

UNIVERZA V LJUBLJANI
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**UVAJANJE SODOBNIH TELEKOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJ
IN STORITEV V ELEKTROENERGETSKA PODJETJA:
PRIMER SISTEMSKEGA OPERATERJA PRENOSNEGA OMREŽJA**

Ljubljana, september 2016

GORAN URŠIČ

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Goran Uršič, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom Uvajanje sodobnih telekomunikacijskih tehnologij in storitev v elektroenergetska podjetja: Primer systemskega operaterja prenosnega omrežja, pripravljenega v sodelovanju s svetovalko red. prof. dr. Borko Džonova Jerman Blažič.

IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil/-a samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel/-a, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil/-a;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne _____

Podpis študenta: _____

KAZALO

UVOD	1
1 OPIS OKOLJA ELEKTROENERGETSKI SISTEM V SLOVENIJI ...	3
1.1 Vloga sistemskega operaterja prenosnega omrežja v elektroenergetskem sistemu	3
1.2 Povezovanje z mednarodnim elektroenergetskim omrežjem	5
1.3 Opis dejavnosti telekomunikacij v elektrogospodarstvu	6
1.3.1 Namen telekomunikacijskih storitev v elektrogospodarstvu	6
1.3.2 Telekomunikacije za potrebe elektroenergetskega sistema	7
1.3.3 Osnovne pričakovane lastnosti TK-sistema v elektroenergetskih okoljih	9
2 NAČRTOVANJE TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV	11
2.1 Proces planiranja omrežja	12
2.2 Načrtovanje omrežnih tehnologij glede na omrežne plasti	13
2.3 Načrtovanje kibernetske varnosti	14
2.3.1 Identifikacija kritičnih sistemov	17
2.3.2 Segmentacija omrežja/Izolacija sistemov	18
2.3.3 Globinska obramba	20
2.3.4 Nadzor nad dostopom	21
3 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA TELEKOMUNIKACIJSKEGA SISTEMA SOPO IN ZAHTEVE UPORABNIKOV PO TELEKOMUNIKACIJSKIH STORITVAH.....	22
3.1 Zgradba telekomunikacijskega sistema	22
3.2 Optično omrežje	24
3.3 NG SDH-omrežje	26
3.4 Podatkovno omrežje 2 - PO2	28
3.5 Podatkovno omrežje 1 – PO1	32
3.6 DWDM-omrežje	34
4 ANALIZA STANDARDOV NA PODROČJU TELEKOMUNIKACIJ V ELEKTROENERGETSKIH SISTEMIH.....	35
4.1 Standard IEC 60870-5-103	35
4.2 Standard IEC 60870-5-104	35
4.3 Standard IEC 60870-6/TASE.2 – ICCP	36
4.4 Standard IEC 61850	37
4.5 Standard DNP3	39
5 IZVEDBA PREHODOV IZ STREJŠIH TELEKOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJ NA OBSTOJEČE	40
5.1 Primerjava različnih variant načrtovanja omrežja pred izvedbo prehoda na nove telekomunikacijske tehnologije	40
5.1.1 Varianta 1: Transparenten prenos prometa TDM preko paketnega omrežja.....	41
5.1.2 Varianta 2 : Prenos prometa preko NGSDH-omrežja	41

5.2	Primerjava pristopov	42
6	ANALIZA ZAHTEV UPORABNIKOV TK-STORITEV	44
6.1	Notranji uporabniki TK-storitev	45
6.1.1	Energetski uporabniki TK-storitev	45
6.1.2	Uporabniki TK-storitev področje poslovnega sistema.....	49
6.2	Uporabniki TK-storitev iz elektroenergetskih podjetij	49
6.3	Zunanji uporabniki storitev	50
6.4	Opis novih telekomunikacijskih tehnologij	52
6.4.1	Tehnologija OTN in DWDM	52
6.4.2	Tehnologija IP/MPLS	54
6.4.3	Tehnologija SDN in NFV	58
6.4.3.1	Opredelitev konceptov SDN in NFV	58
6.4.3.2	Relacije med SDN in NFV konceptoma	60
6.5	Uvajanje SDN in NFV v elektroenergetska IKT-okolja.....	62
7	PRIMER NAČRTOVANJA IN OVREDNOTENJE INVESTICJE ZA PRENOVO OMREŽJA PO2	64
7.1	Načrtovanje funkcionalnosti naprav za vključitev v omrežje PO2.....	64
7.1.1	Načrtovanje lastnosti in funkcionalnosti naprav v agregacijskem segmentu omrežja PO2.....	65
7.1.2	Načrtovanje lastnosti in funkcionalnosti naprav v PO2 jedru omrežja.....	66
7.1.3	Verifikacija tehnične rešitve pred prenovo PO2	66
7.2	Ovrednotenje investicije za prenovo omrežja PO2.....	70
7.2.1	Investicijska vrednost prenove omrežja	71
7.2.2	Stroški obratovanja.....	71
7.2.2.1	Stroški vlaganja zaradi izteka življenjske dobe	71
7.2.2.2	Stroški vzdrževanja.....	72
7.2.2.3	Oportunitetni strošek zakupa kapacitet na trgu.....	72
	SKLEP	73
	LITERATURA IN VIRI.....	76

KAZALO TABEL

Tabela 1:	Stopnja razpoložljivosti omrežja in čas nedelovanja storitve v min/leto	10
Tabela 2:	Dodajanje konteksta pri avtentifikaciji uporabnika za krepitev nadzora nad pristopom.....	21
Tabela 3:	Primerjava pristopov	42
Tabela 4:	Pregled in analiza TK-storitev za potrebe vodenja energetskega sistema z vidika komunikacijskih zahtev	45

Tabela 5: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe vodenja energetskega sistema z vidika obratovalnih zahtev.....	46
Tabela 6: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe sekundarnih sistemov z vidika komunikacijskih zahtev	46
Tabela 7: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe sekundarnih sistemov z vidika obratovalnih zahtev.....	47
Tabela 8: Pregled in analiza TK-storitev za izmenjave podatkov z vidika komunikacijskih zahtev.....	47
Tabela 9: Pregled in analiza TK-storitev za izmenjave podatkov z vidika obratovalnih zahtev.....	48
Tabela 10: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe poslovno informacijskega sistema z vidika komunikacijskih zahtev	49
Tabela 11: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe poslovno informacijskega sistema z vidika obratovalnih zahtev.....	49
Tabela 12: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektro energetskega podjetij z vidika komunikacijskih zahtev	50
Tabela 13: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektroenergetskih podjetij z vidika obratovalnih zahtev.....	50
Tabela 14: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe zunanjih uporabnikov z vidika komunikacijskih zahtev	51
Tabela 15: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektroenergetskih podjetij z vidika obratovalnih zahtev.....	51
Tabela 16: Investicijski izdatki v € po postavkah.....	71
Tabela 17: Strošek vlaganja zaradi izteka življenjske dobe po letih	71
Tabela 18: Podrobnejša delitev letnih stroškov vzdrževanja.....	72
Tabela 19: Skupni stroški nakupa TK-storitev na trgu, v primeru zakupa telekomunikacijskih storitev na trgu.....	73

KAZALO SLIK

Slika 1: Pozicija prenosnega omrežja.....	4
Slika 2: Vloga SOPO-a v EES.....	4
Slika 3: Shema zagotavljanja TK-storitev za EES sistem	8
Slika 4: Proces načrtovanja omrežij in povezave z ostalimi aktivnostmi.....	12
Slika 5: Interaktivno načrtovanje pod procesov za različne scenarije in rešitve	13
Slika 6: Faze procesa planiranja v povezavi z omrežnimi plastmi.....	13
Slika 7: Relacije med poslovnim, tehničnim in operativnim načrtu.....	14
Slika 8: kibernetški napadi po področjih industrije v letu 2012 v %.....	14
Slika 9: Kibernetški napadi po področjih industrije v letu 2013 v %.....	15
Slika 10: Kibernetški napadi po področjih industrije v letu 2014 v %.....	15
Slika 11: Procesni diagram za ugotavljanje sistemov opredeljenih kot kritični.....	18

Slika 12: Topologija varnostnih con po plasteh	19
Slika 13: Globinska obramba z ustreznimi zaščitnimi ukrepi	20
Slika 14: razvrstitev telekomunikacijskih tehnologij in medijev po slojih	22
Slika 15: prikaz sestave telekomunikacijskega omrežja	23
Slika 16: Pozicija optičnih kablov na daljnovodnem stebru	24
Slika 17: Arhitektura NG-SDH-omrežja	28
Slika 18: Arhitektura obstoječega TK omrežja PO2	29
Slika 19: Topologija obstoječega TK omrežja PO2	30
Slika 20: Topologije jedra omrežja PO1	33
Slika 21: Topologije regijskega obroča PO1	33
Slika 22: Zgradbe lokalnega omrežja na posamezni lokaciji in povezovanje v omrežje PO1	34
Slika 23: Povezovanje centrov vodenja z uporabo protokola ICCP	37
Slika 24: Arhitektura komunikacijskega vozlišča po standardu 61850	38
Slika 25: Arhitektura sistema po standardu DNP3	39
Slika 26: Prikaz komunikacijskih poti in sistemov za potrebe vodenja EES pred migracijo na sodobne tehnologije	40
Slika 27: Implementacija večstoritvenih dostopovnih platform	41
Slika 28: Implementacija z uporabo NGSDH-omrežja	42
Slika 29: Prikaz storitev po uporabnikih in tipih storitev	44
Slika 30: Združevanje optičnih signalov preko DWDM-sistema	52
Slika 31: Uvrščanje storitev v optični kanal	53
Slika 32: Princip OTN/DWDM sistema	54
Slika 33: Osnovni gradniki v omrežju MPLS	55
Slika 34: Storitve VLL preko omrežja MPLS	56
Slika 35: Storitve VPLS preko omrežja MPLS	57
Slika 36: Storitve VPRN preko omrežja MPLS	57
Slika 37: Osnovni koncept SDN: ločitev kontrolne in podatkovne ravni v omrežju	58
Slika 38: Virtualizacija omrežnih funkcij z uporabo SDN	59
Slika 39: Relacije med SDN, NFV in aplikativnim rešitvam	60
Slika 40: Uvedba NFV koncepta za IP VPN-storitve	63
Slika 41: Uvedba NFV koncepta v elektroenergetska okolja – primer virtualizacije funkcij IED-naprav na RTP-postaji	64
Slika 42: Primer testne postavitve omrežja za preverjane verifikacije tehnične rešitve	66

UVOD

Elektrogospodarstvo neprestano teži k učinkovitosti, zanesljivosti in cenovno učinkovitejšim načinom zagotavljanja električne energije. Za upravljanje in nadzorovanje energetskega sistema so zanesljive in varne telekomunikacijske (v nadaljevanju TK) storitve, pomemben dejavnik za ustrezno delovanje celotnega elektroenergetskega sistema. Načrtovanje, izgradnja in upravljanje telekomunikacijskih omrežij je eden od najpomembnejših dejavnikov pri zagotavljanju TK-storitev, kjer je treba predvideti tehnične odgovore na različne stresne situacije, pri katerih lahko zunanji dejavniki spremenijo zanesljivost in ogrozijo neprekinjeno delovanje storitev.

SOPo sistemski operater prenosnega omrežja gradi svoje lastno TK-omrežje in s tem obvladuje tveganje in zagotavlja delovanja TK sistemov za potrebe upravljanja energetskega sistema. Pri načrtovanju in gradnji sistemov informacijsko-komunikacijske tehnologije (v nadaljevanju IKT) je treba upoštevati tudi potrebe po IKT-storitvah, ki jih potrebujejo poslovni informacijski sistemi, ter potrebe in zahteve različnih podpornih procesov pri izvajanju energetske storitve in trgovanju z viški telekomunikacijskih kapacitet na trgu telekomunikacij.

V infrastrukturnih podjetjih in elektroenergetskih sistemih so v preteklosti načrtovali telekomunikacijske sisteme namensko za posamezne aplikacije oziroma specifične uporabniške skupine. Na primer posebno omrežje za govorno komunikacijo, omrežje prenosa podatkov števčnih meritev, omrežje za prenos kriterijev zaščite, omrežje za vodenje energetskega sistema. Omrežja se je ločevalo zaradi različnih zahtev glede specifičnih zahtev posameznih storitev. Tako ločevanje omrežij na fizičnem nivoju je bilo sprejeto kot splošno uveljavljen model elektroenergetskih sistemih po svetu. Vendar ima tak model številne omejitve predvsem z vidika izkoriščenosti virov in cenovno učinkovitostjo. Z vpeljavo novih rešitev, ki temeljijo na MPLS tehnologiji, ki združuje najboljše prakse in rešuje pomanjkljivosti starejših telekomunikacijskih tehnologij, odpravimo razdrobljenost storitev po različnih sistemih, odvisnost telekomunikacijskih sistemov od uporabniških vmesnikov in omogoča postopen prehod na sodobne komunikacijske protokole (Tanterdtid & Pao-on, 2003).

V okviru magistrskega dela bom raziskal teoretična izhodišča načrtovanja telekomunikacijskih sistemov. Obdelal bom izhodiščne zahteve IKT-storitev s strani energetske, poslovne in komercialne uporabnike, ter s tem opredelil namenskost in funkcionalne okvire načrtovane telekomunikacijske infrastrukture (Mohagheghi, Stoupis, & Wang, 2009). Preučil bom, kako so navedena področja med seboj prepletena, kako vplivajo eno na drugo ter na kakšen način lahko razumevanje obravnavane problematike pripomore k uspešnejšemu uvajanju IKT tehnologij in rešitev.

Namen magistrskega dela je oblikovanje predlogov ukrepov, projektnih rešitev in možnosti razvoja IKT-rešitev, ki jih elektroenergetsko podjetje lahko uporabi, da bi obšlo ovire, ki so prisotne ob uvajanju novih IKT-tehnologij zlasti glede na njihovo krajšo življenjsko dobo v primerjavi z energetske naprave, kar predstavlja velik problem glede zagotavljanja starejših storitev in protokolov na sodobni IKT-infrastrukturi .

Iz opisane problematike in opredeljenega namena magistrskega dela izhajajo naslednji bolj natančno definirani cilji:

1. Ugotoviti, kakšne so značilnosti potreb po telekomunikacijskih storitvah energetskih uporabnikov IKT-storitev.
2. Ugotoviti, kakšne so značilnosti potreb po telekomunikacijskih storitvah poslovnih (IT) uporabnikov IKT-storitev.
3. Ugotoviti, kakšne so značilnosti, potreb po telekomunikacijskih storitvah ne energetskih uporabnikov IKT-storitev (zunanjih uporabnikov storitev, ki se jih preko hčerinskega podjetja oddaja na trgu telekomunikacij).
4. Opredeliti področje upravljanja sprememb in ugotoviti, kako se soočiti s problematiko ob uvajanju novih IKT-tehnologij. Ugotoviti, kateri so ključni dejavniki uspeha za uspešno uvajanje in upravljanje sprememb.
5. Predstaviti dosednji razvoj telekomunikacijskega sistema. S primerjalno analizo ugotoviti, ali rešitve, navedene v strokovni literaturi, združuje večino prednosti z vidika povegljivosti, varnosti, prilagodljivosti in cenovne učinkovitosti
6. Analizirati dosednji razvoj izbranih telekomunikacijskih omrežij z vidika uporabljenih tehnoloških rešitev: opredeliti ključne težave ob vpeljavi in podati smernice za nadaljnji razvoj (Elektro inštitut Milan Vidmar, 2013).
7. Opredeliti, katere so varnostne grožnje, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju omrežja, in katere mehanizme vgraditi v ta omrežja. Analizirati sodobne IKT-rešitve s področja programsko definiranih omrežij (angl. *Software-defined networking*, v nadaljevanju SDN), virtualizacije omrežnih funkcij (angl. *network functions virtualisation*, v nadaljevanju NFV) in podatkovnih centrov ter pripraviti ustrezne predloge uvedbe tehnologij v energetske okolje, opisati SDN kot generalni koncept (se pravi ločitev kontrolnega sloja od omrežnega sloja), ključen namen takšne tehnologije pa je zagotoviti fleksibilnejša in cenovno optimalnejša omrežja ter večjo prilagodljivost glede na dinamiko uporabniških zahtev (Cahn, Hoyos, Hulse, & Keller, 2013).
8. Definirati način sobivanja "klasičnega" omrežnega modela in SDN/NFV ter načrtovati plan prehoda iz obstoječih tehnologij v SDN/NFV tehnologije.
9. Predstavitev projektne rešitve izbranih tehnologij, definiranje funkcionalnih zahtev, opredelitev ključnih storitev, ki jih mora tehnologija podpirati.

Na področju telekomunikacij se v zadnjem času vedno bolj uveljavlja SDN (ang. *Software defined networking*), ki prodira tudi na področje telekomunikacij v elektroenergetskih sistemih. V primerih, ko telekomunikacijska omrežja energetskih sistemov prevzamejo

vlogo ponudnika telekomunikacijskih storitev tudi za »neenergetske« uporabnike, SDN tehnologija poenostavi upravljanje in pregled nad telekomunikacijskimi omrežji (Fujitsu Network Communications Inc, 2014).

V magistrskem delu bom raziskal vplivne dejavnike pri razvoju in integraciji telekomunikacijskih sistemov, saj je njihova obravnava ključna za boljše razumevanje, ovrednotenje in analizo razvoja telekomunikacijskih storitev in sistemov. Prav tako razumevanje problematike lahko znatno pripomore k razumevanju potreb uporabnikov, predpisov in standardov ter tehnologij pri zagotavljanju IKT-storitev v elektroenergetskem okolju (UTC Research, 2006).

1 OPIS OKOLJA ELEKTROENERGETSKI SISTEM V SLOVENIJI

1.1 Vloga systemskega operaterja prenosnega omrežja v elektroenergetskem sistemu

SOPo opravlja naloge systemskega operaterja prenosnega omrežja. Dejavnosti systemskega operaterja, distribucijskega operaterja in dejavnost operaterja trga z električno energijo so obvezne državne gospodarske javne službe, ki so del elektroenergetskega sistema. »Systemski operater« pomeni pravno ali fizično osebo, ki opravlja dejavnost systemskega operaterja prenosa električne energije in je odgovorna za obratovanje, vzdrževanje in razvoj na določenem območju, za medsebojne povezave z drugimi sistemi, kadar je ustrezno, in za zagotavljanje dolgoročne zmogljivosti sistema za zadovoljitev razumnih potreb po transportu električne energije (Energetski zakon Ur. l. RS, št. 17/2014, v nadaljevanju EZ-1).

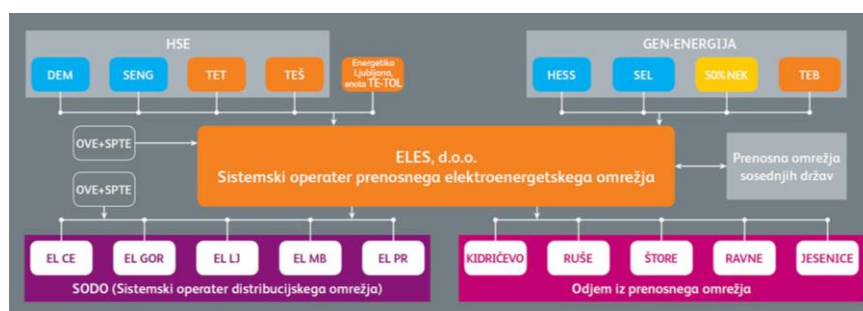
Elektroenergetski sistem je funkcionalna enota, ki praviloma obsega proizvodne enote, prenosno in distribucijsko omrežje ter porabnike, in je obenem regulacijsko območje. Slovensko elektroenergetsko omrežje je sestavni del slovenskega elektroenergetskega sistema. Sestavlja ga visokonapetostno prenosno omrežje, ki v sinhronem obratovanju služi za prenos električne energije od proizvodnih enot do distribucijskega omrežja in neposrednih odjemalcev ter za izmenjave s prenosnimi omrežji sosednjih elektroenergetskih sistemov, in distribucijsko omrežje, ki služi za prenos električne energije od prenosnega omrežja do končnega odjemalca. Slovensko elektroenergetsko omrežje je z vstopom Republike Slovenije (1. 5. 2004) v Evropsko unijo postalo tudi del vseevropskega energetskega omrežja, katerega namen je povečati energetske menjave med državami članicami in odpravljanje ozkih grl pri oskrbi z električno energijo (Računsko sodišče republike Slovenija, 2012).

Slika 1: Pozicija prenosnega omrežja



Vir: ELES d. o. o., *Prenašamo energijo. Prenašamo vrednote, 2015a.*

Slika 2: Vloga SOPO v EES



Vir: ELES d. o. o., *Prenašamo energijo. Prenašamo vrednote, 2015a.*

Gospodarska javna služba dejavnost sistemskega operaterja obsega (EZ-1, 2014):

- varno, zanesljivo in učinkovito obratovanje in vzdrževanje prenosnega sistema,
- razvoj sistema ob upoštevanju predvidenih potreb uporabnikov sistema, zahtev varnega in zanesljivega obratovanja sistema ter usmeritev razvojnega načrta sistemskega operaterja,
- zagotavljanje dolgoročne zmogljivosti prenosnega sistema, tako da ta omogoča razumne zahteve za priključitev na sistem in za prenos energije,
- upravljanje pretokov električne energije v prenosnem sistemu in zagotavljanje sistemskih storitev,
- izravnava odstopanj odjema, oddaje in čezmejnih prenosov v sistemu,
- posredovanje informacij, potrebnih za zagotovitev varnega in učinkovitega obratovanja, usklajenega razvoja in skladnega delovanja povezanih sistemov kateremu koli drugemu operaterju,
- zagotavljanje podatkov, potrebnih za učinkovito sklepanje pogodb o dobavi in uveljavljanje pravice do priključitve, uporabnikom sistema in dobaviteljem,
- nediskriminatorno obravnavo uporabnikov sistema in dobaviteljev,

- napoved porabe elektrike ter potrebnih energetskih virov z uporabo metode celovitega načrtovanja, z upoštevanjem varčevalnih ukrepov pri uporabnikih sistema,
- pobiranje plačil za prezasedenost in plačil v mehanizmu nadomestil med upravljavci prenosnih omrežij v skladu s 13. členom Uredbe (ES) št. 714/2009,
- nakup elektrike za pokritje izgub v prenosnem sistemu in nakup sistemskih storitev v prenosnem sistemu po preglednih, nediskriminatornih in tržno zasnovanih postopkih,
- zagotavljanje kakovosti oskrbe v skladu z minimalni standardi.

Sistemiški operater prenosnega omrežja upravlja s prenosnim omrežjem, ki na 400, 220 in 110 kV napetostnem nivoju obsega 141 daljnovodov v skupni dolžini 2.563 kilometrov ter 20 razdelilno-transformatorskih postaj s 27 energetskimi transformatorji skupne moči 4.768 MVA in vrsto drugih visokonapetostnih naprav. SOPO povezuje proizvajalce in odjemalce električne energije in zagotavlja nemoteno obratovanje slovenskega elektroenergetskega sistema. Manjši del poslovnih aktivnosti je ponudba presežkov telekomunikacijskih zmogljivosti, ki jih trži hčerinska družba (ELES, d.o.o., 2015b).

Storitev prenosa električne energije je povezana s stroški. Prenosno omrežje je treba redno vzdrževati, posodablјati in skrbeti za njegov dolgoročni razvoj, ki se v družbi zagotavlja z načrtovanjem in gradnjo novih objektov.

Poleg skrbi za infrastrukturo prenosnega omrežja je družbi z zakonom dodeljena tudi druga strokovno odgovorna naloga, in sicer koordinirano vodenje obratovanja vseh elektroenergetskih naprav in postrojev. S sodobno opremljenim republiškim centrom vodenja v Ljubljani ter tremi območnimi centri vodenja, lociranimi v Mariboru, Beričevem in Novi Gorici, povezujemo, nadzorujemo in daljinsko upravljamo omrežje, ki je prek omrežij sosednje Avstrije, Italije in Hrvaške, v prihodnje pa tudi Madžarske, tesno vpeto v močno evropsko omrežje (ELES, d.o.o. 2016a).

Vizija podjetja: bo pridobil vodilno vlogo v slovenskem elektroenergetskem sistemu in bo ključni člen energetske stabilizacije v regiji z enim od tehnološko najnaprednejših omrežij (ELES, d.o.o. 2016b).

1.2 Povezovanje z mednarodnim elektroenergetskim omrežjem

Mednarodne aktivnosti sistemskega operaterja prenosnega omrežja so pogojene z implementacijo energetske zakonodaje EU. Ta postavlja okvir razvoja skupnega elektroenergetskega trga v EU, s tem pa določa tudi zakonodajne obveze sistemskih operaterjev prenosnega sistema s katerimi se zagotavlja njegovo učinkovitejše delovanje. SOPO te obveze uresničuje enako kot drugi TSO (angl. *Transmission system operator*) v okviru Evropskega združenja sistemskih operaterjev elektroenergetskega omrežja (v nadaljevanju ENTSO-E). V okviru ENTSO-E TSO-ji skrbijo za:

- harmonizirano in varno delovanje evropskega elektroenergetskega sistema (v nadaljevanju EES),
- vzpostavitev okvirov za oblikovanje učinkovitega med regionalnega in panevropskega elektroenergetskega trga,
- zagotavljanje visoke stopnje zanesljivosti pri oskrbi evropskega trga.

ENTSO-E je krovna organizacija evropskih sistemskih operaterjev prenosnih omrežij, ki je poslanstvo in naloge predhodnih združenj UCTE in ETSO prevzela s 1. julijem 2009. Z vzpostavitvijo nove organizacije naj bi še okrepili sodelovanje med posameznimi sistemskimi operaterji in zagotovili varno obratovanje ter tehnično optimalen in okolju prijazen trajnostni razvoj vseevropskega prenosnega omrežja s ciljem zagotovitve enotnega evropskega trga z električno energijo.

Zanesljivost obratovanja EES ni le lokalnega značaja, temveč predstavlja zaradi prepletenega in zazankanega omrežja izziv širših razsežnosti. V kontinentalnem delu Evrope sta se oblikovali dve združenji, ki vsaka za svoj del evropskega omrežja skrbita za zanesljivost obratovanja. To sta TSC in CORESO.

SOPO je član TSC, regionalnega združenja trinajstih sistemskih operaterjev kontinentalne osrednje in vzhodne Evrope (Nemčija, Danska, Nizozemska, Švica, Avstrija, Češka, Poljska, Madžarska, Slovenija in Hrvaška). Združenje omogoča učinkovito kooperacijo med člani ter pripomore k zagotavljanju zanesljivosti obratovanja in varnega napajanja regije.

1.3 Opis dejavnosti telekomunikacij v elektrogospodarstvu

1.3.1 Namen telekomunikacijskih storitev v elektrogospodarstvu

Telekomunikacijske storitve v elektro energetskih podjetjih omogočajo izvajanje operativnih, podpornih, poslovnih in administrativnih aplikacij in opravil. Telekomunikacijske storitve v infrastrukturnih podjetjih so se razvile v močno strateško sredstvo, ki lahko pozitivno vpliva na optimizacijo trenutnega poslovanja, in ustvarile nove poslovne priložnosti. Ustrezno vlaganje v obstoječe in nove telekomunikacijske zmogljivosti lahko omogoča izboljšanje zanesljivost obratovanja energetskega sistema, zmanjša stroške obratovanja in odpre nove vire prihodkov.

Osnovni namen telekomunikacijske infrastrukture v elektrogospodarstvu je zagotavljati kakovostne, zanesljive in visoko razpoložljive storitve za potrebe vodenja, zaščite in meritev elektroenergetske infrastrukture, poleg tega pa še zagotavljanje poslovnega komunikacijskega omrežja in storitev govornih komunikacij.

Storitve telekomunikacij v SOPO se izvajajo že več desetletij, saj so telekomunikacijski sistemi že v preteklosti z razvojem daljinskega vodenja, ki ima dolgo tradicijo, odigrali pomembno vlogo pri povezovanju elektroenergetskih objektov s centri vodenja. Obenem so se razvijali tudi sistemi za izvajanje meritev in zaščit energetskega sistema. Vsi ti sistemi potrebujejo za delovanje prenos podatkov oziroma TK-storitve med energetske objekti in do centrov vodenja.

V preteklosti se je tako uveljavilo precej tehnoloških rešitev, sprva na osnovi analognih telekomunikacijskih tehnologijah prenosa VF, tako prek žične infrastrukture kakor tudi radijskih sistemov. Bistven preskok v razvoju sodobnih telekomunikacijskih omrežij v so povzročili naslednji dejavniki: porast zahtev uporabniških sistemov po večji prepustnosti, pojav digitalnih telekomunikacijskih sistemov in optičnih vlaken.

Osnova digitalnega telekomunikacijskega omrežja je bila v prvi fazi tehnologija PDH, s katero so bile realizirane 2 Mbit/s, 8 Mbit/s in 34 Mbit/s povezave med objekti bodisi prek radijskih sistemov ali optičnih vlaken. Kasneje je vlogo transportnega omrežja prevzela tehnologija sinhrona digitalne hierarhije (v nadaljevanju SDH), ki je zagotavljala telekomunikacijske povezave kapacitet od 2 Mbit/s navzgor prek optičnih kabelskih povezav, prenosnih kapacitet 155 Mbit/s (STM-1), 622 Mbit/s (STM-4) in 2,4 Gbit/s (STM-16). Prek obeh vrst prenosnih sistemov (PDH in kasneje SDH) so bile realizirane telekomunikacijske povezave za končne uporabnike z uporabo tehnologije fleksibilnih multiplekserjev. Slednji so z realiziranimi funkcijami banke kanalov, digitalnega povezovanja in dodajanja/odvzemanja kanalov zagotovili telekomunikacijske povezave za različne uporabnike znotraj sistema SOPO kapacitet od 600 bit/s do 2 Mbit/s. V začetni fazi, ko potrebe glede poslovnih informacijskih sistemov med lokacijami še niso bile širokopasovne, se je omrežje uporabljalo tudi za povezovanje usmerjevalnikov za poslovni sistem, pri čemer se je delno uporabljala tudi tehnologija blokovnega posredovanja (FR), ki jo lahko štejemo za predhodnico današnjih paketnih omrežij Ethernet, IP in MPLS. Kapacitete povezav so dosegale hitrosti do 2 Mbit/s (Elektro Slovenije, 2010).

Današnje zahteve po razpoložljivosti in zanesljivosti zvez v elektrogospodarstvu so izredno visoke, sistemi morajo biti vsestranski, učinkoviti in morajo zagotavljati ustrezno kakovost telekomunikacijskih storitev, zato večina elektrogospodarskih podjetij gradi svoja telekomunikacijska omrežja oziroma telekomunikacijske sisteme.

