

---

## LINK SYSTEM REALIBILITY ANALYSIS OF ETHERNET NETWORK AT FREQUENCY RANGE OF 7 GHz AND 18 GHz

Nataša J. Nešić

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies, Niš, Serbia – Department of Information and Communication Technologies, [natasa.nesic@akademijanis.edu.rs](mailto:natasa.nesic@akademijanis.edu.rs)

**Abstract:** In this paper, an analysis of a microwave radio relay link for an Ethernet network is presented. The analysis is conducted from the perspective of the overall annual reliability of the radio relay link in the microwave frequency range. The radio relay link is divided into multiple paths. The reliability of the link depends on the conditions of electromagnetic wave propagation in free space and the condition of the equipment.

The design process of a radio-link system consists of three parts. First, the relative position of the stations is calculated, including the calculation of the distance between stations, azimuth, and elevation for each antenna based on spherical geographical coordinates, the altitude of the station locations, and the height above the terrain. Second, it is verified whether the conditions along the path satisfy free-space propagation conditions, including the existence of optical visibility - Line of Sight (LOS) from transmitter to receiver and free first Fresnel zone. Third, it is necessary to calculate the attenuation on each path, as well as the total annual unavailability due to rain, annual link unavailability due to multiple reflections, considering both horizontal and vertical polarization of antennas, and various types of digital modulation.

The aim of this work is to examine transmission parameters such as the annual link unavailability due to multiple ground reflections and unavailability due to rain. The reliability of the link is also considered in terms of channel bandwidth and type of digital modulation. Calculations are performed for the following types of digital modulations: QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, and 256QAM.

The radio relay link is implemented using devices equipped with Adaptive Coding and Modulation (ACM), which means that the system can choose the type of digital modulation to automatically adapt to the current conditions of attenuation along the path to prevent fading in very poor weather conditions (heavy rain, storms, snowstorms, etc.). During extreme weather conditions that affect the quality of data and voice transmission over the wireless network, a radio system that supports ACM automatically changes the modulation, allowing real-time applications to continue without interruption. Changing the modulation type also changes the channel capacity, i.e., the data transmission rate per signal, thereby providing higher data throughput and better spectral efficiency.

Annual unavailability due to rain and link unavailability due to multipath propagation are considered for four radio relay paths in the frequency range of 7 GHz and 18 GHz, for both horizontal and vertical polarization.

**Keywords:** ACM, annual rain unavailability, Ethernet network, link reliability, microwave radio-link.

## ANALIZA POUZDANOSTI LINKOVSKOG SISTEMA ZA ETHERNET MREŽU NA FREKVENCIJSKOM OPSEGU 7 GHz i 18 GHz

Nataša J. Nešić

Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, Katedra za Informaciono-komunikacione tehnologije - Odsek Niš, [natasa.nesic@akademijanis.edu.rs](mailto:natasa.nesic@akademijanis.edu.rs)

**Rezime:** U ovom radu prikazana je analiza linkovske radio-relejne veze za Ethernet mrežu. Analiza je urađena sa aspekta ukupne godišnje pouzdanosti linkovske veze na opsegu mikrotalasnih frekvencija. Linkovska veza je podeljena u više trasa. Pouzdanost linka zavisi od uslova prostiranja elektromagnetskih talasa u slobodnom prostoru kao i od ispravnosti opreme.

Postupak projektovanja radio-link sistema ima tri celine. Prvo se radi proračun relativnog položaja stanica, pod čime se podrazumeva izračunavanje međusobnog rastojanja između stanica, azimuta i elevacija za svaku antenu, na osnovu sfernih geografskih koordinata, nadmorskih visina lokacija na kojima se nalaze stanice i visina iznad terena. Drugo, vrši se provera da li uslovi na trasi zadovoljavaju uslove prostiranja u slobodnom prostoru, a to je postojanje optičke vidljivosti – Line of sight (LOS) od predajnika do prijemnika i slobodne prve Frenelove zone. Treće, potrebno je izvršiti proračun slabljenja na svakoj trasi, zatim ukupnu godišnju nerazpoloživost usled kiše, godišnju nerazpoloživost veze usled višestrukih refleksija i sve to za horizontalnu i vertikalnu polarizaciju antena, i različite tipove digitalnih modulacija.

