

Ekonomija i ekologija radiokomunikacijskih sustava

Materijali za dio Ekologija

autor:
Anđela Zarić

Studen 2010.

Contents

Gospodarenje elektromagnetskim spektrom	3
Zakonski akti u području telekomunikacija i zaštite od elektromagnetskih polja.....	4
Interakcija elektromagnetskog polja i ljudskog tijela	9

Gospodarenje elektromagnetskim spektrom

Frekvencijski spektar

- prirodni resurs
- briga na međunarodnoj i nacionalnoj razini
- međunarodna razina određuje **namjenu** određenog frekvencijskog pojasa
- vrhovno međunarodno tijelo u području normizacije –**ITU**
- može biti:
 - **ionizirajući** – elektromagnetsko zračenje s dovoljnom energijom za ionizaciju atoma kisika i vodika (koja iznosi 12eV)
 - bežični komunikacijski sustavi koriste samo neionizirajući dio elektromagnetskog spektra
 - **neionizirajući** – kvant energije elektromagnetskog zračenja manji od 1eV, tada on sigurno ne može uzrokovati ionizaciju (do oko 10^3 THz, odn. 10nm)

Tablica namjene frekvencijskog spektra (engl. *Table of Frequency Allocations*)

- Namjena – unošenje određenog frekvencijskog pojasa u **tablicu namjene** radiofrekvencijskog spektra radi uporabe u jednoj ili više zemaljskih (engl. *Terrestrial*) ili svemirskih (engl. *Space, satellite*) radiokomunikacijskih službi ili radiokomunikacijskoj službi u astronomiji uz točno određene uvjete
- međunarodna namjena – **Svjetska radiokomunikacijska konferencija**
- RH – **Hrvatska agencija za poštu i komunikacije** (HAKOM)
- **Raspodjela** (engl. *Allotment*) određene radijske frekvencije ili radijskog kanala je preuzimanje određene radijske frekvencije ili radijskog kanala u međunarodni plan usvojen od mjerodavne međunarodne konferencije radi uporabe u jednoj ili više zemaljskih ili svemirskih radijskih komunikacijskih službi ili radijskoj komunikacijskoj službi u astronomiji u jednoj ili više država ili zemljopisnih područja uz točno određene uvjete područja ili zemlje.
- **Dodjela** (engl. *Assignment*) određene radijske frekvencije ili radijskog kanala je izdavanje dozvole mjerodavnog državnog tijela kojom se određenoj radijskoj postaji dojeljuje određena radijska frekvencija ili radijski kanal radi uporabe uz točno određene uvjete.
- **Pravila radijske regulacije ITU-RR**

Zakonski akti u području telekomunikacija i zaštite od elektromagnetskih polja

Propis – dokument koji sadrži obvezatna zakonska pravila, donosi ga mjerodavno upravno tijelo. Može biti tehnički i administrativni.

1. **Tehnički propis** je propis u kojem se tehnički zahtjevi daju izravno ili upućivanjem na normu, tehničku specifikaciju ili upute za primjenu ili pak uključivanjem sadržaja tih dokumenata.

Tehnički propis može biti:

- i. **Norma (ili standard)** – dokument donesen *konsenzusom*¹ i odobren od priznatoga tijela, koji za opću i višekratnu uporabu daje pravila, upute ili značajke za djelatnosti ili njihove rezultate te koji jamči najbolji stupanj uređenosti u danom kontekstu.
 - a. *osnovna norma*: norma kojom se obuhvaća široko područje ili koja sadrži opće odredbe za koje posebno područje;
 - b. *terminološka norma*: norma koja utvrđuje nazive, obično praćenje njihovim definicijama i, katkad, objašnjenjima, crtežima, primjerima itd.;
 - c. *norma za ispitivanje*: norma koja utvrđuje metode ispitivanja, katkad dopunjena drugim odredbama koje se odnose na ispitivanja, kao što su uzorkovanje, uporaba statističkih metoda ili redoslijed ispitivanja;
 - d. *norma za proizvod*: norma koja određuje zahtjeve koje mora zadovoljiti koji proizvod ili skupina proizvoda da bi se osigurala njegova/njihova prikladnost;
 - e. *norma za proces*: norma koja utvrđuje zahtjeve što ih mora ispuniti koji proces kako bi se osigurala njegova prikladnost;
 - f. *norma za uslugu*: norma koja utvrđuje zahtjeve što ih mora ispuniti koja usluga kako bi se osigurala njezina prikladnost;
 - g. *sučelna norma*: norma koja utvrđuje zahtjeve koji se odnose na spojivost proizvoda ili sustava u njihovim spojnim točkama;
 - h. *norma o potrebnim podacima*: norma koja sadrži popis značajki za koje treba navesti vrijednosti ili druge podatke radi pobližeg opisa kojega proizvoda, procesa ili usluge

