

Kontrola letenja Srbije i Crne Gore SMATSA d.o.o Beograd

**ANALITIČKI PRORAČUN ZONE
NEDOZVOLJENOG ZRAČENJA
SEKUNDARNOG RADARA**

OBJEKAT: RADARSKA STANICA "VRSUTA"

Jelena Balšić, dipl. inž. el.

SADRŽAJ PROJEKTA

1	ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN	2
1.1	KARAKTERISTIKE PROJEKTA.....	2
1.2	RADARSKA STANICA "VRSUTA".....	2
1.3	FREKVENCIJSKI OPSEZI	6
1.4	PODACI O RADARU I PRINCIP RADA.....	6
1.4.1	<i>Oprema</i>	6
1.4.2	<i>Tehnički opis Cirius RSM 970S sekundarnog radara</i>	8
1.4.3	<i>Antenski sistem na lokaciji "Vrsuta"</i>	13
2	PRORAČUN EIRP U PRAVCIMA MAKSIMALNOG ZRAČENJA	20
3	UTICAJ PROJEKTOVANE OPREME NA ZDRAVLJE LJUDI I ŽIVOTNU SREDINU	21
3.1	IZVOD IZ ZAKONSKE REGULATIVE O ELEKTROMAGNETNOM ZRAČENJU	21
3.2	UTICAJ NEJONIZUJUĆEG ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA NA ŽIVOTNU SREDINU.....	48
3.3	UTICAJ ZRAČENJA RADARA NA ŽIVOTNU SREDINU	52
3.3.1	<i>Doze radarskog zračenja</i>	53
3.3.2	<i>Mjere zaštite od zračenja radara</i>	54
3.3.3	<i>Prednosti radara u odnosu na ostale izvore nejonizujućeg zračenja u smislu zaštite životne sredine i zdravlja ljudi</i>	55
3.4	PRORAČUN GRANIČNE ZONE NEDOZVOLJENOG ZRAČENJA	57
3.5	PRORAČUN ZONE NEDOZVOLJENOG ZRAČENJA ZA ANTENSKI SISTEM NA LOKACIJI "VRSUTA"	60
3.6	RADIO RELEJNE VEZE	64

1 ULAZNI PODACI ZA PRORAČUN

1.1 KARAKTERISTIKE PROJEKTA

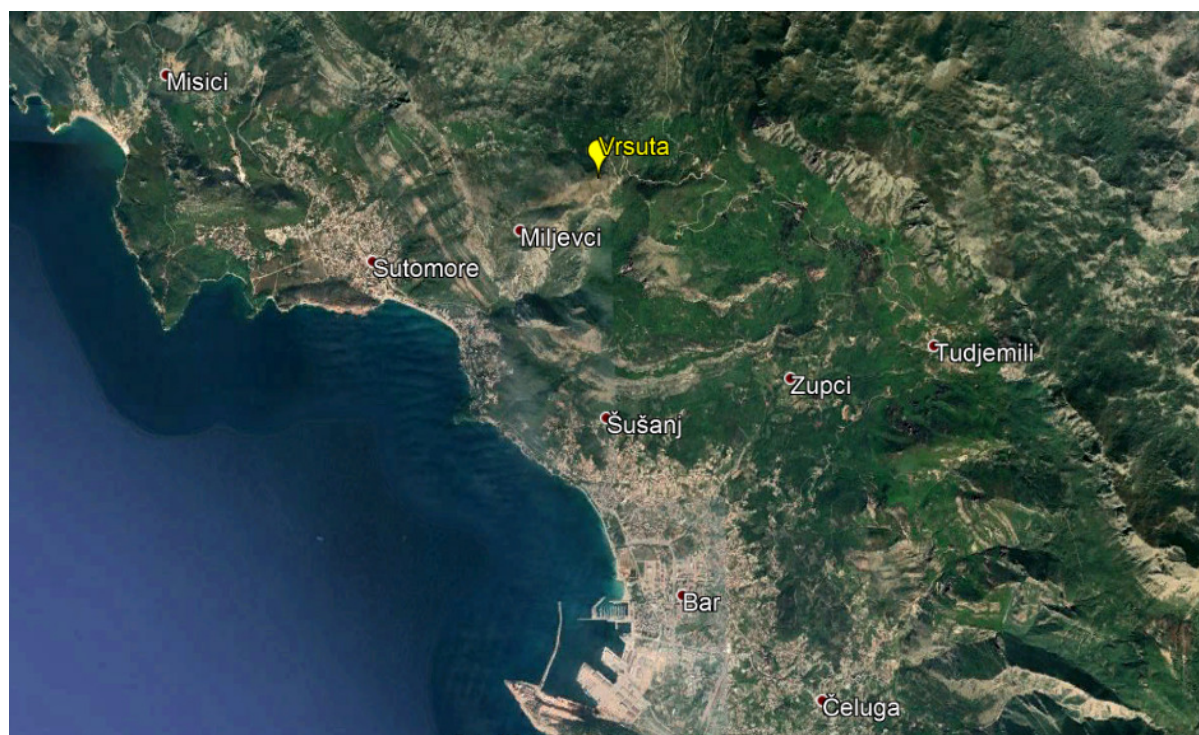
Izgradnja objekata Radarska stanica Vrsuta sa pratećim sadržajima se planira na lokaciji: Kat.parcele 1/3 i 1/2 KO Zupci, 1/3 KO Zankovići, 2843/2 i 2843/6 KO Limljani i 1236/4 KO Sozina, opština Bar u skladu sa Urbanističko tehničkim uslovima br. 07-352/18-1012 od 16.01.2018.godine, izdatim od strane Sekretarijata za uređenje prostora, opštine Bar.

Lokacija Radarske stanice je na planinskom vrhu Vrsuta na 1182m nadmorske visine, na zaravni koja se proteže u pravcu JI-SZ u dužini od cca 45m i u pravcu JZ-SI cca 20m.

1.2 RADARSKA STANICA "VRSUTA"

Sve koordinate su date u WGS-84 sistemu.

Lokacija	Geografska širina	Geografska dužina	Nadmorska visina tla
Radarska stanica Vrsuta	42°09'12.30"	19°05'08.00"	1182 m





Predmetna Radarska stanica će služiti za poboljšanje nadzora vazdušnog saobraćaja u jugozapadnom prostoru nadležnosti Kontrole letenja Srbije i Crne Gore SMATSA doo.

Objekat radarske stanice je projektovan za instalaciju vazduhoplovno-tehničkog sistema tipa sekundarni radar kontrole letenja, shodno usvojenom strateškom cilju u domenu nadzora vazdušnog saobraćaja.

Generalno gledano, radar je uređaj za otkrivanje prisustva i određivanje položaja objekata u prostoru koji pokriva. Po principu rada, razlikuju se primarni i sekundarni radari. Princip rada primarnog radara se zasniva na emitovanju elektromagnetnih impulsa kratkog trajanja i jako velike snage i detekciji odraza tj. signala reflektovanih od stacionarnih i pokretnih ciljeva. Princip rada radara sekundarnog tipa, koji će biti instaliran na lokaciji Vrsuta, je drugačiji i detaljno je opisan u poglavlju 1.4.

Objekat radarske stanice se izvodi kao slobodnostojeći.

Objekat je spratnosti: suteran, prizemlje i prostor kupole sa krovnom terasom. Objekat je u AB konstruktivnom sistemu nosećih AB platna i stubova.



U **suterenskoj** etaži su smješteni sledeći sadržaji:

- magacin,
- prostorija za dizel električni agregat,
- prostorija za smeštaj mašinske opreme i opreme za gašenje požara,
- prostorija ostave.

U **prizemlju** se nalazi:

- tehnička sala,
- prostorija za monitoring,
- dnevni boravak sa kuhinjom,
- toaleti,
- radionica sa magacinom,
- prostorija za glavni električni razvod,
- portirnica,
- vjetrobran i stepenišni prostor koji vodi ka suterenu i ka kupoli.

U prostor kupole je smješten nosač obrtnog mehanizma radara i obezbijeđeni su svi potrebni ulazi kako za osoblje, tako i za kanale instalacija, opremu, teret i slično. Kupola je u osnovi prečnika 9m s tim što je ostavljena mogućnost da se, uz minimalne intervencije u konstruktivnom smislu izvede i kupola prečnika osnove od 10m, ukoliko se za to ukaže potreba nakon pribavljanja neophodne radarske opreme.

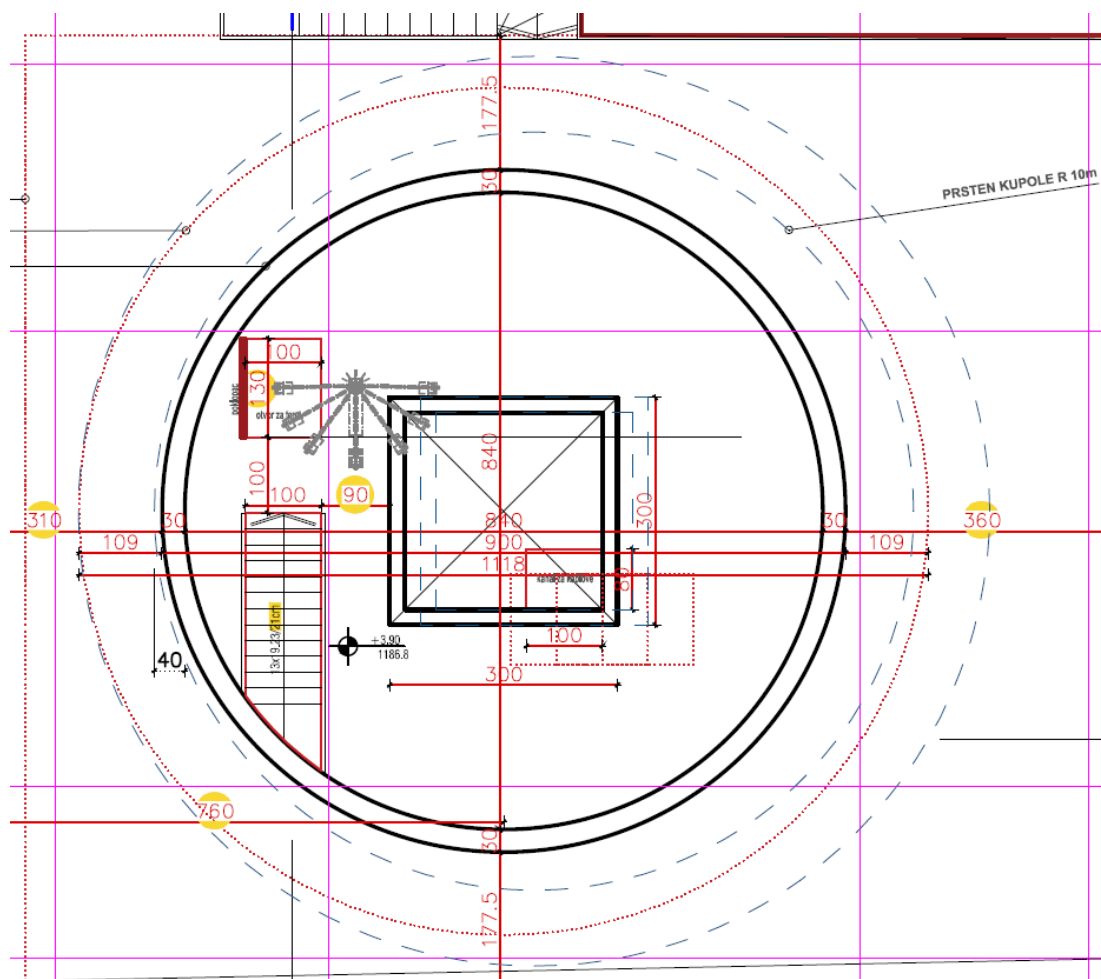
Predviđeno je da se podizanje tereta u prostor kupole može vršiti iz suterena kao i sa nivoa prizemlja, uz pomoć platforme dimenzija 1x1,3m.

Etaža	Neto (m2)	Bruto (m2)
Suteren	137,13	171,94
Prizemlje	151,08	180,71
Kupola	55,41	63,61
Ukupno:	343,62	416,26

Raspored površina

Ukupna neto površina Radarske stanice, iznosi **PN=343,62 m²**, a bruto **PB=416,26 m²**. Površina krovne terase iznosi **138m²**.

Maksimalna visina objekta je **14,6m** od najvisočije kote terena.



1.3 FREKVENCIJSKI OPSEZI

Frekvencijski opseg za komunikaciju između sekundarnog radara i referentnog transpondera izabran je u skladu sa Planom namjene radio-frekvencijskog spektra.

Sekundarni radar i pripadajući dvokanalni referentni transponder rade u frekvencijskom opsegu 960-1215MHz koji je rezervisan za vazduhoplovne potrebe.

Sekundarni radar vrši predaju na 1030 MHz, a prijem na 1090 MHz, dok za dvokanalni referentni transponder važi obrnuto.

1.4 PODACI O RADARU I PRINCIP RADA

1.4.1 Oprema

Sekundarni radar za nadzor vazdušnog saobraćaja koji će biti instaliran na RS "Vrsuta" je tipa RSM 970S, verzija Cirius, proizvođača Thales LAS France SAS, Francuska. Sve ključne komponente sekundarnog radara, uključujući i predajnik i prijemnik, su duplirane i rade u konfiguraciji radni/rezervni, uz omogućeno automatsko prebacivanje sa radnog na rezervni predajno-prijemni lanac u slučaju kvara. Primo-predajni dio, kao i dio za procesiranje signala, biće smješteni u tehničkoj sali na stanici. Kao dio sekundarnog radarskog sistema, od proizvođača opreme biće isporučena i antena sekundarnog radara, AS 909, koja je usmjerenog tipa i koja se koristi za predaju i prijem. Antena je sastavljena kao niz dipola, sa formiranim dijagramom zračenja optimizovanim za nadzor vazdušnog saobraćaja. Antena će biti instalirana u kupoli smještenoj iznad tehničke sale radarske stanice. Pomoću posebnog rotirajućeg dijela (pod nazivom „obrtna spojnica“) ostvaren je prelaz između fiksnih (predajno-prijemni dio, u tehničkoj sali) i pokretnih djelova radara (rotirajuća antena, u kupoli). Kroz obrtnu spojnicu prolaze koaksijalni kablovi preko kojih se prenose signali između antene i predajno-prijemnog dijela radara.

Sekundarni radar radi na principu slanja radarskih upita definisane strukture (definisano trajanje i razmak između impulsa) i prijema odgovora od avionskog transpondera (uređaj instaliran u vazduhoplovu namijenjen komunikaciji sa sekundarnim radarom u cilju određivanja položaja i identifikacije vazduhoplova). Slanje radarskih upita i prijem odgovora od transpondera u vazduhoplovu vrši se u razdvojenim vremenskim intervalima, i ciklično se ponavlja, dok za to vrijeme radarska antena vrši obrtanje u horizontalnoj ravni čime se vrši „skeniranje“ vazdušnog prostora po azimutu.

Unutar kupole smještene iznad tehničke sale radarske stanice planira se montaža antene sekundarnog radara, dok će primo-predajni dio, kao i dio za procesiranje signala biti smješteni unutar postojeće tehničke sale.

U narednoj tabeli date su osnovne karakteristike predaje predmetnog radara:

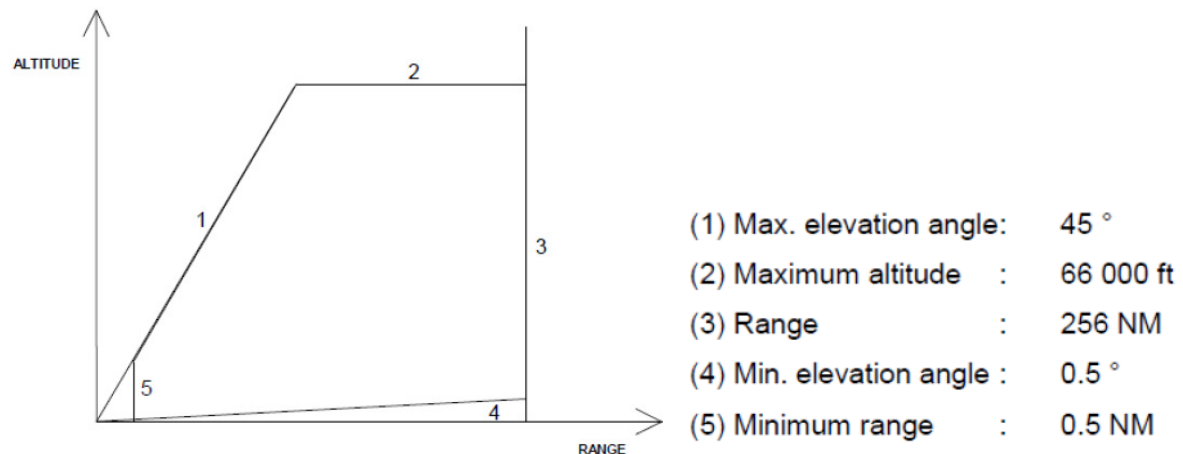
Parametar	
Radni opseg	960 – 1164 MHz
Predajna frekvencija radara	1030 MHz \pm 0.01 MHz
Vršna snaga na izlazu iz predajnika radara	2570 W (64.1 dBm)
Gubici od izlaza predajnika do radarske antene	4.2 dB
Širina emitovanih impulsa	0.8 μ s (impulsi ¹ p1, p2, p3, p4, p5)
	16.25 μ s ili 30.25 μ s (impuls p6)
Vrsta modulacije na predaji	Impulsna modulacija kontinualnog signala 1030 MHz Dodatno, na impulsu p6 (Mode S režim rada) primijenjena je i DPSK modulacija na intervalima trajanja 0.25 μ s
Duty cycle predajnika	Manji od 2% za SUM kanal Manji od 0.03% za OMEGA kanal
Domet radara	Maksimalno do 256 NM ²
Brzina rotacije antene radara	Do 15 RPM ³ , podesivo 15 RPM je vrijednost za planiranu konfiguraciju (to znači da za 4s antena napravi pun sken po azimutu)

¹Svi emitovani impulsi imaju svoje značenje tj. Određenu funkciju i poznatu poziciju u emitovanom upitu koji radar šalje avionskom transponderu.

²NM – nautička milja, 1.852 km

³RPM - revolutions per minute - broj obrta antene oko svoje vertikalne ose po minutu

Naredna slika pokazuje oblast (prostorni volumen) pokrivanja radara.



Oblast pokrivanja radara

1.4.2 Tehnički opis Cirius RSM 970S sekundarnog radara

Osnovni elementi sekundarnog radara koji se instalira na radarskoj stanici Vrsuta su:

- RSM 970S Cirius sekundarni nadzorni radar (MSSR/Mode S) sa pripadajućom antenom,
- Sistem za daljinski nadzor i kontrolu (RCMS),
- Lokalni pokazivač radarskih podataka (IBIS),
- Softverski alat za parametrizaciju RSM 970S Cirius sistema (CBP-DPC),
- Referentni transponder (SMS).

RSM 970S može da radi u *stand-alone* konfiguraciji ili zajedno sa primarnim radarom. Ova oprema u svakom aspektu ispunjava preporuke i zahtjeve postavljene u odgovarajućim poglavljima:

- ICAO Annex-a 10
- EUROCONTROL Standard Document for Radar Surveillance in En-Route Airspace and Major Terminal Areas, Edition 1.0, March 1997

RSM 970S Cirius je Mode S radarski senzor – unapređena verzija RSM 970S POEMS radarskog sistema, koji predstavlja evoluciju tradicionalnog MSSR sistema (Monoimpulsni sekundarni nadzorni radar), sa zadržanom punom MSSR funkcionalnošću.

Mode S senzor je dizajniran da pruži:

- Visok doprinos sigurnosti kontrole letenja obezbeđenjem visokog integriteta i raspoloživosti podataka,
- Pomoć u podršci standardima redukovano razdvajanja u zonama gustog saobraćaja.

