

# Optimizacija rada telekomunikacijskog sustava u kriznoj situaciji

---

**Barišić, Stjepan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:362702>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni preddiplomski studij komunikacija i informatike**

**Optimizacija rada telekomunikacijskog sustava u kriznoj  
situaciji**

**Završni rad**

**Stjepan Barišić**

**Osijek, 2019.**

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	4
1.1	Zadatak završnog rada.....	4
2	SOFTVERSKA PODRŠKA.....	5
2.1	Namjena <i>OpenWrt</i> ugrađeni softver.....	5
2.2	Instalacija operacijskog sustava.....	6
3	HARDVERSKA PODRŠKA.....	7
3.1	<i>Xiaomi MI WiFi NANO</i> usmjerivač.....	7
3.2	Pregled specifikacija uređaja.....	9
3.3	<i>Raspberry Pi 3 B+</i> uređaj.....	10
3.4	Pregled specifikacija uređaja.....	11
4	Kvaliteta usluge.....	11
4.1	Metode upravljanja redovima ( <i>qdiscs</i> ).....	12
4.1.1	<i>CAKE qdisc</i> .....	12
5	SIMULACIJA KRIZNE SITUACIJE.....	15
5.1	<i>FLENT</i> .....	15
5.2	Testiranje.....	18
6	ZAKLJUČAK.....	21
7	LITERATURA.....	22
8	SAŽETAK.....	23
9	ABSTRACT.....	24
10	ŽIVOTOPIS.....	25



# 1 UVOD

U današnje vrijeme primjena brzih i sigurnih internetskih veza čini preduvjet za normalno odvijanje brojnih djelatnosti. Kako mrežna infrastruktura nije u svim područjima dostatno razvijena, često dolazi do zagušenja na komunikacijskim linkovima kada u isto vrijeme mrežu koristi veći broj korisnika.

Nove generacije telekomunikacijskih mreža i sustava podržavaju široki raspon različitih mrežnih aplikacija koje se temelje na prijenosu podataka u stvarnom vremenu. Takve aplikacije imaju različite zahtjeve za kvalitetom usluge u pogledu propusnosti, pouzdanosti, ograničenja u kašnjenju paketa s kraja na kraj mreže, udjelu izgubljenih paketa u ukupnom broju paketa i sl.[1]

## 1.1 Zadatak završnog rada

Zadatak ovog završnog rada je simulirati kriznu situaciju u kojoj se pri malo dostupnoj širini frekvencijskog pojasa većem broju korisnika mora omogućiti što efikasnije korištenje aplikacija za komunikaciju kao što su *Viber*, *Whatsapp*, *Facebook Messenger*, *Skype*, *Telegram* itd. Pri tome je potrebno definirati prioritete prema vrsti komunikacije:

1. tekstualna komunikacija
2. glasovna komunikacija
3. video komunikacija
4. web surfanje
5. ostalo.

Simulacija će biti napravljena unutar softverske podrške koja obuhvaća *Lede* i *OpenWrt* program. Bit će korišten usmjerivač *Xiaomi MI WiFi NANO* kao hardverska podrška.

## 2 SOFTVERSKA PODRŠKA

Odabrana softverska podrška temelji se na *OpenWrt* ugrađenoj *Linux* distribuciji koja može biti instalirana na različite usmjerivače. *OpenWrt* koristi internetsko sučelje, pa je zbog toga puno stabilniji od uobičajenih ugrađenih softvera (engl. *firmware*) budući da se sam ažurira te nije potrebno resetirati usmjerivač svakih nekoliko dana kao u slučaju s predefiniranim ugrađenim softverima. *OpenWrt* omogućava primjenu potpuno zapisivog datotečnog sustava s upravljanjem paketima. Također je pogodan za programere jer omogućuje izradu aplikacije bez izrade pripadajućeg ugrađenog programa. Standardnim korisnicima omogućuje prilagodbu njihovim potrebama. Mogućnosti samih usmjerivača se uvelike povećavaju ugradnjom ovog rješenja.

### 2.1 Namjena OpenWrt ugrađenog softvera

Mogućnosti *OpenWrt* firmvera su različite, a neki od osnovnih razloga njegove primjene su:

- kvaliteta izvedbe i stabilnost – zbog poboljšanih algoritama omogućuje stabilnost i pozdanost u radu, smanjuje kašnjenje i povećava propusnost pomoću algoritama za upravljanje kontrolom spremnika;
- sigurnost – otporan je na različite sigurnosne rizike zahvaljujući primjeni *Linux* operacijskog sustava, a zbog čestih ažuriranja sigurnosna razina se neprestano povećava, a određene ranjivosti i problemi uklanjaju;
- nadogradivost – obuhvaća mogućnost ugradnje programa za uklanjanje reklama, smanjivanje kašnjenja pomoću *Smart Queue Managementa*, pristup kućnoj mreži s udaljene lokacije pomoću *OpenVPN Servera*, sprječavanje pružatelju usluge da provjerava DNS zahtjeve pomoću *DNSCrypta*, kontrola pristupa pomoću ograničenja vremena pristupa i roditeljska zaštita;
- korisnička podrška – skupina razvojnih inženjera, volontera i dugogodišnjih korisnika nastoji pomoći u rješavanju problema, pri čemu se komunikacija vrši preko *LEDE* foruma;
- konfiguracija – omogućuje primjenu sučelja s naredbenim retcima te web korisničko sučelje za konfiguraciju, dok se pomoću *LuCi* mrežnog grafičkog

sučelja može odabrati tema koja odgovara potrebama korisnika, konfiguracija vanjskih led indikatora i tipki;

- cijena – dostupan je besplatno kroz GPL (engl. *General Public License*).

## 2.2 Instalacija operacijskog sustava

Instalacija *OpenWrt* programa je specifična i ovisi o vrsti usmjerivača koji se koristi. Postoji više načina instalacije, a najjednostavnije su:

1. pomoću OEM (engl. *Original Equipment Manufacturer*) ugrađenog softvera (pomoću pretraživača nađe se web korisničko sučelje i instalira *OpenWrt* ugrađeni softver pomoću opcije „*Firmware upgrade*“;
2. pomoću podizača sustava i Ethernet porta; (svaki podizač sustava (engl. *bootloader*) ima ugrađenu funkciju za ovu namjenu, a koristi se neki od sljedećih protokola: TFTP-client, FTP-client ili XMODEM protokol);
3. pomoću podizača sustava i serijskog porta.

