



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

RAIDELIIKENTEEEN INFRAAN SOVELTUVAT TIETOLIIKENTEEEN VERKKORATKAISUT

Niko Korkki

Opinnäytetyö
Kesäkuu 2017

Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

NIKO KORKKI:

Raideliikenteen Infraan Soveltuvat Tietoliikenteen Verkkoratkaisut

Opinnäytetyö 39 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Kesäkuu 2017

Opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa VR Track Oy:lle infraan soveltuvia tietoliikenteen verkkoratkaisuja. Verkkoratkaisut toteutettiin suunnittelemalla verkko raitiotieympäristöön, mutta näitä ratkaisuja voidaan hyödyntää muissakin infraan liittyvissä tietoliikenneverkoissa.

Opinnäytetyössä käytiin myös läpi kaapelointiin ja tietoliikenneverkon rakentamiseen kohdistuvia standardeja. Standardeissa määriteltiin lyhyesti mitä vaatimuksia standardit järjestelmälle asettavat, sekä millaisia kaapeleita tulee käyttää. Työssä käsiteltiin myös aallonpituusjakoisen multipleksoinnin (WDM) hyödyntäminen tietoliikenneverkon rakentamisessa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
ICT Engineering
Telecommunication and Networks

NIKO KORKKI:

Telecommunication Network Solutions Suitable for Railway Infrastructure Engineering

Bachelor's thesis 39 pages, appendices 6 pages
June 2017

Purpose of this thesis was to plan telecommunication network solutions for VR Track Oy. Network solutions were accomplished by planning them in tramway environment. It was also noted, that these networks could be used in other infrastructure environments.

Thesis also included standards for cabling and for telecommunication networks construction. The standards briefly defined the requirements for telecommunication systems, and what kind of cables were to be used in certain situations. It was also discussed in the thesis how WDM can be used in these networks.

Key words: telecommunication network solutions, infrastructure, standards, WDM

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	VERKON SUUNNITTELUN TEORIAA	9
2.1	Standardit	9
2.1.1	SFS-EN 50173 Standardin keskeiset asiat	9
2.1.2	SFS-EN 50174 Standardin keskeiset asiat	9
2.1.3	SFS-EN 50346 Standardin keskeiset asiat	10
2.2	Verkon suunnittelun vaiheet	10
2.2.1	Vaihe 1: Luonnosvaihe	11
2.2.2	Vaihe 2: Alustava toteutusvaihe.....	12
2.2.3	Vaihe 3: Toteutusvaiheen suunnittelu.....	12
2.3	Tietoturva.....	13
2.4	Valokuitu	14
2.5	WDM	16
2.6	Ethernetin virtuaaliverkotus.....	18
3	INFRASSA KÄYTETTÄVIÄ TOPOLOGIOITA.....	19
3.1	Jokaiselle pisteelle erikseen	19
3.2	Soluiittain.....	20
3.3	Sarjaan	20
3.4	Yhdistelmä.....	21
4	RAITIOTIE YMPÄRISTÖN RATKAISUT.....	22
4.1	Solumainen rakenne.....	24
4.2	Solumainen rakenne sarjamaisella varaverkolla.....	25
4.3	Suurempi solumainen rakenne.....	26
4.4	Sarjamainen rakenne	27
4.5	Peilattu solurakenne	28
4.6	Sarjamainen peilattu rakenne.....	29
4.7	Vertailu	30
4.8	Sovelluksia.....	31
5	POHDINTA.....	32
	LÄHTEET	33
	LIITTEET	34
	Liite 1. Solumainen rakenne.....	34
	Liite 2. Solumainen rakenne sarjamaisella varaverkolla.....	35
	Liite 3. Suurempi solumainen rakenne.....	36
	Liite 4. Sarjamainen rakenne.....	37
	Liite 5. Peilattu solurakenne.....	38

Liite 6. Sarjamainen peilattu rakenne 39

LYHENTEET JA TERMIT

Demultipleksointi	Tarkoittaa operaatiota, jolla multipleksoitu data puretaan takaisin eri järjestelmiksi.
Infra	Tässä opinnäytetyössä infra sanalla tarkoitetaan infraraken- tamista rautatie-, raitiotie-, metro ja tieympäristössä.
Kanava (channel)	Siirtoyhteys, joka koostuu kaapeloinnin passiivisista raken- neosista ja yhdistää kaksi sovelluskohtaista laitetta tai sovel- luskohtaisen laitteen ja ulkoisen verkon liitäntä rajapinnan. Laitekaapelit ja työpistekaapelit kuuluvat kanavaan.
Keskityskohta (consolidation point, CP)	Kerroskaapeloinnin liitoskohta kerrosjakamon ja tietoliiken- nerasian välissä.
Multipleksointi	Tarkoittaa operaatiota, jolla usea järjestelmä kootaan yhteen siirtojärjestelmään
Pysyvä siirtotie (permanent link)	Kaksi tai kolme rajapintaa yhdistävä siirtotie, johon eivät kuulu laitekaapelit, työpistekaapelit eivätkä ristikytkennät. Liitokset molemmissa päissä kuuluvat pysyvään siirtotiehen.
Siirtotie (link)	Yleiskaapeloinnin kahden liitäntäraajapinnan välinen siirtotie, johon kuuluvat liitokset molemmissa päissä. Toisin kuin ka- navassa siirtotiehen eivät kuulu laitekaapelit ja työpiste kaa- pelit.
VLAN (Virtual LAN)	VLAN tarkoittaa Ethernetin virtuaaliverkotusta, jolla saa- daan samaan fyysiseen verkkoon useita loogisia, toisistaan erillään olevia verkkoja.

WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Tietoliikenneverkoissa käytetty menetelmä jolla saadaan yhdessä kuidussa kuljetettua enemmän dataa. WDM perustuu datan kuljettamiseen eri aallonpituuksilla.

1 JOHDANTO

Hyvässä tietoliikenneverkon suunnittelussa tulee ottaa huomioon monta erilaista näkökulmaa. Joissain verkoissa on kiinnitettävä erityistä huomiota tietoturvan tai toimintavarmuuden maksimointiin, joka mahdollisesti vaatii kalliimpia laitteistoja ja kaapeleita. Tietoturvaan tai toimintavarmuuteen keskittyvien verkkojen asennus ja huolto on usein myös monimutkaisempaa.

Verkon suunnittelua rajoittaa myös kustannukset ja usein pyritään suunnittelemaan verkko, joka on paras mahdollinen eikä ylitä budjettia. Toimivia verkkoja on mahdollista saada myös edullisesti. On otettava huomioon, että verkon suorituskyvyn ei tarvitse ylittää sille asetettuja vaatimuksia. Joskus myös kompromissien tekeminen saattaa olla tarpeellista.

Erittäin suuri tekijä hyvän tietoliikenneverkon rakentamiseen on luonnollisesti myös verkon rakennettavuus. Tällöin on huomioitava, onko rakennettavassa ympäristössä esteitä tai mahdollisia verkon häirttekijöitä kuten magneettista häiriötä tai ääriämpötiloja. On myös otettava huomioon mihin kaapelointi toteutetaan. Kaapeli voidaan esimerkiksi upottaa maahan, laittaa kulkemaan seinissä tai vaikka puhelinpylväissä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli keskittyä asioihin, joita on otettava huomioon suunniteltaessa hyvää tietoliikenneverkkoa. Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella infraan soveltuvia tietoliikenneverkkoja ja antaa esimerkki toteutuksia raitiotiehankkeeseen.

2 VERKON SUUNNITTELUN TEORIAA

Verkon suunnittelemisen kannalta on tärkeää edetä standardien mukaisissa vaiheissa, jotta saadaan rakennettua ja ylläpidettyä toimiva verkko. Verkon asentamisen kannalta on tärkeää, että suunnitteluvaiheessa on otettu kaikki seikat huomioon ja tehty hyvät asennusohjeet. Jotta verkkoa pystytään ylläpitämään, on verkosta oltava olemassa asianmukainen dokumentointi koko verkon spesifikaatioista, työvaiheista, edellytyksistä sekä muista seikoista. Näitä varten on olemassa standardit, joita noudatetaan verkkoa kehittäessä.

2.1 Standardit

Tietoliikenneverkossa käytetään standardeja. Kun standardeja noudatetaan, onnistuu verkon suunnittelu, testaus ja toteuttaminen huomattavasti jouhevammin. Verkkoa suunniteltaessa käytetään pääosin standardeja SFS-EN 50173 ja SFS-EN 50174. Standardiperhe määrittää nykyään kaapeloinnin koko elinkaaren: suunnittelu, asennus, testaus, dokumentointi ja ylläpito. Lyhenne SFS standardin edessä tarkoittaa sitä, että se on Suomen Standardisoimisliitto SFS ry:n hyväksymä, ja otettu suomessa virallisesti käyttöön. (Koivisto 2007, 9-10.)

2.1.1 SFS-EN 50173 Standardin keskeiset asiat

SFS-EN 50173 sarjan standardit ovat järjestelmästandardeja, joissa määritetään kaapelin rakenne, toiminnalliset osat, perusmitoitukset, siirtoteiden ja kanavien suorituskyky sekä kaapeloinnin rakenneosien ominaisuudet ja suorituskyky. Yhteenvetona voidaan sanoa, että SFS-EN 50173:ssa määritellään se, millainen kaapeloinnin tulee olla perusrakenteeltaan ja suorituskyvyltään. (Koivisto 2007, 10.)

2.1.2 SFS-EN 50174 Standardin keskeiset asiat

SFS-EN 50174-1 keskeinen sisältö käsittää kaapeloinnin spesifioinnin vaatimukset, laadun varmistuksen, dokumentoinnin, hallinnon sekä korjauksen ja ylläpidon. SFS-EN 50174-2 ei suoraan vaikuta opinnäytetyön aiheeseen, koska nämä standardit kos-

kevat sisätilojen kaapelointia. SFS-EN 50174-2 kuitenkin on rakenteeltaan hyvin samanlainen kuin ulkotilastandardit SFS-EN 50174-3. SFS-EN 50174-3 sisältää käytännön asioita kuten asennukset ja turvallisuus asiat. Tarkemmin sanottuna SFS-EN 50174-3 sisältää turvallisuusvaatimukset, joita ovat suojaus sähköiskuilta, palovaara-asiat, kemialliset vaarat, kaasut ja optisen kuidun vaarat. Standardista käyvät ilmi myös kaapeloinnin yleiset asennustavat kuten toimet ennen asennusta, kaapelireitit, johtotiet, kaapelien ja liittämistarvikkeiden asentaminen. Standardi käsittää parikaapeloinnin asennustavat ottaen huomioon sähkömagneettisen yhteensopivuuden, häiriösuojauksen, sähkönjakelujärjestelmät, maadoitus- ja potentiaalintasauksen, suojaustoimenpiteitä ja korroosion. Standardista ovat nähtävissä myös optisen kaapeloinnin asennustavat. (Koivisto 2007, 10-12.)