Normizacija – djelatnost uspostavljanja *odredaba* za opću i opetovanu uporabu koje se odnose na postojeće ili moguće probleme radi postizanja najboljeg stupnja uređenosti u danom kontekstu.

RH – Državni ured za normizaciju – nadležnosti u području uređivanja normizacije, mjeriteljstva, ispitivanja, potvrđivanja ili certifikacije i ovlašćivanja ili akreditacije

- ii. **Tehnička specifikacija** – dokument u kojem se propisuju tehnički zahtjevi koje treba zadovoljiti kakav proizvod, proces ili usluga.

¹ Konsenzus-opće slaganje koje se odlikuje odsutnošću razlika u bitnim pitanjima između većine zainteresiranih strana, u kojemu se nastoje uzeti u obzir gledišta svih zainteresiranih strana te uskladiti oprečna stajališta. Konsenzus nužno ne znači jednoglasnost.

iii. **Uputa za primjenu** – dokument kojim se preporučuju načini ili postupci projektiranja, izradbe, ugradbe, održavanja ili uporabe opreme, konstrukcija ili proizvoda.

2. **Administrativni propisi** primjenjuju se na državnoj, međunarodnoj ili globalnoj razini i potpisnice tih propisa su dužne pridržavati ih se.

- Zakoni
- Podzakonski propisi (npr. pravilnici, uredbe i sl)
- dokument zvan «*Memorandum razumijevanja*»
- *Ustav ITU*, na kojem se temelji ITU
- Konvencija ITU, koja određuje funkcije i organizaciju pojedinih dijelova ITU (*plenarna konferencija, Savjet, WRC, RK Ured*)
- *Propisi o radijskoj regulaciji ili Pravila radijske regulacije*

i. **Međunarodni propisi** – primjena na području više država (npr. *Radijska pravila* obuhvaća sve države članice ITU) – dijele se na globalne i regionalne.

1. Globalni međunarodni propisi

- a. *Ustav ITU*
- b. *Konvencija ITU*
- c. *Pravila radijske regulacije ITU*(ITU-RR: za područje radijskih komunikacija dana pravila međunarodne koordinacije (unutar kojih su i globalni plan namjene, način i uvjeti korištenja radijskih frekvencija, međunarodni kodovi...))
- d. *Glavni međunarodni frekvencijski registar, MIFR* (engl. *Master International Frequency Register* je baza podataka radijskih postaja koje su prošle međunarodnu koordinaciju i u radu su.)
- e. *ITU-R preporuke*(preporuke iz područja radiokomunikacija se do 1998.g. mogu naći pod nazivom CCIR preporuke)
- f. *ITU-T preporuke*(preporuke iz područja telekomunikacija se do 1998.g. mogu naći pod nazivom CCITT preporuke)

2. Regionalni međunarodni propisi

- a. *regionalni multilateralni sporazumi*(npr. postoji tzv. *VA93*, Bečki sporazum, odnosno Berlinski sporazum; također su primjeri *ST61*, Stockholmski sporazum; *GE84*, Sporazum iz Geneve; Sporazum iz Wiesbadena iz 1995.g. i Sporazum iz Maastrichta iz 2002.g. za područje digitalne audiodifuzije, T-DAB, te Sporazum iz Chestera iz 1997.g. za digitalnu televiziju DVB-T)²

² engl. Vienna agreement je potpisan 1998.g. za područje zemaljskih pokretnih službi(engl. Land Mobile Service) Vienna agreement je dopunjen i izmijenjen 14.09.2001 u Berlinu, od kuda potječe novo ime -osim zemaljske pokretne službe obuhvaća i nepokretnu službu (engl. FixedService). Revizija ovog sporazuma je potpisana i 2008.g.

