

USPOREDBA GLAVNIH USMJERNIČKIH PROTOKOLA ZA PRIMJENU U VELIKIM TVRTKAMA

Krčmar, Kristijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Algebra University College / Visoko učilište Algebra**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:225:829264>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Algebra University - Repository of Algebra University](#)



VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

ZAVRŠNI RAD

**USPOREDBA GLAVNIH USMJERNIČKIH PROTOKOLA ZA
PRIMJENU U VELIKIM TVRTKAMA**

Kristijan Krčmar

Zagreb, siječanj 2019.

„Pod punom odgovornošću pismeno potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe materijale navedene u popisu literature, ali nisam kopirao niti jedan njihov dio, osim citata za koje sam naveo autora i izvor te ih jasno označio znakovima navodnika. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključivo i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovoga rada.“

U Zagrebu, 25. veljače 2019.

Sažetak

Ovaj rad prikazuje usporedbu vjerojatno dva najčešće upotrebljavana mrežna protokola EIGRP i OSPF. Odabrana je mrežna topologija s ciljem lakog prilagođavanja određenim uvjetima testiranja. Nakon što je cijela mreža konfigurirana, uspoređeni su ključni parametri poput brzine konvergencije, otkazivanja ključnih sučelja i ključnih uređaja, lakoće implementacije pojedinog protokola te njihove skalabilnosti. Nakon istraživanja na internetu te komunikacije s ljudima koji na tjednoj bazi rade s jednim od protokola donijeti su neki zaključci. Ti su zaključci pomogli pri testiranju i usporedbi ovih dvaju mrežnih protokola. Nakon što su obavljena testiranja, unijeti su podatci u tablice ili su objavljene slike s pojedinih usmjernika. Testiranje je obavljeno u GNS3 simulatoru za simuliranje računalnih mreža, a jedan dio je testiran i na pravoj opremi u učionici.

Ključne riječi: OSPF, EIGRP, brzina konvergencije

Abstract

This paper presents a comparison of probably the two most commonly used network protocols EIGRP and OSPF. Network topology is selected with the aim to easily adapt to certain test conditions. After the entire network is configured, key parameters were compared such as convergence rate, key site and key device failures, how easy it is to implement a single protocol, and how scalable they are. After researching the Internet and communicating with people who work on a weekly basis with one of the protocols, some conclusions have been drawn. These conclusions helped in testing and comparing of these two network protocols. Once the tests have been performed, the data is entered in the tables or the images of individual routers have been published. The testing was done in the GNS3 computer network simulation tool, and one part was tested on the real equipment in the classroom.

Keywords: OSPF, EIGRP, convergence rate

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Uloga usmjerivačkih protokola u mrežama	1
2.1. "Distance Vector" protokoli.....	1
2.1.1. EIGRP	2
2.1.2. Lakoća implementacije	3
2.1.3. Sigurnost razmjene informacija o putanjama.....	3
2.1.4. Brzina konvergencije.....	4
2.1.5. Brzina usmjeravanja prometa.....	4
2.1.6. Predvidljivost usmjeravanja	5
2.1.7. Stabilnost rada	5
2.1.8. Potrošnja resursa uređaja	6
2.1.9. Skalabilnost.....	6
2.1.10. Sprečavanje usmjerničkih petlji.....	6
2.1.11. Utjecaj na dizajn mreže	7
2.2. "Link-State" protokoli.....	7
2.2.1 OSPF.....	7
2.2.2 Lakoća implementacije	9
2.2.3 Sigurnost razmjene informacija o putanjama.....	9
2.2.4 Brzina konvergencije.....	9
2.2.5 Brzina usmjeravanja prometa.....	9
2.2.6 Predvidljivost usmjeravanja	9
2.2.7 Stabilnost rada	10
2.2.8 Potrošnja resursa uređaja	10
2.2.9 Skalabilnost.....	10
2.2.10 Sprečavanje usmjerničkih petlji.....	11
2.2.11 Utjecaj na dizajn mreže	11
2.3. Ostali usmjernički protokoli	12
3. Testna topologija	12
4. Testiranja.....	13
5. Procjena složenosti optimizacije mreže.....	13

5.1.	Mreža s OSPF usmjernikom.....	13
5.2.	Mreža s EIGRP usmjernikom	13
6.	Analiza rezultata mjerenja.....	13
6.1.	Lakoća implementacije	13
6.2.	Sigurnost razmjene informacija o putanjama.....	14
6.3.	Brzina konvergencije	16
6.4.	Otkaz ključnog sučelja na uređaju	17
6.5.	Otkaz ključnog uređaja u mreži.....	23
6.6.	Brzina usmjeravanja prometa.....	27
6.7.	Predvidljivost usmjeravanja	28
6.8.	Stabilnost rada.....	32
6.9.	Potrošnja resursa uređaja	33
6.10.	Skalabilnost	37
6.11.	Sprečavanje usmjerničkih petlji.....	39
6.12.	Utjecaj na dizajn mreže	42
	Zaključak.....	45
	Popis kratica.....	46
	Popis slika	47
	Literatura.....	49

1. Uvod

Dva najčešće korištena svjetska mrežna protokola u velikim tvrtkama su EIGRP i OSPF, tako da je to razlog njihovog odabira za temu ovog rada. U radu su uspoređene najbitnije karakteristike ovih dvaju mrežnih protokola kako bi se dobio odgovor koji je bolji, brži, jednostavniji za implementiranje ili održavanje. Kako bi se dobili što bolji rezultati na testiranjima, protokolima su mijenjani parametri poput metrike, propusnosti sučelja ili tajmera. Nakon dobivenih rezultata oni su objavljeni tekstualno, u slikama ili u tablicama. Svi rezultati rezultat su samostalnog testiranja koje je provedeno u GNS3 mrežnom simulatoru ili u učionici.

2. Uloga usmjerničkih protokola u mrežama

Usmjernici (engl. router) za usmjeravanje mrežnog prometa koriste usmjerivačke protokole kako bi usmjeravali promet u mreži. Cilj usmjeravanja je prosljeđivanje paketa od izvora do odredišta. Usmjernički protokoli omogućuju mreži dinamično prilagođavanje uvjetima.

Postoje dvije vrste usmjerničkih protokola koji se dijele prema načinu izračunavanja optimalnog puta na:

- “Distance Vector” protokoli
- “Link-State” protokoli

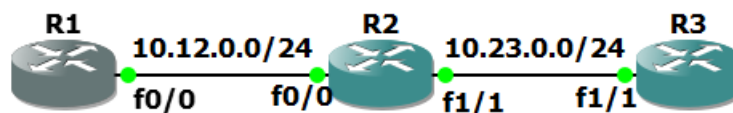
2.1. “Distance Vector” protokoli

Protokoli vektora udaljenosti¹ (engl. Distance vector) su protokoli kod kojih usmjernici ne znaju cjelokupnu topologiju mreže, već znaju smjer prema odredišnoj mreži i kolika je udaljenost do te mreže.

Uzmimo primjer sa slike Slika 2.1, svaki od usmjernika prije nego što se na njemu iskonfigurira neki od protokola vidi samo onu mrežu koja je direktno na njegovu sučelju. Tako R1 u svojoj usmjerničkoj tablici ima samo mrežu 10.12.0.0/24 koja mu je spojena direktno na sučelje. Kad se na usmjernik R1 i R2 konfigurira EIGRP mrežni protokol, usmjernik R1 će razmijeniti putanje s

¹ Kunštek, Zlatko. Računalne mreže II., Zagreb, 2011.

usmjernikom R2. R2 usmjernik će mu “reći” da on zna mrežu 10.23.0.0/24, tada će R1 usmjernik upisati da do mreže 10.23.0.0/24 može doći preko usmjernika R2. Usmjernik R1 ne zna gdje se nalazi ta mreža, ali vjeruje usmjerniku R2. Zbog toga se takav tip usmjerničkih protokola i nazivaju protokoli vektora udaljenosti.



Slika 2.1 Razmjena putanji

Najpoznatiji protokoli vektora udaljenosti su EIGRP (engl. Enhanced Interior Gateway Routing Protocol) i RIP (engl. Routing Information Protocol).

Prednosti protokola vektora udaljenosti su:

- jednostavna implementacija i održavanje,
- mali zahtjevi za resursima.

Nedostatci protokola vektora udaljenosti:

- jako spora konvergencija,
- ograničena skalabilnost,
- usmjerničke petlje.

2.1.1.EIGRP

EIGRP je *distance vector* protokol u vlasništvu tvrtke CISCO, u promet pušten 1992. godine te su ga na početku podržavali samo CISCO usmjernici. Godine 2013. tvrtka CISCO omogućuje i drugim vendorima korištenje EIGRP protokola, ali su zadržali neke napredne opcije u svome vlasništvu. EIGRP protokol omogućava dobru skalabilnost kao i jako brzu konvergenciju mreže. EIGRP troši jako malo mrežnih resursa ako je mreža stabilna jer u njoj razmjenjuje samo hello pakete. EIGRP podržava automatsku sumarizaciju te ručnu direktno na sučelju.

EIGRP za određivanje najkraćeg puta do destinacije unutar mreže koristi DUAL algoritam (engl. Diffusing Update Algorithm). *DUAL* algoritam od sviji susjedskih putanja odabire dvije najbolje

pod uvjetom da nisu usmjerničke petlje. EIGRP najbolju putanju upisuje u usmjerničku tablicu, a rezervnu u tablicu topologije.

EIGRP kao mjeru za kvalitetu puta² (engl. Metric) koristi kompliciraniji izračun koji može imati četiri parametra:

- brzina prijenosa (engl. bandwidth) [B],
- kašnjenje (engl. delay) [D],
- pouzdanost (engl. reliability) [R],
- zauzetost (engl. load) [L].

Formula³ za izračun mjere kvalitete puta je:

$bw=10^7/\text{min bandwidth in kilobits per second.}$

Iako EIGRP mrežni protokol spada u skupinu protokola vektora udaljenosti, zajedno s RIP mrežnim protokolom, jedina sličnost im je kriterij načina kreiranja putanji.

2.1.2. Lakoća implementacije

Što se implementacije tiče, EIGRP protokol je jednostavan za konfiguriranje, ne zahtijeva previše razmišljanja o mrežnoj topologiji i radi vrlo dobro do određene veličine. Ako treba dodatni usmjernik, implementira ga se u mrežu, konfigurira EIGRP i on će raditi. Problem nastaje kad mreža postane dovoljno velikom da treba određene granice skaliranja koje tjeraju da se razmisli o topologiji. Tada uklanjanje EIGRP mrežnog protokola i migracija na OSPF postaju poprilično realno rješenje, a to znači puno mukotrpnog posla. Primarna ograničenja skaliranja koja ima EIGRP su takva da on nema sposobnost postavljanja internih granica važnih za kontrolu prefiksa i veličine baze podataka na način na koji to rade OSPF područja.

2.1.3. Sigurnost razmjene informacija o putanjama

Sigurnost razmjene informacija o putanjama može se zaštititi korištenjem autentifikacije susjeda koji koriste određeni usmjernički protocol, bio on EIGRP ili OSPF. Postoje dvije glavne vrste

²Kunštek, Zlatko. Računalne mreže II., Zagreb, 2011.

³Jacob, Mark. Cisco EIGRP metric calculation simplified- the eyes have it! <https://www.interfacett.com/blogs/cisco-eigrp-metric-calculation-simplified-eyes-it/>, kolovoz 2012.

autentifikacije, a to su *plain-text* autentifikacija i *hashing* autentifikacija i obje koriste lozinku (ključ) za autentifikaciju.

Kod *plain-text* autentifikacije lozinka se konfigurira na usmjerniku i svi susjedi koji sudjeluju u autentifikaciji moraju imati istu lozinku. *Plain-text* autentifikaciju podržava OSPFv2 dok EIGRP i OSPFv3 ne podržavaju. *Hashing* autentifikacija je bolje rješenje jer koristi *hash* ili potpis za razliku od *plain-text* koja je u običnom tekstu. *Hash* vrijednost usmjernici koriste kako bi validirali autentičnost *routing updatea*. *Hash* autentifikacija koristi SHA (engl. Secure Hash Algorithm) i MD5 (engl. Message Digest) algoritme za autentifikaciju od kojih je SHA sigurniji, ali ga ne omogućuju svi protokoli, OSPF i imenovani EIGRP ga podržavaju. MD5 *hashing* autentifikacija je možda i najbolji izbor jer ju podržavaju svi mrežni protokoli.

2.1.4. Brzina konvergencije

Mrežna konvergencija je vrijeme koje je potrebno kako bi promet bio preusmjeren na alternativan ili optimalan put nakon što se dogodi određeni događaj u računalnoj mreži. Mrežna konvergencija zahtijeva da svi zahvaćeni usmjernici obrade događaj i ažuriraju strukturu podataka koje se koriste za prosljeđivanje.

EIGRP mrežni protokol radi brzu konvergenciju na osnovnoj konfiguraciji. Brzina konvergencije mu se može znatno poboljšati podešavanjem **halo** tajmera ili odabirom primarne putanje kroz računalnu mrežu.

2.1.5. Brzina usmjeravanja prometa

Paketi dolaze na usmjernik u ulaznom portu, tamo usmjernik ispituje odredište paketa kako bi ga mogao poslati na odgovarajući odlazni port. Dok paketi čekaju gdje će biti preusmjereni, oni se pohranjuju u međuspremniku usmjernika. Ako su međuspremници usmjernika popunjeni, paketi će biti odbačeni. Brzina prema kojoj usmjernik prosljeđuje pakete prema odlaznom portu je ograničena i ovisi o brzini kojom usmjernik može donositi odluke o usmjeravanju paketa dok brzina kojom prosljeđuje pakete prema odredištu ovisi o propusnosti odlaznog linka.

Uloga usmjernika je odrediti najbolju putanju za pakete prema njihovu odredištu. On odlučuje kuda će koji paket proslijediti ili usmjeriti. Usmjernik za odabir najboljeg puta koristi određene elemente prema kojima odabire putanju do odredišta. Ti elementi su administrativna distanca (engl. Administrative Distance) ili mjera kvalitete puta (engl. Metric).

EIGRP protokol za odabir najbolje putanje koristi kompozitnu metriku sastavljenu od propusnosti mreže (engl. Bandwidth) i odgode (engl. Delay) te pouzdanosti (engl. Reliability) i zauzetosti. EIGRP će na putu do odredišta koristiti najniži postavljeni *bandwidth*.

2.1.6. Predvidljivost usmjeravanja

Predvidljivost usmjeravanja je lakša na manjim mrežama gdje se može predvidjeti kuda će mrežni promet teći. No, kod kompleksnijih i velikih mreža to se znatno otežava. Donekle se može predvidjeti ako se kombinira s različitim vrstama sučelja (neka su brža od drugih). Iako je teško predvidjeti kuda će mrežni promet prolaziti, na njega se itekako može utjecati. Primjerice, raspoređivanjem prometa (engl. load balance) kod EIGRP-a se može utjecati na njegovu vrijednost varijance. Na usmjeravanje prometa može se utjecati mijenjajući i parametre *bandwidth* i metriku samoga usmjernika.