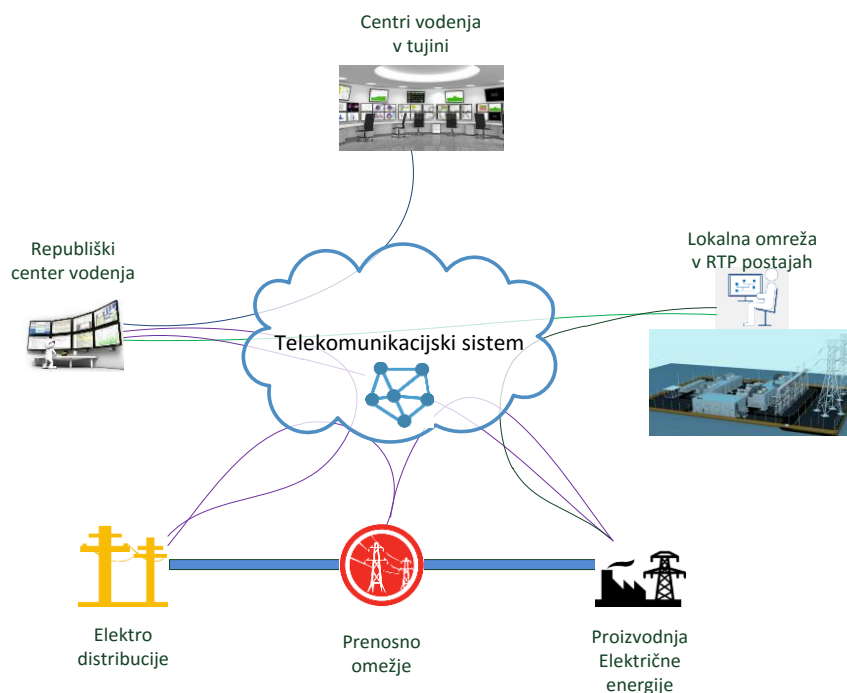
1.3.2 Telekomunikacije za potrebe elektroenergetskega sistema

Osnovna naloga telekomunikacijskega sistema SOPO je, da omogoči optimalno obratovanje elektroenergetskega sistema Slovenije, kar pomeni, da mora telekomunikacijsko omrežje zagotavljati predvsem:

- sprotne podatke tehnično obratovalnim službam v centrih vodenja in ostalim elektroenergetskim objektom po celi Sloveniji s posebnim poudarkom na vodenju daljinsko vodenih objektov brez posadke,
- sprotno izmenjavo informacij med proizvajalci in porabniki električne energije,
- povezavo z dispečerskim centrom zahodnoevropske interkonekcije UCPTÉ v Laufenburgu v Švici,
- povezavo z drugimi telekomunikacijskimi omrežji v Sloveniji in tujini.

Poleg tega se je hkrati s povečanimi potrebami poslovnega komuniciranja (telefonija in računalniška omrežja) in z večjo kapaciteto telekomunikacijskega omrežja pojavila tudi možnost zagotavljanja poslovnih zvez s pomočjo telekomunikacijskega omrežja. V grobem lahko telekomunikacijsko omrežje razdelimo na del, ki služi tehnološkemu procesu in zahteva izjemno zanesljivost in razpoložljivost, ter na poslovno informacijsko omrežje, ki nima tako strogih zahtev.

Slika 3: Shema zagotavljanja TK-storitev za EES sistem



V primeru povezovanja z ostalimi elektroenergetskimi distribucijskimi podjetji mora telekomunikacijski sistem na točkah medoperaterskih povezav zadoščati zahtevanim omrežnim kriterijem systemskega operaterja ter drugih elektroenergetskih podjetij. Ključna storitev na teh povezavah je prenos kriterija distančne zaščite, poleg tega pa se izvaja tudi izmenjava podatkov števnih meritev, kvalitete električne energije in meritev faznih kotov. Priporočila izvedbe komunikacijskega sistema za potrebe povezljivosti med elektroenergetskimi operaterji podaja UCTE. Priporočila in tehnične zahteve poleg opredeljevanja načina izvedbe povezljivosti med elektroenergetskimi operaterji posledično

določajo tudi karakteristike segmenta komunikacij znotraj infrastrukture operaterja (ELES, d.o.o., 2015a).

1.3.3 Osnovne pričakovane lastnosti TK-sistema v elektroenergetskih okoljih

Osnovne lastnosti TK-sistema za potrebe energetskih sistemov so:

- Zanesljivost. Ko govorimo o zanesljivosti telekomunikacijskega sistema oziroma telekomunikacijskega omrežja, pravzaprav govorimo o razpoložljivosti telekomunikacijski storitev za uporabnika. To pomeni, da telekomunikacijske storitve z vidika uporabniške izkušnje delujejo pravilno v normalnih in nenormalnih pogojih, ki vplivajo na telekomunikacijski sistem. Zanesljivost zagotavljanja storitve predstavlja tudi zagotavljanje storitev v primeru napake na telekomunikacijskem sistemu oziroma delu telekomunikacijskega sistema, v bistvu to pomeni, da je telekomunikacijsko omrežje sposobno prenesti kateri koli podatek oziroma signal iz točke A v točko B, kljub temu da je prenosna pot, ki neposredno povezuje točko A in točko B, prekinjena oziroma onemogočena. S potjo ni mišljen samo fizični prenosni medij, temveč tudi vse naprave (od naprave, kjer je izvor podatkov, do naprave, kjer je ponor podatkov. V kolikor imamo vse naprave in napajalne sisteme zanje, vključno s fizičnim medijem (optiko), podvojene, potem lahko govorimo o ustrezni razpoložljivosti telekomunikacijskega sistema, ki ima za posledico visoko zanesljivost. Zanesljivost je v veliki meri odvisna od topologije omrežja. Predvsem gre tu za možnost podvajanja povezav, kar pa pomeni tudi različno zasedanje kapacitet omrežja (ELES, d.o.o., 2015c).
- Razpoložljivost je odvisna od zanesljivosti uporabljene opreme, topologije in planiranih vzdrževalnih in nadgrajevanjih del. Za planirana je po navadi določen čas, ko je mogoče ta dela izvajati tako, da je stranka čim manj prizadeta ali pa sploh ne. Ti časi so pogodbeno določeni, po navadi od polnoči do zgodnjih jutranjih ur. Ob sklepanju takih pogodb mora ponudnik paziti, da ima te čase enako določene za vse stranke.
- Zanesljivost uporabljene opreme je podana s parametrom MTBF (angl. Mean Time Between Failure), ki mora biti čim višji. Odvisnost pokvarljivosti opreme se da še zmanjšati z redundanco uporabljene opreme, kar zelo podraži naprave, še vedno pa ostane kakšna šibka točka, ki ni podvojena. Zavedati se moramo tudi problema napajanja prenosnih naprav. Lahko imamo maksimalno redundanco opreme in povezav, na koncu pa lahko pride do prekinitev zaradi izpada napajanja. Se pravi, da moramo poskrbeti tudi za brezprekinitvene napajalne sisteme s čim večjo avtonomnostjo. Običajno se jo določa s procenti časa, v katerem je omrežje razpoložljivo (npr. 99.995 %). Razpoložljivost omrežja je odvisna tudi od samega vzdrževanja in nadgradenj, kajti v teh primerih lahko uporabniki občutijo izpad povezav. Zahteve uporabnikov, razpoložljiva sredstva in politika podjetja določajo predviden nivo zanesljivosti omrežja. Primeri zanesljivosti omrežja v enem letu so prikazani v Tabeli 1.

Tabela 1: Stopnja razpoložljivosti omrežja in čas nedelovanja storitve v min/leto

Razpoložljivost V %	Max. izpad v min/leto	Komentar
99.999	5,3 MIN	Zahtevan najvišji nivo podvojenosti opreme in uporaba obhodnih poti
99.99	53 MIN	Zahtevan zelo visok nivo podvojenosti opreme in uporaba obhodnih poti
99.9	8.8 UR	Zahtevan visok nivo podvojenosti opreme in uporaba obhodnih poti
99.5	44 UR	Zahtevan minimalen nivo podvojenosti opreme in obhodnih poti s posameznimi izjemami v omrežju, ki predstavljajo samostojno točko za okvaro

Izpad v omrežju so lahko enkratni dogodki ali so razporejeni čez celo leto. Za obratovalna omrežja in omrežja za vodenje elektroenergetskih sistemov je priporočljiva zanesljivost 99.99 %. Pri zanesljivosti 99.9 % je velika verjetnost za nedelovanje omrežja za časovno občutljive aplikacije v nenormalnih pogojih. Vzdrževalci telekomunikacijskih omrežij morajo skrbeti, da se nadgradnje oz. načrtovane prekinitve v omrežju ne izvajajo na celotnem omrežju, ampak na posameznih segmentih in ne vplivajo na vse uporabnike (Uršič, 2009).

Dejavniki, ki vplivajo na delovanje TK-sistema:

- učinkovitost – zagotavljanje ustreznih telekomunikacijskih storitev z minimalnimi sredstvi in viri,
- hitrost – odzivnost sistema v primeru okvar ali sprememb mora biti čim hitrejša,
- občutljivost – sistem mora biti zmožen zaznati nenormalno stanje,
- selektivnost – sistem mora izločiti iz obratovanja le okvarjeni element,
- avtomatičnost – sistem mora reagirati sam v primeru zaznavanja napak oziroma sprememb v omrežjih,
- prilagodljivost – prilagajanje novih telekomunikacijskih sistemov za zagotavljanje obstoječih storitev z obstoječimi komunikacijskimi vmesniki na končnih napravah,
- zakasnitev v omrežju predstavlja količino časa, ki ga potrebuje podatkovna enota, da potuje od izvora do ponora. Parametri, ki vplivajo na zakasnitev v omrežju:
 - transportni mediji: optično vlakno, bakren kabel, brezžične povezave oz. ostali mediji, ki imajo fizične prenosne karakteristike,
 - elementi komunikacijskega omrežja predstavljajo vozlišča oz. naprave, ki so na transportni poti, vključujoč usmerjevalnike, stikala, IED-je, oddaljene terminalne enote. Vsak omrežni element potrebuje določen čas za sprejem in oddajo podatkov.

Elementi, ki zagotavljajo visoko razpoložljivost telekomunikacijskega omrežja, so naslednji:

- optično omrežje, grajeno v zankasti topologiji,
- napajalni sistemi, ki pri polni obremenjenosti zmorejo najmanj 6 ur napajati vse telekomunikacijske naprave (pri običajni obremenitvi napajalnih sistemov v telekomunikacijskem omrežju je ta čas 12 ur),
- dostopove in prenosne telekomunikacijske naprave s podvojenimi nadzornimi funkcijami, realiziranimi zaščitami mehanizmi in protokoli,
- podvojenost kritičnih telekomunikacijskih sistemov,
- upravljanje in nadzor TK-sistemom preko centralnih nadzornih sistemov,
- stalno dežurstvo vzdrževalnega osebja.

2 NAČRTOVANJE TELEKOMUNIKACIJSKIH SISTEMOV

Telekomunikacijska omrežja in njihova arhitektura se v skladu z novimi zahtevami trga, aplikacijami in tehnologijami z leti spreminjajo. Uvajanje novih omrežij in arhitektur in tehnologije zahteva ustrezno načrtovanje prehoda, kar omogoča tranzicijo brez večjega vpliva na končne uporabnike storitev. Načrtovanje omrežij obravnava vse dejavnosti, povezane z opredelitvijo razvoja omrežja, da se omogoči prenos pričakovane količine prometa in tip prometa, pri čemer upoštevajo zahteve uporabnikov in omejitve, ki v različnih časovnih obdobjih vplivajo na omrežje (International telecommunication union, 2007).

Ustrezno načrtovanje telekomunikacijskega omrežja upošteva razvoj omrežja, storitev, tehnologije, trga in regulative. Ob upoštevanju teh dejavnikov ter obstoječega stanja omrežja lahko uspešno izdelamo scenarije, ki vplivajo na:

- dolgoročno potrebo po storitvah,
- ustrezno kvaliteto storitev,
- ekonomsko upravičenost investicij.

Na splošno moramo pri načrtovanju arhitekture omrežja upoštevati potrebe uporabnikov storitev, razvoj telekomunikacijskega omrežja, ustrezno upravljanje in obratovanje omrežja ter ekonomsko upravičenost. V fazi načrtovanja moramo predvideti migracijo obstoječih storitev in razvoj novih (International telecommunication union, 2007).

Načrtovanje omrežij mora zajeti naslednje korake, ki zmanjšajo kompleksnost projektov:

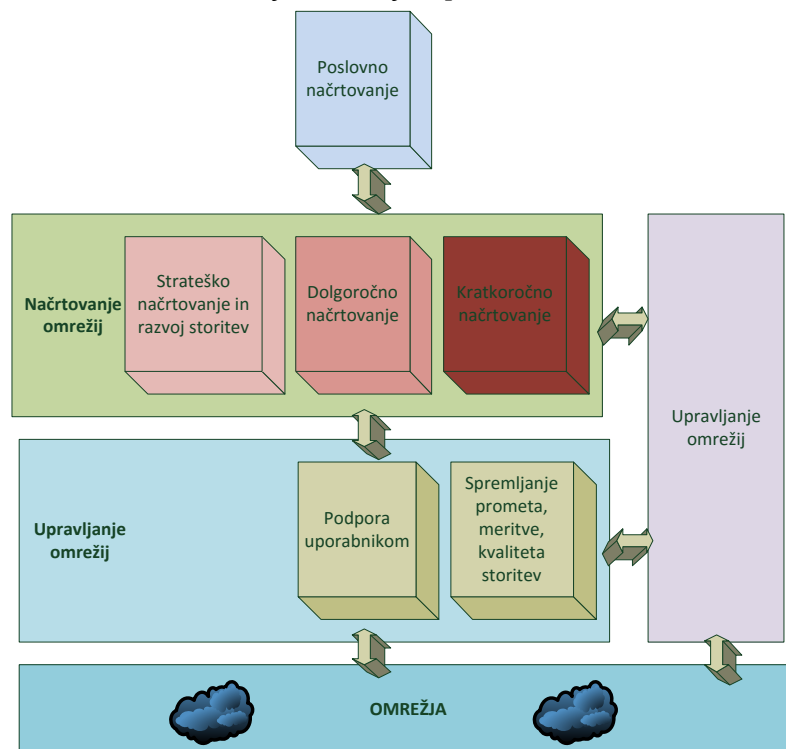
- začetna analiza stanja (uporabnikov, storitev in omrežja),
- delitev projekta na več segmentov,
- zbiranje podatkov,
- opredelitev alternativnih scenarijev,
- povezovanje rešitev s scenariji,

- priprava topologij, dimenzioniranje, lokacija in stroški,
- optimizacija,
- analiza občutljivosti negotovih spremenljivk,
- izbor načrta in konsolidacija,
- poročanje.

2.1 Proces planiranja omrežja

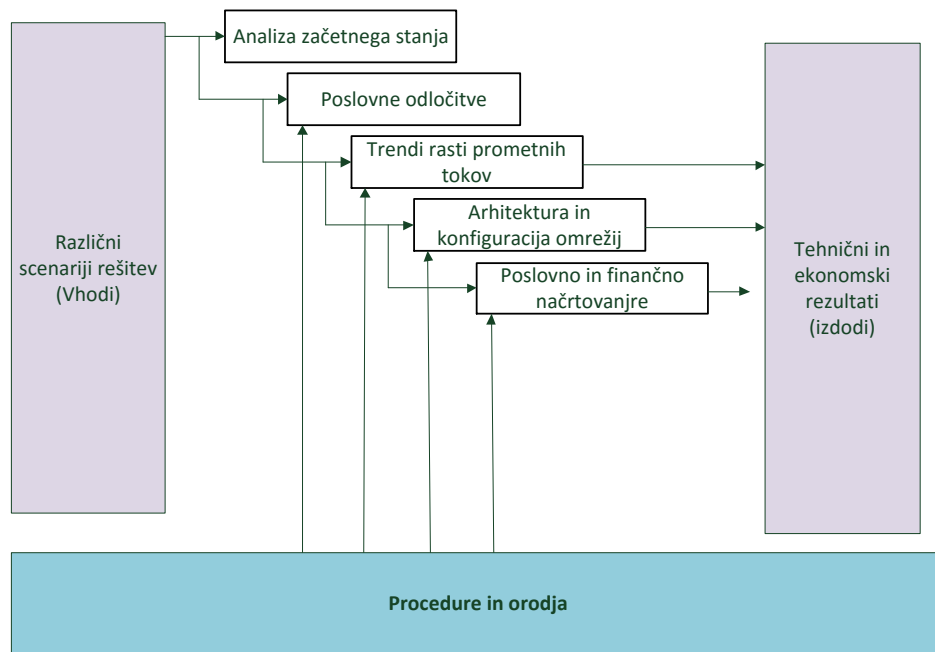
Zaradi vse hitrejših sprememb poslovnega okolja in tehnologij je smiselno aktivnosti, ki so bile včasih ločeno načrtovane, tesno povezati med seboj. Proces načrtovanja omrežij mora povezati strateško načrtovanje omrežja, poslovno načrtovanje, dolgoročno načrtovanje infrastrukturnih sprememb. Kratko in dolgoročno načrtovanje dopolnimo z »what-if« analizo, ki predvidi različne vplive na omrežje glede na stanje prometnih tokov v omrežjih, operativnimi postopki, podporo uporabnikom in merjenjem uspešnosti (International telecommunication union, 2007).

Slika 4: Proces načrtovanja omrežij in povezave z ostalimi aktivnostmi



Zaradi velikega števila scenarijev načrta omrežij se izdela ustrezno analizo, ki predvidi postopke tako s tehničnega kot z ekonomskega stališča.

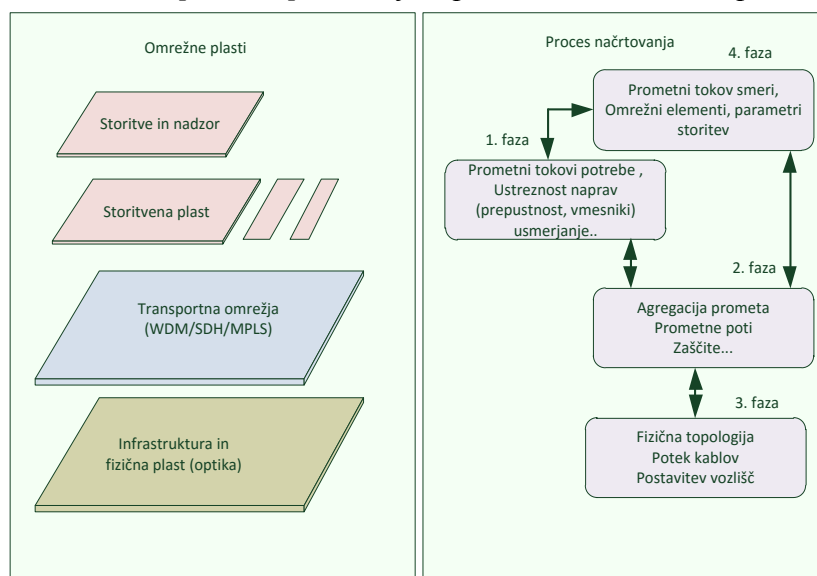
Slika 5: Interaktivno načrtovanje pod procesov za različne scenarije in rešitve



2.2 Načrtovanje omrežnih tehnologij glede na omrežne plasti

Telekomunikacijska omrežja najlažje obravnavamo tako, da razdelimo omrežje na posamezne tehnološke segmente, ki pripadajo posamezni plasti ISO/OSI referenčnemu modelu. Na ta način zmanjšamo kompleksnost in segmente omrežij lahko načrtujemo oziroma spreminjamo v različnih časovnih obdobjih.

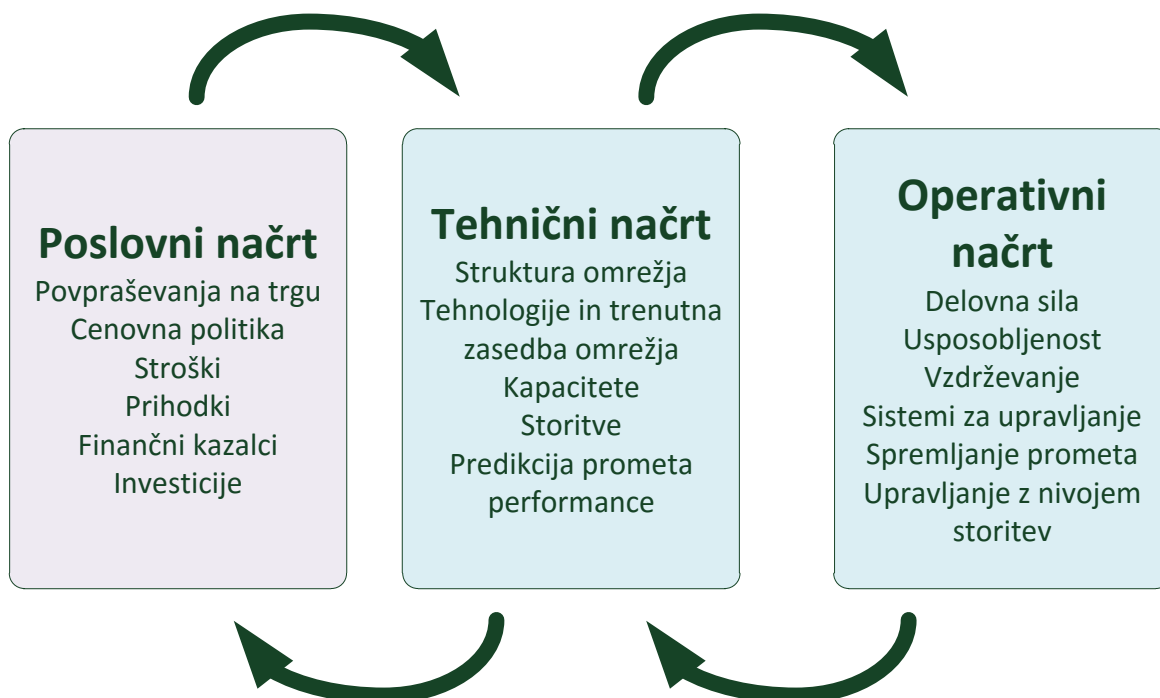
Slika 6: Faze procesa planiranja v povezavi z omrežnimi plastmi



Vir: International telecommunication union, Telecom Network Planning for evolving Network Architectures, 2007.

Število rešitev in visoka vpliv odločitev o načrtovanju na posameznih področjih v organizaciji bistveno vpliva na potek načrtovanja in potek izvedbe projektov prenove telekomunikacijskih sistemov. Za doseganje visoke učinkovitosti in izbire ustrezne rešitve je treba skrbno načrtovati in obdelati informacije s finančnega, tehničnega in operativnega področja. V spodnji sliki so predstavljena področja planiranja in kakšne parametre je treba upoštevati na posameznem segment.

Slika 7: Relacije med poslovnim, tehničnim in operativnem načrtu

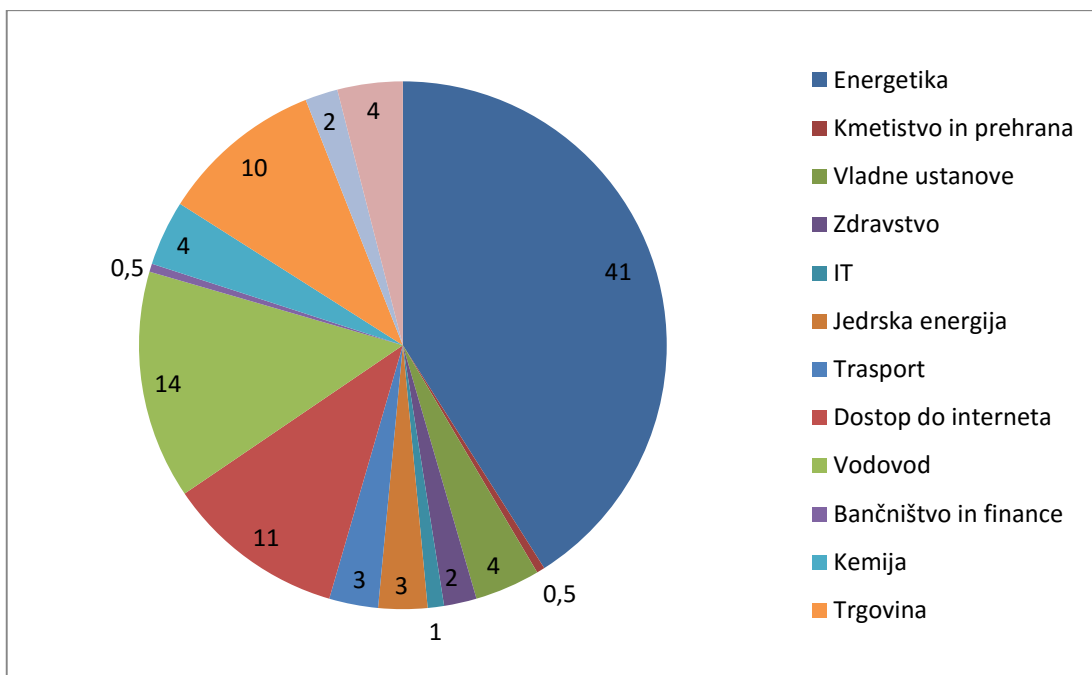


2.3 Načrtovanje kibernetске varnosti

Moderen način življenja nas postavlja v položaj, v katerem smo popolnoma odvisni od zanesljive dobave električne energije in drugih energentov. Energija, ki jo zagotavljajo energetska podjetja, služi kot ožilje sodobne družbe. To dejstvo izrabljajo tudi hekerji, ki z grožnjami glede kibernetске varnosti lahko povzročijo veliko škodo, ki posledično prizadene veliko število ljudi.

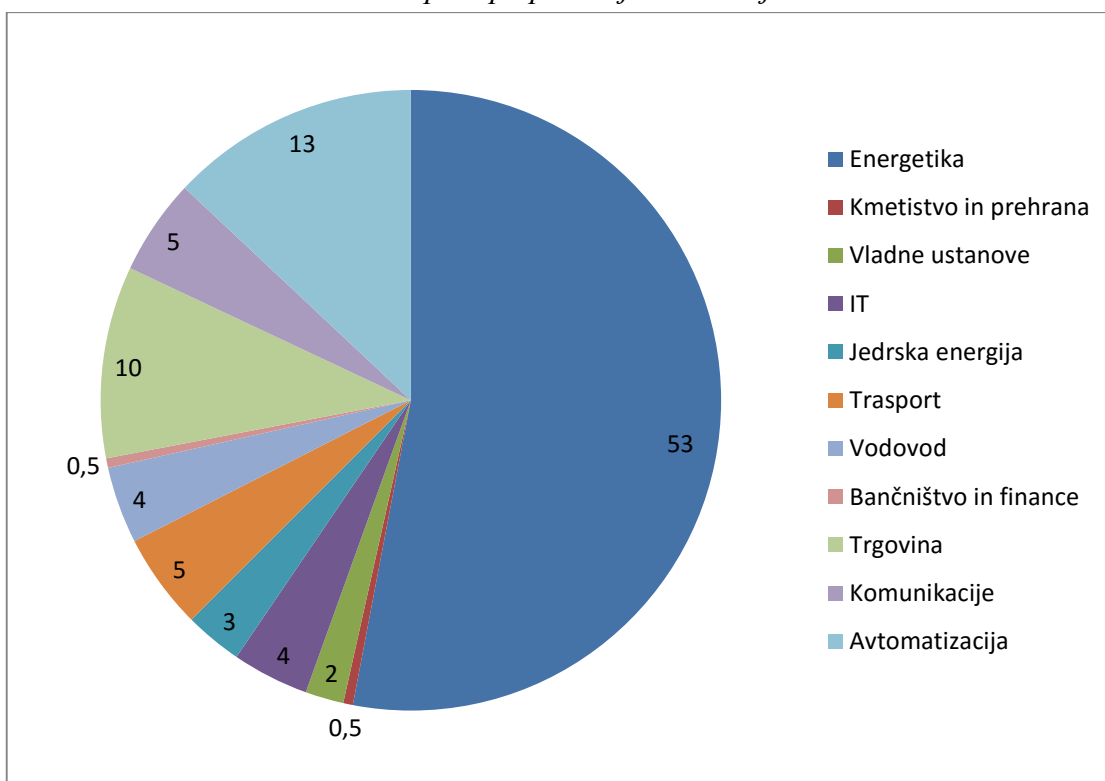
Kibernetška varnost predstavlja v zadnjih letih eno najpomembnejših tem na področju elektroenergetskega sektorja, ki spada v kritično infrastrukturo. Število groženj in incidentov, ki so se zgodili na področju kibernetске varnosti, se stalno povečuje. Največji porast groženj glede na področje industrije je viden ravno na področju energetike.

Slika 8: Kibernetски napadi po področjih industrije v letu 2012 v %



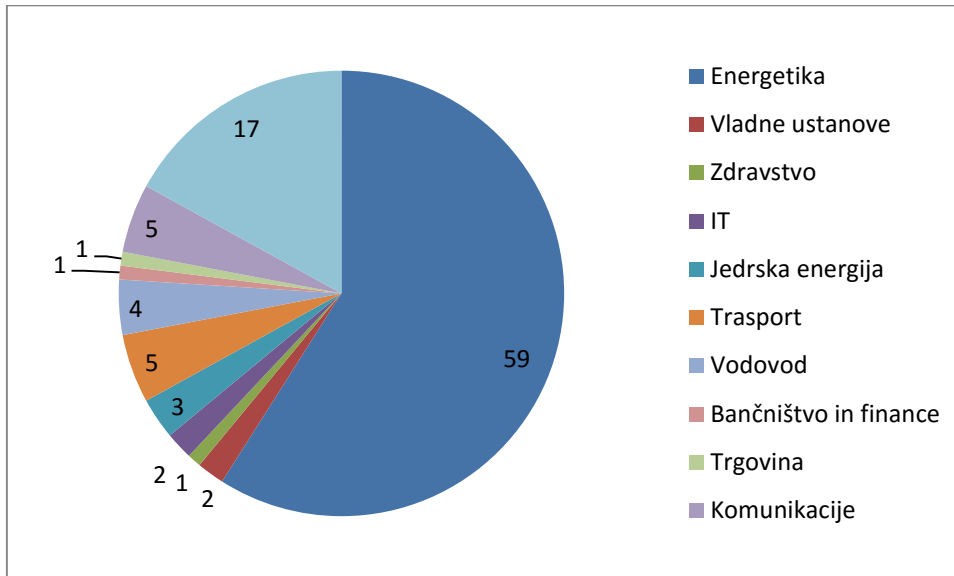
Vir: Industrial control systems cyber emergency repnse team, 2016.

Slika 9: Kibernetski napadi po področjih industrije v letu 2013 v %



Vir: G. Adam., D. Giarratano, & S. Pathania, A framework for developing and evaluating utility substation cyber security, 2014.

Slika 10: Kibernetski napadi po področjih industrije v letu 2014 v %



Vir: The Department of Homeland Security's Industrial Control Systems Cyber Emergency Response Team (ICS-CERT), 2015.

Z uvajanjem novih tehnologij, pametnih omrežij in vsestranske povezljivosti energetskih naprav se zelo povečujejo tveganja na področju informacijske varnosti.

