

TEHNOLOGIJA MPLS V KONVERGENČNIH TK OMREŽJIH ELEKTROENERGETSKIH PODJETIJ

PETER CEFERIN
SMARTCOM, d.o.o., Ljubljana
peter.ceferin@smart-com.si

Povzetek – Postopno zamiranje tehnologije TDM postavlja izzive pred načrtovalce telekomunikacijskih omrežij v elektroenergetskih podjetjih, kjer je ta tehnologija za TK storitve predstavljala dolga leta enega od tehnoloških stebrov. Potrebno se je soočiti z dejstvi, da prihaja na eni strani do ukinjanja opreme TDM s strani proizvajalcev, na drugi strani pa ostajajo potrebe po TDM vrstah TK storitev (npr. serijske povezave za SCADA, različne sisteme meritev, zaščite, itd) praktično v vseh elektroenergetskih TK omrežjih. Naglo povečevanje TK storitev na osnovi Ethernet in IP protokola zahteva uvajanje TK tehnologij, ki omogočajo optimalne pogoje tako v smislu zagotavljanja storitev, kot tudi stroškov. Kako zagotoviti konvergenco z zagotovljenimi vsemi vrstami IP in TDM storitev pod enotno infrastrukturo je tema, ki jo obravnava članek. MPLS tehnologija je tehnološko dozorela do takšne mere, da jo je smiselno uporabljati v TK omrežjih elektroenergetskih podjetij, z zagotovljenimi mehanizmi visoke razpoložljivosti, varnosti, in fleksibilnosti. Omogoča tudi celoten spekter TK storitev, ki so aktualne v elektroenergetskih TK omrežjih, kar je v članku tudi podrobneje opisano.

Ključne besede: TDM, Ethernet, IP, MPLS, konvergenčna TK infrastruktura, storitve VLL, storitve VPLS, storitve VPRN

MPLS TECHNOLOGY FOR THE CONVERGENCE IN POWER UTILITY TELECOMMUNICATION NETWORKS

PETER CEFERIN
SMARTCOM, d.o.o., Ljubljana
peter.ceferin@smart-com.si

Abstract – The network designers of power utility telecommunication networks are experiencing the challenges cause by the fact that availability of legacy TDM technologies, equipment and support used massively in the past is decreasing and will end its life cycle in time. On the other side the requirements for the legacy services (e.g. serial connectivity for SCADA system, protection services or metering equipment) will remain as a requirement also in the future. Ethernet and IP based services which already representing majority of the services require packet based telecommunication networks. To ensure optimal technological conditions and lower the costs the converged network infrastructure is required. MPLS technology represents mature telecommunication technology, which can assure high availability of services, security and flexibility and is suitable for convergence, due to rich set of standardised services portfolio the MPLS network can provide to the users.

Keywords: TDM, Ethernet, IP, MPLS, converged telecommunication network, VLL services, VPLS services, VPRN services

I. UVOD

Pri razvoju telekomunikacijskih omrežij v elektroenergetskih podjetjih smo priča situaciji, v kateri so se znašli ponudniki storitev pred desetletjem, ko so imeli močno razvito telekomunikacijsko infrastrukturo na osnovi tehnologij ATM in blokovnega posredovanja in so jo označili, kot "tradicionalno" (ang. legacy), razvila in gradila pa so se že omrežja t.i. nove generacije (ang. next generation), ki so temeljila na tehnologiji IP. Storitve za uporabnike pa so terjale sobivanje obeh tehnoloških rešitev. Izrazit primer takšnega sobivanja so omrežja mobilnih operaterjev, kjer je zahtevano povezovanje baznih postaj – t.i. zaledne (ang. backhaul) povezave s souporabo ATM (za govorni promet) in IP (za hitro naraščajoče storitve podatkovnega prometa, kot so Internet in zasebna omrežja) tehnologij. Ali v primeru souporabe dveh tehnologij za zaledne povezave posledično potrebujemo dve ločeni povezavi: ATM povezavo (npr. IMA n x E1 ali celo STM-1) in Gigabit Ethernet (GbE) povezavo? Z vidika načrtovanja omrežja in stroškovnih razmerij bi predstavljal pristop ločenih zalednih povezav drago rešitev, saj se moramo zavedati, da je število zalednih povezav veliko, vsaka bazna postaja mobilnega ponudnika storitev zahteva vsaj eno.

Večje, kot je število različnih uporabnikov, večja možnost glede potrebe različnih tehnologij obstaja, saj običajno uporabniška oprema določa tudi vrste storitev, ki jih mora zagotoviti TK omrežje. Običajno upravljalci TK omrežij nimajo možnosti vpliva na izbor uporabniške opreme, s katero se uporabniki povezujejo v TK omrežje.

Uvodoma opisana situacija glede tehnološko različnih sistemov v TK omrežjih se torej pojavlja tudi v elektroenergetskih TK omrežjih. Kot "tradicionalne" tehnologije se štejejo predvsem sistemi na osnovi TDM tehnoloških rešitev (SDH in fleksibilni multipleksni sistemi oz. kombinacija obeh). V TK omrežjih slovenskih elektroenergetskih podjetij je bila namreč tovrstna tehnologija v preteklosti prevladujoča, ATM oz. tehnologije blokovnega posredovanja pa je bilo v teh TK omrežjih za vzorec in so kot taka že zdavnaj izven uporabe. Kot "tradicionalne" tehnologije lahko do neke mere štejemo tudi nekatera Ethernet/IP omrežja, saj so TK omrežja v slovenskih elektroenergetskih podjetjih bila tudi v evropskem in globalnem merilu ena prvih, ki so začela uporabljati Ethernet, IP in tudi MPLS tehnologije. V krogu strokovnjakov, ki se ukvarjamo z razvojem telekomunikacijskih omrežij v slovenskem elektroenergetskem prostoru tako obstaja ogromno znanja in izkušenj s tehnologijo MPLS, ki je medtem tudi v globalnem smislu postala ena glavnih tehnoloških usmeritev pri načrtovanju sodobnih TK

omrežij v elektroenergetskih podjetjih. Tako lahko MPLS štejemo kot tehnologijo nove generacije, saj zagotavlja storitve in pogoje, ki jih sodobni uporabniki TK omrežij zahtevajo, po drugi strani pa je intenziven razvoj standardov, sistemov in njihove uporabe v TK omrežjih v zadnjih 15 letih zagotovil zrelost tehnologije, kar je pomembno za elektroenergetske sisteme, kjer morajo TK sistemi delovati zanesljivo in zagotavljati visoko razpoložljivost TK storitev.

