

UNIVERZITET U BEOGRADU  
SAOBRAĆAJNI FAKULTET

**Dr Marija Z. MALNAR**  
**Dr Goran Z. MARKOVIĆ**

# **OSNOVI RADIO KOMUNIKACIJA**

**– ZBIRKA ZADATAKA –**

**– II dopunjeno izdanje –**

BEOGRAD  
2021.

Dr Marija Z. Malnar, dr Goran Z. Marković  
OSNOVI RADIO KOMUNIKACIJA – zbirka zadataka  
II dopunjeno izdanje

---

Recenzent:	dr Valentina Radojčić
Za izdavača:	dr Nebojša Bojović, dekan
Glavni i odgovorni urednik:	dr Marijana Petrović
Tehnički urednik:	Gordana Marjanović
Korice:	Predrag S. Zdravković
Izdavač:	Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, Vojvode Stepe 305; telefon: 3976-017; fax: 3096-704; <a href="http://www.sf.bg.ac.rs">http://www.sf.bg.ac.rs</a>
Priprema:	Izdavačka delatnost Saobraćajnog fakulteta telefon: 3091-344; e-mail: <a href="mailto:izdavacka_delatnost@sf.bg.ac.rs">izdavacka_delatnost@sf.bg.ac.rs</a>
Štampa:	Pekograf d.o.o., 11080 Zemun, Vojni put 258/d telefon/fax: 3149-166; e-mail: <a href="mailto:pekograf@sbb.rs">pekograf@sbb.rs</a> <a href="http://www.pekograf.com">http://www.pekograf.com</a>
Tiraž:	120 primeraka

ISBN 978-86-7395-442-4

Na osnovu odluke Uređivačkog odbora Saobraćajnog fakulteta Univerziteta u Beogradu broj 670/2 od 08. jula 2021. godine, odobrava se za upotrebu u nastavi kao pomoćni udžbenik za predmet "Osnovi radio komunikacija".

**CIP – КАТАЛОГИЗАЦИЈА У ПУБЛИКАЦИЈИ**

**Народна библиотека Србије, Београд**

621.396(075.8)(076)

**МАЛНАР, Марија З., 1983-**

Osnovi radio komunikacija : zbirka zadataka / Marija Z. Malnar, Goran Z. Marković. - 2. dopunjeno izd. - Beograd : Univerzitet, Saobraćajni fakultet, 2021 (Zemun : Pekograf). - 192. str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 120. - Beleška o autorima: str. 191-192. - Bibliografija: str. 183-184. - Registar.

ISBN 978-86-7395-442-4

1. Марковић, Горан З., 1971- [аутор]

а) Радиовезе - Задаци б) Радиотехника - Задаци

COBISS.SR-ID 45476617

Izdavač zadržava sva prava. Reprodukција pojedinih delova ili celine ove publikacije nije dozvoljen



# SADRŽAJ

---

<b>PREDGOVOR I izdanju .....</b>	<b>7</b>
<b>PREDGOVOR II dopunjenom izdanju.....</b>	<b>9</b>
<b>1. UVOD U RADIO-KOMUNIKACIJE .....</b>	<b>11</b>
1.1. Podela radio talasa prema frekvencijskim opsezima i primene pojedinih opsega.....	11
1.2. Radio frekvencijski spektar kao resurs.....	14
1.2.1. Dokumenti međunarodne regulative .....	14
1.3. Označavanje radio emisija.....	15
1.4. Frekvencijski planovi .....	15
1.4.1. Merenje frekvencije .....	18
1.4.2. Tolerancija frekvencije.....	19
1.5. Primeri .....	19
<b>2. ANTENE I PROSTIRANJE RADIO TALASA .....</b>	<b>27</b>
2.1. Dijagram zračenja antene .....	27
2.1.1. Direktivnost antene .....	30
2.1.2. Širina snopa zračenja.....	30
2.1.3. Impedansa antene, otpornost zračenja i efikasnost.....	30
2.1.4. Dobitak antene .....	33
2.1.5. Propusni opseg antene.....	34
2.1.6. Otvor (prijemne) antene .....	35