Vrednosti groženj in ranljivosti so določene z upoštevanjem:

- vrednotenja programske opreme, strojne opreme, podatkovnih sredstev, lokacij, aktivnosti v procesih ter ljudi,
- vrednotenja groženj na izbranih sredstvih,
- vrednotenja ranljivosti na izbranih sredstvih.

Podatkovna sredstva se vrednotijo z intervjuji osebja, ki največ vedo o podatkih oziroma informacijah, ki jih uporabljajo.

Ocenjevanje groženj in ranljivosti prikaže potencialna področja, ki lahko vplivajo na različne dele sistema. Grožnje se v grobem delijo v naslednje skupine:

- fizična poškodba,
- naravna nesreča,
- izguba osnovnih storitev,
- motnje zaradi sevanja,
- ogrožitev informacij,
- tehnična okvara,
- nepooblaščen dejanje,
- ogrožitev funkcij.

Mnoge od praks omrežne varnosti, ki jih zahtevajo ali priporočajo varnostne organizacije, so uveljavljene tudi pri drugih panogah. Treba je sicer upoštevati vsa priporočila, vendar so te običajne „najboljše prakse“ izredno pomembne in predstavljajo temelj za mnoge od metod in tehnik. Po priporočilih avtorjev za zagotavljanje varnosti v omrežjih, ki so opredeljena kot kritična infrastruktura, obsegajo dobre prakse naslednje korake (Knapp, 2011):

- ugotavljanje, kaj sistemi potrebujejo, da so zaščiteni,
- logično razdelitev sistemov v funkcionalne skupine,
- uveljavljanje strategije globinske obrambe pri vsakem sistemu,
- nadzor nad dostopom do in med posameznimi skupinami.

2.3.1 Identifikacija kritičnih sistemov

Prvi korak pri zavarovanju katerega koli sistema je opredelitev, kaj je treba zaščititi. Določanje sredstev in sistemov, ki jih je treba zaščititi, kot tudi ugotavljanje njegovega pomena za zanesljivo delovanje celotnega sistema nadzora nad procesi, je treba iz več glavnih razlogov:

- pove nam, kaj je treba nadzorovati in kako natančno to storimo,
- pove nam, kako logično segmentirati omrežje v zelo varne cone,
- na ta način nam pokaže, kje bi morali namestiti naše varnostne naprave (kot so požarni zidovi in zaznavanje vdorov ter sistemi za preprečevanje udorov).

Določanje kritičnih sistemov pa ni vedno enostavno. Prvi korak je vzpostavitev popolnega seznama vseh povezanih naprav. Vsako od teh naprav je treba oceniti neodvisno. Če opravljajo kritično funkcijo, morajo biti razvrščene kot kritične. V nasprotnem primeru je treba premisliti, ali to lahko vpliva na katero od drugih kritičnih naprav ali delovanj. Ali lahko vpliva na samo omrežje, prepreči drugi napravi, da bi se povezala s kritičnim sistemom?

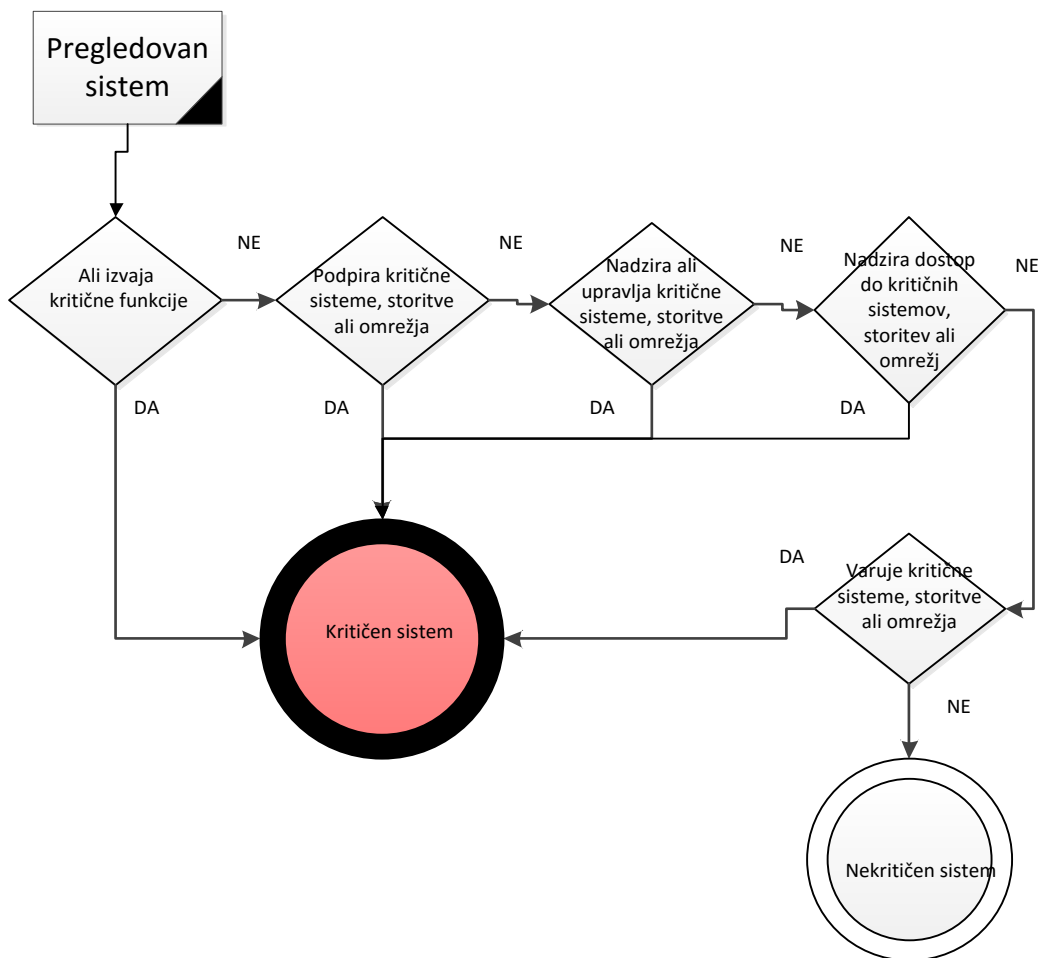
Za lažje razumevanje in ugotavljanje kritičnih delov sistema, ki ga moramo zaščititi, je smiselno izdelati logični zemljevid, ki ponazarja, kako določiti kritične sisteme. Ta proces bo pomagal pri ločevanju naprav v dve kategoriji:

- kritični sistemi,
- nekritični sistemi.

Obstajajo lahko različne ravni „kritičnosti“. Glavno pravilo po končani temeljni razdelitvi na kritične in nekritične sisteme je naslednje:

Ali obstaja kritični sistem, ki ni funkcionalno povezan z drugim kritičnim sistemom? Če obstaja, se je treba vprašati, ali je določena funkcija bolj ali manj pomembna kot druga. Končno, kadar obstajata tako funkcionalna razdelitev kot razlika v kritičnosti sistema, lahko svojemu omrežju dodate novo logično „stopnjo“. Upoštevajte, da bi naprava lahko bila kritična in tudi neposredno vplivala na enega ali več drugih kritičnih sistemov. Enako velja za kritičnost naprav glede na njihov skupni učinek oz. vpliv. Vsako ločevalno plast je mogoče uporabiti kot razmejitveno točko, ki zagotavlja dodatne varovalne plasti med posameznimi skupinami.

Slika 11: Procesni diagram za ugotavljanje sistemov opredeljenih kot kritični



Vir: E. D. Knapp, Industrial network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA and Other Industrial Control Systems, 2011.

2.3.2 Segmentacija omrežja/Izolacija sistemov

Razdelitev sistemov v funkcionalne skupine omogoča tesno pokritje in nadzor nad posameznimi storitvami, kar predstavlja eno od najlažjih metod za omejevanje področja, izpostavljenih napadu. Že z ukinitvijo vseh nepotrebnih vhodov in storitev lahko

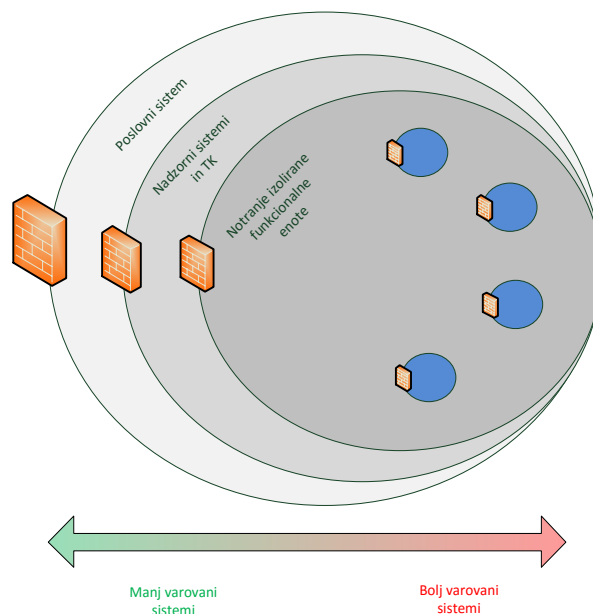
odpravimo vse ranljivosti – znane in neznanne – ki bi napadalcu lahko omogočile, da izkoristi te storitve.

Na primer, če v eni funkcionalni skupini izoliramo pet kritičnih storitev in jih tako ločimo od preostalega omrežja prek enotnega požarnega zidu, bo morda treba dovoliti prehod različnih profilov prometa prek tega požarnega zidu.

Če pride do napada in škodljivega delovanja proti spletnim storitvam poslovnega sistema, bi to lahko ogrozilo različne storitve, vključno s storitvami na primer za vodenje energetskega omrežja. V kolikor pa je vsaka posamezna storitev razporejena funkcionalno in ločena od drugih storitev, lahko določamo nivo zaščite in varnosti za vsako storitev posebej in neodvisno.

V sistemu industrijskega nadzora oziroma elektroenergetskih omrežjih je mogoče takšno metodo segmentacije storitev izdatno uporabljati, saj v industrijskem omrežju obstajajo mnoge različne funkcionalne skupine, ki sploh ne bi smele komunicirati izven vzpostavljenih parametrov. Na primer protokoli, kot sta Modbus ali DNP3, so specifični za sisteme SCADA in ICS in se jih ne bi smelo uporabljati v poslovnih LAN in spletnih storitvah, kot so HTTP, SMTP, FTP, drugih pa se nikoli ne bi smelo uporabljati znotraj nadzornih oziroma kontrolnih območij omrežja. Na spodnji sliki je razvidno, kako lahko takšen večplastni pristop k funkcionalni in topološki izolaciji zelo izboljša obrambno držo omrežja (Knapp, 2011).

Slika 12: Topologija varnostnih con po plasteh



Pomembno je, da se nadzira komunikacije v obeh smereh prek požarnega zidu. Vse grožnje ne prihajajo od zunaj. Strategije odprtega, odhodnega prometa lahko omogoči napad od znotraj, kot tudi notranje razširjanje zlonamerne programske opreme, obenem pa

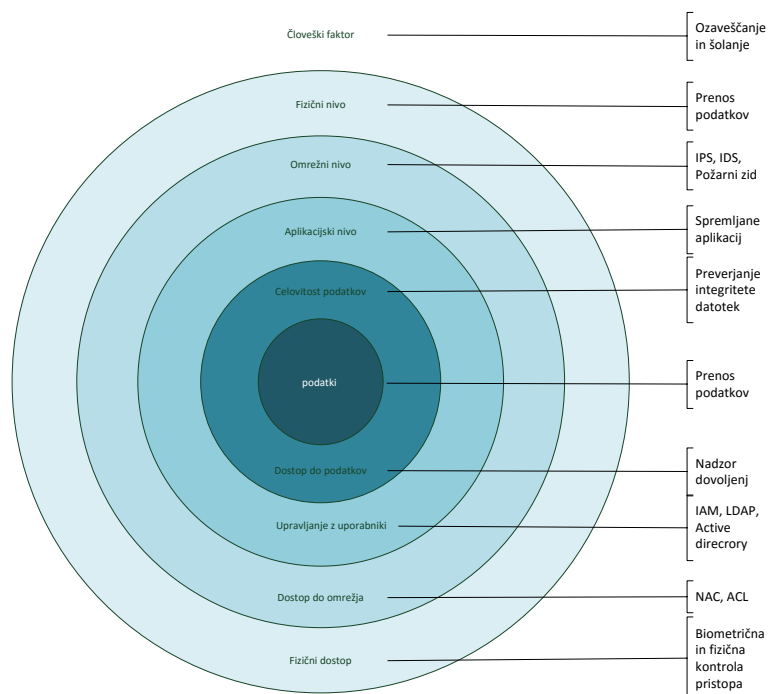
omogoča zmožnosti odhodnih ukazov in nadzora ter povzroča odtekanje ali krajo podatkov.

2.3.3 Globinska obramba

Vse organizacije, uredbe in priporočila za standardizacijo navajajo, da bi bilo treba uporabljati strategijo globinske obrambe. Definicije „globinske obrambe“ se sicer nekoliko razlikujejo, vendar pa se filozofija večplastne oz. večstopenjske obrambne strategije upošteva kot najboljša praksa. Spodnja slika prikazuje običajni model globinske obrambe, preslikanje logičnih obrambnih ravni v skupna varnostna orodja in tehnike. Zaradi razdeljenosti večine industrijskih sistemov je mogoče in treba izraz „globinska obramba“ uporabiti v več kot enem kontekstu, vključno z:

- plasti modela medomrežnih povezav odprtih sistemov OSI, od fizične plast 1 do aplikacije plast 7 po OSI modelu,
- fizične ali topološke plasti, ki jih sestavljajo podomrežja in/ali funkcionalne skupine,
- strateške plasti, ki obsegajo uporabnike, vloge in privilegije,
- več plasti varnostnih naprav na določenih razmejitvenih točkah (kot je uvedba požarnega zidu ter IDS ali IPS sistemov).

Slika 13: Globinska obramba z ustreznimi zaščitnimi ukrepi



Vir: E. D. Knapp, *Industrial network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA and Other Industrial Control Systems*, 2011.

2.3.4 Nadzor nad dostopom

Nadzor nad dostopom je eden najtežjih a najpomembnejših vidikov varnosti informacijskih sistemov. Z zaprtjem storitev in dostopnostjo zgolj za določene uporabnike ali skupine uporabnikov potencialni napadalec težje določi in izkorišča sisteme. Bolj kot lahko zapremo sisteme, težje je izvesti napad na njih. Mnoge dokazane tehnologije izvajajo nadzor nad dostopom – od nadzora dostopa do omrežja (angl. *network access control* oz. NAC) do avtentifikacije storitev in drugih – uspešno izvajanje nadzora nad dostopom je težko zaradi kompleksnosti upravljanja z uporabniki ter njihovimi vlogami in preslikav v posamezne naprave in storitve, ki se nanašajo na operativno odgovornost zaposlenega. Kot je prikazano v tabeli, se moč nadzora nad dostopom povečuje, če je identiteta uporabnika obdelana z dodatnim kontekstom njegovih vlog in odgovornosti v funkcionalni skupini.

Tabela 2: Dodajanje konteksta pri avtentifikaciji uporabnika za krepitev nadzora nad pristopom

Dobro	Bolje	Najbolje
Uporabniški računi so razvrščeni glede na raven pooblastila.	Uporabniški računi so razvrščeni glede na funkcionalno vlogo.	Uporabniški računi so razvrščeni glede na funkcionalno vlogo in pooblastila.
Sistemi so razvrščeni glede na raven pooblastila uporabnika.	Sistemi so razvrščeni glede na funkcijo ali operativno vlogo.	Sistemi so razvrščeni glede na funkcijo in pooblastila uporabnika.
Do operativnega nadzora lahko dostopa vsaka naprava, na temelju pooblastila uporabnika.	Do operativnega nadzora lahko dostopajo le tiste naprave, ki so znotraj funkcionalne skupine.	Do operativnega nadzora lahko dostopajo le tiste naprave, ki so znotraj funkcionalne skupine, glede na pooblastilo uporabnika.

Več plasti kompleksnosti, kot je uporabljenih pri pravilih avtentifikacije in dostopa uporabnika, težje bo prišlo do nenadzorovanega dostopa. Nekateri primeri naprednega nadzora nad dostopom vključujejo:

- uporabnik se lahko prijavi v HMI zgolj, če se je ustrezno identificiral v nadzorni sobi (uporabniške poverilnice skupaj s fizičnim nadzorom nad dostopom),
- uporabnik lahko uporablja določeno kontrolo določenega krmilnika (uporabniške poverilnice skupaj z varnostno enklavo),
- uporabnik se lahko avtentificira zgolj med njegovo izmeno (uporabniške poverilnice skupaj z vodenjem zaposlenih).

Avtentifikacija na temelju kombinacije večih in nepovezanih identifikatorjev zagotavlja najmočnejši nadzor nad dostopom, na primer uporaba tako digitalnega kot fizičnega ključa, v obliki gesla ter biometričnega čitalca.

3 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA TELEKOMUNIKACIJSKEGA SISTEMA SOPO IN ZAHTEVE UPORABNIKOV PO TELEKOMUNIKACIJSKIH STORITVAH

3.1 Zgradba telekomunikacijskega sistema

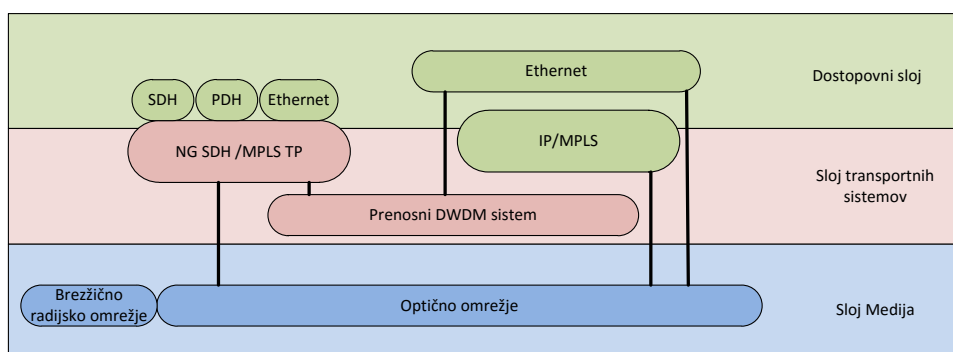
Telekomunikacijsko omrežje predstavlja podporni sistem energetskega sistema in je prvenstveno namenjeno zagotavljanju kakovostnih in zanesljivih telekomunikacijskih storitev za lastne potrebe (SOPO), za podporo kakovostnemu vodenju in nadzoru celotnega elektroenergetskega sistema (EES) Slovenije. Poleg tega se telekomunikacijski sistem uporablja še za povezavo z drugimi elektroenergetskimi podjetji v Sloveniji in tujini. Viški kapacitet v omrežju so na voljo tudi zunanjim poslovnim uporabnikom, kar trenutno s stališča podjetja predstavlja dopolnilni segment. Telekomunikacijski sistem se gradi na podlagi zahtev internih uporabnikov, ki zahtevajo visoko stopnjo razpoložljivosti in zanesljivosti telekomunikacijskih storitev znotraj elektroenergetske infrastrukture.

Telekomunikacijski sistem je sestavljen iz več telekomunikacijskih omrežij. Posamezna omrežja glede na njegovo funkcionalnost lahko razdelimo v na več segmentov oziroma slojev. Vsak segment zagotavlja določeno funkcionalnost na podlagi fizičnih in tehnoloških lastnosti.

Delitev omrežja po slojih:

- Sloj Medija – ki predstavlja optično omrežje,
- Transportni sloj – ali hrbtenično omrežje je sestavljeno iz različnih. Za transportni sloj je značilno, da ne generira prometa, ampak skrbi za povezovanje, usmerjanje dostopovnih omrežij in povezovanje z omrežji drugih operaterjev.
- Dostopovni sloj – ali pristopno omrežje omogoča povezovanje uporabnikov na TK omrežje. Dostopovna omrežja omogočajo priklop uporabnikov z različnimi komunikacijskimi vmesniki.

Slika 14: razvrstitev telekomunikacijskih tehnologij in medijev po slojih

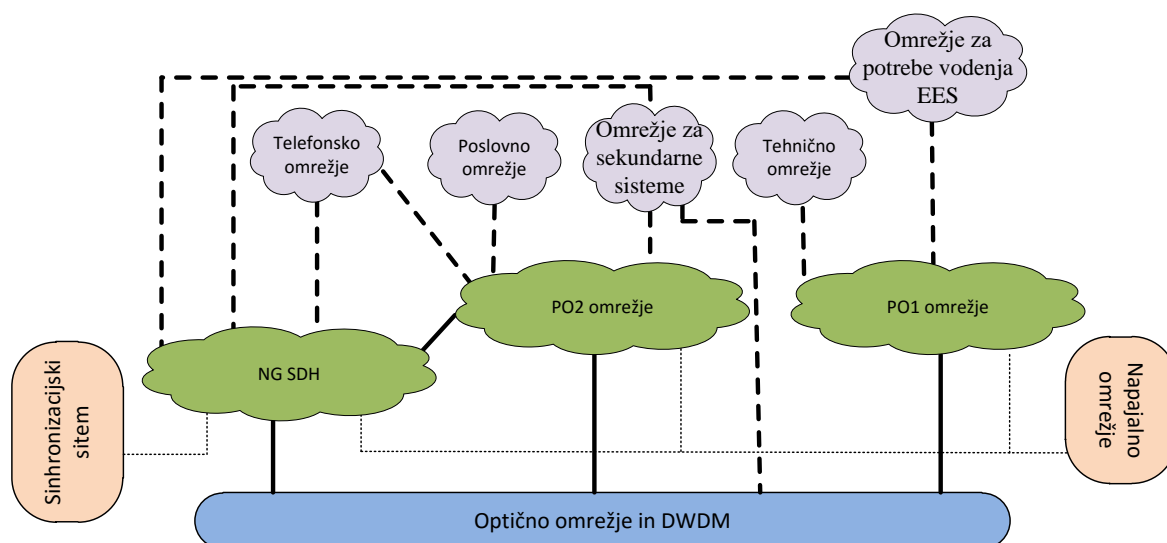


Telekomunikacijski sistem sestavlja več omrežij, preko katerih zagotavljamo IKT-storitve različnim uporabnikom.

Telekomunikacijski sistem sestavljajo naslednja omrežja:

- prenosne medije, kot je optično omrežje,
- prenosna brezžična radijska omrežja za potrebe kriznih komunikacij ob havarijah,
- prenosne WDM-sisteme na optičnem omrežju,
- prenosna omrežja, zgrajena v obliki zank oziroma mrežne topologije večinoma na optičnem omrežju, kot so:
 - NG SDH-omrežje,
 - PO2-omrežje (podatkovno omrežje 2),
 - PO1-omrežje (podatkovno omrežje 1).
- Navidezna storitvena omrežja, ki izvajajo združitev posameznih storitev in so povezana na prenosna omrežja:
 - telefonsko omrežje,
 - lokalna omrežja znotraj RTP-postaj,
 - poslovno omrežje,
 - tehnično omrežje,
 - omrežje za sekundarne sisteme,
 - omrežje za potrebe vodenja EES.
- Kot podsisteme obravnavamo:
 - RPS-sistem (48 V DC napajanje) in
 - sinhronizacijski sistem.

Slika 15: prikaz sestave telekomunikacijskega omrežja



3.2 Optično omrežje

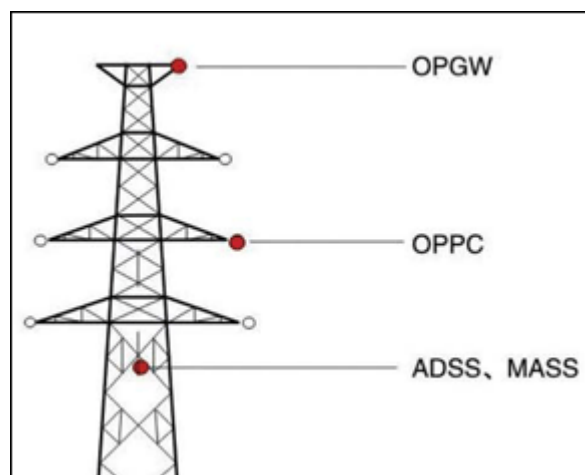
Vsa podomrežja uporabljajo kot prenosni medij optična vlakna, saj je z njimi opremljena večina daljnovodnih tras. V preteklosti so bile v rabi tudi digitalne radijske povezave, ki pa so bile postopno ukinjene, saj so služile predvsem kot obhodne povezave za najbolj kritične storitve v primeru potencialnih večjih napak ali odpovedi v optičnem delu omrežja. SOPO ima v obstoječem stanju zagotovljene optične povezave v zankah, kar omogoča zagotavljanje visoke razpoložljivosti storitev za vsa podomrežja v IKT-sistemu, kar se je navsezadnje izkazalo tudi ob žledolomu februarja 2014. Vsa IKT-podomrežja so bila načrtovana s predvidenimi scenariji izpadov posameznih optičnih relacij, vozlišč in opreme v njih, zato so bile storitve v IKT-omrežju tako za potrebe internih uporabnikov, kot zunanjih, bodisi elektrogospodarskih, kot tržnih tudi ob izpadih, kot smo jim bili priča nemotene.

Sistemske operater prenosnega omrežja je hkrati z daljnovodno infrastrukturo do sedaj zgradil več kot 1600 km optičnih kablov.

Obstaja nekaj temeljnih načinov integracije optičnih kablov in visokonapetostnega daljnovodnega omrežja:

- OPGW - kombinacija strel vodne vrvi iz pletenice in optičnih vlaken v njej, ki je najbolj razširjena tehnika gradnje optičnih kablov na daljnovodu v svetu,
- OPWR - optični kabel, ovit okrog zaščitne vrvi ali faznega vodnika,
- OPPC - optična vlakna v faznem vodniku daljnovoda,
- ADSS - samonosni optični kabel.

Slika 16: Pozicija optičnih kablov na daljnovodnem stebru



Poleg omenjenih optičnih kablov je zgrajenih tudi nekaj optičnih relacij kot **ZOK** (zemeljske optične kable), in sicer:

- samostojni zemeljski optični kabli med dvema objektoma,
- zemeljski optični kabli, položeni ob energetske kabliah,
- prevodni optični kabli za OPGW, OPWR, OPPC ali ADSS kable od portalnih stebrov do telekomunikacijskih prostorov v posameznih stikališčih. (Elektro Slovenija, 2009).

Na hrbtničnem omrežju so vsi optični kabli in s tem tudi objekti povezani v zanke, kar zagotavlja obhodne poti in pogoj za izgradnjo zanesljivih omrežij.

Optično omrežje je povezano z drugimi lastniki optičnih omrežij v Sloveniji, in sicer:

- subjekti elektroenergetskega sistema Slovenije (proizvajalci el. energije, distributerji el. energije,
- operaterji in storitvenimi ponudniki IKT-storitiev (Telekom, internet »providerji«, kebeljskimi operaterji),
- ostalimi infrastrukturnimi podjetji (Slovenske Železnice, Dars ...).

Za zagotavljanje prenosa podatkov in informacij s sosednjimi sistemskimi operaterji prenosnega omrežja so izvedene optične povezave z mejnimi državami:

- Avstrija (Verbund):
 - ZOK: Vič–HE Labot,
 - OPGW: Podlog–Obersielach,
- Italija (Terna):
 - OPGW: Divača–Padriče,
 - OPGW: Divača–Redipuglia,
 - ZOK: Nova Gorica–Gorica,
- Hrvaška (HEP, HOPS):
 - OPGW: Divača–Melina,
 - OPGW: Krško–Tumbri,
 - OPGW: Koper–Buje.

Večina optičnih kablov je zgrajenih z enorodovnimi SMF-optičnimi vlakni, ki imajo optične lastnosti po standardu ITU-T G.652, nekaj relacij pa ima optične lastnosti tudi po standardu ITU-T G.655, ki omogoča prenos večjih kapacitet in izgradnjo DWDM-sistemov. Nekateri optični kabli, ki so bili zgrajeni v zadnjih letih, imajo optične karakteristike po ITU-T G.652 (Elektro Slovenija, 2009).

Vsi optični kabli, zgrajeni na daljnovodih, so vpisani ali se sprotno vpisujejo v digitalni kataster GJI - razen nekaterih starejših in krajših zemeljskih optičnih kablov (Elektro Slovenija, 2009).

3.3 NG SDH-omrežje

V podomrežju NG SDH opravljajo vlogo transportnega sistema linijske enote z optičnimi vhodi/izhodi v skladu z ITU-T-standardi, ki definirajo prenos preko tehnologije sinhronne digitalne hierarhije. Hitrosti, ki se uporabljajo na teh sistemih so, STM-1 (155 Mbit/s), STM-4 (622 Mbit/s), STM-16 (2.48 Gbit/s) in STM-64 (9.95 Gbit/s). V NG SDH podomrežju so uporabljene linijske povezave ravni STM-16, ki dopuščajo tudi zagotavljanje prenosa Ethernet storitev kapacitet 1 GbE, saj je možno v signal STM-16 razvrstiti dve povezavi GbE s polnima pasovnima širinama, dodatno pa še 4 FE povezave (100 Mbit/s), kar predstavlja zadostne prenosne kapacitete za procesne sisteme SOPO. Storitve v NG SDH podomrežju, tako TDM serijskih (RS 232) povezav, analognih (E&M, FXS, FXO) in povezav za sisteme distančne zaščite (G.703 64 kbit/s kodirekcionalno in E1 – 2 Mbit/s v skladu z G.703), kakor Ethernet se s tehnikami umeščanja v t. i. virtualne kontejnerje posreduje v linijske povezave STM-16. S funkcijami dodajanja/odvzemanja (ADM) se zagotovi ustrezna storitev med zahtevanima točkama v omrežju. NG SDH vozlišča so povezana v obroč, saj je ključna lastnost SDH-tehnologije možnost obročnega povezovanja in zagotavljanja hitrih preklopnih časov – pod 50 ms, v primeru izpada katere koli optične povezave v obroču (ELES, d.o.o., 2015c).

NG SDH-omrežje za svoje delovanje potrebuje sinhronizacijski sistem, saj je sinhronizacija takta z visoko točnostjo nujen pogoj za delovanje SDH-omrežij. SOPO ima v svojem IKT- sistemu razvit in delujoč sinhronizacijski sistem visoke točnosti, ki pa ga bo treba zaradi zastarelosti opreme v bližnji prihodnosti prenoviti. NGSDH-omrežje omogoča paketni prenos podatkov z uporabo MPLS-TP-tehnologije.

MPLS-TP je nova paketna transportna tehnologija, ki izhaja iz tehnologije MPLS in se uporablja za gradnjo telekomunikacijskih transportnih omrežij. Uporablja okrnjen MPLS posredovalni mehanizem z dodatnimi izboljšavami iz tehnologij Ethernet in tokokrogovnih transportnih omrežij (Kosmač, 2015).

NG SDH-omrežje je zgrajeno z različnimi tipi naprav proizvajalca ECI telekom. Naprave omogočajo priklop uporabniških naprav različnih TDM- oz. PDH-vmesnikov do nivoja nx64 kbit/s in s tem nudijo potrebne PCM servise prenosa podatkov za meritve in zaščito (G.703, nov protokol C37.94) ter prenos govora. Naprave so grajene v arhitekturi, ki omogoča redundanco vitalnih delov (redundanca napajanja, privezovalne matrike in sinhronizacije), s čimer zagotavljajo potrebno razpoložljivost sistema.