ST61 je potpisanu Stockholmu 1961.g. za analognu TV
Sporazum iz Geneve je potpisanu 1984.g. za FM radio

- b. *ECC*³ odluke, preporuke i izvješća koji su bitni za usklađivanje na europskoj razini (kao primjer može se navesti *Europska zajednička tablica namjene*)
- c. Odluke Europske Komisije (EC) vrlo bitno utječu na ponašanje zemalja članica Europske Unije (EU).

ii. **Nacionalni propisi** – na području jedne države⁴

- Zakon o telekomunikacijama
- pravilnici (propisi iz područja telekomunikacija i iz područja radijskih komunikacija)
- odluke ministra (npr. Odluka kojom se GSM radijski terminali oslobađaju od traženja uporabne dozvole, kao i dozvole za uvoz, što znači da je dozvoljen slobodan uvoz i cirkulacija tih uređaja)
- uredbe Vlade
- norme Republike Hrvatske

Globalno

- **IRPA/ICNIRP** – International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection – nevladina organizacija, priznata od WHO
- ICNIRP, EMF guidelines, Health Physics 74, 494-522(1998)

Nacionalni propisi

- **Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN091/2010)** od 14. srpnja 2010.g. – Neionizirajuće zračenje jesu elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500MHz koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione (Ministarstvo zdravstva).

³ CEPT se sastojao od ERC, zaduženog za radijske komunikacije i ECTRA za nepokretne(fiksne) telekomunikacije, te CERP za poštu.

ERC i ECTRA su 2001.g. ujedinjeni u Odbor elektronskih komunikacija (engl. Electronic Communications Committee, ECC). Dokumenti koje je prihvatio ERC još uvijek su na snazi pod svojim izvornim imenom, osim u slučajevima kad ih je ECC promijenio ili opozvao.

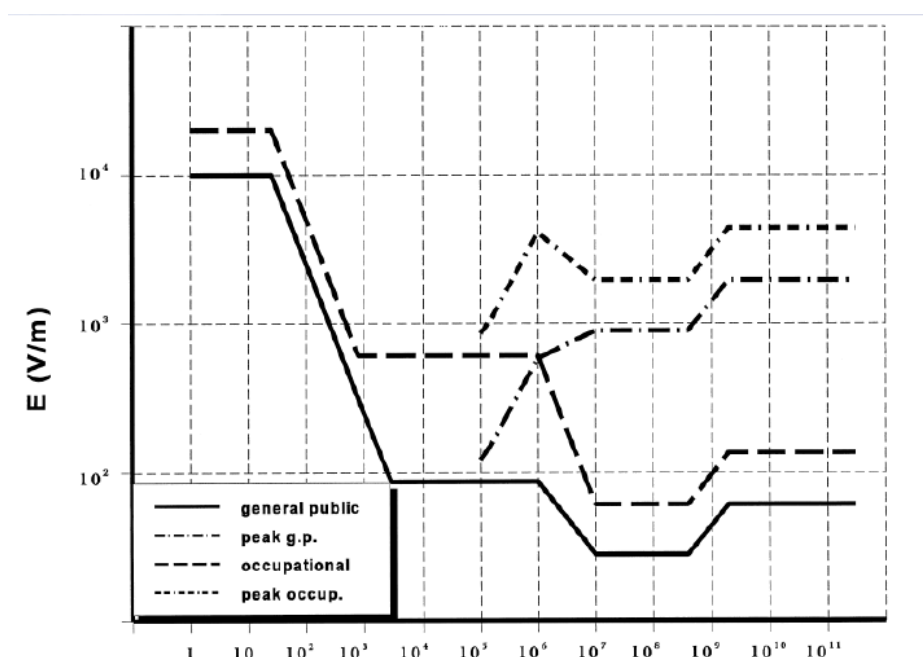
⁴ Hrvatska agencija za poštu i elektroničke komunikacije (Jurišićeva 13, Zagreb)
Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture (Prisavlje 14, Zagreb)