2.2. Osnovni parametri radio veze.....	36
2.3. Primeri .....	37
2.4. Prostiranje radio talasa .....	41
2.5. Slabljenje slobodnog prostora .....	41
<b>3. PROSTIRANJE POVRŠINSKIH TALASA .....</b>	<b>45</b>
3.1. Prostiranje iznad homogene trase .....	45
3.1.1. Procena polja računskom metodom .....	49
3.1.2. Grafička metoda za procenu električnog polja.....	50
3.1.3. Primeri .....	51
3.2. Uticaj šuma i određivanje minimalnog potrebnog polja na mestu prijema .....	56
3.2.1. Snaga šuma na mestu prijema.....	56
3.2.2. Minimalno potrebno polje na mestu prijema .....	57
3.2.3. Primeri .....	59
3.3. Prostiranje iznad nehomogene trase .....	64
3.3.1. Metoda na osnovu preporuke ITU-R P 368-9.....	64
3.3.2. <i>Millington</i> -ova metoda.....	65
3.3.3. Primeri .....	67
3.4. Proračun zone servisa predajnika .....	69
3.5. Interferencija površinskog i jonosferskog talasa u LF i MF opsezima..	71
<b>4. PROSTIRANJE JONOSFERSKIH TALASA.....</b>	<b>75</b>
4.1. Određivanje rastojanja između dve geografske tačke i njihovih karakterističnih uglova .....	76
4.1.1. Određivanje rastojanja i azimuta .....	77
4.1.2. Određivanje zenitnog ugla Sunca .....	78
4.1.3. Određivanje tačke refleksije i ugla elevacije .....	80
4.2. Osnovni parametri jonosferske veze.....	83
4.2.1. Kritična frekvencija .....	84
4.2.2. MUF – Maksimalna upotrebjljiva frekvencija .....	85
4.2.3. LUF – Najniža upotrebjljiva frekvencija .....	89
4.2.4. OWF – Optimalna radna frekvencija.....	89
4.3. Jednačine prostiranja .....	90
4.4. Određivanje radnih frekvencija za različite kategorije veza.....	94
4.5. Faktor pouzdanosti jonosferske veze.....	98

---

<b>5. PROSTIRANJE PROSTORNIM TALASOM .....</b>	<b>101</b>
5.1. Refleksija.....	103
5.1.1. Refleksija od ravne Zemlje .....	103
5.1.2. Refleksija od zakrivljene Zemlje.....	105
5.1.3. Divergencija reflektovanog talasa .....	106
5.2. Difrakcija prostornog talasa.....	112
5.2.1. Difrakcija na oštrici noža .....	112
5.2.2. Difrakcija na glatkoj sferi.....	112
5.3. Frenelova zona.....	113
5.4. Atmosferski uticaji – slabljenje usled kiše .....	115
5.5. Prostiranje rasejanjem .....	116
5.5.1. Troposfersko rasejanje (troposkater).....	116
5.5.2. Jonosfersko rasejanje .....	118
5.5.3. Rasejanje izazvano meteorskim kišama .....	119
<b>6. PROJEKTOVANJE RADIO-RELEJNE VEZE .....</b>	<b>121</b>
6.1. Projektovanje digitalne RR veze .....	121
6.1.1. Tehničko rešenje .....	122
6.1.2. Proračun kvaliteta digitalne radio-relejne veze .....	125
6.1.3. Proračun raspoloživosti radio-relejne veze .....	134
6.1.4. Poređenje kvaliteta sa normama ITU-R .....	136
6.2. Primer projektovanja digitalne RR veze.....	137
6.2.1. Tehničko rešenje .....	137
6.2.2. Proračun raspoloživosti RR veze .....	140
6.2.3. Poređenje kvaliteta sa normama ITU-R .....	141
6.3. Simulacija RR veze pomoću softvera <i>Radio Mobile</i> .....	141
<b>7. SATELITSKE VEZE .....</b>	<b>149</b>
7.1. Kretanje satelita po orbitalnoj ravni .....	150
7.2. Propagacija radio talasa u satelitskim vezama.....	154
7.2.1. Odnos nosilac/šum .....	157
7.2.2. Odnos nosilac/šum + interferencija.....	157
<b>8. MODELI RADIO POKRIVANJA .....</b>	<b>165</b>
8.1. Model jednostrukog nagiba ( <i>one slope</i> ) model .....	165
8.2. Okumura-Hata model .....	167