Mode S princip je zasnovan na unapređenju Mode A/C upita i planiranju odgovora (*reply scheduling*). Upiti su selektivno adresirani prema pojedinim avionima ("S" u Mode S znači "Selektivno") umesto da se emituju u celokupnom antenskom snopu. Na ovaj način može se razmeniti veća količina podataka između radara i vazduhoplova.

1.4.2.1 Elementi sistema

Antenski sistem

Oprema antenskog sistema locirana je na metalnoj konstrukciji/nosaču antenskog sistema i u tehničkoj sali. Sastoji se od sledećih elemenata:

- sekundarna antena (AS 909),
- pogonski obrtni mehanizam (EA 2000 NGB) sa obrtnom spojnicom (JTS),
- kabinet za kontrolu antenskog sistema (AA 2000).

Sekundarni radar

Smešten je u TRC i TOM kabinetima, i čine ga dve funkcionalne podceline:

- Elektronska oprema specifična za funkciju RF upita/prijema koja podrazumeva: jedan predajnik (STX 2000) i jedan prijemnik i procesor signala

(MDRP) po RF kanalu, kao i zajedničku RF transfer jedinicu (RFUc) koja omogućuje prebacivanje između oba redundantna kanala na RF nivou,

- IRP (Interrogator Reply Processor) – elektronska oprema specifična za obavljanje funkcija: kontrola generacije upita, procesiranje signala, generisanje poruka odgovora, procesiranje SSR i Mode S ciljeva.

Sistem za daljinski nadzor i kontrolu (RCMS)

Ovaj podsistem predstavlja interfejs između čoveka i radarske opreme. Koristi se za kontrolu i nadgledanje glavnih delova radarske stanice sa jedne lokalne operatorske pozicije (LTM), jedne udaljene operatorske pozicije (STM) i jedne centralizovane operatorske pozicije (CTM – za sve radarske sisteme).

Pomoćna oprema

Ovu podgrupu čine kabinet za distribuciju napajanja (AE 2000) i pomoćna oprema TRC i TOM kabineta.

Oprema za održavanje

Oprema koja obuhvata:

- Lokalni radarski pokazivač (IBIS),
- Alat za izmenu parametara na lokaciji (SDPT). Ovaj alat je u stvari softver (CBP) koji radi na klasičnom PC-u. Koristi se za podešavanje operativnih parametara sekundarnog radara, kao i parametara za proveru rada Mode S referentnog transpondera.

Referentni transponder

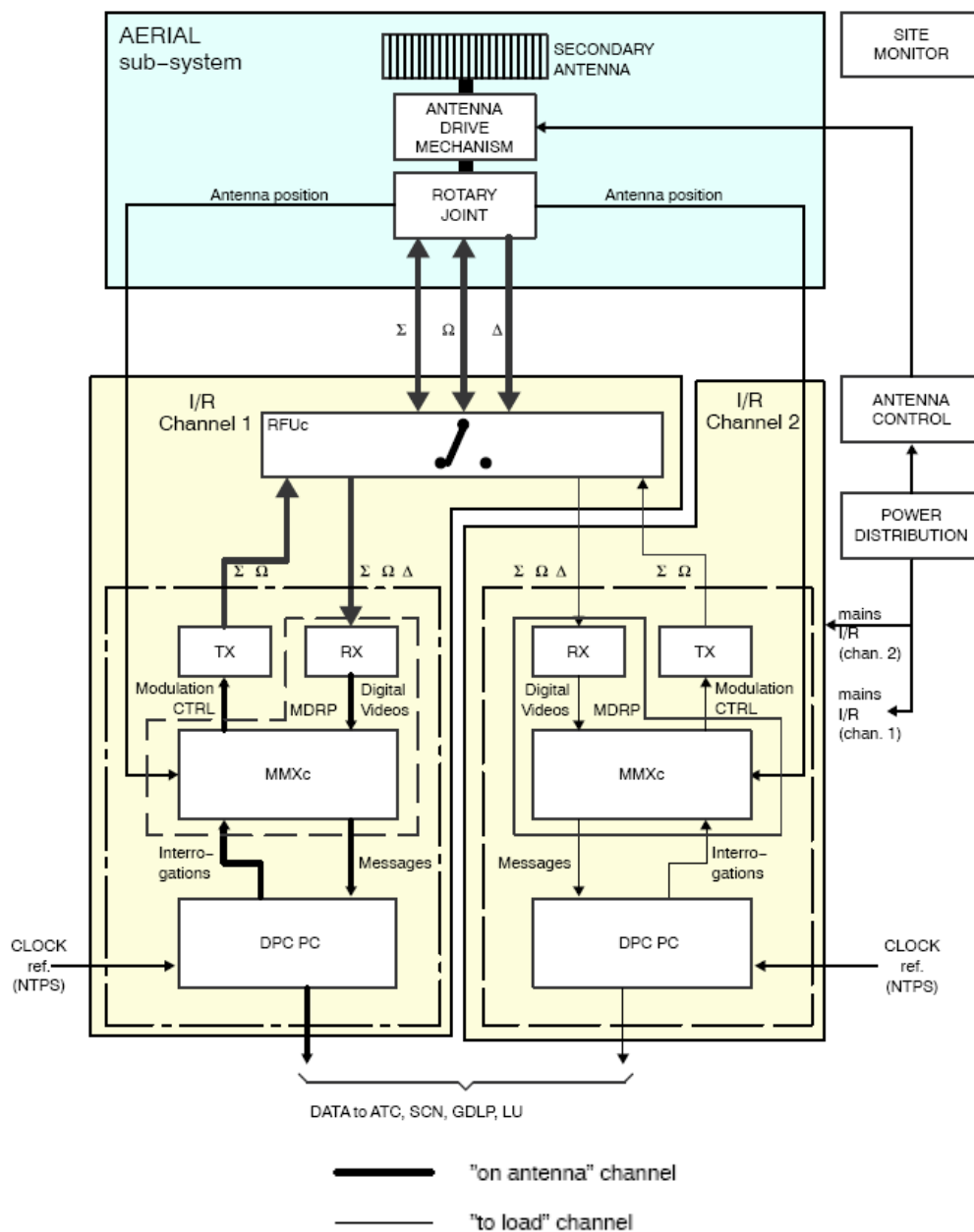
Ova oprema predstavlja udaljeni sistem koji služi za praćenje ispravnosti rada radarskog sistema. Radi kao Mode S avionski transponder, koji omogućava proveru integriteta sistema kroz implementirane *Long Loop* testove.

1.4.2.2 Funkcionalni blokovi u sistemu

Radarska oprema je distribuirana na nekoliko različitih lokacija:

- Radarska stanica:
 - Radarska kupola-antenski sistem,
 - Tehnička sala,
- Udaljena RCMS lokacija (STM, CTM),
- Lokacija referentnog transpondera.

Na narednoj slici prikazan je blok dijagram osnovnih elemenata RSM 970S Cirius radarskog sistema.



Blok dijagram RSM 970S Cirius radarskog sistema

Tehnička sala

Najveći deo opreme u tehničkoj sali nalazi se u kabinetima (naredna slika). Na taj način obezbeđene su kratke žične interkonekcije i zadovoljavajući EMC zahtevi. Kabineti su postavljeni na podvoz (skid) kroz koji prolaze sve interkonekcije.

Ostala oprema, uglavnom namenjena za održavanje i prenos podataka, nalazi se u pomoćnom kabinetu i na tehničkom stolu.



SYS-g0171-00-un

RSM 970 S Cirius kabineti u tehničkoj sali

Raspored RSM 970S Cirius kabineta

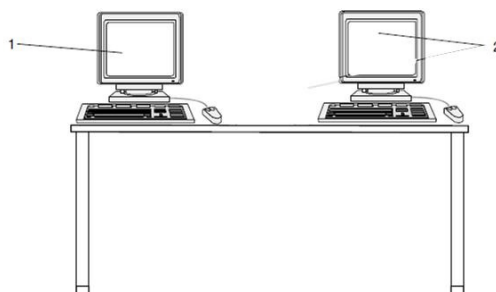
RSM 970S CIRIUS sastoji se od:

- Kabinet za distribuciju energetskeg napajanja AE 2000 R, postavljen leđa u leđa sa antenskim kabinetom (AA 2000 NGB),
- Kabinet za kontrolu antenskog sistema AA 2000 NGB,
- TOM (Tracking Output and Miscellaneous) kabinet, koga čine:
 - Razni pomoćni uređaji:
 - RCMS PC sa supervizorskim LAN switch-om,
 - IBIS PC,
 - IBIS switch box,
 - Glavni udvojeni uređaji (jedan po kanalu)
 - DPC PC – Data Processing Computer,
 - pLines za interfejs prema CKL Beograd,
 - LAN switch,
 - NTP server za funkciju uštampavanja tačnog vremena,
- TRC (Transmission Reception Cabinet) kabinet, koga čine:
 - Za svaki radarski kanal posebno:
 - MDRP prijemnik i procesor signala,
 - STX2000 predajnik,
 - ventilatorski rek,
 - PSU rek napajanja,
 - RFUc jedinica za transfer RF signala (sa zadnje strane kabineta),
 - LO monitoring box (sa zadnje strane kabineta).

Tehnički sto i pomoćni rek

Tehnički sto sastoji se od sledećih elemenata (slika ispod):

- Monitor, tastatura i miš za lokalni radarski pokazivač IBIS (element 1)
- Monitor, tastatura i miš za RCMS računar (pozicija LTM) sa odgovarajućim printerom (element 2)



Tehnički sto

Veze antenskog sistema i opreme u tehničkoj sali

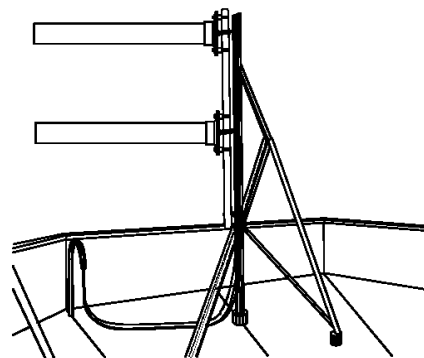
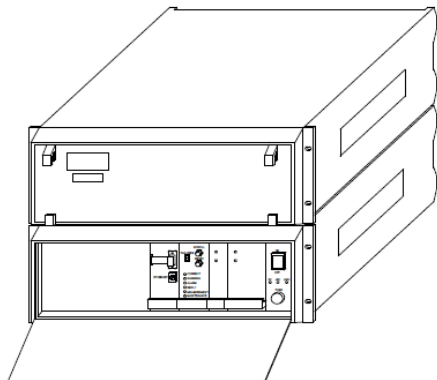
Veza RFU/obrtna spojnica – RFU jedinica u RSM 970S Cirus kabinetu povezana je sa obrtnom spojnicom preko tri RF koaksijalna kabla, preko kojih se vrši predaja (Σ i Ω) i prijem signala (Σ , Δ , i Ω).

Veza MDRP/optički enkoderi – Svaki od dva MDRP uređaja povezan je sa jednim optičkim enkoderom u podnožju obrtne spojnice. Ova dva enkodera napajaju se iz DC PSU jedinica smeštenih na zadnjoj strani TOM kabineta.

Lokacija referentnog transpondera

Referentni transponder je udaljeni uređaj, i može se nalaziti na velikoj distanci u odnosu na radarsku stanicu. Na osnovu podesive sposobnosti simuliranja daljine odgovora (*reply range*) njegova udaljenost od radara nije operativno nametnuta.

Referentni transponder (levo na narednoj slici) se sastoji od dve opremljene šasije (jedna po kanalu) međusobno povezane kablom za prenos podataka. Biće instaliran u tehničkoj sali TKL Podgorica, te je zaštićen od spoljnih uslova okoline. Svaki kanal povezan je na odgovarajuću usmerenu (direktivnu) antenu (desno na slici ispod) montiranu na spoljni antenski stub.



Par referentnih transpondera (SMS) – levo, i njihovih antena (SMSA) – desno

1.4.3 Antenski sistem na lokaciji "Vrsuta"

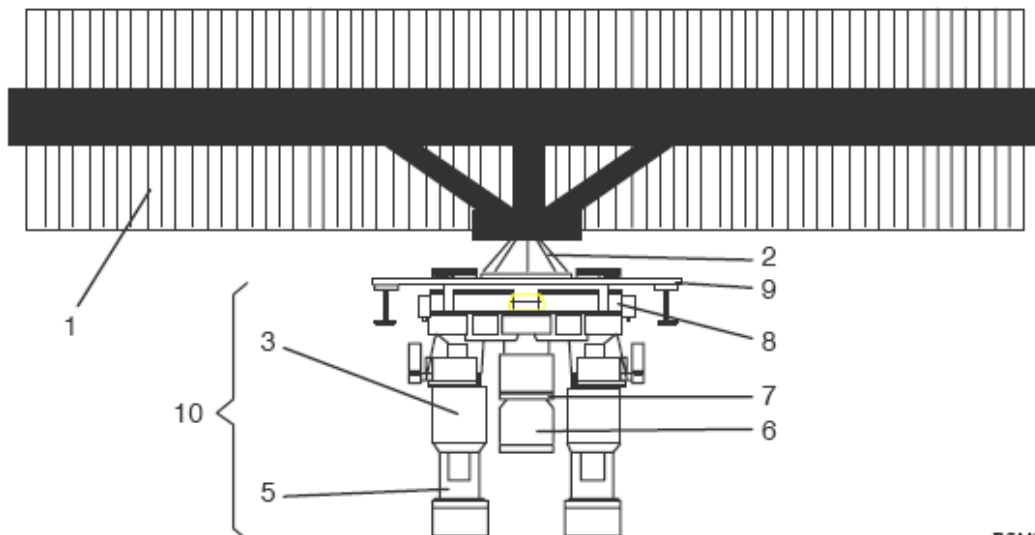
Antenski sistem sastoji se od sledećih elemenata:

- Sekundarna antena AS 909,
- Obrtni mehanizam sa dva pogonska motora EA 2000 NGB,
- Obrtna spojnica sa dva optička enkodera.

Antena je povezana sa obrtnim mehanizmom preko antenske osnove. Za obrtanje mehanizma i antenske osnove koriste se dva motora u simultanom radu. Obrtni mehanizam je instaliran na nosećoj čeličnoj konstrukciji montiranoj na krovnoj ploči zgrade radarske stanice. Obrtna spojnica je povezana na antensku osnovu sa donje strane obrtnog mehanizma. Za potrebe održavanja obrtni mehanizam, obrtna spojnica i motori su okrenuti na dole u odnosu na platformu antenskog sistema.

Elementi antenskog sistema

Element	Funkcija
1	Sekundarna antena AS909
2	Osnova sekundarne antene
3	Zupčanici
5	Motor
6	Optički enkoderi
7	Obrtna spojnica
8	Mehanički interfejs
9	Noseća ploča
10	Motorizacija



RSM970S-4

Antenski sistem

Obrtna spojnica je opremljena sa dva optička enkodera za pružanje informacije o ugaonom (azimutnom) položaju antene. Obrtna spojnica omogućuje prenos signala tri MSSR/Mode S kanala Σ , Δ , i Ω od pokretnih delova (antena) ka nepokretnim delovima radarskog sistema (prijemnik) i obrnuto (predajnik ka anteni, bez Δ).

Osnovni parametri antene AS909:

Antena AS 909	
Tip antene	antenski niz sastavljen od dipola
Radni opseg	predaja: 1030 MHz \pm 3.5 MHz prijem: 1090 MHz \pm 5 MHz
Polarizacija	linearna vertikalna
Maksimalni dobitak antene	27 dBi
Mehanički tilt antene	podesiv od -10° do +10° obično se postavlja na vrijednosti: -1° do +3°
3dB-ska širina glavnog snopa antene u glavnoj horizontalnoj ravni	2.4° \pm 0.25°
Karakteristična impedansa	50 Ω
VSWR	\leq 1.5

1.4.3.1 Tehnički opis antene sekundarnog radara AS 909

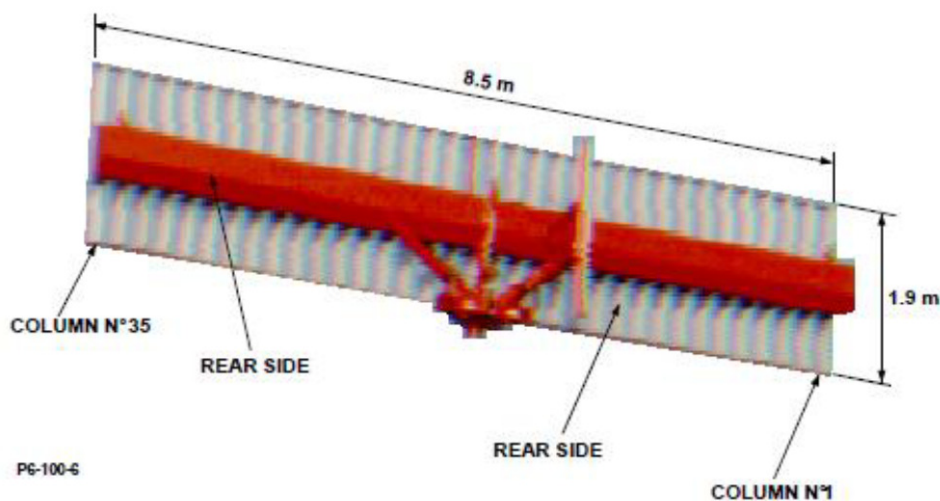
Antena sekundarnog radara AS 909 služi da emituje impulse koje generiše interogator radara (predajni dio), kao i za prijem odgovora od vazduhoplova opremljenih transponderom. Dizajnirana je tako da može da radi i napolju, ali je iz razloga zaštite od nepovoljnih vremenskih uslova (kiša, grad, snijeg, vjetar) postavljena unutar kupole koja je napravljena tako da ne remeti formiranje dijagrama zračenja antene. Može se instalirati tako da radi bilo sama, bilo u konfiguraciji zajedno sa antenom primarnog radara (tada je montirana na njenom vrhu).

