



Kaapelireittien rakentaminen ja dokumentointi

Case Tampereen raitiotie, osat 1 ja 2

Hely-Anna Mäki

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

MÄKI, HELY-ANNA:
Kaapelireittien rakentaminen ja dokumentointi
Case Tampereen raitiotie, osat 1 ja 2

Opinnäytetyö 77 sivua
Toukokuu 2023

Opinnäytetyö tehtiin Tampereen raitiotien osat 1 ja 2 rakentavalle Raitiotieallianssille, jossa tilaajaosapuolina toimivat Tampereen Raitiotie Oy ja Tampereen kaupunki sekä palveluntuottajaosapuolina NRC Group Finland Oy, YIT Suomi Oy, Sweco Finland Oy ja Afry Finland Oy. Työssä perehdyttiin kaapelireittien suunnitteluun, rakentamiseen ja dokumentointiin Raitiotieallianssissa sekä selvitettiin raitiotien kaapelireitteihin liittyviä haasteita ja kehityskohteita. Aihe rajattiin raitiotien varrella kulkeviin kaapelireitteihin jättäen pois raiteiden ja kiskojen väliset sekä rakennusten sisäiset kaapelireitit.

Opinnäytetyö toteutettiin perehtymällä kaapelireittejä koskeviin määräyksiin ja laatuvaatimuksiin, yleisiin rakentamisohjeisiin ja materiaaleihin sekä Raitiotieallianssissa käytettyihin menetelmiin. Haasteita ja kehityskohteita kartoitettiin haastatteleamalla tilaajaosapuolien asiantuntijoita, palveluntuottajaosapuolien suunnittelijoita, rakentajia, kaapeloijia ja mittaajia, Raitiotieallianssin ulkopuolista johtomistajien kaapelointiurakoitsijaa sekä kartoitusaineiston digitoimisesta vastaavaa palveluntarjoajaa.

Opinnäytetyön tuloksena on lista kehitysehdotuksia raitiotien yhteydessä rakennettavien maanalaisten kaapelireittien suunnitteluun, rakentamiseen ja dokumentointiin. Osa kehitysehdotuksista on mahdollista ottaa käyttöön vielä Tampereen raitiotien osan 2 rakentamisen aikana. Tampereen raitiotien laajennusosien osalta tarkastelukohteiksi nousivat myös kaivantojen pistepilvikuvaus, työvaihekohtaiset ohjekortit sekä Helsingin Raide-Jokerin käyttämä Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmä. Opinnäytetyön tulokset ovat sovellettavissa yleisesti myös muissa hankkeissa, joissa uusia kaapelireittejä täytyy sovittaa rakennettuun kaupunkiympäristöön.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Site Management

MÄKI, HELY-ANNA:
The Construction and Documentation of Cable routes
Case Tampere Tramway, Sections 1 and 2

Bachelor's thesis 77 pages
May 2023

This thesis was made for the Tampere Tramway Alliance, which is in charge of designing and constructing the sections 1 and 2 of the Tampere tramway. The thesis focuses on the design, construction, and documentation of cable routes in the Tramway Alliance and identifies the challenges and development targets related to them. The scope of thesis was limited to the cable routes running along the tramway, leaving out the cable routes between the tracks and inside the buildings.

The background material of the thesis contains laws and regulations, quality requirements, general construction instructions and materials, and the project documents. The Tramway Alliance's designers, builders, cablers and surveyors as well as the customers' experts, the cable owners' cabling contractor and the service provider responsible for digitizing the mapping material were interviewed for collecting challenges and improvement ideas.

The result of the thesis is a list of development suggestions for the design, construction, and documentation of the underground cable routes to be built in connection with the tramway. Some of the development suggestions are possible to implement during the construction of section 2 of the Tampere tramway. Point cloud imaging, phase-specific instruction cards and the usage of the Cubis Multiduct cable channel system shall be considered. The results and observations of the thesis are also generally applicable in other projects implementing new cable routes in the urban environment.

Key words: cable routes, tramway, cabling, challenges, network data

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	KAAPELIREITTEIHIN LIITTYVÄT LAIT, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET .	8
	2.1 Lait ja asetukset	8
	2.2 Liikenne- ja viestintävirasto Traficom	9
	2.3 InfraRYL.....	11
	2.4 Johto-omistajien ohjeet	12
3	KAAPELIREITTIEN MATERIAALIT	14
	3.1 Kaapelinsuojaus.....	14
	3.1.1 Suojaputket ja -kourut.....	15
	3.1.2 Mikrokanavatekniikka	19
	3.1.3 Kaapelinsuojajärjestelmät.....	20
	3.2 Kaapelikaivot.....	22
	3.3 Kaapelireitit silloissa.....	23
4	KAAPELIREITTIEN SUUNNITTELU.....	26
	4.1 Johtosiirrot	27
	4.2 Raitiotien kaapelireitit.....	30
	4.3 Valaistus, liikennevalot ja muut kaapelireittitarpeet	34
5	KAAPELIREITTIEN RAKENTAMINEN JA KAAPELOINTI	37
	5.1 Työmaan suunnitelmat.....	37
	5.2 Kaapelireittien rakentaminen.....	38
	5.3 Kaapelointi ja sen vaatimukset kaapelireitille	42
6	KAAPELIREITTIEN MITTAUSAINEISTO	44
	6.1 Mittausmenetelmät.....	44
	6.2 Kartoitettavat kohteet	46
	6.3 Kaapelireittien pistepilvikuvaus	48
7	KAAPELIREITTIEN OMAISUUDENHALLINTA.....	50
8	KAAPELIREITTIEN HAASTEITA.....	52
9	KEHITYSEHDOTUKSIA	65
	9.1 Kaapelireittien suunnittelu, rakentaminen ja mittaus.....	65
	9.2 Kaapelireittien suojaputkimerkinät ja dokumentointi	69
	9.3 Uusia menetelmiä Tampereen raitiotiehankkeelle	70
10	POHDINTAA.....	73
	LÄHTEET	74

LYHENTEET JA TERMIT

Allianssi	Yhteistoimintamalli, jossa hankkeen eri osapuolet (tilaajat, suunnittelijat ja rakentajat) muodostavat yhteisen projektiorganisaation, vastaavat projektin suunnittelusta ja rakentamisesta sekä jakavat riskit ja hyödyt.
GNSS	Satelliittipaikannusjärjestelmä (Global Navigation Satellite System)
Hajavirta	Raitiotien paluuvirta, joka kulkee paluuvirtatien rinnalla maaperässä tai paluuvirtapiiriin kuulumattomissa rakenteissa
KAPA	Tampereen kaupunkiympäristön palvelualue
Kiintoraide	Päälysrakennetyyppi, jossa kiskot on kiinnitetty betoni-laattaan
KK	Kiskokotelo
KLV	Liikennevalokeskus
Ksk	Kiskon selän korkeus
KV	Valaistuskeskus
KVL	Vaihteenlämmityskeskus
KVO	Vaihteenohjauskeskus
LIVA	Liikennevalo
PE	Polyeteeni (polyethylene)
Pistepilvi	Kolmiulotteinen pisteistä muodostuva tietokonemalli
Pollari	Liikenteenohjaukseen ja törmäysesteeksi tarkoitettu tolppa
PVC	Polyvinyylikloridi (polyvinyl chloride)
PVK	Paluuvirtakotelo. Sähkökeskus, jonka kautta paluuvirta kulkee kiskosta sähkönsyöttöasemalle.
Raide-Jokeri	Espoon Keilaniemen ja Helsingin Itäkeskuksen välinen raitiotie sekä sen suunnitellut ja rakentanut allianssiorganisaatio. Allianssin muodostavat tilaajaosapuolet Helsingin kaupunki ja Espoon kaupunki, sekä palveluntuottajaosapuolet NRC Group Finland Oy, YIT Suomi Oy, Sweco Finland Oy, Ramboll Finland Oy ja Sitowise Oy.

Raitiotieallianssi	Tampereen raitiotien osat 1 ja 2 suunnitellut ja rakentanut organisaatio. Raitiotieallianssin muodostavat tilaajaosapuolet Tampereen Raitiotie Oy ja Tampereen kaupunki sekä palveluntuottajaosapuolet NRC Group Finland Oy, YIT Suomi Oy, Sweco Finland Oy ja Afry Finland Oy.
Rengaskaapeli	Rengasverkon yhdyskaapeli
Rengasverkko	Rengasmaisesti toisiinsa yhdistetyt laitteet
RTK	Real Time Kinematic. Reaaliaikainen kinemaattinen mitausmenetelmä, joka tarkoittaa perussatelliittipaikannuksen toimintaa.
Sepelirata	Sepelitukikerroksen varaan perustettu pölkkyraide
SN-luokka	Kaapelinsuojaputken rengasjäykkyys, yksikkö kN/m ² . SN8 = B-luokka, SN16 = A-luokka.
Sondi	Lähetin, joka mahdollistaa maanalaisen paikantamisen
SPK	Syöttöpistekotelo. Sähkökeskus, jonka kautta sähkövirta kulkee sähkösyöttöasemalta syöttöpylvääseen.
SSA	Sähkönsyöttöasema
Suojaputki	Sähkö- tai tietoliikennekaapelin suojaamiseen tarkoitettu putki, jonka sisään on mahdollista asentaa yksi tai useampi sähköjohto tai telekaapeli
Syöttöpylväs	Sähköratapylväs, jonka kautta sähkönsyöttökaapeli on yhteydessä ajolankaan
Traficom	Liikenne- ja viestintävirasto
TRO	Tampereen Raitiotie Oy (ks. Raitiotieallianssi)
TSV	Tampereen Sähköverkko Oy
Valokuitu	Ohut lasista tai muovista (esim. akryyli) tehty kuitu, joka johtaa valoa
Valokuitukaapeli	Valokuiduista muodostuva tietoliikennekaapeli
VATU	Ratajohdon vaaraulottuma
VLD-F	Voltage Limiting Device (Fault). Raitiotien kiskon ja perusmaan välistä potentiaaliero rajoittava laite.
Väylävirasto	ent. Liikennevirasto. Hallinnoi valtion tie- ja rataverkkoa.
Yhteiskäyttöpylväs	Pylväs, jossa on useita eri toimintoja. Esimerkiksi sähköratapylväs, jossa on myös valaisin.

1 JOHDANTO

Tampereen raitiotie rakennetaan asuttuun ympäristöön, jossa katurakenteen alla kulkevat monet yhteiskunnan tarvitsemat järjestelmät kuten vesihuolto (vesijohdot ja viemärit), turvallisuusrakenteet ja ohjausjärjestelmät, sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet (tele- ja sähköverkon maakaapelit) sekä lämmön- ja kaasunsiirtojärjestelmät. Raitiotie tarvitsee maanpäällisen rataverkoston ja siihen liittyvien rakennusten lisäksi huomattavan tilan maan alta: Tampereen raitiotien runkolinja käsittää radan vierustaa pitkin kulkevan 10x110 putkipatterin ja sen vaatimat kaapelikaivot, sekä radan varrelle useita keskuksia sähkönsyöttöön, vaihteiden lämmitykseen ja ohjaukseen, pysäkkien sähköjakoon, jne. Mittavat maanrakennustyöt edellyttävät, että alueella jo oleva putki- ja johtoverkosto suojataan, siirretään tai uusitaan. Usein tämä on taloudellisesti järkevin tehdä koko kadun leveydeltä, ei vain radan alta.

Tämä opinnäytetyö käsittelee kaapelireittien suunnittelua, rakentamista ja dokumentointia Raitiotieallianssissa. Opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa Tampereen raitiotien osien 1 ja 2 kaapelireittien rakentamisen ja dokumentoinnin haasteita ja kehityskohteita sekä selkeyttää dokumentointiprosessia. Opinnäytetyön aihe rajataan raiteiden ja rakennusten ulkopuolelle, jättäen pois kisko- ja raideyhdistykset sekä rakennusten kuten sähkösyöttöasemien tai varikon hallirakennusten sisäiset kaapelireitit. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajataan myös kaapelireittien rakentamisen kaivamattomat menetelmät kuten mikro-ohitus, jyrshintä ja auraus sekä tien ali tunkkaus, sillä näitä menetelmiä ei Raitiotieallianssissa ole kaapelireittien osalta käytetty. Materiaaleja käsitellään Raitiotieallianssissa käytetyin sekä Tampereen raitiotiehankkeeseen soveltuvin osin.

Opinnäytetyö toteutettiin laajalla tiedonhaualla sekä hankkeen sisäisiin dokumentteihin tutustumalla, työmaakäynneillä ja lukuisilla haastatteluilla. Haastateltaviin kuului suunnittelijoita, rakentajia, kaapeloijia, mittaajia ja tilaajia. Opinnäytetyössä sivutaan myös Helsingin Raide-Jokeri-raitiotiehanketta noukkien sieltä hyviksi koettuja käytäntöjä.

2 KAAPELIREITTEIHIN LIITTYVÄT LAIT, MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

2.1 Lait ja asetukset

Johtojen, laitteiden ja rakennelmien sijainti

Vuonna 2000 voimaan tullut Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee rakentamista koskevat yleiset edellytykset sekä olennaiset tekniset vaatimukset. Lain mukaan yleisellä alueella sijaitseva johto, laite tai rakennelma on siirrettävä kunnan hyväksymään paikkaan, jos nykyinen sijainti vaikeuttaa asemakaavan toteuttamista tai kadunpitoa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, § 89). Tampereen raitiotien osat 1 ja 2 rakennetaan Tampereen kaupungin omistamalle maalle, mutta olemassa olevilla järjestelmillä on eri omistajia. Johtosiirroista on tehty erilliset sopimukset teleoperaattoreiden, Tampereen Sähkölaitoksen sekä Tampereen Veden kanssa.

Yhteiskäyttö ja -rakentaminen

Laissa verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä säädetään, että verkkotoimijalla on velvollisuus antaa toiselle verkkotoimijalle käyttöoikeus fyysiseen infrastruktuuriinsa kuten suojaputkiin ja kaapelikaivoihin, jos se on teknisesti ja fyysisesti mahdollista. Verkkotoimijan on myös suostuttava yhteisrakentamiseen, jos se on taloudellista ja tarkoituksen mukaista. (Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016.) Toisin sanoen lain mukaan Tampereen raitiotien kaapelikaivoihin ja putkikaivantoihin tulee sallia myös muiden operaattoreiden rakenteita.

Suunnittelu ja rakentaminen

Sähköverkon suunnittelusta ja rakentamisesta säätää sähkömarkkinalaki ja sähkölaitteiden turvallisuudesta Sähköturvallisuuslaki. Sähköverkon, sähkönsiirron sekä -jakelun on oltava teknisesti laadukasta ja niiden pitää toimia luotettavasti ja varmasti myös silloin, kun niihin kohdistuu normaaleja odotettavissa olevia ilmastollisia, mekaanisia tai muita ulkoisia häiriöitä (Sähkömarkkinalaki 588/2013, § 19). Myöskään laitteet eivät saa aiheuttaa kohtuutonta sähköistä tai sähkömagneettista häiriötä ja niiden itsensä toiminta ei saa häiriintyä helposti. Sähkölaitteet ja -laitteistot on suunniteltava, rakennettava, valmistettava ja korjattava sekä niitä on käytettävä turvallisesti. (Sähköturvallisuuslaki 1135/2016, § 6.)

Kunnan oikeudet ja velvollisuudet

Kunnalla on Kunnossapitolaissa ja Maankäyttö- ja rakennuslaissa (§84 Kadunpito) määrätty velvollisuus huolehtia kunnan omaisuuden arvon säilymisestä sekä oikeus antaa määräyksiä ja vaatimuksia kaduilla ja muilla yleisillä alueilla sijaitsevista rakenteista ja niiden rakentamisesta. Yleisillä alueilla tehtäville rakentamistöille tulee hakea kunnalta lupa. (Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta 669/1978, 14a §.) Tampereella niihin kohdistuvia määräyksiä annetaan vuonna 2020 julkaistuissa Tampereen katulupamääräyksissä ja -ehdoissa.

Hyvä rakentamistapa

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan rakentamisessa tulee noudattaa hyvää rakentamistapaa (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, § 117). Myös Rakennusurakan yleisten sopimusehtojen YSE 1998:n mukaan urakoitsijan tulee suorittaa sopimuksen mukainen tehtävänsä ammattitaidolla voimassa olevia rakentamista koskevia säädöksiä ja hyvää rakentamistapaa noudattaen (Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998, § 1). Hyvänä rakentamistapana yleisesti pidetään rakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia (RYL). Infra-alan yleiset laatuvaatimukset löytyvät InfraRYL:stä.

2.2 Liikenne- ja viestintävirasto Traficom

Liikenne- ja viestintävirasto Traficomien vuonna 2020 asettama määräys 71/2020 perustuu lakiin verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä (Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016, 13 §). Määräyksellä asetetaan entistä tarkemmat vaatimukset keskitettyyn tietopisteeseen toimitettavien tietojen digitaalisesta muodosta, vähimmäissisällöstä sekä tietojärjestelmien yhteen toimivuudesta. Tarkoituksena on varmistaa tietojen riittävä tarkkuustaso, edistää verkkojen yhteisrakentamista ja -käyttöä sekä vähentää maanrakennustöistä maanalaisille rakenteille aiheutuvia vaurioita. Uutena vaatimuksena on mm. verkkoinfrastruktuurin korkeus- tai syvyystiedon toimittaminen 1.1.2021 jälkeen rakennettavista verkoista. (Traficom. 2020.)

Verkkotoimijan tulee toimittaa tiedot keskitettyyn tietopisteeseen joko itse tai kolmannen osapuolen palvelun kautta. Tampereen raitiotien osilla 1 ja 2 kaapelireittejä omistavina verkkotoimijoina toimivat Tampereen Raitiotie Oy, Tampereen kaupunki (liikennevalot, katuvalaistus, kaupungin tietoliikenne), Tampereen Sähköverkko Oy (sähkönsiirto) sekä teleoperaattorit.

Verkkotietopiste.fi

Verkkotietopiste.fi on Traficomien vuonna 2017 käynnistämä palvelu yhteisrakentamisen edistämiseksi. Palveluun tulee toimittaa ja sieltä voi hakea tietoja tietyllä alueella sijaitsevista verkoista tai verkkojen rakentamissuunnitelmista (pl. puolustusvoimien alueet). Yhteystietoihin lisätään sähköpostiosoitteet, joihin palvelun kautta tulevat yhteydenotot tai oman verkon päälle osuvat rakennushankeilmoitukset ohjataan. Verkkotietopiste.fi-palvelussa on mukana tietoja viestintä-, sähkö-, kaukolämpö-, kaukojäähdytys-, kaasun-, vesihuolto- ja liikenneverkoista. Ainoastaan merkitykseltään vähäisten (pieni käyttäjämäärä, alueellisesti suppea ja taloudellisesti vähämerkityksellinen) verkkojen tietoja ei tarvitse toimittaa. (Traficom. n.d.; Verkkotietopiste. n.d.)