Cilj ovoga rada je da razmotri transmisionne parametre kao što su godišnja neraspoloživost linkovske veze usled višestrukih refleksija od tla i neraspoloživosti usled kiše. Pouzdanost veze je sagledana i sa stanovišta širine propusnog opsega kanala i tipa digitalne modulacije. Proračuni se rade za sledeće tipove digitalnih modulacija: QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM i 256QAM.

Linkovka veza se realizuje pomoću uređaja koji su opremljeni za korišćenje šeme za adaptivno kodiranje i modulaciju (ACM), što znači da sistem može birati tip digitalne modulacije kako bi se automatski prilagodio trenutnim uslovima slabljenja na trasi, kako ne bi došlo do pojave fedinga usled veoma loših vremenskih uslova (jake kiše, nevremena, snežne oluje itd.). Prilikom ekstremnih vremenskih uslova, koji utiču na kvalitet prenosa i prijema podataka i glasa, preko bežične mreže, radio sistem koji podržava ACM automatski menja modulaciju omogućavajući aplikacijama u realnom vremenu da nastave da rade bez prekida. Menjanjem tipa modulacije takođe se menja kapacitet kanala, tj. bitska brzina prenosa podataka po signalu, čime se obezbeđuje veći protok podataka i bolja spektralna efikasnost.

Godišnja neraspoloživost usled kiše kao i neraspoloživost veze usled prostiranja po više putanja razmatra se za četiri radio-relejne trase na frekvencijskom opsegu 7 GHz i 18 GHz, za horizontalnu i vertikalnu polarizaciju.

**Ključne reči:** ACM, Ethernet mreža, mikrotalasni radio-link, godišnja neraspoloživost usled kiše, pouzdanost linka.

## 1. UVOD

Radio-relejni mikrotalasni link sistemi su sistemi tipa tačka-tačka. To su vrlo usmerene veze koje koriste antene uskog dijagrama zračenja. Ovi sistemi su namenjeni za prenos govora i podataka, sa jednog mesta na drugo, (Zlatar, 2021), (Miao, 2021). U Republici Srbiji projektovanje radio-link (radio-relejnih) veza standardizovano je Uputstvom za projektovanje digitalnih radio-relejnih uređaja („PTT vesnik“, broj 16/87), koje je u saglasnosti sa preporukama Međunarodne telekomunikacione unije, Sektora za radiokomunikacije - ITU-R (Rec. ITU-R P.530-14). Projektovana veza mora da zadovolji odgovarajuće kriterijume u pogledu slabljenja i neraspoloživosti veze (Bogdanović, 2012), (Nešić, 2022). Ovi kriterijumi su propisani normama koje propisuje ITU-R, nadležno Ministarstvo i/ili sam korisnik radio-veze. U ovom radu data je sistematska analiza mikrotalasnog radio linka na frekvenciji u opsegu od 7 GHz i 18 GHz. Pored ostalih parametara za ispravan rad radio linkovske veze posebno su analizirane performanse veze sa aspekta neraspoloživosti veze na godišnjem nivou u zavisnosti od širine propusnog opsega kanala i tipa digitalne modulacije koja se može koristiti, (Rodriguez, 2020), (Oproiu, 2018), (Tafintsev, 2020). Rad je organizovan na sledeći način: sekcija 2 ovog rada bavi se proračunom pouzdanosti veze mikrotalasnog radio linkovskog sistema. Zatim, u sekciji 3 predstavljena je analiza proračuna ukupne godišnje pouzdanosti i nepouzdanosti linkovske veze. U okviru sekcije 4 predstavljeni su rezultati proračuna. U sekciji 5 je data diskusija rezultata ovoga rada. U sekciji 6 je iznet zaključak rada.