Ko omenjamo sobivanje večih TK omrežij sta v elektroenergetskih sistemih v Sloveniji prisotni dve tehnološki skupini:

- TDM, ki uporablja SDH na ravni optičnega prenosnega sistema za prenosne kapacitete od E1 navzgor (E3, STM-1/4/16) ter fleksibilne multiplekserje (FMX) na ravni storitvenega sloja za malokilobitne (serijske, analogne in digitalne) TK storitve od kapacitet 9600 bit/s do 2 Mbit/s. Integracija funkcij multiplekserjev, digitalnih povezovalnikov in bank kanalskih enot so tovrstnim sistemom v preteklosti dale odlične možnosti za zagotavljanje TK storitev v zahtevnem elektroenergetskem okolju.
- Paketni sistemi, ki sicer uporabljajo več različnih tehnoloških rešitev, med katerimi je najpogosteje uporabljena stikalna tehnologija Ethernet, ki temelji na Ethernet stikalih, ki izvajajo večslojno preklapljanje paketov – Ethernet in IP. Poleg stikal je v čedalje večjem številu prisotna tudi MPLS tehnološka rešitev, ki temelji na uporabi MPLS usmerjevalnikov. MPLS LSP poti med usmerjevalniki predstavljajo skupne poti za prenos različnih telekomunikacijskih storitev, ki so podrobneje opisane v nadaljevanju članka.

Osnovni izziv, s katerim se srečujemo načrtovalci telekomunikacijskih sistemov za elektroenergetska podjetja predstavlja snovanje telekomunikacijskih omrežij, ki bodo na eni strani dolgoročno zdržna tako z vidika uporabljene tehnologije, kakor stroškovnih vidikov investicij in obratovanja, na drugi strani pa zagotovila vse ključne systemske parametre, v prvi vrsti visoko razpoložljivost, varnost in fleksibilnost za širok nabor uporabnikov, ki se povezujejo preko elektroenergetskih TK omrežij.

II. IP/MPLS KOT KONVERGENČNA TEHNOLOGIJA TK OMREŽIJ

Telekomunikacijsko omrežje je vedno v vlogi nosilca uporabniških storitev - aplikacijskih sistemov in v tem

smislu predstavlja agregacijski sistem, ki mora zahtevane storitve zagotavljati na način, ki ne povzroča medsebojnega sovpliva ali celo izključevanja med posameznimi uporabniškimi sistemi. V elektroenergetskih podjetjih zasledimo širok razpon različnih uporabnikov:

- Poslovni sistemi (npr. poslovno komunikacijsko omrežje, podatkovni centri, telefonija, Internetne povezave, itd), ki pretežno slonijo na protokolu IP;
- Procesni tehnični sistemi (npr. centri vodenja, sistemi zaščit, sistemi različnih meritev – števnih, kakovosti električne energije, telefonije po objektih RTP, RP), s prehodi na standarde, kot sta IEC 61850 in IEC 60870-5-104 postajata prevladujoča Ethernet in IP, vendar je v tem segmentu izredno pomembno, da upoštevamo tudi sisteme, ki temeljijo na tehnologiji TDM. Prehod med tehnologijami je podvržen daljšemu ciklu, saj je vezan na zahtevnejše procese, kot so npr. menjave in posodobitve sekundarne opreme na RTP objektih. Z vidika TK sistemov lahko trdimo, da smo in bomo v obdobju prehodov na polno IP tehnološko ozadje priča najzahtevnejšim in raznolikim zahtevam glede TK storitev.
- Zunanji sistemi, v kolikor se TK omrežje elektroenergetskega podjetja uporablja za koriščenje viškov za potrebe trženja TK storitev, kar je v svetu pogosta praksa, ravno tako pa tudi v slovenskem elektroenergetskem TK okolju. Poslovni subjekti, ki tovrstne storitve najemajo zahtevajo in pričakujejo izključno storitve, ki temeljijo na Ethernet in IP protokolih. Ključnega pomena je visoka razpoložljivosti in večje pasovne širine, ki jih danes podjetja potrebujejo zaradi močne in razširjene aplikativne informacijske podpore poslovnim procesom.

	Poslovni sistemi v EE podjetjih	Procesni tehnični sistemi	Zunanji uporabniki
Razpoložljivost storitev	visoka	zelo visoka	srednja do visoka
Varnost	zelo visoka	zelo visoka	srednja* do visoka
Vrste zahtevanih storitev	L2 (Ethernet) L3 (IP)	TDM** L2 (Ethernet) L3 (IP)	L2 (Ethernet) L3 (IP)
Zakasnitve	srednje (10ms<d<100ms)	zelo majhne (d<10 ms)*** do srednje (10ms<d<100ms)	Srednje (10ms<d<100ms)
Spremembe zakasnitev	srednje	majhne	srednje
Izguba paketov	majhna	zelo majhna	majhna
Učinkovitost obratovalnih postopkov	visoka	zelo visoka	visoka

*zunanji uporabniki sami skrbijo za varnost njihovih IKT sistemov
 **gre za storitve serijskih povezav RS232/v.24 (običajno 9600but/s), analognih povezav E&M, analognih telefonskih povezav ATC-ATA, povezav G.703 64 kbit/s kodirekionalno, nx64 kbit/s X.21 ali V.35, E1, E3 in SDH storitev STM1/4/16
 *** nekatere storitve, npr. prenos kriterija distančne zaščite zahtevajo zelo nizke zakasnitve pri prenosu preko TK omrežja, krajše od 10ms.