2.1.3 SFS-EN 50346 Standardin keskeiset asiat

Standardissa SFS-EN 50346 määritellään kaapeloinnin testausvaatimuksia ja menetelmiä. Standardissa käsitellään myös kaapeloinnin testiparametrit. Testaamalla saadaan selville, onko verkko asennettu oikein ja toimiiko se suunnitellusti. (Koivisto 2007, 12.)

2.2 Verkon suunnittelun vaiheet

Hyvän tietoliikenneverkon rakentaminen edellyttää hyvää pohjatyötä, jota varten on hyvä olla suunnitelma siitä, miten edetä verkkoa suunniteltaessa. Normaalisti suunnittelu toimii kolmessa vaiheessa, jotka ovat luonnosvaihe, alustava toteutusvaihe ja toteutusvaiheen suunnittelu.

Luonnosvaiheessa kartoitetaan verkon tarpeita, kuten tuetut sovellukset ja niiden vaatima suorituskyky sekä tietoliikennesioiden ja keskityskohtien määrää. Alustavassa toteutusvaiheessa tehdään piirustuksia verkosta ja laaditaan asiakirjoja urakkalaskentaa ja tarjouskilpailua varten. Toteutusvaiheen suunnittelussa on tarkoitus antaa tarpeelliset tiedot asentajalle, jotta asennus toteutuu ongelmitta.

2.2.1 Vaihe 1: Luonnosvaihe

Luonnosvaiheessa tilaajan kanssa sovittavia asioita:

- tuetut sovellukset ja niiden vaatima suorituskyky, jotta osataan arvioida verkolta vaadittava tiedonsiirtokapasiteetti
- kaapeloinnin peruskokoonpano
- tietoliikennesiirtojen ja keskityskohtien määrä ja sijainnit
- kaapeloinnin kustannusarvio
- jakamoiden valaistus, ilmastointi ja jäähdytys

Luonnosvaiheessa sovitaan tilaajan kanssa niistä asioista, joita tilaaja vaatii verkolta. On tiedettävä, mitä sovelluksia tilaaja haluaa käyttää ja mikä on sovelluksien vaatima suorituskyky. Vaadittavan suorituskyvyn selvittäminen on hyvin olennaista kaapeleita ja muita komponentteja valittaessa, että pystytään tekemään riittävä verkko, joka sopii budjettiin.

Tässä vaiheessa suunnittelua on myös tarkoitus antaa karkea kustannusarvio, mikäli projektin suunnittelija tähän kykenee. On otettava huomioon esimerkiksi verkolta vaadittava suorituskyky, ilmasto tekijät, kaapelin valinta, tietoliikennesiirtojen ja keskityskohtien määrä, komponentit, verkon kokoonpanon laajuus ja jakamoiden ominaisuudet, joita ovat valaistus, ilmastointi ja jäähdytys. (Koivisto 2007, 16-17.)

2.2.2 Vaihe 2: Alustava toteutusvaihe

Alustavassa toteutusvaiheessa on tarkoituksena tutkia verkkoa konkreettisella tasolla. Tällöin otetaan selvää verkon vaatimuksista ja selvitetään mahdollisia riskitekijöitä. Alustavassa toteutusvaiheessa on otettava selvää myös suorituskykyvaatimuksista eri osajärjestelmille, jotta voi keskittää tiedonsiirtoa vaativimmille alueille. (Koivisto 2007, 17-20.)

- kaapeloinnin suorituskykyvaatimukset eri osajärjestelmille (kerros-, nousu- ja aluekaapeloinnille)
- tietoliikennesiirtojen määrä ja sijainti
- jakamoiden ja laitehuoneiden sijainti ja tilan tarve
- käytettävissä olevat kaapelireitit ja johtotiet
- sähköjakelu ja maadoitukset
- mahdolliset sähkömagneettiset häiriölähteet tai kohteet
- paloturvallisuusvaatimukset
- tietoturva ja tilaturvallisuus asiat

2.2.3 Vaihe 3: Toteutusvaiheen suunnittelu

Toteutusvaiheen suunnittelun tarkoitus on antaa asentajille tarkat ja kattavat asennusohjeet. Tässä vaiheessa tarkennetaan alustavan toteutusvaiheen dokumentteja niin, että ne sisältävät tarkempia verkkoon liittyvien laitteiden ja komponenttien merkintätunnuksia sekä tuotekohtaisia tietoja. (Koivisto 2007, 21.)

Toteutusvaiheen suunnittelun ollessa asiallisesti tehty, on asentajille huomattavasti nopeampaa ja tehokkaampaa toteuttaa kaapelointi. Mikäli dokumentointi on puutteellisesti tehty, asentajan on oltava yhteydessä verkon suunnittelijaan, ja projekti viivästyy.

2.3 Tietoturva

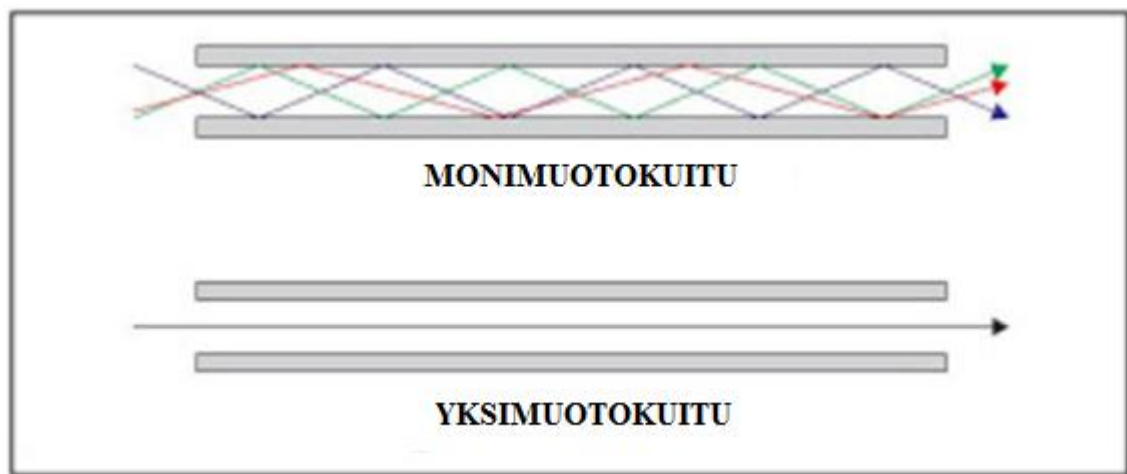
Tietoliikenneverkot turvataan ulkopuolisilta henkilöiltä ja haittaohjelmilta, jotta tiedon siirto on sujuvaa ja paikkaansa pitävää. Ulkopuolisen ihmisen verkkoon käsiksi pääseminen voisi aiheuttaa verkossa datan väärentymisen, koko verkon kaatumisen tai viruksen jättämisen verkkoon. Tietoliikenneverkot turvataan ulkopuolisilta tahoilta lukitsemalla verkon keskuksen ja tietoliikenne pisteiden kaapit ja tilat lukoilla joihin sisään-pääsy on vain verkon haltijaorganisaatiolla.

Tietoliikenneverkon turvallisuuden vaikuttava tekijä on myös verkon käyttäjätietojen salaus. Verkon tunnuksilla pääsee käsiksi esimerkiksi ohjelmistopäivityksiin, muutoksiin verkon dataan ja datan aktivoimisiin. Näihin tunnuksiin tulisi olla hyvin luotettavat salasanat ja käyttäjätunnukset. Ikinä ei saa verkkoa rakentaessa jättää tunnuksia oletusarvoille, sillä näitä oletustunnuksia ulkopuoliset tahot koittavat ensimmäisenä.

Tietoturvallisuutta lisää myös palomuuuri. Palomuuuri on fyysinen laite, joka monitoroi tietoliikennettä molempiin suuntiin. Palomuuuri joko päästää datan kulkemaan, tai estää sen kulun. Laitteeseen on määritetty millaista dataa se odottaa, jos data ei vastaa oletettua dataa, se ei pääse kulkemaan eteenpäin. Vaurioitunut data pääsisi siis kulkemaan järjestelmässä, jos palomuuria ei olisi. (Cisco 2017)

2.4 Valokuitu

Valokuituja on kuusi eri kategoriaa; OM1, OM2, OM3 OM3+, OS1 ja OS2. OS1 ja OS2 ovat yksimuotokuituja ja OM1, OM2, OM3 ja OM3+ ovat monimuotokuituja. Yksimuotokuituja käytetään yleisesti pitkillä matkoilla (useista kilometreistä kymmeneen kilometriin) ja monimuotokuituja lyhemmillä tiedon kuljetuksilla (muutamasta kilometristä alaspäin). Suurin ero monimuodolla ja yksimuodolla on niiden ytimen halkaisijat. Yksimuotokuidun ydin on halkaisijaltaan 5-10 μm ja monimuotokuidun ydin on halkaisijaltaan 50-70 μm . (Fiber-optics 2017)



KUVA 1. Valon eteneminen monimuotokuidussa ja yksimuotokuidussa (Fiber-optics 2017, muokattu)

Yksimuotokuidussa valo kulkee halkaisijaltaan 5-10 μm paksussa ytimestä suoraan johdon päästä päähän. Yksimuotokuidussa kuljetettavan valon aallonpituusalue on tyypillisesti 1300 nm tai 1500 nm. Yksimuotokuitua käytetään tiedon siirtämiseen suurillakin etäisyyksillä. Koska yksimuotokuitukaapelit ovat usein hyvinkin pitkiä, on valokuidun oltava täysin tahratonta ja toleranssi tahroille on hyvin pieni. OS1 kategorian yksimuotokuitukaapelit on tarkoitettu sisäkäyttöön, OS2 ulkokäyttöön tai maan alle. (Ethereal-mind 2017)

TAULUKKO1: Yksimuotokuidun ominaisuuksia (Wikipedia 2017)

Kategoria (ISO/IEC 11801)	Siirtonopeus	Suurin pituus	Lisähuomautuksia
OS1/OS2	10 GB	10 km	9/125 μm aallonpituus 1310 nm
OS1/OS2	10 GB	40 km	9/125 μm aallonpituus 1550 nm