Na linijski strani so naprave med seboj povezane z dvema ali več povezavami na optičnih vlaknih (kapacitete STM-4 ali STM-16), s čimer omogočajo potrebno in zahtevano razpoložljivost storitev (ELES, d.o.o., 2015c).

V večjih objektih elektro gospodarstva je nameščena oprema družine sinhronih digitalnih naprav pod imenom NPT, ki ponuja tako paketno kot tudi TDM-način prenosa paketov. Pri tem paketni in TDM-promet ne vplivata eden na drugega, ker sta povsem ločena. Matrika omogoča 160Gbit/s paketnega prometa in 120Gbit/s TDM prometa s skupno omejitvijo 240 Gbit/s.

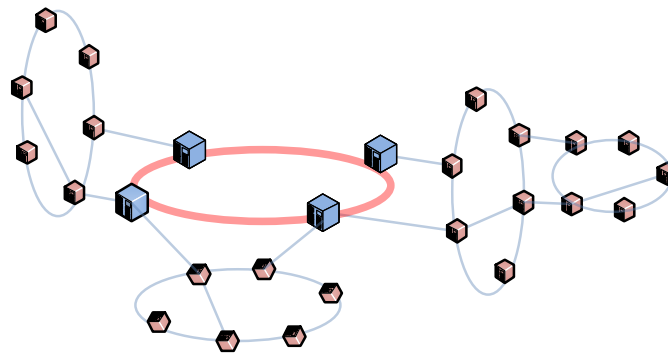
Najprimernejša povezava SDH-omrežnih elementov je sklenjena zanka, ki zagotavlja zaščito prenosnih poti. Sklenjena zanka zagotavlja nivojsko redundanco prenosnih poti, hkrati pa omogoča fleksibilno in nadzorovano zaščitno-preklopno strategijo. Signal kot nosilec informacije potuje po SDH-omrežju podvojeno v dveh smereh. Na ta način je informacija zaščitena pred možnostjo izgube. Ker oprema deluje v obročni topologiji, to pomeni veliko zaščito pred prekinitvijo povezav ali okvar na sistemu. Zaščita preklapljanja je izvedena na nivoju pritočnih kartic. Vsaka matrična kartica naslovi signal v linijski signal, ki je prenesen po eni izmed dveh možnih poti. Na ta način dosežemo, da je aktivna pot posredovana preko fizično ločene podvojene strojne opreme (ELES, d.o.o., 2015c).

Upravljanje in nadzor NG SDH-omrežja se izvaja iz primarnega in rezervnega nadzornega centra, ki sta geografsko ločena, kar omogoča neprekinjeno delovanje ob izpadu enega od centrov. Nadzorni sistem omogoča predvsem enostavno in hitro upravljanje omrežja in s tem spremne v omrežju brez izpadov prometa. Sistem poleg učinkovitega nadzora in upravljanja z več mest omogoča tudi lokalne elemente upravljanja in nadzora z omejenimi prioritetami, centralizirano in decentralizirano upravljanje ter nadzorovanje.

Funkcije daljinskega vodenja so upravljanje alarmov (zbiranje, obdelava, grafični prikaz, hranjenje, slišno in vidno opozorilo, dva nivoja točnosti), upravljanje zmogljivosti omrežja, upravljanje konfiguracije in upravljanje varovanja. Nadzorni sistem omogoča funkcije prikazovanje omrežnega stanja in logičnega omrežja do nivoja signalnih vhodov (nivojska ureditev), popolno konfiguriranje vozlišč, storitev in prenosnih poti za obstoječo konfiguracijo ter za mogočo razširitev, raziskovanje napak (določitev vrste in mesta napake, osamitev, premostitev), vodenje lastnosti omrežja (določanje pragov, preklapljanje na druge poti, prikazovanje in poročanje), sistemsko administriranje (ELES, d.o.o., 2015c).

Ker SDH-omrežje za kvalitetno delovanje potrebuje ustrezni takt, je zgrajeno lastno sinhronizacijsko omrežje, katerega elementi se nahajajo v objektih RTP Beričevo, RTP Krško, HE Dravograd in RTP Divača. V telekomunikacijskih prostorih v objektih RTP Krško in HE Dravograd je na voljo zunanji sinhronizacijski takt frekvence 2048 kHz iz SSU enot, skladno s priporočilom ITU-T G.812 (ELES, d.o.o., 2015c).

Slika 17: Arhitektura NG-SDH-omrežja



3.4 Podatkovno omrežje 2 - PO2

Začetek izgradnje obstoječega podatkovnega omrežja 2 PO2-omrežja sega v leto 2002. V obdobju zadnjih let je bil zgrajen zanesljiv, varen in potrebam prilagojen TK-sistem na osnovi IP/MPLS in Metro Ethernet tehnologij, namenjen zagotavljanju TK-storitev na osnovi protokola L2 (Ethernet) in L3 (IP) za svoje uporabnike, katerih zahteve so se v omenjenem obdobju pospešeno prevešale v smeri uporabe TK-storitev na osnovi protokola IP.

Arhitekturo omrežja PO2 tvorita dva ključna segmenta oz. sloja: Ethernet agregacijski segment in jedrni segment.

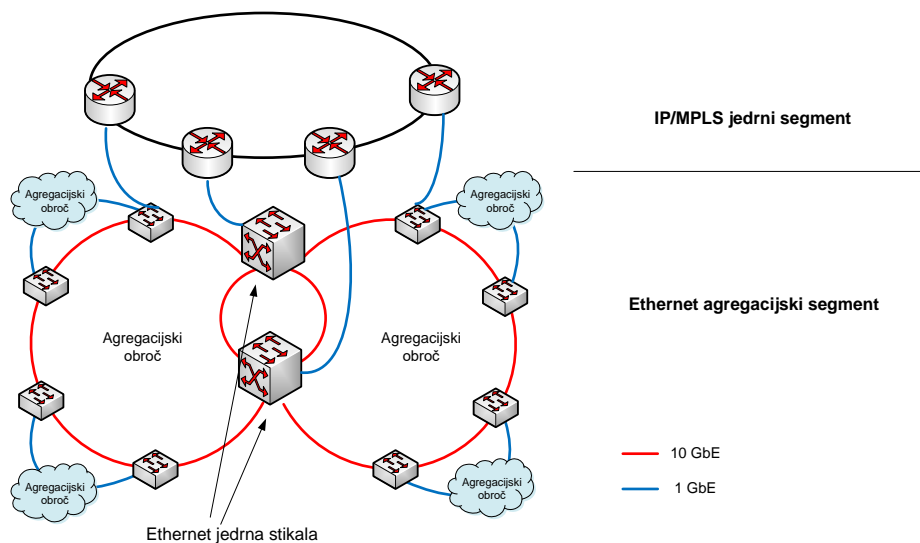
Jedrno omrežje je zgrajeno na osnovi tehnologije IP/MPLS-usmerjevalnikov, Ethernet agregacijski segment pa na osnovi večslojnih Ethernet stikal s funkcionalnostmi, ki omogočajo gradnjo t. i. Carrier Ethernet omrežij.

Obstoječe TK-omrežje PO2 je grajeno v dvoslojni arhitekturi:

- jedrni segment,
- Ethernet agregacijski segment.

Gradnike jedrnega segmenta predstavljajo usmerjevalniki IP/MPLS, ki so medsebojno povezani preko 1 Gb/s (GbE) in 155 Mb/s (STM-1) povezav. Ethernet agregacijski segment sestavljata dva sklopa, in sicer: Ethernet jedrna stikala ter agregacijski obroči. Na Ethernet jedrna stikala so vezani agregacijski obroči, ki jih tvorijo v optično zanko povezana Gigabitna Ethernet stikala.

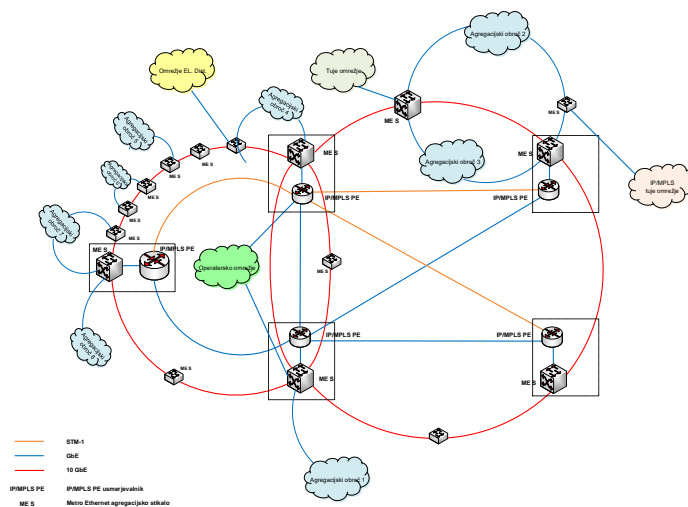
Slika 18: Arhitektura obstoječega TK omrežja PO2



Ethernet agregacijski segment tvorijo zmogljivejša Ethernet stikala, ki so medsebojno povezana v 10 GbE in 1 GbE obroče, preko 1 GbE povezav pa so povezana tudi z IP/MPLS- usmerjevalniki za integracijo z IP/MPLS-jedrom. Obročna struktura Ethernet agregacijskega segmenta zagotavlja pogoje za visoko razpoložljivost storitev v omrežju, zato je na ravni L2 uporabljen zaščitni mehanizem hitrih preklpov na obhodne Ethernet poti v skladu s standardom IETF RFC 3619, ki zagotavlja konvergenčne čase < 50 ms, v primeru okvar prenosnih poti za storitve L2 v Ethernet agregacijskem segmentu. Enak mehanizem je uporabljen tako v 10 GbE obročih, kakor tudi regionalnih 1 GbE obročih, saj se je mehanizem izkazal kot izredno učinkovit in ustrezen naslednik dobro poznanih in učinkovitih mehanizmov obročnih zaščit v omrežju SDH. Struktura Ethernet agregacijskega segmenta je načrtovana tako, da jo je mogoče poljubno širiti, kar je pomembno zaradi potreb po povečevanju omrežnih kapacitet, dodajanju vozlišč in rekonfiguracijah v omrežju, kot posledice nenehnih zahtev uporabnikov po novih ali spremenjenih storitvah (ELES, d.o.o., 2015c).

Omrežje PO2 je s sosednjimi omrežji, bodisi elektrogospodarskih podjetij ali ponudnikov storitev (Stelkom), povezano v točkah, kjer za to obstajajo možnosti in potrebe. Telekomunikacijsko omrežje v povezavi z ostalimi elektrogospodarskimi podjetji služi predvsem kot transportno omrežje za različne storitve, ki jih uporabniki zahtevajo bodisi zaradi izmenjave ali tranzita storitev za procesne ali poslovne sisteme v elektroenergetskem sistemu Slovenije. Zagotavljanje storitev za potrebe Stelkoma se izvaja bodisi na ravni MPLS-jedra za L2 in L3 vrste storitev ali Ethernet agregacijskega segmenta za L2 storitve. Na stikala v Ethernet agregacijskem segmentu se povezujejo različni dostopovni sistemi, kot so radijske bazne postaje ali dostopovna stikala za potrebe optičnega dostopa do končnih strank, katerim Stelkom nudi storitve za zunanje uporabnike.

Slika 19: Topologija obstoječega TK omrežja PO2



Slika 19 prikazuje topologijo celovitega omrežja PO2 – IP/MPLS jedrni segment in Ethernet agregacijski segment. Usmerjevalniki IP/MPLS so medsebojno povezani z GbE in STM-1 linijskimi vmesniki neposredno preko optičnih vlaken ter preko SDH ali WDM prenosnih sistemov. STM-1 spojne povezave se uporabljajo z namenom zaščite primarnih GbE spojnih povezav med usmerjevalniki.

Povezovanje s sosednjimi omrežji elektrogospodarskih podjetij, predvsem elektrodistribucijskih podjetij, se izvaja v točkah, ki so najprimernejše za povezovanje v smislu koncentracije prometnih tokov ter razdalje med vozliščema SOPO in elektrodistribucijskega omrežja. Običajno je to v vozlišču, kjer se nahaja oprema obeh podjetij. Kapacitete teh povezav so 1 Gb/s in realizirane preko 1 GbE vmesnikov. Ostala slovenska elektroenergetska podjetja imajo ločena omrežja.

Tehnologija IP je postala zelo pomembna tehnološka komunikacijska rešitev za zagotavljanje storitev TK povezljivosti za večino uporabnikov znotraj sistema ter za elektroenergetske procesne sisteme, ki prehajajo na tehnologijo IP/Ethernet in so ključni za izvajanje spremljanja in upravljanja elektroenergetskega sistema (števčne meritve, meritve kakovosti EE, nadzor nad delovanjem zaščite) in drugih storitev za službo za sekundarne sisteme na potrebnih točkah. Hkrati ta tehnologija omogoča vključevanje novejših sistemov, ki bodo omogočili povečanje nadzora in s tem učinkovitosti upravljanja elektroenergetskega sistema v zahtevanih točkah (videonadzor, nadzor zaledenitev, senzorji gibanja, kontrola pristopa in ostalih sistemov, ki se pojavljajo kot posledica razvoja inteligentnih sistemov znotraj elektroenergetske infrastrukture in katerim telekomunikacijska povezljivost predstavlja ključen sistem za obratovanje). Uporablja se kot osnovno omrežje za potrebe povezovanja poslovno informacijskih sistemov v podjetju, za IP-telefonijo ter za zunanje uporabnike (druga EES podjetja, tržni uporabniki).V

primeru uporabe istega omrežja za različne tipe uporabnikov se v ta namen uporabljajo različne tehnike varnega ločevanja uporabniškega prometa. Uporabniški promet je z uporabo ustreznih mehanizmov med seboj popolnoma ločen.

Pristop do PO2-omrežja za uporabnike se izvaja preko Ethernet dostopovnih obročev, ki so sestavljeni iz različnega števila Ethernet stikal. Tudi na pristopnem nivoju omrežja je v primeru napake poskrbljeno za hiter preklop na obhodno pot. Za hiter preklop na obhodno pot v primeru napake poskrbi EAPS (angl. *Ethernet Advanced Protection Switching*) protokol. Pristopna stikala združujejo večje število različnih končnih uporabnikov. Vsak Ethernet pristopni obroč je s hrbteničnim IP MPLS-omrežjem povezan preko dveh točk. V primeru priključevanja končnih uporabnikov (strežnik, PC ...) se priporoča uporaba ločenega stikala, ki je namenjeno združevanju manjših uporabnikov. Dodatna stikala se na IP MPLS-omrežje povezujejo preko Gigabit Ethernet povezave. Če je treba premostiti večjo razdaljo, je treba uporabiti optični vmesnik ustreznega dometa in ustrezne valovne dolžine. GE-povezave so izvedene preko različnih tipov optičnih vlaken. V primeru potrebe po večji zanesljivosti je možno pristopno stikalo povezati na dve različni vozlišči IP MPLS-omrežja preko dveh ločenih povezav. Glede na nadaljnji razvoj omrežja, predvsem v smislu povezovanja različnih uporabnikov tudi preko različnih dostopovnih sistemov, je smiselno predvideti razmejitev med hrbteničnim in dostopovnim omrežjem. Taka razmejitev prepreči nepotrebno poseganje v hrbtenično omrežje ob povezovanju raznolikih uporabnikov (ELES, d.o.o., 2015b).

Dostop v hrbtenično omrežje za uporabnike se tako lahko izvaja na več načinov:

- preko električno-optičnih pretvornikov (mnogorodovni ali enorodovni),
- priključevanje stikal ali usmerjevalnikov ostalih uporabnikov na vozlišče hrbteničnega omrežja,
- preko agregacijskega stikala, ki se postavi v bližino večjega števila uporabnikov,
- priključevanje stikal ali usmerjevalnikov ostalih uporabnikov,
- direktno na vozlišča hrbteničnega omrežja (preko električnih FTP/UTP kablov),
- priključevanje stikal ali usmerjevalnikov ostalih uporabnikov.

Povezave uporabnikov PO2-hrbteničnega omrežja, ki so izvedene preko optičnih povezav (optični Ethernet, 10/100 Mbit/s ali 1 Gbit/s), se odražajo v prvem delu kot VLAN-povezave, ki so na točki komunikacije (hrbtenični usmerjevalnik) združene v LSP (Label switched path) poti in se preko Gigabit Ethernet vmesnikov in WDM-omrežja prenašajo do ciljnih lokacij uporabnikov. Hrbtenično PO2-omrežje, ki zagotavlja IP-rešitve sloja 2 (layer 2 IP VPN), se za uporabnika obnaša kot stikalo na drugem nivoju OSI modela. Uporabnik lahko na svojem omrežju konfigurira usmerjevalne protokole in s tem ne vpliva na delovanje celotnega omrežja. Da povežemo dve lokaciji z IP VPN-storitvijo na drugi ravni, morata biti lokaciji povezani do hrbteničnega omrežja z isto tehnologijo. Za

povezavo lokacij z različno tehnologijo povezane ravni se uporablja tako imenovana transparentna IP VPN-storitev na drugi ravni (L2.5 IP VPN).

Za povezavo več lokacij v navidezno Ethernet lokalno omrežje uporabljamo VPLS-storitev v jedru omrežja ali VLAN-povezavo na dostopovnem delu.

PO2-omrežje omogoča tudi VPN-storitve na tretji ravni OSI referenčnega modela. Te temeljijo na priporočilu RFC 2547bis. Uporabniki takšnih storitev zaznajo omrežje kot en sam usmerjevalnik. Ponudnik storitve in uporabnik se morata dogovoriti za način usmerjanja VPN-ja, ki je lahko statičen ali dinamičen (RIP, OSPF, BGP).

Za potrebe izvajanja nadzora, upravljanja in aktivacije storitev na omrežju se uporabljajo nadzorni sistemi, ki so podvojeni in se nahajajo na dveh fizično ločenih lokacijah. Priključeni so na novo nadzorno LAN-omrežje, ki se razprostira iz centra vodenja v rezervni center vodenja ter na tretjo lokacijo, kjer se nahajajo administratorji posameznih omrežij. Nadzorno LAN-omrežje je od omrežja transportnih omrežij ločeno z uporabo požarne pregrade.

3.5 Podatkovno omrežje 1 – PO1

Telekomunikacijsko omrežje PO1 (podatkovno omrežje 1) v sistemu SOPO je eden od vitalnih delov za potrebe vodenja elektroenergetskega omrežja, saj predstavlja skupaj z NG SDH-omrežjem nosilno komunikacijsko infrastrukturo za sistem vodenja energetskega sistema. PO1-omrežje zagotavlja dva tipa storitev:

- Telekomunikacijske povezave RTU-naprav s Sistemom vodenja elektroenergetskega sistema s TCP/IP/Ethernet komunikacijsko platformo, z uporabo mehanizmov L2 ali L3 po standardu IEC 60870-5-104.
- Telekomunikacijske povezave za vse TK-naprave v TK-omrežju za zagotavljanje poenotnega in s tem visoko učinkovitega omrežja za potrebe vodenja in obratovanja vseh TK-sistemov (Elektro Slovenije d.o.o., 2010).

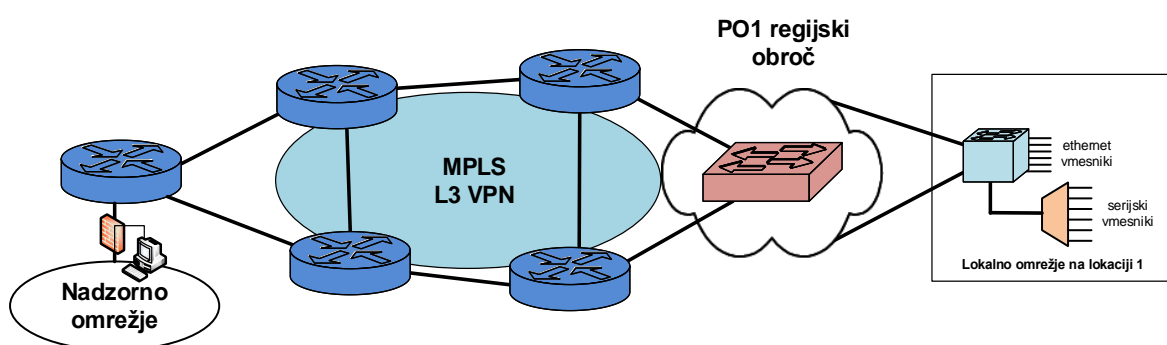
PO1-omrežje je popolnoma fizično ločeno od ostalih podatkovnih omrežij, namenjenih uporabniškimi povezavam, saj mora zagotavljati visoko stopnjo varnosti in omejiti oziroma preprečiti nepooblaščen dostop v PO1-omrežje (Elektro Slovenije d.o.o., 2012).

PO1-omrežje je omrežje, grajeno hierarhično, in ima naslednjo strukturo:

- jedro omrežja PO1 - jedrni usmerjevalniki IP/MPLS,
- regijski obroči PO1 – ethernet stikal,
- lokalno omrežje posamezne končne lokacije – sestavljajo ethernet stikala ter konzolni strežniki za zagotavljanje pretvorbe serijski protokolov na ethernet.

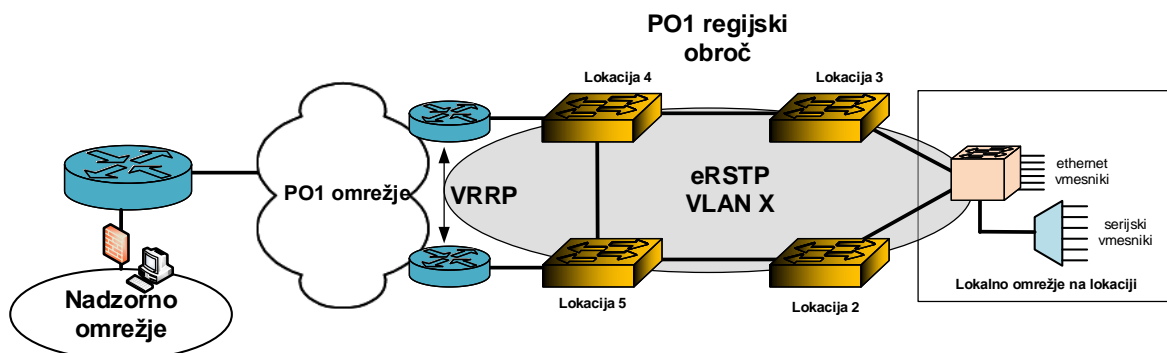
Jedro omrežja PO1 je grajeno v tehnologiji IP/MPLS in ga sestavljajo IP/MPLS-usmerjevalniki, nameščeni na pomembnejših lokacijah, ki so medsebojno povezani v obroč, s čimer je vsak usmerjevalnik dostopen po dveh fizično ločenih poteh, kar je osnovni pogoj za zagotavljanje visoke razpoložljivosti. Na jedru omrežja PO1 je v uporabi protokol MPLS v kombinaciji z L3 VPN-storitvijo, ki zagotavlja povezljivost PO1 regijskih obročev. Na omrežju so že vnaprej nastavljene primarne in rezervne LSP-povezave. V primeru prekinitve primarne LSP-povezave se promet avtomatsko preusmeri na rezervno LSP-povezavo. Preklop na rezervno povezavo se zgodi v času, ki je manjši od 50 ms (Elektro Slovenije d.o.o., 2012).

Slika 20: Topologije jedra omrežja PO1



Regijski obroči PO1 so grajeni v Ethernet tehnologiji in jih sestavljajo Ethernet stikala, prilagojena uporabi v elektroenergetskih omrežjih, medsebojno pa so povezana v obročasto topologijo, navadno direktno preko optičnih povezav. V vsakem obroču protokol eRSTP poskrbi za hiter preklop prometnih tokov na obhodno pot v primeru napake na stikalu ali na posamezni povezavi. V obroču se nahajajo VLAN-povezave, katerih število je identično dvakratnemu številu lokacij in se zaključujejo na dveh ločenih jedrnih usmerjevalnikih. Na usmerjevalnikih je vključen tudi protokol VRRP, ki poskrbi za to, da je privzeti prehod končnih naprav na lokacijah vedno dosegljiv. Privzeti prehod je virtualne narave in se lahko glede na stanje usmerjevalnikov preseli z enega na drugega. S tem je privzeti prehod dosegljiv tudi v primeru odpovedi enega izmed usmerjevalnikov, ki zaključujeta regijski PO1-obroč (Elektro Slovenije d.o.o., 2012).

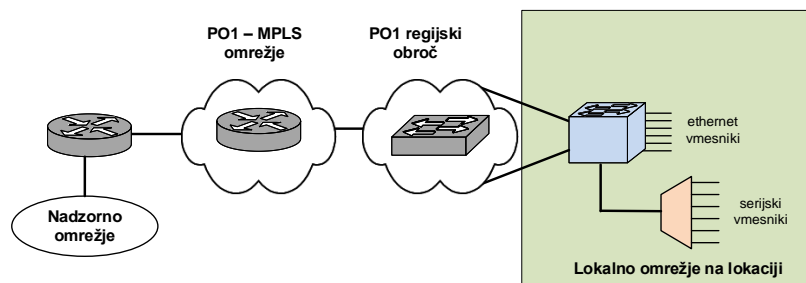
Slika 21: Topologije regijskega obroča PO1



Lokalno omrežje na posamezni končni lokaciji, ki se povezuje v omrežje PO1, mora omogočati priključevanje nadzorovanih naprav ne glede na vrsto priključka za nadzor. Na posamezni lokaciji tako nastopata dve vrsti vmesnikov, ki jih zagotavljajo naprave za prenos nadzorno-upravljaljskih informacij: Ethernet in RS232 (Elektro Slovenije d.o.o., 2012).

Ker se na vsaki lokaciji nahaja večje število nadzorovanih naprav, je v lokalnem omrežju poskrbljeno za rešitev, ki zagotavlja ustrezno število priključkov obeh vrst. Spodnja slika prikazuje razmere glede stanja na lokacijah, arhitekturo lokalnega omrežja na lokacijah TK- omrežja in povezovanje z nadzornim LAN-omrežjem (Elektro Slovenije d.o.o., 2012).

Slika 22: Zgradbe lokalnega omrežja na posamezni lokaciji in povezovanje v omrežje PO1



3.6 DWDM-omrežje

Osnovno vlogo transportnega sloja preko optičnih vlaken predstavlja podomrežje DWDM, ki pa je realizirano samo na delu IKT-omrežja (t. i. vzhodna zanka). Pri tem se je treba zavedati, da DWDM predstavlja samo del optičnega transportnega sistema, saj gre predvsem za zagotavljanje prenosa optičnih kanalov. Za polno funkcionalnost optičnega transporta je treba zagotoviti tudi optično-električni sloj, ki zagotavlja prenosne storitve, tako za SDH prenosne sisteme, Ethernet/IP/MPLS podsisteme ter za podatkovne centre.

Tehnologijo DWDM v optičnih komunikacijah uporabljamo, kadar želimo po enorodovnem vlaknu prenašati večje število valovnih dolžin. Prednost te tehnologije pride do izraza v primeru nadgrajevanja zmogljivosti omrežja. Pri nadgradnji nova vlakna niso potrebna, temveč se le dodajo nove valovne dolžine, kar je cenovno ugodnejše. DWDM omogoča prenos večjega števila valovnih dolžin v področju nizkega slabljenja z manjšimi medsebojnimi valovno dolžinskimi razmiki. Bistvene prednosti tehnologije DWDM se nanašajo na velik domet, možnost prenosa velikega števila valovno dolžinskih kanalov in na zmogljivost posameznega kanala.

SOPO ima zgrajeno DWDM-omrežje z arhitekturo točka-točka (angl. *Point-to-point* – P2P), ki na območju vzhodno od Ljubljane pokriva Štajersko in Dolenjsko. Na ta način lahko eno vlakno, preko katerega je realizirano večje število kanalov, koristi večje število

uporabnikov. Vsakemu uporabniku je namenjen lasten kanal (valovna dolžina) z določeno prenosno hitrostjo in protokolom.

Podomrežje DWDM je, zgrajeno samo na delu IKT-omrežja SOPO, storitve za uporabnike, ki jih je možno realizirati preko tega omrežja pa so:

- povezave za SDH uporabnike, kapacitet STM-1/4/16/64 ob ustrezni dopolnitvi omrežja s transponderskimi enotami ali multipleksnimi enotami, v kolikor je treba optični kanal izkoristiti do polne pasovne širine (10 Gb/s),
- povezave za GbE in 10 GbE uporabnike ob ustrezni dopolnitvi omrežja s transponderskimi enotami ali multipleksnimi enotami, v kolikor je treba optični kanal izkoristiti do polne pasovne širine (10 Gb/s),
- povezave preko valovne dolžine (t. i. lambde), v kolikor uporabniški sistemi (npr. stikalo ali usmerjevalnik) vključuje DWDM obarvane SFP ali XFP enote.

4 ANALIZA STANDARDOV NA PODROČJU TELEKOMUNIKACIJ V ELEKTROENERGETSKIH SISTEMIH

4.1 Standard IEC 60870-5-103

Standard IEC 60870-5-103 določa lastnosti za zagotavljanje interoperabilnosti med opremo za izvajanje zaščite elektroenergetskega sistema in nadzornimi napravami znotraj postaje. Za komunikacijski vmesnik je definiran serijski vmesnik RS-485 ali direkten prenos podatkov čez optična vlakna. Najvišja prenosna hitrost je po standardu omejena na 19200 bit/s.

Po standardu sta možni dve metodi za izmenjavo nadzornih in upravljaljskih podatkov:

- prva temelji na prenosu eksplicitno določenih podatkovnih enotah ASDU (angl. *Application Service Data Unit*),
- druga pa uporablja generične storitve za prenos vseh možnih informacij.

Standardizirana sporočila na osnovi ASDU ne obsegajo vse zaščitnih funkcionalnosti, poleg tega pa tipično naprave za izvajanje zaščite podpirajo le del sporočil standardiziranih v okviru 60870-5-103.

4.2 Standard IEC 60870-5-104

Vsaka oddaljeno krmiljena postaja, ki ustreza standardu 60870-5-104, ima med aplikacijskim nivojem in transportnim nivojem (protokol TCP) dodaten nivo »Internet

Transport Interface«, ki je namenjen oblikovanju podatkov za prenos preko IP. Poleg tega je podatkovni enoti aplikacijskega nivoja ASDU dodano še polje APCI (angl. *Application Protocol Control Information*), s katerim skupaj tvorita podatkovno enoto APDU (angl. *Application Protocol Data Unit*), ki je primerna za prenos preko interneta. Polje APCI zagotavlja, da se aplikacijska sporočila ne izgubijo ali niso podvojena, poleg tega pa omogoča tudi nadzor transportnega nivoja.

Standard IEC 60870-5-104 podpira naslednje tipe storitev:

- inicializacija oddaljenih postaj,
- branje podatkov,
- ciklični prenos podatkov,
- sporočanje informacij o dogodkih,
- sinhronizacija,
- prenos ukazov za krmiljenje,
- testne procedure,
- prenos datotek.