Veličine koje se propisuju:

- **Temeljne veličine** – veličine koje se izravno povezuju uz do sada potvrđene zdravstvene učinke elektromagnetskih polja i na koje se postavljaju *temeljna ograničenja*. Zaštita od potvrđenih štetnih zdravstvenih učinaka zahtijeva da temeljna ograničenja nisu prekoračena. Ovisno o frekvenciji, fizikalne veličine na koje se postavljaju temeljna ograničenja su: gustoća struje, specifična apsorbirana snaga, specifična apsorbirana energija te gustoća snage.
 - *Gustoća struje (J)* je vektorska veličina čiji je integral po nekoj površini jednak struji koja teče kroz tu površinu, a izražava se u amperima po kvadratnom metru (A/m^2). Rabi se kao temeljna veličina u frekventijskom području do 10 MHz.
 - *Specifična apsorbirana energija (SA)* je apsorbirana energija elektromagnetskog vala po jedinici mase biološkog tkiva i izražava se u džulima po kilogramu (J/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekventijskom području od 300 MHz do 10 GHz i to u slučaju impulsnih elektromagnetskih polja;
 - *Specifična apsorbirana snaga (SAR)* je mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg). Rabi se kao temeljna veličina u frekventijskom području od 100 kHz do 10 GHz.
 - *Gustoća toka snage (S)* je omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po metru kvadratnom (W/m^2). Rabi se kao temeljna veličina za frekventijsko područje od 10 GHz do 300 GHz, a kao referentna veličina od 10 MHz do 300 GHz
- **Referentne veličine** – mjerljive veličine čijim nadzorom se posredno osigurava zadovoljenje temeljnih ograničenja. Fizikalne veličine koje se mogu koristiti kao referentne veličine su: jakost električnog polja, jakost magnetskog polja, gustoća magnetskog toka, dodirna struja i gustoća snage (ekvivalentnog ravnoga vala). Usklađenošću s graničnim razinama referentnih veličina, danim u ovom Pravilniku, osigurava se usklađenost s temeljnim ograničenjima.
 - *Jakost električnog polja (E)* je vektorska veličina koja pokazuje razinu električnog polja. Određena je silom na mirujući električni naboj, a izražava se u voltima po metru (V/m).
 - *Gustoća magnetskog toka (B)* je vektorska veličina koja pokazuje razinu magnetskog polja. Određena je silom na električni naboj koji se kreće, a izražava se u teslama (T)
 - *Jakost magnetskog polja (H)* pokazuje razinu magnetskog polja i izražava se u amperima po metru (A/m), a s gustoćom magnetskog toka u zraku povezana je magnetskom konstantom μ_0 ;
 - *Dodirna struja (I)* je struja koja teče tijekom dodira ljudskog tijela s vodljivim objektom u elektromagnetskom polju, a izražava se u miliamperima (mA). Može se rabiti kao referentna veličina za posredne učinke polja do frekvencije od 110 MHz