Monimuotokuidussa valo kulkee halkaisijaltaan 50-70 μm ytimessä. Tämä halkaisija on huomattavasti suurempi kuin siirrettävän valon aallonpituus. Koska monimuotokuitu on halkaisijaltaan suuri, voi siitä käyttää halvempaa ja epätarkempaa teknologiaa, kuten LED:iä, joka toimii 850 nm ja 1300 nm aallonpituuksilla. Tiedon liikkumista monimuotokuidussa ja yksimuotokuidussa on havainnollistettu kuvassa 1. Taulukosta 2 on nähtävissä monimuotokuidun ominaisuuksia. (Technobyte 2017)

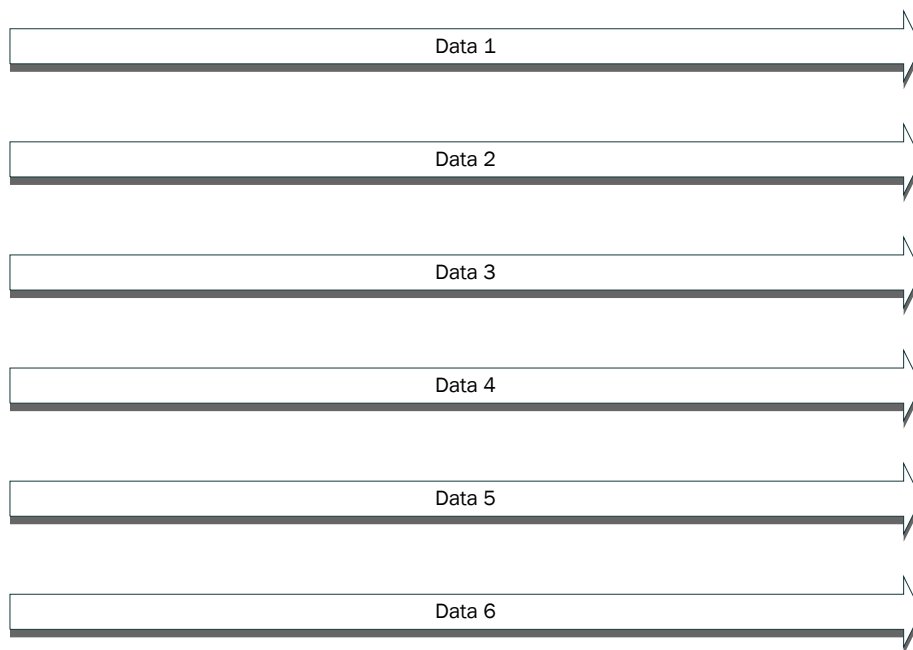
TAULUKKO 2. Monimuotokuidun ominaisuuksia

Kategoria (ISO/IEC 11801)	Siirtonopeus	Suurin pituus	Lisähuomautuksia
OM1	100 Mb	2 km	62,5/125 μm (LED)
OM1	1 Gb	300 m	62,5/125 μm (Laser)
OM1	10 Gb	33 m	62,5/125 μm (Laser)
OM2	10 Gb	82 m	50/125 μm (Laser)
OM3	1 Gb	1 km	50/125 μm (Laser)
OM3	10 Gb	300 m	50/125 μm (Laser)
OM3+	10 Gb	550 m	50/125 μm (Laser)

2.5 WDM

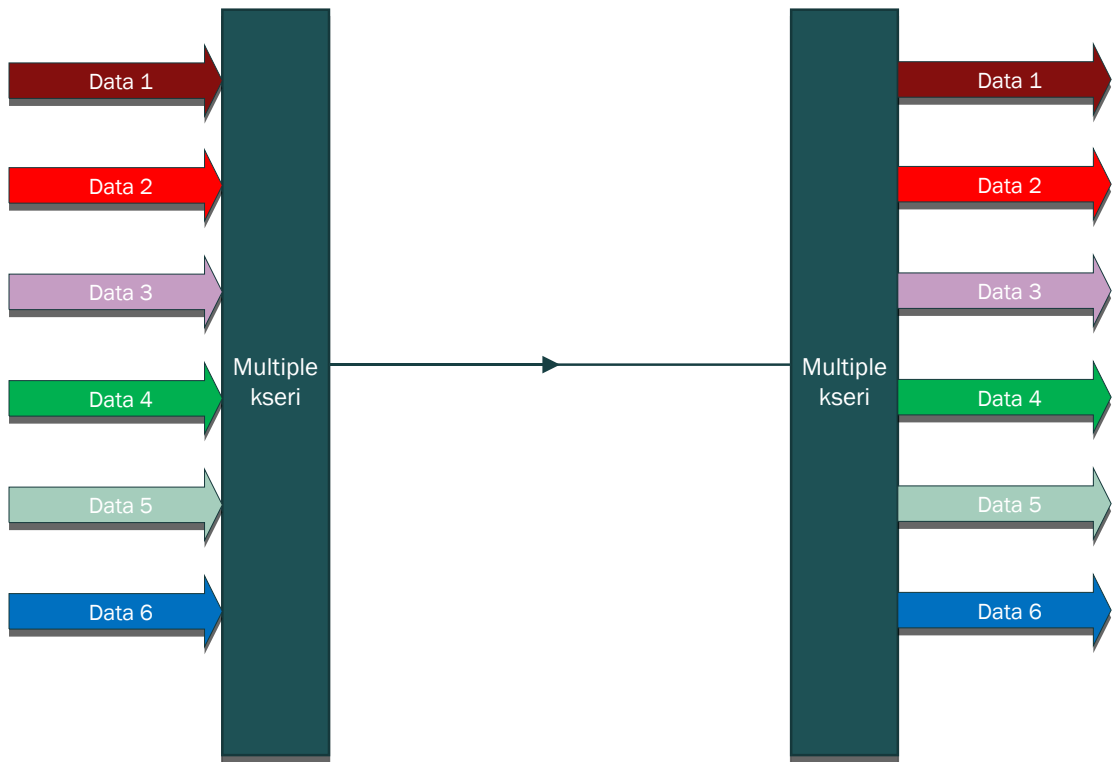
WDM:ää (Wavelength Division Multiplexing) käytetään usein suuremmissa järjestelmissä, jossa dataa kuljetaan paljon. WDM teknologia perustuu datan jakamiseen kuitun eri aallonpituuksille. Yhdessä kuidussa voi olla esimerkiksi 8, 40 tai 80 eri kanavaa joilla dataa kuljetetaan. Kuidun koko kapasiteetin käyttö mahdollistaa verkon toteutuksen pienemmällä kaapeli määrällä. (Smartoptics 2017)

Kuviossa 1 on toteutettu tietoliikenneverkko, johon tulee kuusi eri järjestelmää. Järjestelmien kaapelit menevät suoraan keskukselta päätelaitteelle.



KUVIO 1. Tietoliikenneverkko, joka on toteutettu ilman multipleksointia.

Kuviossa 2 on toteutettu vastaava tietoliikenneverkko kuin kuviossa 1, mutta hyödynnetty WDM:ää. WDM:n ansiosta saadaan minimoitua käytetyn kuidun määrä keskuksen ja päätelaitteiden välillä. Sisään tulee kuusi eri järjestelmää, jotka multipleksoidaan yhteen kuituun, jossa jokaisella järjestelmällä on oma aallonpituus. Datan saapuessa demultiplekserille signaali jakautuu takaisin omille kuiduille. (Smartoptics 2017)



KUVIO 2. Tietoliikenneverkko, joka on toteutettu hyödyntäen WDM:ää

2.6 Ethernetin virtuaaliverkotus

Tietoliikenneverkoissa voidaan käyttää virtuaaliverkotusta, kun halutaan muodostaa fyysisessä verkossa useita loogisia, toisistaan erillään olevia verkkoja. Virtuaaliverkotuksesta käytetään lyhennettä VLAN, joka tarkoittaa Virtual Local Area Network. Virtuaalinen verkotus vaatii kytkimeltä ja reitittimeltä VLAN-tuen. (Cisco 2017.)

Ethernet on pakettipohjainen lähiverkkoratkaisu. VLAN:issa paketit erotellaan tunnuksilla, joilla paketit kulkevat niille määrätyille laitteille. Paketit eivät kulje laitteille joille ei ole määritelty kyseistä tunnusta. (Cisco 2017.)

Esimerkiksi yrityksellä voisi olla toimistoja kolmessa kerroksessa, joissa kussakin kerroksessa on markkinointi-, suunnittelu- ja asiakaspalveluosastot. Kaikkien näiden osastojen verkot ovat fyysisesti kytketty toisiinsa. Virtuaaliverkotuksella voidaan toteuttaa näille eri ryhmille omat virtuaaliverkot. Jokaisen kerroksen markkinointiin liittyvät verkkolaitteet olisi kytketty toisiinsa virtuaalisesti, ja toteuttaisi oman verkon. Samoin suunnittelun verkkolaitteet ja asiakaspalvelun verkkolaitteet. Virtuaaliverkotuksessa esimerkiksi markkinointiin kohdistuva paketti ei pääse kulkemaan suunnitteluosastolle, koska paketin tunnus on väärä. (Cisco 2017.)

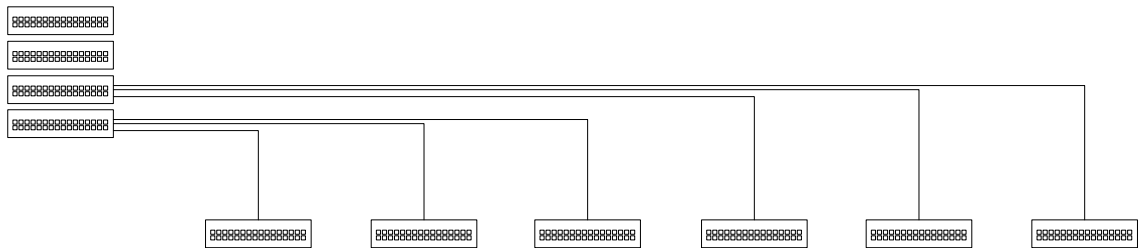
3 INFRASSA KÄYTETTÄVIÄ TOPOLOGIOITA

Tietoliikenneverkkoa suunniteltaessa käytetään hyödyksi erilaisia tietoverkon rakenteita. Näitä kutsutaan topologioiksi. Seuraavissa alaotsikoissa käsiteltävissä topologioissa näytetään, millainen verkko on fyysisesti keskukselta päätepisteille.

Verkon toteutus voi fyysisesti poiketa piirustuksista. Esimerkiksi johdot voivat kulkea yhtenä isona kaapelina, ja erkaantuvat pysäkeille. Tällöin verkko on teoriassa sama, mutta fyysinen toteutus on ulkoisesti hieman erilainen.