Antena AS 909 se sastoji od:

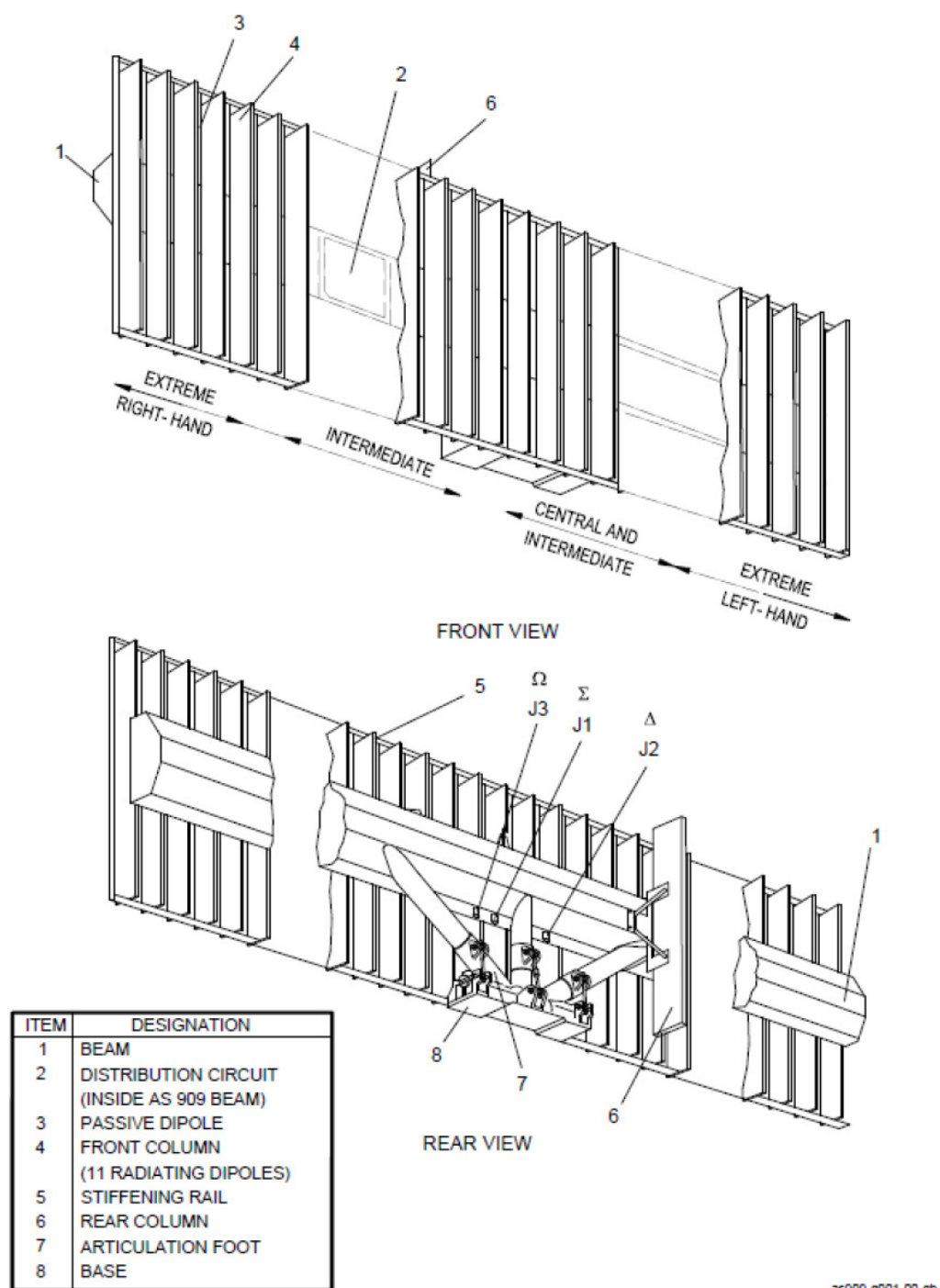
- metalne konstrukcije na kojoj su smješteni dipoli
- 35 niza dipola sa prednje strane (pri čemu se svaki niz sastoji od 11 dipola)
- jednog niza dipola sa zadnje strane (kontrolni niz sa posebnom funkcijom generisanja kontrolnog Ω dijagrama, koji će biti objašnjen kasnije)

Antena sekundarnog radara koja će biti instalirana ima sljedeće dimenzije:

- Dužina: 8.5 m
- Dubina: 1 m
- Visina: 1.9 m
- Težina: 430 kg (približno)



Dimenzije antene AS 909

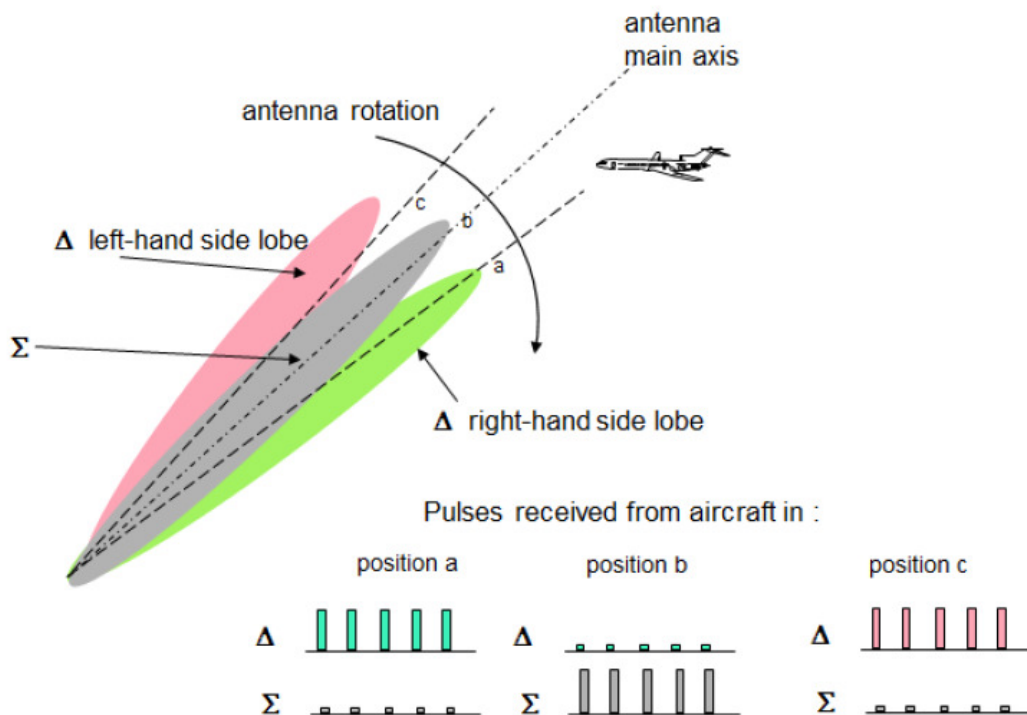


Izgled AS 909 antene

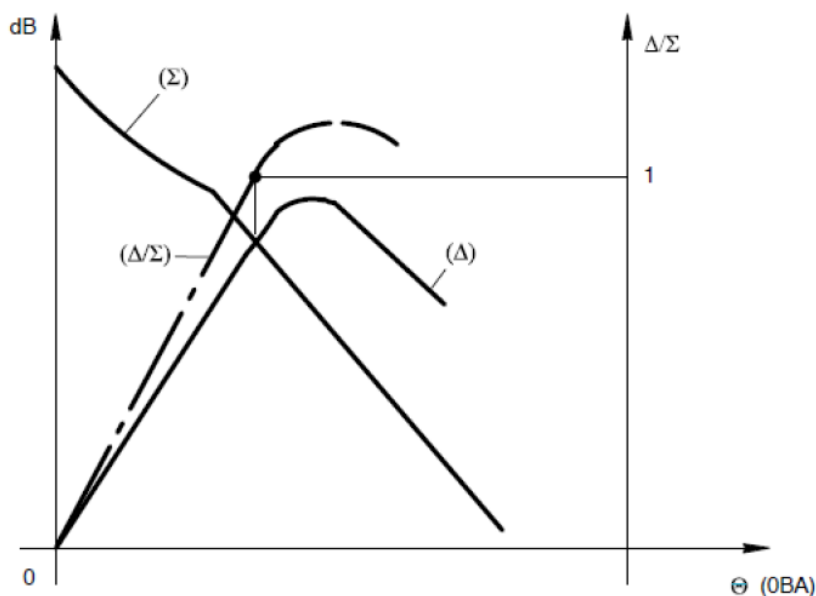
1.4.3.2 Princip rada antene AS 909

Antena AS 909 je monoimpulsnog tipa. Monoimpulsna tehnika predstavlja unapređenje konvencionalnih SSR radara, odnosno njihovih korišćenih antena. Za razliku od konvencionalnih radara, gdje je potrebno 20 do 30 odgovora primljenih od vatduhoplova da bi se pouzdano odredila pozicija cilja, kod monoimpulsnog SSR-a potrebno je 3 do 8 impulsa za određivanje tačne pozicije iz sistematskih razloga, iako je za prijem teoretski dovoljan samo jedan primljeni impuls. Uslov za uvođenje monoimpulsne tehnike kod sekundarnog radara jeste korišćenje dodatnog signala na

prijemu – diferencijalni signal. Diferencijalni signal se dobija tako što se elementi antenskog niza dijele na dvije polovine (lijevu i desnu). Ove dvije polovine antenskog niza su simetrične u odnosu na pravac glavnog snopa radara. Pri predaji obije polovine antene se napajaju u fazi i formiraju Σ (Sum) dijagram zračenja. Na prijemu se iz antenskog niza mogu formirati OBA (*Off-Boresight Angle*) i uz pomoć njega računa tačan azimut posmatranog cilja (oduzimanjem, odnosno dodavanjem OBA na azimut antene u zavisnosti od faze). Princip rada monoimpulsne tehnike ilustrovan je na slici 6.8., dok je na slici 6.9. prikazan princip određivanja OBA.



Princip rada monoimpulsnog procesa

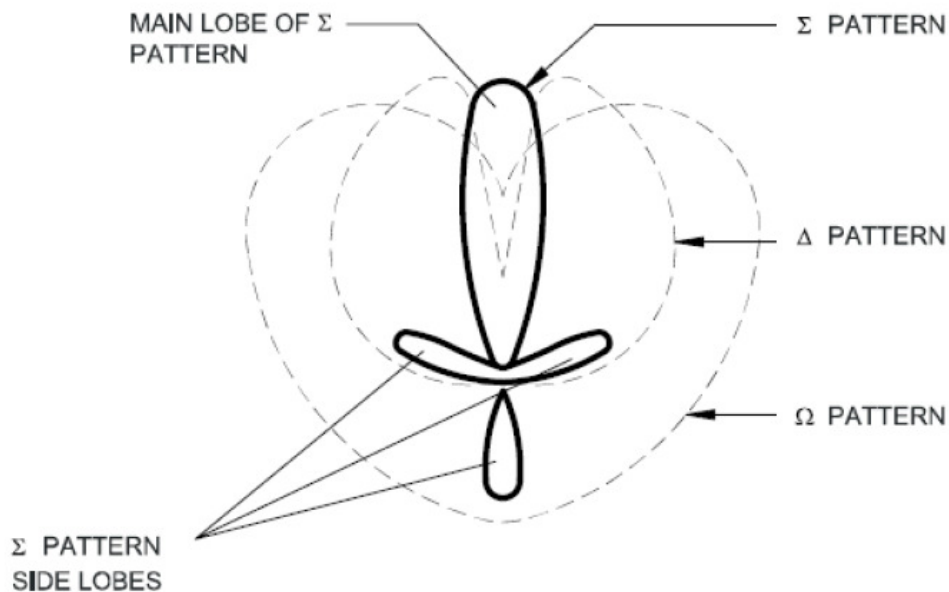


Princip određivanja OBA

Sum, kontrolni i diferencijalni dijagrami antene

Na slici 6.10. prikazani su „Sum“ (Σ), kontrolni (Ω) i diferencijalni kanal (Δ) sekundarnog radara. „Sum“ i kontrolni kanal postoje i u predaji i u prijemu, dok se diferencijalni kanal dobija samo na prijemu.

„Sum“ dijagram zračenja treba da ima što veći dobitak u pravcu i smjeru zračenja antene (glavni snop), dok bočni lobovi i zadnji lob moraju biti potisnuti u odnosu na glavni snop. „Sum“ signal služi za komunikaciju sa vazduhplovom i po njemu se emituju upiti radara.



Dijagrami zračenja Σ , Δ i Ω kanala u horizontalnoj ravni

Kontrolni (Ω) dijagram služi za potiskivanje bočnih lobova, odnosno za inhibiciju procesiranja onih odgovora vazduhoplova primljenih po bočnim lobovima. U suprotnom, dolazilo bi do greške u prijavljivanju pozicije vazduhoplova. „Sum“ dijagram zračenja ima veći dobitak u pravcu glavnog snopa zračenja od kontrolnog dijagrama. Kontrolni dijagram zračenja ima veći dobitak od „Sum“ dijagrama u svim pravcima osim u pravcu glavnog snopa.

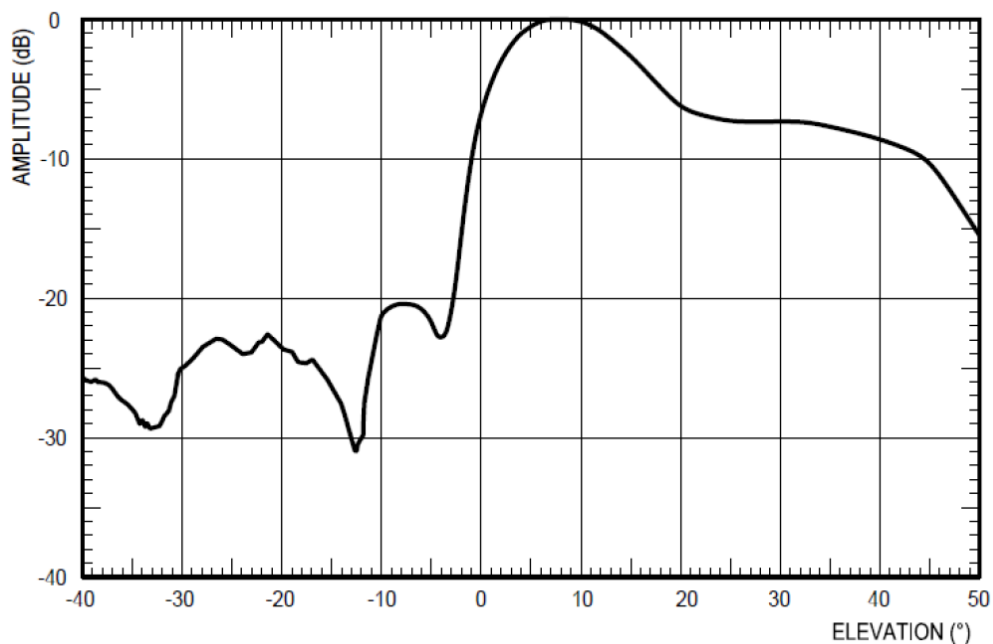
Diferencijalni (Δ) dijagram zračenja se koristi za pozicioniranje vazduhoplova unutar glavnog snopa računanjem OBA.

Mjerenje azimutnog ugla

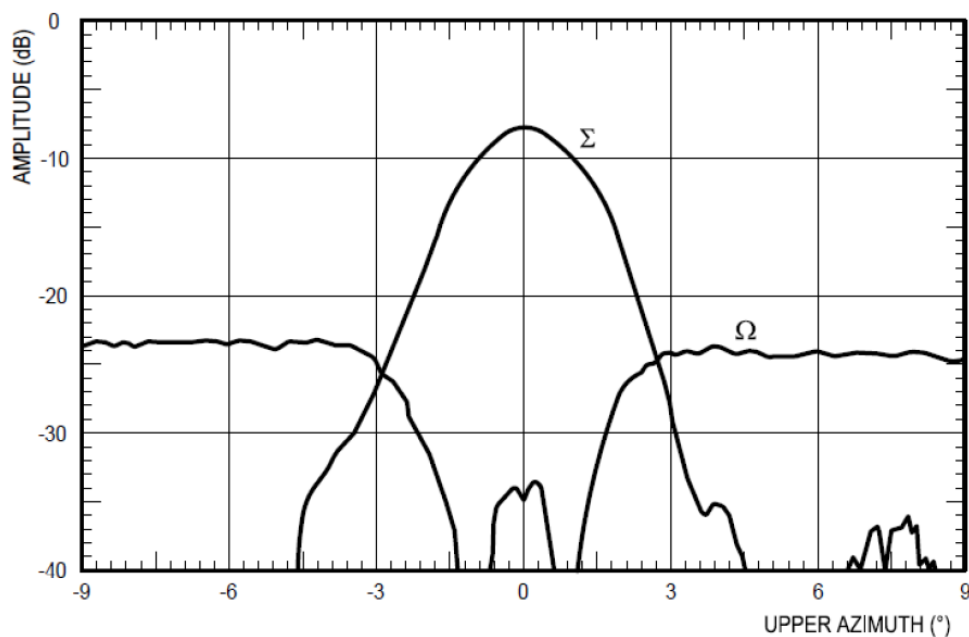
Mjerenje azimutnog ugla predstavlja postupak određivanja ugla između pozicije vazduhoplova i sjevera (*true North*) u smjeru okretanja kazaljke na satu. Kod monoimpulsnog sekundarnog radara azimutni ugao vazduhoplova predstavlja zbir, odnosno razliku azimutnog ugla antene i OBA. Azimutni ugao antene određuje se sa preciznošću 0.022° jer se u tu svrhu u radaru koristi 14-bitni optički enkoder. Enkoder je smješten u obrtnoj spojnici koja služi da poveže rotirajuću antenu sa fiksnim postoljem i obrtnim mehanizmom koji obezbjeđuje rotaciju antene.

Radarska antena ima takav dijagram zračenja prilagođen njenoj namjeni – usmjerenost (interni električni tilt) na gore, kako bi se uz primijenjeno okretanje

antene vršilo „skeniranje“ vazdušnog prostora od interesa. Dijagram zračenja dostiže maksimum na oko 8.5° u odnosu na horizontalnu ravan kada je mehanički tilt 0° .



„Sum“ (Σ) dijagram zračenja preko koga radar emituje upite u vertikalnoj ravni



SIGMA and OMEGA patterns at 0 elevation

Dijagrami u horizontalnoj ravni, mjereni na elevaciji 0° (a ne na 8.5° gdje leži maksimalan dobitak antene)

Karakteristike „sum“ (Σ) dijagrama zračenja:

SUM (SIGMA) pattern characteristics	Value
Gain at maximum radiation	≥ 27 dB/isotropic
Beam width at -3 dB (at 0° elevation)	$2.4^\circ \pm 0.25^\circ$
Beam width at -10 dB (at 0° elevation)	$\leq 4.5^\circ$
Level of side lobes in the azimuth pattern	≤ -28 dB in relation to local peak, or ≤ -29 dB in relation to max Σ
Level of backlobe in the azimuth pattern	≤ -26 dB in relation to local peak, or ≤ -28 dB in relation to max Σ
Level at $+6^\circ$ elevation angle	within 1 dB of the peak
Level between $+15^\circ$ elevation and $+30^\circ$ elevation	constant within 1.5 dB
Level above 50° elevation	-16 dB below the peak
Level above 60° elevation	-20 dB below the peak
Level above 70° elevation	-25 dB below the peak
Slope at 0° elevation	≥ 1.8 dB/ $^\circ$

2 Proračun EIRP u pravcima maksimalnog zračenja

Da bi izračunali EIRP za obe lokacije uzimamo u obzir sledeće podatke:

Sekundarni radar na lokaciji "Vrsuta":

Izlazna snaga predajnika = 2570W = 64.1 dBm

Dobitak antene = 27 dBi

Slabljenje od predajnika radara do radarske antene = 4.2 dB

EIRP će sada biti:

$$\mathbf{EIRP = 64.1 + 27 - 4.2 = 86.9 \text{ dBm} = 56.9 \text{ dBW} = 489778.82 \text{ W}}$$

3 Uticaj projektovane opreme na zdravlje ljudi i životnu sredinu

3.1 IZVOD IZ ZAKONSKE REGULATIVE O ELEKTROMAGNETNOM ZRAČENJU

U Crnoj Gori zaštita od nejonizujućeg zračenja se uređuje Zakonom o zaštiti od nejonizujućih zračenja (Službeni list Crne Gore br. 35/13), sa podzakonskim aktima. Setom ovih podzakonskih propisa se uređuju granice izlaganja elektromagnetnim poljima, mjerenja nivoa elektromagnetnog polja (prva i periodična mjerenja), akcioni program o sprovođenju mjera zaštite od nejonizujućih zračenja i slično.

Pravilnikom o granicama izlaganja elektromagnetnim poljima (Službeni list Crne Gore br. 06/15), slično CENELEC-ovom (CENELEC – *European Committee for Electrotechnical Standardization*) dokumentu (30.11.1994. "Human exposure to electromagnetic fields – High Frequency (10 kHz to 300 GHz)" (ENV 50166-2)), se propisuju granice izlaganja elektromagnetnim poljima za stanovništvo i profesionalno izložena i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja.

P R A V I L N I K O GRANICAMA IZLAGANJA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA

Predmet

Član 1

Ovim pravilnikom propisuju se granice izlaganja elektromagnetnim poljima za stanovništvo i profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja.