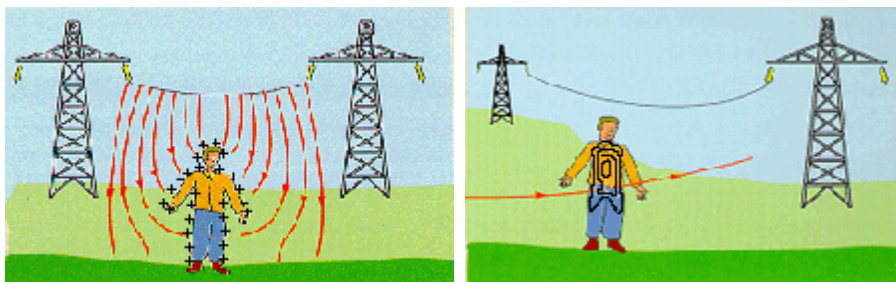
Globalno	Europa		Pokretna telefonija		Mikrovalna pećnica
Frekvencija	50 Hz	50 Hz	900 MHz	1.8 GHz	2.45 GHz
	Električno polje (V/m)	Magn polje (μT)	Gustoća snage (W/m ²)	Gustoća snage (W/m ²)	Gustoća snage (W/m ²)
Ograničenje izloženosti-opća	5 000	100	4.5	9	10
Ograničenje izloženosti-prof.	10 000	500	22.5	45	

Slika 1. Međunarodna ograničenja na iznose zračenja po frekvencijskim pojasevima



Slika 2. Međunarodno ograničenje na iznos električnog polja po kategorijama izloženosti

Interakcija elektromagnetskog polja i ljudskog tijela



Slika 3. Djelovanje električnog (lijevo) i magnetskog (desno) polja na tijelo

- stimulacija živaca i mišića
- zagrijavanje –legislativa
 - SAR–Specific Absorption Rate (W/kg) – Specifična apsorbirana snaga
 - proporcionalna kvadratu jakosti el. polja u tijelu
- EM raspodjela oko uređaja ovisi o:
 - okolišu
 - antenskoj strukturi
 - polarizaciji
 - modulaciji
 - frekvenciji
 - udaljenosti između EM i ljudskog tijela
- Učinak:
 - Biološki učinak –mjerljivi učinak na podražaj ili promjenu okoliša
 - Štetni učinak na zdravlje-utječe na potomstvo
 - Kratkotrajni/dugotrajni
 - Izravni/neizravni
- Istraživanja
 - Epidemiološka
 - Biološka
 - Klinička

Izvor	Tipična max izloženost	
	Electrično polje (V/m)	Magnetska indukcija (μT)
Okoliš	200	70 (Zemlja)
Dom (dalje od dalekovoda)	100	0.2
Dom (blizu dalekovoda)	10 000	20
Električni vlak	300	50
TV i računalo	10	0.7
Tipična max javna izloženost (W/m ²)		
TV i radijski odašiljač	0.1	
Bazne postaje	0.1	
Radari	0.2	
Mikrovalne pećnice	0.5	