## 2. PRORAČUN RADIO-RELEJNE LINKOVSKO VEZE

Za potrebe efikasnog i pouzdanog protoka podataka bežičnog Ethernet sistema određenog Internet provajdera potrebno je projektovati digitalni radio-relejni linkovski sistem. Konkretno, projektuje se linkovska veza u više trasa od Niša do Paraćina i Niša do Čičevca. Najpre se polazi od Niša i pravi se veza preko Kameničkog visa kod Niša i brda Basare kod Kruševca, odakle se povezuje Paraćin i Čičevac, svaki posebnom trasom. Sistem je dupleksan i omogućava dvosmerni prenos podataka. Krajnje tačke su Niš, Paraćin i Čičevac a Kruševac-Basare predstavlja čvornu tačku.

Projektovane su sledeće trase i to:

1. trasa: Niš – Niš\_Kamenički vis i
2. trasa: Niš\_Kamenički vis – Kruševac\_Basare,
3. trasa: Kruševac\_Basare – Čičevac - hotel Morava, odnosno
4. trasa: Kruševac\_Basare – Paraćin - hotel Petrus.

U tabeli 1 su dati osnovni geografski podaci o radio-relejnim lokacijama. Na slici 1 je prikazana strukturna šema i geografski raspored radio-relejnog sistema sa više linkovskih trasa za Ethernet mrežu.

Bežična digitalna linkovska veza je projektovana za dva frekvencijska opsega i to za 7 GHz i 18 GHz, a u skladu sa preporukom Regulatornog tela za elektronske komunikacije i poštanske usluge (RATEL) Republike Srbije. „Planom namene frekvencijskih opsega“ („Службени гласник РС“, бр. 112/04 и 86/08) predviđeno je da se u opsegu od 7100 MHz do 7900 MHz nalazi 7 pod opsega koji su namenjeni za fiksnu službu na primarnoj osnovi. U opsegu od 17700 MHz do 19700 MHz nalazi se pet pod opsega.

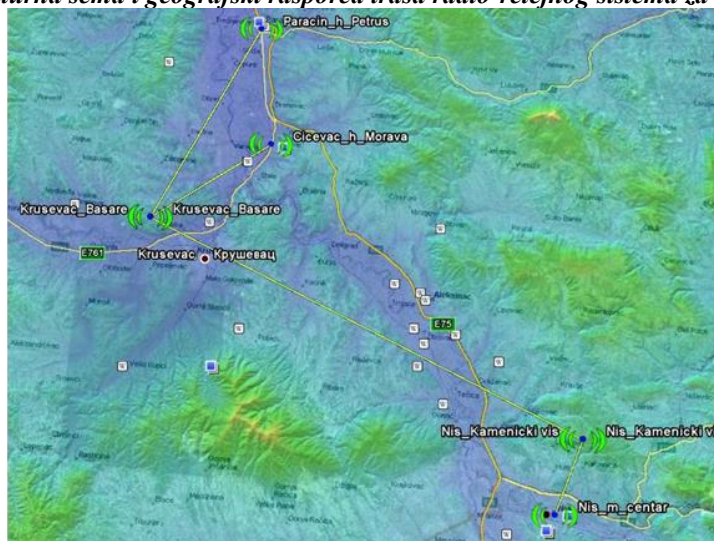
**Tabela 1. Opšti podaci o radio-relejnim lokacijama, merenje izvršeno GPS-om.**

Lokacija	Geografska dužina	Geografska širina	Nadmorska visina [m]
Niš	21° 54' 32,9"	43° 19' 07,5"	198
Niš Kamenički vis	21° 56' 52,2"	43° 24' 13,6"	807
Kruševac Basare	21° 15' 22,2"	43° 37' 25,1"	382
Čičevac - hotel Morava	21° 26' 24,3"	43° 43' 16,9"	145
Paraćin - hotel Petrus	21° 24' 41,0"	21° 51' 47,2"	134

Intenzitet kiše prevaziđen u 0.01% vremena za teritoriju Srbije iznosi  $R_{0.01\%} = 42$  mm/h.