4.3 Standard IEC 60870-6/TASE.2 – ICCP

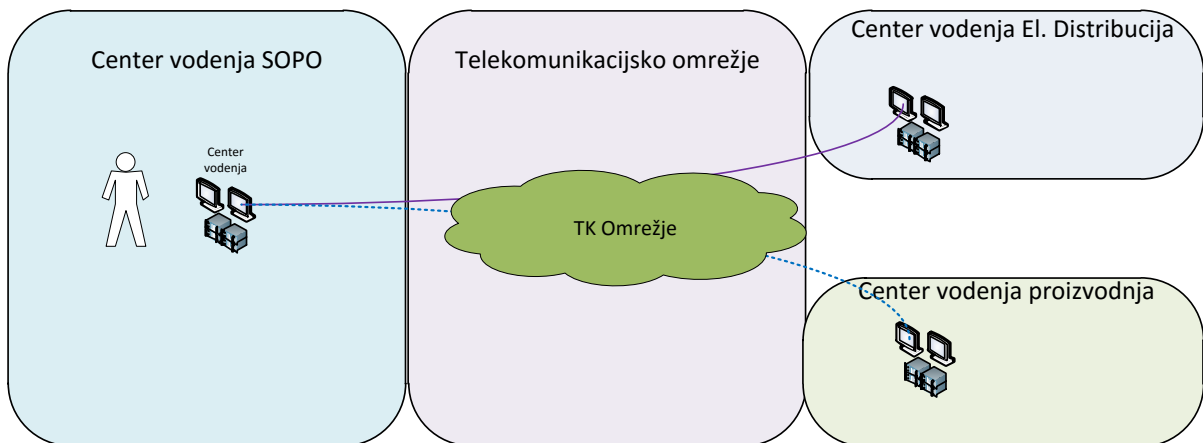
Standard IEC60870-6/TASE.2 (angl. *Telecontrol Application Service Element 2*) ali ICCP (angl. *Inter-Control Center Communications Protocol*) določa izmenjavo podatkov v realnem času čez telekomunikacijska omrežja med nadzornimi centri elektronergetskih sistemov oziroma drugih podpornih omrežij.

Protokol ICCP deluje v načinu klient-strežnik, pri čemer lahko naprava hkrati deluje kot strežnik in klient. Protokol lahko teče nad protokolnim skladom TCP/IP ter za izmenjavo podatkov uporablja sporočila MMS (angl. *Manufacturing Message Specification*). V osnovi omogoča naslednje funkcionalnosti:

- periodično izmenjavo sistemskih nadzornih podatkov (statusni podatki, izmerjene vrednosti, podatki o porabi energije, razna operaterska sporočila),
- krmiljenje naprav in
- poročanje o dogodkih.

ICCP se poleg drugih možnosti uporablja predvsem kot orodje za izvajanje funkcionalnosti nadzora in upravljanja na daljavo v industrijskih okoljih (angl. *Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA*).

Slika 23: Povezovanje centrov vodenja z uporabo protokola ICCP



4.4 Standard IEC 61850

Postopek standardizacije IEC 61850 se je pričel na osnovi projekta UCA (angl. *Utility Communications Architecture*) organizacij EPRI (angl. *Electric Power Research Institute*) in IEEE (angl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*), ki je določal komunikacijsko arhitekturo podpornih omrežij. Standard IEC 61850 je bil prvotno načrtovan za komunikacije znotraj postaje, kasneje pa so dodali tudi standardizacijo za komunikacijo med oddaljenimi postajami na osnovi tehnologije Ethernet. Standard določa koncept integracije komunikacijskih tehnologij v energetskih omrežjih, kar omogoča izvajanje zaščite, nadzora, merjenja, krmiljenja in avtomatizacije oddaljenih postaj. V splošnem standard 61850 združuje funkcionalnosti vseh predhodno predstavljenih standardov.

Glavna prednost standarda IEC 61850 je, da omogoča interoperabilnost med inteligentnimi napravami različnih proizvajalcev. Poleg tega omogoča tudi integrirano upravljanje elementov ter informacij, pri čemer ima uporabnik na voljo konsistenten pregled nad celotnim sistemom.

V grobem standard IEC 61850 definira tri področja delovanja:

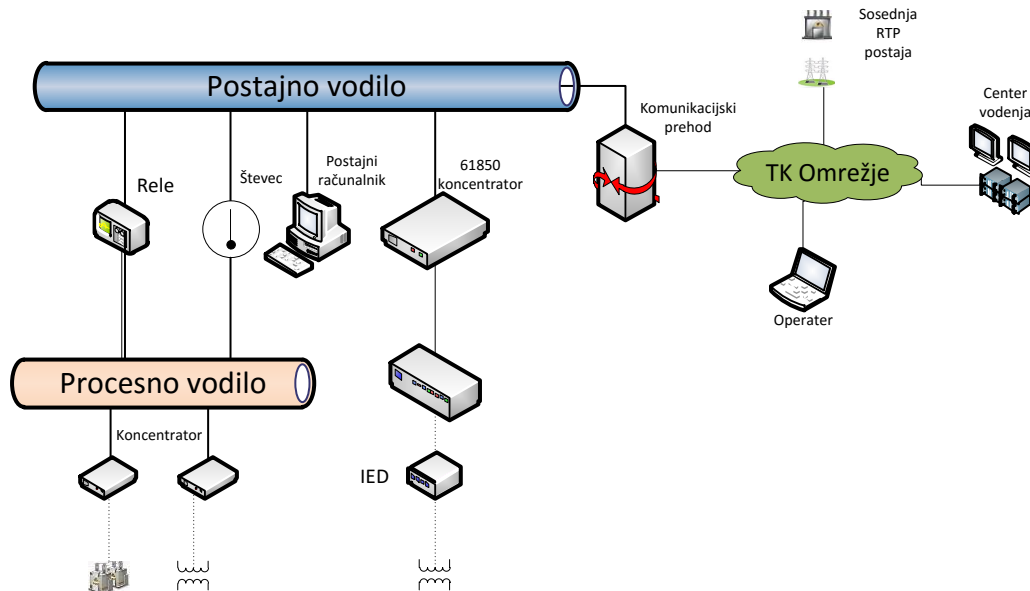
- kateri podatki so na voljo, kako so poimenovani in opisani,
- kako dostopati do podatkov in jih izmenjevati,
- kako naprave povezati med sabo v komunikacijskem omrežju.

Standard IEC 61850 določa arhitekturo komunikacijskega vozlišča, ki ga v osnovi sestavljajo:

- inteligentne elektronske naprave (angl. *Intelligent Electronic Device - IED*),

- vmesniki človek-stroj (angl. *Human-Machine Interface - HMI*),
- vodila in
- komunikacijski prehodi.

Slika 24: Arhitektura komunikacijskega vozlišča po standardu 61850



Iz slike je razvidno, da arhitekturo sestavljata dve vodili:

- postajno vodilo,
- procesno vodilo.

Postajno vodilo predstavlja aplikacijsko domeno vozlišča in je namenjeno povezovanju različnih inteligentnih naprav znotraj postaje oziroma medsebojnemu povezovanju oddaljenih postaj. Procesno vodilo se uporablja za komunikacijo med inteligentnimi napravami za izvajanje zaščitnih funkcij. Tipično se po tem vodilu prenašajo vrednosti vzorčnih meritev električnega toka in napetosti.

Ena izmed lastnosti standarda IEC 61850 je, da določa standardizirano metodo za opis komunikacijskih zmožnosti posamezne inteligentne naprave. Metoda se izvaja s pomočjo gradnje datotek na osnovi jezika SCL (angl. *Substation Configuration Language*), ki temelji na označevalnem jeziku XML (angl. *Extended Markup Language*). Omenjen jezik SCL inteligentnim napravam omogoča tudi storitve opisovanja lastnih značilnosti.

Komunikacija po standardu IEC 61850 se izvaja na osnovi standardiziranih sporočil GOOSE (angl. *Generic Object Oriented System-wide Events*) in/ali MMS. Tipično se sporočila GOOSE uporabljajo za komunikacijo med oddaljenimi postajami, medtem ko se za komunikacijo znotraj postaj lahko uporabljajo tako sporočila GOOSE kot sporočila

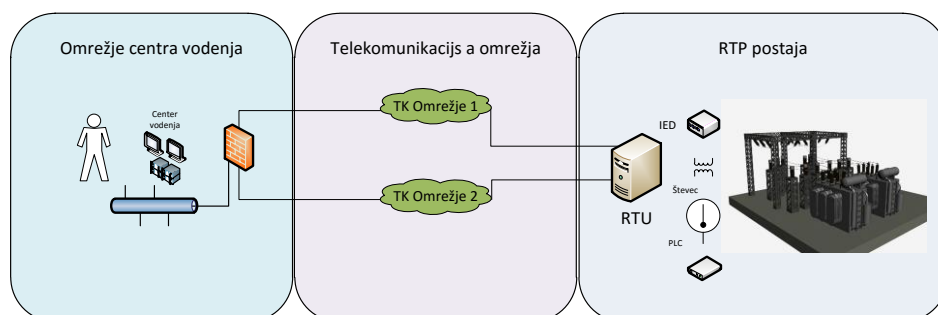
MMS. Možno je pošiljanje unicast in multicast sporočil. Zahteve v standardu so dokaj stroge, saj od trenutka, ko se je zgodil določen dogodek, do trenutka, ko se začne prenos sporočila, ne sme miniti več kot 4 ms.

4.5 Standard DNP3

Standard DNP3 (angl. *Distributed Network Protocol*) predstavlja zbirko komunikacijskih protokolov, ki se uporabljajo v procesni avtomatizaciji. Predvsem se uporablja v raznih podpornih omrežjih, kot je tudi elektroenergetsko omrežje.

Načrtovan je bil kot zamenjava za starejše protokole, kot na primer Modbus, ki se je uporabljal za zajem podatkov in krmiljenje opreme v večjih sistemih. Uveljavil se je predvsem v sistemih SCADA, kjer se je uporabljal za komunikacijo med nadzornim centrom in oddaljenimi postajami oziroma inteligentnimi elektronskimi napravami.

Slika 25: Arhitektura sistema po standardu DNP3



DNP3 omogoča storitve multipleksiranja, fragmentacije podatkov, preverjanja napak, krmiljenja povezave, izbire prioritete in naslavljanje na povezavnem nivoju ISO/OSI modela.

Ključne prednosti/slabosti predstavljenih standardov so:

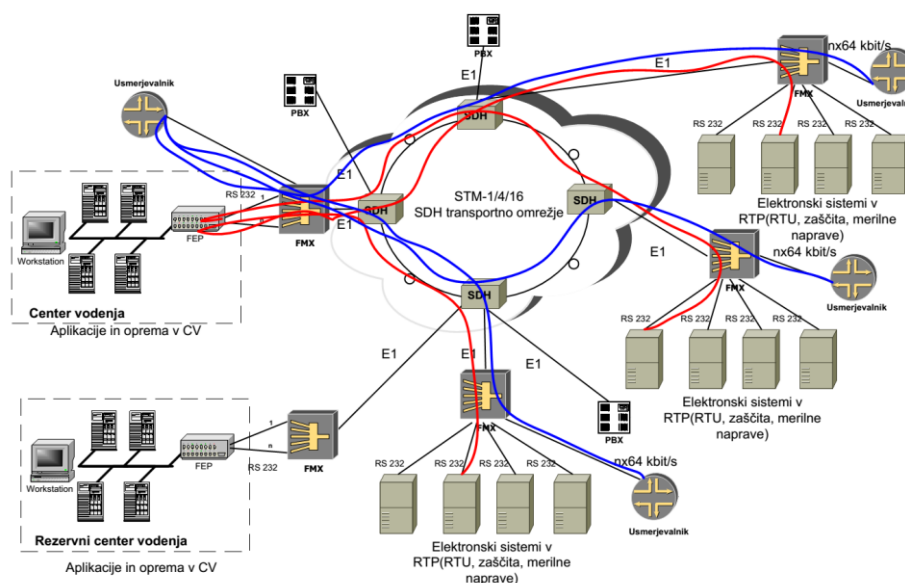
- Vsi omogočajo izmenjavo podatkov za aplikacije SCADA v realnem času, medtem ko IEC 61850 omogoča izmenjavo vzorčnih vrednosti in ukazov za krmiljenje v realnem času.
- Večina ima definirane fiksne funkcionalnosti, medtem ko IEC 61850 podpira več možnosti uporabe vključno z modeliranjem podatkov, opisovanjem lastnih značilnosti naprav, konfiguracijo ter naprednim komunikacijskim modelom in storitvami.
- DNP3 in IEC 60870-5-101/104 omogočata praktično enake funkcionalnosti.
- Vse rešitve omogočajo interoperabilnost na nivoju zajema podatkov.
- IEC 61850 omogoča integrirano informacijsko upravljanje v skoraj vseh podpornih omrežjih, saj uporabniku nudi konsistenten pregled nad sistemom.

- IEC 61850 poleg interoperabilnosti na nivoju zajema podatkov omogoča interoperabilnost tudi na nivoju aplikacij, saj podpira specifične informacijske modele (semantiko).
- IEC 61850 omogoča obsežen jezik za konfiguriranje (SCL), ki omogoča napredne možnosti upravljanja.

5 IZVEDBA PREHODOV IZ STREJŠIH TELEKOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJ NA OBSTOJEČE

V nadaljevanju bom predstavil metodologijo izvedbe pilotnega projekta in potrebna testiranja pri prehodu iz starejših SDH in PDH prenosnih tehnologij na sodobnejše tehnologije, ki uporabljajo Ethernet in protokol TCP IP.

Slika 26: Prikaz komunikacijskih poti in sistemov za potrebe vodenja EES pred migracijo na sodobne tehnologije



5.1 Primerjava različnih variant načrtovanja omrežja pred izvedbo prehoda na nove telekomunikacijske tehnologije

Pri načrtovanju prehoda smo predvideli naslednje variante migracije storitev iz zastarelega PDH/SDH-omrežja na trenutno uporabljene tehnologije.

V osnovi sta možna dva pristopa:

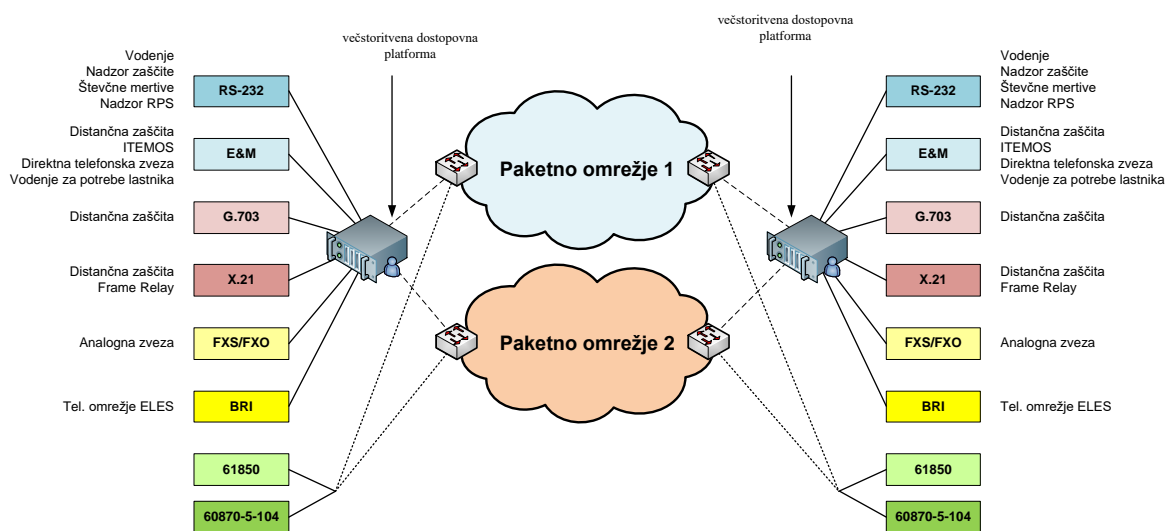
1. transparenten prenos prometa TDM čez paketno omrežje

2. transparenten prenos prometa TDM preko NG SDH-omrežje

5.1.1 Varianta 1: Transparenten prenos prometa TDM preko paketnega omrežja

Prvi pristop temelji na uporabi večstoritvenih dostopovnih platform (angl. *Multi-Service Access Platform - MSAP*) ob uporabi obstoječih paketnih omrežij.

Slika 27: Implementacija večstoritvenih dostopovnih platform



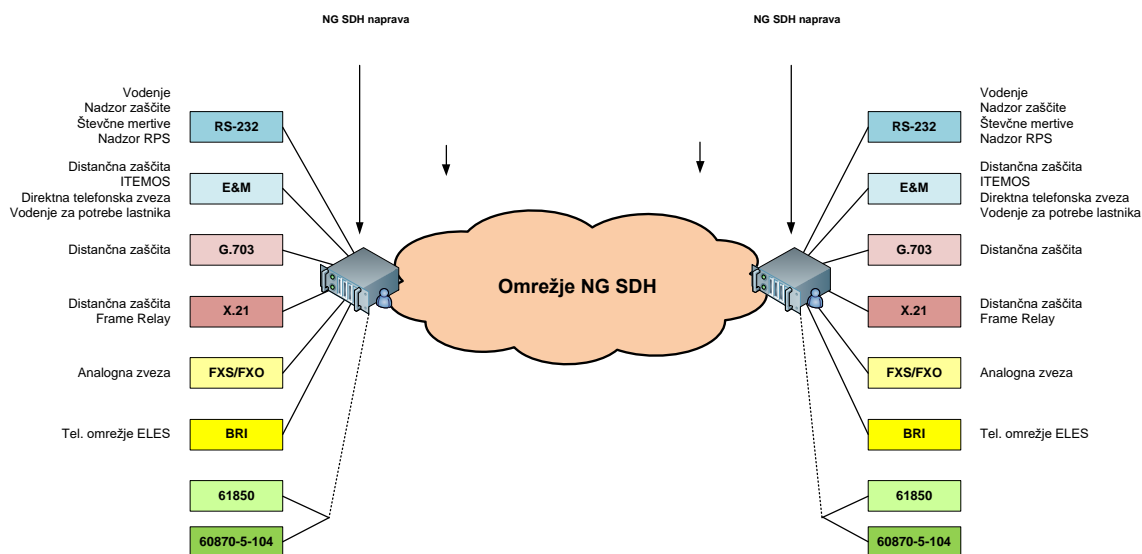
Ugotovitve pri izvedbi pilotnega projekta:

- ohranijo se lahko obstoječa stikala Ethernet,
- ohranijo se obstoječi sistemi vodenja posameznih uporabniških segmentov oziroma naprav,
- modularnost naprav:
 - vgradijo se tisti moduli, ki so potrebni na posameznih lokacijah (oddaljenih postajah),
- implementacija takšnega pristopa je možna na vseh lokacijah.

5.1.2 Varianta 2 : Prenos prometa preko NGSDH-omrežja

Implementacija lahko temelji na uporabi NGSDH-omrežja. Shema implementacije je prikazana na spodnji sliki.

Slika 28: Implementacija z uporabo NGSDH-omrežja



Ugotovitve ob izvedbi pilotnega projekta:

- z namestitvijo stikal NG SDH se lahko vzpostavi enoten sistem upravljanja za produkte vse omrežje elemente,
- ohranijo se obstoječi sistemi vodenja posameznih uporabniških segmentov oziroma naprav,
- ni potrebe več storitvenih dostopovnih platformah,
- implementacija takšnega pristopa je možna na vseh lokacijah.

5.2 Primerjava pristopov

V spodnji tabeli je prikazana primerjava med predstavljenimi pristopi.

Tabela 3: Primerjava pristopov

	Različica 1	Različica 2
Ohranitev obstoječih naprav	da	da/ne
Implementacija novih naprav	MSAP	NGSDH
Implementacija več storitvenih dostopovnih platformah	da	ne

se nadaljuje

Tabela 3: Primerjava pristopov (nad.)

	Različica 1	Različica 2
Upravljanje in nadzor	Ohranitev obstoječih sistemov	Ohranitev obstoječih sistemov
	Nov sistem upravljanja za MSAP	Nadgradnja obstoječega sistema
Prenos govornega prometa	transparentno	transparentno
Prenos podatkovnega prometa	transparentno	transparentno
Modularnost naprav	da	da
Podpora 61850	da	da
Enotna rešitev za vse lokacije	da	da

Na podlagi preverjenih obeh pristopov in izvedenih ustreznih meritev je bila najbolj smiselna rešitev nadgradnja SDH-omrežja s sodobnejšo različico opreme NG SDH istega proizvajalca. Z nadgradnjo opreme se je zagotovilo vse potrebne komunikacijske vmesnike in storitve, ki jih uporabljajo energetske naprave, in na ta način se je omogočilo postopno zamenjavo energetskih naprav v daljšem časovnem obdobju.

Meritve in testiranja pred uvajanjem tehnologije NGSDH so pokazale, da je rešitev tehnološko primerna in lahko nadomesti prenos podatkov za sisteme zaščit, ki so bile v preteklosti izvedene preko omrežij SDH in FMX, ki pa sta bili opuščeni zaradi zmanjševanja stroškov obratovanja.

Storitve, ki jih zagotavlja podomrežje NG SDH so tako:

- Storitve TDM točka – točka. S širokim naborom vmesniških modulov na napravah NG SDH je možno zagotoviti različne storitev, v telekomunikacijskem omrežju so zahtevane storitve povezovanja serijskih vmesnikov RS 232, prenosnih hitrosti do 19200 bit/s, E1 povezave (prenosnih kapacitet 2 Mbit/s), povezave G.703 64 kbit/s kodirekcionalno, kapacitet 64 kbit/s, ter povezave E&M, FXS in FXO (prenos analognih telefonskih kanalov 300-3400 Hz) preko digitalnih kanalov 64 kbit/s.
- L2 VPN-storitve točka – točka ali več točk – več točk, ki jih zagotavljajo Ethernet agregacijski obroči. Storitve so realizirane z uporabo standarda 802.1q, z VLAN-oznaki. Ethernet paketi so v NGSDH-podomrežju s standardiziranimi metodami umeščeni v virtualne kontejnerje SDH-prenosnega sistema. V SDH-prenosnem delu je z različnimi mehanizmi preklonov na obhodne poti zagotovljena visoka razpoložljivost, saj so časi preklonov v primeru napak na prenosnih poteh ali okvar na napravah nižji od 50 ms, s čimer so zagotovljeni zahtevani pogoji visoke razpoložljivosti.

6 ANALIZA ZAHTEV UPORABNIKOV TK-STORITEV

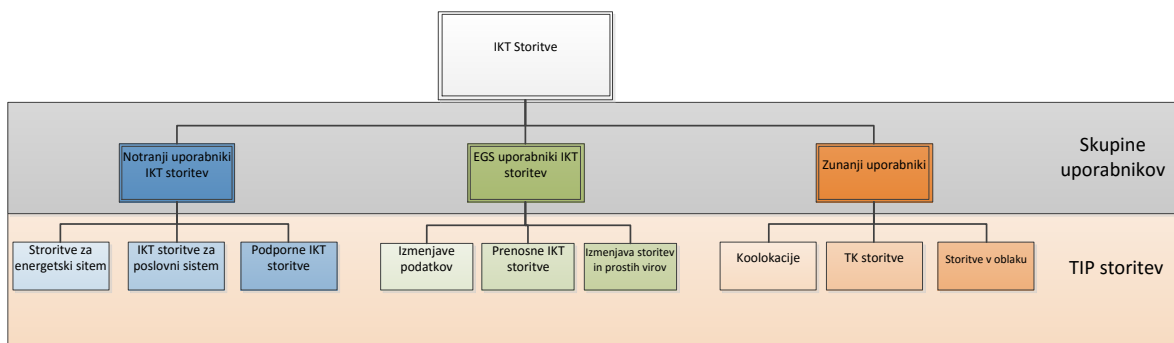
V sklopu naloge sem izvedel analizo notranjih uporabnikov telekomunikacijskih storitev z intervjuvanjem in preučitvijo dokumentacije za posamezno skupino storitev. Storitve sem analiziral po naslednji pogojih:

- vrsta storitve, po uporabniških skupinah,
- zahtevano kapaciteto za priključitev posamezne naprave na telekomunikacijsko omrežje,
- protokol, ki ga končna naprava uporablja za komunikacijo,
- zahtevano maksimalno zakasnitev v omrežju,
- razpoložljivost – zanesljivost telekomunikacijski zvez za nemoteno delovanje storitve,
- servisno okno – termin, v katerem lahko operater telekomunikacijskega omrežja izvaja napovedana vzdrževalna dela, nadgradnje oziroma spremembe na TK-omrežju. Aktivnosti na telekomunikacijskem omrežju lahko povzročijo motnje oziroma prekinitve storitev za končne uporabnike.

Uporabnike telekomunikacijski storitev lahko razdelimo v več kategorij glede na tip uporabnika, glede na potrebe in zahteve naročnikov storitev. V grobem delimo uporabnike na:

- notranje uporabnike TK-storitev,
- uporabniki TK-storitev iz elektroenergetskih podjetij,
- zunanji uporabniki TK-storitev.

Slika 29: Prikaz storitev po uporabnikih in tipih storitev



6.1 Notranji uporabniki TK-storitev

Notranji uporabniki TK-storitev se razlikujejo glede na različne potrebe in zahteve po telekomunikacijskih storitvah. Ločimo med uporabnike, ki imajo zelo visoke zahteve glede varnosti in zanesljivosti storitev, in na uporabnike, ki zahtevajo visoko prepustnost in fleksibilno prilagajanje storitev glede na trenutne potrebe.

Notranje uporabnike TK-storitev lahko razdelimo v tri glavne skupine:

- energetske uporabniki TK-storitev,
- uporabniki TK-storitev področje poslovnega sistema,
- podporne IKT-storitve,

6.1.1 Energetske uporabniki TK-storitev

V avtomatiziranem in vodenem elektroenergetskem sistemu je telekomunikacijsko omrežje vitalnega pomena za izvajanje procesov upravljanja energetskega sistema. Energetske uporabniki zahtevajo telekomunikacijske storitve, ki so prilagojene energetskim napravam in sistemom. Glede na dejstvo, da je življenjska doba energetskih naprav približno 30 let, so običajno s tem povezane tudi zahteve glede komunikacijskih vmesnikov, ki so nameščeni na energetskih napravah. S tega stališča lahko razdelimo tipe storitev tudi glede komunikacijskih vmesnikov, ki so v primerih starejših energetskih naprav z vidika telekomunikacijskih storitev že zastareli. Energetske uporabnike lahko razdelimo v različna področja delovanja glede na področje delovanja, in sicer na:

- vodenje energetskega sistema,
- TK-storitve za sekundarne sisteme,
- izmenjava podatkov.

Tabela 4: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe vodenja energetskega sistema z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Procesni podatki za tehnični sistem vodenja	Točka več točk	RS 232-Serijski, 10/100/1000 Ethernet	10 Mbit/s	< 200 ms	<20 ms
Daljinska analiza obratovalnih stanj EES	Točka več točk	RS 232-Serijski, 10/100/1000 Ethernet	1 Mbit/s	<50 ms	<10 ms
Virtualna elektrarna (Virtual Power Plant)	Točka več točk	RS 232-Serijski, 10/100/1000 Ethernet	1 Mbit/s	<50 ms	<10 ms

se nadaljuje

Tabela 4: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe vodenja energetskega sistema z vidika komunikacijskih zahtev (nad.)

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Sistem WAMS	Točka več točk	10/100 Mbit/s Ethernet	1 Mbit/s	<30 ms	<5 s
Nadzorno omrežje procesnih naprav RTU	točka-točka	10/100 Mbit/s Ethernet	10 Mbit/s	< 50 ms	<10 ms
Omrežje strežniškega okolja SCADA	točka-točka	1/10 Gbit/s Ethernet	1 Gbit/s	< 15 ms	<2 ms
Podatkovna izmenjava	točka- točka	E1, 100M Eth, 1G Ethernet	2 Mbit/s, 10 Mbit/s	<1 s	

Vir: IEEE Power Engineering Society, 2005.

Tabela 5: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe vodenja energetskega sistema z vidika obratovalnih zahtev

Storitev	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Procesni podatki za tehnični sistem vodenja	Visok	99.99	10:00-13:00
Daljsinska analiza obratovalnih stanj EES (DAOS)	Visok	99.9	7:00-15:00
Virtualna elektrarna (Virtual Power Plant)	Srednje	99.9	7:00-15:00
Sistem WAMS	Srednje	99.9	7:00-15:00
Nadzorno omrežje procesnih naprav RTU	Visok	99.9	7:00-15:00
Omrežje strežniškega okolja SCADA	Visok	99.99	7:00-15:00
Podatkovna izmenjava TSO (Electronic Highway)	Visok	99.9	9:00-15:00

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

Tabela 6: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe sekundarnih sistemov z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Prenos kriterija distančne zaščite	točka-točka	G703 Codir, C37.94, E1, 100Mbit/s Eth - optik	64 kbit/s, 2 Mbit/s, 100 Mbit/s	<10 ms	<1 ms
Diferenčna zaščita	točka-točka	optika			
Nadzor zaščit	točka-točka	RS 485, Ethernet	115,2 kbit/s, 10/100 Mbit/s Ethernet	<1 s	

se nadaljuje

Tabela 6: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe sekundarnih sistemov z vidika komunikacijskih zahtev (nad.)

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Števnici sistem	točka - točka, točka več točk	RS 232, RS 485, Ethernet	115,2 kbit/s,, 10/100 Mbit/s Ethernet	<2 s	
Registracija števecv	točka - točka, točka več točk	RS 232, RS 485, Ethernet	9,6 kbit/s, 10/100 Mbit/s Ethernet	<2 s	
Meritev kakovosti električne energije (faza, frekvenca)	točka - točka, točka več točk	Ethernet	115,2 kbit/s, 10/100 Mbit/s Ethernet	<2 s	

Vir: IEEE Power Engineering Society, 2005.

Tabela 7: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe sekundarnih sistemov z vidika obratovalnih zahtev

	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Prenos kriterija distančne zaščite	visok	99.99	7:00-15:00
Diferenčna zaščita	visok	99.99	7:00-15:00
Nadzor zaščit	Srednji	99	24 h
Števnici sistem	Srednji	99	24 h
Registracija števecv	Srednji	99	24 h
Meritev kakovosti električne energije (faza, frekvenca)	Srednji	99	7:00-15:00

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

Tabela 8: Pregled in analiza TK-storitev za izmenjave podatkov z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Podatkovna izmenjava GURS	točka - točka, točka več točk	Ethernet	10Mbit/s	<2 s	<1 s
Podatkovne izmenjava ARSO	točka - točka, točka več točk	Ethernet	10Mbit/s	<2 s	<1s

Se nadaljuje

Tabela 8: Pregled in analiza TK-storitev za izmenjave podatkov z vidika komunikacijskih zahtev (nad.)