### 3 HARDVERSKA PODRŠKA

#### 3.1 *Xiaomi MI WiFi NANO* usmjerivač

Za izradu ovog rada koristi se *Xiaomi MI WiFi NANO* bežični usmjerivač. Internet tehnologije se ubrzano razvijaju i idu u korak s potrebama društva. Primjena internetskih veza brzina većih od 500 Mb/s više ne predstavlja luksuz, pa usmjerivači s jednom antenom više nisu dostatni za usmjeravanje sve veće količine internetskih sadržaja. *Xiaomi MI WiFi NANO* usmjerivač sadrži dvije vanjske PCB antene koje omogućuju širu pokrivenost i bržu uslugu, a također i smanjuju mogućnost gubitka veze. Radi na frekvencijskom području od 2.4 GHz na kojem se postiže snaga signala od 5 dBi.

Za očuvanje privatnosti pri pregedavanju internetskih sadržaja potrebni su dodatni zaštitni mehanizmi. *Xiaomi* je razvio sedmerorazinski zaštitni standard namijenjen za zaštitu od rizika koji postoje na Internetu, a koji uključuje:

- zaštitu podataka,
- zaštitu pristupa – sprječavanje pokušaja kompromitiranja operacijskog sustava usmjerivača,
- provjeru uređaja u mreži – praćenje i filtriranje mreže od sumnjivih uređaja,
- zaštitu od virusa,
- zaštitu od lažne autentifikacije,
- zaštitu od preuzimanja kontrole nad sustavom te
- zaštitu od malicioznih softvera.





**Sl. 3.1.** Prikaz *Xiaomi MI WiFi NANO* usmjerivača



**Sl. 3.2.** Prikaz portova

## 3.2 Pregled specifikacija uređaja

U tablici 3.1 su navedene specifikacije usmjerivača koji je korišten.

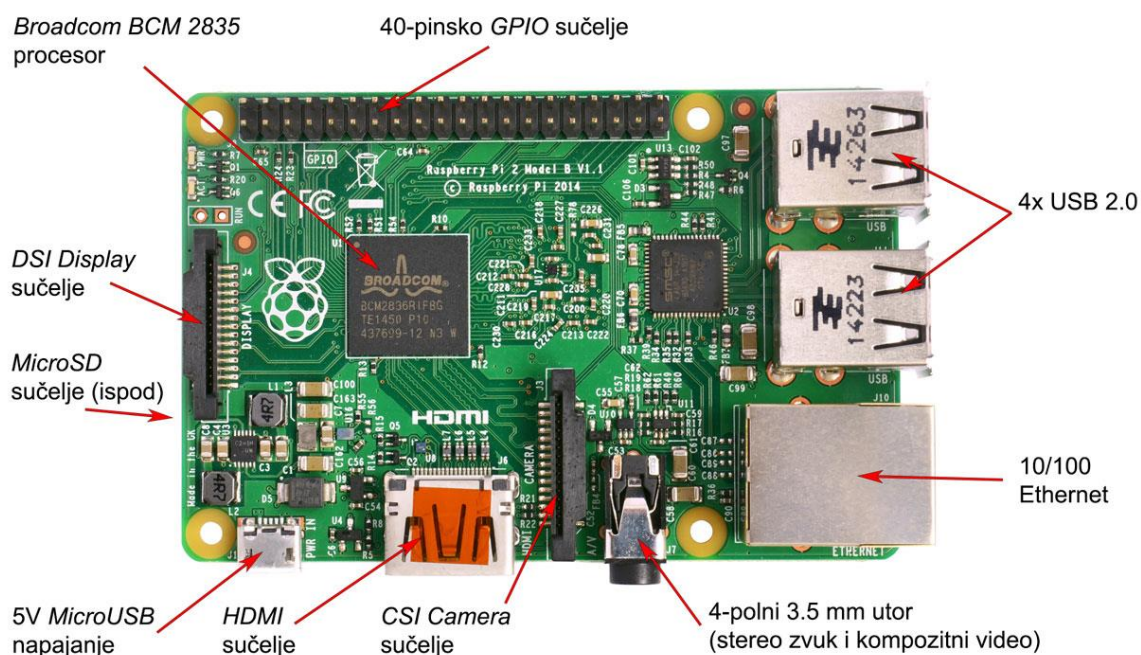
Proizvođač:	<i>XiaoMi</i>
Model:	<i>Mi Wi-Fi Nano</i>
Boja:	Bijela
Vrsta:	Bežični
Sučelje:	LAN, USB 2.0, WAN
CPU:	Jednojezgreni <i>Broadcom MT7620A</i>
Modulacije:	11b: DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK 11g: OFDM: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 11n: MIMO-OFDM: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Broj antena:	2
Prijenosna brzina:	300 Mbps
Zaštita:	WEP, WPA-PSK, WPA2-PSK
Wi-Fi standardi:	IEEE 802.11b/g/n, IEEE 802.3/3u
Podržani sustavi:	<i>Android, IOS, Mac OS, Windows 2000, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows Vista</i>
Težina:	100 g
Memorija:	ROM – 16MB NOR Flash, RAM – 64MB DDR2

Tablica 3.1. Specifikacije *Xiaomi* usmjerivača [2]

### 3.3 Raspberry Pi 3 B+

*Raspberry Pi* je računalo veličine kreditne kartice koje je u potpunosti smješteno na jednoj matičnoj ploči [3]. *Raspberry Pi 3* model *B+* korišten je pri izradi praktičnog primjera u radu u svrhu servera za provođenje testiranja.

Na matičnoj ploči nalaze se *Broadcom BCM 2837* procesor, 40-pinsko *GPIO* sučelje, *USB 2.0* ulaz, *Ethernet* sučelje, 3.5mm utor za video i zvuk, serijsko sučelje kamere, *HDMI* sučelje, 5V *MicroUSB* napajanje, *MicroSD* sučelje i prikaz serijskog sučelja.



Sl. 3.3. Izgled *Raspberry Pi 3* modela [4]

*Raspberry* nema jedinstven operacijski sustav već se sustav podiže preko *SD* kartice. U ovom radu korišten je *Raspbian* operacijski sustav koji se temelji na *Debian* distribuciji *Linux*-a i koji je preuzet sa službene *Raspberry* stranice [5], a zatim se na ostale uređaje pomoću programa *Win32 Disk Imager* klonirala *SD* kartica sa postojećim operacijskim sustavom.

