

# MPLS P2MP LSP. Tehnički aspekti i rešenja.

Milan Čabarkapa, *student, ETF Beograd*, Jelena Marašević, *student, ETF Beograd*

**Sadržaj** — U ovom radu izloženi su tehnički aspekti i rešenja za MPLS P2MP LSP (Point to multipoint Label Switched Path), tj. mehanizmi i protokoli koji se koriste prilikom kreiranja i korišćenja P2MP LSP-ova. Ovaj rad, zajedno sa našim drugim TELFOR radom (MPLS P2MP LSP. Ekonomski aspekti i primena u IP televiziji.) čini zaokruženu celinu teme koja je trenutno jedna od hit tema u oblasti mreža.

**Ključne reči** — FastReroute, LDP, MPLS, P2MP LSP, RSVP, Traffic Engineering.

## I. UVOD

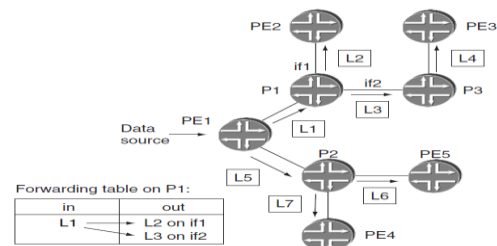
Kod mreža koje koriste MPLS, način na koji će biti uspostavljen LSP (Label Switched Path), kao i njegov oblik, u mnogome zavise od signalizacionog protokola koji se koristi. Kod RSVP-a (Resource Reservation Protocol) kao signalizacionog protokola, svaki LSP je po prirodi tačka-tačka, tj. saobraćaj koji se prenosi ovim protokolom putuje od jedne ulazne do jedne izlazne tačke. Nasuprot njemu, kada se LDP (Label Distribution Protocol) koristi kao signalizacioni protokol, svaki LSP je po prirodi više tačaka-tačka, što znači da se saobraćaj prenosi od više ulaznih ka jednoj izlaznoj tački.

Zanimljivo je ipak videti kako bi bilo moguće prenositi saobraćaj od jedne ulazne ka više izlaznih tačaka (*point-to-multipoint*, P2MP) korišćenjem RSVP-a ili LDP-a kao signalizacionog protokola i na taj način obezbediti *multicast* prosleđivanje u MPLS domenu. U ovakvoj situaciji prosleđivanje bi se vršilo na način koji je efikasan u smislu širine propusnog opsega, bez potrebe da ulaz šalje odvojene kopije ka svakom prijemniku. To bi praktično značilo da ulazni ruter ima kontrolu nad putanjom preko koje će se kretati saobraćaj, i samim tim može garantovati određeni protok. Ovakav način prosleđivanja čini mogućim brojne napredne primene interneta, kao što je, na primer, emitovanje televizijskog programa visokih performansi, a koje je ranije kod klasičnih IP ili MPLS mreža bilo teško ostvariti. Da bi se razumelo kako funkcionišu mehanizmi spregnuti sa P2MP LSP-om, neophodno je dobro poznavati kontrolnu ravan i ravan za prosleđivanje. Tekst koji sledi posvećen je upravo objašnjenju koje se odnosi na ravan za prosleđivanje (put saobraćaja), kao i na kontrolnu ravan (distribucija ruta i labela).

## II. MEHANIZMI RAVNI ZA PROSLEĐIVANJE

P2MP LSP ima jedan ulazni i više izlaznih rutera. Kao što to Sl. 1. prikazuje, ruter PE1 je ulazni za prikazanu mrežu, dok su PE2, PE3, PE4 i PE5 izlazni ruteri. Kada ruter PE1

primi neki paket od izvora podataka, on napravi dve kopije tog paketa i prosledi ih dalje ruterima P1 i P2, pri čemu ruter P1 dobija paket sa labelom L1, a ruter P2 sa labelom L5. Može se uočiti da ruteri PE1, P1 i P2 prave kopije svakog paketa koji im pristigne i te kopije šalju ka više rutera. Zbog svojstva replikacije pristiglih MPLS paketa, takvi ruteri nazivaju se još i tačke grananja.