Slika 1: Tabela – segmenti uporabnikov TK omrežij v elektroenergetskem sistemu in njihove zahteve
 Tabela na sliki 1 prikazuje tehnološke sistemske parametre glede na posamezen segment uporabnikov ter zahteve glede njihovih temeljnih lastnosti, ki jih mora izpolnjevati telekomunikacijsko omrežje.

Druga skupina parametrov, ki vplivajo na izbor in načrtovanje TK omrežja za elektroenergetsko podjetje je vezana na stroškovne vidike, ki jih delimo na stroške investicij (ang. CAPEX) in stroške obratovanja (ang. OPEX). Tematika stroškovnega vrednotenja TK tehnoloških rešitev je široka, z vidika obravnave v tem članku se je pomembno zavedati, da z izborom in načrtovanjem konvergenčnega TK omrežja pomembno vplivamo na stroške, saj enovita infrastruktura pomeni zniževanje stroškov, pri čemer se na drugi strani zahtevnost uporabnikov glede TK storitev zaostruje. Pomembno je tudi dejstvo, da t.i. TCO (ang. Total Cost of Ownership) – stroške posesti sestavlja seštevek investicijskih in obratovalnih stroškov. Obratovalni stroški so vezani na življenjsko dobo TK omrežja in so mnogokrat prezrti v fazi načrtovanja TK omrežja. Načrtovanje in gradnja konvergenčnih tehnoloških rešitev v telekomunikacijskih omrežjih predstavlja enega ključnih ukrepov za zniževanje stroškov posesti, saj vpliva na obe komponenti – investicijske in obratovalne stroške.

A. KRATKA ZGODOVINA IN OSNOVNI POJMI TEHNOLOGIJE MPLS

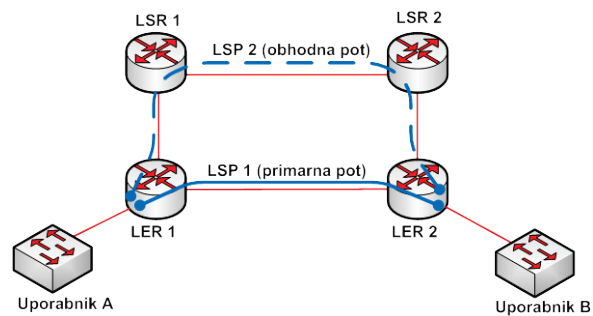
MPLS se je tehnološko začel razvijati pred skoraj 20 leti, ko so nekatera velika podjetja s področja IKT uvedla lastne tehnološke rešitve, katerih osnovni namen je bil preseči takratne omejitve protokola IP za uveljavljanje v operaterskih TK omrežjih. Nepovezavnost, nezmožnost prometnega inženiringa, pomanjkanje mehanizmov QoS so bile omejitve, ki so to preprečevale, po drugi strani pa je število IP naprav, ki so potrebovale komunikacijsko povezljivost hitro naraščalo. Toshiba, IBM, Cisco in Ipsilon so razvili vsak svojo verzijo tehnologije, ki to omogoča, vendar je bilo popolnoma jasno, da se ne morejo uveljaviti, v kolikor ne bo prišlo do standardizacije in poenotenja. Tako je l. 1997 v okviru IETF nastala delovna skupina (WG) MPLS, z namenom razvoja in uveljavljanja standardov MPLS. Prve postavitve MPLS TK omrežij so se dogajale v l. 1999, prvi uradno sprejet standard RFC je bil v letu 2001, čemur pa je sledil skokovit porast standardov in tudi implementacij v TK omrežjih. Leto 2005 velja kot obdobje, ko je MPLS v omrežjih ponudnikov storitev postal prevladujoč tehnološki trend in začel preraščati dotedanja omrežja ATM in FR. Elektroenergetska podjetja, širom po svetu so začela tehnologijo MPLS uvajati v tem obdobju, danes po 15

letih tehnološkega razvoja tehnologije lahko ugotavljamo, da gre za zrelo in zanesljivo tehnološko rešitev, ki ustreza ostrim zahtevam v tem okolju.

Potrebno je zapisati, da so slovenska elektroenergetska podjetja pomembno prispevala k razvoju MPLS TK omrežij, saj so se prvi načrti in implementacije te tehnologije pojavili že v l. 2002, ko je ELES zgradil prvo IP/MPLS omrežje v Sloveniji, ki se je do danes razvilo v eno osrednjih TK omrežij elektroenergetskega sistema v Sloveniji. V začetni fazi se je omrežje uporabljalo za potrebe poslovnih sistemov v podjetju ter zunanjih uporabnikov, kasneje pa je omrežje začelo prevzemati tudi storitve za nekatere procesne tehnične sisteme. Danes se podjetja v elektroenergetskem sistemu odločajo za uporabo MPLS tehnologije tudi za zahtevne uporabnike, kot so npr. sistemi vodenja. IEC 60870-5-104, kot komunikacijski protokol na ravni center vodenja – RTP (za komunikacijo med sistemom EMS in RTU napravami) temelji na uporabi sklada Ethernet/IP, za razliko od prejšnjega množično uporabljenega standarda IEC 60870-5-101, kjer komunikacija center vodenja – RTP temelji na serijskih povezavah, najpogosteje RS232. Takorekoč naravna komunikacijska tehnologija za prenos informacij med centrom vodenja oz. centroma vodenja (če je v konfiguraciji glavni in rezervni) in RTP po protokolu IEC 60870-5-104 je tista, ki temelji na protokolu IP. Ker pa je treba paketom IP na poti med centrom vodenja in RTP postajami elektroenergetskega sistema podeliti lastnosti povezanosti, visoke razpoložljivosti, prometnega inženiringa, kakovosti ter nadzora in upravljanja za prenos med končnimi točkami je MPLS pravzaprav logična posledica naštetega, upoštevajoč še dejstvo, da se bodo preko TK omrežja prenašale tudi storitve drugih uporabnikov, lahko z diametralno drugačnimi potrebami in zahtevami.