### 3.4 Pregled specifikacija uređaja

Procesor:	<i>Quad-Core ARM Cortex-A53 1,4GHz Broadcom BCM2837</i>
RAM:	1GB LPDDR2
Povezivanje:	2.4GHz i 5GHz 802.11.b/g/n Wi-Fi, Bluetooth 4.2, Ethernet priključak, 4 x USB 2.0 priključka
Pristup:	40 GPIO pinova
Video i zvuk:	HDMI priključak, RCA video/audio priključak, DSI prikaz serijskog sučelja, CSI serijsko sučelje kamere
Napajanje:	MicroUSB 2,5A

Tablica 3.2. Specifikacije *Raspberry Pi 3B+* [6]

## 4 Kvaliteta usluge

Razina kvalitete usluge (engl. *Quality of Service*, QoS), u širem smislu, predstavlja i mjeru za kvalitetu usluga koje korisnicima pružaju telekomunikacijski operatori. Pod usluge se ubrajaju usluge u računalnim i telefonskim mrežama te računalne usluge u oblaku. QoS predstavlja mogućnost dodjeljivanja različitih prioriteta različitim aplikacijama, korisnicima i tokovima podataka, ili osiguranja određene razine usluge za neki tok podataka.[7] Nekoliko standardnih QoS parametara koji se uzimaju u obzir pri prijenosu podataka su:

- gubici,
- brzina prijenosa podataka,
- propusnost linkova,
- kašnjenje,
- dostupnost te
- promjenjivost faze signala.

QoS u području računalnih i telekomunikacijskih mreža obuhvaća mehanizme za kontrolu prometa u mreži i prioritetiziranje određene vrste prometa za koji je nužno osigurati garantiranu prijenosnu brzinu, širinu frekvencijskog pojasa ili kašnjenje. Najčešće je riječ o primjeni VoIP tehnologija, prijenosima podataka u stvarnom vremenu ili uslugama kod kojih ne smije biti kašnjenja paketa, npr. mrežne igre. QoS ima posebnu važnost u mrežama s manjim prijenosnim kapacitetima ili u mrežama s velikim brojem korisnika.

## 4.1 Metode upravljanja redovima (qdiscs)

Metode upravljanja redovima čekanja rade na principu privremene memorije (engl. *buffer*) u kojoj se pohranjuju paketi prije nego se nad njima obavi određena radnja. Moguće radnje su ulazak paketa u red, izlazak paketa iz reda i brisanje paketa. *Queueing disciplines* su algoritmi kojima se kontrolira način ulaska paketa u redove te njihovog izlaska.[8]

Postoje klasne i besklasne metode za upravljanje redovima čekanja. Glavna razlika je u tome što se u klasnim metodama generiraju klase u koje se svrstava promet prema važnosti i tako određenoj vrsti prometa pridjeljuje veći prioritet nad ostalim vrstama. U besklasnim metodama ne postoje klase ni filteri kojima se upravlja prometom u mreži. Neke od besklasnih metoda su: *FIFO (First-In-First-Out)*, *TBF (Token Bucket Filter)* i *SFQ (Stochastic Fairness Queueing)*. Poznatije klasne metode su *PRIO*, *CBQ (Class Based Queueing)*, *HTB (Hierarchical Token Bucket)* i *CAKE (Common Applications Kept Enhanced)*. U ovom završnom radu koristi se *CAKE* zbog toga što *OpenWrt* ugrađeni softver sadrži sve pakete potrebne za rad s tom metodom.

## 4.2 CAKE qdisc

*CAKE* predstavlja opsežni sustav upravljanja mrežnim redovima dizajniran posebno za kućne korisnike Interneta. Sadrži nekoliko svojstava integriranih u jedno rješenje koje se prema testiranjima pokazalo kao vrlo napredno, a ta četiri svojstva su:

- oblikovanje propusne širine kanala s kompenzacijom za slojeve veze,
- upravljanje diferenciranim uslugama, tzv. *DiffServ* mehanizam,
- poboljšano upravljanje vezom s izoliranim tokovima i poslužiteljima,
- filtriranje TCP paketa potvrde.

Algoritam za upravljanje redovima koristan je samo ukoliko ima kontrolu nad dijelom veze u kojem dođe do pojave „uskog grla“. Ograničavanjem prolaska prometa kroz dio veze gdje se pojavi usko grlo na propusnost malo manju od fizičkog kapaciteta veze izbjegava se zagušenje međuspremnik. Oblikovatelj propusnosti postavlja se na vrijednost najbližu kapacitetu same veze kako ne bi dolazilo do većih gubitaka raspoloživih resursa. Raspored odašiljanja paketa reguliran je virtualnim satom, a događa se u precizno mjenim intervalima. Virtualni sat se pokreće kada prvi paket stigne u prazni red i povećava se izračunatim serijskim kašnjenjem svakog poslanog paketa. Paketi čekaju odašiljanje dok se

stvarno vrijeme ne poklopi s virtualnim satom. *CAKE* metoda ima ugrađen algoritam koji na veličinu paketa u mrežnom sloju kompenzira dodatak i takav paket prosljeđuje sloju podatkovne veze. Algoritam za oblikovanje propusne širine određuje koji paketi su sljedeći u redu za slanje (engl. *enqueue*) i raspoređuje pakete na određite odnosno čisti komunikacijski kanal (engl. *dequeue*). Drugi zadatak algoritma je da prema predefiniranoj veličini paketa u pojedinim slojevima oblikuje okvire paketa koji sadrže unaprijed određen broj bitova zaštite i bitova informacije.

---

**Algorithm 1** Shaping and overhead compensation algorithm.  
*T<sub>next</sub>* is the time at which the next packet is eligible for transmission.