Značenje izraza

Član 2

Izrazi upotrijebljeni u ovom pravilniku imaju sljedeća značenja:

- 1) **dodirna struja (I_c)** je struja koja se javlja tokom kontakta ljudskog tijela sa vodljivim objektom u elektromagnetnom polju i izražava se u amperima (A);
- 2) **direktni biofizički efekti** su uticaji na ljudsko tijelo koji su direktna posljedica izloženosti elektromagnetnom polju uključujući termičke i netermičke efekte i struje u ekstremitetima;
- 3) **granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula** su granične vrijednosti izloženosti iznad kojih profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja mogu biti izloženi kratkotrajnim poremećajima čulnih percepcija i manjim promjenama moždanih funkcija;
- 4) **granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje** su granične vrijednosti izloženosti iznad kojih profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja mogu biti izloženi štetnim uticajima po zdravlje, kao što su termičko grijanje ili stimulacija nervnog i mišićnog tkiva;
- 5) **gustina snage (S)** je odnos snage i površine normalne na smjer širenja elektromagnetnog talasa, a izražava se u vatima po metru kvadratnom (W/m^2);

-
- 6) **gustina struje (J)** je struja koja protiče kroz jedinični poprečni presjek provodnog tijela (ljudsko tijelo ili njegov dio), normalno na njen pravac i izražava se u amperima po metru kvadratnom (A/m^2);
 - 7) **indirektni efekti** su uticaji prouzrokovani prisustvom predmeta u elektromagnetnom polju, koji mogu postati uzrok štetnog uticaja na sigurnost ili zdravlje i to:
interferencija sa medicinskom elektronskom opremom i pomagalicama, uključujući srčane elektrostimulatore (pejsmejkere) i druge implantate ili medicinska pomagala koja se nose na tijelu; opasnost od projektila feromagnetnih predmeta u statičkim magnetnim poljima; detoniranje elektro-eksplozivnih naprava (detonatori); požari i eksplozije uzrokovani paljenjem zapaljivih materijala varnicama koje uzrokuju indukovana polja, dodirne struje ili pražnjenja iskrom; i dodirne struje;
 - 8) **jačina električnog polja (E)** u određenoj tački prostora je vektorska veličina koja odgovara sili koja djeluje na jedinično naelektrisanje u toj tački i izražava se u voltima po metru (V/m) i razlikuje se električno polje u životnoj sredini od električnog polja koje se javlja u tijelu (in situ) kao posljedica izloženosti električnom polju u okolini;
 - 9) **jačina magnetnog polja (H)** je vektorska veličina koja zajedno sa magnetnom indukcijom definiše magnetno polje u bilo kojoj tački prostora i izražava se u amperima po metru (A/m);
 - 10) **jačina unutrašnjeg električnog polja (E_i)** je vektorska veličina koja predstavlja polje indukovano u biološkom tkivu usljed djelovanja spoljašnjeg električnog i magnetnog polja generisanog od izvora nejonizujućeg zračenja i izražava se u voltima po metru (V/m);
 - 11) **magnetna indukcija (B)** je vektorska veličina koja odgovara sili koja djeluje na naelektrisanje koje se kreće u magnetnom polju i izražava se u tesli (T);
 - 12) **netermički efekti (stimulacija mišića, živaca ili čulnih organa)** su uticaji koji mogu imati štetan uticaj na mentalno i fizičko zdravlje profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja kod kojih stimulacija čulnih organa može dovesti do kratkotrajnih simptoma kao što su vrtoglavica ili fosfeni i mogu da naprave privremenu smetnju ili mogu uticati na kogniciju ili druge funkcije mozga ili mišića tako da mogu da utiču na sposobnost za rad tih lica (sigurnosni rizik);
 - 13) **opšta javna izloženost** je izloženost uticaju elektromagnetnih polja stanovništva svih starosnih doba i zdravstvenih stanja i posebno osjetljivih grupa i pojedinaca, koji najčešće nijesu svjesni izloženosti elektromagnetnim poljima, pa se od njih ne može očekivati samostalno preduzimanje mjera kako bi se izbjegli neželjeni efekti;
 - 14) **profesionalna izloženost** je izloženost profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja uticaju elektromagnetnih polja čiji profesionalni angažman podrazumijeva izloženost ovim pojavama pod opšte poznatim uslovima, svjesno prihvaćenim rizicima i preduzetim adekvatnim preventivnim mjerama zaštite;
 - 15) **specifična apsorbovana energija (SA)** je apsorbovana energija elektromagnetnog talasa po jedinici mase biološkog tkiva i izražava se u džulima po kilogramu (J/kg);
 - 16) **specifična apsorbovana snaga (SAR)** je brzina apsorbovanja energije po jedinici mase biološkog tkiva, usrednjena po cijelom tijelu ili po djelovima tijela i izražava se u vatima po kilogramu (W/kg);
 - 17) **struja u ekstremitetima (I_L)** je struja koja se javlja u ekstremitetima osobe izložene elektromagnetnim poljima frekvencija između 10 MHz i 110 MHz kao posljedica dodira sa predmetom u elektromagnetnom polju ili protoka kapacitivnih struja indukovanih u izloženom tijelu i izražava se u amperima (A);

18) **termički efekti** su uticaji koji predstavljaju grijanje tkiva apsorpcijom energije iz elektromagnetnih polja u tkivu.

Granice izlaganja elektromagnetnim poljima za profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja

Član 3

Granice izlaganja elektromagnetnim poljima za profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja za netermičke efekte date su u Prilogu 1 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Granice izlaganja elektromagnetnim poljima za profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja za termičke efekte date su u Prilogu 2 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Prekoračenja granica izlaganja iz st. 1 i 2 ovog člana data su u Prilogu 3 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Granice izlaganja elektromagnetnim poljima za stanovništvo

Član 4

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost stanovništva elektromagnetnim poljima, za pojedinačnu frekvenciju, date su u Prilogu 4 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) relevantnih fizičkih veličina za opštu javnu izloženost stanovništva elektromagnetnim poljima, za pojedinačnu frekvenciju, date su u Prilogu 5 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) relevantnih fizičkih veličina za izloženost stanovništva elektromagnetnim poljima u području povećane osjetljivosti, za pojedinačnu frekvenciju, date su u Prilogu 6 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Istovremeno djelovanje elektromagnetnih polja više frekvencija

Član 5

Na mjestima gdje istovremeno djeluju elektromagnetna polja više stacionarnih izvora različitih frekvencija, pored granica izlaganja datih u Prilozima 1, 2, 4, 5 i 6 ovog pravilnika, moraju biti ispunjeni i uslovi iz Priloga 7 koji je sastavni dio ovog pravilnika.

Stupanje na snagu

Član 6

Ovaj pravilnik stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u „Službenom listu Crne Gore“, a primjenjivaće se od 1. jula 2015. godine.

Broj: 09-101/49-2014

Podgorica, 23. januara 2015. godine

Ministar,
Branimir Gvozdenović, s.r.

GRANICE IZLAGANJA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA ZA PROFESIONALNO IZLOŽENA LICA I LICA ODGOVORNIH ZA SPROVOĐENJE MJERA ZAŠTITE OD NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA ZA NETERMIČKE EFEKTE

Netermički efekti

Granične vrijednosti izloženosti (osnovna ograničenja) i vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za elektromagnetna polja frekvencija od 0 Hz do 10 MHz za relevantne fizičke veličine

GRANIČNE VRIJEDNOSTI IZLOŽENOSTI (ELVs)

Granične vrijednosti izloženosti ispod 1 Hz date su u tabeli A1 i predstavljaju ograničenja za statičko magnetno polje na koje tjelesno tkivo nema uticaja.

Granične vrijednosti izloženosti od 1 Hz do 10 MHz su date u tabeli A2 i predstavljaju ograničenja za električna polja indukovana u tijelu zbog izloženosti vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima.

Granične vrijednosti izloženosti za spoljašnju magnetnu indukciju su od 0 do 1 Hz

Granična vrijednost izloženosti za uticaj na čula je granična vrijednost izloženosti za uobičajene radne uslove data u tabeli A1 i povezana je sa vrtoglavicom i ostalim fiziološkim uticajima povezanim sa poremećajem ljudskog organa ravnoteže uglavnom zbog kretanja u statičkom magnetnom polju.

Granične vrijednosti izloženosti na uticaje na zdravlje za kontrolisane uslove rada date su u tabeli A1 i primjenjuju se privremeno tokom smjene kada je to opravdano zbog prakse ili procesa, pod uslovom da su donesene preventivne mjere, kao što je nadzor kretanja i informisanje profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja.

Tabela A1

Granične vrijednosti izloženosti za spoljašnju magnetnu indukciju (B_0) frekvencija od 0 do 1 Hz

	Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula
Uobičajeni radni uslovi	2 T
Lokalizovana izloženost ekstremiteta	8 T
	Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje
Kontrolisani radni uslovi	8 T

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za jačinu unutrašnjeg električnog polja frekvencija od 1 Hz do 10 MHz

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje date su u tabeli A2 i povezane su sa električnom stimulacijom svih tkiva perifernog i centralnog nervnog sistema u tijelu, uključujući i glavu.

Tabela A2

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za jačinu unutrašnjeg električnog polja frekvencija od 1 Hz do 10 MHz

Frekvencijski opseg	Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje
$1 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	1,1 V/m (najviša vrijednost)
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f \text{ V/m}$ (najviša vrijednost)

Napomena A2-1:

f je frekvencija izražena u hercima (Hz).

Napomena A2-2:

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje su prostorne najviše vrijednosti u cijelom tijelu izloženog pojedinca.

Napomena A2-3:

Granične vrijednosti izloženosti su najviše vrijednosti u vremenu koje su jednake srednjim-kvadratnim vrijednostima (RMS) pomnoženim sa $\sqrt{2}$ za sinusna polja. Kod nesinusnih polja, procjena izloženosti sprovedena u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika, zasniva se na metodi ponderisane najviše vrijednosti (filtriranje u vremenskom domenu), iz praktičnih smjernica, ali se mogu koristiti i drugi naučno dokazani i provjereni postupci procjene izloženosti, pod uslovom da su dobijeni rezultati približno ekvivalentni i uporedivi.

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula za jačinu unutrašnjeg električnog polja frekvencija od 1 Hz do 400 Hz

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula date su u tabeli A3 i povezane su sa uticajima električnog polja na centralni nervni sistem glave, odnosno fosfena i manje kratkotrajne promjene nekih moždanih funkcija.

Tabela A3

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula za jačinu unutrašnjeg električnog polja frekvencija od 1 do 400 Hz

Frekvencijski opseg	Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ V/m}$ (najviša vrijednost)
$10 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	0,07 V/m (najviša vrijednost)
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,0028 f \text{ V/m}$ (najviša vrijednost)

Napomena A3-1:

f je frekvencija izražena u hercima (Hz).

Napomena: A3-2:

Granične vrijednosti izloženosti su za uticaje na čula prostorne najviše vrijednosti u glavi izloženog pojedinca.

Napomena: A3-3:

Granične vrijednosti izloženosti su najviše vrijednosti u vremenu koje su jednake srednjim-kvadratnim vrijednostima (RMS) pomnoženima sa $\sqrt{2}$ za sinusna polja. Kod nesinusnih polja ocjena izloženosti sprovedena u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika zasniva se na metodi ponderisane najviše vrijednosti (filtriranje u vremenskom domenu), iz praktičnih smjernica, ali se mogu koristiti i drugi naučno dokazani i provjereni postupci procjene izloženosti, pod uslovom da su dobijeni rezultati približno ekvivalentni i uporedivi.

VRIJEDNOSTI UPOZORENJA (REFERENTNI NIVOI) (ALs)

Za vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) (ALs):

za električna polja, „niske vrijednosti upozorenja” i „visoke vrijednosti upozorenja” označavaju vrijednosti koje se odnose na posebne zaštitne ili preventivne mjere; i

za magnetna polja, „niske vrijednosti upozorenja” označavaju vrijednosti koje se odnose na granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula i „visoke vrijednosti upozorenja” koje se odnose na granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje.

Fizičke veličine i vrijednosti koje se koriste za utvrđivanje vrijednosti upozorenja (ALs), čije se magnitude utvrđuju u cilju pojednostavljanja procesa dokazivanja usklađenosti sa odgovarajućim graničnim vrijednostima izloženosti ili preduzimanja odgovarajućih zaštitnih ili preventivnih mjera, su:

Niske vrijednosti upozorenja (ALs(E)) i visoke vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za jačinu električnih polja (E) vremenski promjenljivih električnih polja date su u tabeli B1;

Niske vrijednosti upozorenja (ALs(E)) i visoke vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za magnetnu indukciju (B) vremenski promjenljivih električnih polja date su u tabeli B2;

Vrijednosti upozorenja (I_C) za dodirnu struju date su u tabeli B3;

Vrijednosti upozorenja (B_0) za magnetnu indukciju statičkih magnetnih polja date su u tabeli B4.

Vrijednosti upozorenja odgovaraju izračunatim ili izmjerenim vrijednostima električnih i magnetnih polja na radnom mjestu u odsustvu profesionalno izložena lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja.

Vrijednosti upozorenja (ALs) za izloženost električnim poljima

Niske vrijednosti upozorenja date u tabeli B1 za spoljašnja električna polja baziraju se na ograničavanju unutrašnjih električnih polja ispod graničnih vrijednosti izloženosti datih u tab. A2 i A3 i ograničavanju pražnjenja iskrom u radnoj sredini.

Ispod visokih vrijednosti upozorenja, unutrašnje električno polje ne prelazi granične vrijednosti izloženosti date u tab. A2 i A3 pa se sprječavaju neželjena pražnjenja iskrom, pod uslovom da su preduzete mjere zaštite iz Dijela A Priloga 3 ovog pravilnika.

Tabela B1

Vrijednosti upozorenja izloženosti za električna polja frekvencija od 1 Hz do 10 MHz

Frekvencijski opseg	Niske vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za jačinu električnog polja (E) [V/m] (RMS)	Visoke vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za jačinu električnog polja (E) [V/m] (RMS)
1 Hz ≤ f < 25 Hz	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
25 Hz ≤ f < 50 Hz	$5,0 \times 10^5/f$	$2,0 \times 10^4$
50 Hz ≤ f < 1,64 kHz	$5,0 \times 10^5/f$	$1,0 \times 10^6/f$
1,64 kHz ≤ f < 3 kHz	$5,0 \times 10^5/f$	$6,1 \times 10^2$
3 kHz ≤ f ≤ 10 MHz	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

Napomena B1-1:

f je frekvencija izražena u hercima (Hz).

Napomena B1-2:

Niske i visoke vrijednosti upozorenja izloženosti su najviše vrijednosti u vremenu koje su jednake srednjim- kvadratnim vrijednostima (RMS) pomnoženima sa $\sqrt{2}$ za sinusna polja. Kod nesinusnih polja, procjena izloženosti u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika zasniva se na metodi ponderisane najviše vrijednosti (filtriranje u vremenskom domenu), iz praktičnih smjernica, ali se mogu koristiti i drugi naučno dokazani i provjereni postupci ocjene izloženosti, pod uslovom da su dobijeni rezultati približno ekvivalentni i uporedivi.

Napomena B1-3:

Vrijednosti upozorenja predstavljaju najviše vrijednosti izračunate ili izmjerene s obzirom na položaj tijela profesionalno izložena lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja. To omogućava konzervativnu procjenu izloženosti i automatsku usklađenost sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs) u svim nejednakim uslovima izloženosti. Kako bi se pojednostavila procjena usklađenosti sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs), koja se sprovodi u skladu sa u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika u posebnim nejednakim uslovima, u praktičnim smjernicama utvrđuju se kriterijumi za prostorno usrednjavanje izmjerenih polja na osnovu priznate dozimetrije. U slučaju vrlo lokalizovanog izvora udaljenog nekoliko centimetara od tijela, indukovano električno polje se određuje pomoću dozimetrije, posebno za svaki pojedinačni slučaj.

Vrijednosti upozorenja (ALs) za izloženost magnetnim poljima

Niske vrijednosti upozorenja date u tabeli B2, za frekvencije niže od 400 Hz, izvedene su iz graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na čula datih u tabeli A3 i, za frekvencije više od 400 Hz, iz graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za unutrašnja električna polja datih u tabeli A2.

Visoke vrijednosti upozorenja date u tabeli B2 izvedene su iz graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje povezane sa električnom stimulacijom tkiva perifernog i centralnog nervnog sistema u glavi i tijelu datih u tabeli A2. Usklađenost sa visokim vrijednostima upozorenja osigurava da granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje nisu prekoračene, ali mogući su uticaji povezani sa retinalnim fosfenima i manjim kratkotrajnim promjenama moždane aktivnosti, ako izloženost glave prekorači niske vrijednosti upozorenja za izlaganja do 400 Hz. U tom slučaju se primjenjuju mjere zaštite iz Dijela A Priloga 3 ovog pravilnika.

Visoke vrijednosti upozorenja za izloženost ekstremiteta izvedene su iz graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za unutrašnje električno polje povezane sa električnom

stimulacijom tkiva u ekstremitetima uzimajući u obzir da magnetno polje slabije utiče na ekstremitete nego na cijelo tijelo.

Tabela B2

Vrijednosti upozorenja izloženosti magnetnim poljima frekvencija od 1 Hz do 10 MHz

Frekvencijski opseg	Niske vrijednosti upozorenja za magnetnu indukciju (B) [μT] (RMS)	Visoke vrijednosti upozorenja za magnetnu indukciju (B) [μT] (RMS)	Vrijednosti upozorenja za magnetnu indukciju za izloženost ekstremiteta lokalizovanom magnetnom polju [μT] (RMS)
$1 \leq f < 8 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^5/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$8 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \text{ Hz} \leq f < 300 \text{ Hz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$300 \text{ Hz} \leq f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ MHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

Napomena B2-1:

f je frekvencija izražena u hertzima (Hz).

Napomena B2-2:

Niske i visoke vrijednosti upozorenja izloženosti izloženosti su najviše vrijednosti u vremenu koje su jednake srednjim-kvadratnim vrijednostima (RMS) pomnoženima sa $\sqrt{2}$ za sinusna polja. Kod nesinusnih polja, procjena izloženosti sprovedena u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika zasniva se na metodi ponderirane najviše vrijednosti (filtriranje u vremenskom domenu), iz praktičnih smjernica, ali se mogu koristiti i drugi naučno dokazani i provjereni postupci ocjene izloženosti, pod uslovom da su dobijeni rezultati približno ekvivalentni i uporedivi.

Napomena B2-3:

Vrijednosti upozorenja izloženosti magnetnom polju predstavljaju najviše vrijednosti izračunate ili izmjerene s obzirom na položaj tijela profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja. To omogućava konzervativnu procjenu izloženosti i automatsku usklađenost sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs) u svim nejednakim uslovima izloženosti. Kako bi se pojednostavila procjena usklađenosti sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs), koja se sprovodi u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika u posebnim nejednakim uslovima, iz praktičnih smjernica, utvrđuju se kriterijumi za prostorno usrednjavanje izmjerenih polja na osnovu priznate dozimetrije. U slučaju vrlo lokalizovanog izvora udaljenog nekoliko centimetara od tijela, indukovano električno polje se određuje pomoću dozimetrije, posebno za svaki pojedinačni slučaj.

Tabela B3**Vrijednosti upozorenja za dodirnu struju (I_C)**

Frekvencijski opseg	Vrijednosti upozorenja za stalnu dodirnu struju (I_C) [mA] (RMS)
do 2,5 kHz	1,0
$2,5 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	0,4 f
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ 000 kHz}$	40

Napomena B3-1:

f je frekvencija izražena u kilohercima (kHz).