Sl. 1. Mehanizmi ravni za prosleđivanje

Razmotrimo proces prosleđivanja paketa preko rutera P1. Za svaki paket koji pripada P2MP LSP-u, ruter P1 pravi dve kopije, od kojih jednu šalje ka izlaznom ruteru PE2, a drugu ka ruteru P3. Ako pogledamo tabelu prosleđivanja za P1, možemo uočiti da za ulazni paket sa labelom L1, ruter P1 pravi dve kopije, od kojih za jedan replicirani paket labelu L1 zamenjuje labelom L2 i šalje na izlazni interfejs if1, a drugi labelu L1 zamenjuje labelom L3 i šalje preko if2. Dalje se kopija koja pristigne na interfejs rutera P3 samo prosleđuje ka izlaznom ruteru PE3, tj. ne prave se nikakve kopije pristiglog paketa, pa, za razliku od rutera PE1, P1 i P2 koji čine tačke grananja, ruter P3 predstavlja samo tranzitni čvor.

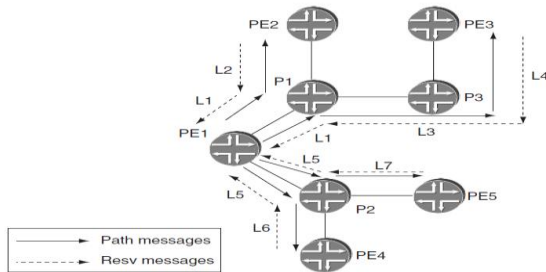
Glavna prednost P2MP šeme je efikasnost u smislu širine propusnog opsega. Na primer, pretpostavimo da se prosleđuje tok od 100Mbps. Veza između rutera PE1 i P1 zauzeta je tada samo sa 100Mbps, za razliku od zauzetosti od 200Mbps koju bismo imali u slučaju da PE1 mora da šalje dve odvojene kopije ka P1 namenjene za dalje prosleđivanje ka PE2 i P3. Kao i kod tačka-tačka LSP-a, tok saobraćaja kod P2MP LSP-a je jednosmeran, pa se paketi ne mogu kretati od izlaznih ka ulaznim ruterima.

Dakle, glavni zaključak koji se može izvesti iz prethodnog je da je ključna prednost P2MP prosleđivanja u tome što se može kreirati stablo distribucije čije tačke grananja imaju svojstvo replikacije paketa. Ovo se vrši na osnovu informacija koje sadrže tačke grananja. Da bi se objasnilo kako se do tih informacija dolazi, potrebno je usmeriti pažnju ka mehanizmima kontrolne ravni.

### III. MEHANIZMI KONTROLNE RAVNI

#### A. Korišćenje RSVP-a za P2MP traffic engineering

Jedan od osnovnih principa prilikom dizajna P2MP šeme bio je učiniti RSVP-TE pogodnim za P2MP operacije uz minimalne promene. Sl. 2. prikazuje istu mrežu kao i Sl. 1, uz objašnjenje kako se tačka-više tačaka LSP signalizira putem RSVP-a. Treba uočiti da je načinjena pretpostavka da ulazni čvor poznaje identitet izlaznih čvorova. Kako ulazni čvor dolazi do ovih informacija je izvan dosega RSVP-TE-a, ali neki od mogućih načina su putem ručne konfiguracije ili korišćenjem PIM-a. Na slici je strelicama sa punom linijom prikazan tok RSVP *Path* poruka, a strelicama sa isprekidanom linijom tok *Resv* poruka. Vrednosti labela pridruženih *Resv* porukama (L1, L2 i druge) na dijagramu su iste one koje se nalaze u *Label Object* polju *Resv* poruka. Ovde treba uočiti da *Resv* poruke koje sadrže labelu za svaki link putuju u smeru suprotnom onome kojim se kreću stvarni MPLS paketi.



