division Multiple Access*) tehniku, mjerenja snage moraju se sprovesti u kodnom domenu.

Prvi korak je da se identifikuje pojedinačni zajednički kanal, P-CPICH (*Common Pilot Channel*) i da se onda izmjeri njegova snaga,  $P_{P-CPICH}$ .

Maksimalna snaga UMTS nosioca povezanog sa ovim kanalom se izvodi iz snage  $P_{P-CPICH}$  korišćenjem donjeg koeficijenta.

Princip mjerenja i izračunavanja je sljedeći:

Korišćenjem analizatora spektra identifikuju se svi UMTS nosioci i snime njihove centralne frekvencije ( $freq_0$ ).

Za svaki nosilac, korišćenjem UMTS skenera, detektuju se pojedinačni zajednički kanali, P-CPICH<sub>i</sub> i odredi snaga svakog od njih  $P_{P-CPICH_i}$ .

Zatim se sumiraju snage svih P-CPICH<sub>i</sub> kanala pridruženih odgovarajućoj centralnoj frekvenciji pripadajućeg UMTS nosioca prema jednačini (16):

$$P_{P-CPICH}(freq_0) = \sum_{i=1}^n P_{P-CPICH_i}(freq_0) \quad (16).$$

Ekvivalentno električno polje  $E_{P-CPICH}(freq_0)$  se računa polazeći od vrijednosti  $P_{P-CPICH}(freq_0)$ , uključivanjem faktora antene i gubitaka u kablovima.

Jednačina (17) omogućava računanje jačine električnog polja za maksimalan saobraćaj na frekvenciji  $freq_0$  korišćenjem koeficijenta  $R_{P-CPICH}$ :

$$E_{Max}(freq_0) = E_{P-CPICH}(freq_0) \times \sqrt{R_{P-CPICH}} \quad (17),$$

gdje se  $R_{P-CPICH}$  određuje prema jednačini (18):

$$R_{P-CPICH} = \frac{P_{max}}{P_{P-CPICH}} \quad (18).$$

# IZVJEŠTAJ

## O IZVRŠENIM PRVIM I PERIODIČNIM MJERENJIMA NIVOA ELEKTROMAGNETNIH POLJA

### 1. Podaci o ovlaštenom stručnom licu koje izvodi mjerenja

Naziv / Ime i prezime	
Broj dozvole	

### 2. Podaci o podnosiocu zahtjeva za mjerenje

Naziv / Ime i prezime	
Djelatnost	

### 3. Vrsta mjerenja (u kvadratiću označiti vrstu mjerenja)

<input type="checkbox"/>	Prvo mjerenje
<input type="checkbox"/>	Periodično mjerenje po dozvoli (navesti broj i datum)

### 4. Podaci o mjernom mjestu

Naziv lokacije	
Opština	
Adresa	
Geografske koordinate (WGS84) inadmorska visina terena	Mjerna tačka 1: dd° mm' ss" N / dd° mm' ss" E Mjerna tačka 2: dd° mm' ss" N / dd° mm' ss" E Mjerna tačka 3: dd° mm' ss" N / dd° mm' ss" E ...
Tip lokacije (u kvadratiću označiti tip lokacije)	<input type="checkbox"/> Područje opšte javne izloženosti <input type="checkbox"/> Područje povećane osjetljivosti <input type="checkbox"/> Područje profesionalne izloženosti
Situacioni plan	Situacioni plan mjernog mjesta dat je u prilogu izvještaja.
Grafički prikaz mjernih tačaka	Grafički prikaz mjernih tačaka dat je u prilogu izvještaja.

### 5. Datum i vrijeme sprovođenja mjerenja

Datum sprovođenja mjerenja	dd. mm. gggg.
Vrijeme sprovođenja mjerenja	odhh:mm dohh:mm

### 6. Meteorološki uslovi tokom sprovođenja mjerenja

Temperatura vazduha	minimalna	°C
	maksimalna	°C
Vlažnost vazduha	minimalna	%
	maksimalna	%

## 7. Podaci o mjernoj opremi

<b>Antene</b>	
Proizvođač	
Tip	
Serijski broj	
Frekvencijski opseg	
Dobitak	
Faktor nesigurnosti	
Datum zadnje kalibracije	
<b>Prijemnici ili analizatori spektra</b>	
Proizvođač	
Tip	
Serijski broj	
Frekvencijski opseg	
Mjerna nesigurnost	
Datum zadnje kalibracije	
<b>Mjerne sonde</b>	
Proizvođač	
Tip	
Serijski broj	
Frekvencijski opseg	
Dinamički opseg	
Mjerna nesigurnost	
Datum zadnje kalibracije	

## 8. Mjerene veličine i primijenjena metoda mjerenja

Mjerena veličina	
Primijenjena metoda mjerenja	

## 9. Rezultati pojedinačnih mjerenja

Frekvencija/ Frekvencijski opseg	Mjerna tačka	Izmjerena vrijednost (RMS)	Jedi- nica	Kore- kcija	Konačni rezultat	Početak/ kraj mjerenja	Refere- ntni nivo
	1					hh:mm:ss/ hh:mm:ss	
	2					hh:mm:ss/ hh:mm:ss	
	...						

### Grafički prikaz rezultata mjerenja

(Ukoliko nema potrebe za grafičkim prikazom rezultata mjerenja navesti da se isti ne daje.)

## 10. Mjerna nesigurnost

Tip mjerne nesigurnosti	
Procijenjena mjerna nesigurnost	

## 11. Analiza rezultata mjerenja i njihovo upoređivanje za referentnim nivoima

### Dijagrami dnevnih i nedjeljnih opterećenja izvora.

(Samo za stacionarni izvor koji uobičajeno radi snagom manjom od nominalne (npr. elektroenergetske objekte). Za ostale izvore navesti da se isti ne daju)

### Lica koja su izvršila mjerenja:

Ime i prezime, \_\_\_\_\_  
potpis

Ime i prezime, \_\_\_\_\_  
potpis

Ime i prezime, \_\_\_\_\_  
.... potpis

### Lice odgovorno za analizu i vrjednovanje rezultata

Ime i prezime, \_\_\_\_\_  
potpis

### Ovlašćeno lice

Ime i prezime, funkcija

\_\_\_\_\_  
potpis