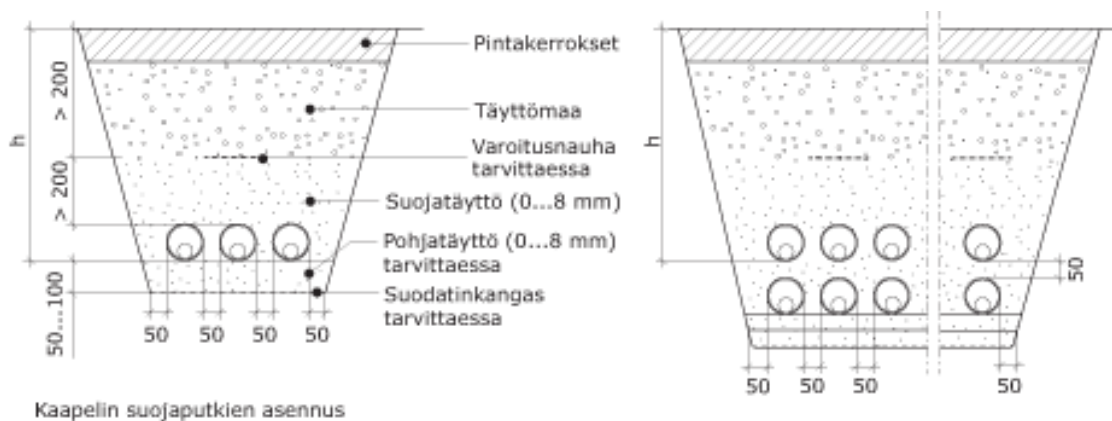
Sijaintitietopalvelu

Ennen kaivutöitä täytyy selvittää, mitä rakenteita maan alla on. Maanalaisten rakenteiden sijaintien tiedot on tähän asti kerätty verkko-omistajien osoittamiin palveluihin (esim. johtotietopankki.fi tai kaivulupa.fi) ja näiden lisäksi verkko-omistajilta itseltään on ollut tilattavissa verkkokarttoja. Traficomien toteuttama sijaintitietopalvelu on vuonna 2024 käyttöön otettava keskitetty tietopiste, joka kerää olemassa olevan verkkoinfrastruktuurin sijaintitiedot yhteen paikkaan. Verkko-omistajien tulee toimittaa sijaintitietopalveluun koordinaatti- ja korkeustiedot verkonsa kaapeleiden, putkien, laitteiden ja rakennelmien sijainnista. Palvelu mahdollistaa kaikkien maanalaisten rakenteiden sijaintitiedon saatavuuden yhdellä kyselyllä ja siten ennaltaehkäisee verkkoinfrastruktuurin kuten tele- ja sähkökaapeleiden vaurioitumista kaivutöiden yhteydessä. Sijaintitietopalvelu oli tarkoitus ottaa käyttöön jo vuonna 2022, mutta käyttöönotto viivästyi suunnitellusta. Traficomien mukaan palvelu tulee avautumaan verkkotietojen toimittamiseen 1.6.2023 ja ne tulee olla toimitettuna viimeistään vuoden 2023 loppuun mennessä. (Traficom. 2022.)

2.3 InfraRYL

Rakennustieto Oy:n julkaisema Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset (RYL) on kiinteistö- ja rakennusalan yhteisen laatukäsityksen ja hyvän rakentamistavan kirjallinen kuvaus. Se on laadittu helpottamaan hankekohtaisten asiakirjojen ja laatuvaatimusten määrittelyä ja sopimusasiakirjoissa RYL:iin viittaamalla saadaan sen laatuksiteerit voimaan niiltä osin, mitä asiakirjoissa ei ole muuten kirjattu. (InfraRYL. 2022.)

Infrarakentamisen ohjeita ja tuotetietoa on aiemmin julkaistu erillisessä infrakortistossa, johon ennen vuotta 2022 tehdyissä sopimuksissa ja dokumenteissa viitataan nimityksellä RT-kortisto. Näin myös Raitiotieallianssissa. 1.1.2022 lähtien infrakortiston on korvannut InfraRYL, joka siis sisältää nyt myös työmenetelmät (InfraRYL. 2022). InfraRYLin ohjeistus kaapelisuojauputkien asentamisesta kaivantoon on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Kaapelinsuojauputkien asentaminen kaivantoon (InfraRYL 2022, 33115.3.4).

InfraRYLiä päivitetään kaksi kertaa vuodessa. Tämän opinnäytetyön tekohetkellä viimeisin päivitys on tehty 22.12.2022.

2.4 Johto-omistajien ohjeet

Samassa kaapelikaivossa ja -kaivannossa kulkee monen eri johto-omistajan kaapelireittejä. Raitiotieallianssissa johtosiirtojen ja uusien kaapelireittien rakentamisen menetelmien ja laatuvaatimusten pohjana on InfraRYL. Tampereen kaupungilla on lisäksi julkaisuja, joissa määritetään tarkempia laatuvaatimuksia ja ohjeita kaupungin katuvalaistusrakenteiden ja valokuituverkon rakentamiselle ja dokumentoinnille.

Johto-omistajat kuten Tampereen Sähköverkko Oy sekä teleoperaattorit ovat laatineet myös kaivuutyöohjeita kaapelireittiensä läheisyydessä työskenteleville urakoitsijoille. Sijaintikarttoja voi tilata johto-omistajilta tai verkkopalveluista kuten johtotietopankki.fi tai kaivulupa.fi. Johto-omistajat järjestävät myös kaapelinäytön veloitusetta kohteeseen. Siinä kaapelin sijainti etsitään kaapelitutkalla ja merkitään maastoon merkintämaalilla (kuva 1).



KUVA 1. Kaapelitutkalla etsitään maanalaiset kaapelit (sunet.fi).

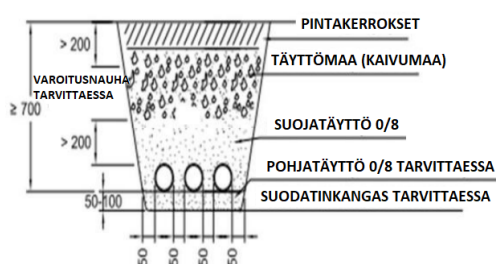
Kaivuutyö olemassa olevien kaapeleiden lähellä

Tampereen Sähköverkon kaivuutyöohjeen mukaan 400 V:n ja 20 kV:n (pien- ja keskijännite) kaapelit sijaitsevat normaalisti 0,5–1,0 metrin syvyydessä ja 110 kV:n suurjännitekaapelit 1,0–1,5 metrin syvyydessä. Merkkinauhaa on käytetty ainoastaan 110kV:n maakaapeliverkolla. (Tampereen Sähköverkko. 2022.) Teleoperaattoreiden kaivuutyöohjeen mukaan tietoliikennekaapeleiden normaali asennussyvyys on 0,6–0,7 metriä, mutta kadussa olevien rakenteiden, kallioisen maaperän, kaapeliristeilyjen tai myöhemmin suoritettujen katukorkeuksien muutosten takia syvyys voi vaihdella paljonkin (johtotietopankki. n.d.). Siksi kaivuutyön aluksi kaapeli tulee kaivaa esiin käsin syvyydaseman varmistamiseksi.

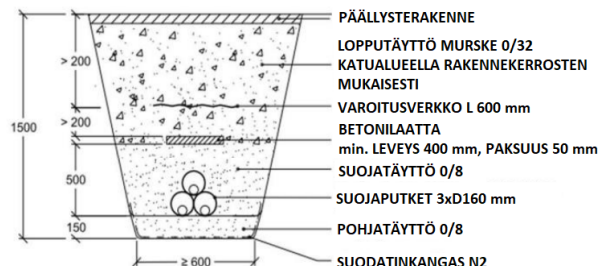
Sähkökaapeleihin tulee konekaivuutyötä tehdessä pitää ohjeessa määrätty turvaetäisyys (pien- ja keskijännite- sekä telekaapelit 0,5 m, 110 kV kaapelit 1 m), jota lähempänä kaivuu täytyy tehdä käsityökaluilla. Ohjeen mukaan Tampereen Sähköverkon suojaputkia tai kaapeleita ei saa kaivajan toimesta siirtää, eikä varalle asennettuja suojaputkia katkoa tai vaurioittaa. Tampereen Sähköverkko suorittaa välttämättömät siirrot itse tilaustyönä ja teleoperaattorikaapelin siirtää teleoperaattorin nimeämä urakoitsija. (Tampereen Sähköverkko. 2022.; Johtotietopankki, n.d.)

Kaivuun yhteydessä paljastuneita 110kV:n kaapeleita ei saa peittää, ennen kuin Tampereen Sähköverkon edustaja on tarkastanut kaapelien kunnon ja niiden alustan. Edustaja myös valvoo kaapelin täyttötöy ohjeenmukaisuuden. (Tampereen Sähköverkko. 2022.) Kuviossa 2 on Tampereen Sähköverkon ohjeistama kaapelikaivannon poikkileikkaus. 110kV:n kaapelireitin suojaamiseen maakaivannossa käytetään muista kaapelireiteistä poiketen myös betonilaattaa.

400V ja 20 kV:



110 kV:



KUVIO 2. Periaatteellinen ohje kaapelikaivannon täyttämisestä (Tampereen Sähköverkko 2022, muokattu).

3 KAAPELIREITTIIEN MATERIAALIT

Maakaapeleiden suojausta ja tuotevaatimuksia ohjataan standardeilla. Suomessa on yleisesti käytetty kansallista standardia SFS 5608, joka määrittelee PE- ja PVC-muovisten maahan asennettavien kaapelinsuojuksien sekä varoitussuojien vaatimukset. Standardi SFS 5608 on kumottu vuonna 2016, mutta korvaavien EN-standardien osoittauduttua puutteellisiksi sähköteknisen alan kansallinen standardointijärjestö SESKO ry julkaisi vuonna 2019 tiedotteen, jonka mukaan SFS 5608 on edelleen käytettävissä. (Sesko. 2019.) Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen hetkellä tilanne on edelleen sama.

3.1 Kaapelinsuojaus

Kaapelinsuojaputkia käytetään maahan asennettavien sähkö- ja tietoliikennekaapeleiden suojaamiseen liikenteen, maan paineen ja roudan aiheuttamia mekaanisia rasituksia vastaan. Suojaputki toimii kaapelin maanalaisena asennusreitinä ja se myös havaitaan maakaapelia paremmin kaivettaessa kaapelireitin lähistöllä. Kaapelinsuojaputket jaetaan standardin SFS 5608 mukaisesti rengasjäykkyyden ja iskulujuuden perusteella lujuusluokkiin A ja B. (Rotomon. 2017, 3)

Rata- ja tiealueen alla käytettävien A-luokan putkien kuormituskestävyys on 16 kN/m² (SN16) ja niitä saa jäykkänä 6 metrin salkona. B-luokan putkia (kuormituskestävyys 8 kN/m², SN8) saa sekä salkona että taipuisana kaariosana tai 50 metrin kelana, ja niitä voi käyttää esim. kevyen liikenteen alituksissa ja muissa kohteissa, joissa ei ole raskasta liikennettä. (Rotomon. 2017, 3) Tampereen raitiotien osalla 2 käytetään salkona vain A-luokan putkea. Tämä poistaa erehtymisen mahdollisuuden työmaalla. Taipuisaa B-luokan putkea käytetään johdattaessa kaapelireitti keskukselle tai muulle rakenteelle.

Kaapelinsuojaputken tunnisteväriin ansiosta putken tyyppi on tunnistettavissa myöhempien kaivuutöiden yhteydessä. Raitiotieallianssissa keltaista putkea käytetään sähkökaapelien lisäksi kaupungin ja raitiotien telekaapeleille. Teleoperaattoreiden kaapelinsuojaputket ovat punaisia ja liikennevalojen kaapelinsuojaputket vihreitä.

3.1.1 Suojaputket ja -kourut

Tuplarakenteinen PE-kaapelinsuojaputki on päältä aaltoileva (korrugoitu) mutta sisäpinnaltaan sileä, mikä helpottaa kaapeleiden vetoa. Uponorin kaapelinsuojauksen myyntipäällikkö Jussi Niemelän mukaan korrugoitu pinta antaa putkelle vaaditun rengasjäykkyyden ohuemmasta seinämäpaksuudesta huolimatta, mikä alentaa sen valmistuskustannuksia (Niemelä, J. 2023). PE-tuplaputkena valmistetaan myös taipuisat B-luokan kaapelikaaret 0–90 asteen käännöksiin sekä B-luokan kelalle taivutettu 50 metrin kaapelinsuojaputki, johon vetonaru on asennettu valmiiksi. (Rotomon. 2017, 5)

PE-muovista valmistetussa triplasuojaputkessa on sileä sisä- ja ulkokerros sekä niiden välissä korrugoitu kerros. Sileä ulkopinta antaa putkelle pituusjäykkyyttä sekä tekee putken sivutiivistyksestä maa-aineksella helpompaa, kun hiekka ei jää aaltokuviointiin kiinni (Niemelä, J. 2023). Tupla- ja triplaputken ulkopinnan ero näkyy kuvassa 2.



KUVA 2. Tupla- ja triplaputkia (pipelife.fi).

PVC-muovista valmistetut kaapelinsuojaputket ovat rakenteellisesti kestäviä ja jäykkiä yksikerroksisia massiiviputkia (kuva 3), jotka kestävät hyvin kaapeloinnin vetorasitusta ja korkeita kitkalämpötiloja. PVC-suojaputki sopii hyvin jälkiasennukseen ja pitkiin kaapelivetoihin. PVC-materiaalin iskunkestävyys sen sijaan

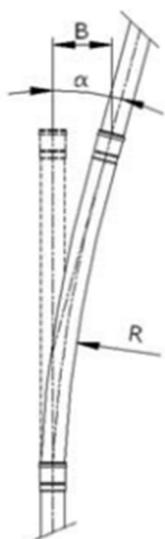
heikkenee lämpötilan laskiessa ja niitä ei saa käsitellä alle -15°C lämpötilassa. (Pipelife. n.d. Kaapelinsuojajärjestelmät.)



KUVA 3. Tietoliikennekaapeleille tarkoitettuja PVC-putkia (pipelife.fi).

Tampereen raitiotien osien 1 ja 2 kaapelireittien runkoverkko on rakennettu tuplaputkesta. Vuosien 2017–2023 välisenä aikana runkoverkkoa on rakennettu n. 470 km:n verran. Tampereen kaupungin tietoliikenneverkko, Tampereen Sähköverkon johtosiirrot sekä muiden johto-omistajien kaapelireitit rakennetaan pääsääntöisesti PVC-putkesta. Telian kaapelireittien suojaputkityyppinä on triplaputki.

Jäykillä salkomaisilla suojaputkillä saa tehtyä loivia suunnanmuutoksia. Mitä suurempi taivutussäde R on, sitä loivempi kaaresta tulee. Tupla- ja triplaputkien taivutussäde on $50 \times$ putken ulkohalkaisija (Niemelä, J. 2023) eli 110 mm:n putkella 5,5 metriä, mutta putket tulee tukea niin, ettei taivutus kohdistu liitoskohtaan. PVC-putken taivutussäde on $300 \times$ putken ulkohalkaisija (Niemelä, J. 2023) eli 110 mm:n putkella 33,0 metriä, joten se taipuu todellisuudessa vain liitoskohdastaan. Uponor on laatinut havainnollistavan kuvan triplaputken sallitusta taivutuksesta (kuvio 3). Jyrkemmissä taivutuksissa putki ei pysy enää pyöreänä (Uponor. 2008, 5).



Putki d_e/d_i	Putken pään siirtymä B (m)	Kulmapoikkeama
Tripla 110/95	1,20	38°
Tripla 160/138	1,00	32°

KUVIO 3. 6-metrinen Triplaputken taivuttaminen lujuusluokasta riippumatta (Uponor 2008).

PVC-muovista valmistetaan jäykät A- tai B-lujuusluokan kaariosat sekä erityisen vaativiin asennuksiin lujuusluokaltaan SN32 kaariosat. Suojaputkikaaria on saatavana 22°, 45° ja 90° asteen eri pituisina kaarina. (Pipelife. n.d. Kaapelinsuojajärjestelmät.) Kuvassa 4 näkyy putken pituuden merkitys kaaren jyrkkyyteen.



KUVA 4. 90° asteen PVC-kaariputkia eri kokoisina (undergroundcivil.com.au, muokattu).

Kaapelinsuojaputket yhdistetään toisiinsa muhveilla. Vesitiiviissä OPTO-muhvissa on mukana tiiviste, hiekkatiivis TEL-muhvi tiivistetään tarvittaessa O-ren-gastiivisteellä. Saatavilla on myös sovite- ja kutisteosia erikokoisten tai -tyyppisten putkien yhteen liittämiseen. Jatkoholkeilla yhdistetään muhvitommat putken-pääät toisiinsa ja haarakappaleella haaroitetaan tarvittaessa yksittäinen suoja-putki. Sopivan kokoisella tulpalla (putkihattu) tukitaan väliaikaisesti avoimeksi jä-tetty putken pää ja putken sisään jätetyn sondin avulla pystytään myöhemmin paikantamaan kokonaan peitetty varaputki. Halkaistulla suojaputkella (kuva 5) saa korjattua tai ennallistettua käytössä olevan kaapelin suojauksen.



KUVA 5. Halkaistu DIVIO-kaapelinsuojaputki (Pipelife.fi).

Pipelifen ROCKY-kaapelinsuojaputki on PE-muovista valmistettu massiivisuoja-putki (kuva 6) vaativaan kaapelinsuojaukseen. ROCKY SRS on lujuusluokaltaan SN16 ja se sopii normaalin rakentamisen lisäksi esimerkiksi vesistöjen alittami-seen. ROCKY SRE on lujuusluokaltaan SN64 ja sitä käytetään pinta-asennettu-jen kaapelointien suojaamiseen. ROCKY-putkien jatkokset tehdään jatko- tai sähköhitsausmuhveilla. (Pipelife. n.d. Kaapelinsuojajärjestelmät.) Raitiotiealli-anssilla ROCKY SRE suojaputkea on käytetty mm. Hatanpään valtatiellä Otava-lantunnelin ylittävän kaapelireitin rakentamiseen sekä silloilla, joissa kaapelireitti on täytynyt sijoittaa kansirakenteen yläosaan.



KUVA 6. ROCKY-kaapelinsuojaputki vaativaan kaapelinsuojaukseen (Pipelife.fi).

3.1.2 Mikrokanavatekniikka

Mikrokanava/optoputki on HDPE-muovista (high density polyethylene) valmistettu halkaisijaltaan 5–20 mm:n suojaputki, jonka sisäpinnan silikonikäsittely mahdollistaa kevyen optisen kuidun puhaltamisen putkeen erityisellä puhalluslaitteella. Mikrokanavat ja 2–12 kanavan PE-vaippaiset kanavaniput (kuva 7) asennetaan suoraan maahan tai suojaputkeen. (nestorcables. n.d.)



KUVA 7. Suojaputkeen asennettavia mikrokanavanippuja (nestorcables.fi).

Mikrokanava tuodaan työmaalle kelalle pakattuna. Sen asentaminen maahan tai suojaputkeen tapahtuu kuten kaapelin asentaminen, mutta mikrokanavaa asennettaessa on tärkeää pitää kanavan päissä olevat tulpat paikallaan ja käsitellä sitä muutoinkin varoen, sillä hiekanjyvä, kosteus tai painauma kanavassa voi estää valokuidun puhaltamisen putkeen. (valokuitunen. n.d.)

Mikrokanavatekniikka sopii pitkiin yhtenäisiin reitteihin, sillä mikrokanavaan kuitu voidaan puhaltaa jopa kilometrien mittaisena, mikä perinteisellä valokuitukaapeliasennuksella ei ole mahdollista ilman välikaivoja. Mikrokanavatekniikka mahdollistaa myös verkon laajentamisen, sillä pienen kokonsa ansiosta mikrokanavilla saadaan valokuituverkolle runsaasti varaputkia pieneen tilaan. Tampereen kaupungin tietoverkkoasiantuntija Petteri Karvosen mukaan kuitujatkosten ja -päättämisten teko vaatii kuitenkin erityisosaamista ja jatkoskoteloita, ja vaurioitunut kanava sekä kuitu täytyy uusia koko matkalle jatkos- tai päätepuiteiden väliltä (Karvonen, P. 2023). Raitiotieallianssilla mikrokuitua on raitiotien osalla 1 asennettu Hämeenkadulle sekä Hatanpään Valtatielle. Osalla 2 mikrokuidulla toteutetaan Lielahden voimalaitoksen ja SSA03:n välinen tietoliikenneyhteys.

3.1.3 Kaapelinsuojajärjestelmät

OPI-kanaalijärjestelmä

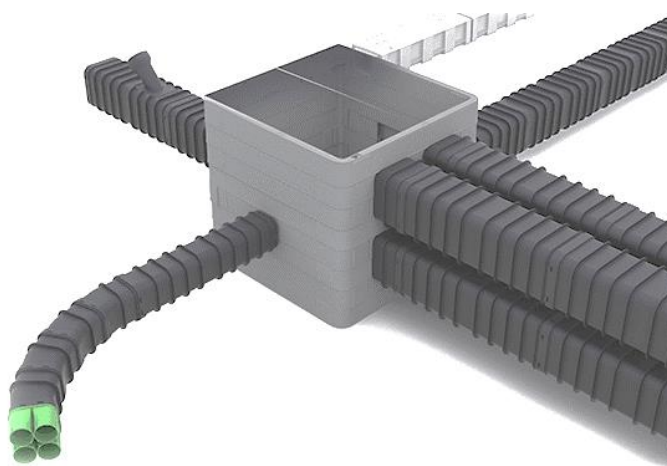
Kaapelinsuojatuotteiden valmistajat ovat kehittäneet erilaisia järjestelmiä, jotka vastaavat tilankäytön haasteisiin rakennetussa ympäristössä. Esimerkiksi kuvassa 8 esitetty Pipelifen OPI-kanaalijärjestelmä koostuu pohja-, väli- ja tukikammoista, joiden avulla saadaan suuri määrä kaapelinsuojaputkia sidottua toisiinsa pieneen tilaan. OPI-kanaalijärjestelmä sopii erityisesti betonitäytteisten kaapelikanaalien rakentamiseen, sillä tukikampaan on valmiiksi mietitty paikat muottilevyille ja raudoituksille. (Pipelife. n.d.) Betonivalulla saadaan putkitukselle kuormituskestävyyttä, jos putkia ei saada asennettua riittävän syväälle.