---

8.3. COST-231 Hata model.....	169
8.4. SUI model.....	170
8.5. Keenan-Motley model.....	174
8.6. Model linearnog slabljenja .....	175
8.7. Primer projektovanja radio-difuzne veze .....	176
<b>LITERATURA .....</b>	<b>183</b>
<hr/>	
<b>SPISAK POJMOVA .....</b>	<b>185</b>
<hr/>	
<b>BELEŠKA O AUTORIMA .....</b>	<b>191</b>
<hr/>	

## PREDGOVOR I izdanju

---

Ova zbirka zadataka nastala je kao rezultat višegodišnjih predavanja i vežbi za predmet Osnovi radio komunikacija na osnovnim akademskim studijama na Saobraćajnom fakultetu Univerziteta u Beogradu, na modulu za telekomunikacioni saobraćaj i mreže. Zbirka zadataka osmišljena je da kroz teorijski uvod i niz primera prati materiju koja se izučava na predavanjima. Zbirka zadataka i *Praktikum iz Osnova radio komunikacija* međusobno su povezani u cilju lakšeg izvođenja i praćenja računskih vežbi. U zadacima i primerima iz zbirke koriste se tabele i grafikoni iz praktikuma. Sadržaj zbirke usaglašen je sa nastavnim planom i programom predmeta i omogućava čitaocu da se upozna sa osnovama označavanja emisije, ispitivanjem tolerancije frekvencija, osnovnim pojmovima vezanim za antene, kao i različitim načinima propagacije radio talasa: površinskim, jonosferskim i prostornim.

Materija izložena u zbirci podeljenja je u pet poglavlja. U prvom poglavlju date su teorijske osnove i niz praktičnih primera i zadataka vezanih za označavanje radio emisija i određivanje tolerancije frekvencija, kao i ispitivanje da li određena radio stanica radi u skladu sa Međunarodnim pravilnikom o radio saobraćaju. Drugo poglavlje sadrži osnovne pojmove vezane za antene i primere za određivanje parametara i karakteristika antena. U trećem poglavlju opisani su mehanizmi prostiranja površinskih radio talasa i niz zadataka koji pomažu prilikom određivanja nivoa polja na mestu prijema i slabljenja signala. U četvrtom poglavlju opisani su mehanizmi jonosferskog prostiranja, kao i niz primera koji prate teorijsku osnovu. Peto poglavlje sadrži primere i teorijski osvrt iz propagacije prostornim radio talasima i analizira efekte koji se prilikom ovog načina propagacije javljaju.

Autori se posebno zahvaljuju profesorki dr Valentini Radojičić na korisnim primedbama, sugestijama i savetima koje nam je uputila tokom recenzije ove zbirke. Takođe, rad na finalnoj verziji zbirke bio bi teži da studenti četvrtе godine nisu ukazali na računске i štamparske greške uočene prilikom korišćenja radnih

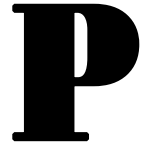
materijala. U ovom izdanju ispravljene su sve uočene greške i autori će biti zahvalni svakom čitaocu koji ukaže na eventualne propuste bilo koje prirode.

Pisanje ove zbirke zadataka podstaknuto je u znak sećanja na profesorku dr Vladanku Aćimović-Raspopović koja je izradila prvu verziju Praktikumuma koji se koristi uz ovu zbirku.

U Beogradu, 2017.g

Autori





## **PREDGOVOR II dopunjenom izdanju**

---

U okviru drugog izdanja zbirke zadataka ispravljene su greške koje su uočene u odnosu na prvo izdanje, a dodata su i tri nova poglavlja koja se odnose na način projektovanja digitalnih radio-relejnih veza, satelitskih linkova, kao i na modele propagacije koji se koriste u radio komunikacijama.

Autori se ovom prilikom posebno zahvaljuju profesorki dr Valentini Rađojičić na korisnim primedbama, sugestijama i savetima koje nam je uputila tokom recenzije zbirke. Takođe, zahvaljujemo se studentima koji su nam ukazali na greške na koje su naišli prilikom korišćenja prvog izdanja zbirke. U ovom izdanju ispravljene su uočene greške, a autori će biti zahvalni svakom čitaocu koji ukaže na eventualne propuste bilo koje prirode.

U Beogradu, 2021.g

Autori