3.1 Jokaiselle pisteelle erikseen

Ensimmäinen mahdollisuus on tuoda jokaiselle pisteelle kaapelit suoraan keskukselta. Tämä käy ilmi kuvioista 3.

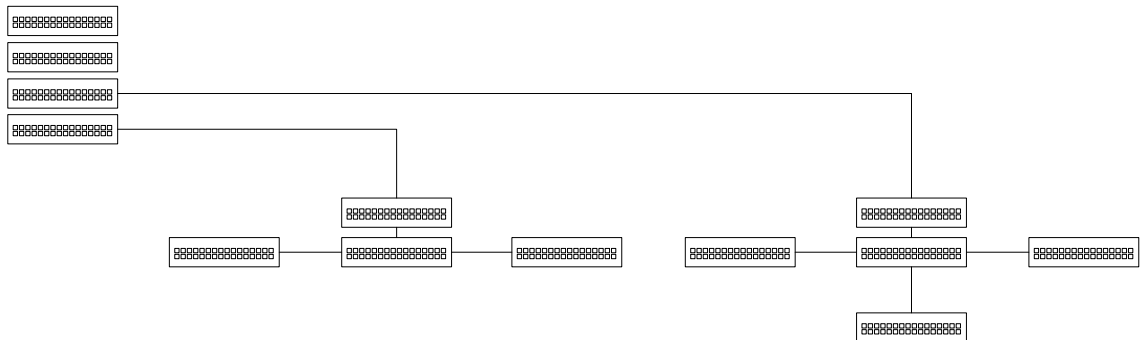


KUVIO 3. Jokainen erikseen topologia

Kuviossa 3 esitetty toteutus on hyvin yksinkertainen toteuttaa ja myös vikatilanteet ovat helposti kartoitettavissa. Tällöin vikatilanteet yltyvät vain yhdelle pisteelle, eivätkä viat kasva sen laajemmiksi. Tosin tässä toteutuksessa on suuri määrä erillisiä lähtöjä keskukselta, joka vaikeuttaa kaapeleiden käsittelyä, josta seuraa hintava toteutus.

3.2 Soluittain

Toinen mahdollisuus on toteuttaa verkko solumaisesti. Tämä on esitetty kuviossa 4.

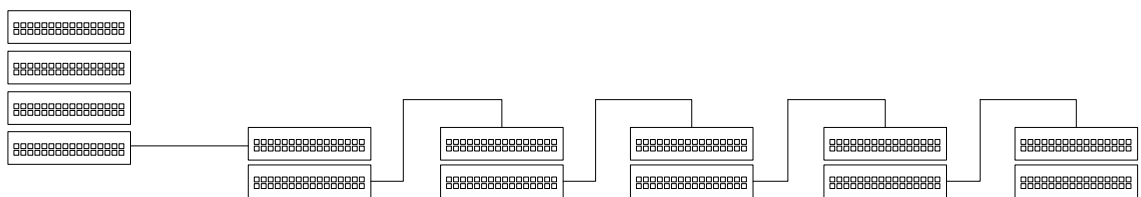


KUVIO 4. Solumainen topologia

Kuviossa 4 esitetyn mallin voisi toteuttaa esimerkiksi suoraan manuaalisella kytkennällä. Tässä topologiassa keskukselta tulisi huomattavasti vähemmän erillisiä lähtöjä, mikä helpottaisi ja selkeyttäisi käsittelyä. Toisaalta, jos yhteen järjestelmään tulee vika, tai järjestelmään tulee ulkoisesta syystä laiterikkoa, voisi vika yltää useammalle pysäkille kuin yhdelle.

3.3 Sarjaan

Esimerkki sarjamaisesta topologiasta on nähtävissä kuviossa 5.

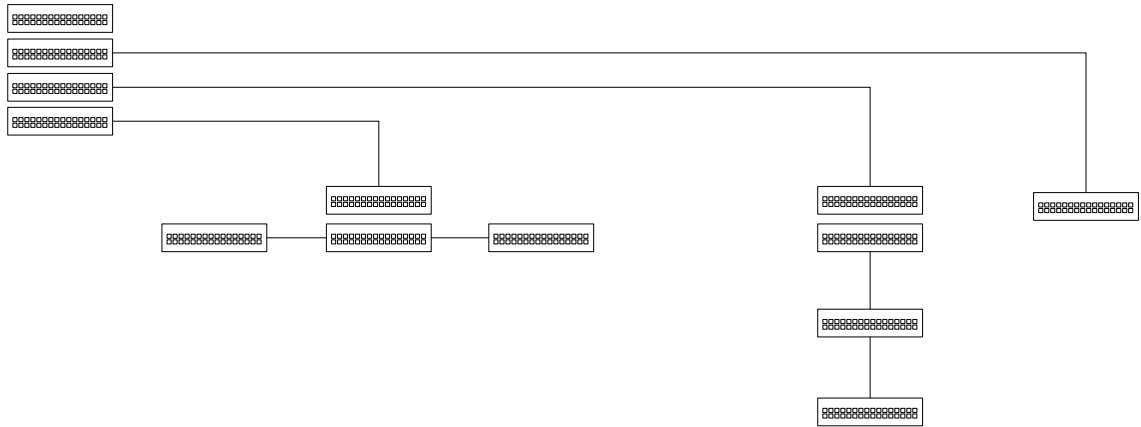


KUVIO 5. Sarjamainen topologia

Sarjamaisessa topologiassa on hyvin suuri riski siihen, että esimerkiksi kolmannella pysäkillä järjestelmä kaatuu tai rikkoutuu. Tällöin vika veisi mukanaan kaikki tästä pysäkestä seuraavat järjestelmät. Toisaalta toteutus on hyvin yksinkertainen, ja keskukselta tulisi vain yksi kaapeli, joka olisi tosin hyvin paksu. Jos järjestelmässä on mahdollista käyttää WDM:ää, saadaan yhdellä kaapelilla kuljetettua huomattavasti suurempi määrä dataa.

3.4 Yhdistelmä

Seuraavana mahdollisuutena on soveltaa edellisiä ratkaisuja pysäkeiden tarpeen mukaan. Tästä on nähtävissä esimerkki kuviossa 6.



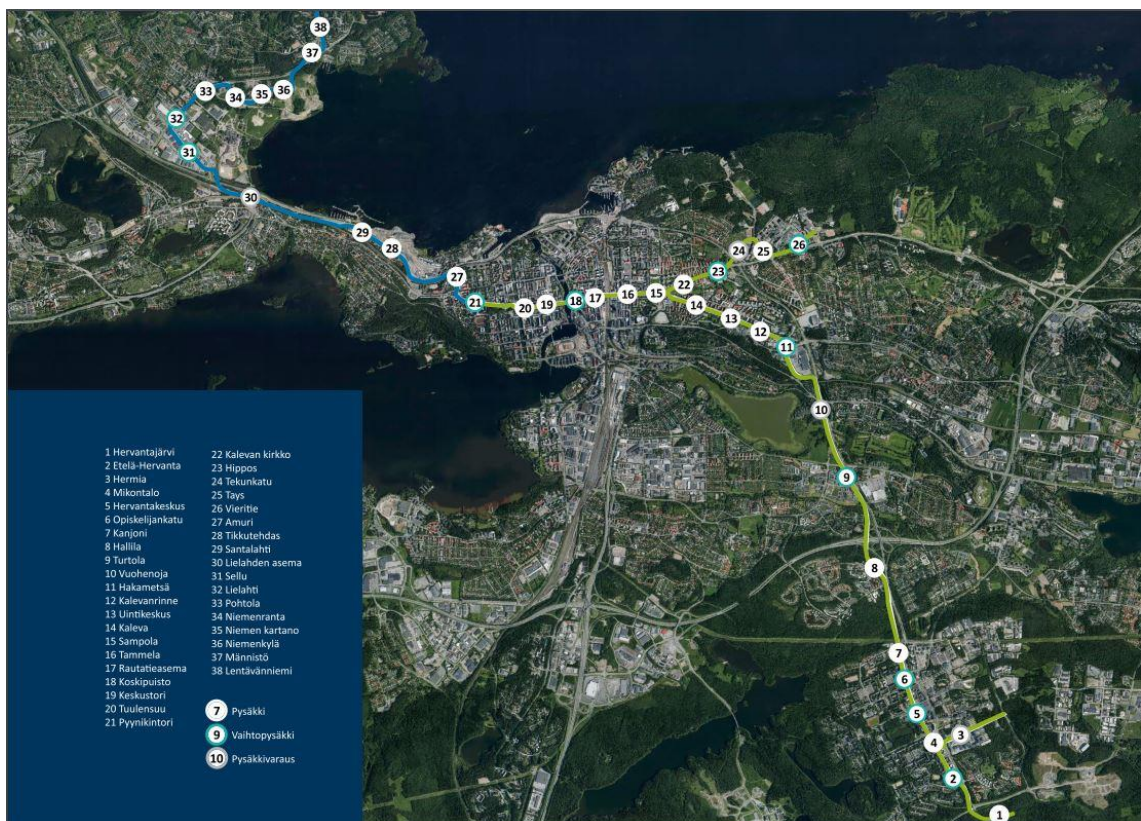
KUVIO 6. Yhdistelmä topologia

Yhdistelmä topologian toteutus on monimutkaisempi kuin edellisissä malleissa, mutta hyvin soveltuva. Suuremmat järjestelmät ovat hyvin usein yhdistelmiä eri topologioista verkon monimuotoisuudesta johtuen.

4 RAITIOTIE YMPÄRISTÖN RATKAISUT

Tampereella toteutettavassa raitiotie projektissa asennetaan tietoliikenneverkko maan alle raitiotietä rakennettaessa. Ensimmäisessä vaiheessa rakennetaan pysäkit 1-26 (Kuva 6), joihin tämä verkko ylittää. Tämän vaiheen kokonaismitta on 15 kilometriä. Raitiotie on kaksisuuntainen ja verkko toteutetaan molemmille puolille tietä.

Seuraavissa ehdotuksissa pääosin kaapeloidaan varsinainen verkko yhdelle puolelle tietä, ja varmistus toiselle puolelle. Varmistukset tulevat siltä varalta, jos varsinaiseen verkkoon tulee häiriötä esimerkiksi kaivurin rikkoessa kaapelit tai muuta vastaavaa. Verkon tietoliikenne keskus sijaitsee pysäkin 3 suunnalla Hervannassa (Kuva 6).