---

```

1: function ENQUEUE(pkt)
2:   net_len ← pkt.len − NETWORK_OFFSET(pkt)
3:   adj_len ← net_len + overhead
4:   if ATM framing is enabled then
5:     adj_len ← CEILING(adj_len / 48) * 53
6:   else if PTM framing is enabled then
7:     adj_len ← CEILING(adj_len / 64) * 65
8:   pkt.adj_len ← adj_len
9:   if backlog is zero and Tnext is after Now then
10:    Tnext ← Now
11: function DEQUEUE
12:   if Tnext is after Now then
13:     Schedule interrupt at Tnext
14:     return Nil
15:   pkt ← Choose Packet
16:   Tnext ← Tnext + pkt.adj_len * time_per_byte
17:   return pkt

```

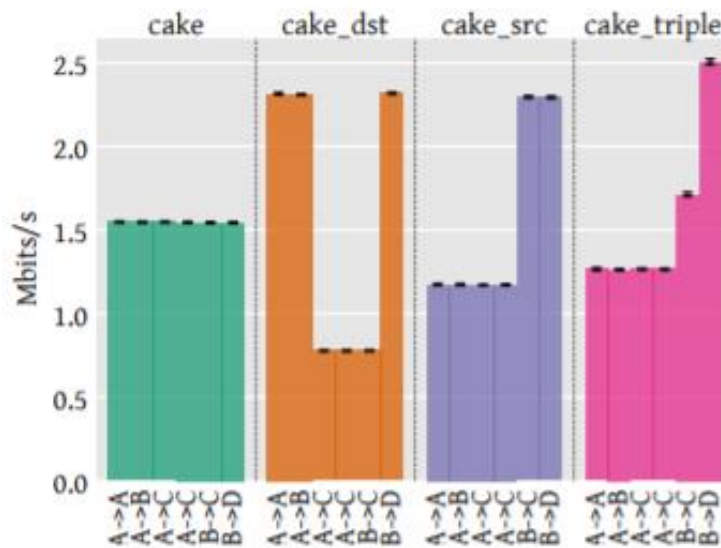
---

#### Sl. 4.1. Algoritam kompenzacije dodatka [9]

Kod *Wi-Fi* mreža s više korisnika svakako je korisno određenim vrstama prometa dati veći prioritet. Također, treba biti svjestan da neće u svakom trenutku u redu za slanje postojati promet kojem je dodijeljen najviši prioritet. Upravo zbog toga koristi se mehanizam koji upravlja diferenciranim uslugama odnosno osigurava da u svakom trenutku kapacitet veze bude maksimalno iskorišten. To znači da ako se postavi određena brzina veze za promet kojeg trenutno nema u redu za slanje, povećat će se brzina slanja paketa s manjim prioritetom.

Pod upravljanjem vezom, odnosno tokom podataka, smatra se detektiranje dijela veze na kojem dolazi do zastoja u slanju podataka, tzv. *bottleneck*. Ako na bilo kojem dijelu veze dođe do zagušenja to se odražava na cijeli komunikacijski kanal i automatski dolazi do zagušenja spremnika i kašnjenja paketa. *CAKE* metoda u sebi ima implementiran *FQ-CoDel* (*Fairness Queueing-Controlled Delay*) algoritam u kojem su svi tokovi podataka u mreži izolirani, odnosno zasebni. Prednost takvog algoritma predstavlja činjenica da ukoliko dođe do zagušenja u određenom toku, algoritam ga prepozna i više ne šalje pakete kroz taj tok

kako se zagušenje ne bi odražavalo na rad cijelog sustava. U takvim slučajevima kašnjenje postaje malo veće, ali ne dolazi do zagušenja cijelog sustava. Druga prednost izoliranosti tokova koju *FQ-CoDel* omogućuje korisnicima je odabir količine raspoložive pojasne širine koju se želi pridjeliti pojedinom toku te na taj način načiniti razliku između prometa za koji se želi ostvariti minimalno kašnjenje i prometa kojem se može dopustiti veće kašnjenje. Za svaki taj tok se točno odredi kolika se količina podataka može slati u isto vrijeme, pa do preklapanja među tokovima može doći jedino ako se u redu za slanje nađe više paketa nego što je predviđeno. Također, *CAKE* metoda je prva metoda koja uz izolirane tokove istovremeno ima i izolirane poslužitelje. Postoje četiri načina na koje može funkcionirati *CAKE* raspodjela među poslužiteljima prikazana na slici 4.2. Prvi graf prikazuje brzinu slanja bez izolacije za poslužitelje u kojem se vidi da svaki tok ima jednaku brzinu. Na drugom grafu se prikazuje *destination fairness mode*, a na trećem *source fairness mode*. Drugi i treći način uzimaju u obzir koliko je tokova od i koliko je tokova prema određenom poslužitelju i na taj način skalira i određuje koji tok će dobiti koliku količinu resursa.



Sl. 4.2. Načini rada kod izolacije poslužitelja[9]

Ponekad se TCP paketi potvrde pošalju i veći broj puta nego je potrebno, pa tako utječu na učinak mreže. *CAKE* je razvio tehniku kojom smanjuje veličinu paketa potvrde ili ih čak odbacuje ako prepozna da su redundantni. Postoje dva načina rada vezana za filtriranje TCP paketa. Konzervativni način zadržava barem dva redundantna paketa dok agresivni način zadržava samo TCP paket koji je zadnji stigao u red za slanje.

## 5 SIMULACIJA KRIZNE SITUACIJE

Praktični dio rada obuhvaća simulaciju krizne situacije. Simulira se situacija kada se više korisnika spoji na istu mrežu. Telekomunikacijski sustav optimiziran je pomoću *OpenWrt* ugrađenog softvera instaliranog na usmjerivač. Pomoću *Speedtest-a* [10] provjerene su brzine mreže u odlaznom (engl. *upload*) i dolaznom (engl. *download*) smjeru kako bi se došlo do podataka potrebnih za optimizaciju i korištenje *CAKE qdisc-a*. Sama je simulacija napravljena u *Flent-u* (*The FLExible Network Tester*), alatu koji je podklasa *netperfa* i sličnih alata koji služe za testiranje i grafičko prikazivanje rezultata. Postavke *SQM-a* (*Smart Queue Management-a*) vidljive su na slici 5.1.

```
|
config queue 'eth1'
    option enabled '0'
    option qdisc_advanced '0'
    option interface 'eth0.2'
    option download '17000'
    option upload '2000'
    option debug_logging '0'
    option verbosity '5'
    option qdisc 'cake'
    option script 'piece_of_cake.qos'
    option linklayer 'ethernet'
    option overhead '8'
```

Slika 5.1. *QoS* postavke

Za početak, bilo je potrebno nabaviti usmjerivač koji podržava *OpenWrt* ugrađeni softver i instalirati isti. Zatim je preko grafičkog sučelja podešen *CAKE qdisc* prema parametrima na slici 5.1. Nakon toga, korišten je *Raspberry Pi* uređaj s instaliranim *Raspbian* operacijskim sustavom koji je žično povezan na usmjerivač simulirao server. Omogućeni su paketi iz *non-free* repozitorija kako bi se instalirao *Flent* program za testiranje mreže. Na kraju su preko računala, koje je također žično spojeno na usmjerivač, pokrenuti programi poput *Facebook Messenger-a*, *Skype-a* i *YouTube-a* kako bi se simulirao promet u mreži i kako bi testirali efikasnost *QoS-a* i *qdisc-a* u usporedbi s predefiniranim kvalitetama usluge.