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Podatkovne izmenjava BORZEN	točka - točka, točka več točk	Ethernet	10Mbit/s	<2s	
Podatkovna izmenjava javna uprava (omrežje HKOM)	točka - točka, točka več točk	Ethernet	10Mbit/s	<15 ms	<10 ms
Podatkovna izmenjava DSO - Obratovalni podatki za SCADO iz EE objektov v lasti distribucije.	točka- točka, točka več točk	RS232, Ethernet	9,6 kbit/s, 10/100 Mbit/s Ethernet	<200 ms	
Podatkovna izmenjava CSE - Izmenjava podatkov za določanje prenosnih kapacitet za trgovanje na severnoitalijanski meji.	točka- točka	100M Eth	1G ethernet	<200 ms	

Tabela 9: Pregled in analiza TK-storitev za izmenjave podatkov z vidika obratovalnih zahtev

Storitev	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Podatkovna izmenjava GURS	nizek	99	16:00-06:00
Podatkovne izmenjava ARSO	nizek	99	19:00-06:00
Podatkovne izmenjava BORZEN	srednji	99	7:00-15:00
Podatkovna izmenjava JAVNA UPRAVA (omrežje HKOM)	nizek	99	19:00-06:00
Podatkovna izmenjava DSO - Obratovalni podatki za SCADO iz EE objektov v lasti distribucije.	Visok	99.99	19:00-06:00
Podatkovna izmenjava CSE - Izmenjava podatkov za določanje prenosnih kapacitet za trgovanje na severnoitalijanski meji.	Visok	99.99	7:00-15:00

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

6.1.2 Uporabniki TK-storitev področje poslovnega sistema

Poslovne, upravne funkcije, upravljane z viri v podjetju, komunikacija ljudi in poslovno informacijskih sistemov med seboj zahtevajo primerne telekomunikacijske storitve, ki se po zahtevah glede razpoložljivosti in zmogljivosti razlikujejo od storitev za potrebe energetskega sistema. Predvsem je razlika v zahtevah po višjih kapacitetah IKT-storitev, servisnem oknu, ki je prilagojen uporabnikom (Rajamanickam, 2006).

Tabela 10: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe poslovno informacijskega sistema z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Povezljivost poslovnih enot	Točka več točk	1G Ethernet	500-1000 Mbit/s	<50 ms	<20 ms
IP telefonija	več točk več točk	100/1000 Ethernet	80 kbit/s	<65 ms	<2 ms
Povezovanje podatkovnih centrov	točka-točka	1G Ethernet	5 Gbit/s	<50 ms	<10 ms
Internetne povezave	Točka več točk	10/100 Mbit/s Ethernet	500-1000 Mbit/s	<50 ms	NP

Tabela 11: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe poslovno informacijskega sistema z vidika obratovalnih zahtev

	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Povezljivost poslovnih enot	Visok	99.5	17:00-06:00
IP telefonija	Visok	99.5	17:00-06:00
Povezovanje podatkovnih centrov	Srednji	99.99	17:00-06:00
Internetne povezave	Nizek	99.5	00:00-06:00

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

6.2 Uporabniki TK-storitev iz elektroenergetskih podjetij

Elektro energetskega sistema je sestavljen iz različnih deležnikov, ki skupaj tvorijo elektroenergetski sistem Slovenije. Telekomunikacijske storitve omogočajo komunikacijo in izmenjavo podatkov med deležniki EGS-sistema preko različnih telekomunikacijskih sistemov, ki so v lasti posameznih podjetij. Ker se TK-storitve izvajajo preko različnih sistemov, je treba skrbno načrtovanje celotne storitve, ki poleg usklajevanja ustreznih protokolov in vmesnikov na medomrežnih povezavah predvideva tudi ustrezne varnostne

prehode. Z vidika zanesljivosti, varnosti in razpoložljivosti spadajo TK-storitve za EGS med zahtevnejše storitve.

Tabela 12: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektro energetskih podjetij z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Podatkovna izmenjava DSO - obratovalni podatki za SCADO iz EE objektov	točka- točka, točka več točk	RS232, Ethernet	9,6 kbit/s, 10/100 Mbit/s Ethernet	<50 ms	NP
Povezljivost lokacija	več točk več točk	E1, STM1, 100/1000 Ethernet	do 1 Mbit/s	<50 ms	NP

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

Tabela 13: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektroenergetskih podjetij z vidika obratovalnih zahtev

	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Podatkovna izmenjava DSO - obratovalni podatki za SCADO iz EE objektov	Visok	99.99	07:00-15:00
Povezljivost lokacija	Visok	99.9	17:00-06:00

Vir: A. Rajamanickam, Telecommunications in Power Utilities, 2006.

6.3 Zunanji uporabniki storitev

Zunanje uporabnike telekomunikacijskih storitev predstavljajo uporabniki, ki najemajo telekomunikacijske storitve preko hčerinskega podjetja Stelkom d. o. o.. Stelkom d. o. o. ponuja višje prostih kapacitet telekomunikacijskih sistemov in telekomunikacijske infrastrukture. Zunanje uporabniki storitev se delijo na skupino uporabnikov, ki naročajo sorodne tipe storitev, kot na primer dostop do interneta, povezave med poslovnimi prostori, razpršenimi po Sloveniji, mednarodne storitve in povezave med podatkovnimi centri. Zunanje uporabnike lahko segmentiramo tudi glede pripadnosti določeni gospodarski panogi. Glavnina uporabnikov prihaja iz naslednjih gospodarskih panog: bančništvo, javna uprava, mala podjetja, večje gospodarske družbe in multinacionalke, ponudniki storitev in operaterji ter tuja podjetja.

Tabela 14: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe zunanjih uporabnikov z vidika komunikacijskih zahtev

Storitev	Vrsta storitve	Tipi komunikacijskih vmesnikov	Zahtevana pasovna širina	zakasnitve od izvora do ponora	dovoljene spremembe zakasnitev
Povezovanje podatkovnih centrov	točka- točka, točka več točk	1G/10G Ethernet	Od 1Gbit/s do nx10Gbit/s	<50 ms	20 ms
Navidezna zasebna omrežja	več točk več točk	100/1000Mbit/s 10Gbit/s	Od 1Mbit/s do nx10Gbit/s	<200ms	NP
Internet	več točk več točk	100/1000Mbit/s 10Gbit/s	Od 1Mbit/s do nx10Gbit/s	<200ms	

Tabela 15: Pregled in analiza TK-storitev za potrebe elektroenergetskih podjetij z vidika obratovalnih zahtev

	Nivo varnosti	Razpoložljivost v %	Servisno Okno
Povezovanje podatkovnih centrov	Srednji	99.5	00:00-06:00
Navidezna zasebna omrežja	Srenji	99	00:00-06:00
Internet	Nizek	99	00:00-06:00

Pri analizi storitev vidimo, da storitve za uporabnike znotraj energetskega sistema zahtevajo v povprečju zelo visok nivo zanesljivosti, saj je razpoložljivost odvisna od arhitekture in topologije Telekomunikacijskega omrežja. Zunanji uporabniki storitev ne zahtevajo tako visokega nivoja razpoložljivosti, saj običajno najamejo storitev pri dveh različnih ponudnikih telekomunikacijskih storitev. Analiza storitev s stališča servisnih oken razdeli uporabnike na več ključnih segmentov. Notranji in energetske uporabniki predvidevajo servisno okno, v katerem lahko pride do napovedanih prekinitev storitev na del dneva, v katerem so na voljo zaposleni, ki lahko izvajajo upravljanje in krmiljenje energetskih naprav na lokalnem nivoju, vendar morajo biti fizično prisotni na vseh lokacijah, kjer je IKT-storitev motena. Zunanji uporabniki storitev in uporabniki informacijsko poslovnega sistema želijo servisno okno izven delavnega časa, da niso moteni delovni procesi.

Med storitvami internih uporabnikov so ključne:

- prenos kriterija distančne zaščite,
- nadzor zaščit,
- vodenje in povezovanje podatkovnih centrov,
- Podatkovna izmenjava DSO.

Te storitve so odločilnega pomena za delovanje celotnega elektroenergetskega sistema. Pri tem izstopajo predvsem zelo striktne zahteve glede prenosa kriterija distančne zaščite, kjer je v najbolj kritičnih primerih treba zagotoviti, da čas prenosa od oddaje podatka do prejema potrditve o prejemu ne presega 10 milisekund. V kolikor omrežje zadošča temu pogoju, je s tem zagotovljeno tudi pravilno delovanje ostalih storitev v telekomunikacijskem sistemu.

V primeru povezovanja z ostalimi elektroenergetskimi distribucijskimi podjetji mora telekomunikacijski sistem na točkah medoperaterskih povezav zadoščati zahtevanim omrežnim kriterijem, ter drugih elektroenergetskih podjetij. Ključna storitev na teh povezavah je prenos kriterija distančne zaščite, poleg tega pa se izvaja tudi izmenjava podatkov števnih meritev, kvalitete električne energije in meritev faznih kotov.

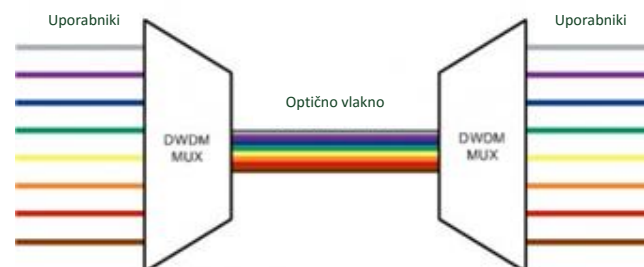
Priporočila izvedbe komunikacijskega sistema za potrebe povezljivosti med elektroenergetskimi operaterji podaja UCTE. Priporočila in tehnične zahteve poleg opredeljevanja načina izvedbe povezljivosti med elektroenergetskimi operaterji posledično določajo tudi karakteristike segmenta komunikacij znotraj infrastrukture operaterja.

6.4 Opis novih telekomunikacijskih tehnologij

6.4.1 Tehnologija OTN in DWDM

Tehnologija WDM je prvenstveno namenjena povečanju zmogljivosti prenosa podatkov čez optične vodnike. Vsak optični signal deluje na svoji specifični frekvenci (oziroma valovni dolžini ali lambda). Multipleksiranje optičnih signalov pravzaprav pomeni prenos več optičnih signalov, ki delujejo na različnih valovnih dolžinah oziroma frekvencah. To pomeni navidezne kanale znotraj enega fizičnega vodnika, po katerih se optični signali prenašajo neodvisno drug od drugega. Če ena valovna dolžina predstavlja določeno barvo, potem več multipleksiranih valovnih dolžin pomeni »mavrico« valovnih dolžin.

Slika 30: Združevanje optičnih signalov preko DWDM-sistema



Pri načrtovanju sistemov DWDM je treba upoštevati stroga načrtovalska pravila, ki jih določa fizični nivo in vključujejo optično slabljenje, kromatsko disperzijo, polarizacijsko

rodovno disperzijo, nelinearna popačenja, ojačenje ter nenazadnje optično razmerje med signalom in šumom. V sodobnih sistemih DWDM pri načrtovanju in upravljanju z analognim fizičnim nivojem skrbijo programska orodja, ki jih proizvajalci vključujejo v faze načrtovanja in obratovanja telekomunikacijskega omrežja z namenom olajšanja dela in v izogib napakam.

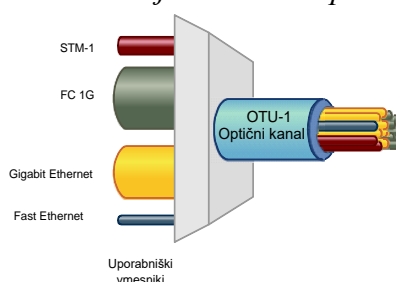
Sistem DWDM je tehnološko neodvisen od višjih omrežnih nivojev, kar pomeni, da se lahko kombinira s katero koli tehnologijo na višji referenčni ravni. Za upravljavce omrežij se prednost tehnologije DWDM kaže tudi v enostavnem nadzoru nad fizičnim optičnim nivojem, ki ga ta tehnologija omogoča (ELES, d.o.o., 2009).

Na žalost do nedavnega tehnologija DWDM, poleg povečanja pasovne širine, ni omogočala drugih pomembnih funkcionalnosti, kot so zaščita in upravljanje, za kar je moralo biti poskrbljeno na višjih omrežnih ravneh, kjer se je za opravljanje teh funkcij porabilo večje količine električne energije. Z vpeljavo optičnih stikal pa so v omrežje DWDM vnesene tudi pomembne funkcionalnosti zaščite in upravljanja s prometom. Sodobna optična DWDM- omrežja torej na fizični nivo telekomunikacijskega sistema vnašajo fleksibilnost (prilagodljivost), skalabilnost (nadgradljivost), konfigurabilnost (razporeditev in oblikovanje). Današnje platforme DWDM so dovolj fleksibilne (prilagodljive), da omogočajo prenos raznolikih širokopasovnih storitev in učinkovitih telekomunikacijskih signalov na različnih valovnih dolžinah. Omogočajo skalabilnost (nadgradljivost), ki kljub nizkim zagonskim stroškom dajejo brezhibne možnosti za postopno dodajanje novih storitev, ko v omrežju nastane potreba.

OTN-tehnologija predstavlja novo generacijo optičnih prenosnih sistemov, ki so optimizirani za prenos v konvergenčnih omrežjih, kjer prevladujejo prometni tokovi na osnovi paketnih tehnologij Ethernet/IP. Temu ustrezno je prilagojena struktura optičnega kanala Och, ki je nosilec storitev, ki jih OTN ADM uvršča v strukturo (ELES, d.o.o., 2009).

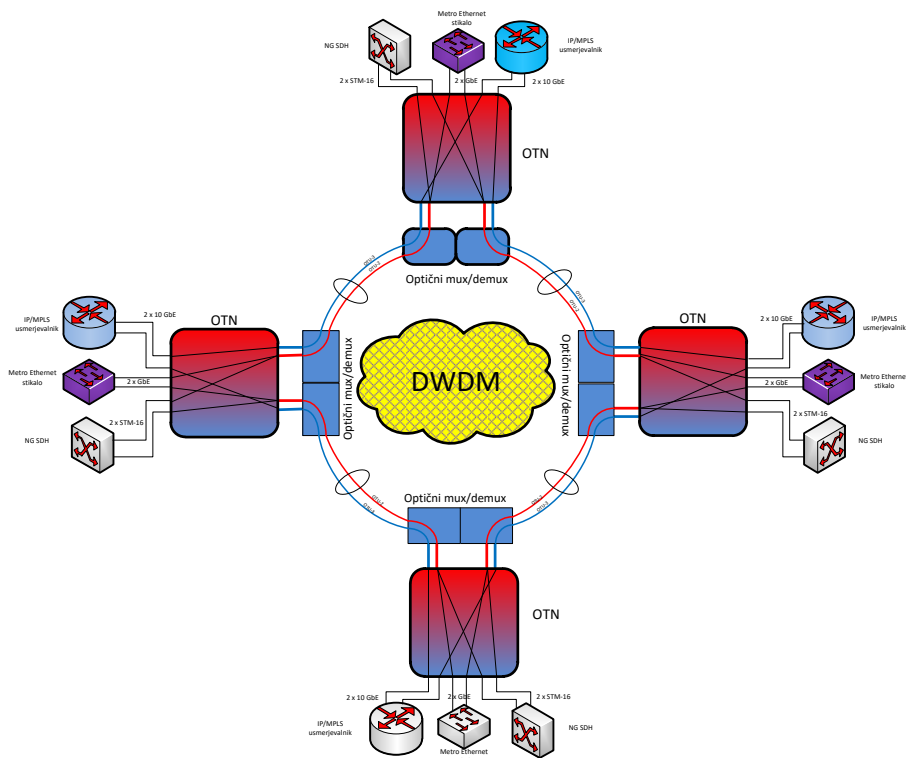
Okvir vsebuje glavo, koristno vsebino in zaključek, namenjen mehanizmu FEC. Slednji omogoči povečanje optičnega dometa s popravljanjem napak pri povezavi dveh vozlišč. V glavi okvirja so standardizirana polja, ki zagotavljajo strukturo OTN, ter mehanizmi OAM. Uvrščanje storitev v koristno vsebino omogoča prenos vseh storitev v okviru enega optičnega kanala, npr. kapacitete OTU-1 (2,67 Gb/s).

Slika 31: Uvrščanje storitev v optični kanal



OTN tehnologija ima vgrajene mehanizme, ki so bili uspešno preizkušeni v praksi že v SDH-omrežjih, vendar je bistveno bolj prilagojena prenosu paketnih prometnih tokov, zato tudi ekonomska primerjava, tako v smislu stroškov investicij, kot obratovanja daje tehnologiji OTN prednost pred SDH. Zato je logičen korak tudi uvajanje te tehnologije v elektroenergetska IKT-omrežja (ELES, d.o.o., 2009).

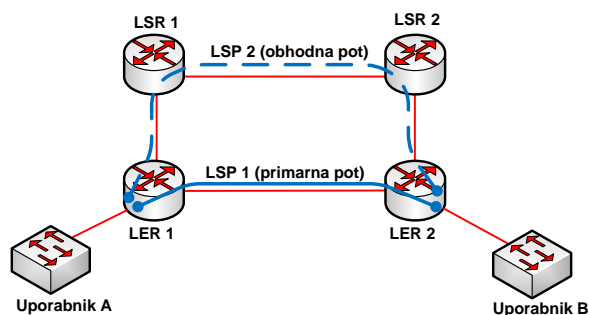
Slika 32: Princip OTN/DWDM sistema



6.4.2 Tehnologija IP/MPLS

MPLS (angl. *Multi Protocol Label Switching*) predstavlja skupek mehanizmov, katerih osnovna ideja je bila razviti tehnološko rešitev, ki preko IKT-omrežja prenaša različne vrste protokolov z uporabo virtualnih povezav – tunelov. Za tako delovanje je bilo treba 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 (angl. *Label Edge Router*) dodajajo in odvezajo labele paketom IP (in paketom ali celicam ostalih vrst protokolov) ter izvajajo preklapljanje paketov MPLS v usmerjevalnikih vrste LSR (angl. *Label Switched Router*) na osnovi label, ki jih uporabljajo posredovalne tabele v usmerjevalnikih. Spodnja slika prikazuje osnovne gradnike preprostega MPLS- sistema.

Slika 33: Osnovni gradniki v omrežju MPLS



Tehnologija IP/MPLS, ki je standardizirana v okviru organizacije IETF, predstavlja najpogosteje uporabljeno transportno platformo v operaterskih transportnih omrežjih. Za usmerjanje v omrežju skrbi protokol IP, medtem ko skrbi za posredovanje prometa protokol MPLS. Posredovalne tabele na napravah MPLS so zgrajene dinamično na osnovi signalizacije ter usmerjevalnih informacij.

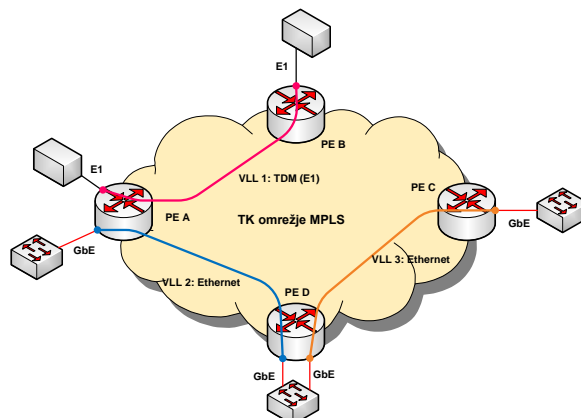
Gleeson (2010) v definiciji Standarda IETF RFC 2764 opredeljuje vrste VPN-omrežij, ki jih lahko uporabljamo za vzpostavitev storitev za uporabnike. Z vidika uporabe v konvergenčnem IKT-omrežju za elektroenergetska podjetja so pomembne naslednje vrste VPN:

- VLL (angl. *Virtual Leased Line*) – osnovna karakteristika je topologija točka-točka in jo lahko primerjamo s storitvami najetih vodov v omrežjih TDM,
- VPLS (angl. *Virtual Private LAN Segment*) – osnovna karakteristika je topologija več točk – več točk in preklapljanje L2 Ethernet paketov znotraj domene VPLS,
- VPRN (angl. *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 IKT-sistemih elektroenergetskih podjetij.

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 34: Storitve VLL preko omrežja MPLS

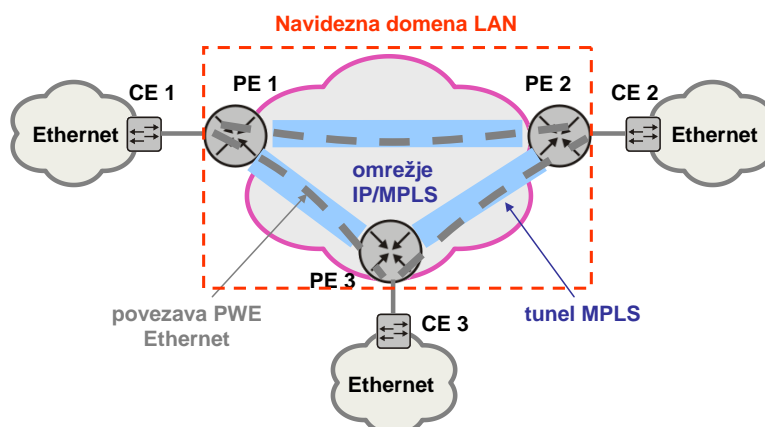


V obstoječih IKT-omrežjih elektroenergetskih podjetij je v uporabi večinoma Ethernet stikalna komunikacijska infrastruktura, ki lahko zagotavlja t. i. L2 storitve oz. storitve, ki jih omogočajo t. i. virtualni LAN – VLAN segmenti. Gre za zelo pogosto metodo virtualizacije na ravni Ethernet omrežja, ki se je izkazala za zelo preprosto, zanesljivo, varno in učinkovito. V smislu načrtovanja konvergenčnega IKT-omrežja pa postanejo VLAN oz. virtualni LAN segmenti smiselni v okviru jedrnega IKT-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 IKT-infrastrukture. Z uporabo mehanizmov, ki jih omogoča MPLS-omrežje pa te storitve dobijo značaj visoke razpoložljivosti, kakovosti storitev, so podvržene omrežnim sistemom vodenja IKT-omrežij, predvsem pa dobijo boljše možnosti glede skalabilnosti ter sobivajo z ostalimi storitvami VLL in VPRN v istem IKT-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.

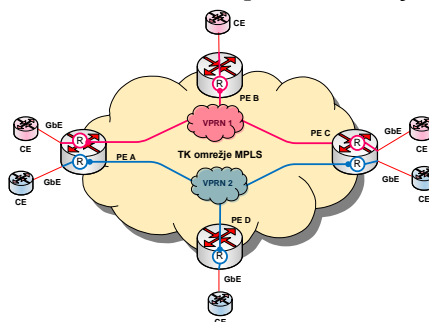
Koncept VPLS domen v omrežju MPLS z uporabo virtualnih premoščevalnikov, ki so nastavljeni na posameznih vozliščih in preko katerih prihaja do posredovanja Ethernet paketov od izvora proti ciljnemu naslovu MAC (Gleeson, 2010).

Slika 35: Storitve VPLS preko omrežja MPLS



Tretja komponenta, s katero načrtujemo konvergenčno IKT-omrežje so gradniki, ki zagotavljajo storitve na t. i. ravni L3 oz. IP VPN-storitve, kar se v okviru MPLS IKT-infrastrukture zagotavlja z VPRN vrsto storitev. Za razliko od VPLS storitev, se znotraj VPRN domene izvajajo usmerjanje prometa na osnovi naslovnega prostora IP. V vozliščih se vzpostavijo domene VRF (angl. *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 (angl. *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 (Gleeson, 2010).

Slika 36: Storitve VPRN preko omrežja MPLS

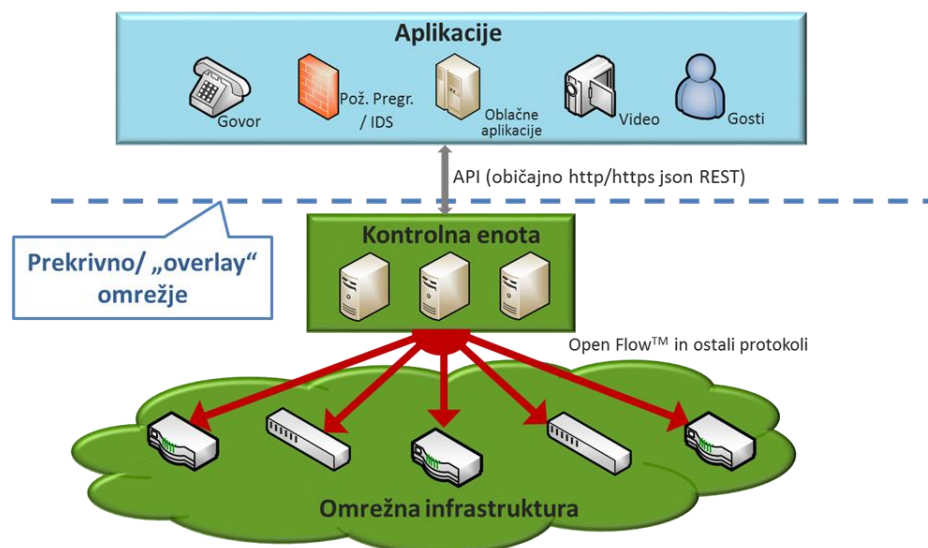


6.4.3 Tehnologija SDN in NFV

6.4.3.1 Opredelitev konceptov SDN in NFV

SDN uvaja koncepte ločevanja kontrolne in posredovalne (podatkovne) ravni v IKT-infrastrukturo in omrežja. Kontrolna raven se seli v t. i. SDN kontrolerje, ki združujejo kontrolne protokole za posredovanje in usmerjanje podatkovnih paketov znotraj centralizirane platforme v podatkovnem centru. Kontroler pridobi globalno sliko omrežnih virov in izvaja centralizirano optimizacijo in hitro izvajanje sprememb v posredovalno raven omrežja. Slika prikazuje osnovni koncept, ki ga prinaša SDN – ločitev kontrolne in podatkovne ravni v omrežju (Ruffini, Slyne, Bluemm, Kitsuwana & McGettrick, 2015).

Slika 37: Osnovni koncept SDN: ločitev kontrolne in podatkovne ravni v omrežju.



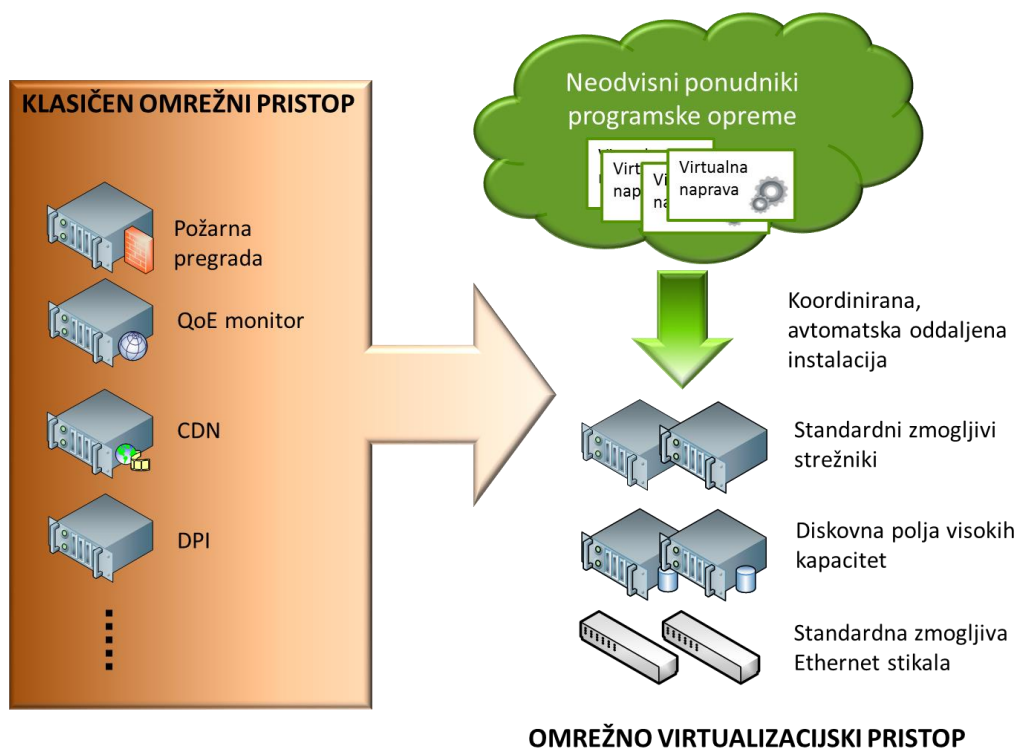
V današnjih razpršenih IKT-omrežjih vsak omrežni element vsebuje svoj del kontrolne ravni, čim bolj kompleksna je naprava, več programske opreme in funkcionalnosti vsebuje. V primeru SDN se omrežni elementi poenostavijo in zagotavljajo predvsem zmogljivosti in fizične lastnosti zahtevane opreme. Dejstvo je, da se je strojna oprema sčasoma in zaradi masovne proizvodnje različnih elektronskih komponent (angl. *merchant silicon*) pocenila, zato ideja o SDN vodi v zmanjšanje stroškov na strani strojne opreme in naprav, ki so povezane v omrežno topologijo, medtem ko se kontrolna raven in s tem protokoli ter funkcionalnosti omrežja preselijo v podatkovni center (DC – Data Center), kar privede do virtualizacije omrežnih funkcij – NFV, kar je osnovna ideja uporabe SDN-konceptov v telekomunikacijskih omrežjih. Omrežni elementi, ki jih poznamo – stikala, usmerjevalniki, požarne pregrade, IDS/IPS (angl. *Intrusion Detection/Intrusion Protection Systems*), delilniki bremen, uporabniške naprave (CPE), različni sistemi monitoringa in spremljanja SLA itd. s konceptom SDN/NFV postanejo virtualne naprave v podatkovnem centru in s

protokoli in mehanizmi poganjajo poenostavljene fizične naprave, ki tako lahko temeljijo na strežniških napravah.

Slika 38: Virtualizacija omrežnih funkcij z uporabo SDN prikazuje koncept virtualizacije omrežnih funkcij v telekomunikacijskem omrežju – NFV.

Avtorji Hakiri, Gokhale, Berthou, Douglas in Gayraud (2014) navajajo, da koncept SDN prerašča pogosto zaznane težave pri konvergenci, ki jih sicer v razpršena omrežja vnašajo porazdeljeni signalni protokoli, posebej še pri omrežjih, katerim število funkcionalnosti in število elementov narašča, kar pa je v sled hitremu razvoju različnih sistemov in avtomatizacije v praktično vseh vejah gospodarstva in industrije postalo dejstvo. SDN poleg omenjenih funkcij omogoča tudi upravljanje in porazdeljevanje prometnih tokov med omrežnimi elementi in potmi z večjo natančnostjo in porazdelitvijo, kot smo temu priča v klasičnih IKT-omrežjih.