KUVA 8. OPI-kanaalijärjestelmä Oulun Aittatorilla 2017 (Pipelife 2017).

Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmä

Ruduksen maahantuoma Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmä koostuu modulaarisista kaapelisuojaelementeistä, jotka liitetään toisiinsa legopalikoiden tapaan. Noin metrin mittaiset HDPE-muovista valmistetut osat painavat alle 20 kg, joten niitä pystyy käsittelemään käsin työmaalla. Järjestelmään kuuluu myös osista koottavat modulaariset Stakkabox Ultima-kaapelikaivot (kuva 9). (Rudus. n.d.)



KUVA 9. Cubis-järjestelmän kaapelikaivo ja Multiduct-elementtejä (powerandcables.com).

Cubis Multiduct-kaapelikanavan etu on nelikulmainen kanavamuoto, jonka kapasiteetti on suurempi perinteiseen pyöreään putkeen verrattuna. Monikanavainen (2x2, 2x2XL, 2x3 tai 3x3) elementti vie maan alla vähemmän tilaa verrattuna samaan määrään kaapelinsuojaputkia, joiden väliin täytyy jättää asennushiekalle tilaa. Elementin puristuslujuus on suurempi kuin perinteisen kaapelinsuojaputken, mikä mahdollistaa myös matalamman asennussyvyyden. Loivia kaarroksia varten Multiduct-osia voidaan kääntää kaksi astetta sivulle kiinnityskohdastaan ja jyrkempiä mutkia varten saatavilla on 3°–30° asteen kulmakappaleita. Perinteiset kaapelinsuojaputket on mahdollista liittää järjestelmään erillisellä sovitinkappaleella. (Rudus. n.d.)

Raitiotieallianssissa ei ole käytetty edellä mainittuja kaapelinsuojajärjestelmiä, mutta Suomessa Helsingin Raide-Jokeri-raitiotiehankkeessa Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmää (kuva 10) pilotoitiin telekaapeleiden kaapelireittien rakentamiseen vuonna 2020 (Raide-Jokeri. 2020). Myös Kemissä rakenteilla olevalla Metsä Groupin biotuotetehtaalla on käytössä Cubis Multiduct-kaapelinsuojajärjestelmä (Rudus. 2022).



KUVA 10. Cubis Multiduct-kaapelikanavia Helsingin Raide-Jokeri-raitiotiehankkeella (Raide-Jokeri 2020).

3.2 Kaapelikaivot

Betoniset kaivot luokitellaan raudoituksensa mukaan. Br-kaivoa käytetään liikennealueen ulkopuolella, Cr-kaivoa liikennealueella, Kr-kaivo on teräskuituvahvistinen ja Er-kaivo erikoisraudoitettu. (Betoni. 2015, 87) Tampereen raitiotien osilla 1 ja 2 kaapelikaivoina (kuva 11) käytetään betonisia, halkaisijaltaan 1500 tai 2000 mm Cr-kestävyysluokan kaivoja. Kaivot koostuvat hyötykorkeudeltaan 500 tai 1000 mm korkeista kaivonrenkaista ja kansielementistä, jossa on metalliselle halkaisijaltaan 600 mm:n luukulle paikka. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)









KUVA 11. Johto-omistajien halkaisijaltaan 1500 mm:n kaapelikaivo (Raitiotieallianssi, Jukka Heinonen 2022).

Johto-omistajien 1,5 metriä korkeissa kaivoissa on betoninen pohja, jonka keskellä on n. 40 cm:n reikä vedenpoistoa varten. Raitiotien 1,5–2,0 metriä korkeisiin kaivoihin ei asenneta pohjaa, jolloin vesi poistuu maan rakennekerrosten kautta. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Valurautaiset kansistot luokitellaan standardin EN124 mukaisesti lujuusluokkiin, jotka on esitetty taulukossa 1. Kansistot korotetaan maanpinnan tasoon erillisillä 5–20 cm:n betonisilla korotusrenkailla ja kelluvalla kauluksella, jolla kansisto saadaan täysin oikeaan korkeuteen valmiin maanpinnan kanssa. Muovisten kaivojen (esim. ilmaisinkaivojen) kansistojen korottamiseen voidaan käyttää myös varsinaisen kaivoputken sisään asennettua teleskooppiputkea.

TAULUKKO 1. Valurautaisten kansistojen lujuusluokat (Jupalco.com, muokattu).

						
Lujuusluokka	A15, A30, A50	B125	C250	D400	E600	F900
Kuormitus	5 tonnia	15 tonnia	25 tonnia	40 tonnia	60 tonnia	90 tonnia
Käyttökohte	Viheralueet, jalankulku- ja pyöräväylät	Jalkakäytävät, henkilöautojen pysäköinti-alueet	Ajoradan reunat, pihakadut, huolto- ja parkkihallit	Ajorata, raskaan kaluston pysäköinti-alueet, huoltohallit	Satamat, teollisuus-alueet	Kiitoradat ja muut alueet, joissa pyöräkuormat ovat erityisen suuret

3.3 Kaapelireitit silloissa

Kaapelien ja putkien sijoittaminen siltaan suunnitellaan tapauskohtaisesti. Jokaiselle sillalle laadituissa sijoitus- ja asennussuunnitelmissa esitetään kaapeleiden sijainti sillan poikkileikkauksessa sekä johtoreittien materiaalit ja kiinnityspäätteet. Raitiotieallianssissa kaapelit viedään sillan yli joko suoja-putkessa betoniva-lun sisällä tai kannellisessa kaapelikourussa. Näiden lisäksi sillan kannen alapuolelle voidaan asentaa kaapelihylly, jonka kautta kaapelit kulkevat, mutta tätä ratkaisua käytetään lähinnä uusien tai työnaikaisten kaapelireittien tekoon olemassa

olevan sillan yli. Raitiotieallianssilla kaikki raitioliikenteen ylittämät sillat ovat uusia. Näsisaaren sillat S46 ja S48 varustetaan kannen alapuolisilla kannatinjärjestelmien kiinnitysvarauksilla tulevia vesihuollon järjestelmiä varten. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Kaapelinsuojaputki sillan rakenteen sisällä

Kaapelireitit voidaan rakentaa betonisen sillan rakenteen sisään siltaa rakennettaessa, jolloin suojaputket kiinnitetään sillan raudoituksiin ennen valua (kuva 12). Tällä ratkaisulla kaapelireitit eivät vaikuta sillan ulkonäköön, mutta kaapelireitti-varauksia täytyy suunnitella riittävästi sekä varmistaa putkien kaapeloitavuus, sillä kaapelireittiä ei saa korjattua siltarakennetta rikkomatta.



KUVA 12. Suojaputkia sillan rakenteessa (Raitiotieallianssi, Veetu Helkiö 2021).

Kaapelikanava/-kouru

Kaapelikourua voidaan käyttää kaapelireittinä varikolla, sepeliradan varrella ja silloissa tai muissa erityiskohteissa, mikäli kaapeliputkien käyttö ei ole mahdollista tai järkevää. Kouru toteutetaan teräsbetonisilla kanavaelementeillä (kuva 13), jotka on varustettu raudoitetuilla kansilla. Siltakohteissa kouru yhdistyy kaapelikaivoon molemmissa päissä siltaa. Kaapelikourussa kaapelit kulkevat ilman

suojaputkea. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Tampereen raitiotien osalla 1 kaapelikourua on käytetty muun muassa Tampereen Raitiotie Oy:n varikolla, raitiotien alittaessa olemassa olevan sillan (esimerkiksi Etelä-Hervannassa ja Itsenäisyydenkadulla) sekä sepeliraitteisilla silloilla Hervannan valtavyölyän varressa. Osalla 2 kaapelikourua käytetään mm. Näsisaaren silloilla niiden betonirakenteessa kulkevien kaapelireittien lisäksi.



KUVA 13. Kaapelikanava/kouru radan varressa (Raitiotieallianssi, Hely-Anna Mäki 2021).

4 KAAPELIREITTIIEN SUUNNITTELU

Tampereen raitiotie tuo tullessaan suuren määrän uusia kaapelireittejä maan alle. Kaapelireittisuunnittelu on jaettu eri osa-alueisiin: Raitiotieallianssin kaapelireittisuunnittelija suunnittelee kaikki raitiotien tekniseen toimintaan ja järjestelmiin liittyvät kaapelireitit sekä myös liikennevalojen kaapelireitit käyttäen pohjana liikennevalosuunnittelijan tekemää pylväiden ja silmukoiden sijoittelua. Johtosiirtosuunnittelija suunnittelee tarvittavat johtosiirrot ja johto-omistajien tarvitsemat varaukset ja laajennukset. Valaistussuunnittelija suunnittelee katuvalaistuksen toteuttamiseen tarvittavat kaapelireitit ja vahvavirtasuunnittelija pysäkkien kaapelireitit. Taitorakennesuunnittelija määrittelee, miten tarvittavat putkireitit toteutetaan silloilla. (Koskinen, J. 2023.)

Raitiotietä ympäröivien rakenteiden suunnittelussa tulee ottaa huomioon maadoitusten kaapelireitit ja rakenteiden eristäminen. Raitiotien vaaraulottuma VATU on se alue, jonka sisäpuolella olevat sähköä johtavat rakenteet voivat muuttua jännitteisiksi ratajohdon tai raitiovaunu virroittimen vaurioituessa. VATU-alueen leveys on 4,0 metriä raiteen keskilinjasta ja se rajautuu maanpintaan. Ratasilloilla VATU-alue jatkuu pystysuorasti alaspäin 4,0 metriä. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

VATU-alueella sijaitsevat sähköiset rakenteet tulee toteuttaa kaksoiseristettyinä (kaapelin kumipäällyste toimii yhtenä eristeenä ja suojaputki tai kutistesukka toisena) ja muut sähköä johtavat rakenteet tulee maadoittaa VLD-F-laitteeseen, joka on sijoitettu kaapelikaivoon tai keskukseen. VLD-F-laite yhdistää suojattavan kohteen raitiotien paluuvirtakiskoon (ks. 4.2 Raitiotien kaapelireitit).

VATU-alueella sijaitsevaa rakennetta ei tarvitse suojamaadoittaa tai eristää, jos kaikki seuraavat ehdot täyttyvät:

- Rakenteen kokonaispituus on alle 15m (esim. mutkitteleva kaide).
- Rakenteen pituus radansuuntaisesti on alle 15 m.
- Rakenteen pituus poikkisuuntaisesti on alle 2 m.
- Rakenne on näkyvässä koko matkaltaan.
- Rakenne on erotettu muista johtavista rakenteista (suojaetäisyys 2,5 m).

- Rakenteessa ei ole kaksoiseristämättömiä sähköjärjestelmiä tai johtavia putkistoja.
- Rakenne ei sijaitse laiturialueella. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

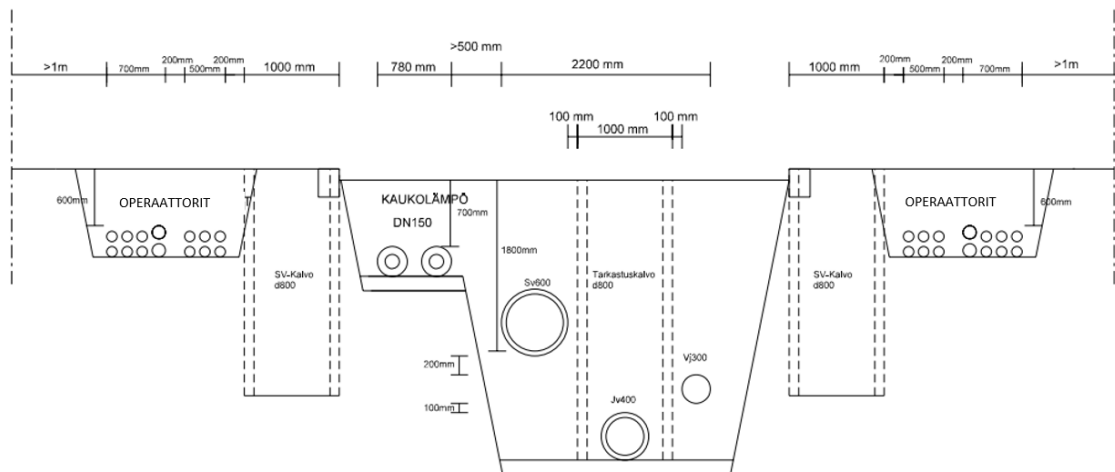
Maadoitustarvetta ei yleensä esiinny liikennemerkeillä, kaivonkansilla ja pollareilla, mutta esimerkiksi kaiteiden ja tukimuurien kohdalla maadoitustarve täytyy tarkastaa. Kaiteen sähköjohtavuus voidaan katkaista myös esimerkiksi eristepaloilla. Pysäkeillä maadoituskapelireitti tulee tehdä kaikille metallisille rakenteille, niin kaiteille, katokselle, roska-astialle kuin penkillekin. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Hajavirraksi kutsutaan sitä virtaa, joka palaa sähkönsyöttöasemalle suunnitellusta poikkeavaa reittiä, esimerkiksi maaperän ja maanalaisten metallisten rakenteiden kuten metalliputkien tai johtimien kautta. Hajavirta aiheuttaa korroosiota metallirakenteisiin. Tästä syystä myös maanalaiset sähköä johtavat rakenteet täytyy eristää ja esimerkiksi katuvalaistuksen maadoituskupari tulee johtaa kumi-päälysteisenä kaapelina suojaputkessa riittävän etäälle raitiotiestä. Myöskään valokuitukaapelireittien paikantamiseen yleensä käytettyä metallijohdinta ei saa raitiotiealueella käyttää. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

4.1 Johtosiirrot

Johtosiirroilla tarkoitetaan siirrettävää tai uudelleen rakennettavaa kunnallistekniikkaa kuten vesihuolto (jäte- ja hulevesilinjat sekä vesijohdot), kaukolämpö ja kaukokylmä, sähkö- ja telekaapelit sekä maakaasulinjat. Kuviossa 4 on esitetty kunnallistekniikan periaatteellinen tilantarve kadun poikkileikkauksessa. Tämä opinnäytetyö keskittyy sähkö- ja tietoliikennekaapelireitteihin sekä niihin liittyviin johtosiirtoihin.

KERROSTALOALUEEN KOKOOJAKATU 1:50



KUVIO 4. Kunnallistekniikkaa kadun alla (Helsingin kaupunki 2014, 73, muokattu).

Tampereen raitiotiehankeessa pääperiaate johtosiirtosuunnittelulle ja rakentamiselle on, että rakenteet voidaan korjaus- ja huoltotoimenpiteitä varten kaivaa esiin ja kaapelikaivossa voi työskennellä ilman raitioliikenteen katkoa. Tämä tarkoittaa, että radan alle ei jätetä pitkittäissuuntaisia johtoreittejä, vaan johtoreitit sijoitetaan radan viereen ja radan alittavat poikkisuuntaiset suojaputket sekä kaapelikaivot tuodaan riittävän etäälle radasta. Hankkeen laajuuteen sisältyy kaikki radan rakentamisen aiheuttamat välttämättömät johtosiirrot. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Tietoliikennekaapelien asennussyvyys vaihtelee 0,2–1,0 metrin välillä rakennusvuodesta ja alueesta riippuen (johtotietopankki. n.d.). Raitiotieallianssilla kaapelireittien asennussyvyys on 0,5–0,8 metriä, raitiotien alituksissa kiintoraiteella 1,05 sekä sepeliraiteella 1,4 metriä. Kaivaessa esiin tulevia reittejä täytyy usein syventää, jotta asennussyvyysvaatimus toteutuu. Yhteensovituksia täytyy tehdä myös samalla syvyydellä sijaitsevien kaukolämpöputkien ja kadun kuivatuksen kanssa ja kaapelireitin tulee kiertää vesihuollon kaivot ja venttiilit sekä maanpäällisten rakenteiden kuten pylväiden perustukset. (Lepola, K. 2023.)

4.2 Raitiotien kaapelireitit

Raitiotien sähkösyöttöverkko

Raitiotien sähkösyöttöverkkoon sisältyvät sähkösyöttöasemat (SSA), sähköra-
tapylväät, ajojohtimet, ratakiskot, maadoitukset sekä kaikki keskuksat, kaapelit ja
komponentit näiden väliltä. 20kV:n jännite tuodaan paikallisen sähköverkkoyhtiön
keskijänniteverkosta sähkösyöttöasemalle, jossa se muunnetaan ja tasasuun-
nataan raitiovaunulle sopivaksi 750 V:n tasasähköjärjestelmäksi. Asemalta sähkö
johdetaan syöttöpistekoteloiden (SPK) kautta syöttöpylväälle, joka jakaa virran
ajolangalle (kuva 14). (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

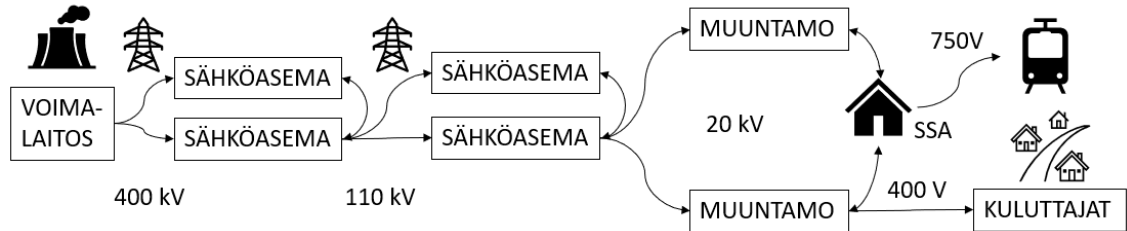
Ajolangasta sähkö siirtyy raitiovaunun käyttöön sen katolla olevan virroittimen vä-
lityksellä. Teräspyöriensä kautta vaunu on yhteydessä paluuvirtatienä toimiviin
kiskoihin, joista virta palaa sähkösyöttöasemalle paluuvirtakaapelien ja paluu-
virtakotelon (PVK) kautta. Raiteet hitsataan jatkuviksi ja niiden välinen sähköinen
yhteys varmistetaan kiskojen ja raiteiden väliin asennettavilla poikittaisyhdistyk-
sillä ja kiskoliitoksilla. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)



KUVA 14. Sähkösyöttöasema ja syöttöpylväs sekä syöttöpiste- ja paluuvirtako-
telot (keskuksat) Hervannassa (Raitiotieallianssi, Hely-Anna Mäki 2021).

Sähkösyöttöasema (SSA)

Sähkösyöttöasemat ovat osa Tampereen alueen sähkönjakelun rengasverkkoa. Rengasverkko rakennetaan rengasyhteyksinä siten, että jokainen syöttöjohto on korvattavissa varayhteydellä. Sähkösyöttöasemalle paikallisen verkko-yhtiön 20 kV:n keskijännitekaapeli tuodaan siis kahdennettuna. Rengasverkon periaate on esitetty kuviossa 6.



KUVIO 6. Rengasverkon periaate (Hely-Anna Mäki 2023).