### 5.1 FLENT

*Flent* je skupina naredbi objedinjenih u program koji sadržava nekoliko naredbi za testiranje mrežnih karakteristika. Najpoznatija naredba je *netperf*, a postoje još *iperf*, *fping* i



sl. *Netperf* omogućava pokretanje testova, kreiranje grafova i vizualiziranje podataka, slično kao i *Matlab*. *Flent* je kompletan alat za testiranje mreže i dijagnosticiranje različitih, od jednostavnijih do ozbiljnijih, problema s vezom [11]. Za razliku od *Matlab*-a, *open-source* je, besplatan i dostupan svima.

Podržava *Mac* i *Linux* operacijske sustave i to je razlog zašto je besplatan. To ne znači da je pokretanje na računalima s *Windows* sustavom nemoguće, ali treba naći način kako ga pokrenuti preko komandne linije i slično.

Na različitim distribucijama *Linux*-a različite naredbe su potrebne za instalaciju *Flent*-a. U ovom radu koristi se *Raspbian* distribucija na *Raspberry Pi*-u i *OpenWrt* distribucija na usmjerivaču. Za *Raspberry Pi* se koristi naredba `sudo apt install flent`, a za usmjerivač `opkg install flent-tools`, kako se vidi na slici 5.2.

```

root@OpenWrt: ~
Use the "passwd" command to set up a new password
in order to prevent unauthorized SSH logins.
-----
root@OpenWrt:~# opkg update
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/targets/ramips/mt76x8/
packages/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_core
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/targets/ramips/mt76x8/
packages/Packages.sig
Signature check passed.
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/b
ase/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_base
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/b
ase/Packages.sig
Signature check passed.
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/l
uci/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_luci
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/l
uci/Packages.sig
Signature check passed.
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/p
ackages/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_packages
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/p
ackages/Packages.sig
Signature check passed.
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/r
outing/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_routing
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/r
outing/Packages.sig
Signature check passed.
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/t
elephony/Packages.gz
Updated list of available packages in /var/opkg-lists/openwrt_telephony
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/t
elephony/Packages.sig
Signature check passed.
root@OpenWrt:~# opkg install flent-tools
Installing flent-tools (1.0.1) to root...
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/packages/mipsel_24kc/p
ackages/flent-tools_1.0.1_mipsel_24kc.ipk
Installing librt (1.1.19-1) to root...
Downloading http://downloads.openwrt.org/releases/18.06.2/targets/ramips/mt76x8/
packages/librt_1.1.19-1_mipsel_24kc.ipk
Configuring librt.
Configuring flent-tools.
root@OpenWrt:~# █

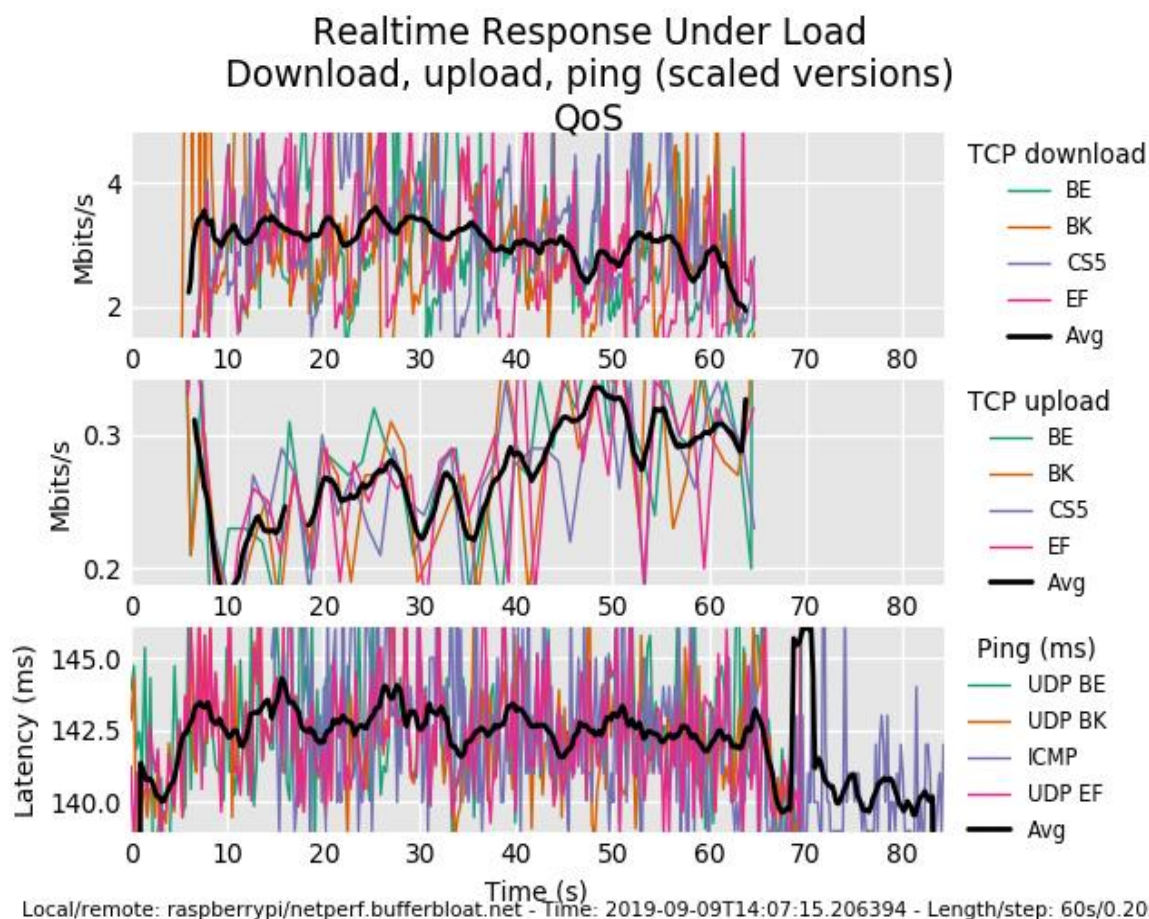
```