2.1.7. Stabilnost rada

Pri običnoj osnovnoj konfiguraciji u malim i srednje velikim mrežama ni EIGRP ni OSPF nemaju problema sa stabilnosti u radu. Problem kod EIGRP-a nastaje kad mu mrežna topologija naraste na brojku od nekoliko stotina usmjernika te ako nije strogo hijerarhijski dizajnirana, može doći do velikog zagušenja kako memorije tako i procesora. Vjerojatno najveći problem stabilnosti kod EIGRP-a je *query* paket te bi takva mreža mogla imati velikih problema sa stabilnošću, kao i s brzinom konvergencije. *Query* paket kad izgubi put do odredišta i ne postoji mogući nasljednik tog puta, šalje poruku (engl. query) na sve usmjernike na sva sučelja te ako susjedni usmjernik nema informaciju o alternativnom putu i on prosljeđuje *query* na sve svoje susjede. EIGRP taj problem rješava sažimanjem putanji, redistribucijom ili EIGRP *stub* svojstvom.

2.1.8. Potrošnja resursa uređaja

Potrošnja resursa uređaja uvelike ovisi o veličini računalne mreže. Slično podjeli u područja kod OSPF-a, EIGRP velike usmjerničke mreže dijeli u autonomne sustave. Najveći problem kod EIGRP-a u velikim mrežama stvara *query* paket koji može utjecati na veliki broj usmjernika u mreži te može zauzeti puno resursa usmjernika čime mreža može postati i nestabilna.

2.1.9. Skalabilnost

O skalabilnosti treba razmišljati već pri samom planiranju računalne mreže. Implementiranje novih usmjernika u usmjerničku mrežu ne predstavlja problem kod manjih mreža dok može biti pravi izazov ako je mreža velika. EIGRP tolerira proizvoljnu topologiju za male i srednje mreže, no kako se mrežna topologija povećava dodavanjem novih mrežnih uređaja te dosegne brojku od recimo 400 usmjernika EIGRP može prestati s radom. To se kod EIGRP-a sprečava strogim dizajnom usmjerničke mreže te se EIGRP dijeli u autonomne sustave. Tada se i problematični *query* paket zadržava u autonomnom sustavu. Najbitniji faktor kod skalabilnosti EIGRP mreže je količina podataka koji se izmjenjuju između usmjernika, koja se rješava sažimanjem putanji.

Na skalabilnost EIGRP protokola utječu sljedeći faktori:

- količina podataka koji se izmjenjuju između usmjernika,
- broj usmjernika koji su podložni promjeni topologije,
- broj usmjernika kojima putuje informacija kako bi stigla do svih usmjernika,
- broj alternativnih putanja u mreži.

2.1.10. Sprečavanje usmjerničkih petlji

Usmjerničke petlje su stanje u kojem paket neprestano putuje mrežom, a nikada ne dolazi do odredišta. U većini slučajeva do petlji će doći prilikom redistribucije ruta između dva mrežna protokola, osobito ako se redistribucija radi na dva ili više usmjernika. EIGRP koristi različite metode kako bi spriječio usmjerničke petlje *split horizon* i *poison revers*. *Split horizon* kaže da se nikad ne oglašava put izvan sučelja kroz koje je naučen dok *poison revers* nakon što sazna rutu sučeljem, oglašava ju kao nedostižnu natrag tim istim sučeljem.

2.1.11. Utjecaj na dizajn mreže

Na dizajn mreže najviše utječe veličina računalne mreže, a kod EIGRP-a je sažimanje putanji jedan od najbitnijih faktora kako bi ta mreža mogla rasti bez velikog utjecaja na performanse same mreže. Kod manjih mreža je gotovo svejedno dok će kod izrade većih i kompleksnijih računalnih mreža itekako trebati voditi računa o dizajnu te mreže. U dobro dizajniranoj računalnoj mreži EIGRP će imati dobru skalabilnost i pružati iznimno brzo vrijeme konvergencije s minimalnim mrežnim prometom.

2.2. “Link-State” protokoli

Protokoli stanja veze (engl. Link-state) šalju informacije o stanju svih linkova i na temelju toga svaki usmjernik računa za sebe najkraći put do odredišta. Kod protokola stanja veza svaki usmjernik čuva topologiju cijele mreže. Tu topologiju usmjernik izradi kada sazna podatke o stanju veza (engl. link state) na usmjerniku. Nakon što usmjernik napravi svoju topologiju, pomoću SPF (engl. Shortest Path First) algoritma sastavlja svoju usmjerničku tablicu.

Protokoli stanja veza su pouzdaniji te troše manje *bandwidtha* mreže, otporni su na usmjerničke petlje te su skalabilni.

Nedostatak protokola stanja veza je taj što koriste kompleksniji algoritam zbog kojeg je opterećenje procesora usmjernika veće, kao i potrošnja memorije. Također, ovi protokoli su kompleksniji za implementaciju, kao i za održavanje.

Najpoznatiji *link-state* protokol u svakom slučaju je OSPF (engl. Open Shortest Path First).

2.2.1 OSPF

OSPF je najpoznatiji protokol koji spada u protokole stanja veza, često je bolji izbor od EIGRP-a jer ga od početka podržavaju svi vendori te kao takav nije vezan samo za CISCO usmjernike. OSPF mrežni protokol zahtijeva puno više resursa, jače opterećuje i procesor i memoriju usmjernika. Ima efikasnu potrošnju *bandwidtha* jer šalje usmjerničke poruke samo kad se dogodi

promjena te radi brzu konvergenciju mreže. On sažimanje putanji radi samo na ABR (engl. Area border router) i ASBR (engl. Autonomous system border router) usmjernicima.

OSPF protokol za pronalaženje najkraćeg puta do destinacije unutar mreže koristi Dijkstra SPF algoritam. Usmjernik iz svoje topologijske tablice pomoću Dijkstra⁴ algoritma određuje najkraći put do odredišta te taj put upisuje u svoju usmjerničku tablicu. Dijkstra algoritam se pokreće svaki put kad usmjernik pronađe novu mrežu.

OSPF će ostvariti susjedske odnose⁵ samo s usmjernicima koji su u istom području (engl. Area), a moraju zadovoljiti i tri parametra:

- halo interval (engl. hello interval),
- krajnji interval (engl. dead interval),
- tip mreže (engl. network type).

Za mjeru kvalitete puta OSPF koristi vrijednost (engl. cost) koja ovisi o propusnosti linka. Osnovni parametar za izračun vrijednosti je brzina propusnosti veze (engl. bandwidth). Ukupna vrijednost puta⁶ je zbroj svih vrijednosti na izlaznim sučeljima na putu do odredišta, a vrijednost im je kumulativna. Postoji i formula za izračun vrijednosti:

$$\text{Metric} = 10^8 / \text{bandwidth (bps)}$$

OSPF protokol gradi i održava tri odvojene tablice:

- Tablicu susjeda – sadrži popis svih susjednih usmjernika,
- Topologijsku tablicu – sadrži popis svih mogućih ruta za sve poznate mreže u istom području,
- Tablicu usmjeravanja – sadrži najbolju putanju za svaku poznatu mrežu.

⁴ICND2 200-105. OSPF Data Overview. <http://www.learnisco.net/courses/icnd-2/an-overview-of-ospf/ospf-data-overview.html>.

⁵Kunštek, Zlatko. Računalne mreže II., Zagreb, 2011.

⁶Kunštek, Zlatko. Računalne mreže II., Zagreb, 2011.

2.2.2 Lakoća implementacije

OSPF je dosta kompleksan protokol za administraciju i otklanjanje problema u svojoj mreži, no nije toliko kompleksan za implementaciju, osobito u manjim i srednje velikim računalnim mrežama.

2.2.3 Sigurnost razmjene informacija o putanjama

Uz dvije glavne autentifikacije *plain text* i *MD5 hash* autentifikaciju, OSPF mrežni protokol podržava još i IPSec (engl. Internet Protocol Security) što podiže sigurnost na veću razinu. IPSec je standard koji definira informacije koje se moraju dodati IP paketu kako bi se osigurala povjerljivost podataka, integritet podatka i autentifikacija. IPSec standard također definira način na koji će se sadržaj paketa kriptirati.

2.2.4 Brzina konvergencije

OSPF mrežni protokol ima brzu konvergenciju na osnovnoj konfiguraciji koja se može dodatno ubrzati prilagođavanjem halo tajmera ili odabirom primarne putanje računalnom mrežom.

2.2.5 Brzina usmjeravanja prometa

OSPF usmjerava promet na temelju samostalnog izračuna najbolje putanje na svakom usmjerniku. OSPF protokol za odabir najbolje putanje koristi vrijednost (engl. Cost) temeljen na *bandwidth linka*, $100\text{Mbps} = 1$. Formula za izračun parametra *cost* je $10^8/\text{bandwidth}$ na sučelju.

2.2.6 Predvidljivost usmjeravanja

Kod OSPF-a je usmjeravanje temeljeno na samostalnom izračunu najbolje putanje na svakom usmjerniku. Ako se ne želi da OSPF mrežni protokol samostalno izračunava svoju putanju do odredišta, može se ručno prilagoditi mijenjajući parametar *cost* i *bandwidth* na usmjernicima kojima želimo da promet putuje do odredišta.

2.2.7 Stabilnost rada

Kako bi OSPF mreža bila stabilna te imala optimalne performance, preporuka je da područje ne sadrži više od 50 usmjernika, da jedan usmjernik nije u više od triju područja te da je svako područje jedno područje u kojem se razmjenjuju LSA (engl. Link-State Update) tipovi paketa.

2.2.8 Potrošnja resursa uređaja

Kod OSPF-a se velike računalne mreže dijele u područja (engl. area) čime se minimizira broj osvježavanja u mreži i broj usmjernika koji primaju te poruke, a samim time i zauzeće resursa se smanjuje. Općenito, OSPF zbog svoje kompleksnosti u velikim mrežama zahtijeva puno više radne memorije kao i procesorske snage.

2.2.9 Skalabilnost

OSPF mogućnost⁷ skaliranja ovisi o ukupnoj strukturi mreže te načinu adresiranja. Kao što je bio slučaj kod EIGRP-a, tako je i kod OSPF-a najbolji način za skalabilnost mreže dobra sažetost njenih putanja te hijerarhijska dizajniranost.

Na skalabilnost⁸ OSPF protokola utječu sljedeći faktori:

- broj priključenih susjeda za svaki od usmjernika,
- broj priključenih usmjernika u području,
- broj područja koje usmjernik može podržati,
- odabir DR (engl. designated router) usmjernika.

Kako su prva tri faktora otklonjiva pri planiranju, što je objašnjeno u testnoj fazi, ovdje ćemo se posvetiti DR usmjerniku i njegovu odabiru. Uz DR usmjernik u OSPF protokolu postoji i BDR (engl. backup designated router) koji je zamjenski DR usmjernik. Uloga⁹ DR i BDR usmjernika

⁷TISO J. Designing Cisco Network Service Architectures. <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1763921&seqNum=6> , prosinac 2011.

⁸TISO J. Designing Cisco Network Service Architectures. <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1763921&seqNum=6> , prosinac 2011.

⁹PacketPimp3. OSPF-The DR and BDR Roles. <https://www.fir3net.com/Networking/Protocols/ospf-the-dr-and-bdr-roles.html>, veljača 2018.

je da se ponašaju kao centralna točka za razmjenu OSPF informacija između više usmjernika na istom mrežnom segmentu. Usmjernici koji nisu ni DR ni BDR razmjenjuju informacije samo s DR i BDR usmjernicima što znatno smanjuje OSPF usmjerničke podatke. Dva su načina odabira DR i BDR usmjernika: preko prioriteta (engl. priority) u kojem usmjernik s većim prioritetom postaje DR usmjernik te preko ID usmjernika (engl. router ID). U slučaju da dva usmjernika imaju jednak prioritet, DR će postati onaj s većim ID usmjernika.

2.2.10 Sprečavanje usmjerničkih petlji

OSPF nema mehanizam za sprečavanje usmjerničkih petlji, već se oslanja na LSA tip paketa kojem je dopušten otići u drugo područje. Koji će tip LSA paketa proći u koje područje, odlučuje ABR usmjernik, a to je usmjernik koji je postavljen na granicama područja.

Svojstva ABR usmjernika su:

- nalazi se između više područja,
- održava topologijsku tablicu za svako područje u kojemu se nalazi,
- usmjerava promet u i iz drugih područja,
- sažima informacije u područjima u kojima se nalazi te u druga područja šalje te sažete podatke,
- prosljeđuje podatke o mrežama u osnovno (engl. Backbone) područje,
- granica je između dva područja.

2.2.11 Utjecaj na dizajn mreže

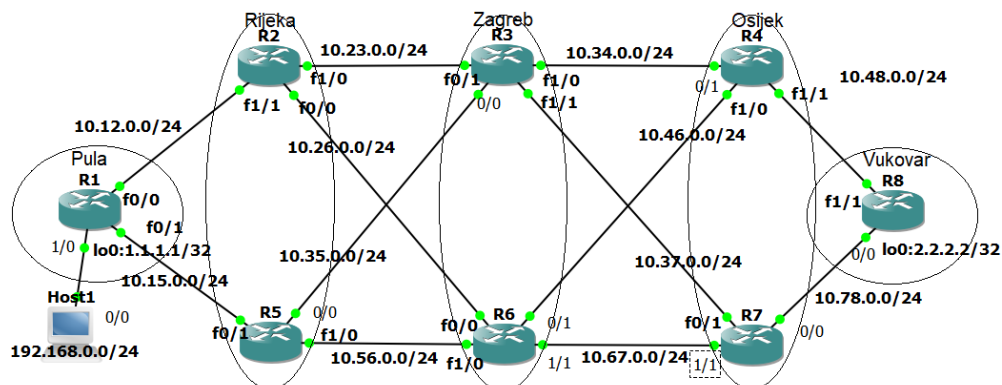
Kod OSPF-a ne postoje upute kako bi bilo najbolje dizajnirati računalnu mrežu te koji je optimalan broj usmjernika u nekom području, ili broj susjeda, već se dizajn prilagodi zahtjevima određene mreže. Kod velikih OSPF mreža, kad se koriste OSPF područja, mreža zahtijeva hijerarhijski dizajn. Hijerarhijski dizajn kod OSPF-a znači da mreža zahtijeva dizajn na dva nivoa (engl. two levels). To znači da se mrežna topologija podijeli na područja gdje je bitno naglasiti da je područje 0 glavno područje (engl. backbone) i sva druga područja su spojena na njega.

2.3. Ostali usmjernički protokoli

Uz OSPF i EIGRP još se koriste i RIP (engl. Routing Information Protocol), ISIS (engl. Intermediate System to Intermediate System) i BGP (engl. Border Gateway Protocol). RIP i ISIS su uz OSPF i EIGRP unutarnji protokoli koji usmjeravaju promet unutar autonomnog sustava (engl. IGP, interior gateway protocol), no i RIP i ISIS se sve rjeđe koriste dok BGP, kao vanjski protokol koji usmjerava promet između autonomnih sustava, i nema konkurencije. BGP se dijeli na interni IBGP i eksterni EBGP od kojih se interni koristi za povezivanje usmjernika unutar istog autonomnog sustava dok se eksterni koristi za povezivanje različitih autonomnih sustava.