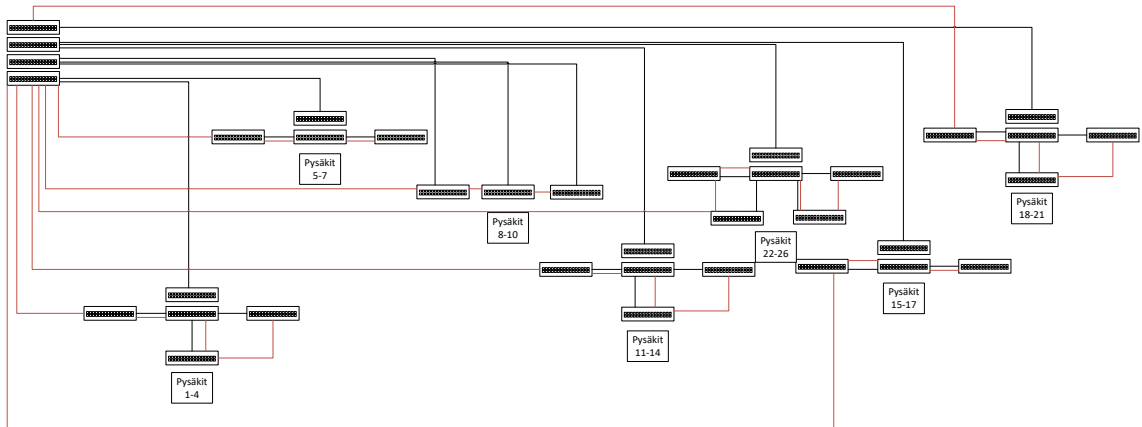


KUVA 2. Raitiotiekartta (Tampereen kaupunki 2017)

Raitiotielle on tulossa käyttöön ratajohdon ja liikenteen ohjausta varten scada järjestelmät, jotka ovat suoraan infraan ja liikennöintiin sovellettuja järjestelmiä. Raitiotielle on myös mietitty matkustajainformaatiota, lippuautomaatteja ja kameravalvontaa. Tässä on siis jo vähintään viisi erillistä järjestelmää sisällytettäväksi verkkoon. Verkkoon halutaan myös ylimääräistä kapasiteettia tulevaisuuden tarpeille ja mahdollisesti ulkoiseen käyttöön kapasiteetin ”lainaamiseen”, joten hanke toteutettaisiin todennäköisesti käyttäen 6-10 järjestelmää. Järjestelmät joissa on käytetty Ethernet lähiverkkoratkaisua, voisi erotella virtuaaliverkotuksella (VLAN).

4.1 Solumainen rakenne

Kuviossa 7 on käytetty hyvin pitkälti solumaista rakennetta lukuun ottamatta pysäkkejä 8, 9, 10 jotka on käsitelty erikseen pitkien etäisyyksien takia. Kuviossa musta on oikealla puolella tietä ja punainen on vasemmalla puolella tietä.



KUVIO 7. Solumainen toteutus (Liite 1)

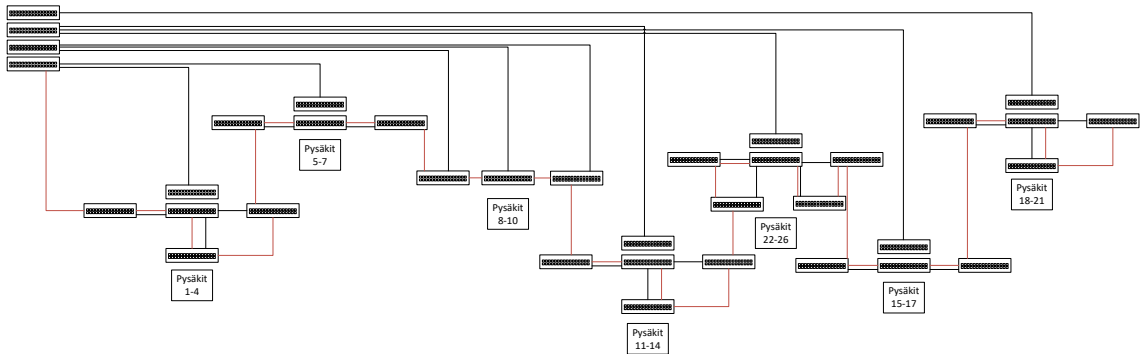
Tässä toteutuksessa varmistus on toteutettu jokaiselle solulle erikseen sarjamaisena verkkona toisella puolella tietä. Varmistuksen voi kytkeä tilanteen vaatiessa aktiiviseksi. Varmistusverkossa ei ole montaa komponenttia pysäkeiden välillä, joten varmistus on hyvin tehokas.

Erillisiä kaapeleita tulee esimerkissä molemmille puolille hyvin rajattu määrä, koska mallissa on käytetty solumaista rakennelmaa. Asennettavuuden kannalta on solun niin sanotuksi ytimeksi otettu sarjan ensimmäinen pysäkki, jotta asentamisen eteneminen olisi hyvin suoraviivaista. Esimerkiksi ensimmäisen solun ydin on ensimmäinen pysäkki keskukselta, eli pysäkki 3, josta solu jatkuu muille sen solun pysäkeille. Seuraava solu alkaa pysäkistä 5, joka on seuraava pysäkki edellisen solun jälkeen. Sama toistuu edelleen.

Järjestelmän tyypistä riippuen voidaan hyödyntää WDM:ää, jotta data voidaan kuljettaa käyttämällä vähemmän kaapelia. Jos järjestelmässä käytetään Ethernetiä, voidaan kytkennät tehdä sen mukaisesti.

4.2 Solumainen rakenne sarjamaisella varaverkolla

Tässä solumaisessa toteutuksessa on itse verkko samanlainen kuin kappaleessa 7.1, mutta varmistus on toteutettu kaikkien pysäkeiden sarjana, jossa on mahdollisuus kytkeä pysäkin data kulkemaan vara reittiä. Kuviossa 8 on havainnollistettu solumaista toteutusta sarjamaisella verkolla. Kuviossa musta on oikealla puolella tietä ja punainen on vasemmalla puolella tietä. Varmistusverkon tarkoituksena on toimia varavaihtoehtona, jos varsinaiseen verkkoon tulee vaurioita. Tässä käyttötarkoituksessa voisi hyvin toimia tällainen ratkaisu, vaikka kaikkien pisteiden sarjaan kytkeminen ei ole järkevää aktiivisemmassa verkossa. Olennaista tässä ratkaisussa on se, että varmistusverkon ja aktiivisen verkon ei tarvitse toimia yhtäaikaisesti.

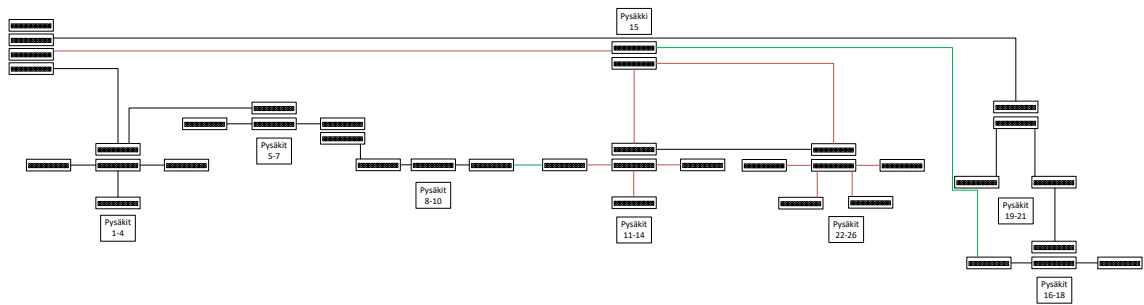


KUVIO 8. Solumainen toteutus sarjamaisella varaverkolla (Liite 2)

Järjestelmän tyypistä riippuen voidaan tässäkin toteutuksessa hyödyntää WDM:ää, jotta saadaan data kuljetettua käyttämällä vähemmän kaapelia. Jos järjestelmässä käytetään Ethernetiä, voidaan kytkennät tehdä sen mukaisesti.

4.3 Suurempi solumainen rakenne

Seuraavassa esimerkissä (kuvio 9) on kuvattu solut suurempina kokonaisuuksina, jossa on luotu varareittejä toisista soluista rikkoutumisen varalta. Kuviossa musta on oikealla puolella tietä, punainen vasemmalla puolella tietä ja vihreä kuvaa puolen vaihdosta. Koska nämä isommat kokonaisuudet ja varareitit ovat eri puolilla tietä, on kaapelin rikkoutumisesta aiheutuvat haitat hyvin pieniä.

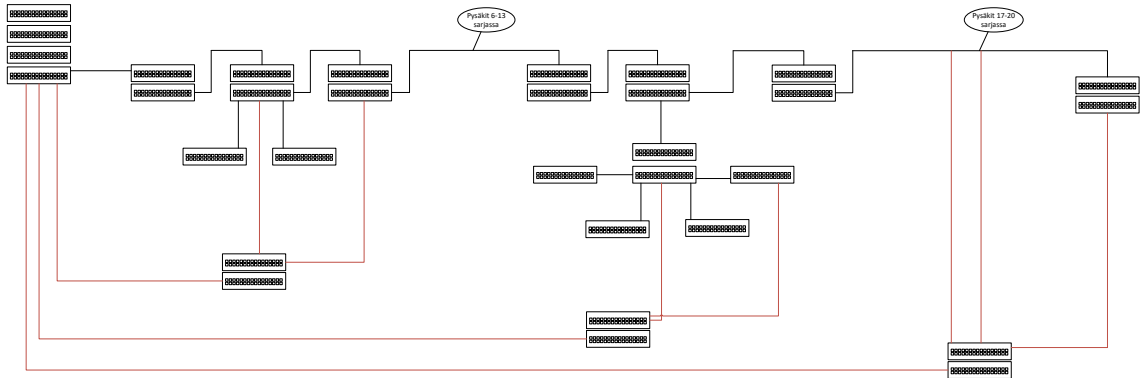


KUVIO 9. Solumainen toteutus suuremmissa kokonaisuuksissa (Liite 3)

Varareitit kulkevat tässä ratkaisussa pysäkkien 9 ja 10, 14 ja 24 sekä 15 ja 16 välillä. Esimerkiksi, jos tietoliikenne keskuksen ja pysäkin 15 välinen kaapeli hajoaa, pääsee tieto kulkemaan pysäkin 15 ja 16 välisen varareitin kautta. Asennettavuuden kannalta tämä vaihtoehto on hieman monimutkaisempi, mutta keskukselta lähtöjä on erittäin vähän, ja lopputulos hyvin siisti. Kuvatussa järjestelmässä saataisiin paljon hyötyä WDM:n käytöstä, koska solut ovat suurempia. Jos järjestelmässä käytetään Ethernetiä, voidaan kytkennät tehdä sen mukaisesti.