Kratak pregled tehničkih karakteristika uređaja neophodnih za proračun radio-relejnih veza na trasama od interesa na frekvencijama 7 GHz i 18 GHz dat je u tabeli 2. Može se videti da su frekvencije radio-nosioca  $f = 7600$  MHz i  $f = 19200$  MHz, respektivno. Primo-predajni uređaj koristi adaptivno kodiranje i modulaciju (ACM) što znači da može da izabere vrstu modulacije i da se automatski prilagodi trenutnim uslovima slabljenja na trasi, kako bi se sprečio fading usled loših vremenskih uslova (jake kiše, nevremena, snežne oluje itd.). Prilikom veoma loših vremenskih uslova koji utiču na prenos i prijem podataka i glasa preko bežične mreže, radio sistem koji podržava ACM automatski menja modulaciju omogućavajući aplikacijama u realnom vremenu da nastavu da rade bez prekida. Variranjem modulacije takođe varira bitska brzina prenosa podataka po signalu, čime se obezbeđuje veći protok podataka i bolja spektralna efikasnost.

**Slika 1. Strukturna šema i geografski raspored trasa radio-relejnog sistema za Ethernet mrežu.**



**Tabela 2. Tehničke karakteristike uređaja na frekvencijama 7 GHz i 18 GHz**

Frekvencijski opseg	7100-7900 (MHz)	17700-19900 (MHz)
Modulacija	ACM	ACM
Širina kanala	28 (MHz)	28 (MHz)
Kapacitet	38-262 Mb	38-262 Mb
Stabilnost frekvencije	0.001%	0.001%
Konfiguracija	1+0	1+0
Nivo izlazne snage predajnika (na antenskom portu)	26 dBm	22 dBm

### 3. ANALIZA PRORAČUNA NEPOUDANOSTI LINKOVKSE VEZE

Izvršen je proračun svih četiri linkovskih trasa od interesa kako bi se napravila predikcija poudanosti/nepoudanosti linkovskih veza i to sa različitim tipovima modulacija.

Za proračun prostiranja EM talasa i za izračunavanje parametara trase u zavisnosti od različitih modulacija potrebno je poštovati ITU-R preporuke i uputstvo za projektovanje digitalnih radio-relejnih uređaja („PTT vesnik“, broj 16/87). U predikcionim medelima koriste se sledeće ITU-R preporuke:

- metod za predikciju i proračun prostiranja radio-relejnih linkovskih veza (Rec. ITU-R P.530-14)
- raspoloživost realnih fiksnih digitalnih bežičnih linkova (Rec. ITU-R F.1703)
- slabljenje u atmosferi (Rec. ITU-R P.676-3)
- efekti višestrukog prostiranja (Rec. ITU-R F.1093-2)
- slabljenje usled kiše (Rec. ITU-R P.838-3).

Za opis terena i geografskih podataka o nadmorskoj visini korišćena je najkompletnija digitalna topografska baza podataka Zemlje visoke rezolucije, a to je digitalna baza NASA SRTM3 ([www.2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www.2.jpl.nasa.gov/srtm/)).

Za potrebe planiranja i projektovanja mikrotalasnih linkovskih sistema korišćen je programski paket razvijen na osnovu gore datih međunarodnih preporuka i domaćih propisa. Rezultati koji su predstavljeni u ovom radu dobijeni su u okviru izrade tehničkog rešenja za bežičnu internet mrežu između gradova Niša, Čičevca i Paraćina a za potrebe intranet mreže naručioca.

U tabeli 3 prikazane su dužine trasa u km, nivoi izlazne snage na antenskim portovima u dBm i prečnici antena koji su korišćeni na trasama.