Slika 4. Tipične vrijednosti izloženosti s obzirom na izvor zračenja

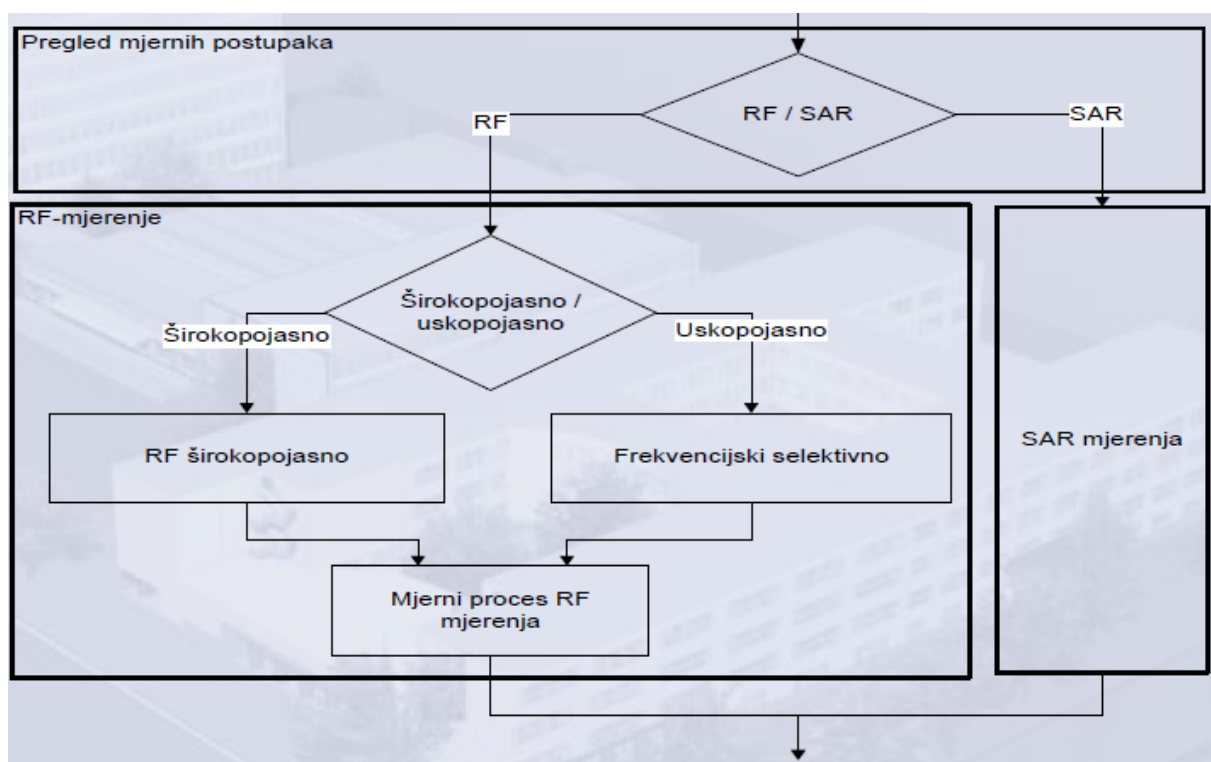
Ekspozimetrija elektromagnetskih polja

-ekspozimetrija/referentne/

-dozimetrija /temeljne/

Plan evaluacije /RBS/:

1. Opći savjeti
 - a. –Sigurnost mjeritelja
 - b. –Dozvole
2. Parametri mjerenja
3. Postupak evaluacije
4. Mjesta evaluacije
5. Mjerni instrumenti
6. Izračuni
7. Mjerna nesigurnost
8. Ograničenje ref.vel.
9. Izvještavanje



Slika 5. Mjerni postupci

Savjeti za mjerenje:

- Pokušati pronaći čim više poznatih parametara
- Izračunati približno RF
- Postaviti instrument čim bliže izvoru, a čim dalje neželjenim izvorima

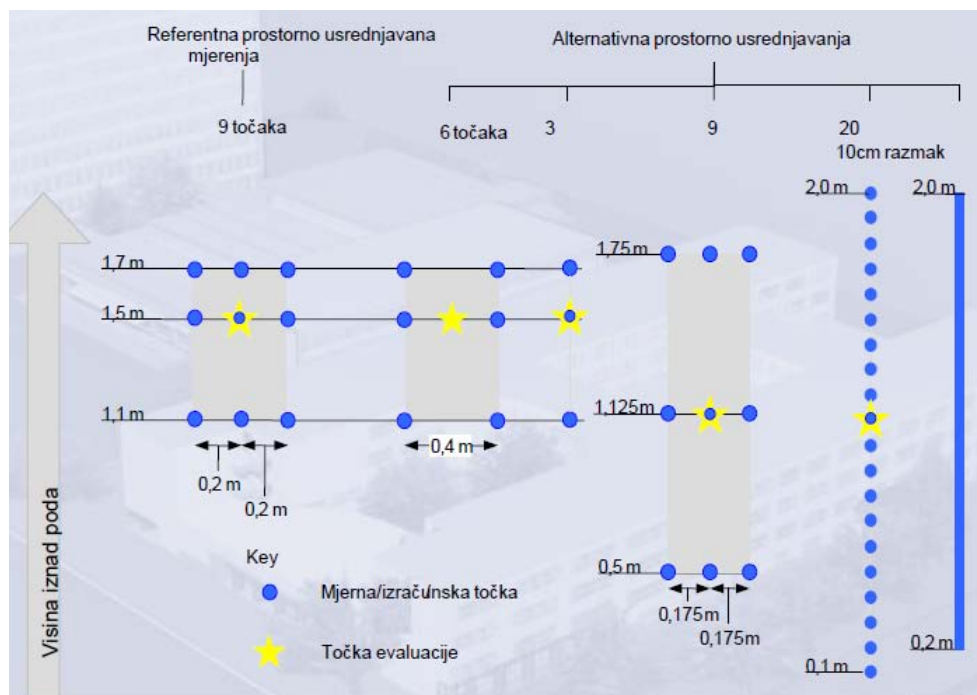
- Je li mjeren šum?
- Više izvora – usrednjiti E i H ili pozbrojiti S
- Minimizarati utjecaj tijela
- Gradijenti EM polja
- Instrumenti
 - širokopojasni instrumenti
 - selektivni (uskopojasni) instrumenti
- Prostor
 - čvrste točke interesa
 - prebrisavanje čitavog prostora (max)
- Tripod
- Automatsko poznavanje položaja