3. Testna topologija

Slika 3.1 prikazuje testnu topologiju računalne mreže za potrebe ovoga rada. Sadrži osam usmjernika koji su raspoređeni u gradovima diljem Hrvatske. Predstavljaju TV kuću koja ima sjedište u Zagrebu, a povezana je s Rijekom i Osijekom koji su dalje povezani s Pulom te Vukovarem. Spojeni su isprepletenom topologijom. Isprepletenu topologiju je odabrana kako bi svi usmjernici imali rezervnu putanju u slučaju otkazivanja nekog od sučelja na usmjerniku ili samoga usmjernika. Ova topologija je malo izmijenjena u odnosu na stvarnu kako bi bilo lakše i moguće obaviti testiranje u GNS3 mrežnom simulatoru i u učionici. Za testiranje u GNS3 simulatoru je računalo spojeno na R1 usmjernik dok je u učionici spojeno na R8 usmjernik.



Slika 3.1 Testna topologija

4. Testiranja

Testiranje je obavljeno u GNS3 (engl. Graphical Network Simulator 3) simulatoru, a jedan dio i u učionici. Većinom je topologija ostala ista te je na početku konfigurirana OSPF i EIGRP osnovna konfiguracija, a pinganjem svakog sučelja provjeren je rad mreže. Sva sučelja su povezana brzim FE (engl. fast Ethernet) vezama, a usmjernici koriste C-7200 preslike (engl. image). GNS3 se pokreće na računalu koje ima osam jezgri s radnim taktom na 3,2 Ghz s 8 GB radne memorije te SSD tvrdim diskom.

5. Procjena složenosti optimizacije mreže

5.1. Mreža s OSPF usmjernikom

Mreža s OSPF usmjernicima nije velika za taj mrežni protokol jer se radi o osam usmjernika spojenih u isprepletenu mrežnu topologiju. Optimizacijom ove mrežne topologije može se poboljšati brzinu konvergencije, mijenjajući halo tajmere na OSPF osnovnoj konfiguraciji.

5.2. Mreža s EIGRP usmjernikom

U mreži s EIGRP usmjernicima u pravilu vrijedi sve kao i kod OSPF-a, odabrana mrežna topologija nije velika za EIGRP mrežni protokol. Optimizacijom odabrane računalne mreže značajno se može ubrzati konvergencija EIGRP mreže, prilagođavajući halo tajmere na osnovnoj konfiguraciji EIGRP protokola.

6. Analiza rezultata mjerenja

6.1. Lakoća implementacije

Za konfiguraciju te oglašavanje ove računalne mreže u OSPF-u pa poslije u EIGRP-u trebalo je petnaest minuta u oba slučaja, ukupno 30 minuta. To se moglo ubrzati kopiranjem konfiguracije

s usmjernika na usmjernik, no time se povećava i mogućnost pogreške tako da je sve ručno konfigurirano.

Na opremi u učionici je za cijelu EIGRP mrežu trebalo osamnaest minuta za konfiguracijski dio dok je OSPF konfiguriran za devetnaest minuta. U vrijeme nije uzeto u obzir spajanje usmjernika, već sama konfiguracija.

Iako razlike u konfiguraciji između testiranja u GNS3 simulatoru i učionici nije bilo, ipak je zbog prespajanja na usmjernicima na stvarnoj opremi izgubljeno nešto više vremena.

6.2. Sigurnost razmjene informacija o putanjama

Metodologija testiranja:

Sigurnost razmjene informacija o putanjama prikazat će se za EIGRP i OSPF mrežne protokole primjenjujući MD5 *hashing* autentifikaciju na sučeljima usmjernika. MD5 je odabran jer je pouzdaniji od obične *plain text* autentifikacije, a i podržavaju ga oba mrežna protokola.

1. Slučaj EIGRP autentifikacija

Prvo je konfigurirana MD5 autentifikacija kod EIGRP-a, a ona ide u tri koraka:

- kreirati ključ,
- dodati zaporku za ključ,
- konfigurirati EIGRP da koristi autentifikaciju.

EIGRP MD5 autentifikacija je konfigurirana na usmjerniku R1 te primijenjena na sučelje fa0/0, zatim je konfigurirana na usmjerniku R2 te primijenjena na sučelje fa0/0. Slika 6.1 prikazuje kako izgleda EIGRP s MD5 autentifikacijom na sučelju:

```
interface FastEthernet0/0
 ip address 10.12.0.1 255.255.255.0
 ip authentication mode eigrp 1 md5
 ip authentication key-chain eigrp 1 EIGRP-kljuc
 speed auto
 duplex auto
```

Slika 6.1 MD5 autentifikacija na sučelju EIGRP protokola

Slika 6.2 prikazuje da je ime autentifikacije EIGRP-kljuc te mu je pridružena lozinka sifra1.

```
key chain EIGRP-kljuc
  key 1
    key-string sifral
!
```

Slika 6.2 Ime autentifikacije sa zaporkom

2. Slučaj OSPF autentifikacija

Kod OSPF-a su za uključivanje MD5 autentifikacije dva koraka:

- konfigurirati *key-id* i sam ključ (zaporku),
- pod OSPF procesom uključiti autentifikaciju koristeći MD5 ili za određeno područje ili za sučelje.

OSPF MD5 autentifikacija je konfigurirana na R1 usmjerniku te primijenjena na sučelje fa0/0, zatim je postupak ponovljen na usmjerniku R2 gdje je MD5 konfiguriran te primijenjen na sučelje fa0/0.

Na slici Slika 6.3 se vidi MD5 konfiguriran u OSPF procesu, s lozinkom kljuc. MD5 je primijenjen na sučelje jer je tako napravljeno i kod EIGRP procesa. OSPF MD5 zaporka može se primijeniti i za neko područje ako to želimo.

```
!
interface FastEthernet0/0
  ip address 10.12.0.1 255.255.255.0
  ip ospf authentication message-digest
  ip ospf message-digest-key 1 md5 kljuc
  ip ospf dead-interval 20
  speed auto
  duplex auto
!
```

Slika 6.3 MD5 autentifikacija na sučelju OSPF protokola

Nešto lakše i brže je postaviti autentifikaciju na OSPF protokol nego što je bilo na EIGRP. Kako je autentifikacija dobro konfigurirana i primijenjena vidi se čim se uključi na sučelju usmjernika jer u oba slučaja dođe poruka da su uspostavljeni susjedski odnosi. Ako nakon uključivanja autentifikacije na sučelju ne dođe do uspostavljanja susjedskih odnosa, nešto je krivo konfigurirano. Prilikom ovog testiranja dogodilo se da je prilikom konfiguriranja MD5 autentifikacije na jednom od usmjernika umjesto kljuc unijeto kluc, običan tipfeler, ali dovoljno da se ne uspostave susjedski odnosi, a samim time ni mreža ne radi.

Iako je MD5 način autentifikacije dobar način zaštite i na EIGRP i na OSPF mrežnom protokolu, velika prednost OSPF-a je što podržava IPSec tuneliranje koje je puno sigurnije i bolje.

6.3. Brzina konvergencije

Metodologija testiranja:

Na topologiji koja je izrađena tako da reflektira složeno mrežno okruženje uspoređena su dva najčešće korištena mrežna protokola EIGRP i OSPF. EIGRP i OSPF mrežni protokoli mogu se koristiti u kompleksnim okruženjima, a u ovom testiranju bit će uspoređeno koji mrežni protokol ima brže vrijeme konvergencije, odnosno koji će brže pronaći alternativni put do odredišta kroz kompleksnu mrežu kad mu se isključi sučelje na usmjerniku ili sam usmjernik. Budući da u odabranoj mrežnoj topologiji promet putuje od usmjernika R1 do usmjernika R8, testirat će se odabrana sučelja i usmjernici kojima prolazi promet do odredišta u trenutku testiranja.

Slučajevi u kojima će se testirati:

- kad svi usmjernici rade *load balance*,
- kad su na svim usmjernicima prilagođeni halo tajmeri,
- kad postoji jedna primarna putanja kroz mrežu,
- kad postoji *feasible successor* putanja ili *backup* putanja kod EIGRP-a.

1. Slučaj kad svi usmjernici rade *load balance*

U ovom slučaju svi usmjernici imaju konfiguriranu osnovnu konfiguraciju te automatski rade *load balance*, svaki usmjernik sam odlučuje kuda će preusmjeravati mrežni promet do odredišta.

2. Slučaj kad su na svim usmjernicima prilagođeni halo tajmeri

Na osnovnu konfiguraciju EIGRP i OSPF mrežnog protokola prilagođeni su halo tajmeri kako bi se ubrzala konvergencija mreže, *load balance* je ostao uključen u ovom testiranju.

3. Slučaj kad postoji jedna primarna putanja kroz mrežu

U ovom slučaju manipulirano je *bandwidth* i *metric* parametrima kod EIGRP-a kako bi se dobilo primarnu putanju mrežom, a da ona nema backup putanju. To je, naravno,

rezultiralo time da mreža ne može pronaći alternativni put do odredišta pa je stoga EIGRP testiran i u slučaju 4 gdje ima *backup* putanju. U ovom slučaju *load balance* je isključen.

Kod OSPF-a je manipulirano *cost* parametrom kako bi se dobila primarna putanja kroz mrežu.

4. Slučaj kad postoji *backup* putanja kod EIGRP-a

Po osnovnoj konfiguraciji usmjernik R1 je imao *backup* putanju do usmjernika R8, u testiranju je isključen *load balance*. Budući da EIGRP u ovom testiranom slučaju ima rezervnu putanju do odredišta, on je pronašao put kad je sučelje na usmjerniku ili sam usmjernik isključen.

6.4. Otkaz ključnog sučelja na uređaju

Ključno sučelje u računalnoj mreži je sučelje na primarnoj putanji koje vodi prema određenoj mreži ili određenom uređaju koji su nam bitni za rad cijelog sustava.

1. Slučaj kad svi usmjernici rade *load balance*:

- EIGRP, prvo je pušten beskonačan ping s fizičkog računala koje je spojeno na usmjernik R1 prema IP adresi 2.2.2.2 koja je sučelje spojeno na usmjernik R8. Kad je ping uspostavljen, *traceroute* naredbom provjereno je kuda prolazi mrežni promet. Nakon što je ustanovljeno kako mrežni promet ide preko usmjernika R1-R2-R6-R4-R8, kako je prikazano na slici Slika 6.4, ugašeno je sučelje na usmjerniku R1, ping je prekinut te je istodobno pokrenuta štoperica, koja je zaustavljena nakon što se ping vratio te je rezultat upisan u tablicu Tablica 6.1. Nakon upisivanja rezultata u tablicu, isključeno sučelje je ponovno uključeno. Nakon prvog mjerenja otkazivanja sučelja na usmjerniku R1, isto je ponovljeno i na usmjernicima R2, R6, R4 te na usmjerniku R8, a svi rezultati su upisani u tablicu Tablica 6.1.


```

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops
  0  0 ms   0 ms   0 ms   192.168.0.254
  1  3 ms   14 ms  14 ms  192.168.0.254
  2  45 ms  46 ms  44 ms  10.12.0.2
  3  93 ms  59 ms  76 ms  10.26.0.6
  4 107 ms 108 ms 106 ms 10.46.0.4
  5 141 ms 124 ms 136 ms 2.2.2.2

```

Slika 6.4 *Traceroute* kod EIGRP-a

- OSPF, kod OSPF-a je ponovljen isti postupak kao i kod EIGRP-a. *Traceroute* naredbom je provjereno kuda teče mrežni promet prema adresi 2.2.2.2 na usmjerniku R8. Mrežni promet je išao od R1-R2-R6-R4-R8 (Slika 6.5), zatim je pušten beskonačan ping. Isključeno je sučelje fa0/0 na usmjerniku R1 te je istovremeno uključena štoperica koja je zaustavljena kad se ping vratio te su rezultati upisani u tablicu Tablica 6.1. Nakon toga isključeno sučelje je ponovno uključeno te su izmjereni rezultati upisani u tablicu Tablica 6.1.

```

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops
  0  0 ms   0 ms   0 ms   192.168.0.254
  1  30 ms  26 ms  33 ms  192.168.0.254
  2 123 ms  49 ms 109 ms  10.12.0.2
  3 125 ms 157 ms 171 ms  10.23.0.3
  4 188 ms 157 ms 198 ms  10.34.0.4
  5 240 ms 308 ms 191 ms  2.2.2.2

```

Slika 6.5 *Traceroute* kod OSPF-a

Tablica 6.1 Otkazivanje sučelja kod EIGRP-a i OSPF-a

	R1	R2	R6	R4	R8
EIGRP	01:41.72min	01:13.65min	01:11.53min	01:40.18min	1:02.27min
OSPF	0:12.37min	0:09.25min	0:06.96min	0:12.45min	0:07.39min

U ovom slučaju kod otkazivanja sučelja na usmjerniku OSPF je imao puno bolje rezultate od EIGRP-a i to gotovo minutu po testiranju, što je bilo i više od očekivanog. Najbrže vrijeme EIGRP je imao prilikom isključenja sučelja na usmjerniku R8 i to 1:02.27 minuta dok je OSPF najbrže vrijeme imao prilikom isključenja sučelja na usmjerniku R6 i to 0:06.96 minuta.