Talo- ja tietoteknisiä järjestelmiä varten sähkösyöttöasema liitetään myös pienjänniteverkkoon, jonka kautta tuodaan sähkö mm. syöttöaseman valaistukselle, lämmitykselle ja valvontajärjestelmille. Kaapelireitit tuodaan syöttöasemarakennukseen ryömintätilan kautta. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

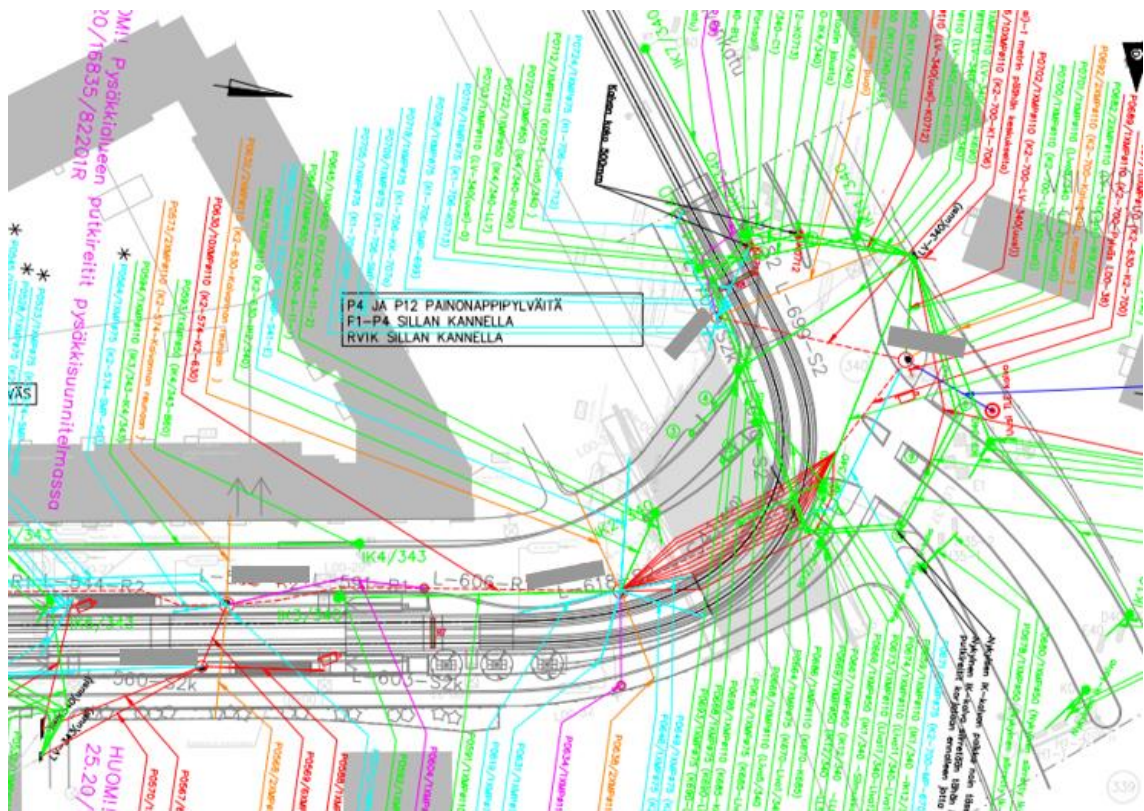
Raitiotien runkoverkko

Tampereen raitiotien kaapeliverkon runkoreitin koko on 10 x MP110 putkea (MP = muoviputki, 110 = putken halkaisija millimetreissä). Runkoreitillä kulkee sähköliittymien kaapeleita, turva- ja ohjauslaitteiden sekä hajavirtojen seurantakaapeleita, kaivojen saattolämmityksiä sekä Tampereen Raitiotie Oy:n ja Tampereen kaupungin tietoliikennekaapelit. Lisäksi samalla reitillä on varausputkia mm. valaistusta ja liikennevaloja varten. Samassa kaivannossa runkoreitin kanssa kulkee myös muiden johto-omistajien kaapelireittejä. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Kaapelikaivot on eriytetty raitiotien ja operaattoreiden kaivoihin. Operaattoreiden kaapelireitit voivat mennä raitiotien kaapelikaivoon, mutta niihin ei pääsääntöisesti tehdä siellä kytkentöjä tai haaroituksia vaan kaivo toimii kaapeleiden läpikulkureittinä. Raitiotien osalla 1 myös raitiotien runkoreitti saattoi mennä operaat-

toireiden kaivon läpi samalla periaatteella. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Raitiotien runkoreittiä ei raitiotien osalla 2 viedä operaattoreiden kaivoon (Koskinen, J. 2023).

Kaapelireittisuunnitelmassa (kuviot 7) esitetään runkoreitti, siitä erkanevat kaapeli- tai tietoliikennereitit sekä liikennevalojen kaapelireitit värikoodattuina. Viiteviivassa kerrotaan reitin tunniste, putkien määrä ja koko sekä päätepisteet. Suunnitelman lisäksi suunnittelija laatii excel-taulukon, jossa tunnisten kohdalle on kirjattu tarkentavia tietoja.

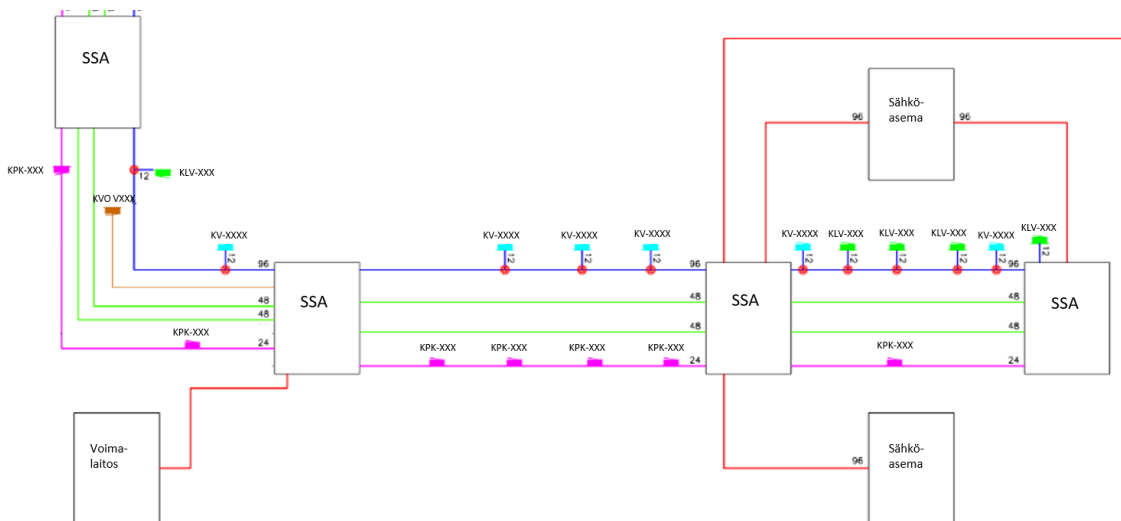


KUVIO 7. Osa Raitiotieallianssin kaapelireittisuunnitelmaa (Raitiotieallianssi 2017–2023, muokattu).

Tietoliikenneverkko

Tietoliikenneverkkoa rakennetaan sekä raitiotien että Tampereen kaupungin tarpeisiin, ja se toteutetaan kahdennettuna valokuituverkkona (pää- ja varayhteys) koko raitiotien matkalle. Eri järjestelmien kaapelit asennetaan mahdollisuuksien mukaan eri reiteille tai eri suojaputkiin.

Raitiotien tietoliikenneverkon valokuitukaapelit yhdistävät sähkönsyöttöasemat toisiinsa ja sitä käytetään mm. ratajohdon ja raitiotien turvalaitteiden valvomiseen sekä syöttöjärjestelmän laukaisusiirtojärjestelmän käyttöön. Valokuitukaapeli yhdistää sähkönsyöttöasemat myös vaihteenohjauskeskuksiin (KVO) ja pysäkki-keskuksiin (KPK). Tampereen kaupungin tietoliikenneverkko rakennetaan mm. liikennevaloja, Smart city -toimintoja ja yleisiä kameroita varten. (Raitiotiealli-anssi. 2017–2023.) Tietoliikenteen kuituverkon periaatekaaviossa (kuvio 8) esi-tetään, kuinka ja minkälaisilla kuiduilla eri keskuskes (katuvalo-, liikennevalo- ja pysäkkikeskukset), asemat ja laitokset yhdistyvät toisiinsa.

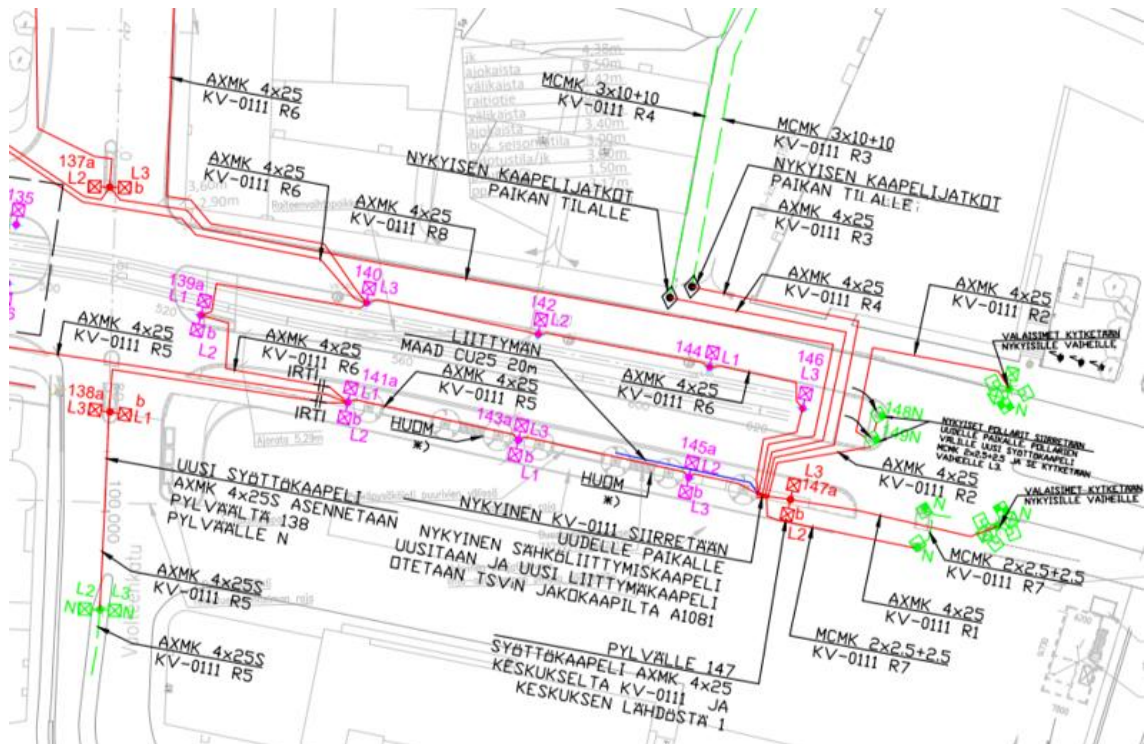


KUVIO 8. Osa Raitiotieallianssin kuituverkon periaatekaaviota (Raitiotieallianssi 2017–2023, muokattu).

Raitiotiepysäkit

Pysäkkien varustukseen kuuluu pysäkkivalaistus ja varaukset matkalippu- ja matkustajainformaatiojärjestelmälle sekä kameravalvonnalle. Pysäkkikatosten mainosseinät tarvitsevat sähköä ja kaikki metallirakenteet tulee myös maadoittaa lähimpään VLD-F-laitteeseen. Näitä kaapelireittejä varten varatut suoja-putket sijoitetaan pysäkkilaiturirakenteeseen. Kaapelit ja kaapelireitit yhdistyvät pysäkkikohtaisessa sähkökeskuksessa (KPK, pysäkkikeskus), jolle tuodaan oma sähköliittymä. Pysäkkikeskus on yhteydessä myös Tampereen kaupungin tietoliikenneverkkoon. (Raitiotieallianssi. 2020.) Kuviossa 9 on esitetty raitiotiepysäkin kaapelireittisuunnitelmaa.

dessä katuvalaistus uusitaan tai siirretään vain tarpeellisilta osin ja mahdollisuuksien mukaan valaistus pyritään sijoittamaan yhteiskäyttöpylväisiin radan sähköistyksen kanssa. (Raitiotieallianssi. 2020.) Tarvittaessa vaihealueelle rakennetaan omat valaistusrakenteet ja silloissa valaistusta toteutetaan myös kaiteissa ja kohdevalaisimissa. Valaistusrakenteet esitetään omassa suunnitelmassaan (kuvio 10).



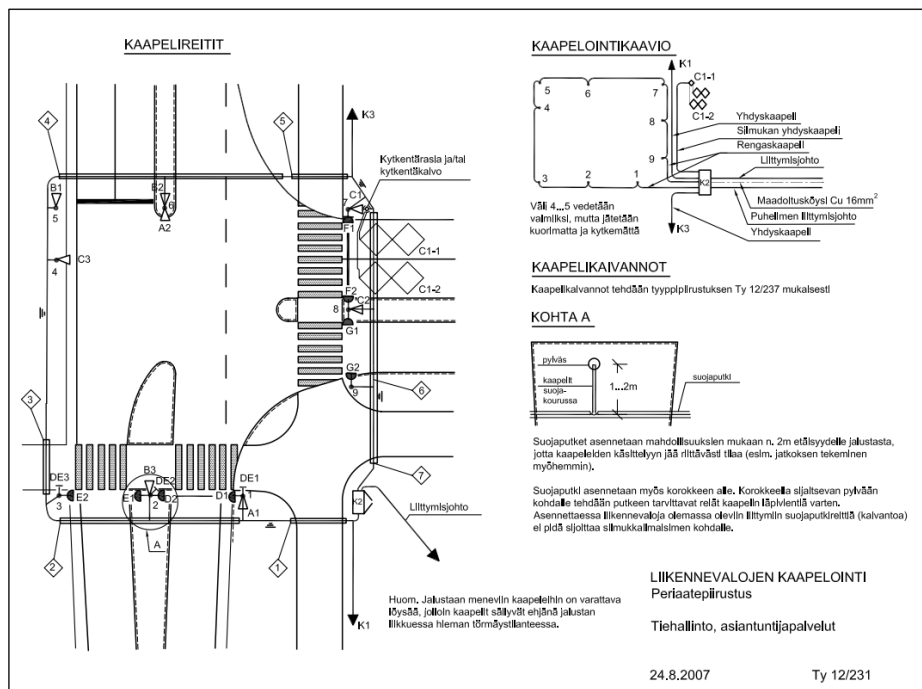
KUVIO 10. Osa Raitiotieallianssin valaistussuunnitelmaa (Raitiotieallianssi 2017–2023, muokattu).

Liikennevalot

Liikennevalojärjestelmään kuuluvat liikennevalokeskus (KLV), opastinpylväät tai -portaalit opastimiseen, ilmaisinsilmukat ja -kaivot sekä eri osia yhdistävät kaapelit. Liikennevalokojeeseen liitetään myös kaupungin tietoliikennekaapeli kaukokäyttöä ja seuranta varten.

Risteyksen opastinpylväät kytketään rengasmaisesti keskukselta lähtevällä rengaskaapelilla toisiinsa. Väyläviraston laatima liikennevalojen kaapeloinnin periaatekuva on esitetty kuviossa 11. Pylväältä pylväälle tehdään myös toinen putki-tus varareitiksi. Ajorataa tai kiskoja väliin sijoitettu ilmaisinsilmukka asennetaan

ilman suoja-putkea paikalleen ja yhdistetään ilmaisinkaivoon, josta se jatkaa suo-
japutkessa matkaansa keskukselle.



KUVIO 11. Liikennevalojen kaapeloinnin periaatepiirustus (Väylävirasto 2007)

Muut kaapelireitit

Kaikkien edellä mainittujen lisäksi kaapelireittejä tehdään esimerkiksi kuljettajien sosiaalituloille päätepysäkkien yhteyteen, yksittäisille mainostoteemeille, tapahtu-
masähköpisteille, valaistuspollareille, maavaloille, jne. Varikolla teknisiin järjes-
telmiin kuuluu linjaradasta poiketen myös akselinlaskentajärjestelmä (raiteen va-
paana olon valvonta), jolle täytyy tehdä oma kaapelireittinsä. (Raitiotieallianssi.
2017–2023.)

5 KAAPELIREITTIIEN RAKENTAMINEN JA KAAPELOINTI

5.1 Työmaan suunnitelmat

Työmaalle toimitetaan useita suunnitelmia eri tekniikkalajeista, sillä kaikkien rakenteiden esittäminen yhdellä kartalla tekisi kartasta lukukelvottoman. Suunnitelmat toimitetaan PDF- ja dwg-tiedostoina. Tärkeää on, että kaikki suunnitelmat ovat keskenään yhteensovitettuja ja varmistettu täten suunnitelmien toteutettavuuskelpoisuus. Kaapelireittejä sisältäviä suunnitelmia ovat:

- johtosiirtosuunnitelmat
- kaapelireittisuunnitelmat
- valaistuksen putkisuunnitelmat
- valaistuksen sähkösuunnitelmat (maadoitukset)
- liikennevalosuunnitelmat
- pysäkkisuunnitelmat.

Kadunrakennussuunnitelmien tyyppipoikkileikkauskuvissa näkyy, kuinka putkireitin on suunniteltu sijoittuvan katurakenteeseen. Lisäksi Raitiotieallianssin teknisillä järjestelmillä ja päällysrakenneryhmällä on tarkennetut suunnitelmat raiteiden keskelle tai vaihteille tarvittavista putkireiteistä. Taitorakenneryhmä asentaa taitorakennesuunnitelmien mukaisesti siltoihin tarvittavat kaapelireitit.

Kartalle piirretyn kaapelireittisuunnitelman lisäksi kaapelireitti- ja johtosiirtosuunnittelijat laativat putkiluettelot, joista suunnitelmaan merkityllä putkitunnuksella löytyy lisätietoa ja työnjohto voi esimerkiksi kaivotunnuksella tarkistaa, että kaikki kaivolle tulevat putket tulee huomioitua. Työnjohto rajaa ja muokkaa suunnitelmista rakentajille tulostettavat A3-kokoiset versiot, joissa näkyy rakentamisalueen rakenteet.

5.2 Kaapelireittien rakentaminen

Ennen kaivuutöitä tilataan nykyisten kaapelireittien näyttö alueella toimivilta verkko-omistajilta tai heidän osoittamaltaan näyttöpalvelulta. Maanrakennus aloitetaan vanhojen rakenteiden esiin kaivamisella ja tarvittavilla massanvaihoilla. Säästettävät putkireitit ja muut rakenteet tuetaan ja suojataan vaurioitumiselta.

Uudet kaapelireittien kaivot, keskukset, perustukset ja niiden välinen putkireitti rakentuvat yhtä matkaa liikennejärjestelyjen mahdollistamalta alueelta. Putkireitin asennusalustana voi olla laadultaan sopiva tasattu pohjamaa, mutta käytännössä asennusalustaksi levitetään aina raekooltaan 0–8 mm hiekkaa n. 50–100 mm vahvuisena kerroksena. Tarvittaessa pohjamaan ja asennushiekan välissä käytetään N2-luokan (=keskiraskas maanrakentaminen) suojakangasta, jolla varsinkin louhealustalla varmistetaan asennushiekan paikallaanpysyminen (Rai-
tiotieallianssi. 2017–2023.)

Suojaputket tarkastetaan silmämääräisesti ja asennetaan asennusalustan päälle yksi tai kaksi kerrallaan. Putken toisessa päässä on valmiina muhvi, johon seuraavan putken pää työnnetään. Jos putken työntämiseen tarvitaan iskuvoimaa, putken päähän asennetaan tulppa suojaksi, jotta putken pää ei vaurioidu.

Suojaputkilla tulee olla InfraRYLin mukaisesti 50 mm vapaata tilaa ympärillään, jotta asennushiekka pääsee tukemaan putkea riittävästi. Tämän varmistamiseksi käytetään vanerista tehtyä kappaa, joka pitää samassa kerroksessa olevat putket riittävän kaukana toisistaan, kunnes asennushiekka on täyttänyt raot (kuva 15). Putkikerrosten väliin laitetaan hiekkatäytön ajaksi sopivan paksuinen puurima varmistamaan 50 mm:n välin.



KUVA 15. Runkoreitin suoja-putkia ja 50 mm:n välin varmistava vanerikampa (Raitiotieallianssi, Juuso Aaltonen 2022).

Putkireitit harvoin ovat täysin suoria. Loivat kaaret saa toteutettua pitkillä suoja-putkilla ja jyrkemmissä mutkissa käytetään valmiita kaariosia. Putkireitti tuodaan 0,5–1 metrin etäisyydelle liitäntäpisteestä (esimerkiksi keskuksesta), johon liittyminen tapahtuu taipuisalla putkella tehdyllä kaarella.



KUVA 16. Kaapelireitin rakentamista Paasikivenkadulla (Raitiotieallianssi, Sonja Juntunen 2022).