Sl. 2. Korišćenje RSVP-a u kontrolnoj ravni

Sa tačke gledišta kontrolne ravni, P2MP LSP se vidi kao skup tačka-tačka LSP-ova, od kojih svaki povezuje ulazni sa nekim od izlaznih čvorova i poznat je kao pod-LSP. Posmatrajući to kao kod normalnog tačka-tačka *traffic engineering*-a, LSP se signalizira slanjem *Path* poruka od ulaza ka izlazu i slanjem *Resv* poruka od izlaza ka ulazu. *Path* poruke sadrže *Explicit Route Object* (ERO) koji određuje putanju koju prati LSP, dok *Resv* poruke pri svakom hopu sadrže labelu koja se koristi prilikom prosleđivanja za taj hop. U tačka-više tačaka slučaju, svaki pod-LSP se signalizira korišćenjem sopstvenih *Path* i *Resv* poruka, gde *Path* poruke sadrže ERO sopstvenog LSP-a u upitu. *Path* i *Resv* poruke sadrže i novi objekat, P2MP *Session Object*, tako da ruteri znaju kom P2MP LSP-u pripada koji pod-LSP. Poznavanje ove informacije je ključno za stvaranje replikacionog stanja u ravni za prosleđivanje. Tačka grananja mora znati da više LSP-ova pripada istom P2MP LSP-u kako bi ih mogla ispravno tretirati.

Razmotrimo sada kako sve ovo funkcioniše na primeru mreže sa Sl. 2. P2MP LSP sadrži četiri izlazna čvora, što znači da će postojati četiri pod LSP-a, od PE1 ka PE2, od PE1 ka PE3, itd. Pošto svaki od pod-LSP-ova ima sopstvene *Path* i *Resv* poruke, na pojedinim linkovima razmenjuju se višestruke *Path* i *Resv* poruke. Na primer, veza od PE1 ka P1 sadrži poruke koje pripadaju pod-LSP-u ka PE2 i ka PE3. Pogledajmo sada na primeru pod-LSP-a od PE1 ka PE3 kako se signalizira P2MP LSP:

1. *Path* poruka koja sadrži ERO{PE1, P1, P3, PE3} se šalje od ulaznog rutera PE1. Ona može sadržati i

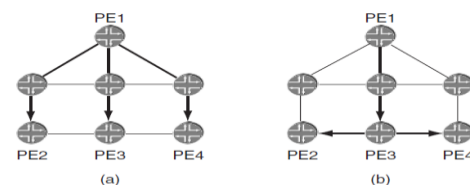
rezervaciju širine propusnog opsega za P2MP LSP ukoliko se tako zahteva.

2. PE3 odgovara *Resv* porukom koja sadrži vrednost labelu L4 koju P3 treba da koristi prilikom prosleđivanja paketa ka PE3. Na sličan način, P3 šalje *Resv* poruku ka P1, koja sadrži vrednost labelu L3, koja treba da se koristi prilikom prosleđivanja paketa od P1 ka P3.
3. Analogno, za pod-LSP čiji je izlaz PE2, P1 prima od PE2 *Resv* poruku sa labelom L2 koja treba da se koristi prilikom prosleđivanja paketa od P1 ka PE2. P1 zna da *Resv* poruke koje prima od P3 i PE2 pripadaju istom P2MP LSP-u zahvaljujući *Session Object*-u koji svaka od njih sadrži.
4. P1 šalje odvojene *Resv* poruke ka PE1, od kojih svaka odgovara jednom od dva pod-LSP-a, ali pritom sadrži istu labelu, L1, pošto oba pod-LSP-a pripadaju istom P2MP LSP-u.
5. P1 unosi nove podatke u svoju tabelu za prosleđivanje, tako da kada dobije paket sa labelom L1, jednu njegovu kopiju šalje ka PE2, zamenjujući L1 sa L2, a drugu kopiju šalje ka P3, zamenjujući L1 sa L3. Ako je potrebno rezervisati određenu širinu propusnog opsega, koristi se *shared explicit* (SE) stil rezervacije. Ovim se obezbeđuje da, kada se od P1 ka PE1 pošalju dve *Resv* poruke koje pripadaju odgovarajućim pod-LSP-ovima istog P2MP LSP-a, nema dvostrukog računanja širine propusnog opsega koja treba da se rezervišu.
6. PE1, znajući da se dve *Resv* poruke primljene od P1 odnose na isti P2MP LSP zahvaljujući *Session Object*-u, šalje samo po jednu kopiju svakog pristiglog paketa sa labelom L1, koja je diktirana od strane P1 u te dve *Resv* poruke.