Slika 5.2. Instalacija *Flent*-a na usmjerivač

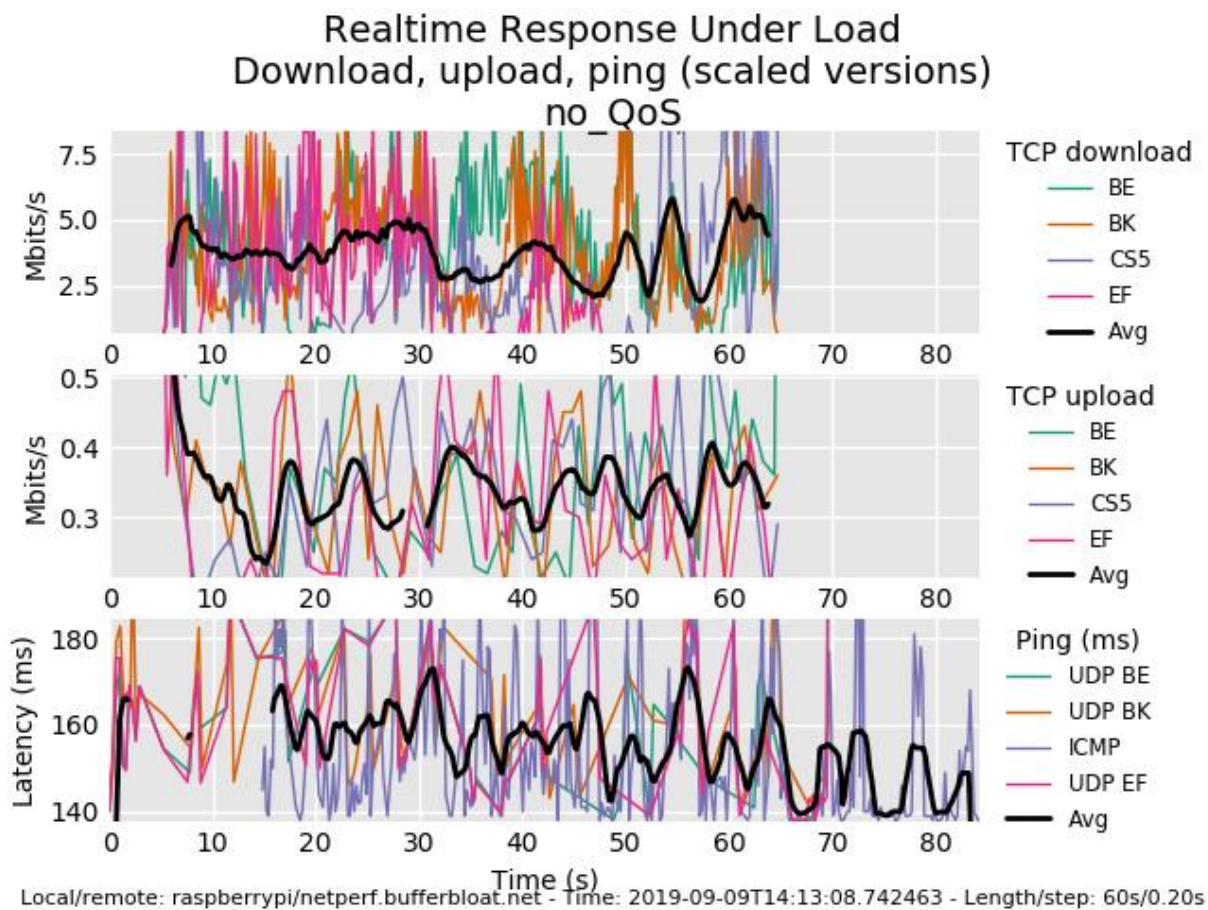
## 5.2 Testiranje

Samo testiranje izvršeno je na način da je opterećenje veze bilo veliko. U isto vrijeme pokrenuti su programi *Skype*, *Facebook Messenger*, *YouTube* i vršeno je preuzimanje sadržaja s Interneta preko *Torrenta*. Rađeno je testiranje s omogućenim *QoS*-om, a zatim i bez. Rezultati će biti prikazani na slikama 5.3., 5.4, 5.5. i 5.6.

Oznaka *Avg* (engl. *Average*) predstavlja prosječnu vrijednost brzine, oznaka *BE* (engl. *Best Effort*) predstavlja vrijednost brzine prometa s najvećim prioritetom, oznaka *BK* (engl. *Background*) predstavlja vrijednost brzine prometa koja je označena kao pozadinski promet i ima najmanji prioritet, oznake *CS5* (engl. *Class Selector 5*) i *EF* (engl. *Expedited Forwarding*) predstavljaju vrijednosti brzina prometa koji je osjetljiv na kašnjenje i te klase prometa su označene kao srednji prioritet.



Slika 5.3. Odziv u realnom vremenu pri mrežnom opterećenju - preuzimanje podataka u dolaznom i odlaznom smjeru, ping (skalirane vrijednosti) - *QoS*