MPLS (ang. Multi Protocol Label Switching) predstavlja skupek mehanizmov katerih osnovna ideja je bila razviti tehnološko rešitev, ki preko TK omrežja prenaša različne vrste protokolov z uporabo virtualnih povezav – tunelov. Za tako delovanje je bilo potrebno določiti način identifikacije tunelov, ki je v osnovi zelo preprost – uporaba standardizirane oblike glave paketa – labele, ki je dolga 32 bitov (4 byte). Omrežne naprave – MPLS usmerjevalniki vrste LER (ang. Label Edge Router) dodajajo in odvzemajo labele paketom IP (in paketom ali celicam ostalih vrst protokolov) ter izvajajo preklapljanje paketov MPLS v usmerjevalnikih vrste LSR (ang. Label Switched Router) na osnovi label, ki jih uporabljajo posredovalne tabele v usmerjevalnikih.

Slika 2 prikazuje osnovne gradnike preprostega MPLS sistema.



Slika 2: Osnovni gradniki v omrežju MPLS

S prehodom paketov z ustrezno labelo MPLS od izvora do ponora preko vmesnih TK vozlišč se ustvari t.i. LSP pot (ang. Label Switched Path). Standard IETF RFC 3032 opredeljuje zgradbo labele, znotraj katere je na voljo 20 bitov za naslovni prostor, kar daje možnosti za 2^{20} (1.048.576) različnih labelnih vrednosti. Dodatna možnost je dvojni sklad labele, kar navedene vrednosti poveča do vrednosti, ki še dolgo ne bodo v nobenem TK omrežju predstavljale omejitev. V omrežju morajo za vzpostavitev LSP poti in mehanizmov, ki vplivajo nanje poskrbeti signalizacijski protokoli, ki so izključno standardizirani signalizacijski protokoli (LDP, RSVP). Vzpostavitev LSP poti v TK omrežju predstavlja temelj za vzpostavitev navideznih omrežij (VPN-ov) oz. s tem virtualizacijo storitev v TK omrežju. To je izredno pomembno z vidika konvergenca storitev znotraj enovite TK infrastrukture. Koncept VPN-ov predstavljan tudi enega od temeljev varnosti v TK omrežjih, saj so z virtualizacijo omrežij zagotovljeni mehanizmi za medsebojno ločitev storitev različnih uporabnikov, brez možnosti medsebojnih vplivov in vdorov.

Konceptualno so že tehnologije pred uvedbo MPLS uporabljale podoben princip VPN-ov z uporabo virtualnih povezav/kanalov, (kot npr. ATM VC - ang. virtual channel), ki so služili za prenos podatkovnih, govornih in video storitev. Za uspešno uveljavitev tehnologije MPLS je bilo potrebno razviti in dodati še mehanizme, kot so prometni inženiring (TE, ang. traffic engineering), kakovost storitev (QoS, ang. Quality of Service), OAM mehanizme, visoko razpoložljivost in hitre preklopne čase na alternativne poti ob napakah ali okvarah v omrežju ter mehanizme za nadzor in upravljanje tovrstnih omrežij. Vse to je razvoj tehnologije MPLS dosegel, zato jo upravičeno umeščamo kot poglavitno tehnološko smer pri načrtovanju in gradnji telekomunikacijskih omrežij tudi v elektrogospodarskih sistemih, ne samo v omrežjih ponudnikov storitev.

B. STORITVE V OMREŽJIH MPLS

Standard IETF RFC 2764 opredeljuje vrste VPN omrežij, ki jih lahko uporabljamo za vzpostavitev storitev za uporabnike. Z vidika uporabe v konvergenčnem TK omrežju za elektroenergetska podjetja so pomembne naslednje vrste VPN-ov:

- VLL (ang. Virtual Leased Line) – osnovna karakteristika je topologija točka-točka in jo lahko primerjamo s storitvami najetih vodov v omrežjih TDM;
- VPLS (ang. Virtual Private LAN Segment) – osnovna karakteristika je topologija več točk – več točk in preklapljanje L2 Ethernet paketov znotraj domene VPLS;
- VPRN (ang. Virtual Private Routed Network), pogosto označevan tudi kot IP VPN - osnovna karakteristika je topologija več točk-več točk in temelji na usmerjanju in posredovanju IP paketov znotraj domene VRF.

S temi tremi vrstami VPN omrežij lahko vzpostavimo fleksibilno telekomunikacijsko omrežje, ki lahko zagotavlja storitve tako širokemu naboru uporabnikov, kot jih zasledimo v TK sistemih elektroenergetskih podjetij.

Storitve, ki so v omrežjih starejših tehnologij prevladovali – točka-točka lahko vzpostavimo z uporabo mehanizmov VLL. Z uporabo emulacije navideznih vodov od roba do roba - PWE3 (ang. Pseudo Wire Emulation Edge to Edge) lahko ustvarimo navidezni vod med dvema končnima točkama znotraj tunela MPLS – LSP poti in tako ustvarimo storitev za uporabnika. Vrste vodov, ki jih lahko ustvarimo preko MPLS LSP poti je več, kar nam omogoča prilagajanje uporabniškim napravam, saj se storitve zaključujejo na uporabniških vmesnikih omrežnih naprav, ki so značilni za posamezne vrste storitev. Pomembnejše vrste PWE3 vodov, ki jih lahko uporabimo so tako:

- ATM;
- FR;
- Ethernet;
- TDM.