Putkien suojatäyttöön käytetään samaa hiekkaa kuin asennusalustaankin. Hiekkakerros tiivistetään täryttämällä tai kastelemalla ja sen tulee ulottua 20 cm putken selän yläpuolelle. Suojatäytön päälle asennetaan varoitusnauha ja leveän putkilautan päälle tarvittaessa kaksi varoitusnauhaa tai kaapelisuojavaikko. Lopputäyttö tehdään asennuspaikan mukaisesti, esimerkiksi katualueella kadun rakennekerroksilla. Kaapelinsuojaputkien tulee jäädä katualueella vähintään 0,7 metriä tulevan maanpinnan alapuolelle, rata-alueella kiintoraidelaatan alituksessa 1,05 metriä kiskon selän korkeudesta (ksk) sekä sepeliradan alituksessa 1,40 metriä pölkyn yläpinnasta. Kohteet, joissa vaadittuja kerrospaksuuksia ei voida täyttää esimerkiksi kadun tasauksen vuoksi, tarkastellaan erikseen. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Raitiotieallianssissa käytettävät halkaisijaltaan 1500–2000 mm:n kaapelikaivot koostuvat betonisista 0,5 tai 1,0 metriä korkeista renkaista ja kannesta, jossa on aukko valurautakannelle. Raitiotien osalla 2 runkoreitin kaivot ovat pääsääntöisesti 2,0 metriä ja operaattorikaivot 1,5 metriä korkeita. Kaivoa varten kaivetaan riittävän syvä ja niin suuri kuoppa, että kaivonrenkaan ulkopuolelle jää 0,4 metriä tilaa ympäristäytölle. Kaivannon pohja tasataan ja tiivistetään 0–32 mm:n murskeella noin 20 cm:n paksuudelta. Kaivonrenkaat nostetaan kaivantoon kaivinkoneen avulla (kuva 17). Ensimmäisen renkaan noston jälkeen tarkistetaan sen sijainti silmämääräisesti ja suoruus vesivaa'alla. Seuraavat renkaat nostetaan tämän päälle.



KUVA 17: Kaivon renkaan asennus (Raitiotieallianssi, Hely-Anna Mäki 2023).

Kaapeliputkien läpiviennit tehdään kaivonrenkaiseen työmaalla timanttikoralla tai sahaamalla kaivonrenkaaseen ennen sen paikalleen asentamista aukko (kuva 18). Aukko saa olla korkeintaan puolet kaivonrenkaan korkeudesta ja tarvittaessa (jos esimerkiksi putkia on kolmessa kerroksessa) se tehdään kahden renkaan yhtymäkohtaan. Suojaputket pujotetaan aukosta, liityntä tiivistetään betonilla ja/tai polyuretaanivaahdolla ja putket lyhennetään siten, että niiden pituus kaivon sisällä on korkeintaan 50 mm. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Tämän jälkeen putket peitetään ja kaivo tuetaan ympärystytöllä. Viimeisenä asennettava betoninen kansi jää n. 25 cm suunnitellun maanpinnan alapuolelle (Sinisalo, J. 2023).



KUVA 18. Raitiotien kaapelikaivo ja suojaputkille sahatut läpiviennit (Raitiotieallianssi, Sari Valjus 2022).

Liikennevalosilmukoiden kytkemiseen tarvittavat ilmaisinkaivot tehdään työmaalla halkaisijaltaan 315 mm:n muovisesta rumpuputkesta tai PE-putkesta (paineviemäriputki). Jos kohteeseen on tulossa teleskooppikansisto, kaivo tehdään halkaisijaltaan 415 tai 500 mm:n putkesta, jonka sisään kansistoon kiinnitettävä 315 mm:n putki asennetaan. Putki leikataan n. 50–70 cm korkeaksi ja kaapelireitti tuodaan ilmaisinkaivolle sen alta. (Kuuttila, K. 2023.)

Kaivot varustetaan valurautaisella kansistolla, joka säädetään teleskooppiputkella tai 5–20 cm:n korokerenkailla ja kelluvalla kauluksella lopullisen maanpinnan tasoon. Ajojoradoilla, jalkakäytävillä ja piha-alueilla kansiston tulee kestää 40 tonnin kuorma. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Kun kaapelireitti on valmis ja sen päälle tulevat rakennekerrokset pääosin tehty, putkeen asennetaan puhaltimen tai imurin ja muovipussin avulla vetonaru. Tällä myös varmistetaan, että putkireitti on avoin, sillä kevyt pussi ja naru pysähtyvät tukoskohtiin. Vetonaru tulee vetää riittävän pitkälle, jotta sitä voi käyttää putkireitin tunnistamiseen toisesta päästä vetämällä ilman, että sen pää sujahtaa takaisin putkeen. Raitiotien osalla 2 vetonarut kiinnitetään keppiin, joka estää niiden sotkeutumisen tai luiskahtamisen putkeen.

5.3 Kaapelointi ja sen vaatimukset kaapelireitille

Hyväkuntoista vetonarua voi käyttää kevyempien kaapelien vetoon, jolloin se solmitaan ja teipataan kaapelin päähän kiinni. Vetonaru kuitenkin hapertuu vuosien saatossa, joten vanhan vetonarun voi joutua uusimaan kaapelointia varten. Vetonarua käytetään myös vahvemman vetonarun asentamiseen putkeen. Paksummat kaapelit tai useamman kaapelin niput vedetään suojaputkeen vetojousella tai -vaijerilla, jonka päähän asennetaan vetosukka tai vetopää kaapeliin tarttumiseksi. Tarvittaessa samalla vedolla voidaan asentaa suojaputkeen myös uusi vetonaru. Kuvassa 19 on esitetty tyypillinen vetojousi ja vetosukka.



KUVA 19. Vetojousi (sonepar.fi) ja vetosukka (hellermannntyton.fi).

Mitä paksumpi kaapeli on, sitä vähemmän se taipuu ja sitä raskaampi se on myös asentaa. Kaapelille ilmoitetaan sen muiden ominaisuuksien lisäksi pienin taivutussäde vedossa, pienin taivutussäde paikalla sekä suurin asennusvetovoima vetosukalla ja vetopäällä. Pienin taivutussäde vedossa tarkoittaa jyrkintä taipumaa, jonka kaapeli kestää vaurioitumatta toistuvasti eri suuntiin taivutellen. Pienin taivutussäde paikalla tarkoittaa lopullista taivutusta eli kun kaapeli on paikallaan eikä edestakaista taipumista tule. (Virtanen, E. 2012, 29.)

Kaapelin katkaisemiseen vetämällä tarvitaan huomattavan suurta voimaa, mutta myös kaapelin sisäisten säikeiden, eristeen tai vaipan vaurioituminen lyhentää kaapelin elinikää tai aiheuttaa sähköturvallisuusriskejä. Tämän takia valmistajat ilmoittavat myös suurimman asennusvetovoiman. Vetosukalla asennettaessa vetovoima kohdistuu kaapelin vaippaan, vetopäällä asennettaessa kaapelin sisäjohtimiin. (Virtanen, E. 2012, 31.)

Kaapelireitin mutkilla on suora yhteys reitin kaapeloitavuuteen sekä kaapeliin kohdistuneeseen rasitukseen asennustyön aikana. Mitä enemmän reitissä on mutkia, sitä enemmän putken sisäpinnan ja kaapelin vaipan välillä on kitkaa ja sitä enemmän kaapelin vetämiseen tarvitaan voimaa. Jatkuva voimakas hankaus voi vaurioittaa kaapelia tai kuluttaa suojaputken puhki.

Uponorin kokeiden mukaan kaapeli voidaan vetää jopa 300 metriä pitkään yhtenäiseen suojaputkeen, mutta mutkien määrä ja jyrkkyys lyhentävät kerralla kaapeloitavaa pituutta. (Uponor. n.d.) Kaapelireitin jyrkimmät mutkat ovat yleensä reitin alku- tai loppupäässä, missä kaapeli ohjataan keskukseen tai pylvälle. Reitien keskellä oleviin mutkaisimpiin kohtiin pyritään suunnittelussa asentamaan kaapelikaivo. Sähkönsyöttöasemalle johdetut keskijännitekaapelit asennetaan kaapelointia varten kaivetun vetomontun avulla.

6 KAAPELIREITTIIEN MITTAUSAINEISTO

6.1 Mittausmenetelmät

Takymetri- ja satelliittimittaus

Kaapelireittien mittaus suoritetaan kartoitussauvalla ja maastotietokoneella. Takymetrimittauksessa paikantamiseen käytetään takymetrilaitetta, joka asennetaan esteettömään paikkaan ja jonka asennussijainnin koordinaatit selvitetään alueella olevien kiintopisteiden avulla. Robottitakymetri seuraa ja lukee kartoitussauvan päässä olevan prisman etäisyyttä, vaaka- sekä pystykulmaa ja niiden avulla määrittää sauvan sijaintikoordinaatit (kuva 20). (Koikkalainen, K. 2012, 8.) Takymetrimittauksessa takymetrin orientointi vie aikaa, mutta itse mittaus käy sen jälkeen nopeasti (Lahti, P. & Reinhardt, M. 2023). Takymetrimittauksen tarkkuuteen vaikuttavat käytettyjen kiintopisteiden määrä, takymetrin tarkkuusluokka, käytetty prisma sekä ulkoiset tekijät kuten sää, mutta takymetrimittauksella päästään kuitenkin millimetrien tarkkuuteen (Suomen Geoteknillinen Yhdistys. 2017, 16–19).



KUVA 20. Robottitakymetri maastomittaukseen (geotrim.fi).

Satelliittimittauksessa paikantamiseen käytetään sauvan päälle kiinnitettyä RTK-GNSS-vastaanotinta, joka havainnoi sauvan sijainnin satelliittien avulla (kuva 21). Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic, RTK) käyttää sijainniltaan tarkasti tunnetun tukiaseman tai useasta tukiasemasta muodostuvan tukiasemaverkon havaintoja satelliittien sijainneista ja ilmakehän häiriöistä siten, että paikantaminen saadaan senttimetritarkkuuteen. (Maanmittauslaitos. n.d.)



KUVA 21. Satelliittimittausta GNSS-antennilla varustetulla kartoitussauvalla (I5navigation.fi).

Satelliittimittaus sopii selkeisiin ja pieniin kohteisiin, sillä pelkkä kartoitussauva on nopea asentaa käyttövalmiuteen ja kevyt ja helppo käsitellä. Sen sijaan mittapisteen koordinaattien määrittäminen on hitaampaa kuin takymetrin avulla. (Lahti, P. & Reinhardt, M. 2023.)

Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmän tuottama mittausaineisto

Kaivinkoneiden RTK-GNSS-paikannukseen perustuvaa koneohjausjärjestelmää hyödynnetään Raitiotieallianssilla maanrakennustöitä tehdessä. Kaivinkoneen järjestelmään viedään suunnitelman koneohjausmalli, jolloin kuljettaja näkee näytöltään reaaliaikaisesti kaivutyön suunnitelmanmukaisuuden. Koneohjaus

seuraa kauhan sijaintia ja korkoa ja kauhan mittauspisteellä (keskikohta tai kauhan huulilevyn reuna) kaivinkoneella saadaan tallennettua maakerrosten ja rakenteiden toteumapisteitä. (Ohtamaa, A. 2022, 57.)

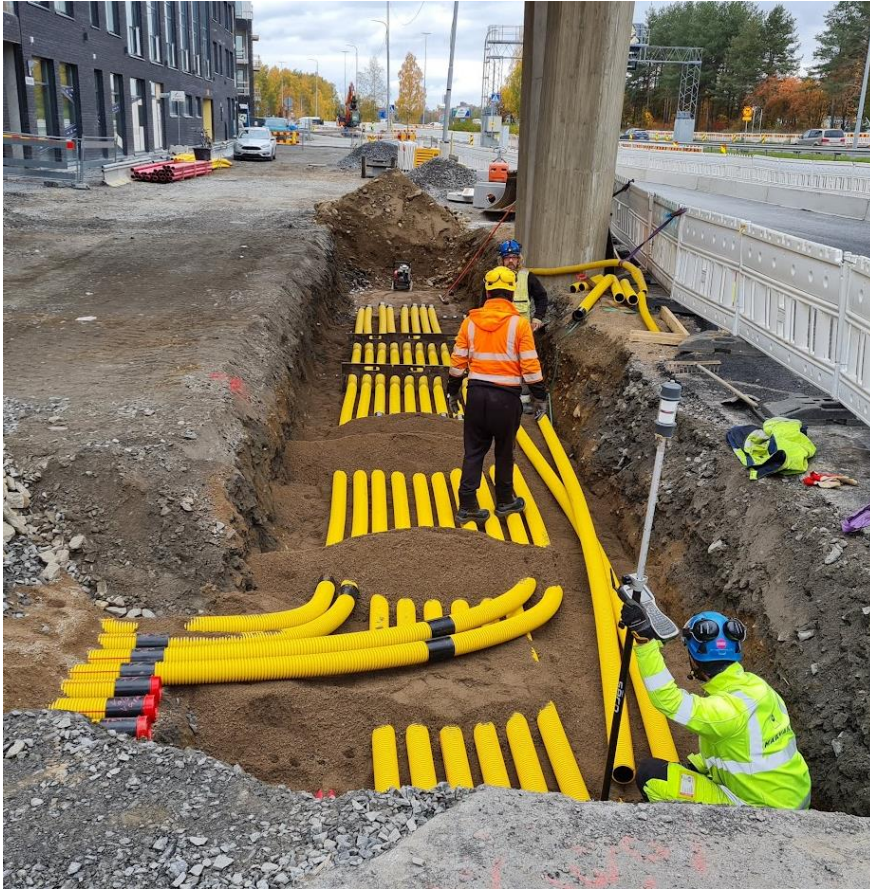
Koneohjausjärjestelmään voidaan luoda myös suojaputkia ja muita rakenteita kuvaava koodilista, jolloin kaivinkoneella onnistuisi myös kaapelireittien sijaintitiedon kartoittaminen. Koneohjauksen tarkkuus riittää Traficomien määräyksen mukaiseen aineistoon ja kaapelireitti saadaan kartoitettua heti. (Ohtamaa, A. 2022, 57.) Raitiotieallianssilla koneohjausta ei ole hyödynnetty kaapelireittien tai muiden rakenteiden sijaintitiedon kartoittamiseen.

6.2 Kartoitettavat kohteet

Tampereen raitiotien osilla 1 ja 2 Raitiotieallianssi kartoittaa kaikki uudet ja siirretyt rakenteet. Myös vanhat rakenteet kuten esimerkiksi valaisinpylväät kartoitetaan niiltä osin, kuin uusi rakenne niihin liittyy. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Kaapeleiden suojaputkien kartoitukset tehdään putken päältä. Jokainen putki kartoitetaan erikseen ja jokainen putkityyppi merkitään omalla koodillaan (sähkö-, tietoliikenne-, valaistus- tai liikennevaloreitti). (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Mittaaja on etukäteen ladannut maastotietokoneelleen tarpeelliset osat alueen kaapelireittisuunnitelmista, joiden avulla on pääteltävissä putken tarkoitus. Myös putken materiaali (tupla, tripla tai PVC) sekä väri (keltainen, punainen, vihreä) kertoo putkireitin tarkoituksesta tai omistajasta. (Lahti, P. & Reinhardt, M. 2023.)

Suojaputket peitetään ja kadun rakennekerrokset rakennetaan nopeasti, jotta liikennejärjestelyillä saadaan vapautettua lisää rakentamisaluetta. Kartoitustyö täytyy sen takia tehdä osissa ja yhdistää aineisto myöhemmin. Kuvassa 22 näkyy kuvanottohetkellä kartoitettavat kaapelireitit.



KUVA 22. Kaapelireittien rakentamista ja kartoitusta (Raitiotieallianssi, Erkka Selonen 2021).

Kaapelikaivot kartoitetaan metallisen kannen päältä. Pylväiden ja portaalien kartoitus tehdään perustuksen päältä keskipisteestä ja pistenumeroiksi laitetaan suunnitelmissa oleva pylväsnumero. Sähkökeskuksen kartoitus tehdään keskuksen keskipisteestä sekä kulmista, jotta kartalle saadaan talteen keskuksen asento. Keskuksen tunnus lisätään keskipisteen kommenttikenttään. Ilmaisinsilmukat kartoitetaan silmukan etu- ja takareunasta ja esitetään laatikkona, ja mahdollinen katulämmitys lämmityspiirin reunoilta. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Raitiotieallianssissa kartoitus tehdään maastossa InfraBIM-nimikkeistöön sekä Liikenneviraston maastomittauskoodeihin perustuvalla RAK-koodauksella, jonka jälkeen aineisto siistitään 3dwin-ohjelmalla saman tai seuraavan päivän aikana, kun rakenteet ovat vielä mittaajalla muistissa. Muistin tueksi mittaaja ottaa kartoitustyön aikana runsaasti valokuvia. Kun kaikki aineisto on hankeosan tai tekniikkalajin osalta kartoitettu, se yhdistetään ja viedään Raitiotieallianssilla käytössä

olevaan Infrakit-projektinhallintaohjelmistoon, jonne kerätään tilaajille luovutettavat kelpoisuusaineistot. Kartoitusaineisto muokataan myös Tampereen Raitiotie Oy:n ja Tampereen kaupungin käyttämien verkkotietojärjestelmien vaatimusten mukaisiksi, joita käsitellään luvussa 7 Kaapelireittien omaisuudenhallinta.

6.3 Kaapelireittien pistepilvikuvaus

Pistepilvi on kohteen kolmiulotteinen tietokonemalli, joka laaditaan laserkeilauksella tai fotogrammetrialla. Laserkeilauksessa mittakeilain lähettää lasersäteitä ympärilleen ja laskee niiden heijastuspisteiden koordinaatit muodostaen pistepilven. Fotogrammetriamittauksessa kamera ottaa kohteesta useita (jopa tuhansia) kuvia, jotka kuvankäsittelyohjelmalla saadaan muokattua pistepilveksi eli kohteen digitaaliseksi 3d-malliksi. (Keitaanniemi, A. 2021.)

Pistepilvimallin tarvitseman aineiston pystyy kokoamaan myös lidar-sensorilla varustetulla älypuhelimella tai tabletilla (lidar-sensori eli valotutka käyttää lasersäteitä etäisyyksien mittaamiseen) ja pistepilvimalliin tarvittavien kuvien ottamiseen soveltuvalla ohjelmistolla kuten Pix4Dcatch. Laitteeseen liitettävä RTK-paikannin (esim. Pix4D:n viDoc RTK rover, kuva 23) sijoittaa pistepilvimallin senttimetrin tarkkuudella oikeaan kohtaan koordinaatistossa. Pistepilviaineisto on aiemmin mielletty raskaaksi tiedostoksi, jonka käsittely on vaatinut tehokkaan tietokoneen, mutta nykyään tämän pystyy tekemään myös pilvipalvelussa kuten Pix4Dcloud, jolloin aineiston käsittely ei aiheuta erityisiä laitteistovaatimuksia. (Vuorinen, H. 2023.)



KUVA 23. Pix4D:n viDoc RTK rover paikantamislaitte älypuhelimeen tai tablettiin (pix4d.com).

Pistepilvää voi käyttää laadunseurantaan, tilavuus-, pinta-ala- ja etäisyysmittauksiin, peittyvien rakenteiden dokumentointiin, laatu poikkeamien ja niiden korjausten raportointiin, jne. Pistepilven etuna perinteisiin kuviin nähden on eri suunnista katseltava 3d-malli, josta pystyy ottamaan tarkkoja mittoja sekä RTK-paikantimella saatu sijaintitarkkuus. Esimerkki fotogrammetrialla toteutetun pistepilvimallin laadusta on kuvassa 24. Raitiotieallianssissa ei ole käytetty pistepilvimalleja kelpoisuusaineiston tuottamiseen.



KUVA 24. Kuvakaappaus kaivannon pistepilvimallista (PIX4Dcatch demo 2020).

7 KAAPELIREITTIIEN OMAISUUDENHALLINTA

Johto-omistajilla on käytössä eri verkkotietojärjestelmiä omaisuudenhallintaan. Tampereen kaupungin eri toiminnot on jaettu yhtiöihin, joista kullakin on eri tietotarpeita ja kukin päättää oman verkostonsa hallintajärjestelmästä. Tampereen Sähköverkko Oy (TSV) vastaa sähkönsiirtoon käytettävistä pien-, keski- ja suurjänniteverkoista. Tampereen kaupunkiympäristön palvelualue (KAPA) huolehtii mm. valaistus- ja liikennevaloverkoista sekä kaupungin tietoliikenteestä ja Tampereen Raitiotie Oy:lle (TRO) kuuluvat raitiotien tekniset järjestelmät. Lisäksi te-leoperaattoreilla on omat järjestelmänsä.