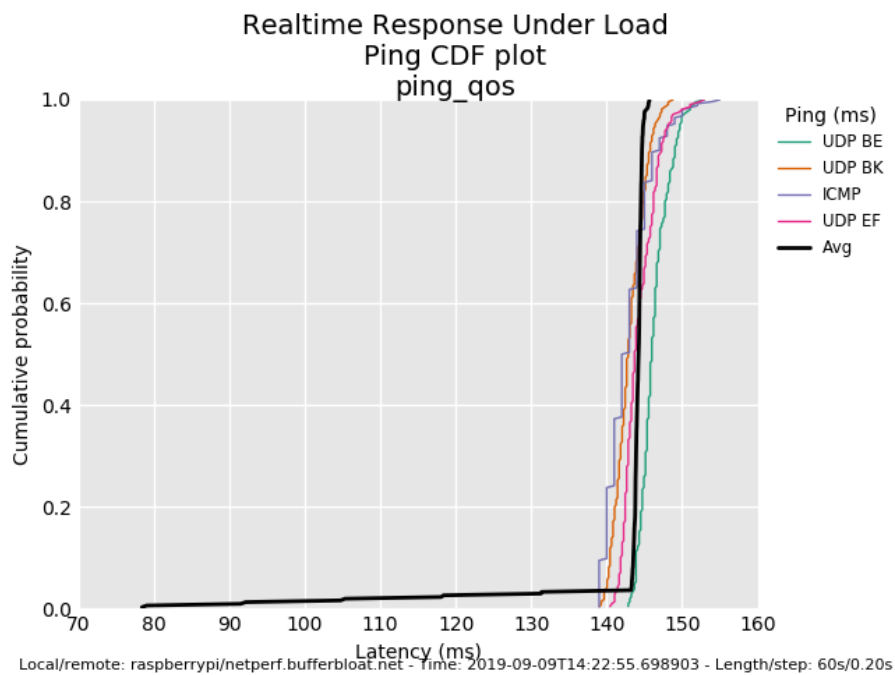


Slika 5.4. Odziv u realnom vremenu pri mrežnom opterećenju - preuzimanje podataka u dolaznom i odlaznom smjeru, ping (skalirane vrijednosti) – bez *QoS*-a

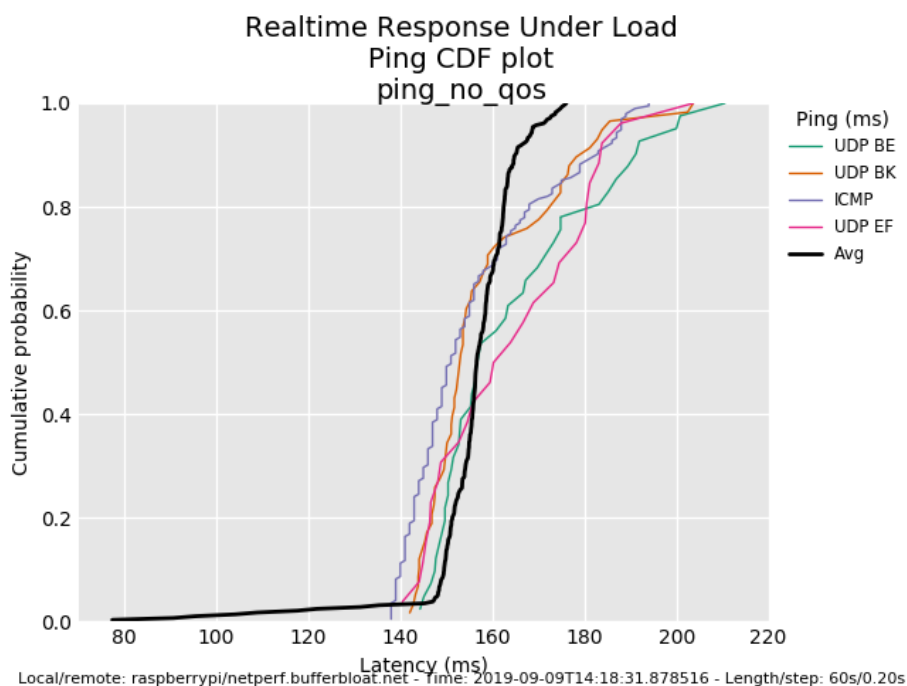
Oznake *UDP* (engl. *User Datagram Protocol*) i *ICMP* (engl. *Internet Control Message Protocol*) su oznake protokola koji imaju svoju svrhu u prijenosu paketa. *UDP* protokol služi za prijenos multimedijjskih sadržaja, a *ICMP* protokol se koristi za kontrolne poruke i poruke o greškama ili problemima u mreži.

Uspoređujući grafikone na slikama 5.3 i 5.4 jasno se vidi da su vrijednosti s *QoS*-om općenito stabilnije i nema previše odstupanja od srednje vrijednosti dok vrijednosti bez *QoS*-a variraju. Prosječna vrijednost kašnjenja uz korištenje *QoS*-a za *UDP* i *ICMP* mrežni promet varira od 140 do 145 milisekundi što je neznatno odstupanje, a to se vidi na slici 5.3. dok prosječne vrijednosti kašnjenja bez korištenja *QoS*-a variraju od 140 do 170 milisekundi, a pojedine *UDP* i *ICMP* vrijednosti kašnjenja prometa prelaze i 180 milisekundi. Stabilnost veze je upravo glavni razlog zbog čega se koristi *CAKE qdisc*, a takvi rezultati su bili očekivani prije testiranja.

Na slikama 5.5. i 5.6. posebno su prikazana kašnjenja u slučajevima kada se koristi *QoS* i kada se ne koristi. Razlika u kašnjenjima još je očitija nego na slikama 5.3. i 5.4. *UDP* s manjim prioritetom i *ICMP* mrežni promet postiču maksimalno kašnjenje od 155 milisekundi uz korištenje *QoS*-a (slika 5.5.) dok vrijednosti bez korištenja *QoS*-a dosežu kašnjenje i do 210 milisekundi (slika 5.6.). Kada bi opterećenost mreže bila veća, npr. kod nekih javnih otvorenih mreža tada bi efikasnost i korisnost *QoS*-a još više došla do izražaja.



Slika 5.5 Odziv u realnom vremenu pri mrežnom opterećenju – ping - *QoS*



Slika 5.6. Odziv u realnom vremenu pri mrežnom opterećenju – ping – bez *QoS*-a

## 6 ZAKLJUČAK

U prvom dijelu rada obavljalo se prikupljanje opreme u vidu usmjerivača i *Raspberry Pi* uređaja, a potom je uslijedilo instaliranje potrebne softverske podrške u vidu *OpenWrt* ugradbenog softvera i *Raspbian* operacijskog sustava. Tijekom rada u navedenim *Linux* distribucijama zaključio sam da *Linux* kao i svaki operacijski sustav ima svoje prednosti i mane. Prednosti su što je sav sadržaj *open-source* i mogućnosti prilagodbe osobnim zahtjevima su velike. S druge strane, rad u *Linux*-u zahtjeva dobro poznavanje naredbi u sučelju naredbenog retka (engl. *Command Line Interface, CLI*) i često se zna dogoditi da neke naredbe treba unijeti više puta kako bi se željeni postupak izvršio u cjelosti.

S obzirom na zadatak rada i prioritete prema vrsti komunikacije birane su metoda upravljanja redovima (engl. *qdisc*) i postavke kvalitete usluge. Pored dobrih performansi i lakoće korištenja, *CAKE* metoda upravljanja redovima podržana je od izabranog ugradbenog softvera na usmjerivaču.