Vrijednosti upozorenja (ALs) za magnetnu indukciju statičkih magnetnih polja**Tabela B4****Vrijednosti upozorenja za magnetnu indukciju statičkih magnetnih polja**

Opasnosti	Vrijednosti upozorenja ALs(B_0)
Interferencija sa aktivnim ugrađenim pomagalicima, npr. srčanim elektrostimulatorima (pejsmejkerima)	0,5 mT
Privlačenje i rizik od projektila u graničnom polju izvora polja visoke jačine (> 100 mT)	3 mT

GRANICE IZLAGANJA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA ZA PROFESIONALNO IZLOŽENA LICA I LICA ODGOVORNIH ZA SPROVOĐENJE MJERA ZAŠTITE OD NEJONIZUJUĆIH ZRAČENJA ZA TERMIČKE EFEKTE

Termički efekti

Granične vrijednosti izloženosti (osnovna ograničenja) i vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za elektromagnetna polja frekvencija od 100 kHz do 300 GHz za relevantne fizičke veličine

GRANIČNE VRIJEDNOSTI IZLOŽENOSTI (ELVs)

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za frekvencije od 100 kHz do 6 GHz date u tabeli A1 su ograničenja za energiju i snagu koje se apsorbuju po jedinici mase tjelesnog tkiva kao posljedica izloženosti električnim i magnetnim poljima.

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula za frekvencije od 0,3 do 6 GHz date u tabeli A2 su ograničenja za apsorbovanu energiju u tkiva glave male mase koja je posljedica izloženosti elektromagnetnim poljima.

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za frekvencije iznad 6 GHz date u tabeli A3 su ograničenja za energiju i gustinu snage elektromagnetnih talasa na površini tijela.

Tabela A1

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za elektromagnetna polja frekvencija od 100 kHz do 6 GHz

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje	Vrijednosti apsorbovane snage (SAR) usrednjene u toku bilo kog 6-minutnog vremenskog intervala
Granične vrijednosti izloženosti za toplotno opterećenje cijelog tijela izražene kao usrednjena apsorbovana snaga (SAR)	0,4 W/kg
Granične vrijednosti izloženosti za toplotno opterećenje glave i trupa izražene kao lokalizovana apsorbovana snaga (SAR) u tijelu	10 W/kg
Granične vrijednosti izloženosti za toplotno opterećenje ekstremiteta izražene kao apsorbovana snaga (SAR) lokalizovana u ekstremitetima	20 W/kg

Napomena A1-1:

Srednja (prosječna) masa lokalizovane SAR-a iznosi 10 g okolnog tkiva, na ovaj način dobijene najviše SAR vrijednosti koriste se za procjenu izloženosti. Ovih 10 g tkiva predstavlja masu okolnog tkiva sa otprilike homogenim električnim svojstvima. Kod utvrđivanja okolne mase tkiva, smatra se da se ovaj

koncept može koristiti u računarskoj dozimetriji dok može prouzrokovati poteškoće kod direktnih fizičkih mjerenja. Može se koristiti i jednostavna geometrija poput mase tkiva u obliku kocke ili kugle (sfere).

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula frekvencija od 0,3 GHz do 6 GHz

Ove granične vrijednosti za uticaje na čula date u tabeli A2 odnose se na izbjegavanje uticaja na sluh prouzrokovanih izlaganjem glave pulsirajućem mikrotalasnom zračenju.

Tabela A2

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za elektromagnetna polja frekvencija od 0,3 do 6 GHz

Frekvencijski opseg	Lokalizovana specifična apsorbovana energija (SA)
0,3 GHz $\leq f \leq$ 6 GHz	10 mJ/kg

Napomena A2-1:

Srednja (prosječna) masa lokalizovane SA apsorbovane energije je 10 g tkiva.

Tabela A3

Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje za elektromagnetna polja frekvencija od 6 do 300 GHz

Frekvencijski opseg	Granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje povezane sa gustinom snage
6 GHz $\leq f \leq$ 300 GHz	50 W/m ²

Napomena A3-1:

Gustina snage treba biti usrednjena na svakih 20 cm² izloženog tkiva. Maksimalne vrijednosti gustine snage usrednjene na površini od 1 cm² ne smiju prelaziti vrijednosti 20 puta veće od vrijednosti 50 W/m². Gustine snage od 6 do 10 GHz moraju se usrednjavati u toku bilo kojeg 6- minutnog vremenskog intervala. Iznad 10 GHz, gustina snage mora se usrednjavati u toku vremenskog intervala trajanja $68/f^{1.05}$ minuta (gdje je f frekvencija u GHz) kako bi se kompenzovala progresivno slabija penetracija na višim frekvencijama.

VRIJEDNOSTI UPOZORENJA (ALs)

Fizičke veličine i vrijednosti koje se koriste za utvrđivanje vrijednosti upozorenja (ALs), čije su magnitude utvrđene sa ciljem pojednostavljivanja procesa dokazivanja usklađenosti sa odgovarajućim graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs) ili preduzimanju odgovarajućih zaštitnih ili preventivnih mjera su:

- Vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za jačinu električnih polja E vremenski promjenljivih električnih polja date su u tabeli B1;
- Vrijednosti upozorenja (ALs(B)) za magnetnu indukciju B vremenski promjenljivih električnih polja date su u tabeli B1;

- Vrijednosti upozorenja (ALs(S)) za gustinu snage elektromagnetnih talasa date su u tabeli B1;
- Vrijednosti upozorenja (AL(I_C)) za dodirnu struju date su u tabeli B2; Vrijednosti upozorenja (AL(I_L)) za struju u ekstremitetima, date su u tabeli B2.

Vrijednosti upozorenja odgovaraju izračunatim ili izmjerenim vrijednostima polja na radnom mjestu u odsutnosti profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja, kao najviše vrijednosti s obzirom na položaj tijela ili pojedini dio tijela.

Vrijednosti upozorenja (ALs) za izloženost električnim i magnetnim poljima

Vrijednosti upozorenja (ALs(E)) i vrijednosti upozorenja (ALs(B)) izvedene su iz specifične apsorbovane snage (SAR) ili graničnih vrijednosti izloženosti za gustinu snage datih u tab. A1 i A3 na osnovu pragova koji se odnose na unutrašnje termičke efekte koji su posljedica (spoljašnjih) električnih i magnetnih polja.

Tabela B1

Vrijednosti upozorenja izloženosti električnim poljima frekvencija od 100 kHz do 300 GHz

Frekvencijski opseg	Vrijednosti upozorenja (ALs(E)) za jačinu električnog polja [V/m] (RMS)	Vrijednosti upozorenja (ALs(B)) za magnetnu indukciju [μT] (RMS)	Vrijednosti upozorenja (ALs(S)) za gustinu snage [W/m ²]
100 kHz ≤ f < 1 MHz	6,1 × 10 ²	2,0 × 10 ⁶ /f	—
1 MHz ≤ f < 10 MHz	6,1 × 10 ⁸ /f	2,0 × 10 ⁶ /f	—
10 MHz ≤ f < 400 MHz	61	0,2	—
400 MHz ≤ f < 2 GHz	3 × 10 ⁻³ √f	1,0 × 10 ⁻⁵ √f	—
2 GHz ≤ f < 6 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	—
6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz	1,4 × 10 ²	4,5 × 10 ⁻¹	50

Napomena B1-1:

f je frekvencija izražena u hercima (Hz).

Napomena B1-2:

Vrijednosti upozorenja [ALs(E)]² i [ALs(B)]² se moraju usrednjiti u toku bilo kojeg 6-minutnog vremenskog intervala. Za RF impulse, najviša vrijednost gustine snage usrednjena kroz širinu impulsa ne smije da prekorači vrijednost koja je 1000 puta veća od odgovarajuće vrijednosti upozorenja (ALs(S)). Za multifrekvenciona polja analiza se bazira na sabiranju, prema objašnjenjima iz praktičnih smjernica.

Napomena B1-3:

Vrijednosti upozorenja (ALs(E)) i (ALs(B)) predstavljaju najviše vrijednosti izračunate ili izmjerene s obzirom na položaj tijela profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja. To omogućava konzervativnu procjenu izloženosti i automatsku usklađenost sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs) u svim nejednakim uslovima izloženosti. Kako bi se pojednostavila procjena usklađenosti sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs), koja se sprovodi u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika u posebnim nejednakim uslovima, iz

praktičnih smjernica utvrdiće se kriterijumi za prostorno usrednjavanje izmjerenih polja na osnovu priznate dozimetrije. U slučaju vrlo lokalizovanog izvora udaljenog nekoliko centimetara od tijela, usklađenost sa graničnim vrijednostima izloženosti (ELVs) se određuje pomoću dozimetrije, posebno za svaki pojedinačni slučaj.

Napomena B1-4:

Gustina snage treba biti usrednjena na svakih 20 cm² izloženog tkiva. Maksimalne vrijednosti gustine snage usrednjene na površini od 1 cm² ne smiju prelaziti vrijednosti 20 puta veće od vrijednosti 50 W/m². Gustine snage od 6 do 10 GHz moraju se usrednjavati u toku bilo kojeg 6-minutnog vremenskog intervala. Iznad 10 GHz, gustina snage mora se usrednjavati u toku vremenskog intervala trajanja $68/f^{1.05}$ minuta (gdje je f frekvencija u GHz), kako bi se kompenzovala progresivno slabija penetracija na višim frekvencijama.

Tabela B2

Vrijednosti upozorenja za stalne dodirne struje i struje u ekstremitetima

Frekvencijski opseg	Vrijednosti upozorenja za stalnu dodirnu struju (I_c) [mA] (RMS)	Vrijednosti upozorenja za indukovanu struju u ekstremitetima u bilo kojem ekstremitetu, $ALs(I_L)$ [mA] (RMS)
100 kHz \leq f < 10 MHz	40	—
10 MHz \leq f \leq 110 MHz	40	100

Napomena B2-1:

$[ALs(IL)]^2$ mora se usrednjiti u toku bilo kojeg 6-minutnog vremenskog intervala.

PREKORAČENJE GRANICA IZLOŽENOSTI**DIO A**

Ukoliko se dokaže da vrijednosti upozorenja iz Priloga 1 i 2 ovog pravilnika nijesu prekoračene, smatra se da operater poštuje granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje i granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula.

Izuzetno od stava 1 ovog priloga, izloženost može da prekorači:

niske vrijednosti upozorenja za električna polja datih u Prilogu 1 tabela B1, ako je to opravdano praksom ili procesom, pod uslovom da nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula datih u Prilogu 1 tabela A3; ili

da nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje datih u Prilogu 1 tabela A2;

je spriječeno prekomjerno pražnjenje iskrom i dodirne struje datim u Prilogu 1 tabela B3 primjenom posebnih mjera zaštite:

kao što su: uzemljenje radnih predmeta, povezivanje profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja sa radnim predmetima-izjednačavanje potencijala, mogući indirektni uticaji izloženosti, situacije mogućih kratkotrajnih simptoma i osjećaja povezanih sa efektima na centralni ili periferni nervni sistem i dr;

na profesionalno izložena lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja koji su izloženi posebnom riziku, a naročito: profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja koji nose aktivna ili pasivna ugrađena medicinska pomagala kao što su srčani elektrostimulatori (pejsmejkeri), profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja sa medicinskim pomagalima koja se nose na tijelu, kao što su insulinske pumpe i trudnice za koje se po potrebi izrađuje posebna procjena rizika izloženosti;

utvrđenih u propisu kojim se uređuje bliži sadržaj bliži sadržaj akcionog programa o sprovođenju mjera zaštite od nejonizujućih zračenja; i po potrebi

utvrđenih u propisu kojim se uređuju potrebna sredstva i uslovi koje treba da ispunjava oprema lične zaštite na radu koju imalac izvora nejonizujućih zračenja obezbjeđuje profesionalno izložena lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja;

profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja su obaviješteni o mogućnostima kratkotrajnih simptoma i osjećaja povezanih sa efektima na centralni ili periferni nervni sistem;

niške vrijednosti upozorenja za magnetna polja datih u Prilogu 1 tabela B2 ako je to opravdano praksom ili procesom, u glavi i trupu, tokom smjene, pod uslovom da nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula datih u Prilogu 1 tabela A3; ili granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula prekoračene su samo privremeno; nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje date u Prilogu 1 tabela A2;

su preduzete mjere ako postoje kratkotrajni simptomi koji uključuju čulne percepcije i uticaje na funkcionisanje centralnog nervnog sistema u glavi prouzrokovani vremenski promjenljivim magnetnim poljima; i

su profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja obaviješteni o mogućnostima kratkotrajnih simptoma i osjećaja povezanih sa efektima na centralni ili periferni nervni sistem.

DIO B

Usklađenost sa graničnim nivoima izloženosti za uticaje na zdravlje i graničnim nivoima izloženosti za uticaje na čula utvrđuje se upotrebom odgovarajućih postupaka za procjenu izloženosti u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj procjene rizika izloženosti profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja elektromagnetnom polju i/ili optičkom zračenju.

U slučaju kada profesionalna izloženost profesionalno izloženih lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja elektromagnetnim poljima prekorači granične vrijednosti izloženosti, preduzimaju se mjere u skladu sa propisom kojim se uređuje bliži sadržaj akcionog programa o sprovođenju mjera zaštite od nejonizujućih zračenja.

Profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja imaju ograničenu izloženost elektromagnetnim poljima, koja nije veća od graničnih nivoa izloženosti za uticaje na zdravlje i graničnih nivoa izloženosti za uticaje na čula utvrđenih u Prilogu I ovog pravilnika za netermičke uticaje i u Prilogu II ovog pravilnika za termičke uticaje.

Izuzetno od st 1, 2 i 3 i dijela A ovog izloženost može prekoračiti:

- a) granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula date u Prilogu 1 tabela A1 tokom smjene, ako je to opravdano praksom ili procesom, pod uslovom da:

su vrijednosti prekoračene samo privremeno;

nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje date u Prilogu 1 tabela A1;

su preduzete posebne mjere zaštite u smislu kontrole kretanja u u slučaju graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na čula datim u Prilogu 1 tabela A1 tokom smjene, ako je to opravdano praksom ili procesom;

su preduzete mjere kada postoje kratkotrajni simptomi koji uključuju uticaje statičkog magnetnog polja kao što su vrtoglavica i mučnina;

su profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja obaviješteni o mogućnostima kratkotrajnih simptoma i osjećaja povezanih sa efektima na centralni ili periferni nervni sistem.

- b) granične vrijednosti izloženosti za uticaje na čula date u Prilogu 1 tabela A3 i Prilogu 2 tabela A2, tokom smjene, ako je to opravdano praksom ili procesom, pod uslovom da:

su vrijednosti prekoračene samo privremeno;

nijesu prekoračene granične vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje date u Prilogu 1 tabela A2 i Prilogu 2 tabele A1 i A3;

su preduzete mjere kad postoje kratkotrajni simptomi koji uključuju čulne percepcije i uticaje na funkcionisanje centralnog nervnog sistema u glavi prouzrokovani vremenski promjenljivim magnetnim poljima; i

su profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja obaviješteni o mogućnostima kratkotrajnih simptoma i osjećaja povezanih sa efektima na centralni ili periferni nervni sistem.

DIO C

Izuzetno od dijela A i B ovog priloga izloženost može prekoračiti granične vrijednosti izloženosti ako je povezana sa postavljanjem, upotrebom, razvojem ili istraživanjima opreme za snimanje upotrebom magnetne rezonance (MRI) za pacijente u zdravstvenom sektoru, pod uslovom:

da je sprovedena procjena rizika pokazala da su granične vrijednosti izloženosti prekoračene;

su primijenjene sve tehničke i/ili organizacione mjere, s obzirom na razvoj tehnologije; da okolnosti u potpunosti opravdavaju prekoračene granične vrijednosti izloženosti;

da su u obzir uzeti sigurnosni znakovi i/ili znakovi za zaštitu zdravlja na radu, sredstva i oprema lične zaštite na radu ili radne prakse; i

da se dokaže da su profesionalno izložena lica i lica odgovorna za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja i dalje zaštićeni (i pored prekoračenja) od štetnih uticaja na zdravlje i sigurnosnih rizika, uz obezbjeđenje uputstava za sigurnu upotrebu medicinskih proizvoda u skladu sa posebnim propisima.

Profesionalno izložena lica i lica odgovornih za sprovođenje mjera zaštite od nejonizujućih zračenja ne smiju biti izloženi višim vrijednostima od graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na zdravlje i graničnih vrijednosti izloženosti za uticaje na čula, osim ukoliko su ispunjeni uslovi iz ovog priloga.

PRILOG 4

GRANIČNE VRIJEDNOSTI (OSNOVNA OGRANIČENJA) ZA IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA ZA POJEDINAČNU FREKVENCIJU

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz, u zavisnosti od efekata koje izaziva izlaganje takvim poljima, definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Maksimalna promjena magnetne indukcije (ΔB), u cilju sprječavanja pojave Vertigo efekta zbog kretanja u statičkom magnetnom polju;

Magnetna indukcija (B), u cilju sprječavanja pojave Vertigo efekta zbog uticaja vremenski promjenljivog magnetnog polja;

Jačina unutrašnjeg električnog polja (E_i), u cilju sprječavanja pojave efekata na periferni nervni sistem (PNS) i fosfenes efekta zbog kretanja u statičkom magnetnom polju i zbog uticaja vremenski promjenljivog magnetnog polja.

Granične vrijednosti za navedene veličine date su u tabeli A1.

Tabela A1

	Maksimalna promjena magnetne indukcije, ΔB [T]	Magnetna indukcija, B (<i>peak to peak</i>) [T]	Jačina unutrašnjeg električnog polja, E_i (<i>peak</i>) [V/m]	
			Efekti na PNS usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja	Fosfenes usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja
Kritični efekat	Vertigo usljed kretanja u statičkom magnetnom polju	Vertigo usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja	Efekti na PNS usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja	Fosfenes usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja
Uslovi izlaganja	nekontrolisani	nekontrolisani	kontrolisani	nekontrolisani
Frekvencija	0 Hz	2	-	-
	0-1 Hz	-	2	-
	0-0,66 Hz	-	-	1,1
	0,66-1 Hz	-	-	1,1
				0,7 f

Napomena A1-1:

1. Maksimalna promjena magnetne indukcije ΔB odnosi se na svaki vremenski interval trajanja 3 sekunde;
2. U uslovima kontrolisanog izlaganja, maksimalna promjena magnetne indukcije ΔB može preći vrijednost od 2 T.

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 1 Hz i 100 kHz

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 1 Hz i 100 kHz (nisko-frekvencijska polja), u cilju sprječavanja neželjenih efekata na funkcije nervnog sistema, definišu se za relevantnu veličinu **jačinu unutrašnjeg električnog polja (E_i)**.

Granične vrijednosti za navedenu veličinu date su u tabeli A2.

Tabela A2

Frekvencijski opseg	Jačina unutrašnjeg električnog polja, E_i [V/m]	
	CNS tkivo glave	sva tkiva glave i tijela
1 – 10 Hz	$0,1 f$	0,4
10 – 25 Hz	0,01	0,4
25 – 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} f$	0,4
1 – 3 kHz	0,4	0,4
3 kHz – 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$	$1,35 \times 10^{-4} f$

Napomena A2-1:
Sve vrijednosti su srednje-kvadratne (RMS).
 f je frekvencija izražena u Hz.

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 100 kHz i 300 GHz

Granične vrijednosti (osnovna ograničenja) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 100 kHz i 300 GHz (visoko-frekvencijska polja), u zavisnosti od frekvencije i efekata koje izaziva izlaganje takvim poljima, definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Gustina struje (J), za polja frekvencije između 100 kHz i 10 MHz, u cilju sprječavanja pojave neželjenih efekata na funkcije nervnog sistema;

Specifična apsorbovana snaga (SAR), za polja frekvencije između 100 kHz i 10 GHz, u cilju sprječavanja stresa od zagrijavanja cijelog tijela i prekomjernog lokalizovanog zagrijavanja tkiva;

Gustina snage (S), za polja frekvencije između 10 GHz i 300 GHz, u cilju sprječavanja prekomjernog zagrijavanja tkiva na ili blizu površine tijela.

Granične vrijednosti za navedene veličine date su u tabeli A3.