Način umeščanja prvih treh naštetih vrst storitev preko MPLS omrežja opredeljuje standard IETF RFC 4905 (v preteklosti znan pod imenom "draft martini"). Umeščanje TDM storitev preko MPLS omrežja, ki jo označujejo tudi kot tokokrogovno emulacijo vodov CES (ang. Circuit Emulation Service) je možno z uporabo dveh metod, in sicer:

- CESoPSN, ki jo opredeljuje standard IETF RFC 5086. Umeščanje po tej metodi je možno za strukturirane TDM storitve, z granulacijo $n \times 64$ kbit/s, torej z obravnavo

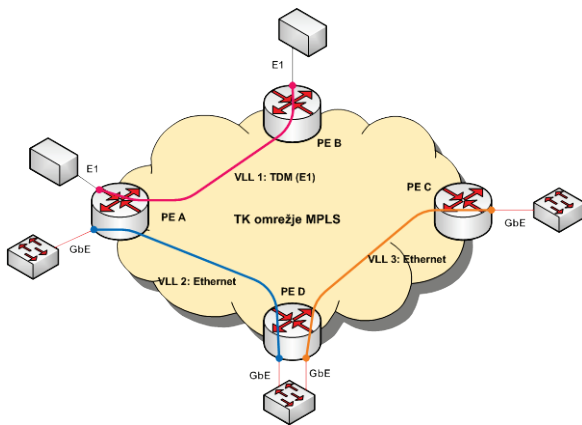
posameznih časovnih oken znotraj strukture E1. Metoda je primerna za zagotavljanje TDM storitev preko MPLS omrežja za malokilobitne povezave npr. analogne in digitalne telefonske kanale, podatkovne serijske povezave hitrosti 2400/4800/9600/192000 bit/s ali serijske povezave $n \times 64$ kbit/s.

- SAToP, ki jo opredeljuje standard IETF RFC 4553. Umeščanje po tej metodi je možno za nestrukturirane TDM storitve E1 in E3. Metoda je primerna za zagotavljanje digitalnih povezav E1 (2 Mbit/s G.703), kjer ni potrebe po prepoznavanju strukture časovnih oken znotraj signala E1 v MPLS omrežju, npr. za povezovanje digitalnih telefonskih central s spojnimi vodi E1 ali multipleksne opreme starejšega izvora, ki ji želimo podaljšati življenjski cikel obratovanja.

Za izrabo v TK omrežjih elektrogospodarskih podjetij sta z vidika storitev VLL pomembni Ethernet in TDM vrsti emulacije vodov, saj z njima lahko zagotovimo velik del storitev uporabnikom, ki bodisi zahtevajo Ethernet vrste transparentnih povezav (z Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet priključnimi vmesniki, vendar dodelitvijo poljubne hitrosti do vršne kapacitete vmesnika), bodisi TDM storitve, ki smo jih prej prenašali preko SDH in FMX omrežij.

V omrežjih TDM je bila za pravilno delovanje storitev, brez izgube bitov pomembna sinhronizacija na ravni omrežja, ki je morala biti sistemsko rešena z uvedbo sinhronizacijskega signala iz preciznih virov. Sinhronizacijski takt je bil potem v skladu z načrtom distribucije razpršen v omrežju z uporabo različnih mehanizmov, najpogosteje prenosom preko spojnih povezav. Za ustrezen prenos TDM storitev preko paketnega omrežja mora biti ravno tako poskrbljeno za sinhronizacijo, pri čemer obstaja več metod zagotavljanja sinhronizacije, kot so: zunanji referenčni vir (GPS), sinhronizacija preko TDM vmesnikov, sinhroni Ethernet ter IEEE 1588v2. Uporaba slednjega prinaša najboljše rezultate, poleg sinhronizacije takta pa poskrbi tudi za sinhronizacijo točnega časa za poljubne naprave v omrežju oz. uporabniške naprave. Distribucija signalov za sinhronizacijo v omrežju se lahko izvede preko storitev v MPLS omrežju.

Slika 3 prikazuje osnovni koncept storitev tipa VLL preko omrežja MPLS. S konceptom povezav točka-točka lahko vzpostavimo poljubno topologijo storitev v omrežju in se s tem prilagajamo uporabniškim potrebam in zahtevam.