- Učionica, brzina pronalaska alternativnog puta je testirana i u učionici. Prvo je kreiran beskonačan ping prema adresi 1.1.1.1 te je naredbom *tracert* provjereno kuda promet putuje od fizičkog računala spojenog na usmjernik R8 na putu do 1.1.1.1 petlje koja je na usmjerniku R1. Nakon što se vidjelo da promet putuje kroz mrežu preko usmjernika R8-R7-R6-R5-R1, što potvrđuje slika Slika 6.6, isključivana su sučelja na putu do odredišta i mjereno je koliko mreži treba da pronađe alternativni put. Prvo je isključeno sučelje na usmjerniku R8 čime je ping prekinut te je istovremeno pokrenuta štoperica. Kad se ping vratio, štoperica je zaustavljena, a rezultat je upisan u tablicu Tablica 6.2. Nakon toga, isto sučelje je ponovno uključeno, a nastavilo se ponavljanjem cijelog postupka na usmjernicima R6 i R1. Rezultati su stavljeni u tablicu Tablica 6.2. Kod OSPF-a je ponovljen cijeli postupak te su podatci o mjerenju uneseni u tablicu Tablica 6.2. Kako je mrežni promet bio preko istih usmjernika, isključivana su sučelja na usmjernicima R8, R6 i R1.

```
C:\Users\Kiki>tracert 1.1.1.1

Tracing route to 1.1.1.1 over a maximum of 30 hops

  0  1 ms    1 ms    <1 ms  192.168.0.1
  1  2 ms    1 ms    1 ms   10.78.0.7
  2  2 ms    1 ms    1 ms   10.67.0.6
  3  2 ms    2 ms    1 ms   10.56.0.5
  4  2 ms    2 ms    2 ms   1.1.1.1

Trace complete.
```

Slika 6.6 *Tracert* u učionici

Tablica 6.2 Otkazivanje sučelja u učionici

	R8	R6	R1
EIGRP	0:06.91	0:06.05	0:06.83
OSPF	0.10.16	0:06.93	0:10.31

2. Slučaj kad su prilagođeni halo tajmeri.

- EIGRP mrežni protokol sada ima sve halo tajmere prilagođene na dvije sekunde, dok su mu krajnji intervali prilagođeni na deset sekundi. Pušten je beskonačan

ping s fizičkog računala prema adresi 2.2.2.2 te je traceroute naredbom provjereno kako mrežni promet putuje sljedećim usmjernicima: R1-R2-R3-R7-R8, kako prikazuje Slika 6.7. Prvo je isključeno sučelje fa0/0 na usmjerniku R1 kroz koji prolazi mrežni promet, čime je prekinut ping, te je istovremeno uključena štoperica. Kad se ping vratio, štoperica je zaustavljena te je rezultat upisan u tablicu Tablica 6.3, a isključeno sučelje je ponovo upaljeno. Zatim je testiranje redom nastavljeno isključivanjem sučelja na usmjernicima R2, R3, R7 te na usmjerniku R8, a rezultat upisan u tablicu Tablica 6.3.

```
C:\Users\Kiki>tracert 2.2.2.2

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  0  16 ms  14 ms  14 ms  192.168.0.254
  1  45 ms  46 ms  44 ms  10.12.0.2
  2  76 ms  76 ms  76 ms  10.23.0.3
  3  108 ms 108 ms 106 ms 10.37.0.7
  4  140 ms 139 ms 137 ms 2.2.2.2

Trace complete.
```

Slika 6.7 Traceroute s prilagođenim halo tajmerima kod EIGRP-a

- OSPF, na njegovu osnovnu konfiguraciju u kojoj radi *load balance*, prilagođeni su halo tajmeri na dvije sekunde dok je krajnji interval smanjen na 10 sekundi. Nakon toga, *traceroute* (Slika 6.8) naredbom je provjereno kojim usmjernicima prolazi mrežni promet te je pušten beskonačan ping s fizičkog računala spojenog na usmjernik R1 prema adresi 2.2.2.2 na usmjerniku R8. Promet je tekao usmjernicima R1-R2-R6-R4-R8. Nakon toga, isključeno je sučelje fa0/0 na usmjerniku R1 čime je prekinut ping te je istovremeno pokrenuta štoperica koja je zaustavljena kada se ping vratio. Rezultat je upisan u tablicu Tablica 6.3, a sučelje je ponovno upaljeno te je nastavljeno testiranje na usmjernicima R2, R6, R4 i R8, a svi rezultati su uneseni u tablicu Tablica 6.3.

```

C:\Users\Kiki>tracert 2.2.2.2

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  1    7 ms    13 ms    14 ms    192.168.0.254
  2   76 ms    45 ms    45 ms    10.12.0.2
  3   89 ms    78 ms    75 ms    10.26.0.6
  4  123 ms   108 ms   103 ms    10.46.0.4
  5  140 ms   138 ms   138 ms    2.2.2.2

Trace complete.

```

Slika 6.8 Traceroute s prilagođenim halo tajmerima kod OSPF-a

Tablica 6.3 EIGRP i OSPF s prilagođenim halo tajmerima

	R1	R2	R3	R7	R8
EIGRP	0:15.86min	0:10.49min	0:15.49min	0:15.76min	0:16.04min
OSPF	0:09.81min	0:09.47min	0:05.89min	0:06.17min	0:09.99min

Iako je imao lošije rezultate u odnosu na OSPF, EIGRP s prilagođenim halo tajmerima uvelike je poboljšao svoje vrijeme konvergencije. Tako mu je s prilagođenim halo tajmerom najbrže vrijeme konvergencije bilo prilikom isključenja sučelja na usmjerniku R2 i to 0:10.49 minuta. OSPF je imao minimalna poboljšanja brzine konvergencije s prilagođenim halo tajmerima, a najbrže vrijeme imao je kada je isključeno sučelje na usmjerniku R6 i to 0:05.89 minuta.

3. Slučaj kad postoji primarna putanja kroz mrežu

- EIGRP, kad je *bandwidth* naredbom mrežni promet preusmjeren preko usmjernika R1-R2-R3-R4-R8, kako prikazuje slika Slika 6.9, te kad se isključi sučelje usmjernika kroz koje prolazi mrežni promet, a da ne postoji backup putanja do odredišta, EIGRP neće pronaći alternativni put do odredišta tako da je EIGRP testiran i u slučaju da ima *backup* putanju do odredišta u slučaju 4.

```
C:\Users\Kiki>tracert 2.2.2.2

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  1    8 ms    14 ms    15 ms  192.168.0.254
  2   46 ms    44 ms    45 ms  10.15.0.5
  3   77 ms    76 ms    77 ms  10.56.0.6
  4  109 ms   108 ms   108 ms  10.67.0.7
  5  140 ms   139 ms   140 ms  2.2.2.2

Trace complete.
```

Slika 6.9 EIGRP s primarnom putanjom

- OSPF, manipulacijom vrijednošću *cost* na sučeljima usmjernika izmanipulirana je putanja koja mrežni promet vodi do odredišta preko usmjernika R1-R5-R6-R7-R8, a prikazuje ga slika Slika 6.10. Pušten je beskonačan ping prema 2.2.2.2 adresi na usmjerniku R8 te je uz isključenje sučelja fa0/1na usmjerniku R1 istodobno uključena štoperica. Isključenjem sučelja prekinut je ping te kad se ping ponovno pojavio, mreža je pronašla alternativni put do odredišta. Štoperica je zaustavljena, izmjereno vrijeme uneseno u tablicu Tablica 6.4 te sučelje ponovno uključeno. Isti postupak napravljen je na usmjernicima R5, R6, R7 i R8 na kojima je isključivano sučelje kroz koje je prolazio promet te su rezultati uneseni u tablicu Tablica 6.4.

```
C:\Users\Kiki>tracert 2.2.2.2

Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  1    8 ms    14 ms    15 ms  192.168.0.254
  2   46 ms    44 ms    45 ms  10.15.0.5
  3   77 ms    76 ms    77 ms  10.56.0.6
  4  109 ms   108 ms   108 ms  10.67.0.7
  5  140 ms   139 ms   140 ms  2.2.2.2

Trace complete.
```

Slika 6.10 OSPF primarna putanja

Tablica 6.4 OSPF s primarnom putanjom

	R1	R5	R6	R7	R8
OSPF	0:10.20min	0:10.78min	0:10.37min	0:10.13min	0:10.69min

OSPF je primarnom putanjom mrežom imao nešto lošija vremena brzine konvergencije, što je i očekivano jer mu je primarna putanja prekidana isključenjem sučelja na usmjernicima. Tako je najbrže vrijeme konvergencije imao kad je isključeno sučelje na usmjerniku R7 i to 0:10.13 minuta.

4. Slučaj kad postoji backup putanja kod EIGRP-a

Naredbom *bandwidth* mrežni promet je preusmjeren preko usmjernika R1-R2-R3-R4-R8 što je provjereno *traceroute* naredbom. Zatim je na svim usmjernicima isključen *load balance*. U ovom slučaju postoji *feasible successor* (Slika 6.11) putanja ili *backup* putanja do odredišta. Pušten je beskonačan ping s fizičkog računala prema adresi 2.2.2.2 na usmjerniku R8 te je isključeno sučelje fa0/0 na usmjerniku R1 čime je ping prekinut uz istodobno pokretanje štoperice. Kad se ping vratio, štoperica je zaustavljena, a rezultat upisan u tablicu Tablica 6.5 te je sučelje ponovno uključeno. Mjerenje se nastavilo na usmjernicima R2, R3, R4 i R8, a svi rezultati su u tablici Tablica 6.5.

```
P 2.2.2.2/32, 2 successors, FD is 163840
  via 10.12.0.2 (163840/161280), FastEthernet0/0
  via 10.15.0.5 (163840/161280), FastEthernet0/1
```

Slika 6.11 EIGRP *feasible successor* putanja

Tablica 6.5 EIGRP s primarnom putanjom i *backup* putanjom

	R1	R2	R3	R4	R8
EIGRP	0:16.69min	0:16.72min	0:15.99min	0:16.01min	0:16.67min

Kod testiranja otkazivanja sučelja na usmjerniku s *backup* putanjom EIGRP je imao nešto lošija vremena nego bez *backup* putanje, iako je razlika manja od oko sekunde po mjerenju. Najbrže vrijeme konvergencije je imao prilikom isključenja sučelja na usmjerniku R3 i to 0:15.99 minuta.

6.5. Otkaz ključnog uređaja u mreži

Ključni uređaj u računalnoj mreži je uređaj koji se nalazi na primarnoj putanji koja vodi prema određenoj mreži ili određenom uređaju koji su nam bitni za rad cijelog sustava. Budući da su svi usmjernici u odabranoj mrežnoj topologiji umreženi isprepletenom vezom, otkazivanjem bilo kojeg usmjernika, osim usmjernika R1 i R8, mreža bi pronašla alternativni put do odredišta. Otkaz ključnog uređaja u mreži je testiran na nekoliko različitih načina. U slučaju EIGRP-a i

OSPF-a su isključivani usmjernici kroz koje je prolazio promet od fizičkog računala spojenog na usmjernik R1 do odredišne adrese 2.2.2.2 na usmjerniku R8 te je mjereno koliko vremena treba mreži da nađe alternativni put do odredišta.

1. Slučaj kad svi usmjernici rade *load balance*:

- EIGRP, na početku testiranja pušten je beskonačan ping prema adresi 2.2.2.2 te je *traceroute* naredbom provjereno preko kojih usmjernika promet teče na putu do odredišta. Nakon što je utvrđeno da promet teče preko usmjernika R1-R2-R6-R4-R8 (Slika 6.4) isključen je usmjernik R2 čime je ping prekinut te je istodobno uključena štoperica koja je zaustavljena kad se ping ponovno pojavio, a rezultat upisan u tablicu Tablica 6.6. Nakon isključivanja usmjernika, R2 usmjernik je ponovno uključen pa je cijeli postupak ponovljen i za usmjernike R6 i R4, a rezultati upisani u tablicu Tablica 6.6.
- OSPF, kod OSPF-a se ponovio isti postupak kao što je bio i kod EIGRP mrežnog protokola jer je mrežni promet išao istim putem kroz usmjernike (Slika 6.5) R2, R6 i R4. Oni su isključivani te su izmjereni rezultati upisani u tablicu Tablica 6.6.

Tablica 6.6 Otkazivanje uređaja u EIGRP i OSPF mreži

	R2	R6	R4
EIGRP	1:01.66 min	1:51.18 min	1:45.54 min
OSPF	0:21.85 min	0:20.99 min	0:25.35 min

Kad se testiralo otkazivanje ključnog uređaja, OSPF je ponovno bio puno brži od EIGRP-a, iako mu je trebalo nešto više vremena za konvergenciju nego kod isključenja sučelja. EIGRP je najbolji rezultat imao pri isključenju usmjernika R2, a vrijeme mu je bilo 1:01.66 minuta dok je OSPF najbrže konvergirao kod isključenja usmjernika R6 s vremenom 0:20.99 minuta.

- Učionica, otkazivanje uređaja u mreži je simulirano po jednom za svaki od protokola i na opremi u učionici. Pušten je beskonačan ping s fizičkog računala

koje je bilo spojeno na usmjerniku R8 prema adresi 1.1.1.1 na usmjerniku R1. *Traceroute* naredbom je provjereno kuda prolazi mrežni promet koji je tekao od R8-R7-R6-R5-R1 (Slika 6.6). Tada je isključen usmjernik R6 i pokrenuta je štoperica. Kad se ping vratio, štoperica je izmjerila 06.58 sekundi za pronalazak alternativnog puta do odredišta. Za OSPF je ponovljen isti postupak, on je također imao put preko usmjernika R6. Nakon što je usmjernik R6 isključen te kad je stigao ping, štoperica je pokazala kako OSPF mreži treba 07.88 sekundi za pronaći alternativni put do odredišta.

Kad se testiralo u učionici, oba protokola su bila gotovo jednako brza, ali ukupnu pobjedu je odnio EIGRP koji je bio brži u sva tri testiranja otkazivanja sučelja usmjernika kao i samog usmjernika.

2. Slučaj kad su prilagođeni halo tajmeri:

- EIGRP mrežni protokol sada ima na svim usmjernicima halo tajmere prilagođene na dvije sekunde dok su mu krajnji intervali prilagođeni na deset sekundi. Pušten je beskonačan ping s fizičkog računala prema adresi 2.2.2.2 te je *traceroute* naredbom provjereno kako mrežni promet putuje sljedećim usmjernicima: R1-R2-R3-R7-R8 (Slika 6.7). Prvo je isključen usmjernik R2 kroz koji prolazi mrežni promet te je prekinut ping, istovremeno je uključena štoperica. Kad se ping vratio, štoperica je zaustavljena te je rezultat upisan u tablicu Tablica 6.7, a isključeni usmjernik je ponovno uključen. Zatim je redom testiranje nastavljeno na usmjernicima R3 te na usmjerniku R7, a rezultat je upisan u tablicu Tablica 6.7.
- OSPF, na njegovu osnovnu konfiguraciju u kojoj radi *load balance* prilagođeni su halo tajmeri na dvije sekunde dok je krajnji interval smanjen na deset sekundi. Nakon toga *traceroute* naredbom je provjereno kojim usmjernicima prolazi mrežni promet te je pušten beskonačan ping s fizičkog računala spojenog na usmjernik R1 prema adresi 2.2.2.2 na usmjerniku R8. Promet je tekao usmjernicima R1-R2-R6-R4-R8 (Slika 6.8). Nakon toga, isključen je usmjernik R2 te je istovremeno pokrenuta štoperica koja je zaustavljena kad se ping vratio. Rezultat je upisan u tablicu Tablica 6.7, a usmjernik je uključen. Testiranje je

nastavljeno ponavljanjem cijelog postupka te isključivanjem usmjernika R6 i R4, a rezultati su u tablici Tablica 6.7.

Tablica 6.7 EIGRP i OSPF s prilagođenim halo tajmerima

	R2	R3	R7
EIGRP	0:15.70min	0:21.28min	0:16.27min
OSPF	0:15.48min	0:15.77min	0:11.90min

Kod otkazivanja uređaja, EIGRP s prilagođenim halo tajmerima je imao zapažena poboljšanja u brzini konvergencije mreže te je najbrže vrijeme imao prilikom isključenja usmjernika R2 i to 0:15.70 minuta. OSPF je također brže konvergirao, no kako je imao dosta brze rezultate i prije prilagođavanja halo tajmera puno brži rezultati nisu ni očekivani. OSPF je najbržu konvergenciju mreže imao pri isključenju usmjernika R4 i to 0:11.90 minuta.