#### B. Računanje putanje kod P2MP traffic engineering-a

Kod računanja puta za P2MP-TE LSP zadatak je proračunati optimalno P2MP stablo koje uzima u obzir sve postavke koje su diktirane od strane korisnika. Na primer, ako je glavni zahtev da se proračuna stablo sa najmanjim očekivanim kašnjenjem saobraćaja, optimalno bi bilo proračunati stablo sa najkraćim putem (*shortest-path*). Sa druge strane, ako je glavni zahtev da se minimizira iskorišćenost širine propusnog opsega, onda je potrebno proračunati stablo kod koga cenu putanje određuje iskorišćenost širine propusnog opsega (*minimum-cost tree*, *Steiner*-ovo stablo).

Sl. 3. poredi putanje P2MP LSP-a kod *shortest path* stabla (levo) i *minimum-cost* stabla (desno), uz pretpostavku da svaka grana ima istu cenu i kašnjenje i da svaka veza može zadovoljiti zahteve za potrebnom širinom propusnog opsega kod LSP-a.



### Sl. 3. a) *Shortest path* stablo b) *Minimum-cost* stablo

U slučaju *shortest-path* stabla, svaki od izlaznih čvorova je dva hopa udaljen od ulaznog čvora i ukupna zauzetost propusnog opsega je šest jedinica, budući da P2MP stablo koristi ukupno šest linkova. Nasuprot njemu, *minimum-cost* stablo ima ukupnu zauzetost propusnog opsega od 4 jedinice, ali po cenu tri hopa udaljenosti izlaznih čvorova od ulaznog.

Ovakva sloboda definisanja P2MP stabla u skladu sa zahtevima korisnika se razlikuje od tradicionalnog formiranja stabla kod IP multikasta, gde se, po pravilu, koristi *shortest-path* stablo sa korenom u izvoru ili u tački gde se sve putanje spajaju (*rendezvous point*) i ne postoji takva fleksibilnost. Kao i kod tačka-tačka LSP-a, potencijalne metode računanja puta kod P2MP LSP-a su:

- Ručno određivanje puta posmatranjem
- Online računanje od strane ulaznog čvora
- Računanje offline alatom

Razmatranja koju od navedenih metoda treba koristiti su slična kao kod tačka-tačka LSP-a koji uključuje *traffic engineering*. Dodatni faktor na koji treba obratiti pažnju je da se u nekim primenama P2MP TE-a ponekad koristi redundansa na nivou aplikacija (*application level redundancy*). Ovo se dešava kada dva različita P2MP LSP-a nose isti tok podataka. Naime, u pomenutoj situaciji dva LSP-a počinju na različitim ulaznim ruterima i prostiru se različitim putanjama do istog prijemnika, kako bi se sprečio gubitak u slučaju pada jednog od ta dva LSP-a. U takvim slučajevima, uglavnom je lakše koristiti *offline* alat za proračun puta LSP-a, budući da bi, u slučaju da put računaju ulazni ruteri, bilo teško obezbediti da se ta dva puta ne preklapaju.