Slika 38: Virtualizacija omrežnih funkcij z uporabo SDN



Naprave oz. funkcionalnosti, ki so pričakovane v smislu virtualizacije z uporabo SDN in NFV so naslednje:

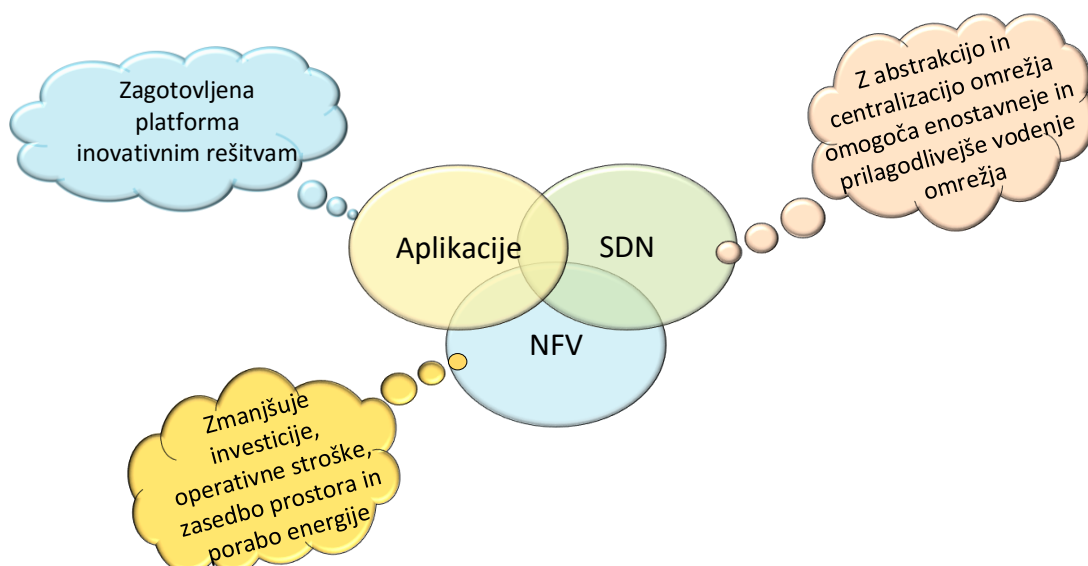
- stikala in usmerjevalniki (IP/MPLS),
- elementi infrastrukture omrežij mobilnih uporabnikov: HLR/HSS, MME, SGSN, GGSN/PDN-GW, RNC, Node B, eNode B,

- funkcionalnosti uporabniških terminalov – usmerjevalnikov, STB,
- VPN-naprave in funkcionalnosti : IPSec/SSL VPN-prehodi,
- analiza prometnih tokov: DPI (angl. *Deep Packet Inspection*), QoE (angl. *Quality of Experience*) meritve,
- nadzor SLA parametrov, testne in diagnostične procedure,
- NGN signalizacija: SBC, IMS,
- funkcije avtentikacij, izvajanja politik in zaračunavanja v omrežjih,
- aplikativni sistemi in funkcije: CDN (angl. *Content Delivery Networks*), delilniki bremen,
- pospeševalniki aplikacij,
- varnostne funkcije: požarne pregrade, IPS, protivirusni sistemi in ostali sistemi zaščit pred varnostnimi grožnjami.

6.4.3.2 Relacije med SDN in NFV konceptoma

Relacije med SDN in NFV so v smislu uporabe koncepta SDN za realizacijo omrežnih funkcij v telekomunikacijskih omrežjih, kot je prikazano na Slika 39. Koncept s svojo odprtostjo omogoča aplikacije, ki so lahko popolnoma neodvisne od proizvajalcev opreme, kar konceptu dodaja nove dimenzije, ki jih v dosedanjih IKT-sistemih nismo srečevali pogosto – neodvisnost od proizvajalcev IKT-opreme, predvsem na višjih aplikacijskih ravneh.

Slika 39: Relacije med SDN, NFV in aplikativnim rešitvam



IKT-omrežja so postala infrastruktura, ki se mora prožno in hitro odzivati na različne zahteve uporabnikov, pri tem pa ohraniti oz. povečati razpoložljivost storitev, zanesljivost

obratovanja omrežja in varnost tako na ravni storitev, kot ravni omrežja. Glavni vzroki, ki so privedli do potrebe po zasnovi novega koncepta, kar SDN in NFV sta, so tako naslednji:

- Omrežja postajajo vse kompleksnejša, število različnih namensko grajenih omrežnih elementov narašča, upravljanje omrežij postaja kompleksno, uvajanje novih storitev počasnejše, zahteve po spremembah pa vse večje.
- Nižji stroški investicij (CAPEX) – odmik od omrežne opreme, ki vsebuje namenska ASIC vezja, zasnova stikal in usmerjevalnikov na strežniški HW platformi (Intel x86 ...).
- Nižji stroški obratovanja (OPEX) – programabilnost v SDN konceptu omogoča hitrejša in lažje načrtovanje, implementacijo in upravljanje omrežij. Avtomatizacija vzpostavljanja in orkestracije storitev optimizira razpoložljivost storitev in znižuje možnosti človeških napak.
- Večja fleksibilnost in prilagodljivost – hitrejši odziv na spremembe, ki prihajajo s strani uporabnikov.
- Povečuje uvajanje novih rešitev – abstrakcija omogoča razvijalcem aplikacij dodajanje novih inovativnih rešitev, ki povečujejo dodano vrednost omrežju ter storitvam.

SDN-koncept se je najprej uveljavil v manjših omrežjih oz. zaključenih celotah, kot so podatkovni centri in omrežja na ravni kampusov, sedaj pa prerašča v uporabo tudi v omrežjih ponudnikov storitev in t. i. industrijskih vertikal, kamor sodijo vladna omrežja, omrežja javne varnosti in tudi IKT-omrežja elektrogospodarskih podjetij. V teh omrežjih so ključnega pomena visoka razpoložljivost, zanesljivost obratovanja in kibernetska varnost. V teh omrežjih se običajno z zamikom uveljavijo tehnologije in koncepti, ki se najprej vzpostavijo v večjih sistemih ponudnikov storitev, s tem postanejo zrele in standardizirane, nato pa postopoma prodirajo v sisteme, kjer je zahtevana visoka razpoložljivost in varnost. Takšna prihodnost se v skladu z industrijskimi trendi napoveduje tudi SDN/NFV-konceptom, zato je smiselno načrtovati postopno uvajanje tehnologije SDN/NFV tudi v telekomunikacijska omrežja elektro energetskih operaterjev. Praksa govori, da je cikel uvajanja takšnih tehnologij treba časovno umestiti tako, da se najprej skozi pilotne projekte in tehnološko usposabljanje strokovnega osebja osvoji prepotrebna znanja in izkušnje za uvajanje takšnih tehnologij v produkcijska okolja oz. obratovalna omrežja.

Pomembno vlogo pri tehnologijah in konceptih imajo tudi standardizacijske institucije ali industrijska združenja, ki opredeljujejo potrebne mehanizme in protokole, ki jih potem proizvajalci IKT-opreme implementirajo v svojih sistemih, s čimer se zagotovi skladnost med sistemi in opremo različnih proizvajalcev, na področju odprtih sistemov, kot je SDN, pa tudi opredelijo vmesnike med posameznimi gradniki (npr. protokol OpenFlow na relaciji omrežni elementi – kontroler ali API vmesniki v smeri proti aplikativni ravni). Ključna standardizacijska telesa, ki opredeljujejo standarde na področju SDN in NFV, so:

- Open Networking Foundation (v nadaljevanju ONF),
- ETSI (angl. *European Telecommunications Standards*),
- MEF Carrier Ethernet (angl. *Metro Ethernet Forum*),
- IETF (angl. *Internet Engineering Task Force*).

Kljub velikim vlaganjem v tehnologijo SDN in NFV se je treba zavedati, da še vedno ostajajo odprta mnoga vprašanja, zato je treba na ti tehnologiji v luči elektrogospodarskih IKT-sistemov gledati v smislu naslednje generacije IKT-infrastrukture, vendar že v sedanjem stanju zasledovati tiste rešitve, ki bodo omogočile postopen prehod, ki bo omogočil tudi transparentnost v smislu razpoložljivosti, zanesljivosti in varnosti IKT-sistemov v EE- podjetjih. Izzivi, v katere se sicer vlagajo visoka sredstva v IKT-industriji, a še niso rešeni v polni meri, so:

- interoperabilnost in prenosljivost,
- zmogljivosti opreme,
- migracijski scenariji in koeksistenca obstoječih in novih omrežnih platform,
- upravljanje in orkestracija,
- avtomatizacija preko celotnega spektra storitev,
- stabilnost delujočih sistemov,
- enostavnost obratovanja,
- integracija različnih sistemov.

6.5 Uvajanje SDN in NFV v elektroenergetska IKT-okolja

Stopnja zrelosti tehnologije SDN in NFV se kljub naštetim izzivom, ki se rešujejo z razvojem rešitev in opreme, je takšna, da je smiselno upoštevati njihovo uvajanje pri načrtovanju izboljšav, nadgradenj ali gradenj omrežij novih generacij v prihodnjih letih tudi v okviru elektrogospodarskih IKT-omrežij. Smiseln pristop je dvofazni:

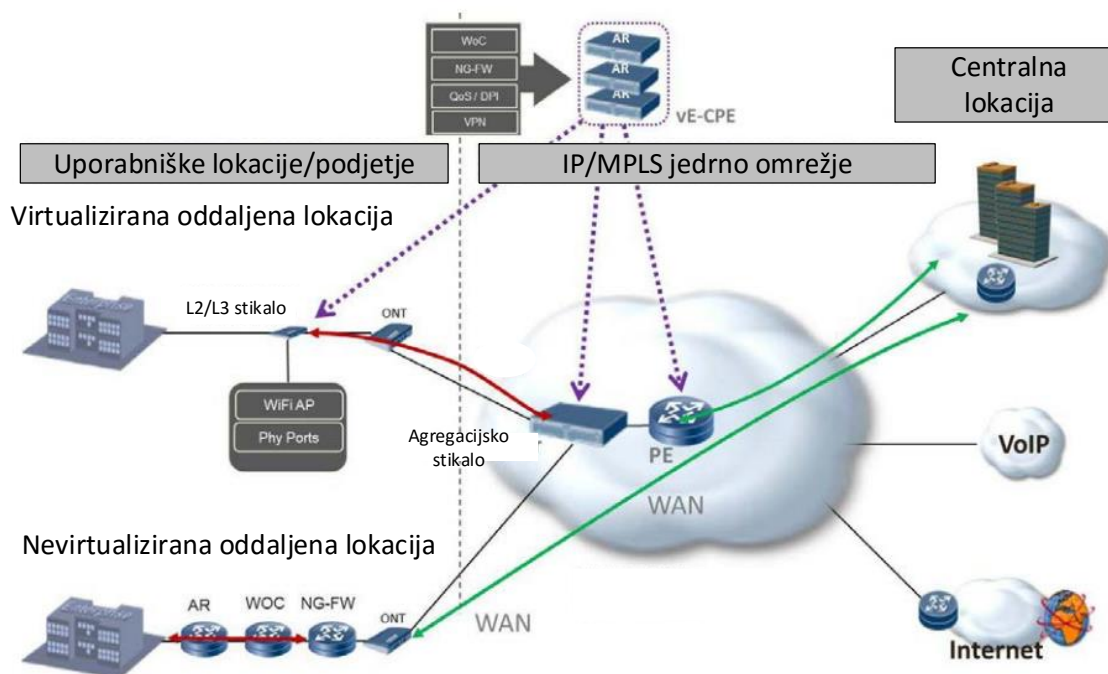
- Uvajanje SDN in NFV najprej v omrežja za poslovne aplikacije in zagotavljanje storitev uporabnikom izven sistema (v kolikor EE-podjetje trži storitve IKT),
- Pridobljena znanja in izkušnje uporabiti v naslednji fazi – pri načrtovanju IKT-omrežij za procesne sisteme, saj tudi ti prevzemajo paketne tehnologije, kot je IP/MPLS z zahtevami po funkcionalnostih s področja varnosti.

Slika 40 prikazuje primer virtualizacije omrežnih funkcij za IP VPN-storitve, ki jih zagotavlja PO2-omreže. Pri tem je treba poudariti, da bodo omrežne strukture v določenem časovnem obdobju – prehodnem obdobju mešane (z uporabo nevirtualiziranih funkcij in uporabo virtualiziranih funkcij), saj bo treba izvesti migracije uporabnikov iz

ene oblike v drugo na način, ki bo uporabnikom zagotovil transparentnost njihovih storitev in neprekinjeno obratovanje njihovih storitev znotraj dogovorjenih SLA parametrov.

Na Slika 40 je tudi vidna bistvena razlika med uporabnikom, pri katerem se nahaja za zagotovitev njegovih (IP VPN, kombiniran z varnostnimi funkcijami - požarna pregrada) storitev oprema, ki ni virtualizirana in uporabnikom, pri katerem ki za enake storitve ponudnik storitev uvede NFV – oprema na uporabniški strani je manj kompleksna, jo je fizično manj, kar posledično vodi v nižje stroške. v kolikor se pojavijo potrebe na strani uporabnika po dodatnih storitvah se te uvedejo v podatkovnem centru in ni potreb po dodajanju nove opreme na končni lokaciji. Treba je še upoštevati, da je v omrežjih končnih lokacij več (npr. v območju nekaj 10, do nekaj 100 ali več), kar dodatno zmanjšuje stroške.

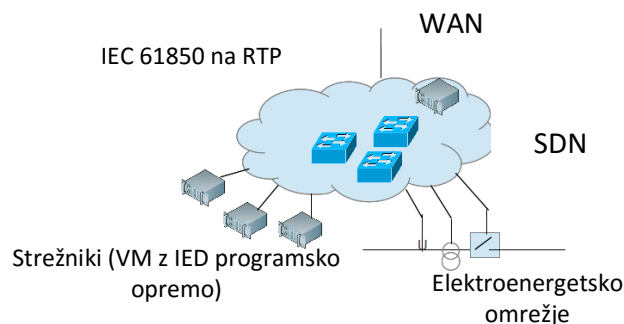
Slika 40: Uvedba NFV koncepta za IP VPN-storitve



Procesna omrežja v elektroenergetskih podjetjih, poleg jedrnih IP/MPLS in varnostnih funkcionalnosti povezujejo čedalje večje število t. i. Inteligentnih elektronskih naprav (v nadaljevanju IED), ki so komunikacijske naprave na ravni RTP-postaj v skladu s komunikacijskim modelom po standardu IEC 61850. Prvi primeri uporabe SDN v procesnih sistemi so že izvedeni in pričakovati je njihov razvoj in uveljavljanje tudi v elektroenergetski pametna omrežja (angl. *SmartGrids*) v prihodnosti. Model IED-naprave na ravni RTP-postaje je namreč takšen, da so njegove funkcije lahko implementirane na podoben način, kot so implementirane komunikacijske naprave v IKT-omrežju. Funkcije IED se po tem konceptu preselijo v virtualno okolje na strežniških sistemih, medtem ko arhitektura na RTP postane struktura merilnikov in senzorjev, ki merijo ustrezne parametre, kot so napetosti in tokovi, vsi procesi obdelave podatkov in IED pa se izvajajo na virtualnih napravah v podatkovnem centru. za IED-naprave na RTP-postajah.

Slika 41 prikazuje koncept SDN/NFV za IED-naprave na RTP-postajah.

Slika 41: Uvedba NFV koncepta v elektroenergetska okolja – primer virtualizacije funkcij IED-naprav na RTP-postaji



7 PRIMER NAČRTOVANJA IN OVREDNOTENJE INVESTICJE ZA PRENOVO OMREŽJA PO2

Za prikaz primera načrtovanja TK-omrežji sem izbral PO2 omrežje, ki je trenutno aktualno za prenovo. V omrežju so naprave, ki se jim že iztekla življenjska doba in nekatere zmogljivosti naprav ne dovoljujejo več dodajanja novih storitev, poleg tega pa so se potrebe po tehnološki rešitvi IP/MPLS razširile, zato je treba izvesti prenovo, ki bo zagotovila nove zmogljivosti v smislu kapacitet ter nove funkcionalnosti, v obeh segmentih PO2-omrežja v jedru ter Ethernet agregacijskih obročih.

Tehnološki trendi razvoja v smeri SDN trenutno še ne dosegajo stopnje zrelosti, primerne za uvajanje v elektroenergetska TK-omrežja, vendar je treba kakršnokoli nadgradnjo načrtovati tako, da bo možno v naslednjih korakih, ko bo na voljo dovolj zrela tehnologija le-to tudi uvesti v telekomunikacijski sistem elektroenergetskih podjetij.

Ugotovljeno povečanje zahtev po prenosnih kapacitetah in pojav novih funkcionalnih zahtev s strani uporabnikov TK-omrežja zahteva prenovo, ki bo zagotovila optimalne pogoje tako v smislu funkcionalnega prilagajanja omrežja, povečanja zmogljivosti naprav v jedru in Ethernet agregacijskih obročih, kakor tudi v smislu obvladovanja stroškov nadgradnje in obratovanja in vzdrževanja omrežja.

7.1 Načrtovanje funkcionalnosti naprav za vključitev v omrežje PO2

Načrtovanje funkcionalnosti naprav v telekomunikacijskih se običajno izvaja ločeno za posamezni segment omrežja. V nadaljevanju je predstavljen nabor funkcionalnosti za naprave, ki so nameščene v jedru omrežja in za naprave v agregacijskem segmentu omrežja.

7.1.1 Načrtovanje lastnosti in funkcionalnosti naprav v agregacijskem segmentu omrežja PO2

- Napajalne napetosti naprav morajo biti 48 VDC. Oprema mora omogočati tudi napajalne napetosti 230 VAC in v mešano konfiguracijo 48 VDC in 230 VAC v istem stikalu za lokacije izven lastnih prostorov, kjer so redundantne napajalne napetosti zagotovljene iz virov 230 VAC.
- Oprema mora ustrezati standardom za elektromagnetno združljivost (EMC) ter mora biti odporna proti elektromagnetnim sevanjem.
- Naprave na večjih lokacijah morajo biti modularna in morajo zagotavljati redundantne komponente: napajalni moduli, kontrolni ter posredovalni moduli.
- Naprave na vseh lokacijah morajo zagotavljati različne Ethernet vmesnike: 10/100/1000 električne, optične 100M/1G, optične 1G z vmesniškimi režami SFP, optične 10G z vmesniškimi režami XFP in SFP+ in 40G optične vmesnike.
- Dostopovne naprave za priklop uporabnikov morajo zagotavljati uporabniške priključke s funkcionalnostmi PoE, v skladu s standardom IEEE 802.3at.
- Naprave agregacijskega omrežja bodo v omrežje in medsebojno povezana preko optičnih vlaken, s 40 GbE (možno 4x10GbE kabel), 10 GbE, 1 GbE vmesniki različnih dometov in preko DWDM-omrežja z $n \times 10$ GbE, 40 GbE ter 100 GbE vmesniki kratkih dometov.
- Naprave morajo podpirati širok nabor vmesnikov 10 GbE, ki se jih realizira s standardnimi optičnimi moduli XFP ter SFP+.
- Naprave morajo podpirati širok nabor vmesnikov 1 GbE, ki se jih realizira s standardnimi optičnimi moduli SFP.
- Oprema ne sme omejevati vgradnje in funkcionalnosti SFP in XFP/SFP+ in QSFP optičnih modulov različnih proizvajalcev.
- V omrežju je treba zagotoviti mehanizme za spremljanje in zagotavljanje SLA parametrov, ki naj temeljijo na standardih IEEE 802.3ah, IEEE 802.1ag in ITU-T Y.1731.
- V okviru prenove pristopno - agregacijskega omrežja morajo biti zagotovljena orodja – sistem vodenja, ki z intuitivnim grafičnim vmesnikom zagotovi učinkovito vodenje Ethernet agregacijskega omrežja, omrežnih elementov ter storitev.
- Naprave morajo zagotavljati naslednje funkcionalnosti: polne funkcionalnosti L2 (VLAN, QinQ (VMAN), MPLS L2 VPN), polne funkcionalnosti L3 usmerjanja (OSPFv2, OSPFv3, BGP4 za IPv4 in BGP4 za IPv6, Multicast PIM SM in PIM DM, VRRP), polne funkcionalnosti glede mehanizmov zaščite v obroču, funkcionalnosti v skladu s standardi najmanj MEF 9 in MEF 14.

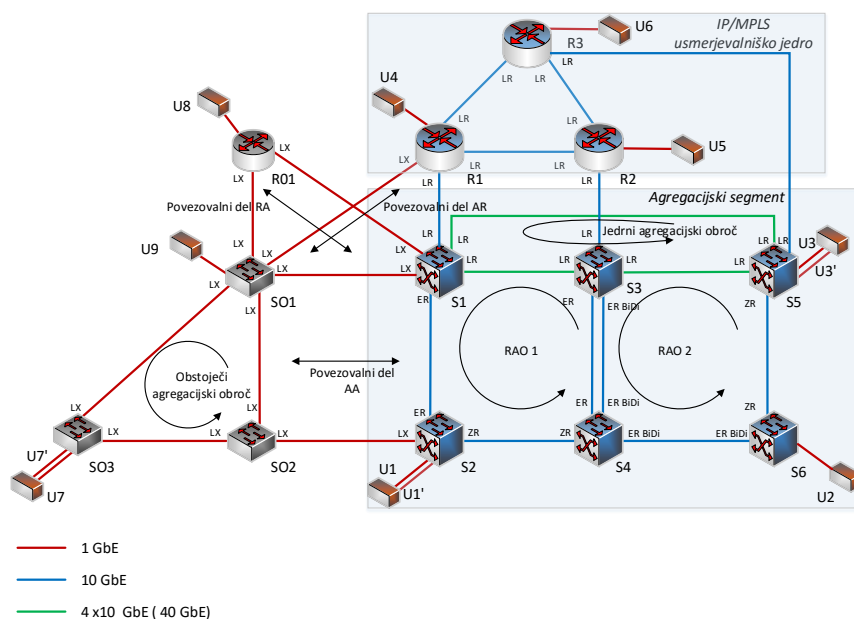
7.1.2 Načrtovanje lastnosti in funkcionalnosti naprav v PO2 jedru omrežja

- 1) Za uspešno prenovo jedrnega PO2-omrežja je treba najprej zagotoviti ustrezen optični transportni sistem DWDM, ki bo omogočil povezljivost večjih kapacitet (10 Gb/s in več) na predvidenih lokacijah, ki so medsebojno oddaljene več kot 60 km. Na ta način se zagotovi poljubno topologijo povezav med jedrnimi vozlišči – zvezda, obroč in enostavno dodajanje novih kapacitet, ko je za to potreba.
- 2) Oprema mora ustrezati standardom za elektromagnetno združljivost (EMC) ter mora biti odporna proti elektromagnetnim sevanjem.
- 3) Naprave v jedru omrežja morajo biti modularne in morajo zagotavljati redundantne komponente: napajalni moduli, usmerjevalni moduli ter posredovalni moduli.
- 4) Naprave v jedru omrežja morajo podpirati storitve preko MPLS, v skladu z RFC 2764: VLL, VPLS in VPRN.
- 5) Oprema v jedru omrežja mora podpirati tehnologije IPv4, IPv6, MPLS.
- 6) Sistem vodenja mora z intuitivnim grafičnim vmesnikom zagotoviti učinkovito vodenje omrežnih elementov ter storitev v skladu z usmeritvami TMF-foruma.

7.1.3 Verifikacija tehnične rešitve pred prenovo PO2

Pri prenovi telekomunikacijskih omrežij je posebno pozornost treba nameniti sami migraciji storitev, ki so na obstoječih napravah, na novo omrežje. Za uspešno prenovo telekomunikacijskega omrežja je treba izvesti verifikacijo rešitev in preveriti interoperabilnost sistemov z namenom doseganja dogovorov o ravni storitev, ki so sklenjeni z obstoječimi uporabniki. Za preverjanje tehnične rešitve sem pripravil poligon, ki omogoča previjanje ustreznosti nove opreme pred integracijo z obstoječim sistemom.

Slika 42: Primer testne postavitve omrežja za preverjanje verifikacije tehnične rešitve



V agregacijskem delu PO2-omreža je predviden jedrni agregacijski obroč kapacitete 40 Gb/s, na katerega sta vezana dva agregacijska (regionalna) obroča kapacitet 10 Gb/s (RAO1 in RAO2). Jedrni agregacijski obroč je v treh točkah povezan z IP/MPLS-usmerjevalniškim jedrom s kapacitetami 10 Gb/s. IP/MPLS-usmerjevalniško jedro tvorijo trije usmerjevalniki povezani v obroč, pri čemer R1 in R2 predstavljata glavna usmerjevalnika, ki zagotavljata redundanco drug drugemu. R3 predstavlja regionalni POP-usmerjevalnik in mora zagotavljati enake funkcionalnosti in neprekinjeno delovanje za vse storitve L2, L3 in IP multicast tudi v primeru hkratne izgube obeh povezav do usmerjevalnikov R1 in R2. Enako morajo biti zagotovljene vse funkcionalnosti v agregacijskih vozliščih, tudi če agregacijski segment izgubi komunikacijo z IP/MPLS-jedrom. Med agregacijskima vozliščema S3 in S4 mora biti izvedena dvojna ločena povezava 10 Gb/s, pri čemer mora biti omogočeno povezovanje obeh linkov v en snop z LACP oz. ekvivalentnim protokolom. Na enega od regionalnih 10 Gb/s agregacijskih obročev je v dveh točkah povezano obstoječe agregacijsko omrežje s obstoječimi stikali, (SO1 in SO2) ter stikala (S03) (povezovalni del AA). Na IP/MPLS-jedro mora biti zagotovljena povezljivost 1 Gb/s z obstoječih stikal, ravno tako z obstoječega IP/MPLS-usmerjevalnika (preko agregacijskih stikal v 10 Gb/s obroču).

Preverjanje tehnične rešitve obsega spodaj navedene funkcionalnosti:

- prikaz in verifikacija pravilnega delovanja storitev VLAN, QinQ (VMAN), E-Line, E-LAN in E-Tree v agregacijskem segmentu,
- prikaz in verifikacija pravilnega delovanja storitev VPLS, L3 VPN ter IP multicast v IP/MPLS-jedru,
- prikaz in verifikacija pravilnega delovanja L2- in L3-storitev med agregacijskim segmentom in jedrom IP/MPLS: v agregacijskem segmentu se preko VLAN, QinQ ter VPLS-storitev prenašajo L3 VPN-povezave, ki se zaključijo na VRFih v IP/MPLS-usmerjevalnikih. Uporabnika sta U1 in U3 (v različnih VLANih, QinQ in VPLS-domenah), zaključevanje L3 VPN je na R1 in R2, pri čemer morata zagotavljati redundanco drug drugemu v primeru izpada enega od usmerjevalnikov. Uporabnik U2 se preko VLAN in QinQ-storitve zaključuje v VRF-u na R3, pri čemer mora storitev L3 delovati v primeru izpada enega od linkov v RAO2, preko katere poteka storitev,
- prikaz in verifikacija preklonih časov za storitve L2 pod 50 ms (simulacija 40 VLANov in 70 % prometna obremenitev naprav) v agregacijskem segmentu. Ščiten, prikazan in verificiran mehanizem preklonih časov mora biti izveden med uporabniškima vmesnikoma U1 in U3, med katerima mora biti zagotovljen preklonni čas VLAN in QinQ storitve pod 50 ms pri navedeni obremenitvi. Delovanje mora biti zagotovljeno ob dvojni napaki v agregacijskem omrežju. Storitve poteka preko povezave S2S4, S4S3 in S3S5. Preklonni mehanizem mora izkazati zahtevane lastnosti delovanja ob hkratni napaki na povezavi S2S4 in S4S3 (obe povezavi v LACP skupini),

- prikaz in verifikacija mehanizmov 8-stopenjskega QoS med uporabniškima vmesnikoma U1 in U3,
- prikaz in verifikacija parametrov OAM na L2 v skladu s standardi IEEE 802.3ah, IEEE 802.1ag in ITU-T Y.1731 med uporabniškima vmesnikoma U1 in U3: zakasnitve, stresanje zakasnitev (jitter), izguba paketov in razpoložljivost storitve,
- prikaz in verifikacija konfiguracije storitev preko sistema vodenja (end-end): L2-storitve (VLAN, QinQ, E-Line, E-LAN) med uporabniškima vmesnikoma U1 in U3,
- prikaz in verifikacija konfiguracije storitev L3 VPN, IP multicast in L2 (VPLS in VLL) z uporabo IP/MPLS funkcij preko sistema vodenja (end-end) med uporabniškimi vmesniki U4, U5 in U6. Za IP multicast storitev je U4 izvor, sprejemniki pa U1, U2, U3, U5 in U6. Verificira se tudi situacija, kje je izvor na U1, ponor na U2, pri tem pa IP multicast ne sme obremenjevati IP/MPLS jedrnega dela omrežja (prenos IP multicasta z minimalnim številom vmesnih naprav – tranzit multicast prometa),
- prikaz in verifikacija konfiguracije IP multicast storitve med agregacijskim segmentom ter IP/MPLS-jedrom. U6 je izvor, U2 in U3 sta sprejemnika. Storitev mora delovati ob hkratni izgubi obeh povezav R3 do R1 in R2,
- MAC-sec storitve – transparenten prenos šifriranih storitev med uporabniškima vmesnikoma U1 in U3,
- IPSec storitve – transparenten prenos šifriranih IPSec storitev med VPN-napravo, ki jo zagotovi in priključi na uporabniški vmesnik U2, IPSec storitve pa se zaključujejo na usmerjevalnikih R1 in R3. Med VPN-napravo na U2 ter R1 in R3 morata biti vzpostavljena dva tunela z AES 256 bitnim šifrirnim algoritmom in potekata preko različnih poti v agregacijskem segmentu in IP/MPLS jedru. V primeru izpada obeh povezav R3 do R1 in R2 in usmerjevalnika R1 mora storitev med VPN-napravo na U2 in R3 delovati,
- L2 tunneling in prikaz transparentnosti delovanja omrežja za LACP-protokol med dvema uporabniškima vmesnikoma na S2 (U1+U1') in S5 (U3+U3'). Med njimi je treba zagotoviti 2 x 1 Gb/s povezavi z 2 Gb/s agregirano prepustnostjo, povezavi pa potekata po različnih smereh v agregacijskem segmentu. Zagotovljeno mora biti delovanje z ustrezno prepustnostjo 2 Gb/s ob izpadu enega od linkov med stikali, ki ga preči ena od 1 Gb/s povezav v LACP skupini.