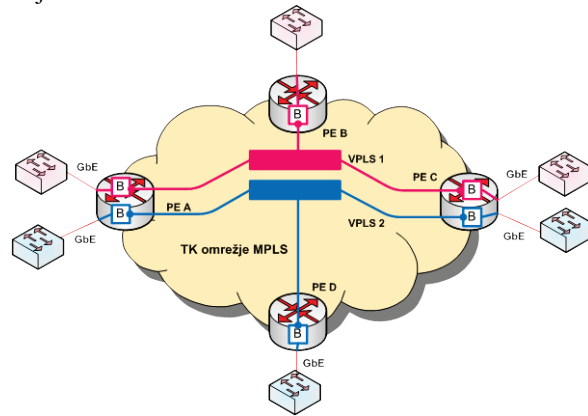


Slika 3: Storitve VLL preko omrežja MPLS

V obstoječih TK omrežjih elektroenergetskih podjetij je v uporabi večinoma Ethernet stikalna komunikacijska infrastruktura, ki lahko zagotavlja t.i. L2 storitve oz. storitve, ki jih omogočajo t.i. virtualni LAN – VLAN segmenti. Gre za zelo pogosto metodo virtualizacije na ravni Ethernet omrežja, ki se je izkazala za zelo preprosto, zanesljivo, varno in učinkovito. V smislu načrtovanja konvergenčnega TK omrežja pa postanejo VLAN oz. virtualni LAN segmenti smiselni v okviru jedrnega TK omrežja, kar zagotavlja VPLS vrsta virtualnega omrežja znotraj MPLS infrastrukture. VPLS predstavlja povezavo poljubnega števila končnih točk – vmesnikov Ethernet v virtualno stikalno večtočkovno topologijo. Znotraj ene domene VPLS se izvaja posredovanje Ethernet paketov med končnimi točkami na podlagi naslovov MAC, ki predstavljajo tudi osnovni element za vzpostavitev posredovalnih tabel v omrežnih napravah. Domene VPLS so medsebojno ločene in na ta način zagotavljajo komunikacijsko varnost uporabnikov. Z vidika končnih uporabnikov – uporabniških naprav ali stikal LAN omrežij, storitev VPLS zagotavlja enake pogoje, kot so jih ti uporabniki vajeni iz običajne Ethernet stikalne TK infrastrukture. Z uporabo mehanizmov, ki jih omogoča MPLS omrežje pa te storitve dobijo značaj visoke razpoložljivosti, kakovosti storitev, so podvržene omrežnim sistemom vodenja TK omrežij, predvsem pa dobijo boljše možnosti glede skalabilnosti ter sobivajo z ostalimi storitvami VLL in VPRN v istem TK omrežju – konvergenčnem omrežju. Za vzpostavitev povezav med vsemi končnimi točkami v domeni VPLS poskrbijo signalizacijski protokoli, pri čemer sta v uporabi dve metodi:

- VPLS z uporabo protokola BGP za signalizacijo, ki ga opredeljuje standard IETF RFC 4761;
- VPLS z uporabo protokola LDP za signalizacijo, ki ga opredeljuje standard RFC 4762.

Slika 4 prikazuje osnovni koncept VPLS domen v omrežju MPLS z uporabo virtualnih premoščevalnikov (B), ki so nastavljeni na posameznih vozliščih in preko katerih prihaja do posredovanja Ethernet paketov od izvora proti ciljnemu naslovu MAC.

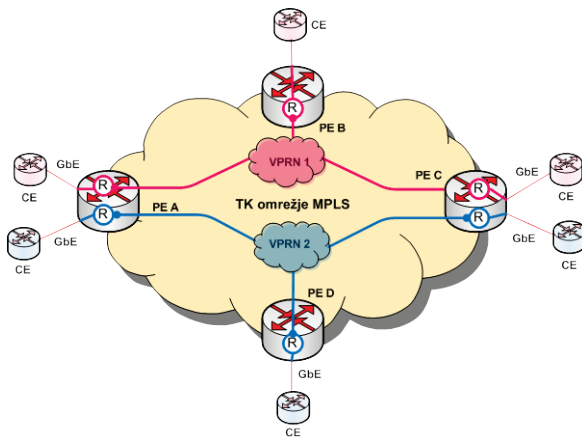


Slika 4: Storitve VPLS preko omrežja MPLS

Tretja komponenta, s katero načrtujemo konvergenčno TK omrežje so gradniki, ki zagotavljajo storitve na t.i. ravni L3 oz. IP VPN storitve, kar se v okviru MPLS TK infrastrukture zagotavlja z VPRN vrsto storitev. Za razliko od VPLS storitev, se znotraj VPRN domene izvaja usmerjanje prometa na osnovi naslovnega prostora IP. V vozliščih se vzpostavijo domene VRF (ang. Virtual Routing and Forwarding), znotraj katerih poteka usmerjanje prometa med ustreznimi logičnimi vmesniki. V omrežju se vzpostavi zahtevano število VRF domen, od katerih vsaka predstavlja zaključen segment za ustrezno število uporabnikov. VPRN vrsto storitve opredeljuje standard IETF RFC 4364. Osnovni mehanizem, ki ga z uporabo tega standarda zagotovimo je izmenjava IP usmerjevalnih smeri med udeleženci znotraj VRF domene. Uporabniške naprave – usmerjevalniki (CE) oglašujejo usmerjevalne smeri robnim MPLS usmerjevalnikom (PE). Znotraj MPLS omrežja pa mora signalizacijski protokol izvršiti oglaševanje usmerjevalnih smeri med vsemi PE usmerjevalniki, na katerih se vzpostavlja dotična IP VPN (VPRN) domena. Signalizacijski protokol, ki se uporablja v te namene je BGP (ang. Border Gateway Protocol). Tako se vzpostavijo IP VPN omrežja, ki so medsebojno ločena, kar je temeljna zahteva glede varnosti, ker pa so posamezne VPN domene medsebojno neodvisne se lahko naslovi IP, ki se uporabljajo znotraj ene domene, uporabljajo tudi v poljubni drugi domeni, kar močno olajša implementacijo takšnih storitev, saj ni potrebe po medsebojnem usklajevanju.

Slika 5 prikazuje osnovni koncept VPRN storitev v omrežju MPLS z uporabo VRF domen oz. virtualnih usmerjevalnikov (R). Prikazana shema predstavlja

logične povezave, omrežje MPLS s svojimi mehanizmi in omrežno topologijo zagotavlja povezljivost med posameznimi virtualnimi usmerjevalniki preko LSP poti, ki jim z metodami vzpostavitve dodelimo lastnosti visoke razpoložljivosti, prometnega inženiringa kakovosti storitev ter sledenja preko sistema vodenja TK omrežja.