Raitiotieallianssin työsältöön kuuluu Tampereen kaupungin valaistus-, liikennevalo- ja tietoliikenne rakenteiden sekä Tampereen raitiotien kaikkien rakenteiden kartoittaminen ja dokumentointi ja tietojen lähettäminen digitoitavaksi verkkotietojärjestelmään. Aineisto tulee lähettää valmiiksi muokattuna ja jaoteltuna valaistuksen, liikennevalojen, kaupungin tietoliikenneverkon sekä Tampereen Raitiotie Oy:n kaapelireittitiedostoihin. Aineistosta (joko tarketiedoista tai erillisestä dokumentista) tulee ilmetä myös putkijärjestys, putkikoko, putken omistaja sekä tieto putken sisältämisestä kaapeleista. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Sopimusten mukaan operaattorit kartoittavat omat putkireittinsä, mutta käytännössä Raitiotieallianssin mittajaat kartoittavat kaikki rakenteet joka tapauksessa.

Trimble NIS (Trimble Network Information System)

Tampereen Sähköverkko Oy:llä on käytössä yhdysvaltalaisen Trimble Inc:n Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä. Se yhdistää verkko-, paikka- ja sähkötekniset tiedot luoden verkosta digitaalisen version. (Trimble. n.d.) Trimble NIS-järjestelmää on käytetty Tampereen Sähköverkko Oy:n ja Tampereen kaupungin valaistus-, liikennevalo- ja tietoliikenneverkon sijaintitiedon hallintaan.

Raitiotieallianssin työsältöön kuuluvista kohteista Tampereen kaupungin valaistus- ja liikennevaloverkkojen sijaintitiedot toimitetaan Tampereen Vera Oy:lle, joka digitoi aineiston Trimble NIS-verkkotietojärjestelmään ja sieltä Keylight-järjestelmään (ks. Keylight). Toimitettava aineisto ja kartoituksessa käytettävät koodit on lueteltu Tampereen kaupungin infra-alueen teknisten järjestelmien sijaintikartoitus-ohjeessa, jonka viimeisin versio on tämän opinnäytetyön kirjoittamisen

hetkellä päivätty 20.2.2023. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.) Ohjeen mukaan Trimble NIS:iin tulee toimittaa myös Tampereen Sähköverkko Oy:n ja kaupungin tietoliikenteen sijaintitiedot, mutta Tampereen Sähköverkon kartoituksen suorittaa Tampereen Vera Oy ja tietoliikenteen aineisto viedään Raitiotieallianssissa Telian järjestelmään (ks. Keycom).

Keylight

Tampereen kaupungilla on vuodesta 2014 lähtien ollut käytössä Keypro Oy:n Keylight-verkkotietojärjestelmä ulkovalaistuksen omaisuudenhallintaan. Se näyttää tiedot verkon rakenteesta ja miten verkon komponentit (sähkökeskus, pylvää, kaapelit) liittyvät sähköteknisesti toisiinsa. Myös osa liikennevaloverkosta esitetään Keylight-verkkotietojärjestelmässä. Keylightiin haetaan sähköjärjestelmien päivitetty sijaintikartat taustakuvana Trimble NIS:stä kerran viikossa. (Finnilä, H. 2023)

Keycom

Hankkeen osan 1 toteutuksen aikana Raitiotieallianssin tilaajaosapuolet ottivat Tampereen Raitiotie Oy:n kaapelireittien ja Tampereen kaupungin tietoliikenneverkon osalta omaisuuden hallintajärjestelmäksi Telian Keycom-järjestelmän. Hankkeen sisällön muutoksena Tampereen kaupungin tietoliikenteen ja Tampereen Raitiotie Oy:n kaapelireittien dokumentaatio sekä kaikki edellä mainittujen kaapelireittien sijaintitiedot on sovittu vietäväksi Telian Keycom-järjestelmään koodattuna Telian koodikirjaston mukaisesti. (Raitiotieallianssi. 2017–2023.)

Tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan Tampereen kaupunki on ottamassa käyttöön oman Keycom-järjestelmänsä. Tulevien vuosien aikana kaikki kaupungin valaistus-, liikennevalo- ja tietoliikenneverkkojen verkko- ja sijaintitiedot tullaan siirtämään Trimble NIS:stä ja Telian Keycom-järjestelmästä kaupungin omiin Keycom- ja Keylight-järjestelmiin. (Kulomäki, J. 2023.)

8 KAAPELIREITTIIEN HAASTEITA

Tampereen raitiotietä on tämän opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan rakennettu kuusi vuotta. Kaapelireitteihin liittyviä suunnittelun, rakentamisen, dokumentoinnin ja käytön aikaisia haasteita kerättiin tähän opinnäytetyöhön haastatteleamalla Raitiotieallianssin kaapelireitti- ja johtosiirtosuunnittelijoita, rakentajia, mittaajia ja kaapeloijia sekä tilaajaosapuolelta Tampereen kaupungin valaistus- ja valokuituverkon asiantuntijoita. Haastattelu tehtiin myös operaattorin kaapelointiurakoitsijan sekä kaupungin verkkotietojärjestelmän aineistopäivityksistä vastaavan palveluntarjoajan kanssa.

Kesken rakentamisen ilmenneet putkireittien lisätarpeet

Tampereen raitiotien vuonna 2021 valmistuneen osan 1 aikana ilmenneitä haasteita sekä suunnittelulle että rakentamiselle ovat olleet mm. rakentamisen aikana muuttuneet johto-omistajien tarpeet radan alittaville putkireiteille sekä laajennustarpeiden esittäminen monella eri suunnitelmalla. Nämä on raitiotien osalla 2 ratkaistu johto-omistajien yhteisellä lisätarvesuunnitelmalla monen erillisen sijaan, tihentämällä radan alitse kulkevia suojaputkipoikituksia sekä lisäämällä kaivoihin varalähtöjä. Myös työmaalla lisätään raitiotien osalla 2 radan alittavia putkituksia mahdollisuuksien mukaan.

Lähtötietojen epävarmuus

Sekä raitiotien osalla 1 että osalla 2 suunnittelun haasteena on ollut lähtötietojen epävarmuus. Verkostokartat kertovat mitä verkostoja alueella on, mutta kaikkia rakenteita ei ole kartoitettu tai kartoitus on ollut suuripiirteistä. Sekä kaapelin ehjänä pysymisen että työturvallisuuden takia kaivutöissä uudella alueella vaaditaan kartoista huolimatta tarkkaavaisuutta. Maakaapelien paljastuessa ne kaivetaan esiin käsin (kuva 25). Lisäksi työmaalla on haasteita erottaa siirrettävät ja suojattavat putket toisistaan, sillä suojaputkissa ei ole merkintöjä. Tällöin johto-omistajan suunnittelijan on tultava työmaalle näyttämään, mistä putkesta on kyse. Tunnistus tapahtuu kaapelimerkinnöistä.



KUVA 25. Esiin kaivettuja kaapelireittejä (Hely-Anna Mäki 2023).

Rakentamisen ja suunnittelun samanaikaisuus

Tampereen raitiotien osien 1 ja 2 haasteena on ollut rakentamisen ja suunnittelun osittainen samanaikaisuus. Osalla 1 Tampereen Raitiotie Oy:n varikon rakentaminen Hervantaan aloitettiin vasta 9 kuukautta suunniteltua myöhemmin, kun valitus sen sijoituksesta liito-oravien pesimispaikoille oli käsitelty ja rakentamislupa saatu. Suunnitelmat varikon kaapelireiteille olivat pääosin jo valmiina, mutta rakentamisen aikainen suunnitelmien päivittäminen viivästyi muiden rataosien suunnittelun vuoksi. Raitiotien osalla 2B Näsisaaren ja sen ympäristön osalta suunnittelu pysäytettiin järvitäytön lupaprosessin venyneen käsittelyn ajaksi ja jatkettiin luvan varmistuttua, jolloin myös rakentamistyöt alueella käynnistyivät.

Suunnitelmien päivitykset ja erilaiset esitystyylit

Työmaalla täytyy lukea ja vertailla useita eri suunnittelijoiden tekemiä suunnitelmia, sillä eri järjestelmien kaapelireitit kulkevat toistensa lomassa ja usein samojen kaapelikaivojen läpi. Suunnitelmiin tehdään päivityksiä myös rakentamisen aikana ja tärkeää on varmistaa, että tieto päivittyy kaikkiin rakenteen sisältäviin suunnitelmiin eikä suunnitelmien välillä ole ristiriitoja.

Suunnitelmien vertailun työmaalla tekee haastavaksi eri suunnittelijoiden erilaiset esitystyylit. Kaapelireitti voidaan esittää tilavarauksena, monena viivana jokainen putki erikseen, yhdellä viivalla, josta lähtevässä viiteviivassa näkyy putkien määrä

ja koko, tai värikoodauksella, jolloin viivan väri ilmaisee putkien määrän. Värikoodausta käytettiin esimerkiksi Hämeenkadulla tapahtumasähköjen ja valoverhojen kaapelireittisuunnitelmissa. Myös viiteviivojen tietosisältö vaihtelee. Kaapelireitti- ja johtosiirtosuunnitelmien putkireittien tarkempia tietoja löytyy erillisistä taulukoista, joiden tietosisältöä rakentajat pitävät erittäin hyvänä.

Kaapelireitin mutkat

Kaapelireitin laatu varmistuu vasta, kun sinne puhalletaan vetonaru tai sitä lähdetään kaapeloimaan. Kaapelireitin mutkien jyrkkyys ja määrä hankaloittavat huomattavasti kaapelin tai vetovaijerin vetämistä putkeen.

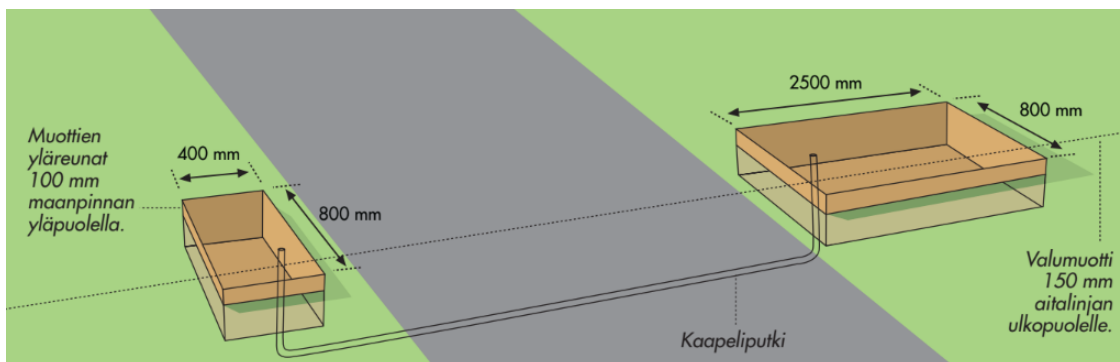
Tampereen raitiotien osalla 2 on tietoliikenteen kaapelireittien osalta ohjeistettu, että kaaret toteutetaan korkeintaan 45 asteen kaariosilla (Raitiotieallianssi. 2017–2023). Tampereen kaupungin Valaistuksen yleiset laatuvaatimukset -ohjeen mukaan putkireitin kaaret toteutetaan jäykällä putkitusosilla ja S-mutkia ei sallita. Taipuisaa kaariosaa saa käyttää ainoastaan 0,5–1 metrin matkalla liityttäessä jalustaan. Liittäminen tehdään loivalla kaarella, jonka säde on vähintään 0,5 metriä. (Valaistuksen yleiset laatuvaatimukset V6.3/2019.) Tampereen Raitiotie Oy:n kaapelireiteissä ei erillistä vaatimusta kaariosille ole.

Kaariosaa täytyy käyttää myös kaivoon liittymiseen, jos kaivo ei sijaitse reitillä. Tällöin kaapelireitti liittyy ja jatkuu kaivon samalta seinustalta, jolloin reitti tekee kaivossa lähes 180 asteen mutkan ja kaapelointi täytyy toteuttaa nostamalla kaapeli kaivosta kadulle. Tällaista ratkaisua on käytetty osalla 1 esimerkiksi Itsenäisyydenkadulla (kuva 26).



KUVA 26. Putkireitin sisään- ja ulostulo kaivon samalla seinustalla, suunnitelma ja toteutus (Raitiotieallianssi 2017, muokattu).

Reitin kaapeloitavuutta eivät myöskään tuotevalmistajat ota aina huomioon. Esimerkkinä toimii varikolla käytettyjen liukuporttien pylväsjalustojen välinen kaapelireitti, joka valmistajan ohjeen mukaisesti suoritettiin betonijalustojen alapinnasta 90° asteen mutkalla. Valmistajan ohjekuva on esitetty kuviossa 12 ja valokuva toteutetusta rakenteesta kuvassa 27.



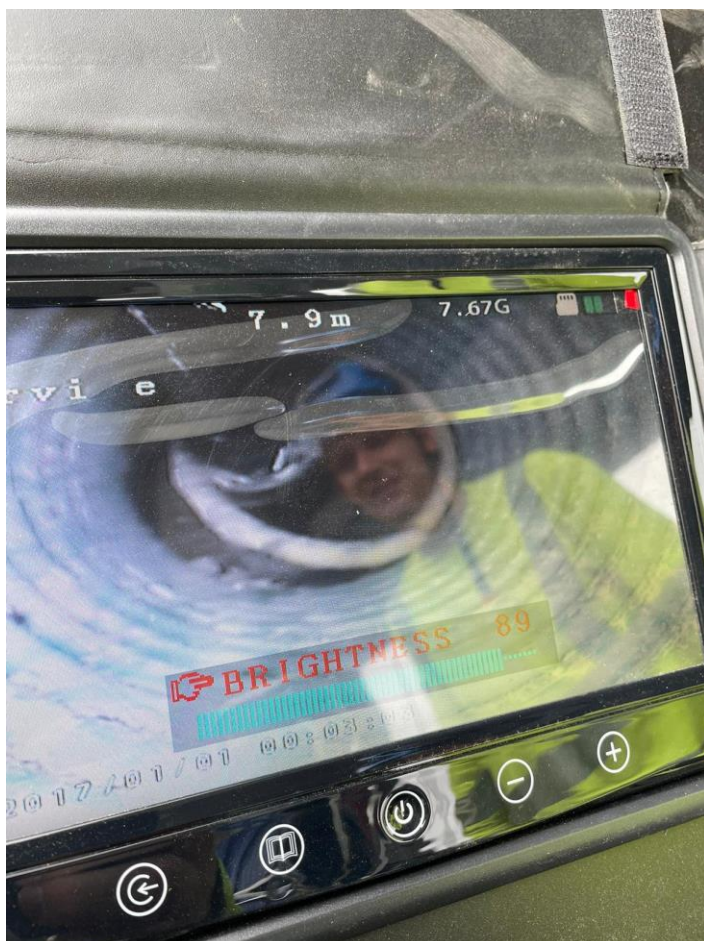
KUVIO 12. Liukuportin valmistajan ohje kaapeliputken asennukselle (Purait.fi, Protector-liukuportin asennusohjeet ver. 5.1).



KUVA 27. Varikon liukuportin perustusten välisen putkireitin toteutus (Raitiotiealliassi 2019).

Tukkeutunut kaapelireitti

Putkeen päässyt maa-aines pienentää kaapeloitavaa tilavuutta, samoin vesi jäätyessään. Jäätyneen putken saa sulatettua kuumalla höyryllä tai vedellä, mutta siitä tulee lisäkustannuksia. Putki on saattanut myös litistyä, jos sen yli on ajettu ennen riittävää suojatäyttöä tai on käytetty vääränlaista putkea esim. betonivalussa. Tukoksen syytä selvitetään kuvaamalla putki vetojousen päähän asennettavalla kameralla tai viemärikameralla. Kuvassa 28 putkikuvausvideolla näkyy litistynyt kaapelinsuojaputki.



KUVA 28. Lytistynyt suojaputki putkikuvausvideolla (Raide-Jokeri, Arttu Gröhn).

Pahimmassa tapauksessa kaapeloitava reitti havaitaan tukkeutuneeksi tai muuten mahdottomaksi kaapeloida, kun sen päällä olevat rakenteet pintoineen ovat jo valmiina. Tällöin vaihtoehtoiksi jää toisen reitin etsiminen tai putken esiin kaivaminen ja korjaaminen, mikä aiheuttaa rahallista ja ajallista menetystä.

Kaapelireitin puuttuminen

Kaapelireitin puuttumisella on kauaskantoisempia seurauksia: kaapelille täytyy löytää vaihtoehtoinen reitti, joka kasvattaa kaapelin pituutta. Tästä seuraa, että kaapelin poikkipinta-alaa tulee suurentaa, jotta sähkö tai tietoliikenne liikkuu suunnitellusti, mutta se vaikuttaa edelleen keskukseen tai muihin reittiin liittyviin komponentteihin. Riittävä tila runkoreitillä ja riittävän monet radan alittavat poikittaisreitit helpottavat vaihtoehtoisen reitin suunnittelua, jolloin kaivutyötä tarvitaan mahdollisimman vähän.

Liian matala suojatäyttö

Aina kaapelireittiä ei saa asennettua riittävän syväälle. Hatanpään valtatiellä esteeksi muodostui Otavalantunneli, jonka päältä reitin täytyi kulkea. Suojaputkena käytettiin Rocky-suojaputkea, koska tiedossa oli, että suojatäyttöä ei saa kohteeseen riittävästi. Ongelmaksi muodostui kadun pintaan asennettu kiveys, joka ei suojaputkien takia saanut riittävän paksua asennusalustaa ja pääsi sen takia liikumaan.

Kaapelikaivojen koko

Kaapelointi tehdään kaapelikaivosta, joka pyritään tekemään riittävän isona, että kaapelointityö on mahdollista suorittaa. Haasteita tulee, jos kaivo on ympäröivien rakenteiden takia pakko tehdä matalana, 0,5–1,0 metrin syvyisenä. Tällaiseen kaivoon ei asentaja kaapeleineen mahdu, vaan kaapelointi tehdään maan pinnalta tai kaivossa korkeintaan polvillaan. Matala kaivo on täytynyt rakentaa esimerkiksi Sammonkadulle, jossa kaivon alle sijoittui betoninen paalulaatta.

Kaivonkannen kulkuaukon koko

Kaivon kulkuaukko ja kansi ovat halkaisijaltaan 600 mm. Suurempiakin kansia on saatavilla, mutta valurautaisen kannen suurempi koko tekee kannesta painavamman ja vaikeamman käsitellä. 600 mm:n aukkoon saa asetettua tikkaat ja siitä mahtuu kulkemaan. Johto-omistajien ohjeen mukaan kaivon korotusrenkaita ei tulisi käyttää enempää kuin 25 cm:n korkeudelta kansiston alla (Raitiotieallianssi 2017–2023), mutta Tampereen raitiotien osalla 1 on paikoin käytetty useita korotusrenkaita valurautakansiston nostamiseen maanpinnan tasoon (kuva 29). Tällaiseen kaivoon on huomattavan hankala laskeutua.



KUVA 29. Korotusrenkailla tehty kulkuputki kaivoon (Raitiotieallianssi 2020).

Suojaputket kaivossa

Kaapelikaivossa suojaputket tulisi lyhentää siten, että ne tulevat vain 50 mm kaivon sisään. Aina näin ei ole tehty ja jos putkeen on jo asennettu kaapeli, voi sen lyhentäminen vaurioittaa kaapelia. Pitkät putkenpäät kaivossa pienentävät jo ennestään ahdasta työskentelytilaa tai vaikeuttavat kaivon laskeutumista kuten kuvassa 30.



KUVA 30. Lyhentämättömiä putkenpäitä kaivossa kulkuaukon edessä (Raitiotieallianssi 2020).