Svi proračuni rađeni su za sledeće tipove modulacija: QPSK, 8PSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM i 256QAM, za uređaje tipa Ceragon FibeAir IP-10 koji imaju mogućnost rada sa adaptivnom kodnom modulacijom (ACM) ([www.ceragon.com](http://www.ceragon.com)).

**Tabela 3. Dužine trasa i nivoi izlazne snage na antenskim portovima**

Broj Trase	Trasa	Dužina trase [km]	Nivo izlazne snage na antenskom portu [dBm]	Prečnici antena [m] lok. 1/ lok. 2
1.	Niš - Kamenički vis	9.97	22	0.6/0.6
2.	Kamenički vis – Kruševac Basare	61.03	26	1.2/1.2
3.	Kruševac Basare - Čičevac	18.38	22	0.6/0.6
4.	Kruševac Basare - Paraćin	29.4	26	1.2/1.2

#### 4. REZULTATI PRORAČUNA

Napravljen je detaljni proračun kvaliteta i raspoloživosti radio-relejne veze na svakoj od trasa. Uvidom u profile terena posmatranih trasa sa ucrtanom prvom Frenelovom zonom pokazalo se da je napravljen dobar odabir visine stubova i položaja antena na njima kao i izbora frekvencijskih opsega.

Na predajnoj i na prijemnoj strani radio-relejne veze koriste se parabolične antene prečnika  $\varphi = 0.6$  m ili 1.2 m (vidi tabelu 3) ([www.commscope.com](http://www.commscope.com)). U tabelama od 4 do 7 predstavljeni su podaci o ukupnoj godišnjoj raspoloživosti, odnosno neraspoloživosti veze i rezultati proračuna za različite tipove modulacija, za horizontalnu i vertikalnu polarizaciju.

**Tabela 4. Rezultati raspoloživosti/neraspoloživosti u zavisnosti od tipa modulacije – trasa 1**

Modulacija	Polar.	Ukupna godišnja raspoloživost [%] /neraspoloživost [min]		Zahtevana godišnja raspoloživost [%]	Dozvoljena godišnja neraspoloživost [min]	Zadovoljiva
QPSK	H	99.99681	16.79	99.95	263	da
	V	99.99839	8.45			da
8PSK	H	99.99645	18.66	99.95	263	da
	V	99.99820	9.48			da
16QAM	H	99.99523	25.06	99.95	263	da
	V	99.99752	13.02			da
32QAM	H	99.99317	35.87	99.95	263	da
	V	99.99636	19.14			da
64QAM	H	99.99116	46.47	99.95	263	da
	V	99.99520	25.23			da
128QAM	H	99.98774	64.41	99.95	263	da
	V	99.99321	35.71			da

256QAM	H	99.98774	64.41	99.95	263	da
	V	99.99005	52.30			da

*Tabela 5. Rezultati raspoloživosti/neraspoloživosti u zavisnosti od tipa modulacije – trasa 2*

Modulacija	Polar.	Ukupna godišnja raspoloživost [%] / neraspoloživost [min]		Zahtevana godišnja raspoloživost [%]	Dozvoljena godišnja neraspoloživost [min]	Zadovoljava
QPSK	H	99.99924	4.02	99.96	210	da
	V	99.99929	3.74			da
8PSK	H	99.99893	5.62	99.96	210	da
	V	99.99900	5.28			da
16QAM	H	99.99737	13.83	99.96	210	da
	V	99.99748	13.26			da
32QAM	H	99.99272	38.24	99.96	210	da
	V	99.99292	37.21			da
64QAM	H	99.98629	72.07	99.96	210	da
	V	99.98659	72.49			da
128QAM	H	99.97188	147.80	99.96	210	da
	V	99.97239	145.12			da
256QAM	H	<b>99.94224</b>	<b>303.60</b>	99.96	210	ne
	V	<b>99.94315</b>	<b>298.80</b>			ne