Slika 5: Storitve VPRN preko omrežja MPLS

C. UPORABA STORITEV MPLS V TK OMREŽJIH EE PODJETIJ

Z naštetim naborom treh poglavitnih gradnikov VPN omrežij, ki jih imamo na voljo v omrežjih MPLS lahko zagotovimo vse vrste storitev, ki jih zahtevajo uporabniki TK omrežij v elektrogospodarskem podjetju, bodisi v sistemskem operaterju prenosnega omrežja, bodisi elektrodistribucijskem podjetju. Na ta način so zagotovljeni pogoji za vzpostavitev konvergenčnega TK omrežja, s katerim dosežemo dolgoročne cilje izrabe namenske telekomunikacijske infrastrukture. MPLS tehnologija je tudi z vidika dolgoročne perspektive smiselna izbira, saj pogled v industrijo telekomunikacijskih sistemov in rešitev kaže na nadaljnjo rast tovrstnih sistemov, to se odraža tudi v porastu MPLS omrežnih rešitev za potrebe elektrogospodarskih TK omrežij.

S posameznimi vrstami storitev MPLS zagotovimo naslednje vrste storitev za uporabnike v TK omrežjih elektrogospodarskih podjetij:

VLL

Z uporabo CES (TDM storitve preko MPLS) lahko zagotovimo vse storitve, ki so jih zagotavljala omrežja TDM:

- Serijske povezave točka – točka (npr. RTU z V24 vmesnikom – center vodenja), katerekoli prenosne kapacitete za potrebe

vodenja (SCADA), ki temelji na protokolu IEC 60870-5-101.

- Analogne povezave med napravami, ki koristijo E&M žične priključke, kot so npr. modemi ali priključki na analognih vmesnikih telefonskih central.
- Analogne povezave med terminalsko opremo telefonskih terminalov (ATC/FXS) in analognimi priključki telefonskih central – (ATA/FXO).
- Serijske povezave hitrosti nx64 kbit/s in uporabo vmesnikov X.21 in V.35, kot so npr. modemi ali multipleksna oprema.
- Povezave E1 med digitalnimi telefonskimi centralami ali prenosno opremo z E1 vmesniki, ponekod pa tudi sistemi za prenos kriterija distančne zaščite, ki uporabljajo E1 izhode.
- Storitve SDH, prenosnih kapacitet STM-1/4.
- Digitalne povezave za naprave, ki koristijo vmesnike G.703 64 kbit/s kodirekcionalno, kot so npr. sistemi za prenos kriterija distančne zaščite.

Z uporabo Ethernet vrste VLL-ov vzpostavljamo storitve med napravami, ki koristijo Ethernet vmesnike, kot so npr. omrežne povezave med stikali Ethernet. Z uvajanjem novih standardov na področju sistemov zaščit, kot je npr. IEC 61850-9-2, ki definira komunikacijske protokole med RTP postajami pa se pojavljajo sistemi zaščit z Ethernet vmesniki. Ethernet vrsta VLL storitve omogoči povezave s majhnimi zakasnitvami, visoko stopnjo razpoložljivosti, saj z uporabo FRR (ang. Fast Reroute) dosežemo preklone čase na obhodno pot <50 ms.

VPLS

Storitve virtualnih LAN omrežij znotraj MPLS infrastrukture so primerne za uporabo v naslednjih primerih:

- Poslovno omrežje LAN s poljubnim številom končnih Ethernet stikal, ki se povezujejo v VPLS.
- Sistem vodenja (SCADA), ki temelji na Ethernet/IP protokolnem skladu, kot je na primer IEC 60870-5-104. Komunikacija center vodenja – RTP postaje se zagotovi znotraj ene ali več VPLS domen, omrežje MPLS obravnava zgolj L2 pakete, IP usmerjanje izvajajo komunikacijske naprave, ki so v domeni sistema vodenja.
- Povezovanje objektov, ki uporabljajo komunikacijski model v skladu z IEC 61850, kot je primer izmenjava GOOSE sporočil med poljubnim številom Ethernet končnih točk.

- Sistemi meritev (števnih, obračunskih), kjer je potrebno merilne naprave povezati s centralno aplikacijo.
- Sistemi meritev kakovosti električne energije, kjer je potrebno analizatorje povezati s centralno aplikacijo.
- Prenos signalov za sinhronizacijo takta omrežnih naprav ter sinhronizacijo časa v omrežju, kot je npr. prenos protokola IEEE 1588v2, ki ga uporablja čedalje večji nabor naprav v elektroenergetskih sistemih.
- Povezljivost VoIP do oddaljenih objektov.

VPRN

Z uporabo VPRN zagotavljamo storitve, ki zahtevajo usmerjanje IP paketov znotraj domene IP VPN. Uporaba VPRN v MPLS omrežju je primerna za:

- Poslovna omrežja, kjer se uporabniška omrežja povezujejo preko robnih IP usmerjevalnikov in/ali VPN/FW naprav.
- Telefonijo IP, kjer so potrebni usmerjevalni mehanizmi med napravami v domeni.
- Distribucijo internetnih storitev.
- Videonadzorne sisteme z uporabo kamer IP.
- Sisteme vodenja (SCADA) na osnovi protokola IP, v kolikor je zahtevana funkcionalnost usmerjanja.

Naštete so najpogostejše vrste storitev, ki jih danes zasledimo kot zahtevo v TK omrežjih elektrogospodarskih podjetij. Vendar to še zdaleč ni celoten nabor možnosti, ki jih nudi MPLS tehnologija. Zaradi univerzalnosti in visoke stopnje integracije protokolov in različnih mehanizmov znotraj tehnološke opreme MPLS usmerjevalnikov je možno naštete tri vrste VPN gradnikov prilagajati poljubni uporabi tudi v prihodnosti. Pomembna je tudi ugotovitev, da imamo za vzpostavitev določenih storitev na voljo različne vrste VPN-ov. Primer je uporaba VPLS ali VPRN za enako končno aplikacijo, pri čemer se za konkretno uporabo odločamo v odvisnosti in dogovorov na katerem sloju OSI sklada je v TK omrežju potrebno obravnavati pakete – pakete Ethernet (L2) ali pakete IP (L3).