3. Slučaj kad postoji primarna putanja

- EIGRP kad je *bandwidth* naredbom mrežni promet preusmjeren preko usmjernika R1-R2-R3-R4-R8 (Slika 6.9) te kad se isključi neki od usmjernika, a ne postoji backup putanja do odredišta neće pronaći alternativni put do odredišta.
- OSPF, manipulacijom vrijednošću *cost* na sučeljima usmjernika izmanipulirana je putanja koja mrežni promet vodi do odredišta preko usmjernika R1-R5-R6-R7-R8 (Slika 6.10). Pušten je beskonačan ping prema 2.2.2.2 adresi na usmjerniku R8 te je uz isključenje usmjernika R5 istodobno uključena štoperica. Isključenjem usmjernika prekinut je ping. Kad se ping ponovno pojavio, mreža je pronašla alternativni put do odredišta. Štoperica je zaustavljena, izmjereno vrijeme uneseno u tablicu Tablica 6.8 te je usmjernik ponovno uključen. Isti postupak napravljen je na usmjernicima R6 i R7 kroz koje je prolazio promet te su oni isključivani, a rezultati uneseni u tablicu Tablica 6.8.

Tablica 6.8 OSPF s primarnom putanjom

	R5	R6	R7
OSPF	0:16.49 min	0:15.85 min	0:15.83 min

Pri testiranju otkazivanja usmjernika u mreži kad OSPF ima primarnu putanju, također su očekivana nešto lošija vremena u odnosu na testiranje s prilagođenim halo tajmerima. OSPF je najbrže vrijeme imao kad mu je isključen usmjernik R7 i to 0.15.83 minute.

4. Slučaj kad postoji primarna putanja s *backup* putanjom kod EIGRP-a

Naredbom *bandwidth* mrežni promet je preusmjeren preko usmjernika R1-R2-R3-R4-R8 što je provjereno *traceroute* (Slika 6.9) naredbom, a u topologiji postoji *backup* (Slika 6.11) putanja. Zatim je na svim usmjernicima isključen load balance. Pušten je beskonačan ping s fizičkog računala prema adresi 2.2.2.2 na usmjerniku R8 te je isključen usmjernik R2 uz istodobno uključenje štoperice. Kad se ping vratio, štoperica je zaustavljena, rezultat upisan u tablicu Tablica 6.9 te je sučelje ponovno uključeno. Mjerenje se nastavilo na usmjernicima R3 i R4 i svi rezultati su upisani u tablici Tablica 6.9.

Tablica 6.9 EIGRP s primarnom putanjom i *backup* putanjom

	R2	R3	R4
EIGRP	0:15.55 min	0:21.18 min	0:16.28 min

Kod isključenja usmjernika s *backup* putanjom najbrže vrijeme je EIGRP imao prilikom isključenja usmjernika R2 i to 0:15.55 minuta.

6.6. Brzina usmjeravanja prometa

Budući da vrijednost *bandwidtha* na sučelju ne odgovara njegovoj stvarnoj vrijednosti, potrebno ga je ručno postaviti naredbom *bandwidth*, kako je prikazano na slici Slika 6.12 te odabrati željenu brzinu.

```

R1#
R1#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#int fa 0/0
R1(config-if)#band
R1(config-if)#bandwidth ?
  <1-10000000> Bandwidth in kilobits
  inherit      Specify how bandwidth is inherited
  receive      Specify receive-side bandwidth

```

Slika 6.12 Prilagođavanje *bandwidtha* kod EIGRP-a

EIGRP ima predefiniirano postavljen *bandwidth* na 50% dostupnoga na sučelju za svoje potrebe, on se mijenja u sučelju usmjernika sljedećom naredbom:

```
R1(config-if)# ip bandwidth-percent eigrp as-number percent.
```

EIGRP *delay* govori koliko je ukupno kašnjenje do određene mreže, *delay* je fiksno postavljena vrijednost ovisno o tipu sučelja, izražen u mikrosekundama. Za sučelja koja se koriste u ovoj testnoj topologiji vrijednost *delaya* je 100 mikrosekundi.

Kod OSPF-a je na sučelju stavljen *bandwidth* na 64 te prikazano kako će usmjernik izračunati svoj *cost*. Formula za izračun je $10^8/\textit{bandwidth}$ na sučelju. Budući da je *bandwidth* stavljen na 64 slijedi: $\textit{cost} = 10^8/64000 \text{ bps} = 1562$, što prikazuje i Slika 6.13.

```

R1(config-if)#bandwidth 64
R1(config-if)#exi
R1(config)#do sh ip ospf interface fa 0/0
FastEthernet0/0 is up, line protocol is up
  Internet Address 10.12.0.1/24, Area 0, Attached via Network Statement
  Process ID 1, Router ID 1.1.1.1, Network Type BROADCAST, Cost: 1562

```

Slika 6.13 *Cost* kod OSPF-a

Ako ne želimo da se *cost* sam izračunava, može ga se i ručno zadati te će tada imati tu vrijednost bez obzira na ostale parametre, što se radi naredbom na sučelju usmjernika: `R1(config-if)#ip ospf cost 256`. Time će *cost* biti 256.

6.7. Predvidljivost usmjeravanja

Metodologija testiranja:

U ovom testiranju traceroute naredbom bit će provjereno kuda promet putuje između usmjernika R1 i R8. Nakon što se utvrdi kojim putem mrežni promet prolazi, implementirat će se serijska veza između dva usmjernika. Time će se vidjeti kojim putem će mrežni promet prolaziti kad se ugradi serijska veza te hoće li mrežni promet zaobići serijsku vezu između dvaju usmjernika.

Gledajući topologiju, možda bi se i dalo pretpostaviti kuda će mrežni promet prolaziti, no za svaki slučaj to je provjereno naredbom *tracert* 2.2.2.2. Ta naredba će pokazati kuda zapravo putuje promet od fizičkog računala do odredišne adrese 2.2.2.2. Isto je napravljeno i za EIGRP i za OSPF mrežni protokol. Važna napomena je da nakon implementiranja serijskih linkova iste treba upaliti, pridodati im mrežnu adresu te ih oglasiti u EIGRP i OSPF mrežnim protokolima.

1. Slučaj EIGRP

Slika 6.14 prikazuje put mrežnog prometa od fizičkog računala koje je spojeno na usmjernik R1 do petlje na adresi 2.2.2.2. Iz slike se vidi kako promet ide preko R1 (192.168.0.254), R2 (10.12.0.2), R6 (10.26.0.6), R4 (10.46.0.4) sve do usmjernika R8 (2.2.2.2).

```
Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops
  0  3 ms   14 ms   14 ms  192.168.0.254
  1  45 ms   46 ms   44 ms  10.12.0.2
  2  93 ms   59 ms   76 ms  10.26.0.6
  3 107 ms  108 ms  106 ms  10.46.0.4
  4 141 ms  124 ms  136 ms  2.2.2.2
```

Slika 6.14 Put do 2.2.2.2 kod EIGRP-a

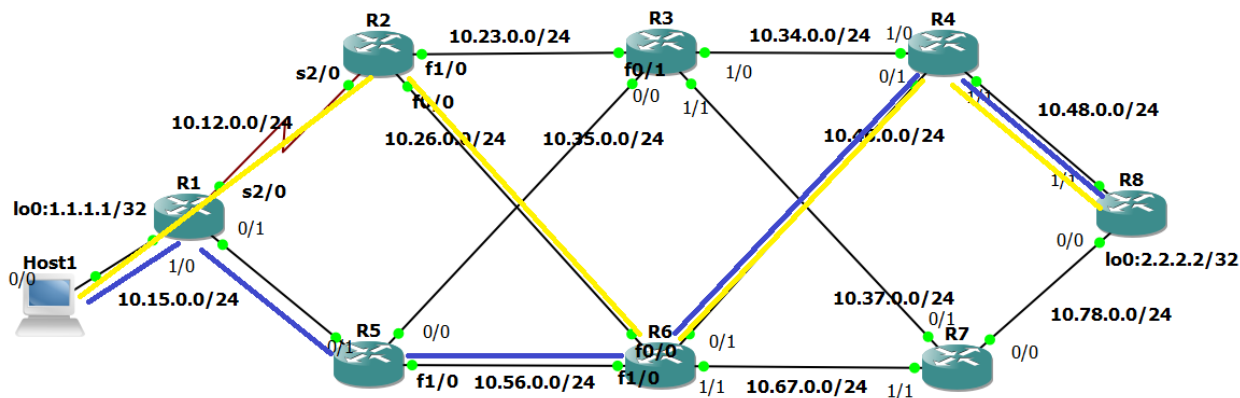
Nakon toga u topologiju je implementirana serijska veza između usmjernika R1 i R2 kojima prolazi promet. Serijska veza je sporija od brzih (engl. fast Ethernet) linkova koji se koriste cijelo vrijeme za potrebe testiranja. Ponovljena je naredba *tracerroute* kako bi se vidjelo kuda sada ide promet prema odredišnoj adresi, a za očekivati je da će izbjegavati serijsku vezu. Sve prikazuje slika Slika 6.15 iz koje se vidi kako promet više ne ide preko usmjernika R2, već s usmjernika R1 (192.168.0.254) ide prema usmjerniku R5 (10.15.0.5) te nastavlja put prema usmjerniku R8.

```
Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  1    2 ms    15 ms    13 ms  192.168.0.254
  2   46 ms    45 ms    44 ms  10.15.0.5
  3   76 ms    77 ms    75 ms  10.56.0.6
  4   93 ms   106 ms   106 ms  10.46.0.4
  5  139 ms   138 ms   138 ms  2.2.2.2
```

Slika 6.15 Put do 2.2.2.2 sa serijskom vezom između R1 i R2

Iz gornje dvije slike vidljivo je kako je mrežni promet izbjegao serijske veze te skrenuo preko usmjernika R5 do odredišta. Slika 6.16 prikazuje kako je između usmjernika R1 i R2 stavljena serijska veza. Žutom bojom označen je put prometa bez serijske veze, plavom bojom kuda je promet tekao kad je stavljena serijska veza.



Slika 6.16 Tok prometa kod EIGRP-a

2. Slučaj OSPF

Nakon toga, to isto je napravljeno i za OSPF mrežni protokol. Slika 6.17 pokazuje kuda ide mrežni promet kad je OSPF na osnovnoj konfiguraciji.

```
Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops

  1    30 ms    26 ms    33 ms  192.168.0.254
  2   123 ms    49 ms   109 ms  10.12.0.2
  3   125 ms   157 ms   171 ms  10.23.0.3
  4   188 ms   157 ms   198 ms  10.34.0.4
  5   240 ms   308 ms   191 ms  2.2.2.2
```

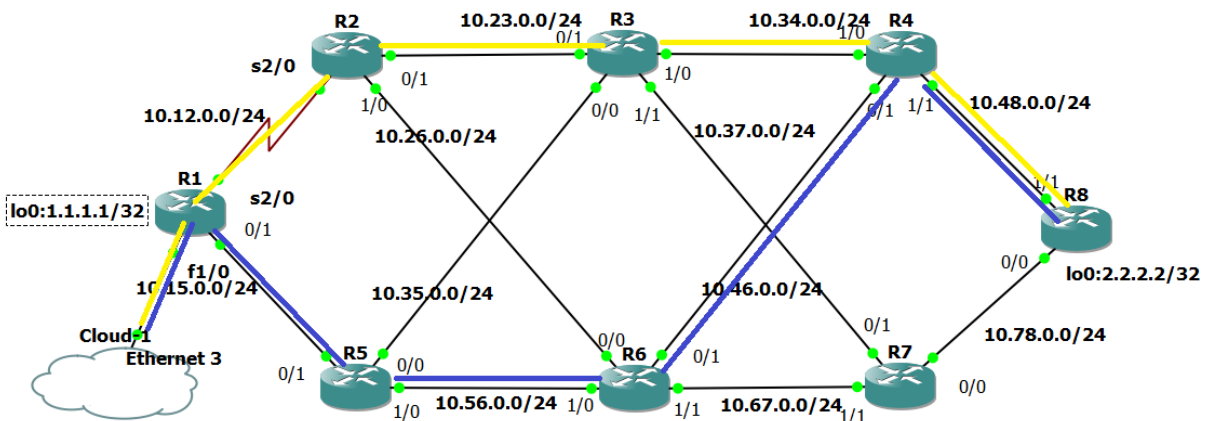
Slika 6.17 Put do 2.2.2.2 kod OSPF-a

Iz slike Slika 6.17 vidljivo je kako promet ide preko R1-R2-R3-R4-R8 na petlju s adresom 2.2.2.2. Stavljena je serijska veza i u OSPF topologiji između usmjernika R1 i R2 jer kroz njih prolazi promet. Naravno, bilo je očekivano da će mrežni promet izbjeci serijsku vezu te skrenuti preko usmjernika R5, što je prikazano slikom Slika 6.18. Vidljivo je kako sada promet ide preko R1 (192.168.0.254) pa krene preko R5 (10.15.0.5) sve do odredišta na usmjerniku R8 s adresom (2.2.2.2).

```
Tracing route to 2.2.2.2 over a maximum of 30 hops
  0  0 ms  0 ms  0 ms  192.168.0.254
  1  29 ms  66 ms  34 ms  192.168.0.254
  2  131 ms  62 ms  108 ms  10.15.0.5
  3  109 ms  77 ms  61 ms  10.56.0.6
  4  152 ms  175 ms  155 ms  10.46.0.4
  5  280 ms  279 ms  250 ms  2.2.2.2
```

Slika 6.18 Put do 2.2.2.2 sa serijskom vezom između R1 i R2

Tako je i bilo, mrežni promet nije išao preko sporije serijske veze, već ga je zaobišao preko usmjernika R5. Slika 6.19 prikazuje žutu liniju koja pokazuje tok prometa prije stavljanja serijske veze u mrežnu topologiju dok plava linija označava tok prometa u topologiji sa serijskom vezom.