Tabela A3

Frekvencijski opseg	Gustina struje u glavi i trupu, J [mA/m ²] (RMS)	Specifična apsorbovana snaga, SAR [W/kg]			Gustina snage, S [W/m ²]
		usrednjeno po cijelom tijelu	lokalizovano u glavi i trupu	lokalizovano u ekstremitetima	
100 kHz – 10 MHz	F 500	0,08	2	4	-
10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4	-
10 – 300 GHz	-	-	-	-	10

Napomena A3-1:

f je frekvencija izražena u Hz.

Zbog električne nehomogenosti ljudskog tijela prosječna vrijednost gustine struje uzima se preko presjeka površine 1 cm², normalnog na pravac struje.

Sve vrijednosti specifične apsorbovane snage (SAR) usrednjavaju se u toku bilo kojeg vremenskog intervala trajanja 6 (šest) minuta.

Usrednjavanje specifične apsorbovane snage (SAR), koncentrisane u glavi i trupu ili ekstremitetima, vrši se na bilo koje parče tkiva mase 10 g. Za procjenu izloženosti uzima se vrijednost tako dobijene maksimalne specifične apsorbovane snage (SAR).

Za impulse trajanja t_p, ekvivalentna frekvencija, koja se primjenjuje kod osnovnih ograničenja, određuje se prema izrazu $f=1/(2t_p)$. Dodatno, za frekvencijski opseg od 300 MHz do 10 GHz i za lokalizovanu izloženost glave preporučuje se dodatno osnovno ograničenje, prema kojem vrijednost specifične apsorbovane energije (SA) ne smije prelaziti 2 mJ/kg, uzeto kao srednja vrijednost na 10 g tkiva.

Gustina snage treba biti usrednjena na svakih 20 cm² izložene površine tkiva tokom vremenskog intervala trajanja $68/f^{1,05}$ minuta (f se izražava u GHz), kako bi se kompenzovala progresivno slabija penetracija na višim frekvencijama.

Maksimalne vrijednosti gustine snage, usrednjene na površini od 1 cm², ne smiju prelaziti vrijednosti iz ove tabele više od 20 puta.

Za elektromagnetna polja frekvencije iznad 100 kHz, potrebno je uzeti u obzir i granične vrijednosti iz tabele A2.

VRIJEDNOSTI UPOZORENJA (REFERENTNI NIVOI) RELEVANTNIH FIZIČKIH VELIČINA ZA OPŠTU JAVNU IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA ZA POJEDINAČNU FREKVENCIJU

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz definišu se za relevantnu veličinu **priraštaj magnetne indukcije (ΔB)**.

Vrijednosti upozorenja za navedenu veličine date su u tabeli A1.

Tabela A1

		Priraštaj magnetne indukcije, dB/dt (<i>peak</i>) [T/s]	
Kritični efekat		Efekti na PNS usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja	Fosfenes usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja
Uslovi izlaganja		kontrolisani	nekontrolisani
Frekvencija	0-0,66 Hz	2,7	2,7
	0,66-1 Hz	2,7	1,8 <i>f</i>

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 1 Hz i 10 MHz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 1 Hz i 10 MHz definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Jačina električnog polja (E);

Jačina magnetnog polja (H);

Magnetna indukcija (B).

Vrijednosti upozorenja za navedene veličine date su u tabeli A2.

Tabela A2

Frekvencijski opseg	Jačina električnog polja, E [V/m]	Jačina magnetnog polja, H [A/m]	Magnetna indukcija, B [μ T]
1 – 8 Hz	5000	$3,2 \times 10^4 f$	$4 \times 10^4 f^2$
8 – 25 Hz	5000	$4 \times 10^3 f$	$5 \times 10^3 f$
25 – 50 Hz	5000	160	200
0,05 – 0,4 kHz	$250 f$	160	200
0,4 – 3 kHz	$250 f$	$64 f$	$80 f$
0,003 – 10 MHz	83	21	27

Napomena A2-1

Sve vrijednosti su srednje-kvadratne (RMS).

f je frekvencija izražena u jedinicama navedenim u prvoj koloni.

Za elektromagnetna polja frekvencije iznad 100 kHz potrebno je uzeti u obzir i vrijednosti upozorenja iz tabele A3.

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 100 kHz i 300 GHz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 100 kHz i 300 GHz definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Jačina električnog polja (E);

Jačina magnetnog polja (H);

Magnetna indukcija (B);

Gustina snage ekvivalentnog ravanskog talasa (S_{ekv}), samo za polja frekvencije između 10 MHz i 300 GHz.

Vrijednosti upozorenja za navedene veličine date su u tabeli A3.

Tabela A3

Frekvencijski opseg	Jačina električnog polja, E [V/m]	Jačina magnetnog polja, H [A/m]	Magnetna indukcija, B [μ T]	Gustina snage ekvivalentnog ravanskog talasa, S_{ekv} [W/m ²]
100-150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73 f	0,92 f	-
1 – 10 MHz	$87 \sqrt{f}$	0,73 f	0,92 f	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 \times \sqrt{f}$	$3,7 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	$4,6 \times 10^{-3} \times \sqrt{f}$	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	0,2	10

Napomena A3-1

1. Sve vrijednosti su srednje-kvadratne (RMS).
2. f je frekvencija izražena u jedinicama navedenim u prvoj koloni.
3. Za frekvencije između 100 kHz i 10 GHz vrijednosti za S_{ekv} , E^2 , H^2 i B^2 usrednjavaju se toku bilo kojeg vremenskog intervala trajanja 6 (šest) minuta.
4. Za frekvencije između 100 kHz i 10 MHz vršne vrijednosti jačine polja dobijene su interpolacijom od 1,5-opadajuće vrijednosti na 100 kHz do 32-opadajuće vrijednosti na 10 MHz. Za frekvencije iznad 10 MHz preporučuje se da vršna vrijednost gustine snage ekvivalentnog ravanskog talasa, usrednjeno za vrijeme trajanja impulsa, ne smije prelaziti 1000 puta uvećanu graničnu vrijednost, odnosno da vrijednosti jačine polja ne smiju prelaziti 32 puta uvećane vrijednosti date u tabeli.
5. Za frekvencije iznad 10 GHz vrijednosti za S_{ekv} , E^2 , H^2 i B^2 usrednjavaju se u toku bilo kojeg vremenskog intervala trajanja $68/f^{1,05}$ minuta (f je izražena u GHz).

Za elektromagnetna polja frekvencije do 110 MHz definišu se i vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za vremenski promjenljive **dodirne struje (I_c)** za vodljive objekte i za indukovane **struje u ekstremitetima (I_L)** (za sve ekstremitete). Vrijednosti upozorenja za ove veličine date su u tabeli A4.

Tabela A4

Frekvencijski opseg	Maksimalna dodirna struja, I_c [mA]	Maksimalna struja u ekstremitetima, I_L [mA]
<2,5 kHz	0,5	-
2,5 -100 kHz	0,2xf	-
0,1 – 10 MHz	20	-
10 – 110 MHz	20	45

Napomena A4-1

1. f je frekvencija izražena u kHz.

VRIJEDNOSTI UPOZORENJA (REFERENTNI NIVOI) RELEVANTNIH FIZIČKIH VELIČINA ZA IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA ELEKTROMAGNETNIM POLJIMA U PODRUČJU POVEĆANE OSJETLJIVOSTI ZA POJEDINAČNU FREKVENCIJU

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost statičkim i vremenski promjenljivim magnetnim poljima frekvencije do 1 Hz definišu se za relevantnu veličinu **priraštaj magnetne indukcije (ΔB)**.

Vrijednosti upozorenja za navedenu veličinu date su u tabeli A1.

Tabela A1

		Priraštaj magnetne indukcije, dB/dt (<i>peak</i>) [T/s]	
Kritični efekat		Efekti na PNS usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja	Fosfenes usljed kretanja u statičkom magnetnom polju i usljed vremenski promjenljivog magnetnog polja
Uslovi izlaganja		kontrolisani	nekontrolisani
Frekvencija	0 – 0,66 Hz	2,7	2,7
	0,66 – 1 Hz	2,7	1,8 <i>f</i>

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 1 Hz i 10 MHz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 1 Hz i 10 MHz definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Jačina električnog polja (E);

Jačina magnetnog polja (H);

Magnetna indukcija (B).

Vrijednosti upozorenja za navedene veličine date su u tabeli A2.

Tabela A2

Frekvencijski opseg	Jačina električnog polja, E [V/m]	Jačina magnetnog polja, H [A/m]	Magnetna indukcija, B [μT]
1 – 8 Hz	1250	$0,8 \times 10^4 f^2$	$1 \times 10^4 f^2$
8 – 25 Hz	1250	$1 \times 10^3 f$	$1,25 \times 10^3 f$
25 – 50 Hz	1250	40	50
0,05 – 0,4 kHz	62,5 f	40	50
0,4 – 3 kHz	$62,5 f$	$16 f$	$20 f$
0,003 – 10 MHz	21	5,5	7

Napomena A2-1

Sve vrijednosti su srednje-kvadratne (RMS).

f je frekvencija izražena u jedinicama navedenim u prvoj koloni.

Za elektromagnetna polja frekvencije iznad 100 kHz potrebno je uzeti u obzir i vrijednosti upozorenja iz tabele A3.

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost elektromagnetnim poljima frekvencija između 100 kHz i 300 GHz

Vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za izloženost vremenski promjenljivim električnim i magnetnim poljima frekvencije između 100 kHz i 300 GHz definišu se za sljedeće relevantne veličine:

Jačina električnog polja (E);

Jačina magnetnog polja (H);

Magnetna indukcija (B);

Gustina snage ekvivalentnog ravanskog talasa (S_{ekv}), samo za polja frekvencije između 10 MHz i 300 GHz.

Vrijednosti upozorenja za navedene veličine date su u tabeli A3.

Tabela A3

Frekvencijski opseg	Jačina električnog polja, E [V/m]	Jačina magnetnog polja, H [A/m]	Magnetna indukcija, B [μT]	Gustina snage ekvivalentnog ravanskog talasa, S _{ekv} [W/m ²]
100 – 150 kHz	43,5	2,5	3,125	-
0,15 – 1 MHz	43,5	0,37 f	0,46 f	-
1 – 10 MHz	43,5 f	0,37 f	0,46 f	-
10 – 400 MHz	14	0,037	0,046	0,5
400 – 2000 MHz	0,7 x f	1,85 x 10 ⁻³ x f	2,3 x 10 ⁻³ x f	1,25 x 10 ⁻³ x f
2 – 300 GHz	31	0,08	0,10	2,5

Napomena A3-1

Sve vrijednosti su srednje-kvadratne (RMS).

f je frekvencija izražena u jedinicama navedenim u prvoj koloni.

Za frekvencije između 100 kHz i 10 GHz vrijednosti za S_{ekv}, E², H² i B² usrednjavaju se toku bilo kojeg vremenskog intervala trajanja 6 (šest) minuta.

Za frekvencije između 100 kHz i 10 MHz vršne vrijednosti jačine polja dobijene su interpolacijom od 1,5-opadajuće vrijednosti na 100 kHz do 32-opadajuće vrijednosti na 10 MHz. Za frekvencije iznad 10 MHz preporučuje se da vršna vrijednost gustine snage ekvivalentnog ravanskog talasa, usrednjeno za vrijeme trajanja impulsa, ne smije prelaziti 1000 puta uvećanu graničnu vrijednost, odnosno da vrijednosti jačine polja ne smiju prelaziti 32 puta uvećane vrijednosti date u tabeli.

Za frekvencije iznad 10 GHz vrijednosti za S_{ekv}, E², H² i B² usrednjavaju se u toku bilo kojeg vremenskog intervala trajanja 68/f^{1,05} minuta (f je izražena u GHz).

Za elektromagnetna polja frekvencije do 110 MHz definišu se i vrijednosti upozorenja (referentni nivoi) za vremenski promjenljive **dodirne struje (I_c)** za vodljive objekte i za indukovane **struje u ekstremitetima (I_L)** (za sve ekstremitete). Vrijednosti upozorenja za ove veličine date su u tabeli A4.

Tabela A4

Frekvencijski opseg	Maksimalna dodirna struja, I _c [mA]	Maksimalna struja u ekstremitetima, I _L [mA]
<2,5 kHz	0,5	-
2,5 -100 kHz	0,2xf	-
0,1 – 10 MHz	20	-
10 – 110 MHz	20	45

Napomena A4-1

1. f je frekvencija izražena u kHz.

USLOVI U SLUČAJU ISTOVREMENOG DJELOVANJA ELEKTROMAGNETNIH POLJA VIŠE STACIONARNIH IZVORA RAZLIČITIH FREKVENCIJA

Uslovi koji moraju biti ispunjeni u slučaju istovremene izloženosti elektromagnetnim poljima više stacionarnih izvora različitih frekvencija u pogledu graničnih vrijednosti (osnovnih ograničenja) izloženosti (ELVs)

Za elektromagnetna polja frekvencija između 1 Hz i 10 MHz mora biti ispunjen sljedeći uslov:

$$\sum_{j=1}^N \frac{E_j^{ind} f_j}{E_{L,j}^{ind}} \leq 1, \quad f_j \in 1 \text{ Hz}, 10 \text{ MHz} \quad (1)$$

gdje je:

E_j^{ind} - indukovano električno polje na frekvenciji f_j ,

$E_{L,j}^{ind}$ - granični nivo indukovanog električnog polja na frekvenciji f_j .

Za elektromagnetna polja frekvencija između 100 kHz i 300 GHz mora biti ispunjen sljedeći uslov:

$$\sum_{k=1}^{M_1} \frac{SAR_k f_k}{SAR_{L,k}} + \sum_{l=M_1}^{M_2} \frac{S_m f_m}{S_{L,m}} \leq 1, \quad f_k \in 100 \text{ kHz}, 10 \text{ GHz}, \quad f_m \in 10 \text{ GHz}, 300 \text{ GHz} \quad (2)$$

gdje je:

SAR_k - specifična gustina apsorbirane snage na frekvenciji f_k ,

$SAR_{L,k}$ - granični nivo SAR na frekvenciji f_k ,

S_m - gustina snage na frekvenciji f_m ,

$S_{L,m}$ - granični nivo gustine snage na frekvenciji f_m .

Uslovi koji moraju biti ispunjeni u slučaju istovremene izloženosti elektromagnetnim poljima više stacionarnih izvora različitih frekvencija u pogledu vrijednosti upozorenja (referentnih nivoa) (ALs)

Za elektromagnetna polja frekvencija između 1 Hz i 10 MHz moraju biti ispunjeni sljedeći uslovi:

$$\sum_{j=1}^N \frac{E_j f_j}{E_{L,j}} \leq 1, \quad f_j \in 1 \text{ Hz}, 10 \text{ MHz} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{H_j f_j}{H_{L,j}} \leq 1, \quad f_j \in 1 \text{ Hz}, 10 \text{ MHz} \quad (4)$$

gdje je:

E_j - efektivna vrijednost jačine električnog polja u V/m na frekvenciji f_j ,

$E_{L,j}$ - efektivna vrijednost jačine graničnog nivoa električnog polja u V/m na frekvenciji f_j ,

H_j - efektivna vrijednost jačine magnetnog polja u A/m na frekvenciji f_j ,

$H_{L,j}$ - efektivna vrijednost jačine graničnog nivoa magnetnog polja u A/m na frekvenciji f_j .

Za elektromagnetna polja frekvencija između 100 kHz i 300 GHz moraju biti ispunjeni sljedeći uslovi:

$$\sum_{j=1}^{Ng} \frac{E_j f_j}{E_{L,j}}^2 \leq 1, \quad f_j \in 100 \text{ kHz}, 300 \text{ GHz} \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{Ng} \frac{H_j f_j}{H_{L,j}}^2 \leq 1, \quad f_j \in 100 \text{ kHz}, 300 \text{ GHz} \quad (6)$$

gdje je:

E_j - efektivna vrijednost jačine električnog polja u V/m na frekvenciji f_j ,

$E_{L,j}$ - efektivna vrijednost jačine graničnog nivoa električnog polja u V/m na frekvenciji f_j ,

H_j - efektivna vrijednost jačine magnetnog polja u A/m na frekvenciji f_j ,

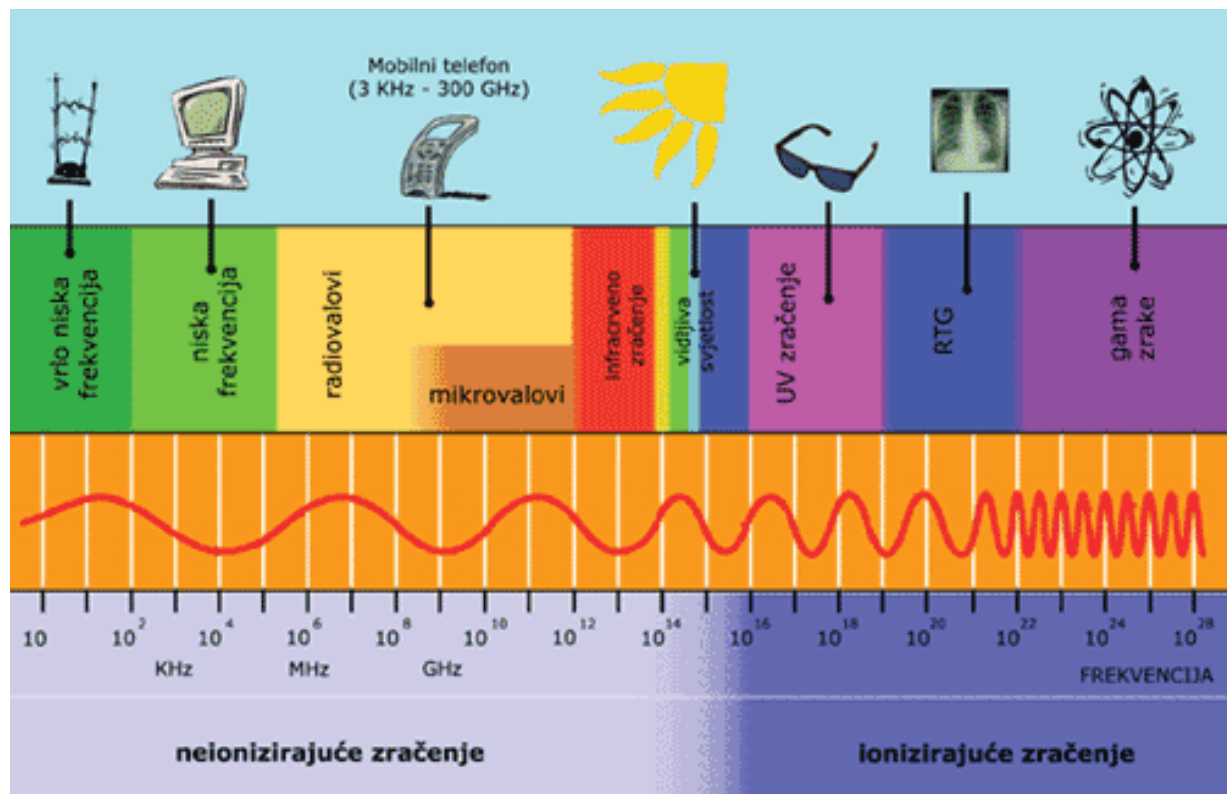
$H_{L,j}$ - efektivna vrijednost jačine graničnog nivoa magnetnog polja u A/m na frekvenciji f_j .

3.2 UTICAJ NEJONIZUJUĆEG ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA NA ŽIVOTNU SREDINU

Nejonizujuće zračenje je bilo koja vrsta elektromagnetnog zračenja koje ne posjeduje dovoljno energije po kvantu (na nivou fotona ona je manja od 12,4 eV), kojom bi mogla izazvati jonizaciju; odnosno ukloniti elektrona iz atoma ili molekula. Umjesto stvaranja jona prilikom prolaska kroz materiju, elektromagnetno zračenje ima dovoljno energije samo za ekscitaciju, odnosno prelazak elektrona u više energetske stanje, pri čemu mogu da se uoče različiti biološki efekti kod različitih vrsta nejonizujućeg zračenja.