Mjerni postupci i postupci izračuna

Usrednjavanje:

- Prostorno (9 točaka)

$$\bar{E} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} E_i^2}{N_p}} \text{ ili } \bar{H} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_p} H_i^2}{N_p}} \text{ ili } \bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N_p} S_i}{N_p}$$



Slika 6. Mjerenje 9 točaka

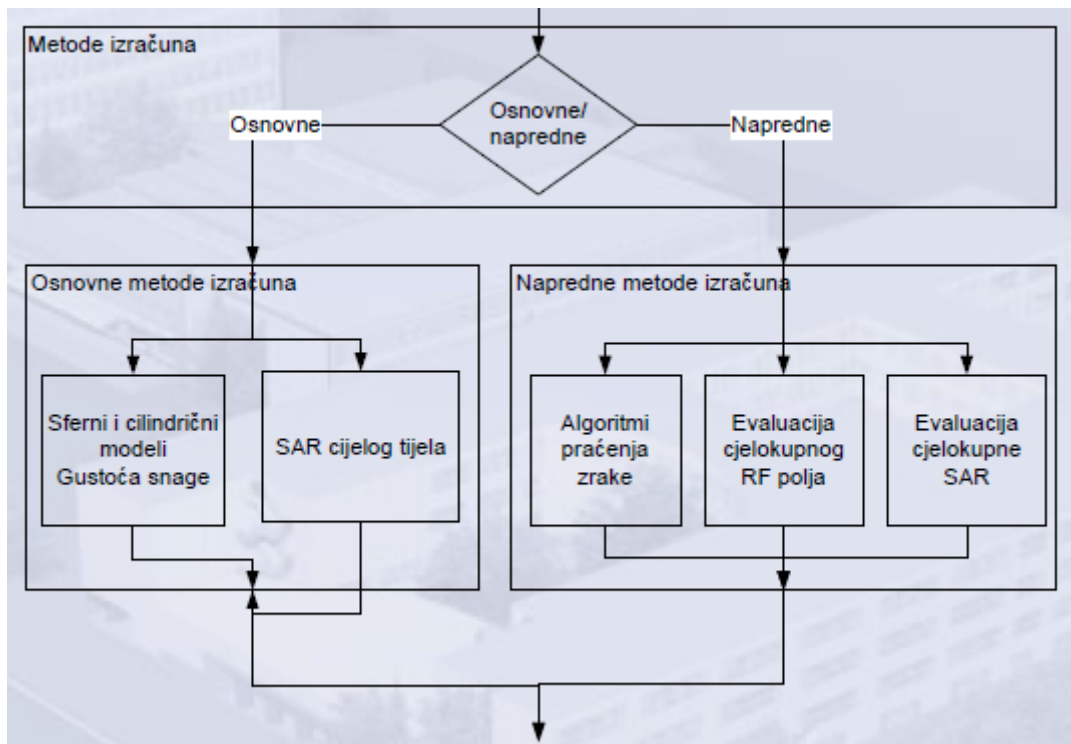
- Vremensko (6min)