Složenost proračuna optimalnog P2MP stabla zavisi od tipa stabla koje se zahteva. U slučaju *shortest-path* stabla, put do bilo kog izlaznog čvora ne zavisi od položaja drugih izlaznih čvorova, pa se računanje stabla može podeliti na računanja pojedinačnih pod-LSP-ova. Sa druge strane, u slučaju *minimum-cost* stabla i nekih složenijih zahteva, proračun optimalnog stabla je daleko kompleksniji, budući da put do pojedinog izlaza zavisi od položaja drugih izlaznih čvorova. Zapravo, može se pokazati da je problem optimizacije NP-težak (*nondeterministic polynomial-time hard*). Kao posledica, u zavisnosti od veličine stabla, može se javiti potreba za kalkulisanjem između identifikovanja optimalnog stabla, koje može trajati neprihvatljivo dugo, i identifikovanja prihvatljivog stabla, koje nije optimalno, ali se formira za znatno kraći vremenski period. Kako bi se postiglo drugo pomenuto, razvijeni su određeni algoritmi koji na račun optimizacije prevode ceo problem iz NP-teške složenosti do neke od polinomijalnih složenosti.

Sledeće pitanje koje treba postaviti je šta raditi u slučaju da neko poželi da doda ili ukloni granu iz postojećeg P2MP LSP stabla. Konkretno, u slučaju *minimum-cost* stabla, da li je bolje jednostavno dodati ili ukloniti granu iz stabla bez promene puta do izlaznog čvora, ili treba izvršiti reoptimizaciju celog stabla?

Odgovor može zavisiti od same primene mreže i od toga koliko često izlazni čvorovi dolaze i odlaze. Iako postoje *make-before-break* procedure za P2MP LSP-ove, koje su slične onima kod tačka-tačka LSP-ova, kao i u tačka-tačka

slučaju, postoji mogućnost tranzitnog preuređenja saobraćaja. Na primer, vratimo se na prethodnu sliku i posmatrajmo desnu realizaciju. Pretpostavimo da se zahteva da PE2 i PE3 više ne predstavljaju izlazne čvorove P2MP LSP-a. Ako se put ka izlaznom PE4 ruteru reoptimizuje prelaskom sa PE1-P2-PE3-P4 na PE1-P3-P4, može se desiti da prvi paketi koji se šalju novom putanjom pristignu pre poslednjih paketa koji se šalju starom putanjom. Da li će ova situacija predstavljati problem zavisi od toga da li je aplikacija osetljiva na privremeni gubitak redosleda paketa. Stoga je najbolje da sama implementacija ostavlja određeni stepen slobode izbora, na primer, da dozvoljava da se ponovno računanje stabla vrši eksplicitnim zahtevom ili periodično.

### C. LDP oglašavanje za P2MP LSP-ove

Iako korišćenje RSVP-a za oglašavanje ima brojne prednosti, za veliki broj praktičnih ostvarenja MPLS mreža koje već koriste LDP za distribuciju labela, mogućnost korišćenja LDP-a kao signalizacionog mehanizma za P2MP LSP-ove bi bila daleko primamljivija. Primer za to su mreže kod kojih prednosti *traffic engineering*-a kod RSVP-a nisu od velikog značaja.

U osnovnom slučaju kada se koristi LDP, saobraćaj se uspostavlja po principu više tačaka-tačka. To je uslovljeno time što se LSP-ovi oglašavaju od strane izlaznog rutera, tj. propagacija labela se inicira od strane prijemnika i labele se kreću hop-by-hop kroz celu mrežu. Svi *label switched* ruteri u mreži održavaju stanje prosleđivanja ka prijemniku koje prati IGP putanju, pa se bilo koji LSR može ponašati kao ulazni ruter za ovaj LSP. Na taj način se gradi LSP od više pošiljalaca ka jednom primaocu. Ključno pitanje na ovom mestu je: kako modifikovati LDP, pa da se saobraćaj kreće od jednog pošiljaoca ka više primalaca?