4.4 Sarjamainen rakenne

Neljännessä toteutuksessa (Kuvio 10) on verkko suunniteltu pääosin sarjana, lukuun ottamatta Hervannan haaraa ja Tampereen yliopistollisen sairaalan haaraa, jotka on toteutettu soluina. Nämä solut lähtevät tämän runko sarjan pysäkeistä 4 ja 15. Kuviossa musta on oikealla puolella tietä ja punainen on vasemmalla puolella tietä.

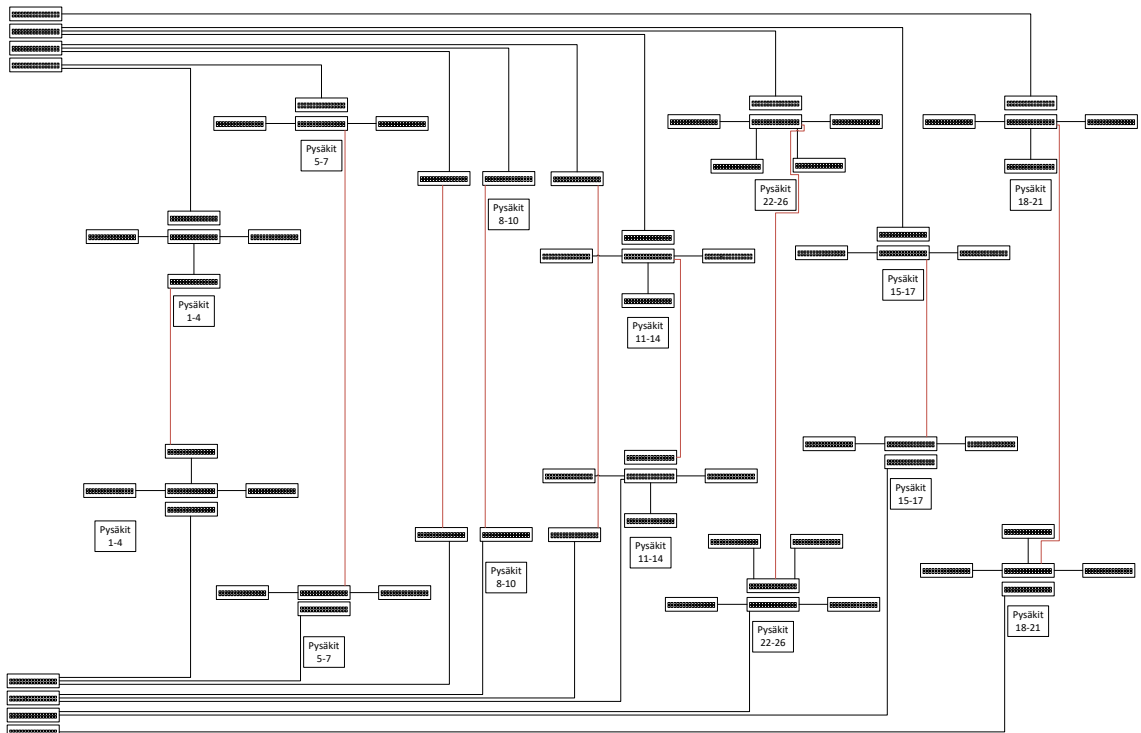


KUVIO 10. Sarjamainen toteutus (Liite 4)

Suoraan sarjaan rakennettu verkko olisi hyvin epävarma rakennusmenetelmä yksinään, mutta lisäämällä verkolle toisen mahdollisen kulkureitin, esimerkiksi joka toiselle tai joka kolmannelle pysäkille, tulee järjestelmä varmemmaksi ja virheen korjaus on mahdollista. Esimerkiksi, jos verkosta menee rikki kaapelit pysäkeiden 15 ja 16 väliltä, aktivoituisi tällöin varaverkon datan kulku pysäkille 16. Tästä seuraisi se, että kaikki tulevat pysäkit (17,18...) tulisivat tältä samalta varaverkolta, eli varaverkon kapasiteetti on otettava huomioon. Sarjamaisen rakenteen takia tässä toteutuksessa WDM säästäisi huomattavasti järjestelmältä vaadittavien kaapeleiden määrää. Ethernetin pakettityylinen datansiirto olisi tässä toteutuksessa kannattava vaihtoehto.

4.5 Peilattu solurakenne

Tässä solumaisessa toteutuksessa (Kuvio 11) on laitettu molemmille puolille teitä oma itsenäinen verkko. Kuviossa musta kaapeli on omalla puolellansa oleva kaapeli ja punainen on puolet yhdistävä kaapeli. Verkko on varmistettu yhdistämällä jokaisesta solusta yksi pysäkki tien toisella puolella olevaan vastaavaan pysäkkiin. Varmistuksen voisi hyvin toteuttaa myös esimerkiksi jokaisen pysäkin molemmilta puolin tietä, jolloin vastakkaiset pysäkit olisivat kytköksissä toisiinsa. Tämä toisi lisää työtä, mutta turvallisemman verkon.

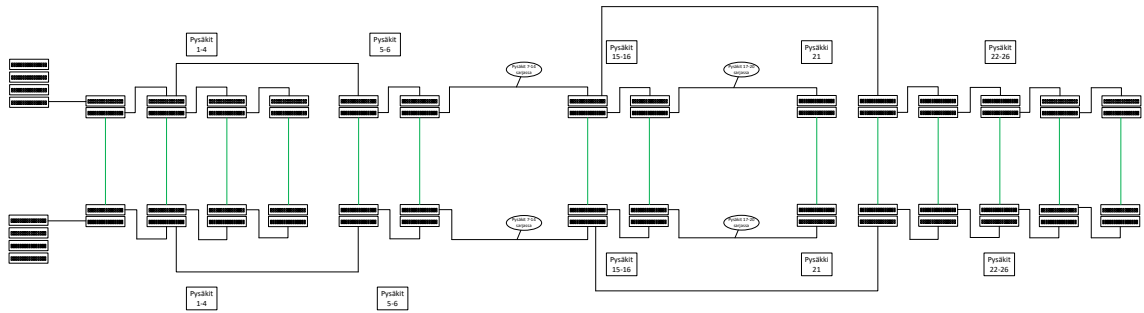


KUVIO 11. Solumainen rakenne, peilattu versio tien toisella puolella (Liite 5)

Aikaisemmissa toteutuksissa on tuotu verkon vastakkaisen puolen pysäkin yhteys varsinaiselta runkoverkon puolelta, joten niihin verrattuna tässä mallissa olisi huomattava määrä komponentteja lisää. Tästä johtuen myös asennus olisi työläämpää. Järjestelmän tyyppiä riippuen voidaan tässäkin toteutuksessa hyödyntää WDM:ää, jotta saadaan data kuljetettua käyttämällä vähemmän kaapelia. Jos järjestelmässä käytetään Ethernetiä, voidaan kytkennät tehdä sen mukaisesti.

4.6 Sarjamainen peilattu rakenne

Tässä sarjamaisessa toteutuksessa (Kuvio 12) on hyvin yksinkertainen toteutus. Vihreä kaapeli on puolta vaihtava kaapeli. Verkon varmistus on toteutettu kytkemällä tien eri puolien pysäkit toisiinsa. Yksinkertaisuuden ansiosta verkon asennettavuus on hyvä, eikä ole työläin verkko toteuttaa.



KUVIO 12. Sarjamainen rakenne, peilattu versio tien toisella puolella (Liite 6)

Vaikka tämä toteutus onkin sarjamainen, on varmistus tässä silti hyvä. Varareittejä on paljon, ja verkot ovat hyvin yhteydessä toisiinsa. Myös WDM:än hyödyntäminen olisi hyvin tehokasta tässä toteutuksessa, koska data kulkee joka tapauksessa yhtä reittiä.

4.7 Vertailu

Edellisten kappaleiden verkot ovat kaikki käyttökelpoisia, mutta jokaisella on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Kaksi ensimmäistä toteutusta (Kappaleet 4.1 ja 4.2) ovat hyvin samankaltaiset, mutta toteuttavat varaverkon eri tavoilla. Muihin nähden nämä solumaiset toteutukset ovat kohtuullisen yksinkertaisia, ja hyvin asennettavia. Verkot ovat toimintavarmuuden kannalta hyvin toimivia, koska varaverkot on tehty toiselle puolelle tietä kuin runkoverkko.

Suurempi solumainen toteutus (Kappale 4.3) on toteutettu kolmessa isommassa solussa, joten asennettavuus on muihin toteutuksiin nähden helppo. Myös vaadittuihin tehtäviin saadaan käytettyä pienempi määrä kaapelia. Verkkoon liitetyt varareitit tukevat toimintavarmuutta, mutta suuremmat kokonaisuudet ovat hieman herkempiä ulkoisille vaurioille kuin pienemmät solurakenteet. Myös sarjamainen toteutus (Kappale 4.4) on hyvin yksinkertainen asennettavuuden kannalta, ja kaapelimäärä on hyvin minimaalinen vaadittuihin tehtäviin. Tässä toteutuksessa vaaditaan joko hyvin kattavaa varaverkkoa, tai vaihtoehtoisesti joudutaan karsimaan tietoturvasa.

Peilattu solurakenne (Kappale 4.5) on toimintavarmuuden puolesta erittäin varma vaihtoehto. Järjestelmässä on hyvin paljon komponentteja, mistä johtuen se on hintavampi ja työläämpi toteuttaa. Peilattu solurakenne on muihin verkkoihin nähden suurempi investointi, mutta jättää enemmän mahdollisuuksia tulevaisuudelle.

Sarjamainen peilattu rakenne (Kappale 4.6) on hyvin yksinkertainen järjestelmä toteuttaa, ja todennäköisesti kustannuksiltaan pienin. Järjestelmällä on monta varareittiä (joka pysäkillä), joten verkon vaurioitumisesta aiheutuvat ongelmat ovat minimoitu. Tämä on yleisesti hyvä ratkaisu.

4.8 Sovelluksia

Käsitellyt toteutukset on kuvattu suoraan raitiotie projektiin. Toteutukset ovat silti hyvin sovellettavissa muihin infraan liittyviin projekteihin. Verkkoihin voi projektin luonteesta riippuen vähentää varaverkkoja, tai jättää ne kokonaan pois. Varaverkkoja on myös mahdollista laajentaa entisestään esimerkiksi kolmannella kokonaisella verkolla.