*Tabela 6. Rezultati raspoloživosti/neraspoloživosti u zavisnosti od tipa modulacije – trasa 3*

Modulacija	Polar.	Ukupna godišnja raspoloživost [%] / neraspoloživost [min]		Zahtevana godišnja raspoloživost [%]	Dozvoljena godišnja neraspoloživost [min]	Zadovoljava
QPSK	H	99.98698	68.45	99.95	263	da
	V	99.99275	38.12			da
8PSK	H	99.98551	76.15	99.95	263	da
	V	99.99188	42.69			da
16QAM	H	99.98040	103.01	99.95	263	da
	V	99.98881	58.82			da
32QAM	H	99.99714	150.34	99.95	263	da
	V	99.98330	87.79			da
64QAM	H	99.96212	199.11	99.95	263	da
	V	99.97752	118.15			da
128QAM	H	99.94540	286.98	99.95	263	ne
	V	99.96694	173.75			da
256QAM	H	<b>99.91682</b>	<b>437.19</b>	99.95	263	ne
	V	<b>99.94848</b>	<b>270.77</b>			ne

**Tabela 7. Rezultati raspoloživosti linkovske veze u zavisnosti od tipa modulacije – trasa 4**

Modulacija	Polar.	Ukupna godišnja raspoloživost [%] /neraspoloživost [min]		Zahtevana godišnja raspoloživost [%]	Dozvoljena godišnja neraspoloživost [min]	Zadovoljava
QPSK	H	99.99998	0.10	99.95	263	da
	V	99.99998	0.01			da
8PSK	H	99.99997	0.14	99.95	263	da
	V	99.99998	0.11			da
16QAM	H	99.99993	0.35	99.95	263	da
	V	99.99995	0.28			da
32QAM	H	99.99982	0.96	99.95	263	da
	V	99.99984	0.82			da
64QAM	H	99.99964	1.87	99.95	263	da
	V	99.99969	1.64			da
128QAM	H	99.99922	4.08	99.95	263	da
	V	99.99930	3.67			da
256QAM	H	99.99834	8.73	99.95	263	da
	V	99.99848	8.00			da

## 5. DISKUSIJA REZULTATA

U tabelama 4-7 sumirani su podaci o ukupnoj godišnjoj raspoloživosti odnosno neraspoloživosti linkovskih veza na trasama od značaja u zavisnosti od tipa modulacije i polarizacije antena, sa kriterijumom za raspoloživost za nacionalni tip mreža (ITU-R F.1703).

U Tabeli 4, za trasu Niš – Kamenički vis, uočava se da je ukupna godišnja raspoloživost veze odlična (99.99 %) za sve tipove modulacija, i za H i V polarizaciju jer prelazi kriterijum za zahtevanu godišnju raspoloživost od 99.95 %. Ukupna godišnja neraspoloživost u najgorem slučaju je 64.41 min za modulacije 126QAM i 256QAM, od propisane dozvoljene godišnje neraspoloživosti 263 min.

Tabela 5 prikazuje da ukupna godišnja raspoloživost linka na trasi Kamenički vis – Kruševac\_Basare zadovoljava uslov za sve tipove modulacija izuzev za 256QAM. Za propisani kriterijum od 99.96% godišnje raspoloživosti, dozvoljena godišnja neraspoloživost je 210 min, a proračun je pokazao da je godišnja neraspoloživost 303.60 min za H i 298.80 min za V polarizaciju.

U tabeli 6 može se videti da trasa Kruševac\_Basare – Čičevac za zahtevanu godišnju raspoloživost linkovske veze od 99.95 % veze je odlična za sve tipove modulacija osim za 256QAM. Za modulaciju 256QAM, dobija se godišnja raspoloživost u iznosu 99.91682 % (odnosno 99.94848 %), dok je godišnja neraspoloživost od 437.19 min (odnosno 270.77 min), za horizontalnu (vertikalnu) polarizaciju.