Slika 6.19 Tok prometa kod OSPF-a

3. Slučaj Učionica

U učionici su ubačene serijske veze između usmjernika R2 i R6, R4 i R6, R3 i R5 te R3 i R7. Slika 6.20 prikazuje mrežni put iz učionice. I EIGRP i OSPF mrežni protokoli su izabrali isti put od usmjernika R8 do 1.1.1.1 IP adrese na usmjerniku R1 tako da je stavljena jedna slika iz koje

je to vidljivo. Promet je tekao od fizičkog računala preko R8, R7, R6, R5 i zatim na usmjernik R1. Taj tok je bio i pretpostavljen jer je najkraći te izbjegava sve serijskom vezom međusobno povezane usmjernike.

```
C:\Users\Kiki>tracert 1.1.1.1

Tracing route to 1.1.1.1 over a maximum of 30 hops

  1    1 ms    1 ms    <1 ms  192.168.0.1
  2    2 ms    1 ms    1 ms   10.78.0.7
  3    2 ms    1 ms    1 ms   10.67.0.6
  4    2 ms    2 ms    1 ms   10.56.0.5
  5    2 ms    2 ms    2 ms   1.1.1.1

Trace complete.
```

Slika 6.20 Put do 1.1.1.1 na opremi u učionici

6.8. Stabilnost rada

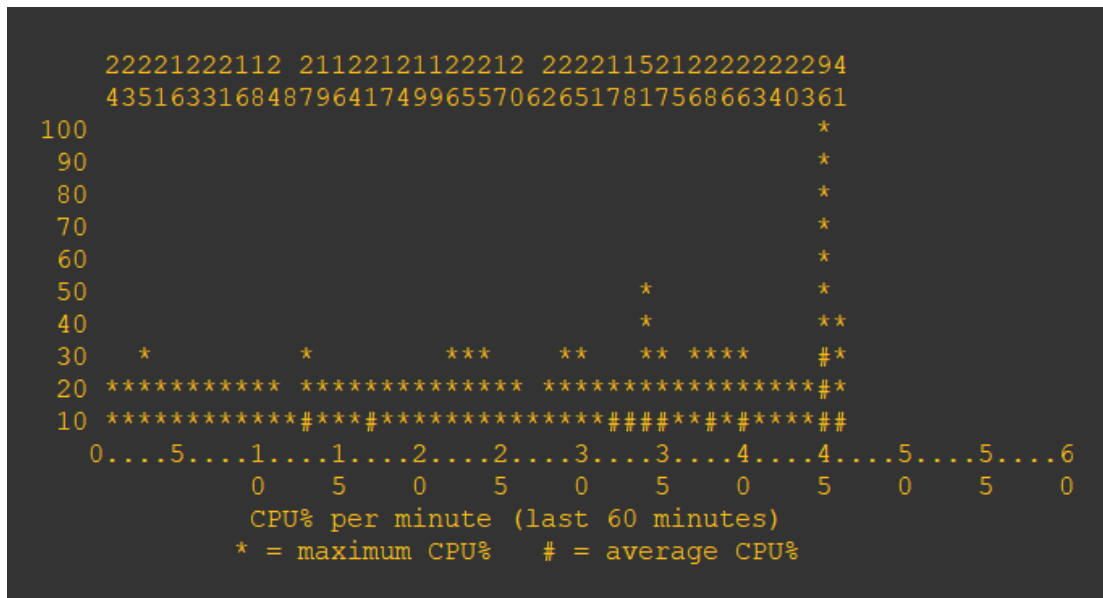
Kod EIGRP mrežnog protokola nikakvih problema nije bilo za vrijeme cijelog testiranja, čak ni kada je mijenjan halo tajmer na usmjernicima kako bi se ubrzala brzina konvergencije mreže. Mrežna topologija nije prevelika za EIGRP mrežni protokol tako da problemi nisu bili ni očekivani.

Tu je OSPF mrežni protokol neugodno iznenadio, kod njega su bile očite promjene u radu simulatora kad je smanjen halo tajmer. Naime, mrežna se topologija svakih nekoliko minuta zamrzavala na nekoliko sekundi. Ti problemi nisu očekivani, vjerojatno ih na stvarnom uređaju ne bi bilo u ovakvoj mrežnoj topologiji, no u virtualnom okruženju problema je bilo.

Na primjeru topologije iz učionice nije bilo nikakvih problema sa stabilnosti ni kod EIGRP ni kod OSPF mrežnih protokola. Kad su isključivana te uključivana sučelja, mreža se konvergirala te radila bez ikakvih problema. Tako je bilo i kad su u oba mrežna protokola isključeni usmjernici te ponovno uključivani nazad u računalnu mrežu.

6.9. Potrošnja resursa uređaja

Potrošnja resursa kod EIGRP-a izmjerena je na usmjerniku R1. Ponovno je fizičko računalo spojeno na usmjernik R1 te je krenuo generirati promet putem pinga. Zatim je pogledano kako se ponaša procesor naredbom *show processes cpu history*. S lijeve strane slike Slika 6.21 se nalazi stupac od 0 do 100 koji prikazuje zauzetost procesora u %, a s donje strane su minute. Iz slike je vidljivo kako se CPU prosječno nalazio na oko 25% svoje snage.



Slika 6.21 CPU zauzeće kod EIGRP-a

Naredbom *show processes memory* može se vidjeti koliko se memorije koristi. Sada iz treće, četvrte te pete linije na slici Slika 6.22 možemo iščitati koliko imamo ukupno memorije, koliko se koristi te koliko nam stoji na raspolaganju kao slobodna memorija.


```

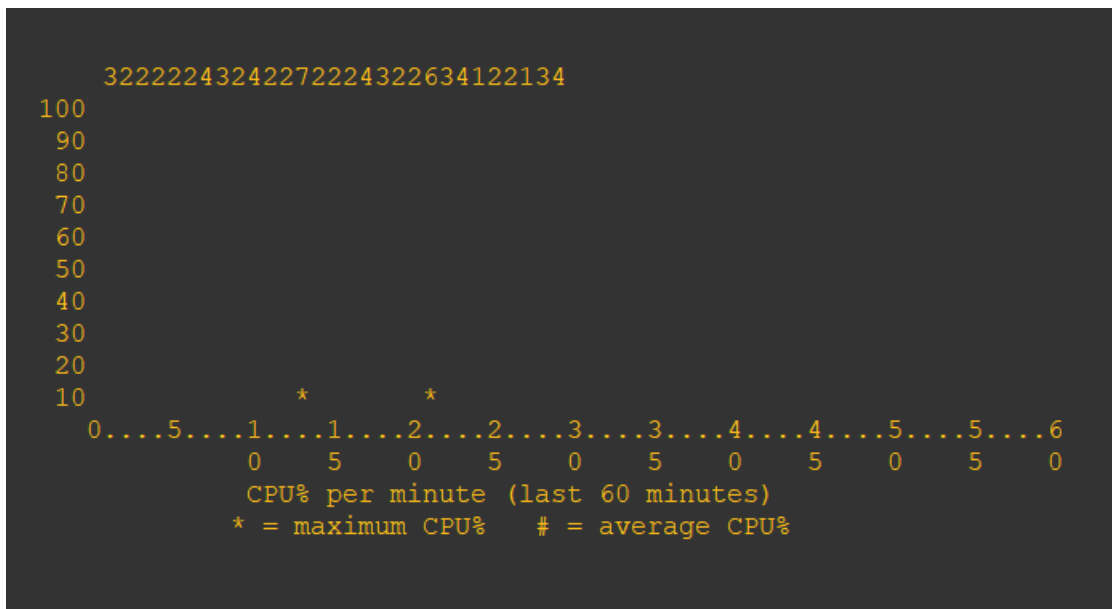
R1#show proc
R1#show processes memory
Processor Pool Total: 396826796 Used: 51512792 Free: 345314004
I/O Pool Total: 33554432 Used: 4574912 Free: 28979520
Transient Pool Total: 16777216 Used: 10200 Free: 16767016

PID TTY Allocated Freed Holding Getbufs Retbufs Process
0 0 89581316 37810088 49196832 379 154 *Init*
0 0 12052 154724 12052 0 0 *Sched*
0 0 183344 14592 143896 0 0 *Dead*
0 0 0 0 394968 0 0 *MallocLite*
1 0 65588 0 72852 0 0 Chunk Manager
2 0 240 240 4264 0 0 Load Meter
3 0 572276 496772 100692 0 0 Exec
4 0 0 0 7264 0 0 RO Notify Timers
5 0 4444 0 11708 0 0 Check heaps
6 0 1824660 1824660 74844 49 0 Pool Manager
7 0 0 0 7264 0 0 DiscardQ Backgro
8 0 240 240 7264 0 0 Timers
9 0 0 0 4264 0 0 WATCH_AFS
10 0 64276 19816 51724 97 97 ARP Input
11 0 6564 6564 7264 6 6 ARP Background
12 0 240 240 7264 0 0 ATM Idle Timer
13 0 0 0 7264 0 0 ATM ASYNC PROC
14 0 0 0 7264 0 0 AAA_SERVER_DEADT
--More-- █

```

Slika 6.22 Zauzeće memorije kod EIGRP-a

Isto je napravljeno i s OSPF mrežnim protokolom. Prvo je generiran promet pa izmjereno zauzeće procesora. Iz slike Slika 6.23 Slika 6.23 može se zaključiti kako OSPF mrežni protokol zahtijeva puno manje procesorskih resursa nego što je to bio slučaj kod EIGRP-a u virtualnom okruženju.



Slika 6.23 CPU kod OSPF-a

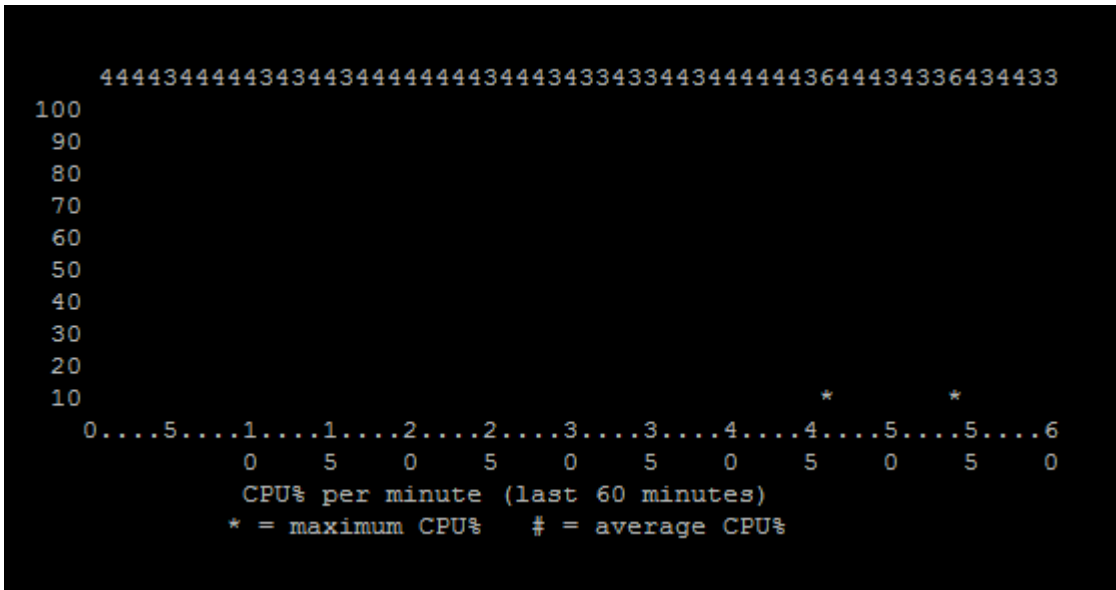
Nakon toga je provjerena dostupnost memorije u OSPF procesu. Iz slike Slika 6.24 je vidljivo kako OSPF proces troši nešto više memorije od EIGRP-a, ali to je gotovo zanemarivo u ovoj mrežnoj topologiji.

```
R1#show processes memory
Processor Pool Total: 396826796 Used: 51708088 Free: 345118708
I/O Pool Total: 33554432 Used: 4576832 Free: 28977600
Transient Pool Total: 16777216 Used: 10200 Free: 16767016
```

PID	TTY	Allocated	Freed	Holding	Getbufs	Retbufs	Process
0	0	89746872	37798688	49041076	379	167	*Init*
0	0	12052	151988	12052	0	0	*Sched*
0	0	169068	14068	143404	0	0	*Dead*
0	0	0	0	394680	0	0	*MallocLite*
1	0	65588	0	72852	0	0	Chunk Manager
2	0	240	240	4264	0	0	Load Meter
3	0	390580	7776	382804	116	116	OSPF-1 Router
4	0	0	0	7264	0	0	RO Notify Timers
5	0	4452	0	11716	0	0	Check heaps
6	0	2230140	2230140	74844	49	0	Pool Manager
7	0	0	0	7264	0	0	DiscardQ Backgro
8	0	240	240	7264	0	0	Timers
9	0	0	0	4264	0	0	WATCH_AFS
10	0	41264	4620	43908	26	26	ARP Input
11	0	12300	5832	13732	6	6	ARP Background
12	0	240	240	7264	0	0	ATM Idle Timer
13	0	0	0	7264	0	0	ATM ASYNC PROC

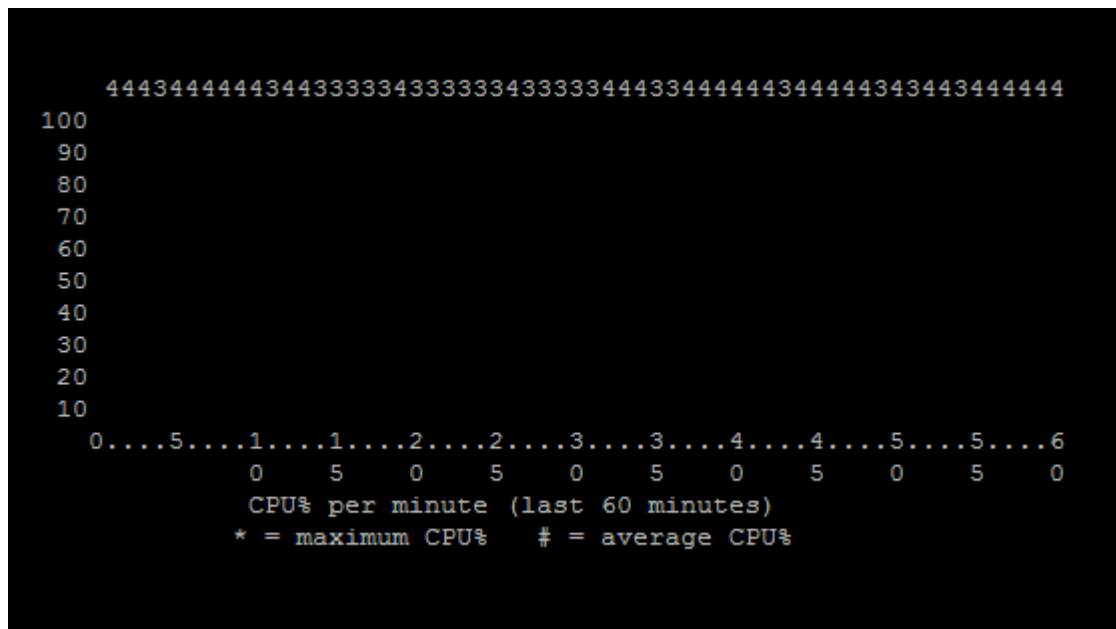
Slika 6.24 Zauzeće memorije kod OSPF-a

Što se tiče zauzetosti procesora na primjeru mrežne topologije u učionici, ono je bilo minimalno i u EIGRP i u OSPF mrežnoj topologiji. Iz slike Slika 6.25 za EIGRP se može vidjeti kako je zauzeće cijelo vrijeme bilo ispod 10%, većinu vremena je procesor bio na 4% zauzeća.