Jos kyseessä on pienempi tieympäristöhanke, käytetään yksinkertaista verkkoa, jossa ei välttämättä ole varaverkkoja. Samoin voidaan toimia tilanteessa, jossa budjetti on vahvasti rajoittava tekijä. Jos kyseessä on esimerkiksi hyvin suuren kaupungin metrojärjestelmä, halutaan todennäköisesti panostaa vahvasti tietoturvaan. Tällöin varaverkosta tehdään hyvin kattava ja komponenteissa ei säästellä.

5 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö antaa VR Track Oy:lle kuusi erilaista tapaa, miten toteuttaa tietoliikenneverkko Tampereen raitiotie hankkeessa. Nämä ratkaisut soveltuvat lisäksi hyvin muihin rata infraan liittyviin verkkoympäristöihin.

Työssä haastavaa oli työn mahdollisuuksien laajuus, koska mahdollisia ratkaisuja infran tietoliikenteeseen on erittäin suuri määrä. Haastavaa oli myös löytää esimerkkejä ja sovellettavia verkkoratkaisuja kyseiseen projektiin.

Opinnäytetyön verkkoratkaisut ovat osittain hyvin samankaltaisia. Verkkoratkaisuja olisi voinut suunnitella enemmän toisistaan poikkeaviksi, mutta suunnitellut ratkaisut vastaavat kuitenkin toimeksiantajan tarpeita. Opinnäytetyöhön ei myöskään saatu suoria hinta-arvioita työn luonteen takia, mutta toteutuksia vertaillen hinta otettiin puheeksi.

VR Track voi tulevaisuudessa hyödyntää tämän opinnäytetyön sisältöä tietoliikenneverkon rakentamisessa. Opinnäytetyön teoriaosuus antaa yritykselle tietoa tietoliikenneverkon suunnittelun vaiheista, valokuidusta, aallonpituusjakoisesta multipleksoinnista ja tietoliikenneverkon tietoturvasta. Opinnäytetyössä kuvatut raitiotie verkkoratkaisut ovat myös hyvin sovellettavissa infran muihin kohteisiin.

LÄHTEET

Koivisto, P. 2007. Eurooppalainen yleiskaapelointi. Onninen Teletekno Oy.

Fiber-optics. Types of Optical Fiber. Luettu 8.1.2017.

http://www.fiber-optics.info/articles/types_of_optical_fiber

Etherealmind. Tech Notes: Difference Between OS1 and OS2 Fibre Optic Cable. Luettu 8.1.2017. <http://etherealmind.com/tech-notes-difference-os1-os2-fibre-optic-cable/>

Wikipedia. Valokuitu. Luettu 24.1.2017.

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Valokuitu>

Technobyte. Types of optical fibers, Luettu 22.1.2017.

<http://www.technobyte.org/2016/11/types-of-optical-fibers/>

Fols. Technology About Fiber. Luettu 6.2.2017.

<http://www.fols.org/technology/>

Cisco. What Is a Firewall. Luettu 12.5.2017.

<http://www.cisco.com/c/en/us/products/security/firewalls/what-is-a-firewall.html>

Smartoptics. The basics of Wavelength division multiplexing. Luettu 26.4.2017.

<http://www.smartoptics.com/this-is-wdm/the-basics-of-wavelength-division-multiplexing-wdm/>

Cisco. Understanding and Configuring VLANs. Luettu 28.5.2017

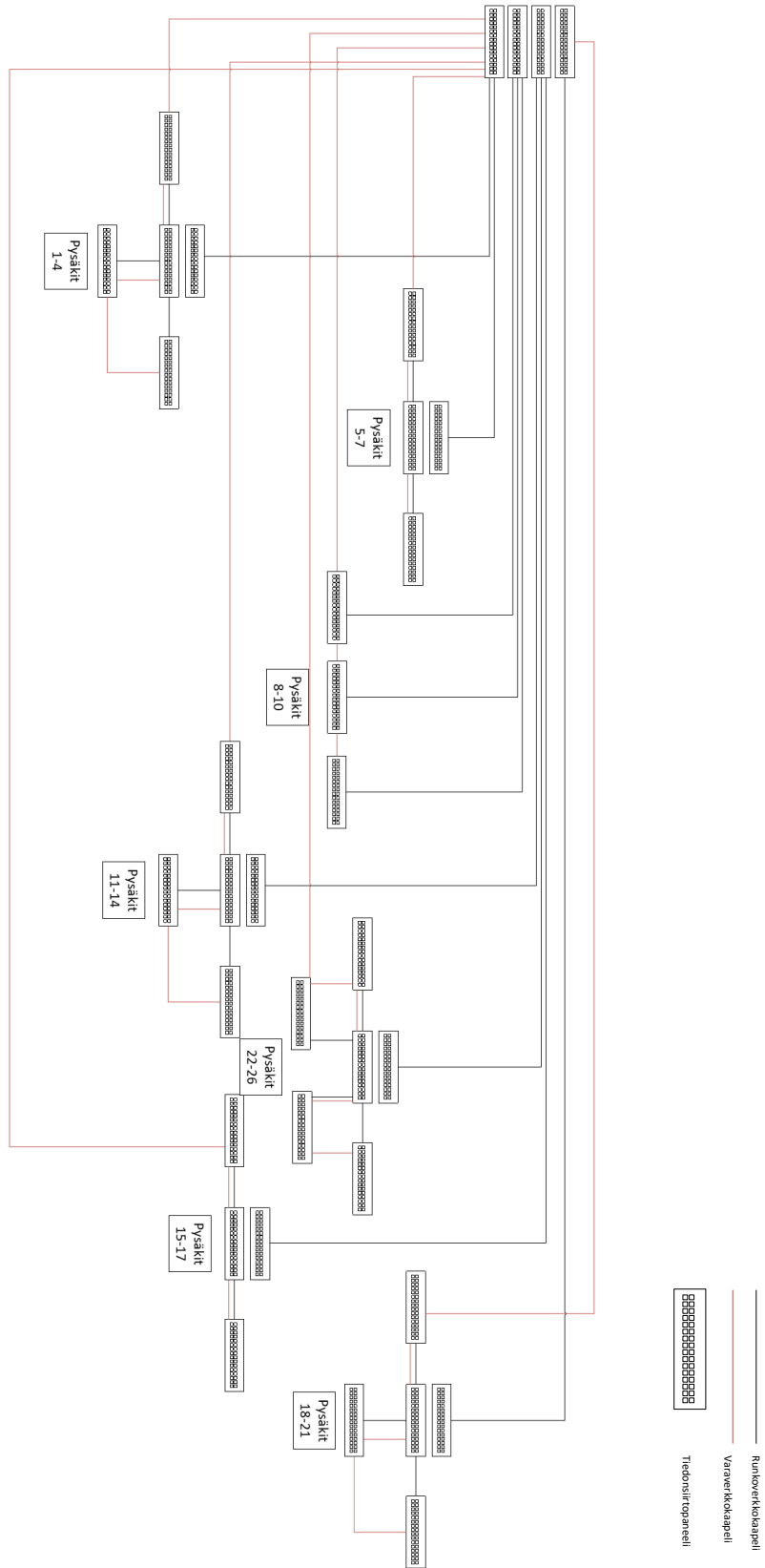
<http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/switches/lan/catalyst4500/12-2/25ew/configuration/guide/conf/vlans.html>

Tampereen kaupunki. Raitiotieallianssi toteutussuunnitelma. Luettu 28.2.2017.

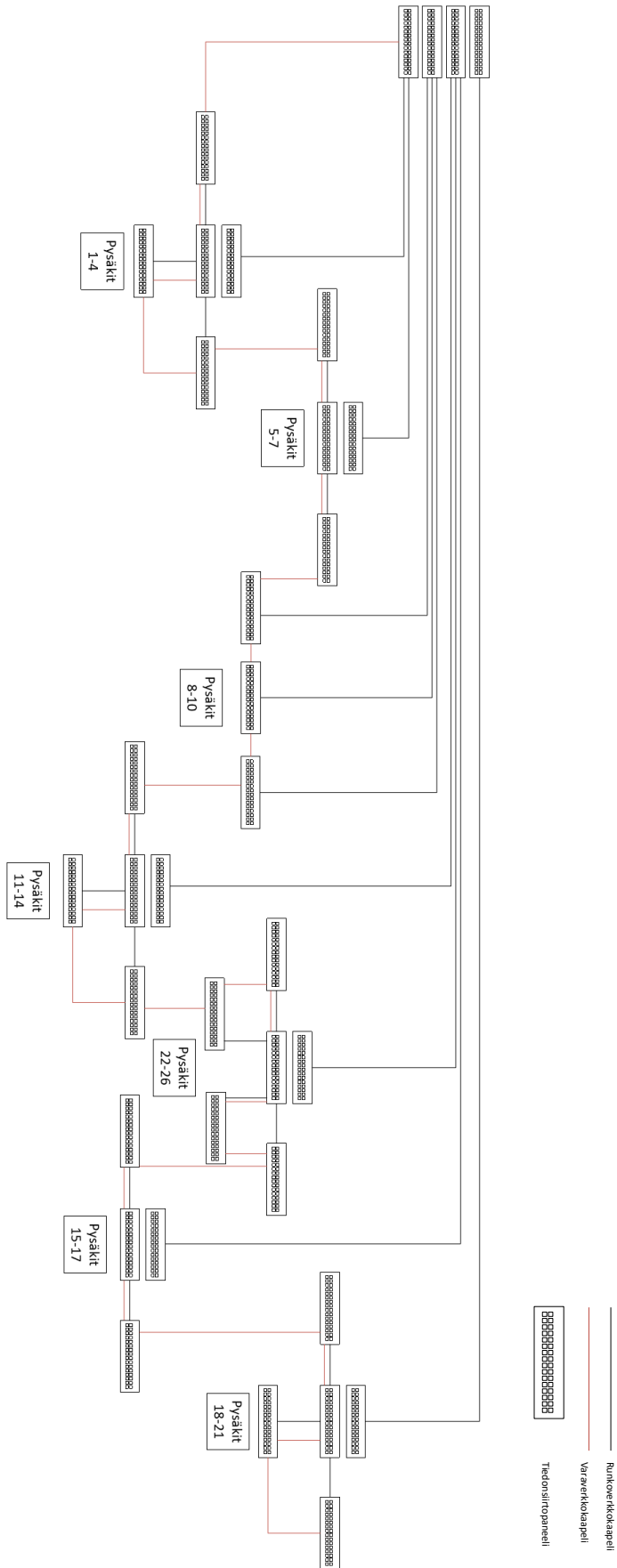
http://www.tampere.fi/tiedostot/t/xOxdPt2ot/Raitiotieallianssi_toteutussuunnitelma_osa1_20160905.pdf