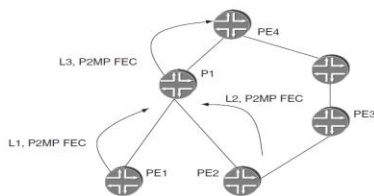
Jedno od osnovnih pitanja je ko inicira oglašavanje LSP-a. U prethodnom odeljku objašnjeno je da se u slučaju RSVP-a oglašavanje inicira od strane ulaznog rutera. Ipak, kod LDP-a bi zahtev da se oglašavanje inicira od ulaznog rutera podrazumevao fundamentalne promene u načinu na koji se distribuiraju labele, pa ovo ne bi moglo biti odgovarajuće rešenje. Umesto toga, problem otkrivanja izvora i odredišta se može odvojiti od stvarnog oglašavanja P2MP LSP-ova putem LDP-a. Ovo omogućuje da se razvije LDP rešenje koje bi bilo inicirano od strane prijemnika umesto od strane pošiljaoca, ako se tako zahteva.

Pretpostavljajući da prijemnici znaju da moraju da uspostave P2MP putanju ka pošiljaocu, sledeće bitno pitanje je kako identifikovati P2MP LSP. Slično kao u RSVP slučaju, neophodno je omogućiti podešavanje ispravnog stanja prosleđivanja u tačkama grananja. Takođe, ulazni ruter LSP-a mora biti identifikovan. Sam ulazni ruter naravno nije dovoljan, jer više P2MP LSP-ova mogu imati isti ulazni čvor. Dakle, nije dovoljno identifikovati samo izvor (koren), već celo P2MP stablo. LDP ne mora biti svestan značenja identifikatora stabla, a da bi se uspostavio LSP, labelu dodeljuje prijemnik uz dodavanje entiteta {izvor, identifikator stabla}. Ovo se naziva P2MP *forwarding equivalence class* (FEC).

Podsetimo se da LDP LSP-ovi prate IGP. Ovo se ostvaruje tako što se za jednu FEC koja odgovara

određenoj IP adresi prosleđuju samo one labele koje su dobijene putem sesija koje leže na IGP putanji za tu IP adresu. U slučaju P2MP FEC-a procedura je drugačija. Pravilo distribucije je da se oglašavaju samo labele ka ruterima koji leže na najboljoj IGP putanji ka izvoru. Tako u slučaju regularnog LDP-a primalac labele odlučuje o najboljoj putanji ka izlazu, dok u slučaju P2MP LDP-a pošiljalac određuje najbolju putanju ka ulazu.

Na Sl. 4. prikazano je kako se P2MP LSP oglašava putem LDP-a.



Sl. 4. LDP oglašavanje za P2MP LSP-ove

PE4 je ulazni ruter za P2MP LSP, a PE1 i PE2 su izlazni ruteri. PE2 oglašava labelu L2 za P2MP FEC, ali samo ka ruteru P1, bez slanja ka ruteru PE3, pošto P1 leži na najboljoj putanji ka ulazu. P2MP FEC sadrži adresu PE4, ulaz P2MP LSP-a koji treba da se izgradi, i identifikator P2MP stabla. PE1 oglašava labelu L1 za istu P2MP FEC ka ruteru P1. U čvoru P1 se prepoznaje da labele L1 i L2 pripadaju istoj FEC. Kao rezultat, ka izvoru PE4 se oglašava samo jedna labela L3 i uspostavljeno je stanje prosleđivanja u kom se kada u čvor P1 pristigne paket sa labelom L3, taj paket replicira i šalje sa labelama L1 i L2 ka ruterima PE1 i PE2, respektivno. Na ovaj način ostvaruje se oglašavanje P2MP LSP-ova od prijemnika ka izvoru.

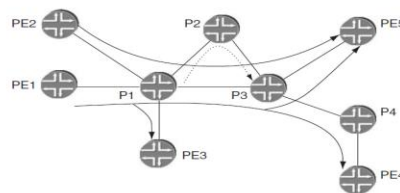
#### IV. MPLS FASTREROUTE MEHANIZAM ZA P2MP LSP

Kod klasičnog IP multikasta *failover* mehanizmi su relativno spori (reda sekundi), što ga čini neprihvatljivim za primene koje zahtevaju prenos podataka kod koga se ne dozvoljava isuviše dug prekid toka saobraćaja, kao što je slučaj sa prenosom video signala u realnom vremenu. Sa druge strane, kod P2MP LSP-ova koji koriste RSVP za signalizaciju, postoji mogućnost korišćenja MPLS *fast reroute*-a za zaštitu saobraćaja, čime se obezbeđuje kratko *failover* vreme, što ga čini naročito atraktivnim za ovakve primene.