Rezultati simulacije u *FLENT* programu pokazuju koliko je korisno imati konfiguriranu neku od metoda upravljanja redovima i tako poboljšati kvalitetu usluge, imati stabilniju internetsku vezu, manje kašnjenje, veće dolazne i odlazne brzine itd. Testiranje je rađeno na uzorku kućne mreže i rezultati su vidljivi kod manjih opterećenja i brzina veze što znači da svaka javna mreža s velikim brojem korisnika može uštediti određenu količinu resursa ukoliko optimizira komunikacijski sustav na način koji odgovara potrebama korisnika.

## 7 LITERATURA

- [1] V. Bezruk, A. Bukhanko, D. Chebotaryova and V. Varich, Multicriteria Optimization in Telecommunication Networks Planning, Designing and Controlling, Telecommunications Networks, 2012. pristup ostvaren 12. lipnja 2018.
- [2] „Xiaomi Mi WiFi Nano“, <https://xiaomi-mi.com/wifi-routers/xiaomi-mi-wifi-router-nano-white/>, NIS LLC, pristup ostvaren 23. lipnja 2019.
- [3] M. Aleti, Raspberry Pi, PMF Zagreb, Zagreb, 2014., <http://www.phy.pmf.unizg.hr/RUNA/seminari/2014-10%20Mario%20Aleti%C4%87.pdf> , pristup ostvaren 24. lipnja 2019.
- [4] „Raspberry Pi dijelovi“, <https://www.chipoteka.hr/artikl/127339/raspberry-pi-3-model-b-ugradeni-wi-fi-i-bluetooth-8208000130>, pristup ostvaren 24. lipnja 2019.
- [5] „Raspberry Pi“, <https://www.raspberrypi.org/downloads/>, pristup ostvaren 24. lipnja 2019.
- [6] Raspberry Pi Foundation, Raspberry Pi 3 Model B+, <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>, pristup ostvaren 23. lipnja 2019.
- [7] M. Božić, QoS(Quality of Service): Uvod, sys.portal Carnet, 2009., <https://sysportal.carnet.hr/node/505> pristup ostvaren 28. svibnja 2019.
- [8] M. Lovričević, Filtriranje mrežnog prometa na aplikacijskoj razini pomoću Linux rješenja: 2.dio, sys.portal Carnet, 2007., <https://sysportal.carnet.hr/node/320>, pristup ostvaren 28. svibnja 2019.
- [9] T. Hoiland-Jorgensen, D. Taht, J. Morton, Piece of CAKE: A Comprehensive Queue Management Solution for Home Gateways, 2018., pristup ostvaren 23. lipnja 2019.
- [10] „Speedtest“, <https://www.speedtest.net/>, pristup ostvaren 24. lipnja 2019.
- [11] „Flent“, <https://www.techjunkie.com/test-strength-network-flent/>, pristup ostvaren 22. kolovoza 2019.
- [12] „How to create netserver on Raspberry Pi?“, <https://raspberrypi.stackexchange.com/questions/99695/netperf-command-doesnt-exist-on-raspbian/102218#102218>, pristup ostvaren 17. lipnja 2019.
- [13] „CoDel“, <https://en.wikipedia.org/wiki/CoDel>, pristup ostvaren 23. lipnja 2019.

## 8 SAŽETAK

**Naslov:** Optimizacija rada telekomunikacijskog sustava u kriznoj situaciji

Cilj ovog završnog rada je optimizirati telekomunikacijski sustav i definirati prioritete prema vrsti komunikacije na način da korisnik bira koja vrsta prometa u mreži mu je bitna i za što mu je potrebna stabilna veza i malo kašnjenje. Usporedbom više metoda upravljanja redovima zaključeno je da *CAKE* metoda najbolje odgovara zahtjevima rada i s obzirom na lakoću korištenja optimalno je rješenje. *OpenWrt* ugradbeni softver je korišten na usmjerivaču *Xiaomi Mi 3 NANO*, a kao server za testiranje dolazne i odlazne brzine te kašnjenja korišten je *Raspberry Pi* uređaj s instaliranim *FLENT* programom. Testiranje je obavljeno na način da su pokrenuti programi preko računala žično povezanog na usmjerivač kao središnji uređaj komunikacijskog sustava i na taj način se opteretila mreža. Postupak je obavljen dva puta, prvi put s omogućenim *QoS*-om, dok je drugi put ta usluga bila onemogućena. Rezultati testiranja pokazali su da primjena *CAKE* metode i *QoS*-a jamče kvalitetniju i stabilniju mrežu u situacijama povećane opterećenosti mreže. Razlika u rezultatima prikazana je grafovima i opisana.

**Ključne riječi:** ugradbeni softver, kvaliteta usluge, metoda upravljanja redovima, *FLENT*, *Raspberry Pi*, *CAKE*, *OpenWrt*, krizne situacije, *QoS*, optimizacija telekomunikacijskog sustava



## 9 ABSTRACT

**Title:** Optimization of Telecommunication System in Crisis Situation

The aim of this bachelor thesis was to optimize telecommunication system and to define priorities according to which client chooses the type of network traffic for which stable connection and low latency is needed. Comparing a few queueing disciplines it is concluded that *CAKE* method fits best to the thesis requirements and considering its easiness of using it is optimal solution. *OpenWrt* firmware is used on *Xiaomi Mi 3 NANO* router while the *Raspberry Pi* device which has installed *FLENT* program is used as server for testing download and upload speed and latency. The testing was done in a manner that programs were started on a computer connected to the router which was the central device of the communication system, and after that the network was loaded. Procedure was done twice, at first, with enabled *QoS*, and then with disabled *QoS*. The test results showed that appliance of *CAKE qdisc* and *QoS* guarantee higher quality and more stable network in situations of increased network load. Resulting differences are shown on graphs and explained.

**Key words:** firmware, quality of service, queueing discipline, *FLENT*, *Raspberry Pi*, *CAKE*, *OpenWrt*. crisis situations, *QoS*, optimization of telecommunication system

## **10 ŽIVOTOPIS**

Stjepan Barišić rođen je 25. lipnja 1996. u Osijeku. U Osijeku završava osnovnu školu „Frana Krste Frankopana“ te 2011. upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju. 2015. ostvaruje upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, smjer elektrotehnika.