Slika 6.25 CPU u učionici, EIGRP

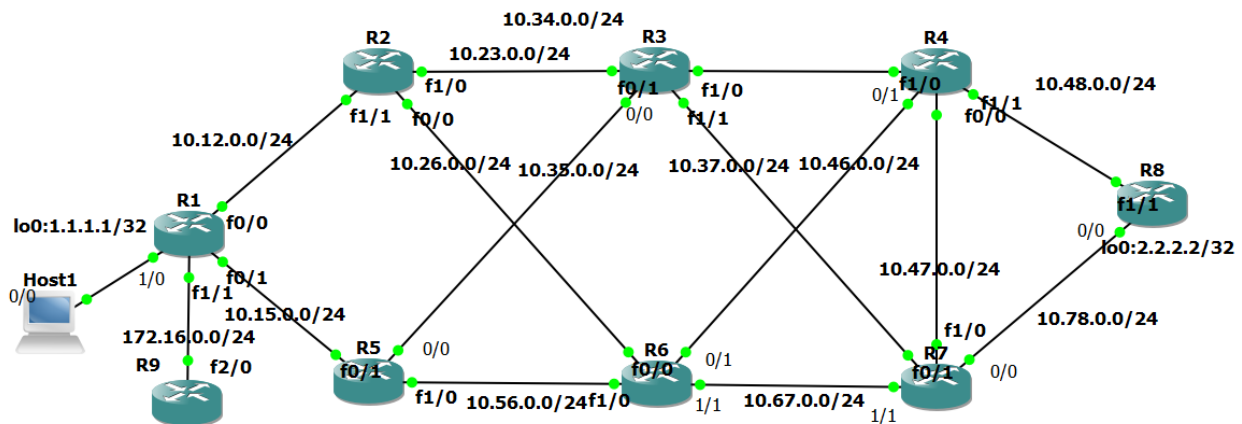
Gotovo iste rezultate dalo je i mjerenje zauzeća procesora kod OSPF-a kod kojega je također zauzeće bilo većinom između 3% i 4%, što prikazuje Slika 6.26.



Slika 6.26 CPU u učionici, OSPF

6.10. Skalabilnost

Kod EIGRP-a je kod skalabilnosti možda ključna sumarizacija. EIGRP je skalabilan protokol ako se dobro unaprijed planira. No, kod jako velikih mreža puno će ovisiti o procesorskoj snazi i količini memorije kod usmjernika. Kako bi njihova potrošnja bila što manja, dobro je imati što manje putanja u usmjerničkoj tablici, što je moguće sažimanjem putanji. Za ovo testiranje malo je izmijenjena EIGRP topologija (Slika 6.27). U postojeću topologiju je implementiran usmjernik R9 koji je povezan na usmjernik R1 te je na usmjerniku R1 u EIGRP procesu uključeno da radi automatsku sumarizaciju naredbom *auto-summary*.



Slika 6.27 Topologija sažimanja putanji

Slika 6.28 s lijeve strane prikazuje kako izgleda usmjernička tablica prije uključjenja automatske sumarizacije na usmjerniku R1 te kako izgleda nakon što je automatska sumarizacija uključena s desne strane slike. Cijela mreža je sada sažeta u 10.0.0.0/8 te se vidi da joj je put preko R1 usmjernika na adresi 172.16.0.1. Sumarizacija putanji jako je bitna kod EIGRP procesa, istovremeno će trošiti i manje resursa što će utjecati na bolje performanse i na stabilnost EIGRP mreže.

```

o - ODR, P - periodic downloaded static route,
+ - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

  2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
D    2.2.2.2 [90/166400] via 172.16.0.1, 00:02:39,
  10.0.0.0/24 is subnetted, 12 subnets
D    10.12.0.0 [90/30720] via 172.16.0.1,
D    10.15.0.0 [90/30720] via 172.16.0.1, C
D    10.23.0.0 [90/33280] via 172.16.0.1, L
D    10.26.0.0 [90/33280] via 172.16.0.1,
D    10.34.0.0 [90/35840] via 172.16.0.1, R9#p}
D    10.35.0.0 [90/33280] via 172.16.0.1, R9#
D    10.37.0.0 [90/35840] via 172.16.0.1, R9#
D    10.46.0.0 [90/35840] via 172.16.0.1, *Jan 20 12:54:55.823: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from
D    10.48.0.0 [90/38400] via 172.16.0.1, R9#
D    10.56.0.0 [90/33280] via 172.16.0.1, *Jan 20 12:55:15.575: %DUAL-5-NBRCHANGE: EIGRP-IPv4 1:
D    10.67.0.0 [90/35840] via 172.16.0.1, raceful-restart
D    10.78.0.0 [90/38400] via 172.16.0.1, R9#sh ip route
  172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets
C    172.16.0.0/24 is directly connected,
L    172.16.0.9/32 is directly connected,
R9#

```

```

o - ODR, P - periodic downloaded static route,
+ - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

  2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
D    2.2.2.2 [90/166400] via 172.16.0.1, 00:02:39,
D    10.0.0.0/8 [90/30720] via 172.16.0.1, 00:00:07,
  172.16.0.0/16 is variably subnetted, 2 subnets,
D    172.16.0.0/24 is directly connected, FastEthernet
L    172.16.0.9/32 is directly connected, FastEthernet
R9#

```

```

Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP,
D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA -
N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA
E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2

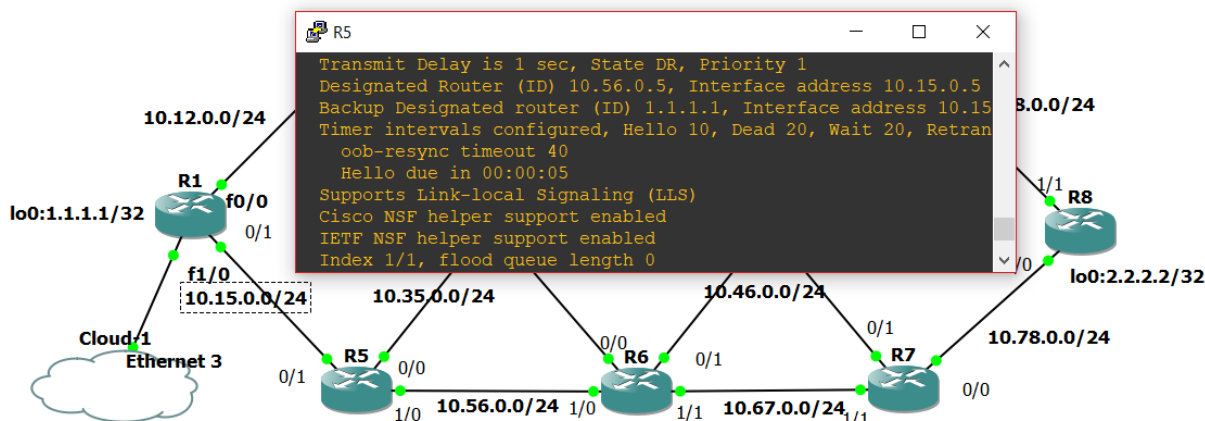
```

Slika 6.28 Sažete putanje

Kako bi OSPF protokol bio skalabilan, potrebno ga je dobro isplanirati. Za početak, podjela u područja je dobrodošla. Podjelom u područja¹⁰ spriječit će se da se sve promjene stanja veze (engl. link-state) ne šire cijelom topologijom, već da ostanu samo u području u kojem se dogodila neka promjena. OSPF mrežni protokol koristi procesorski zahtjevan SPF mehanizam koji preračunava broj promjena u području. Svako područje pokreće SPF za sebe, tako će biti lakše tri puta izračunati tri područja od po 20 usmjernika nego svih 60 odjednom. Pri planiranju treba uzeti u obzir kako jedan usmjernik nije u više od triju područja jer usmjernik radi promjene stanja veza te će se ujedno povećati i stabilnost usmjernika.

Ako u testnoj mrežnoj topologiji ne bi bilo DR usmjernika, tada bi svi usmjernici razmjenjivali podatke sa svima. Kako bi to OSPF spriječio, on je automatski odredio koji usmjernik je DR te će tada s njim komunicirati svi direktno spojeni usmjernici. Kako je nemoguće odabrati samo jedan DR, u ovoj testnoj topologiji bit će ih više. Na usmjerniku R5 vidljivo je kako je on DR usmjernik, također se iz slike vidi i koji mu je BDR, a to je R1 usmjernik. U slici Slika 6.29 u prvom redu je vidljivo kako je status usmjernika DR, s prioritetom 1. BDR mu je usmjernik R1, s adresom 1.1.1.1 na njegovoj petlji.

¹⁰Tiso J. Designing Cisco Network Service Architectures.
<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1763921&seqNum=6>, prosinac 2011.



Slika 6.29 Izbor DR usmjernika

DR usmjernik se može promijeniti ručno, mijenjajući mu prioritet na sučelju naredbom `ip ospf priority [broj od 1-255]`. Tako je i napravljeno, stavljen mu je prioritet na 10 (Slika 6.30 u kojoj se to može iščitati iz prvog reda).

```

R5
Transmit Delay is 1 sec, State DR, Priority 10
Designated Router (ID) 10.56.0.5, Interface address 10.35.0.5
Backup Designated router (ID) 10.37.0.3, Interface address 10.35.0.3
Timer intervals configured, Hello 10, Dead 20, Wait 20, Retransmit 5
  
```

Slika 6.30 Ručni odabir DR usmjernika

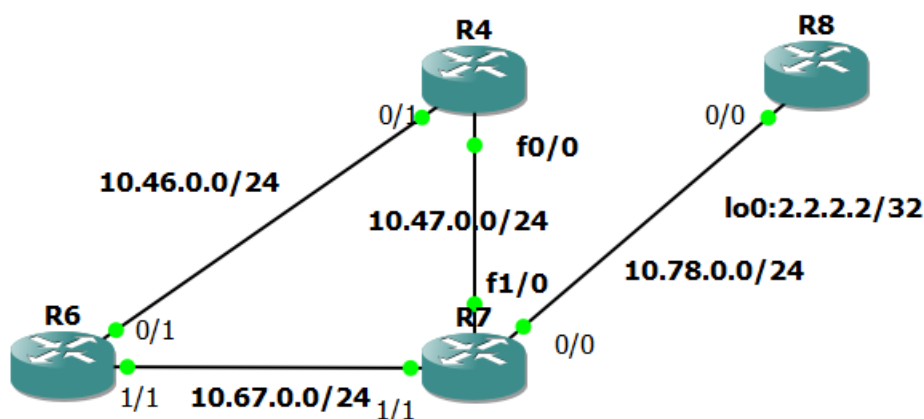
6.11. Sprečavanje usmjerničkih petlji

EIGRP se od usmjerničkih petlji brani pomoću *split horizon* i *poison reverse* pravila. Slika 6.31 prikazuje EIGRP topologiju u kojoj može doći do problema s usmjerničkim petljama. U ovom primjeru isključen je *split horizon* na usmjerniku R7 te on može imati tri puta do sučelja 2.2.2.2, jedan preko R4, jedan preko R6 i jedan preko R8 na koje je direktno spojen. Ako će usmjernik R7 prihvatiti sve te puteve do sučelja 2.2.2.2, nastat će usmjernička petlja jer on doslovce može poslati promet preko usmjernika R4, a taj put vodi ponovno na usmjernik R7.

Split horizon radi tako da kad je uključen nikada neće oglasiti put do odredišta kroz sučelje kojim je naučio taj put. Recimo da usmjernik R6 sazna od usmjernika R4 da je put do odredišta preko

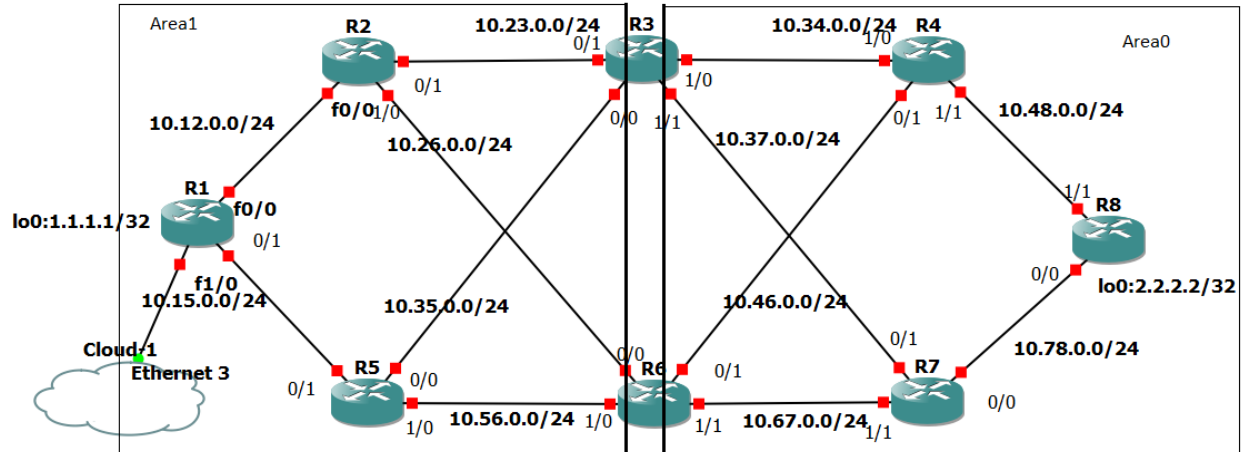
usmjernika R4, usmjernik R6 neće oglasiti usmjerniku R7 taj put, već će pretpostaviti da će usmjernik R7 sam naučiti put do odredišta sučelja petlje 2.2.2.2.

Poison reverse, pak, nakon što nauči put do odredišta kroz neko sučelje, oglašavat će taj put kao nedostupan nazad na to sučelje. Ako na usmjerniku R7 uključimo *poison reverse* i kad usmjernik R6 nauči put do odredišta 2.2.2.2 od usmjernika R4, on će taj put oglašavati kao nedostupan usmjernicima R4 i R7. Tada će usmjernik R7 ako ima put do odredišta preko usmjernika R6 taj put odbaciti jer vidi da je nedostupan. Kod EIGRP protokola *poison reverse* je ubačen u *split horizon* pravilo.



Slika 6.31 *Split horizon*

Kod OSPF-a je za obranu od petlji topologija podijeljena u područja (Slika 6.32). OSPF se brani od usmjerničkih petlji tako što ima usmjernike na granicama tih područja koji ne dopuštaju da bilo koji paket izađe iz područja u područje. Topologija je prilagođena i podijeljena u dva područja u Area0 i Area1 kako prikazuje slika Slika 6.32. Područje, u ovom slučaju Area0, je glavno područje u OSPF topologiji, a naziva se još i *backbone area*. Sve mreže u Area1 stavljene su u njima pripadajuće područje dok one iz Area0 nisu dirane jer su već po osnovnoj konfiguraciji bile u Area0. Usmjernici R3 i R6 su ABR usmjernici koji su spojeni u više područja. ABR usmjernici u topologiji sprečavaju nastajanje petlji, a Slika 6.33 prikazuje usmjernik R1 na kojem se vidi koje sve rute iz drugog područja on ima. Te rute imat će predznak O IA. O je za OSPF dok IA označava OSPF *inter area* rute.