Elektromagnetna energija se koristi na različite načine, iako njena suština i njena negativna dejstva još nijesu u potpunosti poznata a masovno je u mnogim uređajima njena primjena postala integralni dio modernog života. Ako mjerimo doprinos elektromagnetnih zračenja, odnosno polja, na razvoj i dobrobit ljudske zajednice i negativne efekte po zdravlje ljudi, možemo zaključiti da su pozitivni efekti daleko ispred negativnih efekata. Zapravo upotreba elektromagnetnih polja i talasa je temelj razvoja savremene civilizacije.

Početak 21. veka sve više se učvršćuje mišljenje da EM ili nejonizujuća zračenja proizvedena na različite načine, od energetskih vodova do mobilnih telefona, izazivaju različita oboljenja, uključujući rak. Nažalost, zbog nedovoljnih saznanja, još uvijek nema jedinstvenog stava. Bolji uvid u realnu situaciju koji imaju dobri poznavaoци ove oblasti ukazuju da ne treba ignorisati njegove potencijalne opasnosti po zdravlje, jer su primijećeni uticaji i nejonizujućeg zračenja veoma male jačine, što nije lako objasniti i mogu se svrstati u različite kategorije, u zavisnosti od osobina i funkcija.



Elektromagnetni spektar

Prema frekvenciji, EM zračenje je podijeljeno na jonizujuće i nejonizujuće. Opšte prihvaćena granica je na talasnim dužinama oko 1nm u ultraljubičastom (UV) području. Iznad ove granice je jonizujuće zračenje, u kome fotoni imaju dovoljnu energiju da fizički promijene atom koji pogode, mijenjajući ga u naelektrisanu česticu zvanu jon. Svi tipovi EM zračenja imaju iste fizičke osobine u smislu divergencije, interferencije, spajanja, i polarizacije; a razlikuju se po količini energije. Frekvencijski opseg EM spektra koji se danas tehnički koristi obuhvata red veličina 10^{12} .

Nejonizujuća (EM) zračenja obuhvataju: ultraljubičasto ili ultravioletno zračenje, vidljivo zračenje (svjetlost-talasne dužine 400-780 nm), infracrveno zračenje, radio-frekvencijsko zračenje, elektromagnetska polja niskih frekvencija (0-10 kHz) i lasersko zračenje. Nejonizujuća zračenja obuhvataju i ultrazvuk ili zvuk čija je frekvencija veća od 20 kHz. Izvor nejonizujućih zračenja može biti uređaj, instalacija ili objekat koji emituje ili može da emituje nejonizujuće zračenje.

Pored nejonizujućeg zračenja koje na Zemlju dolazi i iz prirodnih izvora, poput Sunca koje emituje ultraljubičasto zračenje i terastralnog zračenja zemlje, danas je savremeni način života nemoguće zamisliti bez uređaja koji sa jedne strane olakšavaju život, a sa druge predstavljaju izvor nejonizujućeg zračenja. U veštačke izvore spadaju električni uređaji u svakom domaćinstvu, poput šporeta, frižidera, mašina za veš, fenova, a tu su u čovekovom okruženju radari, mobilna telefonija, trafo stanice, bazne stanice, antene, bandere itd.

Zabrinutost oko uticaja nejonizujućeg zračenja na zdravlje se prvenstveno zasniva na brojnim epidemiološkim studijama. Takve studije sve više nalaze vezu između oboljenja i određenih karakteristika okoline, na osnovu bioloških podataka u određenom (posmatranom) vremenskom periodu za veliku populaciju ljudi. Svaki biološki podatak je čisto statistički; međutim, ljudi se obično mogu uklopiti u određene kategorije bazirane na osnovu mjesta života ili zaposlenja. Rezultati mogu ukazati samo na vjerovatan uzročnik (npr. nejonizujuće zračenje) pošto postoji mnogo uzročnika koji se mogu vezati za pojedinu osobu.

Epidemiološke studije obrađuju uočene efekte mogućeg opasnog izlaganja nejonizujućem zračenju na ljudsko zdravlje, te da li je izlaganje kvantitativno vezano za te efekte. Pri tome treba imati u vidu da epidemiolozi ne stvaraju eksperimentalna polja nejonizujućeg zračenja niti mogu da kontrolišu uzroke oboljenja na način kako to čine istraživači u laboratorijama. Zato nedostatak saznanja kako EM zračenja reaguju sa živim sistemima čini pitanje procjene uticaja EM zračenja glavnim uzrokom nesigurnosti.

Najznačajniji biološki efekti nejonizujućeg zračenja iz različitih izvora, sa različitom talasnom dužinom i frekvencijom, otkriveni u mnogobrojnim epidemiološkim studijama

	Izvor	Frekvencija	Biološki efekti
UVA	Sunčevo zračenje	750 THz - 950 THz	Oko – fotohemijska katarakta; Koža – eritem, pigmentacija
Vidljiva svetlost	Laseri, Sunčeva svjetlost, vatra, LED, sijalice	385 THz - 750 THz	Koža - starenje; Oko – fotohemijske i termičke povrede retine
IR-A	Laseri, daljinski	215 THz - 385 THz	Oko – termičke povrede

	upravljajući		retine, termička katarakta, Opekotine kože
IR-B	Laseri, telekomunikacije	100 THz - 215 THz	Oko – opekotine rožnjače, katarakta, Opekotine kože
IR-C	Laseri, daleko IR područje	300 GHz - 100 THz	Oko – opekotine rožnjače, katarakta, Zagrijavanje površine tijela
Mikrotalasi	PCS telefoni, pojedini mobilni telefoni, mikrotalasne peći, bežični telefoni, detektori kretanja, radar , Wi-Fi	1 GHz - 300 GHz	Zagrijavanje tkiva
Radio-frekvencijsko zračenje	Mobilni telefoni, televizija, FM, AM, kratki talasi, bežični telefoni	100 kHz - 1 GHz	Zagrijavanje tkiva, povišena tjelesna temperatura
Niskofrekvencijski RF	Dalekovodi	< 100 kHz	Sakupljanje naboja na površini, Smetnje nervnih i mišićnih impulsa
Statička polja	Jaki magneti, MRI	0 Hz	Magnetsko – vrtoglavica/mučnina; Električno – naboj na površini tijela

Mjere zaštite od nejonizujućih zračenja zasnivaju se na sledećim načelima:

Načelo zabrane - izlaganje nejonizujućim zračenjima iznad propisane granice i svako nepotrebno izlaganje nejonizujućim zračenjima nije dozvoljeno;

Načelo srazmjernosti - uslovi i dozvoljenost korišćenja izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa se određuju i cijene prema koristi koju njihovo korišćenje pruža društvu u odnosu na potencijalne rizike nastupanja štetnog dejstva usled njihovog korišćenja, uzimajući u obzir nivo i trajanje izloženosti stanovništva u konkretnom slučaju, starosnu i zdravstvenu strukturu potencijalno izloženog stanovništva, način, vrijeme i mjesto korišćenja takvog izvora, prisustvo drugih izvora sa različitim frekvencijama, kao i druge relevantne okolnosti konkretnog slučaja;

Načelo javnosti - podaci o nejonizujućim zračenjima moraju biti dostupni javnosti.

Osnovne mjere zaštite od nejonizujućih zračenja su:

Izbjegavanje nepotrebno izlaganja nejonizujućem zračenju

Rastojanje od izvora (poželjno je što veće)

Skraćenje vremena izlaganja

Ne primicati glavu i oči izvoru nejonizujućeg zračenja
Obilježavanje zona zračenja
Korišćenje zaštitnog odijela samo u posebnim situacijama
Periodični zdravstveni pregledi ljudstva izloženog nejonizujućem zračenju
Osposobljavanje za bezbjedan rad
Mjerenje zračenja
Kontrola kvaliteta izvora zračenja (prije puštanja uređaja u rad, periodične u toku rada i po završenoj opravci-servisiranju)
Zakonska regulativa

U sprovođenju zaštite od nejonizujućih zračenja u svim zemljama svijeta preduzimaju se i propisuju sledeće mjere:

- Određivanje granica izlaganja nejonizujućim zračenjima;
- Otkrivanje prisustva i određivanje nivoa izlaganja nejonizujućim zračenjima;
- Određivanje uslova za korišćenje izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa;
- Obezbeđivanje organizacionih, tehničkih, finansijskih i drugih uslova za sprovođenje zaštite od nejonizujućih zračenja;
- Vođenje evidencije o izvorima nejonizujućih zračenja od posebnog interesa;
- Označavanje izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa i zone opasnog zračenja na propisani način;
- Sprovođenje kontrole i obezbeđivanje kvaliteta izvora nejonizujućih zračenja od posebnog interesa na propisani način;
- Primjena sredstava i opreme za zaštitu od nejonizujućih zračenja;
- Kontrola stepena izlaganja nejonizujućem zračenju u životnoj sredini i kontrola sprovedenih mjera zaštite od nejonizujućih zračenja;
- Obezbeđivanje materijalnih, tehničkih i drugih uslova za sistematsko ispitivanje i praćenje nivoa nejonizujućih zračenja u životnoj sredini;
- Obrazovanje i stručno usavršavanje kadrova u oblasti zaštite od nejonizujućih zračenja u životnoj sredini;
- Informisanje stanovništva o zdravstvenim efektima izlaganja nejonizujućim zračenjima i mjerama zaštite i obavještanje o stepenu izloženosti nejonizujućim zračenjima u životnoj sredini.

3.3 UTICAJ ZRAČENJA RADARA NA ŽIVOTNU SREDINU

Radarsko zračenje je elektromagnetno zračenje i jedan od oblika nejonizujućeg zračenja koje nema dovoljnu energiju fotona (jer je manja od 12,4 eV) da bi izvršili jonizaciju u biološkom materijalu ali i pored toga svojim dejstvom, frekvencije od reda 100 kHz (300 kHz) do 300 GHz, može imati negativan uticaj po zdravlje čovjeka i njegovu životnu sredinu.

Kako je primjena radara široko rasprostranjena njihovim zračenjem je „pokriven“ veći dio Zemljine površine. Sa radarskim uređajima neposredno radi čovjek ali pod njegovim uticajem mogu biti ne samo operateri ili rukovaoci radara i mehatroničari, već i stanovništvo i životna sredina u njihovom okruženju.

Kako na principu predostrožnosti počiva jedan od osnovnih principa politike zaštite životne sredine i ljudskog zdravlja, naučnici mnogih struka i grana medicine neprestano istražuju po čovjeka, njegovo zdravlje i životnu sredinu opasnosti od radarskog (i drugih oblika) zračenja i ako ih ima koje su i kolike su njihove posljedice. Shodno tome oni otkrivaju sigurno nezanemarive opasnosti od nejonizujućeg zračenja i pomažu u donošenju pozitivnih zakonskih propisa, preduzimanju odgovarajućih zaštitnih mjera i drugih mjera medicinske prevencije i zdravstvene zaštite, a uslovi i dozvoljenost korišćenja izvora radarskog zračenja-radara, od posebnog interesa, se određuju i cijene prema koristi koju njihovo korišćenje pruža društvu u odnosu na potencijalne rizike nastupanja štetnog dejstva uslijed njihovog korišćenja.

Radarski uređaji spadaju u izvore nižefrekvencijskih oblika nejonizujućeg zračenja, kao što su to i uređaji tipa mikrotalasne rerne, uređaji za radio-navigaciju, satelitske komunikacije, emisiona tehnika radija i televizije, i razni drugi uređaji za komunikacije uključujući tu i uređaje za dvosmjernu radio vezu i mobilne telefone.

Savremena istraživanja sve više se bave istraživanjem nelinearnih efekata elektromagnetnog zračenja i materije, tj učincima koji posredno utiču na fiziologiju i funkciju pojedinih bioloških celina, na za sada naučno još nedovoljno izučen način. Radarsko zračenje kao i drugo nejonizujuće zračenje šire se prostorom i prvo ozračuje površinu čovječjeg tijela gdje jednim dielom zraci bivaju reflektovani a drugim dijelom prodiru u tijelo i bivaju djelimično ili potpuno apsorbirani, deponujući energiju zračenja u tkivu. Deponovana energija koju radarsko zračenje donosi u tijelo najvažniji je proces međudjelovanja zračenja i tkiva i ona se može izmjeriti u današnje vrijeme projektovanim savremenim uređajima (npr uređajem RAHAM - Radiation Hazard Meter).

Dubina prodora u tijelo je faktor od značajnog uticaja za efekat visokih frekvencija zračenja na biološke sisteme. To najviše zavisi od frekvencije. Elektromagnetna polja u opsegu od 1 MHz, prodiru oko deset do 30 cm u tijelo. U frekvencijskom opsegu za mobilne komunikacije mreže, koje je oko 1 GHz, elektromagnetno polje prodire samo nekoliko centimetara u biološko tkivo. Za frekvencije iznad 10 GHz koje se koriste u radarskoj opremi, penetriraju do dubina ispod jednog milimetra. Na još višim frekvencijama apsorpcija elektromagnetskih polja nastaje samo na površini kože.

3.3.1 Doze radarskog zračenja

Biološki efekti radarskog zračenja i njihov uticaj na zdravlje najsigurnije se procenjuju biodozimetrijom (*mjerenjem biološkog odgovora organizma na različite doze zračenja*), tj mikroskopskim posmatranjem promjena ili aberacija na hromozomima u krvnim ćelijama periferne krvi.

Maksimalan nivoi izlaganja RF zračenju (koji se odnose na ljude za osmočasovno radno vreme) JUS N. NO.205:1990

Frekvencijski opseg	Kvadrat srednje vrednosti E polja, E ²	Kvadrat srednje vrednosti H polja, H ²	Srednja gustina fluksa snage S
	(V/m) ²	(A/m) ²	W/m ² (mW/cm ²)
300 kHz ≤ 3 MHz	3,77 x 10 ⁵	2,65	1000 (100)
> 3 MHz ≤ 30 MHz	3,39 ² x 10 ⁶ /f ²	23,9/f ²	9 000/f ² (900/f ²)
> 30 MHz ≤ 300 GHz	3,77 x 10 ³	2,65 x 10 ⁻²	10 (1)

U svakodnevnoj praksi doze radarskog zračenja koje mogu biti od uticaja na zdravlje dijele se na:

Male doze, izazivaju povišenje temperature u pojedinim tkivima i organima i elektromagnetni interferentni uticaj na srčani pejsmejker i druge elektronske implantate.

Srednje doze, izazivaju neurovegetativne smetnje slične onima kod neuroza, (tzv. radarski sindrom), promjene u spermatozoidima testisa, zamućenje očnog sočiva i umjereno smanjenje broja krvnih zrnaca.

Velike doze, mogu izazvati hromozomske aberacije u 0,5-2,5% (npr. kod osoba koje su popravljale radarski uređaj, duže vrijeme, bez zaštitne odjeće, u snopu jačine preko 100 mW/cm²). Vrlo rijetki istraživači navode da bi nakon dejstva ovih doza hromozomske aberacije u ćelijama mogle zloćudno mutirati u rak.

Očekivane karakteristike tipičnih radara visoke vršne snage

Sistem	f (GHz)	P (kW)	Pmax (mW/cm ²)	Udaljenost u km od antene za gustinu od 10 mW/cm ²	Udaljenost u km od antene za gustinu od 1 mW/cm ²	Udaljenost u km od antene za gustinu od 0.1 mW/cm ²
Acquisition radar FPN-40	9.0	0.18	12.8	0.028	0.111	0.351
Acquisition radar ARSR	1.335	20	111	0.147	0.465	1.47
Tracking radar Hawk Hi Power	9.8	4.7	800	0.108	0.344	1.08
Tracking radar no.1	2.85	12	34.2	9.392	1.24	3.93
Tracking radar no. 2	1.30	150	55.7	1.75	5.52	17.5

3.3.2 Mjere zaštite od zračenja radara

Povećana upotreba električnih i elektronskih uređaja, uključujući i brz rast telekomunikacionih sistema (npr, satelitskih sistema), radio i televizijskih predajnike, mobilne telefonije i radarskih instalacija sve više je stvorila mogućnost izlaganja ljudi elektromagnetnoj energiji i u isto vrijeme izazvala, zabrinutost zbog mogućih neželjenih efekata po zdravlje.

Zato je u sve većem broju zemalja, briga o zaštiti na radu i javnom zdravlju dovela je do razvoja mjera zaštite od nejonizujućeg zračenja. Više zemalja uvelo je preporuke ili zakonodavstvo koje se bavi zaštitom od prekomjernih efekata nejonizujuće energije u mikrotalasnom opsegu (300 MHz do 300 GHz) i radiofrekvencijskom opsegu (100 kHz do 300 MHz), dok u drugima, postoji tendencija da se revidiraju postojeći standardi i usvoje manje divergentne norme koje ograničavaju izlaganje. Svi ovi kriterijumi u brojnim dokumentima treba da daju korisne informacije za razvoj nacionalnih mjera zaštite protiv nejonizujućeg zračenja u gore navedenom opsegu.

Ograničenja ili referentne vrednosti (EU) koje prikazuju na kojoj je udaljenosti od antene predajnika, u pravcu glavnog snopa, zračenje radara u dozvoljenim granicama

Izvor	Frekvencija	Tipična snaga prenosa	Mereno na tipičnoj udaljenosti od predajnika /tipična vrednost izloženosti	Referentna vrednost u EU	Ograničenje (26. BImSchV)
Vazduhoplovni radari	1GHz - 10GHz	0,2 kW - 2,5 MW	-	43,5 - 61 V/m (odgovara 5 - 10 W/m ²), dodatno ograničenje za vršne vrednosti	Od 43,5 - 61 V/m (odgovara 5 - 10 W/m ²), dodatno ograničenje za vršne vrednosti
Brodski radari	1GHz- 10GHz	0,1 - 0,25MW	100 m u pravcu glavnog snopa/10 W/m ² 1 km u pravcu glavnog snopa/0,1 W/m ²	43,5 - 61 V/m ili 5-10 W/m ² , dodatno ograničenje za vršne vrednosti	Od 43,5 do 61 V/m (odgovara 5 - 10 W/m ²), dodatno ograničenje za vršne vrednosti
Saobraćajni radari	9GHz-35 GHz	Snaga 0,5-100 mW	3m/0,25 W/m ² 10 m/< 0,01 W/m ²	61 V/m ili 10 W/m ²	-

Gustina radarskog zračenja koja u krugu do 94 m od predajnika najčešće ne prelazi 10 mW/cm², u tom prostoru i sa tom snagom zračenje po zdravlje najčešće može izazvati zanemarive posledice, kao što su prolazne hromozomske aberacije, katarakta, anemija itd.

U krugu do 200 m mogu nastati minimalne ili bezazlene, promjene na hromozomima, tzv. promene u fazama.

Na udaljenostima većim od 200 m radarsko zračenje ne izaziva nikakve promjene.

Za osobe koja se mogu slučajno (zadesno) naći u blizini radarskog uređaja važno je znati da što su u momentu ozračenja na većoj udaljenosti od predajnika, opasnosti po njihovo zdravlje je manje jer je sa udaljenošću i manja gustina snage emitovanih radarskih talasa. Tako osobe koje nisu u krugu kretanja zaposlenih (koje vrše opsluživanja radara), nego su van kruga od 94 m ne moraju strahovati za oštećenje svoga zdravlja, jer van kruga od 200 m oštećenje zdravlja uopšte nije moguće. Takođe ono je nemoguće npr. ispod palube broda ili unutar kabinskog (putničkog) prostora aviona.