Mjerni instrumenti:

- Izotropne sonde
- usmjerene sonde
- jednosmjerne sonde /dipoli/
- širokopojasne sonde
 - vrijednost trenutnog ili vremenski usrednjenog polja u okolišu
 - suma svih signala u cijelom frekventijskom pojasu sonde bez razlike u doprinosu na različitim frekvencijama (bilo od EUT ili od okoliša)
 - "ravni" odziv
 - "oblikovani" odziv –postotak odgovarajuće granične vrijednosti
- uskopojasne sonde
 - razlikovanje izvora na različitim frekvencijama
 - vrijednost polja u okolišu je veća od vrijednosti izvora
 - precizna evaluacija (npr. uslijed prevelike vrijednosti polja mjerenog širokopojasnom sondom)
 - mjerenja s niskom vrijednosti RF polja
 - mjerilo efektivne vrijednosti
 - broj prebrisaja (maksimalna vrijednost) u sekundi ne smije biti prevelik, frekventijski pojas dovoljno mali za točnu evaluaciju

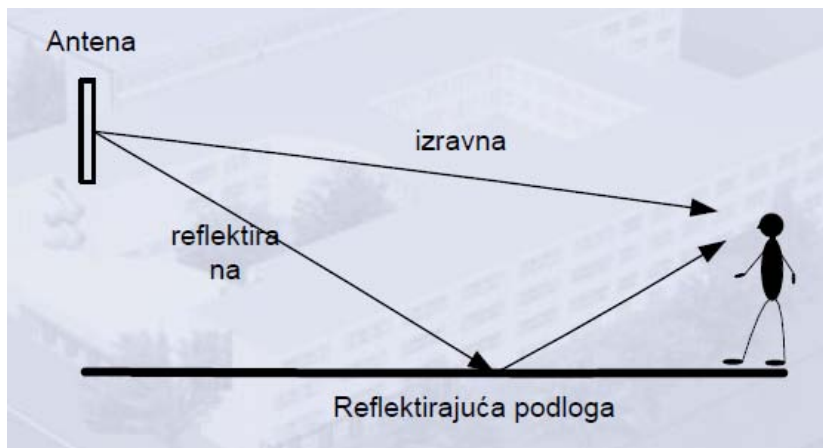
Oprema:

- ručno
- tronožac
- automatsko uzimanje mjernih podataka



Slika 7. Metode izračuna

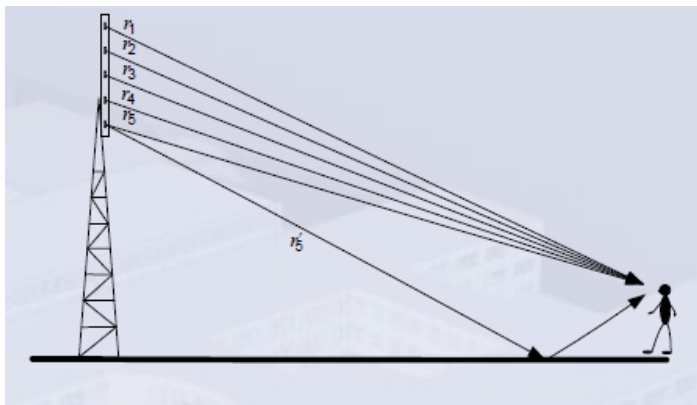
Osnovni postupci izračuna – sferni koo sustav



$$S = \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad r \geq \frac{2L^2}{\lambda}$$
$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot \bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}}{r} \quad H = \frac{E}{\eta_0}$$

$$S = (1 + |\Gamma|)^2 \cdot \frac{\bar{P}_{\text{avg}} \cdot G_{\theta,\phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

Napredni postupci izračuna – praćenje zrake



Uzima se u obzir:

- snaga odašiljača
- RF gubici prijenosa
- dobitak antene
- otvor antene
- dijagram zračenja antene
- visina, položaj i orijentacija antene
- podaci okoliša (tlo, zgrade)
- smještaj u okolišu