Interoperabilnost storitev, ki potekajo med novim delom omrežja (IP/MPLS-usmerjevalniško jedro in agregacijski segment), ter obstoječim IP/MPLS-jedrom in agregacijskim segmentom, mora biti dokazana s:

- verifikacijo pravilnega delovanja storitev VLAN, QinQ (VMAN), med agregacijskima segmentoma obstoječega omrežja in novega omrežja. Prikazane morajo biti navedene storitve med uporabniškima vmesnikoma U3 in U7,
- verifikacijo pravilnega delovanja storitev VPLS, L3 VPN ter IP multicast med IP/MPLS-jedroma obstoječega in novega omrežja. Prikazane morajo biti navedene

storitve med uporabniškimi vmesniki U4, U6 in U8. Za IP multicast je izvor U6, medtem ko so U4, U8 in U2 sprejemniki. Delovanje vseh storitev med U6 in U8 mora biti zagotovljeno tudi v primeru hkratnega izpada obeh povezav R3 z R1 in R2,

- verifikacijo pravilnega delovanja L2 in L3 VPN-storitev med obstoječim agregacijskim segmentom in novim jedrom IP/MPLS (povezovalni del AR): v agregacijskem segmentu se preko VLAN in QinQ storitev prenašajo L3 VPN-povezave, ki se zaključijo na VRFih v IP/MPLS usmerjevalnikih R1 in R3. Uporabnika sta U7 in U9 (v različnih VLANih in QinQ), zaključevanje L3 VPN je na R1 in R2, pri čemer morata zagotavljati redundanco drug drugemu v primeru izpada enega od usmerjevalnikov.
- verifikacijo pravilnega delovanja L2 in L3 VPN-storitev med novim agregacijskim segmentom in obstoječim jedrom IP/MPLS (povezovalni del RA): v agregacijskem segmentu se preko VLAN in QinQ storitev prenašajo L3 VPN-povezave, ki se zaključijo na VRFih v IP/MPLS-usmerjevalniku RO1. Uporabnika sta U1 in U2 (v različnih VLANih in QinQ), zaključevanje L3 VPN je na R01. Prikazano mora biti delovanje pri napaki v enem od agregacijskih obročev RAO1 ali RAO2, ko pride do aktivacije preklopne mehanizma,
- verifikacijo preklopnih časov za storitve L2 pod 50 ms (simulacija 40 VLANov in 70 % prometna obremenitev naprav) v agregacijskem segmentu. Ščiten, prikazan in verificiran mehanizem preklopnih časov mora biti izveden med uporabniškima vmesnikoma U3 in U7, med katerima mora biti zagotovljen preklopni čas za VLAN in QinQ storitve pod 50 ms pri navedeni obremenitvi. Delovanje mora biti zagotovljeno ob hkratnih dvojni napaki v novem agregacijskem omrežju in napaki na eni od povezav med novim in obstoječim agregacijskim segmentom. Storitve v novem agregacijskem obroču preči povezave S2S4, S4S3 in S3S5. Preklopni mehanizem mora izkazati zahtevane lastnosti delovanja ob hkratnih napakah na povezavah S3S5, S4S3 (oba linka v LACP skupini) ter S1S01 ali S2S02 (odvisno preko katere poteka storitev).
- verifikacijo mehanizmov 8-stopenjskega QoS med uporabniškima vmesnikoma U3 in U7,
- verifikacijo parametrov OAM na L2 v skladu s standardi IEEE 802.3ah, IEEE 802.1ag in ITU-T Y.1731 med uporabniškima vmesnikoma U3 in U7. Na obstoječem agregacijskem segmentu mora biti zagotovljena neodvisna rešitev, zagotavljanja meritev OAM parametrov na storitvah L2 med obema končnima vmesnikoma (end-end) v skladu z naštetimi standardi: zakasnitve, stresanje zakasnitev (jitter), izguba paketov in razpoložljivost storitve. Meritev naštetih OAM parametrov mora biti izvedena pri situaciji izpadov/napak v novem in obstoječem agregacijskem omrežju,
- verifikacijo konfiguracije IP multicast storitve med agregacijskim segmentom ter IP/MPLS-jedrom. U8 je izvor, U1 in U2 sta sprejemnika.
- MACsec storitve – transparenten prenos šifriranih storitev med uporabniškima vmesnikoma U3 in U7. Zagotovljeno mora biti delovanje ob situaciji izpadov/napak v novem in obstoječem agregacijskem omrežju,
- L2 tunneling in prikaz transparentnosti delovanja omrežja za LACP-protokol med uporabniškima vmesnikoma na S5 (U3+U3') in SO3 (U7+U7'). Med njima je treba

zagotoviti 2 x 1 Gb/s povezavi z 2 Gb/s agregirano prepustnostjo. Zagotovljeno mora biti delovanje z ustrežno prepustnostjo 2 Gb/s ob situaciji izpadov/napak v novem agregacijskem omrežju.

7.2 Ovrednotenje investicije za prenovo omrežja PO2

Za primer pregleda in ovednotenje investicije sem izbral preno PO2-omrežja, ki je trenutno aktualno. Namen investicije obsega prenovo PO2 TK-omrežja v delih omrežja, kjer zahteve presegajo možnosti, ki jih zagotavlja obstoječe stanje in za posodobitev obstoječega sistema, saj se je opremi iztekla življenjska doba. Koristi oziroma pozitivni vplivi investicije se kažejo predvsem v povečanju zmogljivosti v TK-omrežju, povečanju razpoložljivosti TK-storitev za vse uporabnike, povečanju učinkovitosti pri obratovanju omrežja pri optimalni izrabi virov, tako investicijskih kakor človeških.

Namen in cilji investicije so:

- zagotavljanje visoke razpoložljivosti storitvam v TK omrežju,
- konsolidacija obstoječih TK-omrežij in zmanjšanje kompleksnosti omrežij (tudi v smislu ukinjanja t. i. legacy tehnologije in prenosa uporabniških storitev na nova omrežja),
- prenovo obstoječih omrežij z namenom zagotavljanja »end to end« upravljanja in vodenja storitev preko postopne uvedbe koncepta SDN in virtualizacije omrežnih funkcij,
- enovito upravljanje in spremljanje storitev preko nadzornih in upravljalških sistemov,
- uvedba novih storitev v skladu s koncepti "Carrier Ethernet", ki jih definirajo standardizacijska telesa IETF, ITU-T in Metro Ethernet Forum ter zagotavljajo širok nabor storitev za končne uporabnike – od L2 do L3 VPN različnih izvedb.
- nemoteno zagotavljanje vseh obstoječih storitev,
- zagotavljanje visoke varnosti na ravni omrežnih storitev ter procesov pri obratovanju omrežja,
- izraba prenosnih medijev – optičnih vlaken in transportnih sistemov, ki omogočajo skalabilnost in povečevanje omrežnih kapacitet, ter pretočnosti med vozlišči v omrežju v skladu z potrebami in zahtevami,
- skalabilnost omrežja, ki elektroenergetskemu podjetju zagotavlja povečevanje števila uporabnikov, njihovih storitev/aplikacij in kapacitet, pri tem pa zagotavljati visoko razpoložljivost za obstoječe storitve in uporabnike v omrežju,
- zagotavljati kvaliteto storitev v omrežju z uporabo obstoječih mehanizmov QoS, s katerimi je mogoče prioritizirati prometne tokove glede na njihovo naravo in uporabnike,
- tehnološko prenoviti nabor opreme, ki se ji iztekla življenjska doba,

- zagotovitev funkcij spremljanja optičnih in električnih lastnosti ter SLA-parametrov optičnih vmesnikov na nivoju omrežnih in uporabniških vmesnikov ter SLA-parametrov storitev na nivojih L2 (OAM) in L3,
- zagotavljanje vseh obstoječih in novih storitev.

Obvladovanje stroškov z vidika celotnih stroškov opreme in vzdrževanja (TCO) – vrednost projekta je sestavljena iz vrednosti opreme, storitev integracije in vrednosti vzdrževanja opreme za obdobje 5 let po izteku garancijskega roka.

7.2.1 Investicijska vrednost prenove omrežja

Pri izračunu investicijskih stroškov so upoštevane priporočene cene proizvajalcev telekomunikacijske opreme, pridobljene s povpraševanjem na trgu. Investicijski stroški so ocenjeni na podlagi primerljivih projektov v Sloveniji.

Tabela 16: Investicijski izdatki v € po postavkah

Stroškovne kategorije	Vrednosti v €
Dokumentacija projekta	46.700
Strokovne storitve	20.000
Tehnološka oprema	3.747.559
Elektromontažna dela	595.702
Lastne storitve	54.075
Skupaj	4.464.037

7.2.2 Stroški obratovanja

7.2.2.1 Stroški vlaganja zaradi izteka življenjske dobe

Amortizacijska doba opreme je 3 leta, kar pomeni, da je amortizacijska stopnja 33 %. To je posledica tega, da naložba spada med računalniško opremo. Dejanska življenjska doba je sicer daljša in je 7 let. S tega vidika zato klasifikacija ni najustreznejša. Amortizacijska stopnja ostalih stroškov je 20 %.

Strošek vlaganja zaradi izteka življenjske dobe se s postopnim dograjevanjem elementov viša, vendar že po treh letih začne padati, saj se življenjska doba najprej integrirane opreme izteče. V zadnjih letih ostane samo amortizacija dela ostalih stroškov, katerih amortizacijska doba je 5 let.

Tabela 17: Strošek vlaganja zaradi izteka življenjske dobe po letih

Leto	Stroški v €
2016	1.834
2017	98.637

Tabela 18: Strošek vlaganja zaradi izteka življenjske dobe po letih

Leto	Stroški v €
2018	413.784
2019	852.515
2020	1.181.307
2021	1.072.693
2022	631.677
2023	207.074
2024	3.476
2025	1.159

7.2.2.2 Stroški vzdrževanja

Vsak omrežni element zahteva določeno vzdrževanje, ki je glavni strošek delovanja sistema. Za obstoječo opremo je ocenjen na podlagi izkušenj, za novo opremo pa na podlagi informativnih ponudb ponudnikov opreme. Letni strošek vzdrževanja je prikazan v tabeli. Prvi dve leti velja garancija, zato so stroški vzdrževanja v teh dveh letih nižji. Garancija ne pokriva storitev s potrebnim odzivom in s primerno storitveno ravno in izvedbenih pomanjkljivosti lastnega kadra zaradi pomanjkanja kompetenc. Strošek vzdrževanja v prvih dveh letih ocenjujem na 70 % celotnih stroškov vzdrževanja po preteku garancije.

Tabela 19: Podrobnejša delitev letnih stroškov vzdrževanja

Postavka	Število kosov	Cena na kos v €	Skupaj v €
Tipsko vozlišče A	6	29.000	174.000
Tipsko vozlišče B	20	4.900	98.000
Tipsko vozlišče C	64	6.600	422.400
Tipsko vozlišče D	25	4.900	122.500
Tipsko vozlišče F	25	2.700	67.500
Sistem upravljanja	1	16.900	16.900
Skupaj	/	/	901.300

7.2.2.3 Oportunitetni strošek zakupa kapacitet na trgu

V kolikor SOPO ne bi gradil lastnega TK-omrežja, bi moral potrebne kapacitete zakupiti na trgu. Sistemski operater prenosnega omrežja za svoje potrebe po podatkih pridobljeni na podlagi do sedaj realiziranih povezav potrebuje naslednjo minimalno količino zvez, prikazano v spodnji tabeli. Uporabniki telekomunikacijskih storitev so služba ki skrbi za sekundarne energetske sisteme, poslovno informacijski sistem v podjetju, področje obratovanja elektro energetskega sistema, videonadzorni sistemi, varovanje objektov in ostale podporne storitve za potrebe elektro energetskega sistema. V primeru, da se

investicija ne izvede, sicer ne bi bilo investicijskih izdatkov, bi pa morali plačati zakup telekomunikacijskih storitev kapacitet na trgu pri telekomunikacijskih operaterjih. V kolikor bi upoštevali cene iz uradnega cenika pri enem od ponudnikov TK-storitev (Cenik podjetja Telekom, 2016), bi letni strošek zakupa, ki je podrobneje prikazan v spodnji tabeli, znašal 8,9 milijona €. Ker glede na predvidene minimalne potrebe bi naročnik spadal med velike kupce telekomunikacijskih storitev, je pričakovati, da bi dosegel nižjo ceno. Za potrebe analize je upoštevano znižanje na 25 % cene po ceniku.

Tabela 20: Skupni stroški nakupa TK-storitev na trgu, v primeru zakupa telekomunikacijskih storitev na trgu

Hitrost	Število zvez	Letna cena zakupa 2016 v € 28	Skupni letni stroški v €
1 MB/s	900	6.408	5.767.200
10 MB/s	200	10.560	2.112.000
100 MB/s	30	17.172	515.160
1 GB/s	15	34.344	515.160
Skupaj	/	/	8.909.520

Poleg storitev za lastne uporabnike lahko presežek kapacitet tržišimo na trgu prek hčerinskega podjetja. Ocena v prihodnosti je podvržena številnim neznankam, saj se na eni strani pričakuje nadaljnja rast zakupa kapacitet, na drugi strani pa so v zadnjih letih drastično padle cene telekomunikacijskih storitev.

SKLEP

Telekomunikacijska omrežja v sodobnih elektroenergetskih sistemih predstavljajo enega od ključnih sistemov za zanesljive dobave električne energije. Sistemski operater prenosnega omrežja, mora zagotavljati ustrezne telekomunikacijske storitve ne le za lastne potrebe, ampak mora omogočiti ustrezen komunikacijski kanal tudi s sosednjimi TSO-ji, mednarodnimi organizacijami, ki skrbijo za usklajevanje in pretoke električne energije na širšem področju Evrope, ter proizvodnimi in distribucijskimi podjetji električne energije v Sloveniji.

Uporabniške zahteve po telekomunikacijskih storitvah so tiste, ki načrtovalcem telekomunikacijskih omrežij opredeljujejo vhodne podatke za snovanje rešitev. Pri načrtovanju IKT-omrežja je treba upoštevati naslednje poglobitve dejavnike:

- arhitekturo omrežja – opredeljuje zasnovo IKT-omrežja kot systemske celote v obliki modela, kjer je treba upoštevati tehnološke zakonitosti posameznih podomrežij, ter v čim večji meri zasledovati konvergenco med telekomunikacijskimi sistemi,

- topologijo omrežja – opredeljuje zasnovo IKT-omrežja v smislu geografske razpršenosti objektov in povezovanja objektov ter uporabnikov v omrežno strukturo, s hkratnim upoštevanjem fizičnih lastnosti omreži na primer obstoječega optičnega omrežja in potreb uporabnikov,
- funkcionalnosti v omrežju – opredeljuje podrobnejše funkcije sklopov v omrežju, mehanizme za zagotavljanje IKT-storitev in visoke razpoložljivosti, uporabljene protokole posameznih sklopov omrežja ter vmesnike, medsebojno povezovanje posameznih podsklopov sistema, vključevanje uporabnikov v omrežno strukturo in mehanizme interoperabilnosti pri povezovanju posameznih sklopov omrežja in uporabnikov.

V segment funkcionalnih zahtev spadajo tudi potrebe uporabnikov, ki izvirajo iz dolgoročnega načrtovanja storitev in prometnih tokov, znotraj telekomunikacijskih omrežij. Uvajanje sodobnih telekomunikacijskih tehnologij bistveno olajša zagotavljanje storitev za potrebe hitro se razvijajočih potreb pametnih omrežij in sodobnih komunikacijskih protokolov v energetskih sistemih. S tem ko gradimo zelo prilagodljiva telekomunikacijska omrežja končnega uporabnika izpostavimo varnostnim grožnjam, ki se zadnja leta prav na področju energetike najbolj v porastu. Varnostnim grožnjam se ne moremo popolnoma izogniti, kljub temu da vpeljemo v omrežje sodobne varnostne mehanizme, ker so omrežja zelo velika in razpršena, težko zagotovimo ustrezen nivo varnosti na vseh segmentih omrežij. Zato je bistvenega pomena, da opredelimo kritične sisteme in z izolacijo in ustreznim varovanjem le teh zmanjšamo tveganja glede kibernetске varnosti.

Poleg tehnoloških lastnosti, ki jih upoštevamo pri načrtovanju novih telekomunikacijskih sistemov je treba upoštevati še strateške načrte podjetja, poslovnimi cilji, spremembe na področju infrastrukture. Vse te zahteve dopolnimo še z operativnimi postopki v podjetju in z merjenjem uspešnosti v sklopu podpore uporabnikom telekomunikacijskih storitev.

V magistrski nalogi so prikazani obstoječi telekomunikacijski sistemi in proces uvajanja novih telekomunikacijskih sistemov kot npr. IP/MPLS ali NG SDH, ki so prevzeli in konsolidirali uporabniške zahteve, ki so jih pred tem zagotavljala starejša telekomunikacijska omrežja (npr. SDH in PDH). Opisan razvoj telekomunikacijskega omrežja je posledica razvojnega ciklusa, ki se je v osnovi vedno prilagajal uporabniškim zahtevam. Za pravilno umestitev tehnoloških segmentov in njihovo funkcionalno porazdelitev je treba v vsakem trenutku identificirati uporabnike, pri tem pa je za dolgoročnejšo vizijo omrežja treba predvideti tudi trende razvoja uporabniških zahtev.

Analiza zahtev uporabnikov glede telekomunikacijskih storitev, ki sem jo izvedel na podlagi intervjuvanja notranjih uporabnikov, pregleda strokovne literature, ki predpisuje zahteve za posamezne storitve. Telekomunikacijske uporabnike TK-omrežja SOPO v glavnem razdelimo v tri skupine: Notranji uporabniki, EES uporabniki in zunanji

uporabniki. Telekomunikacijske storitve se za različne uporabnike realizirajo na različnih telekomunikacijskih sistemih predvsem zaradi prilagajanja zahtevam uporabnikom glede varnosti, zakasnitev v omrežjih in servisnih oknih, v katerih je možno izvajati posege na telekomunikacijskem omrežju, ki vplivajo na delovanje storitev. Za zagotavljanje visokega nivoja varnosti je za potrebe vodenja elektroenergetskega sistema treba zagotoviti fizično ločeno omrežje od ostalih uporabnikov. Z fizično ločitvijo omrežja lahko z minimalnimi vlaganji in zagotovimo dovolj visoko varnost in se izognemo tveganju neprevedenih udarov v omrežje. Visok nivo razpoložljivosti storitev za vodenje elektroenergetskega sistema se zagotovi s podvojenostjo telekomunikacijskih sistemov, kar je v sistemu SOPO realizirano z uporabo PO1- in NGSDH- telekomunikacijskega omrežja. S podvojenim telekomunikacijskim sistemom za potrebe vodenja EES se veliko lažje tudi izvede prehode iz ene tehnologije na drugo v primeru izteka življenjskega cikla energetskih naprav, telekomunikacijskih tehnologij oziroma razvojem in integraciji novih telekomunikacijskih protokolov. Zunanji uporabniki in poslovni uporabniki v energetskem sistemu imajo podobne zahteve glede tipa uporabniških komunikacijskih vmesnikov, ki so prilagojeni prenosom višjih hitrosti, kot jih zahtevajo energetski uporabniki TK-storitev. Poleg hitrosti prenosov je razlika med energetskimi uporabniki in zunanjimi v servisnem oknu, ki je pogojen s pogodbami o zagotavljanju ravni storitev, ki predvidevajo servisno okno izven delavnega časa oziroma v nočnem času, ko uporabniki manj uporabljajo storitve. Energetski uporabniki zahtevajo servisno okno v delavnem času, ko lahko zagotovijo ustrezno število operaterjev na področju, kjer ni možno izvajati daljinskega krmiljenja RTP-postaj. V takih primerih je potrebna fizična prisotnost operaterjev na terenu, ki izvajajo lokalno vodenje energetskega sistema.

V sklopu magistrske naloge sem opisal možnost uporabe SDN/NFV tehnologije v elektroenergetskih okoljih. Glede na previdnost pri uvajanju novih tehnologij in dolg življenjski cikel trenutnih opreme v energetskih okoljih se ne pričakuje množične uporabe teh tehnologij prej kot v obdobju petih let.

V zadnjem delu naloge je predstavljen praktičen primer načrtovanja in priprave prenove enega od telekomunikacijskih omrežji. V primeru je opisan postopek načrtovanja, priprave okolja za izvedbo testiranja in verifikacijo tehnične rešitve, kot tudi groba ekonomska ocena investicije.

LITERATURA IN VIRI

1. Adam, G., Giarratano, D., & Pathania S. (2014). A framework for developing and evaluating utility substation cyber security. *Schneider Electric*. Najdeno 17. maja 2016 na spletnem naslovu http://www.schneider-electric.com/solutions/sa/en/med/679458528/application/pdf/2399_998-2095-07-21-14ar0_en.pdf
2. Cahn, A., Hoyos, J., Hulse, M., & Keller, E. (2013). Software-defined energy communication networks: From substation automation to future smart grids. *Zbornik internacionalne konference Smart Grid Communications*. Vancouver: IEEE.
3. Elektro Slovenija d.o.o. (2009). *Tehnične specifikacije testiranja prenosa prometa TDM čez omrežje IP/MPLS* (interno gradivo). Ljubljana: Elektro Slovenija d.o.o.
4. Elektro Slovenija d.o.o. (2010). *Projektna dokumentacija za DCN omrežje* (interno gradivo). Ljubljana: Elektro Slovenija d.o.o.
5. Elektro Slovenija d.o.o. (2012). *Projekt izvedenih del DCN3* (interno gradivo). Ljubljana: Elektro Slovenija d.o.o.
6. Elektro inštitut Milan Vidmar. (2013). *Ekonomska analiza posameznih naložb v desetletnem načrtu razvoja prenosnega omrežja za obdobje 2013 do 2022* (interno gradivo). Ljubljana: EIMV.
7. ELES, d.o.o. (2009). *Predlog načrta razvoja optičnega prenosnega omrežja ELES* (interno gradivo). Ljubljana: ELES, d.o.o.
8. ELES, d.o.o. (2010). *Povzetek strategije razvoja IKT v podjetju ELES d.o.o.* Ljubljana: ELES, d.o.o.
9. ELES, d.o.o. (2015a). *Prenašamo energijo. Prenašamo vrednote. Brošura*. Ljubljana: ELES, d.o.o.
10. ELES, d.o.o. (2015b). *Poslovnik sistema upravljanja gospodarske službe PSU. Izdaja 5 KU* (interno gradivo). Ljubljana: ELES, d.o.o.
11. ELES, d.o.o. (2015c). *Predstavitev telekomunikacijskega omrežja ELES* (interno gradivo). Ljubljana: ELES d.o.o.
12. ELES, d.o.o. (2016a). ELES se predstavi. Najdeno 19. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://intranet.eles.si>
13. ELES, d.o.o. (2016b). *Strateški poslovni načrt 2016 -2020* (interno gradivo). Ljubljana: ELES, d.o.o.
14. Energetski zakon (EZ-1). *Uradni list RS*, št. 17/2014.
15. Fujitsu Network Communications Inc. (2014). Software-Defined Networking and Security for Utilities. *FUJITSU design and shaping tomorrow with you* [zgoščenka]. Richardson: Fujitsu Network Communications Inc.

16. Gleeson, E. (2010). A Framework for IP Based Virtual Private Networks. *The Internet Society*. Najdeno 14. januarja 2016 na spletnem naslovu <https://tools.ietf.org/html/rfc2764>
17. Hakiri, A., Gokhale, A., Berthou, P., Douglas, C., & Gayraud, T. (2014). Software-Defined Networking. *Challenges and research opportunities for Future Internet, Computer Networks*. Najdeno 22. aprila 2016 na spletnem naslovu <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128614003703>
18. IEEE Power Engineering Society. (2005). 1646TM IEEE Standard Communication Delivery Time Performance. Standards1646TM. Najdeno 19. februarja 2016 na spletnem naslovu <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1405811&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F9645%2F30475%2F0140581>
19. *Industrial control systems cyber emergency reponse team*. Najdeno 17. maja 2016 na spletnem naslovu <http://www.paymentscardsandmobile.com/banks-merchants-struggling-keep-pace-cyber-threats/#prettyPhoto>
20. International telecommunication union (2007). Telecom Network Planning for evolving Network Architectures. *Document NPM/4.1* [zgoščenka]. Geneva: ITU.
21. Knapp, E. D. (2011). Industrial network Security: Securing Critical Infrastructure Networks for Smart Grid, SCADA, and Other Industrial Control Systems, Syneress.
22. Kosmač, L. (2015). *Razvoj prenosnih paketnih omrežij v smeri MPLS-TP in SDN* (diplomsko delo). Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
23. Mohagheghi, S., Stoupis, J., & Wang, Z. (2009). *Communication Protocols and Networks for Power Systems-Current Status and Future Trends* [zgoščenka]. Raleigh: ABB USA Corporate research center.
24. Računsko sodišče republike Slovenija. (2012). Izvajanje gospodarske javne službe systemskega operaterja prenosnega omrežja. *Revizijsko poročilo*. Ljubljana: Računsko sodišče republike Slovenije.
25. Rajamanickam, A.(2006). Telecommunications in Power Utilities. *ARSEPE06, 13th to 24th November 2006*. Najdeno 7. oktobra 2015 na spletnem naslovu <https://www.scribd.com/document/52714699/PAPER-Telecommunications-in-Power-Utilities-ASIA-2006>
26. Ruffini, M., Slyne, F., Bluemm, C., Kitsuwana, N. & McGettrick, S. (2015). Software Defined Networking for Next Generation Converged Metro-Access Networks. *Optical Fiber Technology Volume 26, Part A*. Najdeno 24.3.2016 na spletnem naslovu <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1068520015001108>.

27. Tanterdtid, S. & Pao-on A. (2003). IP/MPLS-based Data communication Network For Power Utility. *Power Tech Conference Proceedings. Bologna: IEEE*. Najdeno 6. Decembra 2014 na spletnem naslovu http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1304496&url=httpieeexplore.ieee.org2Fxppls2Fabs_all.jsp3Farnumber%3D1304496
28. Telekom Slovenije d. d. (2016). *Cenik podjetja Telekom*. Najdeno 29. marca 2016 na spletnem naslovu <http://www.telekom.si/pomoc-in-podpora/ceniki/vsi-ceniki#3/15>
29. *The Department of Homeland Security's Industrial Control Systems Cyber Emergency Response Team (ICS-CERT)*. (2015). Najdeno 12. maja 2016 na spletnem naslovu <http://independentlivingnews.com/2015/01/21/202478-cyber-attacks-impacting-everything-from-the-national-grid-to-pacemakers-yet-the-government-remains-obsessed-with-climate-change/>
30. Uršič, G. (2009). Načrtovanje telekomunikacijskih omrežij za potrebe procesnih sistemov. *Cigre, 9. konferenca slovenskih elektroenergetikov* [zgoščenka]. Ljubljana: Slovensko združenje elektroenergetikov Cigre – Cired.
31. UTC Research. (2006). *IP Communications Implementation for Critical Infrastructure* [zgoščenka]. Washington: Utilities Telecom Council.

PRILOGA

PRILOGA 1: Seznam kratic

Kratica	Angleški izraz	Slovenski izraz
ADM	Add-Drop Multipleksor	Multiplekser z dodajanjem/odvzemanjem
APCI	Application Protocol Control Information	Aplikacijski protokol nadzora podatkov
APDU	Application Protocol Data Unit	Aplikacijski protokol podatkovnih storitev
ASDU	Application Service Data Unit	Aplikacijska enota podatkovnih storitev
ATM	Asynchronous transfer mode	Asinhroni način prenosa
CAPEX	Capital Expenditures	Stroški investicij
CV		Center Vodenja
DCN	Data Communication Network	Podatkovno omrežje
DNP	Distributed Network Protocol	Razpšeni omrežni protokol
DRC	Data Recovery Center	Rezervni podatkovni center
DRS	Digital Radio System	Digitalni radijski sistem
DWDM	Dense wavelength division multiplexing	Gosto valovno multipleksiranje
DXC	Digital Cross Connect	Digitalni prevezovalnik
EES		Elektroenergetski sistem
EMS	Element Management System	Sistem vodenja omrežnih elementov
ENTSOE	European Network of Transmission System Operators for Electricity	Evropsko združenje sistemskih operaterjev elektroenergetskega omrežja
EPRI	Electric Power Research Institute	Inštitut za raziskovanje električne energije
GbE	Gigabit Ethernet	Gigabit Ethernet
GBIC	Gigabit interface converter	Vmesniški pretvornik
GOOSE	Generic Object Oriented System-wide Events	Splošni objektno usmerjen sistem dogodkov
IED	Intelligent Electronic Device	Inteligentna elektronska naprava
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	
IKT		Informacijsko-komunikacijska tehnologija
IP	Internet protocol	Internetni protokol
ISDN	Integrated Services over Digital Network	Integrirane storitve v digitalnem omrežju
L2	Layer 2	Sloj 2
L3	Layer 3	Sloj 3
LAN	Local area network	Lokalno omrežje
MEF	Metro Ethernet Forum	
MMS	Manufacturing Message Specification	Specifikacija sporočila proizvajalca
MPLS	MultiProtocol label switching	Večprotokolna komutacija z zamenjavo label
MSAP	Multi Service Access Platform	Večstoritvena dostopovna naprava
MTBF	Mean Time Between Failure	Povprečni čas med zaporednima napakama
MTTR	Mean Time To Repair	Povprečni čas do popravila
NFV	Network functions virtualisation	Virtualizacija omrežnih funkcij
NG SDH	Next Generation SDH	SDH nove generacije
NMS	Network Management System	Omrežni sistem vodenja
OLT	Optical Line Terminal	Optični linijski terminal
OPEX	Operational Expenditures	Stroški obratovanja
OPGW	Optical Ground Wire	Samonosilni optični kabel
OSI	Open system interconnection	Povezovanje odprtih sistemov
OTN	Optical Transport Network	Tehnologija optičnega transportnega omrežja

Kratica	Angleški izraz	Slovenski izraz
OTU	Optical Transport Unit	Optična transportna enota
P2P	Point-to-point	Točka - točka
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	Plesiohrona digitalna hierarhija
PO1		Podatkovno omrežje 1
PO2		Podatkovno omrežje 2
RPS	Redundant Power Supply	Redundantni sistem za napajanje
RTP		Razdelilna transformatorska postaja
RTU	Remote Terminal Unit	Oddaljena terminalna enota
SAN	Storage Area Network	Omrežje podatkovnih skladišč
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition	sistema za nadzor, odenje in zbiranje podatkov
SCL	Substation Configuration Language	
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Sinhrona digitalna hierarhija
SDN	Software Defined Networks	Programsko definirana omrežja
SFP	Small-form factor pluggable (GBIC)	Mali vmesniški pretvornik
SOPO		Sistemske operater prenosnega omrežja
STM	Synchronous transfer mode	Sinhroni prenosni način
TASE	Telecontrol Application Service Element	
TCP	Transport control protocol	Protokol za krmiljenje prenosa
TDM	Time division multiplex	Časovni multipleks
TK		Telekomunikacijski/o
TMS	Telecommunications Management System	Sistem vodenja TK omrežja
TSO	Transmission sistem operater	operaterjev prenosnega sistema
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity	Evropska elektroenergetska interkonekcija
VLAN	Virtual local area network	Navidezno lokalno omrežje
VPN	Virtual private network	Navidezno zasebno omrežje
WDM	Wavelength division multiplex	Multipleksiranje valovnih dolžin
WLAN	Wireless Local Area Network	Brezžično lokalno omrežje
XML	Extended Markup Language	standardni označevalni jezik
ZOK		Zemeljski optični kabel