Tabela 7 prezentuje trasu Kruševac\_Basare – Paraćin. Mogu se uočiti odlični rezultati preko 99.999 % koji se odnose na ukupnu godišnju raspoloživost (99.95%) i to za sve tipove modulacija i obe polarizacije antena.

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljena je sistematska analiza proračuna pouzdanosti radio-relejne veze od Niša do Paraćina i Niša i Čičevca na frekvencijskom opsegu 7 GHz i 18 GHz, za horizontalnu i za vertikalnu polarizaciju, za potrebe prenosa podataka u Ethernet mreži. Za svaku od četiri trase proračunati su ukupna godišnja raspoloživost odnosno nerapoloživost linkovske veze, u zavisnosti od tipa modulacije, zato što projektovani uređaj opremljen adaptivnom kodnom modulacijom i to od QPSK do 256 QAM.

Proračuni su pokazali da sve trase u toku cele godine zadovoljavaju kriterijume za ukupnu godišnju raspoloživost za sve tipove modulacija, osim za 256QAM koja jedino na trasama: Kamenički vis – Kruševac\_Basare i Kruševac\_Basare – Čičevac premašuje dozvoljenu godišnju neraspoloživost.

Analiza je pokazala da neće doći do prekida prenosa podataka i u najgorim vremenski uslovima, samo će u jednom vrlo kratkom vremenskom periodu doći do smanjenja brzine prenosa podataka.

## LITERATURA

- Bogdanović N., Blagojević D. & Milovanović, D. (2012). Reliability of Radio-relay System, ICEST 2012 Communication and Energy Systems and Technologies, 2, 303-306, Veliko Tarnovo, Bulgaria.
- Miao J., Li H., Zheng Z., & Wang, C. (2021). Secrecy Energy Efficiency Maximization for UAV Swarm Assisted Multi-Hop Relay System: Joint Trajectory Design and Power Control, IEEE Access, vol. 9, 37784-37799, 2021.
- Nešić, N.J. (2022). Analiza mikrotalasnog radio link sistema za Eternet mrežu sa aspekta pouzdanosti veza. Zbornik radova, ATVSS Niš.
- Oproiu, E.-M., Vulpe, A., Fratu, O., & Ion, M. (2018). High Capacity Ethernet Radio Relay Networks in Mobile Communications. EAI Endors. Trans. Mob. Commun. Appl. 2018, 3, 1–5.
- PTT vesnik, broj 16/87. Uputstvo o projektovanju digitalnih radio-relejnih uređaja
- Rec. ITU-R P.530-14. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.
- Rec. ITU-R F.1703. Availability objectives for real digital fixed wireless links used in 27 500 km hypothetical reference paths and connections.
- Rec. ITU-R P.676-3. Attenuation by atmospheric gases.
- Rec. ITU-R F.1093-2: Effects of multipath propagation on the design and operation of line-of-sight digital fixed wireless systems.
- Rec. ITU-R P.838-3: - Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.
- Rodriguez , D. V. Q., Rodriguez D , Wang J. and Li C., (2020), Smaller and With More Bars: A Relay Transceiver for IoT/5G Applications, IEEE Microwave Magazine, vol. 21, no. 1, pp. 96-100,
- Службени гласник РС, бр. 112/04 и 86/08. Plan namene frekvencijskih opsega.
- Tafintsev, N., & all. (2020). Aerial Access and Backhaul in mmWave B5G Systems: Performance Dynamics and Optimization, IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 2, 93-99, February 2020
- [www.2.jpl.nasa.gov/srtm/](http://www.2.jpl.nasa.gov/srtm/)
- www.ceragon.com, <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/919387-p360-vhlp2-7w-6wh-d-external.pdf>
- Zlatar, S., Lipovac, A., & Lipovac, V. (2021). Verification of Consistency between Ethernet Based QoS with Performance Prediction of Heterogeneous Microwave Radio-Relay Backhaul Network. 2021 IEEE Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTTW). Riga, Latvia. 217-222.