Kao što je poznato, kod tačka-tačka LSP-ova postoje dve varijante *fast reroute*-a, a to su zaštita linka i zaštita čvora.

U suštini, obe navedene varijante se mogu primeniti i na P2MP LSP-ove. Potpuno pravolinijski slučaj, po pitanju implementacije i operacija, je zaštita linka, budući da cela topologija P2MP LSP-ova u smislu položaja tačaka grananja ostaje nepromenjena. Praktično, zadatak zaštite pod-LSP-ova pridruženih P2MP LSP-ovima je potpuno isti kao i u normalnom tačka-tačka slučaju. Kod zaštite čvorova je situacija nešto drugačija. Naime, putanje koje se štite se završavaju nakon *next-hop* čvorova koji se štiti u *downstream* smeru, što rezultira menjanjem položaja tačaka grananja u slučaju da je čvor koji se štiti tačka grananja. U jednoj od osnovnih šema, u kojima jedan *bypass* tunel štiti više LSP-ova, isti *bypass* tunel može se koristiti istovremeno za

zaštitu tačka-tačka LSP-ova i pod-LSP-ova određenih P2MP LSP-ova. Jedan takav primer prikazan je na Sl. 5:



Sl. 5. MPLS P2MP FastReroute

Ulazni čvor za prikazanu mrežu je PE1, dok su izlazni čvorovi PE3, PE4 i PE5. Takođe, postoji i tačka-tačka LSP od PE2 do PE5. Veza između P1 i P3 zaštićena je *bypass* tunelom koji prati put P1-P2-P3, što je na slici prikazano isprekidanom linijom. U slučaju da link između P1 i P2 padne, *bypass* tunel štiti PE2-PE5 tačka-tačka LSP i P2MP pod-LSP od PE1 do PE4 i PE5.

#### V. ZAKLJUČAK

Kao što smo videli, kada su u pitanju MPLS P2MP LSP-ovi, kontrolna ravan može biti zasnovana ili na RSVP *Traffic engineering*-u, ili na LDP protokolu. Takođe, kada želimo da implementiramo *Traffic engineering*, za kontrolu naše mreže mogu se koristiti *offline* alati za računanje MPLS P2MP LSP-ova, uz primenu različitih algoritama u zavisnosti od toga koje funkcionalnosti želimo da postignemo u određenom trenutku. Dalju nadogradnju ovog rada treba usmeriti u pravcu razvoja alata (simulatora) kojim bi se ispitivali različiti algoritmi, i utvrdivale performanse mreže za svaku od primenjenih metoda i algoritama. Simulator bi se mogao modelovati na jeziku UML, a posle toga implementirati na nekom od jezika kao što su, na primer, C++, JAVA ili C#.

#### LITERATURA

- [1] I. Minei, J. Lucek, "MPLS-Enabled Applications. Emerging Developments and new Technologies", John Wiley & Sons, Ltd, 2005, ch.6.
- [2] "White paper-The benefits of P2MP label switched paths for MPLS networks". Available: <http://www.juniper.net/us/en/local/pdf/whitepapers/ovum-p2mp-lsp-benefits.pdf>
- [3] Jelena R. Marašević, Milan M. Čabarkapa, "MPLS P2MP LSP. Ekonomski aspekti i primena u IP televiziji.", TELFOR, 2009.

#### ABSTRACT

This paper explains principles and technical aspects of using P2MP LSPs (*Point To Multipoint Label Switched Paths*) in MPLS networks. It gives a detailed view of mechanisms and protocols used in such networks, while economical aspects and applications are in center of our other TELFOR paper, [3].

#### MPLS P2MP LSP. Technical aspects and design.

Milan Cabarkapa, student, ETF Belgrade  
Jelena Marasevic, student, ETF Belgrade