Kod zaposlenih lica na radaru posledice po njihovo zdravlje zavise od gustine snage radarskog zračenja u krugu od 94 m (u kome se one najčešće kreću i borave u toku opsluživanja radara):

zračenja do 1 mW/cm^2 ne zahteva nikakvu kontrolu zdravlja zaposlenog osoblja na radarima jer ne izaziva nikakve posledice;

zračenja od 5 do 10 mW/cm^2 najčešće ne izazivaju promjene, ali se preventivno zdravlje osoblja izloženog ovom zračenju, ipak redovno kontroliše;

zračenja od 10 do 20 mW/cm^2 izaziva jedino pad mitotskih aktivnosti u hromozomima jedra. Zdravlje osoblja izloženog ovom zračenju redovno se kontroliše, a vrijeme boravka na radu ograničava srazmjerno veličini osmočasovne doze;

zračenja preko 20 mW/cm^2 izaziva hromozomske aberacije koje su, međutim, reverzibilne, tj nakon izvesnog vremena nestaju. Zdravlje osoblja izloženog ovom zračenju redovno se kontroliše, a vrijeme boravka na radu ograničava srazmjerno veličini osmočasovne doze;

zračenja preko 100 mW/cm^2 izazivaju teža oštećenja zdravlja i najčešće nastaju zadesno (slučajno) ili uslijed nepoštovanja propisanih mjera zaštite na radu.

3.3.3 Prednosti radara u odnosu na ostale izvore nejonizujućeg zračenja u smislu zaštite životne sredine i zdravlja ljudi

Radari imaju glavni snop najjače snage koji je širok samo nekoliko stepeni i obično se ljudi ne mogu naći u njegovoj zoni zračenja. Radarske antene obično vrše i rotaciju i signali su impulsni, što dovodi do redukcije izloženosti njihovom zračenju.

Radarski sistemi uglavnom koriste mikrotalasne frekvencije od 500 MHz do oko 15 GHz, iako ima i sistema koji rade na frekvencijama do 100 GHz. Signali koje proizvodi radar razlikuju se od signala npr. mobilne telefonije jer su impulsni, sa veoma kratkim **duty cycle** koji čini da je prosječna snaga relevantna za zaštitu od zračenja značajno manja od vršne snage.

Antene koje se koriste u radarskim sistemima imaju veoma uske snopove zračenja u vertikalnoj i horizontalnoj ravni. Te antene rotiraju i imaju promjenjiv azimut, a takođe imaju promjenljiv i tilt (vertikalni položaj antene). Rotacija i promjena tilta takođe redukuju izračenu snagu, a samim tim i izloženost živih bića EM zračenju.

Postoji više vrsta radara: za praćenje, za kontrolu vazdušnog saobraćaja, GPR (*Ground Penetrating Radar*), radari za kontrolu brodsko saobraćaja, itd. Za ovaj projekat je od interesa radar za kontrolu vazdušnog saobraćaja.

ATC (Air Traffic Control) radari, tj. radari za kontrolu vazdušnog saobraćaja su uređaji za skeniranje koji se koriste za praćenje leta aviona, kao i njihovog slijetanja i uzlijetanja na aerodromima. Oni rotiraju punih 360° i na taj način proizvode relativno male snage u pravcu glavnog snopa zračenja u samo jednom pravcu. Takođe, snage koje se koriste su nešto manje u odnosu na radare za praćenje koji se usmjeravaju direktno na metu u dužem vremenskom periodu.

Mjerenja rađena u blizini ATC radara koji radi na 2.8 GHz sa vršnom izlaznom snagom od 650 kW daje gustinu snage za stacionarne antene (najgori mogući slučaj) manje od 0.5 W·m² na 60m i 20 W·m² na 19 m. Sa rotirajućom antenom ove gustine snage bi bile manje.

3.4 PRORAČUN GRANIČNE ZONE NEDOZVOLJENOG ZRAČENJA

Prilikom analize uticaja elektromagnetnog zračenja na čovjeka, a na osnovu dijagrama zračenja antena, može se grafički aproksimirati zona nedozvoljenog zračenja, u okviru koje vrijednost nekog od razmatranih parametara polja (najčešće je to jačina električnog polja) prelazi standardom definisane granične vrijednosti.

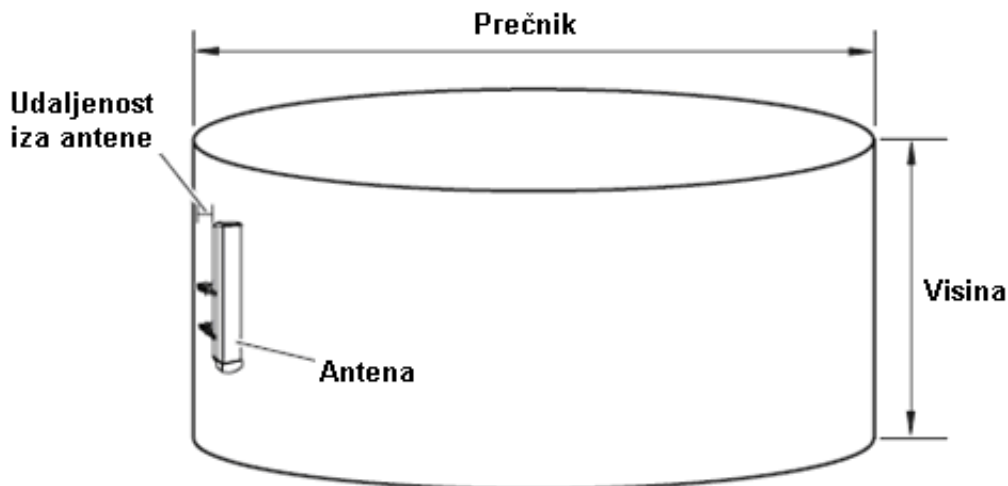
Na osnovu dijagrama zračenja usmjerenih antena zona nedozvoljenog zračenja se može prikazati kao cilindar na čijoj se ivici nalazi antena, a čiji prečnik predstavlja maksimalno granično rastojanje, dok se za omni antene zona nedozvoljenog zračenja može prikazati kao cilindar sa antenom u svom centru, a čiji poluprečnik predstavlja maksimalno granično rastojanje.

Na slici A cilindar konstruisan oko usmjerene antene definiše proračun graničnih rastojanja neželjenog dejstva elektromagnetnog polja za usmjerene antene, dok na slici B cilindar konstruisan oko omni antene definiše proračun graničnih rastojanja neželjenog dejstva elektromagnetnog polja za omni antene.

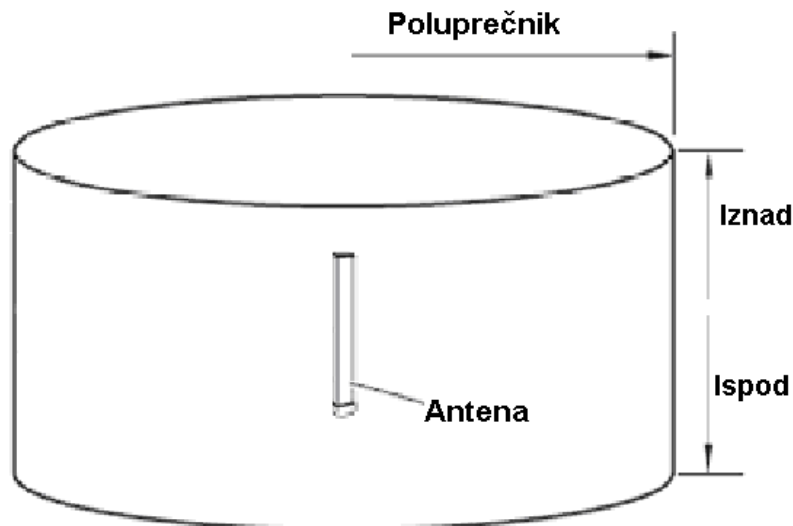
Kako slika A pokazuje antena je locirana na ivici cilindra sa smjerom maksimalnog zračenja ka centru cilindra. Granično rastojanje ispred antene, definisano izrazom 4, je rastojanje između antene, u smjeru maksimalnog zračenja i cilindra prečnika d .

Visina cilindra je vertikalna dimenzija antene uvećana za jednaki iznos iznad i ispod antene.

Granična rastojanja iznad, ispod i iza antene određuje odnos naprijed nazad (*Front to Back Ratio*), kao i dijagram zračenja antena. Za omni antene se računa zona iznad i ispod antene, ali u odnosu na sredinu (centar) antene, a na osnovu dijagrama zračenja istih.



Slika A. Prostorni prikaz za proračun graničnih rastojanja za usmjerene antene



Slika B. Prostorni prikaz za proračun graničnih rastojanja za omni antene

U slučaju kada se analizira daleko polje (*far field region*), intenzitet električnog polja, intenzitet magnetnog polja i gustina snage emisije teorijski su povezani jednostavnim relacijama, a teorijske relacije se dobro slažu sa eksperimentalnim provjerama. Zbog toga je u ovom slučaju dovoljno izmjeriti samo jednu od ove tri komponente polja pošto su druge dvije komponente u tom slučaju jednoznačno određene.

Najčešće se mjeri intenzitet električnog polja zbog široke rasprostranjenosti mjernih uređaja za nivo električnog polja.

Koristeći model za proračun električnog polja u "dalekoj zoni" zračenja antenskog sistema, dobija se da je intenzitet električnog polja na rastojanju d od antene, u pravcu glavnog snopa zračenja, jednak:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G_T}}{d}, \quad (1)$$

gdje su:

E	–	intenzitet električnog polja ,
P	–	snaga predajnika na ulazu antene [W],
G_T	–	dobitak predajne antene [dBi] i
d	–	rastojanje od predajnika.

Obzirom da su izvori zračenja nekorelisani i da su primijenjene sektorske antene, koje su prostorno dislocirane, analitički proračun se sprovodi na način da se zanemaruje zračenja antena iz istog i drugih sektora, tj. posmatra se nivo zračenja u pravcu glavnog snopa pojedinačno za svaku antenu čime se zanemaruje eventualno proširenje zone nedozvoljenog zračenja zbog uticaja zračenja drugih antena.

Prema Prilogu 5, Tabeli A3, Pravilnika o granicama izlaganja elektromagnetnim poljima (Sl. list CG, broj 6/15), u daljem tekstu "Pravilnik", referentni nivoi jačine električnog polja za opseg učestanosti od 400MHz do 2000MHz, za opštu javnu izloženost, se računaju kao:

$$E_{L,i} = 1.375 \cdot \sqrt{f} \quad (2)$$

gdje $E_{L,i}$ predstavlja referentni nivo jačine električnog polja na frekvenciji i . Iz prethodne relacije se dobijaju referentni nivoi jačine električnog polja za opštu javnu izloženost za opseg od interesa, npr:

$$1030 \text{ MHz: } 1,375 \cdot 32,09 = \mathbf{44,12 \text{ V/m}}$$

$$1090 \text{ MHz: } 1,375 \cdot 33,02 = \mathbf{45,39 \text{ V/m}}$$

Prema Prilogu 6, Tabeli A3, Pravilnika, referentni nivoi jačine električnog polja za opseg učestanosti od 400MHz do 2000MHz, za područje povećane osjetljivosti, se računaju kao:

$$E_{L,i} = 0,7 \cdot \sqrt{f} \quad (2)$$

gdje $E_{L,i}$ predstavlja referentni nivo jačine električnog polja na frekvenciji i . Iz prethodne relacije se dobijaju referentni nivoi jačine električnog polja za opštu javnu izloženost za opseg od interesa, npr:

$$1030 \text{ MHz: } 0,7 \cdot 32,09 = \mathbf{22,46 \text{ V/m}}$$

$$1090 \text{ MHz: } 0,7 \cdot 33,02 = \mathbf{23,11 \text{ V/m}}$$

Na osnovu relacije (1) i uz poznate referentne nivoe jačine električnog polja za svaki opseg od interesa, može se odrediti granično rastojanje u horizontalnom pravcu maksimalnog zračenja za svaku antenu pojedinačno:

$$d_{\max} = \sqrt{30 \cdot \frac{P \cdot G_T}{(E_{L,i})^2}} \quad (3)$$

U jednačini 3 proizvod $P G_T$ naziva se ekvivalentnom izotropno izračenom snagom (Equivalent Isotropically Radiated Power EIRP). Ekvivalentna izotropna snaga u smjeru maksimalnog zračenja jednaka je $P G_T$ (ukupno za sve nosioce), dok se za ostale smjerove može odrediti na osnovu dijagrama zračenja antene.

Granična rastojanja iznad, ispod i iza antena, d_{\max}' , računaju se po istoj formuli s tim da se uzima u obzir odnos naprijed-nazad i dijagrami zračenja u proračunu EIRP'.

Kako radarski sistemi proizvode impulsne signale za njih će važiti izmijenjena formula graničnog rastojanja u pravcu maksimalnog zračenja i to u skladu sa napomenom 4 iz Tabele A3 iz Priloga 5 i 6 Pravilnika:

Za frekvencije između 100 kHz i 10 MHz vršne vrijednosti jačine polja dobijene su interpolacijom od 1,5-opadajuće vrijednosti na 100 kHz do 32-opadajuće vrijednosti na 10 MHz. Za frekvencije iznad 10 MHz preporučuje se da vršna vrijednost gustine snage ekvivalentnog ravanskog talasa, usrednjeno za vrijeme trajanja impulsa, ne smije prelaziti 1000 puta uvećanu graničnu vrijednost, odnosno da vrijednosti jačine polja ne smiju prelaziti 32 puta uvećane vrijednosti date u tabeli.

Relacija 3 će za impulsne sisteme biti izmijenjena na sledeći način:

$$d_{\max} = \sqrt{30 \cdot \frac{P \cdot G_T}{(32 \cdot E_{L,i})^2}} \quad (4)$$

3.5 PRORAČUN ZONE NEDOZVOLJENOG ZRAČENJA ZA ANTENSKI SISTEM NA LOKACIJI "VRSUTA"

Na lokaciji "Vrsuta" instalira se sekundarni radar sa antenskim sistemom unutar kupole. U prethodnim poglavljima ovog projekta su dati osnovni podaci o sekundarnom radaru, a izračunata je i vrijednosti efektivne izračene snage.

Sekundarni radar na lokaciji "Vrsuta" radi u frekvencijskom opsegu 960 – 1215 MHz. Fazni centar antene se nalazi na visini oko 10m iznad tla, pri čemu je nadmorska visina na lokaciji radara značajno iznad nadmorske visine naseljenih zona u okolini radara i iznosi 1183m.

Prema Pravilniku, za opseg učestanosti od 400MHz do 2000MHz, kojem pripada i sekundarni radar, referentni nivo jačine električnog polja računa se prema relaciji 2 za opštu javnu izloženost i iznosi **44.12 V/m**, dok za područje povećane osjetljivosti iznosi **22,46 V/m**, za predajnu frekvenciju 1030MHz.

Takođe, za sisteme koji proizvode impulsne signale, a na osnovu Pravilnika, za frekvencije iznad 10 MHz preporučuje se da vršna vrijednost gustine snage, usrednjeno za vrijeme trajanja impulsa, ne smije prelaziti 1000 puta uvećanu graničnu vrijednost, a da vršne vrijednosti jačine polja (E i H) ne smije prelaziti **32 puta** uvećanu vrijednost referentnih nivoa datih u tabeli A3.

Maksimalna efektivna izračena snaga po nosiocu (EIRP) za sekundarni radar dobija se proračunom na osnovu podataka o izlaznoj snazi predajnika, dobitka antene i slabljenja na trasi:

Vršna snaga na izlazu iz predajnika: 64.1 dBm

Minimalni gubici od izlaza predajnika do radarske antene: 4.2 dB

Maksimalni dobitak antene: 27 dBi

Odnos naprijed nazad: 26 dB

Dobitak antene iznad, ispod i iza antene (iako antena rotira, zbog kompletnosti proračuna računamo EIRP i iza), je na osnovu podataka i dijagrama zračenja približno isti i iznosi: $27 - 26 = 1$ dBi

EIRP = 64.1 dBm – 4.2 dB + 27 dBi = 86.9 dBm = 489779 W = 56.9 dBW

EIRP' = 64.1 dBm – 4.2 dB + 1 dBi = 60.9 dBm = 1230W = 30.9 dBW

Na osnovu relacije (4), a na osnovu napomene 4 iz Tabele A3 Priloga 5 i 6 Pravilnika, uz uvrštavanje poznatog referentnog nivoa jačine električnog polja za opseg 400-2000 MHz (44.12 V/m za opštu javnu izloženost i 22,46 V/m za područje povećane osjetljivosti), dobija se granično rastojanje u horizontalnom pravcu zračenja za sekundarni radar na lokaciji "Vrsuta":

Za opštu javnu izloženost:

$$d_{\max} = \frac{\sqrt{30 \cdot 489779}}{32 \cdot 44.12} = \frac{3833.19}{1411.84} = 2.715m,$$

Za područje povećane osjetljivosti:

$$d_{\max} = \frac{\sqrt{30 \cdot 489779}}{32 \cdot 22.46} = \frac{3833.27}{718.72} = 5,333m.$$

Granična rastojanja iza, ispod i iznad antene sekundarnog radara iznose:

Za opštu javnu izloženost:
$$d'_{\max} = \frac{\sqrt{30 \cdot 1230}}{32 \cdot 44.12} = \frac{192.09}{1411.84} = 0.136m,$$

Za profesionalnu izloženost:
$$d'_{\max} = \frac{\sqrt{30 \cdot 1230}}{32 \cdot 22.46} = \frac{192.09}{718.72} = 0.267m.$$

Najbliži objekti u kojima se mogu naći ljudi nalaze se na oko 1km od radarske stanice na lokaciji "Vrsuta" i na nadmorskoj visini značajno nižoj od nadmorske visine radarske stanice, a zona nedozvoljenog zračenja je manja od 6m u pravcu maksimalnog zračenja i manja od 0.3m ispod antene. Takođe, predviđeno je ograđivanje lokacije od nedozvoljenog pristupa, što onemogućava opštoj populaciji da se nađe u neposrednoj blizini radarske antene.

Uzevši u obzir prethodnu konstataciju, nadmorsku visinu lokacije sekundarnog radara, visinu i vertikalno usmjerenje antene, zatim rotaciju antene, kao i uticaj *duty cycle* na lokaciji "Vrsuta", može se zaključiti da se u normalnim okolnostima ni ljudi, ni uređaji ne mogu naći u zoni nedozvoljenog zračenja ove antene.

Na slici je dat prikaz stanice "Vrsuta" sa zonom nedozvoljenog zračenja označenom crvenom bojom.



Zona nedozvoljenog zračenja na lokaciji "Vrsuta" (prečnik zone 5.33m)

Kontrola letenja Srbije i Crne SMATSA doo će, preko ovlašćene institucije, izvršiti prvo merenje nakon instalacije predmetnog radarskog sistema na lokaciji Vrsuta i dostaviti odgovarajući Izveštaj nadležnom organu za zaštitu životne sredine. Shodno rezultatima prvog merenja biće utvrđena potreba i učestalost periodičnih merenja, a u

skladu sa članom 3. Pravilnika o načinu prvih i periodičnih mjerenja nivoa elektromagnetnih polja (Službeni list Crne Gore br. 56/2015):

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.

3.6 RADIO RELEJNE VEZE

Radio-relejne veze se uglavnom realizuju u frekvencijskim opsezima 13 GHz, 18 GHz, 23 GHz i 26 GHz. Tipične vrijednosti snage napajanja antena su reda 0.1 W. Kao antenski sistemi koriste se parabolične antene prečnika od 0.3m do 1.2m i dobitaka preko 40 dBi. Ovako veliki dobitci antena ukazuju na činjenicu da je zračenje elektromagnetne energije visoko koncentrisano i da je glavni snop zračenja antene izuzetno uzak (nekoliko stepeni).

Neophodno je da između predajne i prijemne antene postoji potpuna optička vidljivost i da u prvu Frenelovu zonu ne ulaze nikakve prepreke.

Zona dalekog polja počinje već na desetak centimetara od antena.

Zona nedozvoljeno visokog intenziteta električnog polja je reda nekoliko metara od antena, i to samo u pravcu glavnog snopa, inače je zanemarljiva.

To znači da ljudi i tehnički uređaji ne mogu, ni na koji način, biti ugroženi radom predajnika radio-relejnih veza.

Jelena Balšić, dipl.inž.el.