Vkolikor se konvergenčno omrežje uporablja tudi za zunanje uporabnike lahko uporabimo vse naštete vrste storitev: VLL vrste Ethernet za povezovanje točka – točka, VPLS za t.i. L2 VPN storitve ter VPRN za t.i. L3 VPN storitve.

III. ZAKLJUČKI

Telekomunikacijska dejavnost v slovenskih elektroenergetskih podjetjih ima bogato zgodovino, zgrajena telekomunikacijska omrežja pa služijo

namenu, za katerega so bila zgrajena. Pomembna ugotovitev je, da je pridobljenega veliko znanja ter izkušenj, tako praktičnih, kakor teoretičnih, kar daje možnosti zagonu za novo obdobje načrtovanja in gradnje TK sistemov na osnovi sodobnih tehnologij, kot je ravno MPLS. Smo namreč v obdobju, ko je zaznati zaton omrežnih sistemov na osnovi TDM tehnologije (SDH, FMX), ki bodo sčasoma tudi usahnil, potrebe po storitvah, ki jih zagotavljajo pa ostajajo. Poleg tega se na drugi strani zahteve po Ethernet in IP storitvah povečujejo, naloga načrtovalcev TK sistemov pa je, da usmerjajo razvoj v TK sisteme, ki bodo omogočali čim bolj kompaktno TK infrastrukturo z dobro razvitimi storitvenimi mehanizmi za širok nabor uporabniških zahtev. S tega vidika so TK sistemi elektroenergetskih podjetij izredno zahtevni, saj morajo na drugi strani zagotavljati učinkovitost in enostavnost pri obratovanju, ker je število obratovalnega osebja v elektroenergetskih podjetjih po pravilu omejeno, opravljati pa mora zelo širok nabor nalog. Zato so obratovalna orodja, kot so sistemi vodenja TK omrežja (NMS) tudi za tehnologije, kot je MPLS izredno pomembni za optimalno obratovanje. NMS sistemi za vodenje TK omrežja MPLS morajo zagotavljati visok nabor funkcij upravljanja z alarmi, konfiguracijami, lastnostmi omrežja ter vzpostavljanja in vodenja storitev preko preglednih in učinkovitih orodij, podprtimi z intuitivnimi grafičnimi vmesniki.

Na voljo so torej tehnološke rešitve in orodja za obratovanje TK omrežja, ki zagotovijo prehod v enovito konvergenčno TK infrastrukturo elektroenergetskega podjetja, ki bo omogočila storitve za vse uporabnike, vključno s tistimi, ki potrebujejo storitve TDM. Hkrati pa je pomembno povečanje učinkovitosti obratovanja in upravljanja z omrežjem ter zniževanje stroškov v dolgoročnem smislu, saj je poudarek na celotnem strošku posesti.

Največji izziv, ki je pred nadaljnjim uvajanjem konvergenčne TK infrastrukture vsekakor predstavlja prehod storitev TK za sisteme zaščit na paketna TK omrežja. V preteklosti so bili pomisleki glede takšne uporabe vsekakor na mestu, saj gre za izjemno zahtevne storitve v TK omrežju. Z zrelostjo in visoko zanesljivostjo, ki ju je dosegla tehnologija MPLS, pa tovrstnih ovir ne bi smelo biti več, kar dokazuje tudi čedalje večje število storitev za sisteme zaščit preko paketnih TK omrežij v elektroenergetskih podjetjih po svetu.

REFERENCE

- [1] H. Peters: "Advanced Topics in Computer Networks, Fast Reroute in MPLS", Mathematische Fakultät Institut für Informatik Georg-August Universität Göttingen, July 2005
- [2] E. Rosen, D. Tappan, G. Fedorkow, Y. Rekhter, D. Farinacci, T. Li, A. Conta: "RFC

- 3032: MPLS Label Stack Encoding", International Engineering Task Force, januar 2001
- [3] B. Gleeson, A. Lin, J. Heinanen, G. Armitage, A. Malis: "RFC 2764: A Framework for IP Based Virtual Private Networks", International Engineering Task Force, februar 2000
- [4] L. Martini, Ed., E. Rosen, Ed., N. El-Aawar, Ed: "RFC 4905: Encapsulation Methods for Transport of Layer 2 Frames over MPLS Networks", International Engineering Task Force, junij 2007
- [5] A. Vainshtein, Ed., I. Sasson, E. Metz, T. Frost, P. Pate: " RFC 5086: Structure-Aware Time Division Multiplexed (TDM) Circuit Emulation Service over Packet Switched Network (CESoPSN)", International Engineering Task Force, december 2007
- [6] A. Vainshtein, Ed., YJ. Stein, Ed: " RFC 4553: Structure-Agnostic Time Division Multiplexing (TDM) over Packet (SAToP)", International Engineering Task Force, junij 2006
- [7] K. Kompella, Ed., Y. Rekhter, Ed.: " RFC 4761: Virtual Private LAN Service (VPLS) Using BGP for Auto-Discovery and Signaling", International Engineering Task Force, januar 2007
- [8] M. Lasserre, Ed., V. Kompella, Ed."RFC 4762: Virtual Private LAN Service (VPLS) Using Label Distribution Protocol (LDP) Signaling", International Engineering Task Force, januar 2007
- [9] E. Rosen., Y. Rekhter: "RFC 4364: BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs)", International Engineering Task Force, februar 2006
- [10] "Deploying IP/MPLS communications networks for Smart Grids", Alcatel-Lucent, 2012
- [11] P. Ceferin, I. Štih, Ž. Perko: "Rešitve in izkušnje pri uvajanju IP/Ethernet sistemov za prenos kriterija distančne zaščite", 10. Konferenca slovenskih elektroenergetikov, Ljubljana 2011