Slika 6.32 OSPF područja

```

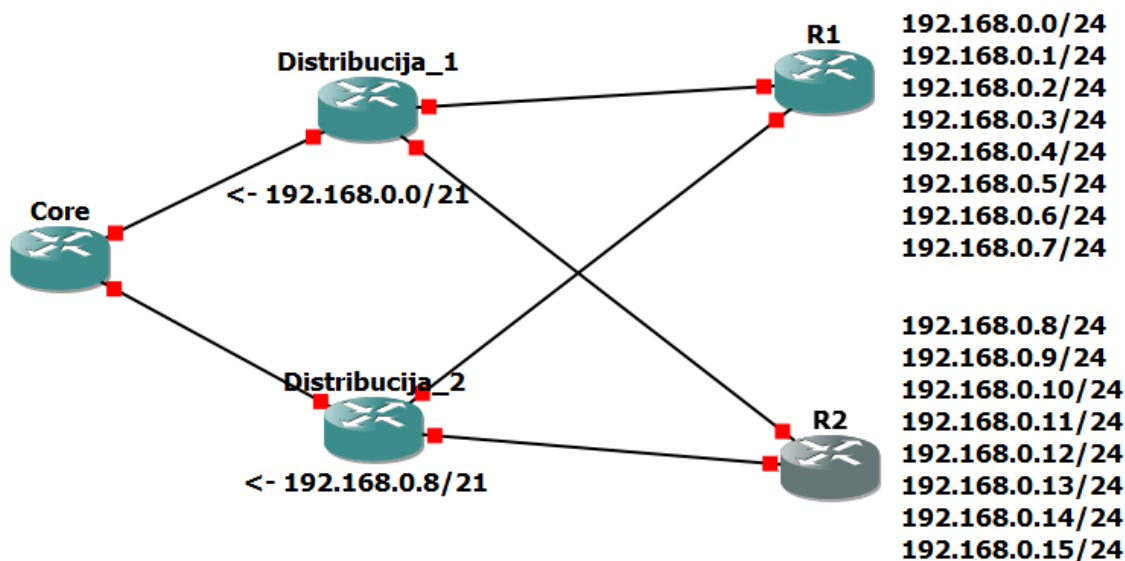
1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    1.1.1.1 is directly connected, Loopback0
2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA  2.2.2.2 [110/5] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/5] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
10.0.0.0/8 is variably subnetted, 14 subnets, 2 masks
C    10.12.0.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L    10.12.0.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
C    10.15.0.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
L    10.15.0.1/32 is directly connected, FastEthernet0/1
O    10.23.0.0/24 [110/2] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O    10.26.0.0/24 [110/2] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O IA  10.34.0.0/24 [110/3] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/3] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O    10.35.0.0/24 [110/2] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
O IA  10.37.0.0/24 [110/3] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/3] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O IA  10.46.0.0/24 [110/3] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/3] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O IA  10.48.0.0/24 [110/4] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/4] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O    10.56.0.0/24 [110/2] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
O IA  10.67.0.0/24 [110/3] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/3] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
O IA  10.78.0.0/24 [110/4] via 10.15.0.5, 00:01:08, FastEthernet0/1
      [110/4] via 10.12.0.2, 00:01:13, FastEthernet0/0
192.168.0.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    192.168.0.0/24 is directly connected, FastEthernet1/0
L    192.168.0.254/32 is directly connected, FastEthernet1/0
R1(config)#

```

Slika 6.33 OSPF putanje uutar područja

6.12. Utjecaj na dizajn mreže

EIGRP, za razliku od OSPF-a, nema područja te on ne zna cijelu topologiju, već zna samo putanje i kuda ići. Bez obzira na sve, može se hijerarhijski¹¹ dizajnirati sažimanjem putanji ili filtriranjem. To sve ovisi o tome koliko će netko tko će EIGRP protokol održavati dopustiti hijerarhijskog dizajna. Ako se pametno planira, EIGRP može imati više nivoa nego OSPF sa svojim područjima. Važan dio mrežnog dizajna je IP adresiranje, osobito kod EIGRP mrežnog protokola. To znači da Core usmjernik u sljedećoj slici Slika 6.34 ne mora znati za sve adrese koje su na usmjernicima R1 i R2, već da te adrese dobije sažete od svojih distribucijskih usmjernika. Tada će u svojoj tablici imati samo dvije putanje i to 192.168.0.0/21 i 192.168.0.8/21.



Slika 6.34 Sažimanje mreža

Također, kod EIGRP-a pri dizajnu treba voditi računa o *query* paketima koji mogu jako brzo zatrovati mrežu te uzrokovati veliku potrošnju resursa. No, njih se može ograničiti mrežnim sažimanjem koje je objašnjeno pod podnaslovom Skalabilnost, zatim redistribucijom, recimo, zadane (engl. default) putanje ili EIGRP *stub* svojstvom. EIGRP *stub* svojstvo omogućuje veću stabilnost mreže, smanjuje potrošnju resursa i pojednostavljuje konfiguraciju udaljenih

¹¹Daniels Networking Blog. EIGRP Network Design. <http://lostintransit.se/2013/11/23/eigrp-network-design/>, studeni, 2016.

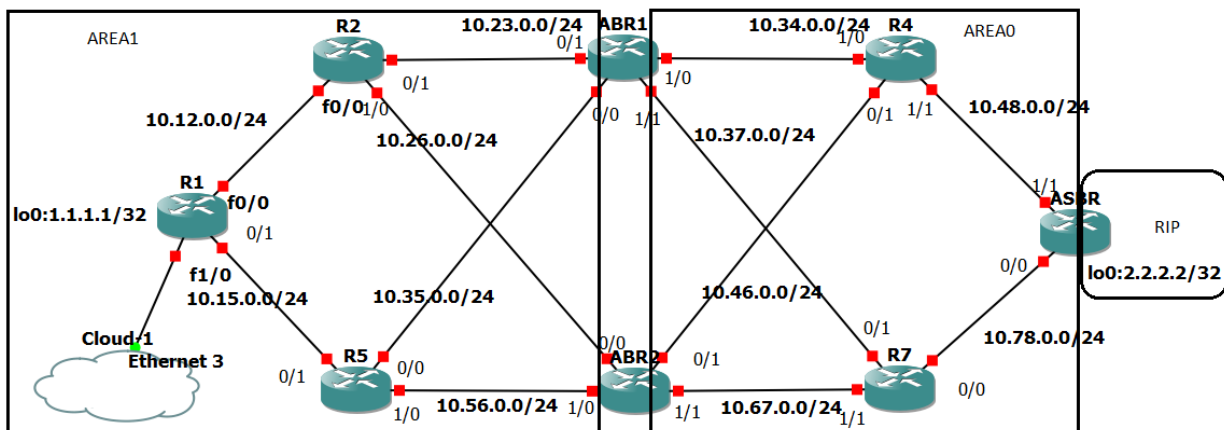
usmjernika. EIGRP *stub* svojstvo se konfigurira naredbom *eigrp stub* u eigrp procesu te se odabire jedna od opcija koje su ponuđene kako prikazuje slika Slika 6.35:

```
R1(config)#router eigrp 1
R1(config-router)#eigrp stu
R1(config-router)#eigrp stub ?
connected      Do advertise connected routes
leak-map       Allow dynamic prefixes based on the leak-map
receive-only   Set receive only neighbor
redistributed  Do advertise redistributed routes
static         Do advertise static routes
summary        Do advertise summary routes
<cr>

R1(config-router)#eigrp stub [odabrati]
```

Slika 6.35 EIGRP *stub* svojstvo

Budući da su puno puta spominjana OSPF područja koja su najbitnija za dizajn mrežne topologije ili imaju najveći utjecaj u OSPF mrežnoj topologiji, ovdje ćemo se pozabaviti njima. Napravljena je mrežna topologija koja je podijeljena u dva područja nazvana Area0 i Area1 (Slika 6.36) te postoji i treća cjelina desno gdje je RIP mrežni protokol kako bi ubacili i jedan ASBR (engl. autonomus system boundary router) usmjernik. U ovakvoj mrežnoj topologiji usmjernici koji imaju više sučelja u jednom području zovu se IR (engl. internal router) usmjernici. U ovom primjeru to su usmjernici R1, R2, R5, R4 i R7. Usmjernik koji ima sučelje u više područja zove se ABR usmjernik, a u ovoj topologiji to su ABR1 i ABR2. Kad bi se htjelo u ovu OSPF mrežnu topologiju dodati novo područje, recimo Area3, moralo bi ga se dodati na Area0 područje jer je ono glavno i sva druga područja moraju biti povezana s njim.



Slika 6.36 OSPF područja

Zaključak

EIGRP i OSPF mrežni protokoli pokazali su se odličnima u odabranoj mrežnoj topologiji u kojoj su testirani. Oba mrežna protokola imala su slična vremena za konfiguraciju protokola i samu implementaciju koja je dosta slična, uz manju iznimku da se kod OSPF-a treba paziti na oglašavanje područja u konfiguraciji samoga protokola. Na oba mrežna protokola odlično funkcionira MD5 *hashing* autentifikacija, premda valja naglasiti kako OSPF podržava i IPSec što je sigurniji način zaštite. OSPF mrežni protokol imao je puno bržu brzinu konvergencije od EIGRP mrežnog protokola, no kad su na oba mrežna protokola ubrzani halo tajmeri, EIGRP je pokazao znatna ubrzanja brzine konvergencije. Kako je brzina konvergencije testirana u nekoliko različitih testiranja u GNS3 simulatoru, u svima je OSPF bio brži. No, zanimljivo je kako je na testiranju u učionici u svim testiranjima brzine konvergencije EIGRP bio brži mrežni protokol te je ostvario bolja vremena. Što se predvidljivosti usmjerenja tiče, bilo je jasno da će mrežni promet izbjegavati sporije serijske veze koje su i EIGRP i OSPF izbjegavali. Oba protokola su bila stabilna tijekom testiranja uz malu zamjerku OSPF-u, koji je pri prilagođavanju halo tajmera nešto više opteretio računalo te je ono povremeno zastajkivalo. U odabranoj mrežnoj topologiji protokoli nisu pokazivali veliku zauzetost resursa. I EIGRP i OSPF mrežni protokoli su skalabilni uz određene mjere poput sažimanja putanji kod EIGRP-a ili odabirom područja kod OSPF-a. Zatim smo vidjeli kako se EIGRP odlično brani protiv usmjerničkih petlji pomoću *split horizon* i *poison reverse* pravila koja ima ugrađena u protokol dok se OSPF koristi kompliciranijim LSA vrstama paketa koja dopušta određenim područjima. Nakon toga vidjeli smo kako se EIGRP mrežni protokol može hijerarhijski dizajnirati sažimanjem putanji koje su jedne od najbitnijih karakteristika EIGRP mrežnog protokola. OSPF područja su se pokazala kao najbitniji faktor pri dizajnu OSPF mrežne topologije.

Popis kratica

EIGRP	<i>Enhanced Interior Gateway Routing Protocol</i>	napredni unutarnji protokol za usmjeravanje
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>	protokol usmjeravanja najkraćeg puta
RIP	<i>Routing Information Protocol</i>	protokol usmjeravanja s informacijama o usmjeravanju
DR	<i>Designated Router</i>	određeni usmjernik
BDR	<i>Backup Designated Router</i>	zamjenski određeni usmjernik
FE	<i>Fast Ethernet</i>	brzo sučelje
GNS3	<i>Graphical Network Simulator 3</i>	simulator za mrežnu simulaciju
MD5	<i>Message Digest</i>	način autentifikacije potpisom
CPU	Central processing Unit	procesor
SPF	<i>Shortest Path First</i>	algoritam za odabir najkraćeg puta
SSD	<i>Solid State Drive</i>	tvrdi disk
IP	<i>Internet Protocol Address</i>	mrežna adresa

Popis slika

Slika 2.1 Razmjena putanji	2
Slika 3.1 Testna topologija	12
Slika 6.1 MD5 autentifikacija na sučelju EIGRP protokola	14
Slika 6.2 Ime autentifikacije sa zaporkom	15
Slika 6.3 MD5 autentifikacija na sučelju OSPF protokola	15
Slika 6.4 <i>Traceroute</i> kod EIGRP-a	18
Slika 6.5 <i>Traceroute</i> kod OSPF-a	18
Slika 6.6 <i>Traceroute</i> u učionici	19
Slika 6.7 <i>Traceroute</i> s prilagođenim halo tajmerima kod EIGRP-a	20
Slika 6.8 <i>Traceroute</i> s prilagođenim halo tajmerima kod OSPF-a	21
Slika 6.9 EIGRP s primarnom putanjom	22
Slika 6.10 OSPF primarna putanja	22
Slika 6.11 EIGRP <i>feasible successor</i> putanja	23
Slika 6.12 Prilagođavanje <i>bandwidtha</i> kod EIGRP-a	28
Slika 6.13 <i>Cost</i> kod OSPF-a	28
Slika 6.14 Put do 2.2.2.2 kod EIGRP-a	29
Slika 6.15 Put do 2.2.2.2 sa serijskom vezom između R1 i R2	30
Slika 6.16 Tok prometa kod EIGRP-a	30
Slika 6.17 Put do 2.2.2.2 kod OSPF-a	30
Slika 6.18 Put do 2.2.2.2 sa serijskom vezom između R1 i R2	31
Slika 6.19 Tok prometa kod OSPF-a	31
Slika 6.20 Put do 1.1.1.1 na opremi u učionici	32
Slika 6.21 CPU zauzeće kod EIGRP-a	33
Slika 6.22 Zauzeće memorije kod EIGRP-a	34
Slika 6.23 CPU kod OSPF-a	34
Slika 6.24 Zauzeće memorije kod OSPF-a	35
Slika 6.25 CPU u učionici, EIGRP	36
Slika 6.26 CPU u učionici, OSPF	36
Slika 6.27 Topologija sažimanja putanji	37
Slika 6.28 Sažete putanje	38
Slika 6.29 Izbor DR usmjernika	39
Slika 6.30 Ručni odabir DR usmjernika	39
Slika 6.31 <i>Split horizon</i>	40
Slika 6.32 OSPF područja	41
Slika 6.33 OSPF putanje uutar područja	41
Slika 6.34 Sažimanje mreža	42
Slika 6.35 EIGRP <i>stub</i> svojstvo	43
Slika 6.36 OSPF područja	43

Popis tablica

Tablica 6.1 Otkazivanje sučelja kod EIGRP-a i OSPF-a	18
Tablica 6.2 Otkazivanje sučelja u učionici	19
Tablica 6.3 EIGRP i OSPF s prilagođenim halo tajmerima.....	21
Tablica 6.4 OSPF s primarnom putanjom.....	22
Tablica 6.5 EIGRP s primarnom putanjom i <i>backup</i> putanjom	23
Tablica 6.6 Otkazivanje uređaja u EIGRP i OSPF mreži	24
Tablica 6.7 EIGRP i OSPF s prilagođenim halo tajmerima.....	26
Tablica 6.8 OSPF s primarnom putanjom.....	27
Tablica 6.9 EIGRP s primarnom putanjom i <i>backup</i> putanjom	27

Literatura

- [1] Kunštek, Zlatko. Računalne mreže II., Zagreb, 2011.
- [2] ICND2 200-105. OSPF Data Overview. <http://www.learnCisco.net/courses/icnd-2/an-overview-of-ospf/ospf-data-overview.html> .
- [3] Tiso J. Designing Cisco Network Service Architectures.
<http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1763921&seqNum=6>, prosinac 2011.
- [4] PacketPimp3. OSPF-The DR and BDR Roles.
<https://www.fir3net.com/Networking/Protocols/ospf-the-dr-and-bdr-roles.html>. veljača2018.
- [5] Daniels Networking Blog. EIGRP Network Design. <http://lostintransit.se/2013/11/23/eigrp-network-design/>, studeni 2016.
- [6] Jacob Mark. Cisco EIGRP metric calculation simplified- the eyes have it!
<https://www.interfacett.com/blogs/cisco-eigrp-metric-calculation-simplified-eyes-it/>, kolovoz, 2012.