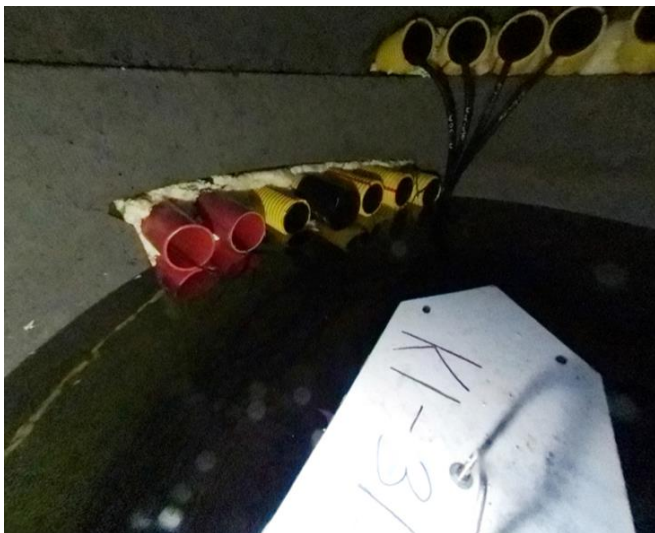
Tampereen raitiotien osalla 1 on joissain tapauksissa asennettu putki tai useampia putkia suoraan läpi kaivon, jos reitin ei ole alun perin ollut tarkoitus kulkea kaivon läpi (kuva 31). Osan 2 ohjeissa on selvennetty, että kaivon läpi viedyt suoja-putket tulee asentaa kaivon pohjalle ja peittää hiekalla.



KUVA 31. Kaivon läpi asennettu suoja-putki (Raitiotieallianssi 2020).

Kaivon vedenpoisto

Tampereen Raitiotie Oy:n kaivot ovat maapohjaisia ja johto-omistajien kaivoissa on betoninen pohja, jonka keskellä 40 cm:n vedenpoistoreikä. Paikasta ja maaperästä riippuen kaivon voi silti kerääntyä vettä jopa haitaksi asti (kuva 32). Kaapelit kestävät kosteutta, mutta kaapelointityö on haastavaa ja vaatii usein veden pumppaamisen pois kaivosta.



KUVA 32. Kaivo veden vallassa, alimmat putket upoksissa (Raitiotieallianssi 2017).

Rakentamisen ja kaapeloinnin yhteensovitus

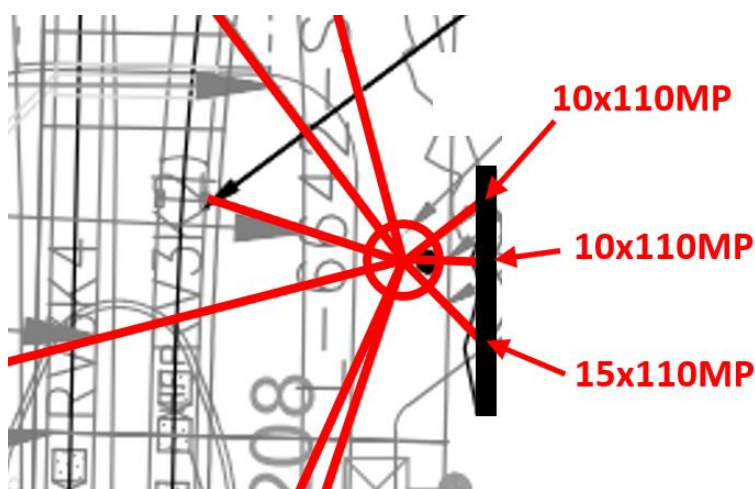
Kaapelireitti valmistuu vaiheittain ja kaapelointiryhmä pääsee töihin usein vasta, kun osassa aluetta tehdään jo pintakerroksia tai alue on valmis. Kaapelointityö vaatii kuitenkin pääsyn kaapelikaivoille ja työrauhan alueelle. Pitkä ja raskas kaapeli tuodaan alueelle kuorma-autolla kelalle pakattuna (kuva 33), ja myös veto- vaijeri sekä kaapelin väliaikainen nosto pois kaivosta vie paljon tilaa kadulta. Eri- tyisesti monta sataa metriä pitkät valokuitukaapelit ovat herkkiä vaurioitumiselle eivätkä kestä päälle astumista. Ajoväylällä tehtävä kaapelointityö vaatii liikenteen rajoittamisen tai sulkemisen.



KUVA 33. Kaapelointityötä Pirkankadulla (Hely-Anna Mäki 2023).

Kaapelireittien järjestys keskuksella

Tampereen raitiotien osalla 1 on myös kehitetty kaapelireittien hallintaa. Keskuksille, joille tulee paljon kaapeleita, rakennetaan nk. tähtikaivo, josta kaapelit saadaan oikeassa järjestyksessä vedettyä keskukseseen. Esimerkki tällaisesta kaivosta on esitetty kuviossa 13. Keskuksen sisässä paksujen kaapeleiden järjestely hankaloittaisi kaapelointityötä ja rasittaisi liitoksia.



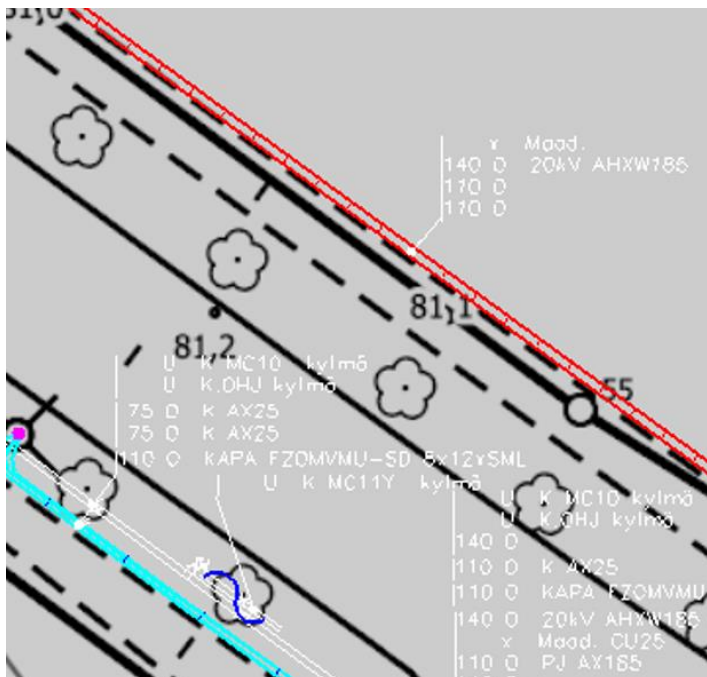
KUVIO 13. Esimerkki tähtikaivosta kolmen keskuksen edessä (Raitiotieallianssi 2017–2023, muokattu).

Kaapelireitin dokumentointi

Verkko-omistajille on tarpeellista tietää, missä suojaputkessa heidän kaapelinsa kulkee, mikä suojaputki on heille varattu ja miten paljon putkia on vapaana. Tieto tarvitaan, jotta kaapelointiurakoitsijalle voidaan kertoa mihin putkeen kaapeloida, tai jos vapaana olevaa reittiä halutaan vuokrata edelleen. Myös myöhemmin voi tulla tarve haaroittaa joku putki, mutta ei ole järkevää kaivaa koko reittiä auki vaan kaivuutyö tehtäisiin ainoastaan haaroitettavasta kohdasta. Kaivetun kuopan kohdalla haaroitettavan putken tunnistaa sondin avulla, mutta edelleen on tarve tiedolle, mihin putkeen sondi viedään.

Putken omistajan saa selville kaapelitunnuksista ja suojaputkien merkinnöistä käymällä kaapelikaivossa, mutta digitaaliseen aineistoon ja reitin dokumentteihin tieto on ollut haastavaa saada selkeässä muodossa. Kaapelikaivoista otetaan 360-kuvat, joista ilmenee pohjoinen ilmansuunta sekä suojaputkien määrä ja si-

joitus, mutta kuviin ei ole löytynyt käyttökelpoista tapaa tehdä merkintöjä. Tampereen raitiotien osan 1 alussa käytössä oli vesihuollon kaivokorttien kaltaiset kaapelikaivokortit ja sellaisia ovat johto-omistajat aiemmin ylläpitäneetkin, mutta kaivokorteista on sittemmin luovuttu. Sen sijaan kaapelireitin sijaintitietoaan liitetään reitin poikkileikkaustiedot eli putken koko, tarkoitus ja järjestys putkilautassa tiettyyn katselusuuntaan (kuvio 14). Putkijärjestys voi kuitenkin muuttua kaivojen välillä, sillä osa putkista poikkeaa reitiltä, putkilautta täytyy esteen kiertämiseksi levittää tai putkilauttaan liittyä uusia putkia. Tällöin poikkileikkaustieto kertoo putkien järjestyksen varmuudella vain yhdessä kohtaa reittiä.



KUVIO 14. Poikkileikkaustietoja verkkotietojärjestelmässä (Tampereen kaupunki, muokattu).

Putken merkintä kaivossa

Tampereen raitiotien osalla 1 on rakentamisen aikana kokeiltu erilaisia tapoja tehdä suojaputkiin merkintöjä kaivoissa. Kaivoissa ja keskuksissa suojaputki pyritään merkitsemään tussilla putken kylkeen ja merkintöjä on tehty myös putkihattuun, vetonaruun (kuva 34) tai putken päähän kiinnitettyyn ilmastointiteippiin, mutta näissä ongelmana on niiden liikkuvuus; putkihattujen paikat sekoittuvat, teippi irtoaa tai vetonarun tunniste häviää, kun naru käytetään kaapelointiin. Putken merkinnän tulisi olla kiinteä. Kaivossa putkilautan suojaputkien tietoja voisi

merkitä myös kaivon seinään, mutta putket eivät kaivoon aina tule suorissa riiveissä tai niitä on liikaa. Suojaputkien valmistajilta ei löydy valmiita putkitunnisteita.



KUVA 34. Suojaputkien merkintöjä vetonaruissa (Raitiotieallianssi 2021).

Suunnitelmamuutosten ja purettujen rakenteiden dokumentointi

Mittauksen haasteena sekä osalla 1 että osalla 2 on ollut verkkotietojärjestelmiin toimitettavat tiedot suunnitelmamuutoksista ja puretuista rakenteista, sillä mitaaja itse ei ole ollut niitä tekemässä vaan tieto täytyy kerätä muualta. Tämä tehtävä kuuluisikin rakentamisen työnjohdolle ja tulisi tehdä jatkuvana työnä hankkeen edetessä. Puretut tai pois käytöstä otetut rakenteet on selkeintä merkitä hankkeen alussa hankittuun verkostokarttaan ja rakentamisen aikaiset suunnitelmamuutokset rakennussuunnitelmaan.

Myös tiedonkulku on tärkeää. Mittaaja näkee vain rakennetut rakenteet ja niiden avulla päättelee, kenen johto-omistajan suojaputki on kyseessä. Jos kaapeli on poikkeavasti asennettu jonkin toisen järjestelmän putken kautta, tulisi tästä mitaajalle tulla tieto. Esimerkiksi Hämeensillalla valoverhojen ohjaukseen tarvittava kaupungin tietoliikenne kulkee valaisinylväiden kautta valaistuksen suojaputkissa, eikä runkoreitin suojaputkissa kuten yleensä.

Kartoitustyön jatkuva keskeytyminen

Mittaaja tekee kartoituksen lisäksi myös paljon työnaikaisia mittauksia ja antaa esimerkiksi tarvittavia korko- ja sijaintitietoja rakentajille. Haasteena usein on kartoitustyön keskeytyminen, sillä työnaikaiset mittaukset ovat tärkeitä työmaan etenemiselle. Työ tulisi suunnitella siten, että työryhmä pystyy huomioimaan myös mitaajan tarpeet ja aikataulun.

Mittausaineiston käsittely

Aineisto täytyy muokata eri verkkotietojärjestelmiin (esim. Trimble NIS) sopivaksi. Isona haasteena mittaukselle oli vaatimusten muuttuminen kesken hankkeen. Syksyllä 2021 kun Tampereen raitiotien osa 1 oli jo lähes valmis, tuli tilaajaosapuolien kaapeli- ja tietoliikenneverkon osalta omaisuudenhallintajärjestelmäksi Telian Keycom-järjestelmä. Kaikki kaapelireittiaineisto, josta osa oli rakennettu ja mitattu jo vuosia sitten, tuli käsitellä uudelleen uusilla koodeilla ja ohjeilla. Tämä aineistotyö on nyt pääosin saatu valmiiksi.

9 KEHITYSEHDOTUKSIA

Raitiotieallianssin kaapelireittien suunnittelu, rakentaminen, mittaus ja dokumentointi on kehittynyt hankkeen aikana paljon. Opinnäytetyötä kirjoittaessa ilmeni kaapelireittejä koskien kuitenkin vielä kehityskohteita.

9.1 Kaapelireittien suunnittelu, rakentaminen ja mittaus

Suunnittelu

Haastatteluissa ja suunnitelmiin perehtyessä esiin nousseita kehityskohteita suunnittelua koskien ovat:

- suunnitelman pohjalla käytetty pohjakartta
- suunnitelmissa käytetyt piirtotasot
- suunnitelmien päällekkäisyys ja päivitysten hallinta
- kaapelikaivojen sijoitus ja kaapelireitin kaapeloitavuus.

Pohjakartalla on merkitystä suunnitelmassa. Suunnitelma kuva näyttää rakenteita, joita ei vielä ole ja vanha kuva näyttää puretut rakenteet. Suunnitelman pohjalla olevan taustakartan täytyy olla karsittu ja esittää vain tarpeelliset, pysyvät rakenteet kuten kiinteistöt ja muut maamerkit. Suunnitelmien vertailua helpottaisi, jos Raitiotieallianssin suunnitteluosapuolet käyttäisivät samaa pohjakarttaa.

Rakentamisen työnjohto ja mittaus tutkivat suunnitelman yksityiskohtia tietokoneellaan, mutta työmaalle tulostetaan tai mittauksen maastotietokoneelle vietään suunnitelman karsittu versio. Suunnitelmat toimitetaan työmaalle PDF-tiedostona ja mittaukselle dwg-formaatissa. Suunnitelma-aineisto esitetään piirtotasolla eli layereilla, joita voi halutessaan piilottaa. Nykyiset pohjakartat ja kaava-aineistot tuovat mukanaan kymmeniä rakentajille ja mittaukselle tarpeettomia layereita, joiden määrää tulisi vähentää ja nimeämisen olla kuvaavampaa. Esimerkiksi pohjakartta voisi olla yhdellä tai kahdella tasolla, poistettavat nykyiset rakenteet omana tasonaan ja uudet rakenteet omilla tasoillaan eriteltynä verkko-tyyppeihin. Suunnittelun ja rakentajien sekä mittajien tulisikin yhdessä tarkastella, minkälaisia tarpeita kullakin on ja minkälaisia tasoja tarvitaan, tulisiko esim. myös tekstien olla piilotettavissa.

Kaikkien kaapelireittien ja johtosiirtojen esittäminen yhdellä suunnitelmalla tekee siitä lukukelvottoman. Rakentajat ovat Tampereen raitiotien osien 1 ja 2 aikana tottuneet lukemaan vakiintuneita suunnitelmatyyppejä ja myös putkiluettelot ja niiden sisältämä lisätieto koetaan hyödylliseksi ja tarpeelliseksi. Eri suunnittelijoiden tekemiä suunnitelmia on kuitenkin piirtotyöliien eroavaisuuksien takia vaikea vertailla keskenään ja ristiriitaisuudet suunnitelmissa nostavat riskiä, että kaapelireitti jää rakentamatta tai se tulee rakennettua kahtena. Erittäin tärkeää onkin varmistaa, että suunnitelmat ovat yhdenmukaiset ja jos rakenne esiintyy useassa suunnitelmassa, siihen kohdistuvat päivitykset tehdään kaikkiin tarvittaviin suunnitelmiin. Nykyisen käytännön mukaan ilmoitus suunnitelman päivittämisestä jae-
taan sähköpostilla rakentajille sekä toisten tekniikkalajien suunnittelijoille, jotka sen mukaisesti päivittävät oman suunnitelmansa. Jotta tieto välittyi kaikille sitä tarvitseville, tulee suunnittelijoiden aina käyttää hankkeella jo käytössä olevia, valmiiksi laadittuja sähköpostijakelulistoja ja merkitä suunnitelmaan päivitetty kohde selkeästi.

Tampereen raitiotiehanke edetessä Raitiotieallianssin suunnittelu on kehittynyt ja kokemuksen tuoma hiljainen tieto tulisi kirjata myös suunnitteluohjeisiin. Kaapelikaivon sijoittamista ajoväylälle tulee välttää, sillä kaapelointityö tällaisessa kaivossa haittaa muuta liikennettä. Kaapelireitin tulisi kulkea kaivon läpi, ei kaivon vierestä, jolloin reitin liittymisen kaivoon ja poistumisen kaivosta joutuu toteuttamaan samalta ilmansuunnalta. Reitit tulee kaapeloitavuuden varmistamiseksi aina suunnitella mahdollisimman suorina ja mutkat mahdollisimman loivina.

Rakentaminen

Myös rakentamisen ohjeita ja käytäntöjä on tarkennettu ja parannettu Tampereen raitiotiehanke edetessä. Haastattelujen ja valokuvien perusteella esiin on noussut seuraavia kehityskohteita:

- purettujen rakenteiden päivittäminen verkkotietojärjestelmiin
- kulku kaapelikaivoihin
- reittien kaapeloitavuus
- kaapelikaivojen siisteys.

Johto-omistajien verkkotietojärjestelmiin täytyy saada tieto myös puretuista rakenteista, olivat ne sitten maahan jätettyjä tai kokonaan poistettuja. Tämä vaatimus on Tampereen kaupungin infra-alueen teknisten järjestelmien sijaintikartoitusohjeessa, mutta tieto ei ole tavoittanut oikeita henkilöitä. Työnjohdon tulisi kerätä tieto puretuista rakenteista purkutyön aikana ja toimittaa se mittaukselle. Yksinkertaisinta olisi merkitä se johto-omistajilta saatuun verkkokarttaan, jonka mitaus lähettäisi uusien rakenteiden kartoitusaineiston kanssa verkkotietojärjestelmiin digitoitavaksi.

Raitiotien osalla 1 on useissa kaivoissa pitkäksi jätettyjä putkenpäitä, jotka haittaavat kaivon laskeutumista ja kaapelointityötä. Ohjeisiin on hankkeen aikana päivitetty, että putket täytyy lyhentää niin että ne tulevat n. 50 mm kaivon sisään ja tämä onkin osalla 2 otettu käytäntöön. Kaivon läpi ei tulisi putkea asentaa, jos sitä ei pysty toteuttamaan kaivon pohjalla hiekalla peitettynä. Myöskään valurautakansiston betonisia korotusrenkaita ei tulisi käyttää yli 25 cm:n korkeudelta. Tarvittavat korkeusmuutokset tulisi tehdä riittävän syvällä asennuskuopalla ja kaivonrenkailla, joita saa 250, 500 ja 1000 mm:n korkuisina.

Reitin kaapeloitavuuteen tulisi kiinnittää huomiota. Reitin mutkien tulee olla mahdollisimman loivia myös keskuksille tai pylväasperustoihin viettäessä. Vetonarun puhaltaminen suoja-putkeen tulee ajoittaa siten, että pääosa rakennekerroksista suoja-putken päällä on jo valmiina mutta viimeinen pinta puuttuu, jolloin mahdollisen tukoksen ilmetessä sen korjaus ei aiheuta kohtuuttomia kustannuksia tai aikatauluhäiriöitä. Kaapelointityön ajaksi kaapelikaivojen ympäristö täytyy pyrkiä rauhoittamaan muilta töiltä kuten kivimiehiltä ja asfaltoijilta sekä liikenteeltä. Tämä toteutuu kaapelointi- ja rakentamistyön yhteensovittamisella ja aikatauluista kiinni pitämisellä.

Vaatimuksena sekä rakentajille että kaikille kaivossa kaapelointityötä tekeville tulisi olla kaivon siivoaminen rakennusjätteistä työn jälkeen. Roskat, betonijäte ja ylimääräiset vetonarut tulee poistaa ja kaapelointityö suorittaa siististi ja ohjeiden mukaisesti kaivonseinän kannakkeita käyttäen.

Mittaus

Mittausaineiston vaatimukset ja ohjeet ovat muuttuneet useaan kertaan hankkeen aikana. Esiin nousseita kehityskohteita ovat:

- kartoitusohjeiden läpikäyminen hankkeen alussa ja kartoitusaineiston laadun seuranta hankkeen aikana
- kartoitusaineistoa tukevat punakynäkuvat.