LIITTEET

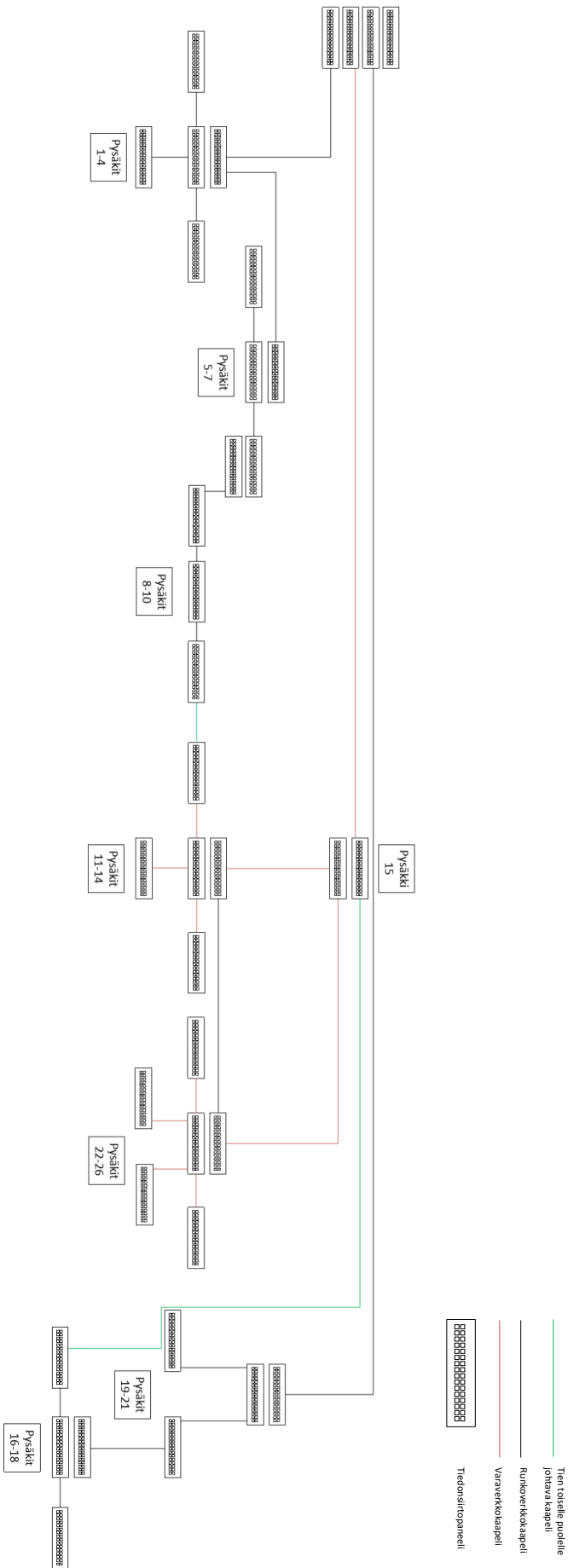
Liite 1. Solumainen rakenne



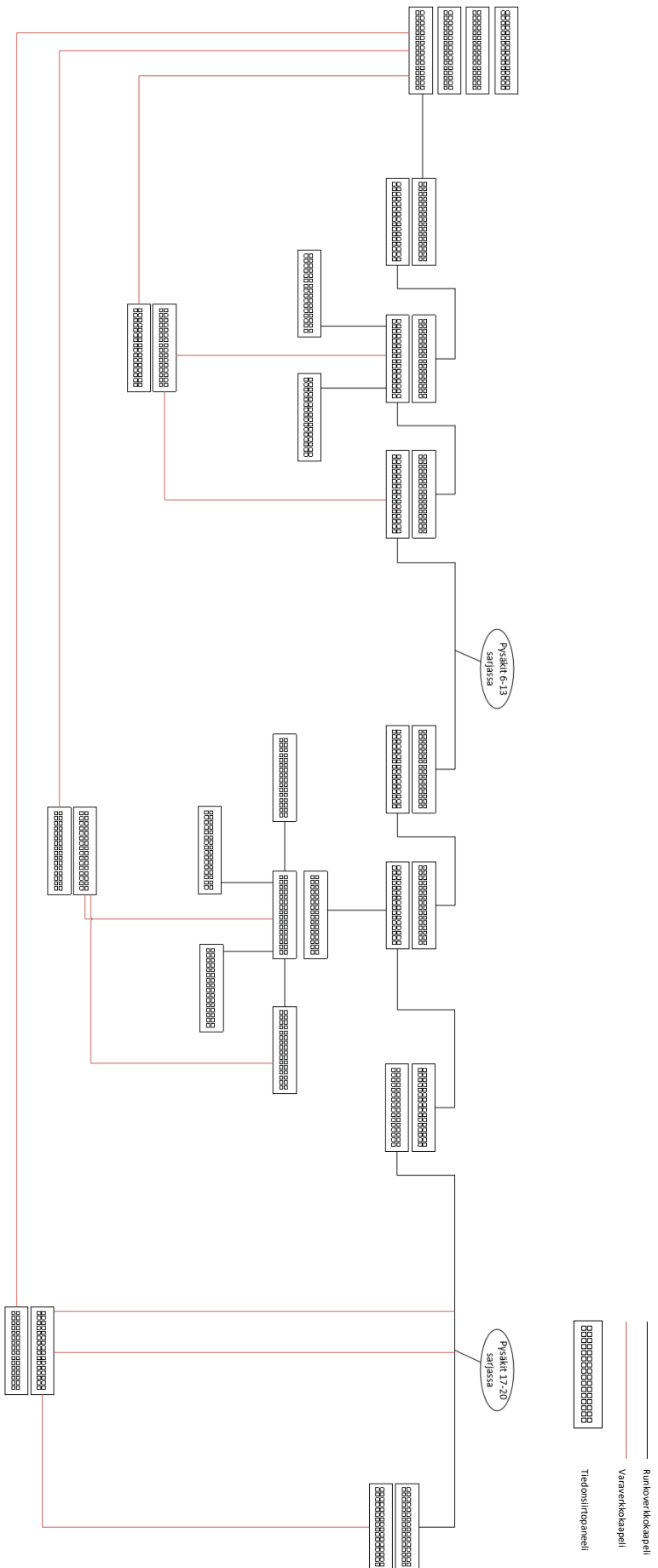
Liite 2. Solumainen rakenne sarjajamaisella varaverkolla



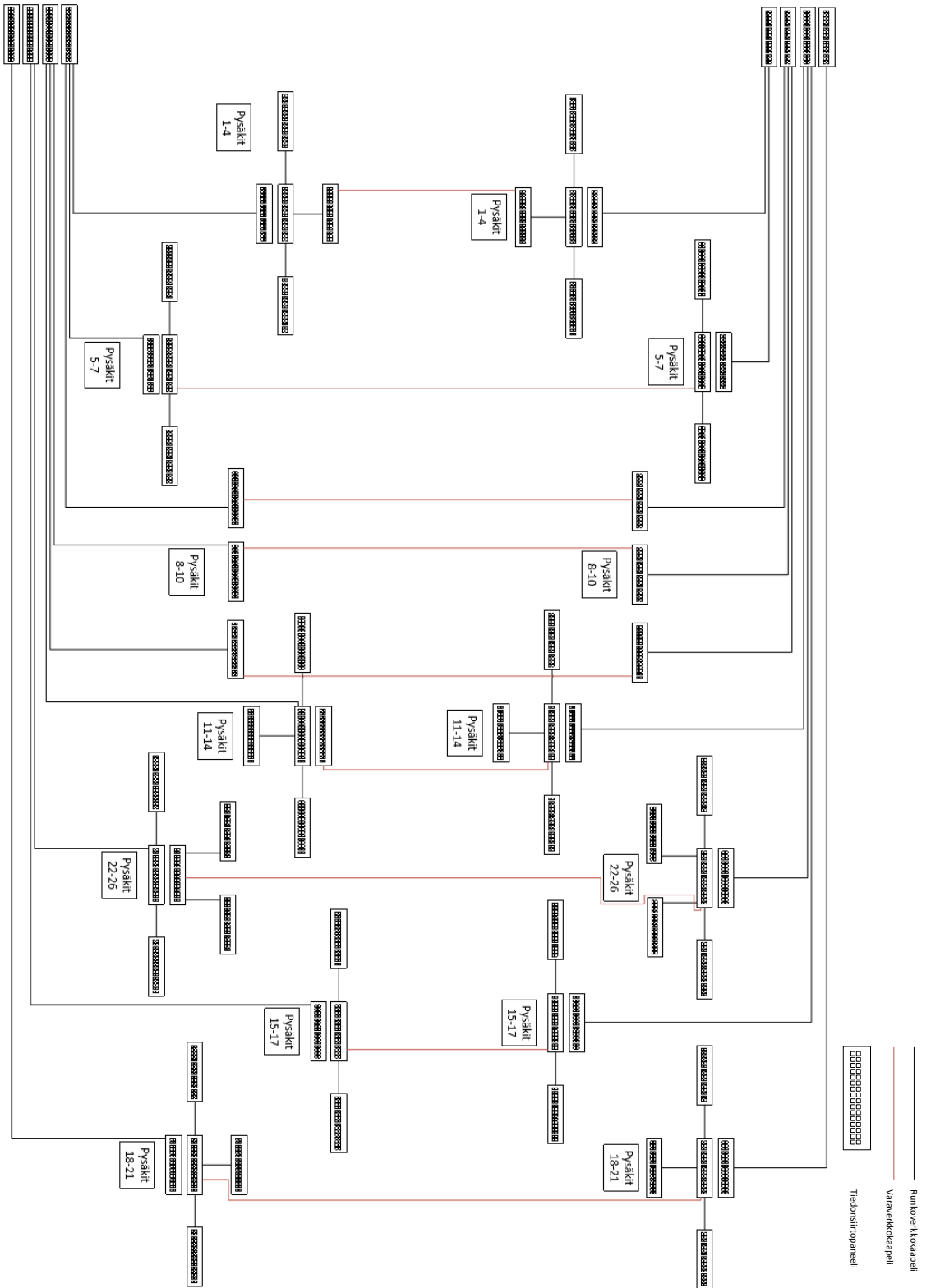
Liite 3. Suurempi solumainen rakenne



Liite 4. Sarjamainen rakenne



Liite 5. Peilattu solurakenne



Liite 6. Sarjainen peilattu rakenne