Kartoitusaineisto tulee saada kerralla ohjeidenmukaiseksi. Tarketiedoissa ei saa olla ylimääräisiä kommentteja ja viivat ja pisteet tulee olla koodattuina oikein. Viivan tulee päättyä pistemäiseen kohteeseen ja tarvittaessa se tulee jatkaa päätymään esimerkiksi pylväsperustukseen. Kartoitusohjeet tulisi käydä läpi hankkeen alussa mittaajien ja verkkotietojärjestelmien digitoinnista vastaavien kesken ja sopia seurantalavereita, joissa tarkastellaan kehityskohteet ja ohjeiden selkeys. Oikein koodattu ja kerralla valmis aineisto säästää kaikkien osapuolien aikaa ja rahaa.

Raitiotieallianssi toimittaa verkkotietojärjestelmiin digitoitavaksi myös alueen kaapelireittien suunnitelmat. Kaupungin verkkotietojärjestelmien (valaistus, liikennevalot, tietoliikenne) osalta suureksi avuksi aineistoa digitoitaessa olisi esimerkiksi mittajaan käsin piirtämä kuva (esimerkki kuviossa 15) tai vastaava dokumentti, josta välittyisi myös tieto putkipatterin muodosta (putkirivien ja -kerrosten määrä).



KUVIO 15. Malli punakynäversiosta, joka täydentää toimitettua kartoitustietoa (Johtokartoitus, Juha Lehtimäki).

9.2 Kaapelireittien suojausputkimerkinnät ja dokumentointi

Kaapelikaivosta lähteviin suojausputkiin täytyy saada kiinteät merkinnät, jotta putket voidaan yksilöidä reitin poikkileikkaustietoihin verkkotietojärjestelmissä. Uusi hankkeella kokeiltava ratkaisu olisi jokaisen putken päähän esimerkiksi nippusiteellä kiinnitettävä muovitunniste, johon merkinnät tehdään. Esimerkki muovitunnisteilla tehtävästä merkintämenetelmästä on esitetty kuvassa 35.



KUVA 35. Kaapelinsuojausputkia merkittyinä kaivossa (Kari Kuuttila 2023).

Työmenetelmä olisi seuraavanlainen:

1. Kaapelireitin rakentajat poraavat jokaiseen uuden kaivon ja keskuksen suojausputkeen yläreunaan reiän, johon tunniste kiinnitetään. Suojausputkien muovitunnisteen kiinnityksen voi tehdä heti kun putkien läpivienti on tiivistetty ja putket lyhennetty. Nippusidekiinnitys tulee jättää väljäksi siten, että lapun saa käännettyä putken päälle kaapelointityön ajaksi.
2. Rakentajat tekevät merkinnät tunnisteeseen viimeistään vetonarun puhalluksen yhteydessä siten, että jokaiseen tunnisteeseen tulee putken toinen päätepiste (esim. keskus- tai kaivotunnus). Kaivojen välisten putkien tunnisteisiin merkitään lisäksi järjestysnumero (raitiotien runkoreitti) tai omistaja (operaattorikaivot). Kahden kaivon välisellä putkella tulee olla sama

järjestysnumero/omistaja molemmissa päissä, jolloin putki pystytään yksilöimään myös käymättä kaivossa.

3. Kaivon seinään rakentajat merkitsevät maalilla kaivotunnuksen ja pohjoisen ilmansuunnan osoittavan kirjaimen P.
4. Kun kaapelireitti on valmis kaapelointia varten, rakentamisen työnjohto ja kaapelointipäällikkö yhdessä suorittavat kaivotarkastuksen, jossa tarkastetaan jokainen kaivo (kaivomerkinnät, vetonarut, putkimerkinnät, kaivon siisteys) ja otetaan kaivon 360°-kuva. Tällä toimenpiteellä luovutetaan kaapelireitti seuraavalle työvaiheelle eli kaapeloinnille.
5. Raitiotieallianssin kaapelointiryhmä kiinnittää kaikkiin kaapelikaivoihin tarvittavat seinäkiinnikkeet yhteen tai kahteen kerrokseen ennen kaapelointityötä. Kaivoissa kaapelointityö suoritetaan siististi ja seinäkannakkeita käyttäen. Kaapelikiepit sidotaan kannakkeisiin kiinni. Kaapeleihin tehdään jokaisessa kaivossa merkinnät kuten tähänkin asti.
6. Raitiotien kaivoista otetaan 360°-kuvat uudelleen, kun kaapelointityö on Raitiotieallianssin osalta suoritettu.
7. Raitiotieallianssin kaapelointipäällikkö toimittaa tilaajan osoittamaan verkotietojärjestelmään (tällä hetkellä Telia) digitoitavaksi tiedot Raitiotieallianssin asentamista kaapeleista ja niiden kulkemista reiteistä (päätepiisteet, läpimenokaivot) sekä kytkennöistä. Tähän aineistoon lisätään toimitettavaksi kaivojen välisten suojaputkien numerointi.

9.3 Uusia menetelmiä Tampereen raitiotiehankeelle

Työvaihekohtaiset ohjekortit

Raide-Jokerilla on laadittu työvaihekohtaisia ohjekortteja, jotka koetaan toimiviksi, jos niitä on menetelmien muuttuessa pidetty ajan tasalla. Raitiotieallianssilla järjestelmällistä ohjekorttimenettelyä ei ole käytetty, vaan sen sijaan ohjeet on kirjattu TLT-suunnitelmiin. Työryhmien sisäisiä asennusohjeita ovat rakentajat itse laatineet.

Tätä opinnäytetyötä kirjoittaessa kaapelireitteihin liittyviä ohjeita löytyi monesta dokumentista ja osa niistä oli ristiriidassa keskenään. Sovittujen menettelytapo-

jen selkeyttämiseksi ja uusien työntekijöiden perehdyttämiseksi myös Raitiotieallianssille tulisi laatia työvaihekohtaisia ohjekortteja, joista tiedon etsijä ja esim. kaapelireittien johto-omistajat löytävät kaikki yhteisesti sovitut menettelytavat.

Kaapelireittien rakentamisen ohjekortin tulisi sisältää nykyistä TLT-suunnitelmaa tarkempia ohjeita kuten

- suojaputkipatterin pitäminen järjestyksessä kaivojen välillä
- ohjeet mutkien toteuttamiseen (korkeintaan 45° asteen kaariosat ja käytettäessä taipuisia putkia tehdään mahdollisimman loivat kaaret)
- suojaputken liittäminen kaivoon, putken lyhentäminen ja siistityt tiivistykset
- rajoitukset korotusrenkaiden käyttöön kaivokansistojen asennuksessa (max. 25 cm)
- ajoneuvoliikenteen rajoitukset ennen kaapelireittien suojaäyttöä
- vetonarun puhaltamisen ajoitus (tehdään, kun kantavat kerrokset valmiina mutta ennen pinnan viimeistelyä)
- merkinnät kaivossa ja suojaputkissa
- valokuvat eri työvaiheissa.

Myös esimerkiksi kaapelointityölle ja muille tarpeellisiksi katsotuille työvaiheille voisi tehdä ohjekortin. Ohjekorttikokoelma säästää aikaa, kun tieto ja sovitut asiat on löydettävissä helposti, vähentää riskiä epäselvyyksille ja virheellisille työtaivoille ja varmistaa työnlaatua. Ohjekortti on helppo välittää myös aliurakoitsijoille.

Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmä runkoreitille

Raide-Jokeri-hankkeessa on kokeiltu Cubis Multiduct-kaapelikanavajärjestelmää (ks. 3.1.3 Kaapelinsuojajärjestelmät). Sen etuna on tilan säästö sekä kaapelireittien pysyminen järjestyksessä. Materiaalien korkeammat kustannukset tasoittuvat ajansäästöllä sekä rakentamisen ja dokumentoinnin laadun paranemisella. Cubis Multiduct-järjestelmää voidaan käyttää yhdessä perinteisten kaapelinsuojaputkien kanssa ja tuotetta kannattaisikin tutkia tarkemmin Tampereen raitiotien laajentuessa.

Kaivantojen pistepilvikuvaus

Pistepilvikuvausella saadaan tallennettua maan alle jäävät rakenteet tarkemmin kuin valokuvilla (ks. 6.3 Kaapelireittien pistepilvikuvaus). Tampereen yliopistolla on tarvittava laitteisto, jota voisi kokeilla vielä raitiotien osalla 2. Tähän opinnäytetyöhön liittyen pistepilvikuvausta on mietitty kaapelikaivantojen mallintamiseen, mutta menetelmää voisi käyttää myös muiden peittyvien rakenteiden kuten vesihuoltojärjestelmien, perustusrakenteiden ja taitorakenteiden työnaikaiseen kuvaamiseen.

Kaivinkoneella kartoittaminen

Raitiotieallianssilla koneohjausta ei ole hyödynnetty kaapelireittien tai muiden rakenteiden sijaintitiedon kartoittamiseen, koska haasteena on kaapelireittien määrä ja monta reittiä sisältävän aineiston muokkaaminen verkkotietojärjestelmien vaatimaan muotoon. Kaivinkoneella tehtävää kartoittamista voisi kuitenkin kokeilla alueella, jossa kaapelireittejä on vähän, tai muissa rakenteissa kuten esimerkiksi valaisinpylväsperustoissa. Kaivinkoneella kartoittamisella voisi olla mahdollista keventää mittauksen työkuormaa, jos kartoitettava aineisto pidetään riittävän maltillisena ja selkeänä.

10 POHDINTAA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Tampereen raitiotien osien 1 ja 2 kaapelireittien rakentamisen ja dokumentoinnin haasteita ja kehityskohteita. Tavoite oli myös selkeyttää dokumentointiprosessia ja tarkastella Helsingin Raide-Jokeri-hanketta ja siellä käytettyjä menetelmiä.

Haasteita ja kehityskohteita löytyi aiemmin tehdyistä toimenpiteistä ja menettelytapamuutoksista huolimatta runsaasti ja ne on tässä opinnäytetyössä käsitelty omissa luvuissaan. Iso osa kehitettävistä asioista koski seuraavan työvaiheen huomioonottamista ja tiedonkulkua eri osapuolien kesken. Suunnittelun tulee miettiä, kuinka suunnitelma palvelisi rakentamisen eri osapuolia mahdollisimman hyvin. Rakentamisen tulee paremmin ottaa seuraavat työvaiheet kuten kaapelointityö ja mittaus huomioon, sekä lukea suunnitelmia ja valmistajien ohjeita kriittisesti. Jokaisen kaapelikaivossa työskentelevän tulee jättää kaivo sellaiseen kuntoon, että seuraavankin on siellä mahdollista työnsä suorittaa. Mittauksen tulee huomioida aineiston digitoijien haasteet kartoitusaineiston selvittelyssä. Työryhmille kannattaisikin järjestää vierailupäiviä toistensa luo, jotta jokainen paremmin ymmärtäisi, miksi ja mihin tulisi omassa työssään kiinnittää huomiota.

Suojaputkien merkintöihin kaivoissa on tässä opinnäytetyössä kehitetty ratkaisua, ja Helsingin Raide-Jokeri-hankkeesta nousi esiin kehityskohteeksi mm. työvaihekohtaisten ohjekorttien laadinta sekä Cubis Multiduct kaapelikanavajärjestelmä. Myös kaivantojen ja muiden peittyvien rakenteiden pistepilvikuvaus sekä kaivinkoneen avulla kartoittaminen vaikuttaisivat kokeilemisen arvoiselta dokumentointitavalta perinteisten lisäksi.

LÄHTEET

Betoni. 2015. Betoniset viemäri- ja hulevesijärjestelmät. 2015. PDF-dokumentti. Viitattu 24.3.2023. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/04/Betoniset_viemari_ja_hulevesijarjestelmat.pdf

Finnilä, H. 2023. Projekti-insinööri, Tampereen Vera Oy. Haastattelu 1.2.2023. Tampere.

Helsingin kaupunki. 2014. Katutilan mitoitus, suunnitteluohjeet. 05/2014. PDF-dokumentti. Viitattu 1.4.2023. https://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/ohjeet/katutila_mitoitus.pdf

InfraRYL. 2022. Tietoja InfraRYListä. 22.12.2022. Verkkosivu. Viitattu 7.2.2023. https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2022_2/cms-content/infraryl/tietoja-infrarylista/

Johtotietopankki. n.d. Maanrakennustyöt ja teleoperaattoreiden tietoliikennelaitteet V2.6. Pdf-dokumentti. Viitattu 19.2.2023. https://johtotietopankki.fi/files/19868/Kaivuohje_pitka.pdf

Karvonen, P. 2023. Tietoverkkoasiantuntija. Tampereen kaupunki. Haastattelu 23.2.2023. Tampere.

Keitaanniemi, A. 2021. Mikä on pistepilvi ja mihin sitä käytetään talonrakentamisessa? BuildingPoint Finland 23.11.2021. Viitattu 1.4.2023. <https://buildingpoint-finland.fi/mika-on-pistepilvi-ja-mihin-sita-kaytettaan-talonrakentamisessa/>

Koikkalainen, K. 2012. Rakennustyömaan mittaustyöt takymetrillä. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Saimaan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 1.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/49280/Koikkalainen_Kari.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Koskinen, J. 2023. Kaapelireittisuunnittelija, Raitiotieallianssi. Haastattelu 1.2.2023. Tampere

Kulomäki, J. 2023. Rakennuttajainsinööri, Tampereen kaupunki. Haastattelu 2.2.2023. Tampere.

Kuuttila, K. 2023. Työnjohtaja, Raitiotieallianssi. Haastattelu 21.3.2023. Tampere.

Lahti, P. & Reinhardt, M. 2023. Mittaus, Raitiotieallianssi. Haastattelu 24.2.2023. Tampere.

Laki kadun ja eräiden yleisten alueiden kunnossa- ja puhtaanapidosta 669/1978. Viitattu 7.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1978/19780669>

Laki verkkoinfrastruktuurin yhteisrakentamisesta ja -käytöstä 276/2016. Viitattu 7.2.2023. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20160276>

Lepola, K. 2023. Johtosiirtosuunnittelun tekniikkalajivastaava, Raitiotieallianssi. Haastattelu 14.2.2023. Tampere.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999. Viitattu 7.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Maanmittauslaitos. n.d. FINPOS-paikannuspalvelu, menetelmät reaaliaikaiseen paikannukseen. Verkkosivu. Viitattu 14.3.2023. <https://www.maanmittauslaitos.fi/finpos>

Mäki, P. & Gröhn, A. 2023. Tekniset järjestelmät, Raitiotieallianssi. Haastattelu 15.2.2023. Tampere.

Nestorcables. n.d. Mikrokanavatekniikka. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2023. <https://www.nestorcables.fi/tuotteet/mikrokanavatekniikka.html>

Niemelä, J. 2023. Myyntipäällikkö, Uponor. Henkilökohtainen tiedonanto 3.3.2023.

Ohtamaa, A. 2022. Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 1.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748341/ohtamaa_aleksi.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Pipelife. n.d. Kaapelinsuojajärjestelmät. Verkkosivu. Viitattu 21.2.2023. <https://catalog.pipelife.com/fi/sahkotuotteet-1578/kaapelinsuojajarjestelmat-181159>

Pipelife. n.d. OPI-kanaalijärjestelmä on ratkaisu ahtaisiin kaapelinsuojauskohteisiin. Referenssit. Viitattu 4.3.2023. <https://www.pipelife.fi/tietoa-meista/pipelife-finland-oy/referenssit/sahko-referenssit/opi-kanaalijarjestelma-on-ratkaisu-ahtaisiin-kaapelinsuojauskohteisiin.html#imageGallery-root-imagegallery-1>

Raide-Jokeri. 2020. Uutta Kaapelinsuojausjärjestelmää pilotoidaan Viikinkaarella. 2.11.2020. Viitattu 5.3.2023. <https://raidejokeri.info/uutta-kaapelinsuojausjarjestelmaa-pilotoidaan-viikinkaarella/>

Raitiotieallianssi. 2017–2023. Hankkeen sisäiset dokumentit. Ei julkaistu.

Raitiotieallianssi. 2020. Osan 2 toteutusvaiheen sisältö. 10.9.2020. Pdf-dokumentti. Viitattu 9.2.2023.

Rakennusurakan yleiset sopimusehdot YSE 1998. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.2.2023. <https://dev.hel.fi/paatokset/media/att/a1/a167044235ba34e5f28c6a60879e9caa074e26d6.pdf>

Rotomon. 2017. Kaapelinsuojaus. 2017. PDF-dokumentti. Viitattu 7.2.2023. https://www.rotomon.fi/wp-content/uploads/2017/04/ROTOMON_esite_kaapelinsuojaus.pdf

Rudus. n.d. Cubis-kaapelinsuojajärjestelmä. Verkkosivu. Viitattu 5.3.2023. <https://www.rudus.fi/tuotteet/infraelementit/cubis-kaapelinsuojajarjestelma>

Rudus. 2022. Cubis-järjestelmä suojaa kaapeleita Metsä Groupin biotuotetehtaalla. 26.10.2022. Verkkosivu. Viitattu 24.3.2023. <https://www.rudus.fi/ajankoh-taista/2022/10/26/cubis-jarjestelma-suojaa-kaapeleita-metsa-groupin-biotuote-tehtaalla>

Sesko. 2019. Maakaapeleiden suojaus, ohje standardin SFS 6000-8-814 soveltamisesta. 17.9.2019. Viitattu 23.2.2023. <https://sesko.fi/maakaapeleiden-suojaus-ohje-standardin-sfs-6000-8-814-soveltamisesta/>

Sinisalo, J. 2023. Työnjohtaja, Raitiotieallianssi. Haastattelu 9.3.2023. Tampere.

Suomen Geoteknillinen Yhdistys. 2017. Geoteknisen mittaamisen ja monitoroinnin olennaiset käsitteet ja periaatteet. PDF-dokumentti. Viitattu 16.4.2023. https://sgy.fi/content/uploads/2017/04/geoteknisen_mittaamisen_ja_monitoroinnin_olennaiset_kasitteet_ja_periaatteet_6-11-2017_julkaisu.pdf

Sähkömarkkinalaki 588/2013. Viitattu 7.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Sähtöturvallisuuslaki 1135/2016. Viitattu 7.2.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2016/20161135>

Tampereen Sähköverkko. 2022. Kaivutyöohje 13.12.2022. Pdf-dokumentti. viitattu 19.2.2023. https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/tsv-ohjepankki/4.-maankaivutyoohjeet/kaivutyoohje-12_2022.pdf

Traficom. n.d. Verkkotietopiste.fi. Verkkosivu. Viitattu 12.2.2023. <https://www.traficom.fi/fi/asioi-kanssamme/verkkotietopiste>

Traficom. 2020. Määräys verkkotietojen ja verkon rakentamissuunnitelmien toimittamisesta. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.2.2023. https://www.finlex.fi/data/normit/48538/1_Maarays_verkkotietojen_ja_verkon_rakentamissuunnitelmien_toimittamisesta.pdf

Traficom 2022. Sijaintitietopalvelu. Viitattu 7.2.2023. <https://www.traficom.fi/fi/s/sijaintitietopalvelu/sijaintitietopalvelu-etusivu>

Trimble. n.d. Verkon kokonaisvaltainen digitaalinen malli. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2023. <https://upa.trimble.com/fi-fi/verkon-digitaalinen-kaksonen>

Uponor. 2008. Tripla-kaapelinsuojajärjestelmä tietoliikenne- ja sähkökaapeleille. 04/2008. PDF-dokumentti. Viitattu 24.3.2023.

Uponor. n.d. Kaapelinsuojaus. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2023. <https://www.uponor.com/fi-fi/infra/tuotejarjestelmat/kaapelinsuojaus>

Valokuitunen. n.d. Näin asennat mikrokanavaputken omalle tontillesi - Asiakkaan rakentamisohje. PDF-dokumentti. Viitattu 5.3.2023. https://valokuitunen.fi/wp-content/uploads/2022/04/Tonttikaivuun_ohje.pdf

Verkkotietopiste. n.d. Traficom. Verkkosivu. Viitattu 9.2.2023. <https://verkkotietopiste.fi/>

Virtanen, E. 2012. Asennuskaapelit. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 1.4.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44049/Virtanen_Erkka.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vuorinen, H. 2023. Projektipäällikkö, Tampereen yliopisto. Haastattelu 15.3.2023. Tampere.