

# MIKROKANAVATEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN OPTISEN VERKON RAKENTAMISESSA

Kosamo Teemu

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Teemu Kosamo	Vuosi	2018
<b>Ohjaaja(t)</b>	Ari Romakkaniemi		
<b>Toimeksiantaja</b>	Eltel Networks Pohjoinen Oy		
<b>Työn nimi</b>	Mikrokanavatekniikan hyödyntäminen optisen verkon rakentamisessa		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	114 + 7		

---

Työn tavoitteena oli tutkia mikrokanavatekniikan hyödyntämistä optisen verkon rakentamisessa keräämällä siitä tietoa ja koostamalla ne tähän työhön. Opinnäytetyön merkitys alalle on kasvattaa tietoisuutta mikrokanavatekniikasta, joka on kohtuullisen uusi rakentamismenetelmä optisen verkon rakentamisessa, joten tutkimusongelmana oli selvittää, milloin mikrokanavatekniikkaa kannattaa käyttää ja milloin ei.

Tietoa mikrokanavatekniikasta kerättiin haastattelemalla alan ammattilaisia henkilökohtaisella tasolla sekä käyttämällä erialaisia tietolähteitä. Saatujen tietojen pohjalta laadittiin esimerkkisuunnitelmat tavallisella tavalla sekä mikrokanavatekniikalla rakennettuna, joita vertailtiin keskenään erojen havainnollistamiseksi.

Yhteenvedona voidaan tästä opinnäytetyöstä sanoa, että mikrokanavatekniikalla saadaan aikaiseksi kustannustehokkaita varauksia tiheästi rakennetuille alueille, jos rakentaminen ja suunnittelu sujuu oikeaoppisesti.

Technology, Communication and  
Transport  
Degree Programme in Civil  
Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Teemu Kosamo	Year	2018
<b>Supervisor</b>	Ari Romakkaniemi		
<b>Commissioned by</b>	Eltel Networks Pohjoinen Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Use of Microduct Technology in Construction of Optical Network		
<b>Number of pages</b>	114 + 7		

---

The aim of the thesis was to study the use of microduct technology in the construction of the optical network by gathering information and compiling them into this thesis. The purpose of the thesis was to find out when microduct technology should be used and when not.

Information on microduct technology was collected by interviewing professionals in person and using different sources of information. Based on the information obtained, exemplary plans were created in the usual way and using microduct techniques. The plans were compared to illustrate the differences.

As a conclusion, the microduct techniques proved cost effective reserves for densely constructed areas if the construction and planning are correct.

Key words

microduct technology, telecommunication, earth  
construction

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	YLEISTÄ KIIINTEISTÄ TELEVERKOISTA .....	8
2.1	Historia.....	8
2.2	Nykytilanne .....	11
2.3	Tulevaisuudennäkymät .....	15
2.4	Peruskäsitteitä kiinteästä televerkosta .....	16
3	TOPOLOGIAT .....	20
4	OPTINEN VERKKO.....	25
5	OPTISEN VERKON LAITTEET .....	28
5.1	Metro.....	28
5.2	Kytkin .....	29
5.3	Kaapelit.....	30
5.4	Kaapelijatkokset.....	31
5.5	Kaapeloinnin päättäminen .....	34
6	SUUNNITTELU.....	36
7	TELETYÖT .....	41
8	MAANRAKENNUSMENETELMÄT .....	43
8.1	Kaapelinäyttö .....	43
8.2	Kaapeleiden levitys.....	43
8.3	Asennus kaivamalla .....	44
8.3.1	Kanavaputkiston asennus ja käyttö .....	50
8.3.2	Kaivaminen päällystetyillä osuuksilla.....	51
8.4	Louhinta .....	52
8.5	Auraus .....	54
8.6	Maasahaus .....	56
8.7	Mikro-ojitus .....	58
8.8	Alitukset .....	60
8.8.1	Tunkkaus.....	60
8.8.2	Suuntaporaus.....	61
8.9	Viankorjaus .....	62

9	MIKROKANAVATEKNIikka	63
9.1	Yleistä	63
9.2	Mikroputket	65
9.3	Mikrokanavien liittimet ja tarvikkeet	66
9.4	Asennustapojen vertailu tavalliseen kaapelointiin	68
9.4.1	Kaapeleiden levitys ja asennus olevaan kanavaputkistoon	68
9.4.2	Mikroputkien jatkaminen	69
9.4.3	Asennus kaivamalla	71
9.4.4	Auraus	73
9.4.5	Maasahaus ja mikro-ojitus	74
9.5	Puhallus	74
9.6	Viankorjaus	78
9.7	Mikrokanavaverkon ylläpito ja laajentaminen	79
10	MIKROKANAVATEKNIikkaSSA ESIINTYVÄT ONGELMAT	81
10.1.1	Yhteisojat	82
10.1.2	Uudet kaava-alueet	82
10.1.3	Rakentaminen roudan aikaan	84
10.1.4	Levitysvaihe	84
10.1.5	Puhallusvaihe	85
11	MIKROKANAVAVERKON SUUNNITTELU	87
12	VERTAILU	91
12.1	Kohteen esittely	91
12.2	Perinteinen kaapelointi	92
12.3	Mikrokanavatekniikka	94
12.4	Työmaan vertailu	97
12.4.1	Materiaalivertailu	97
12.4.2	Aikavertailu	98
12.4.3	Kustannusvertailu	101
12.4.4	Dokumentaation vertailu	104
13	JOHTOPÄÄTÖKSET	106
14	POHDINTA	108
	LÄHTEET	109

LIITTEET ..... 114

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan optisen verkon rakentamista mikrokanavatekniikkaa hyödyntäen. Tarkastelun lähtökohtana sekä opinnäytetyön tutkimusongelmana onkin kysymys, milloin tätä tekniikkaa kannattaa käyttää ja milloin on aiheellista turvautua perinteisiin menetelmiin?

Tarkastelua varten tuleekin ymmärtää yleiset televerkon rakentamismenetelmät ja -käsitteet, jotka käydään läpi tässä työssä. Tuotoksen tavoitteena onkin mikrokanavatekniikan etujen ja haittojen opettelu lisäksi tutustuttaa lukija televerkon perusteisiin ja maakaapelointimenetelmiin, joihin näkökulma perustuu muun muassa oman työkokemuksen kautta.

Opinnäytetyön alussa käydään myös lyhyesti läpi, minkä takia tänä päivänä yleensä rakennetaan tietoliikenneverkkoja, miten se on kehittynyt ajan saatossa ja millainen on tämän päivän yhteiskunnan tarve tietoliikenteelle.

Mikrokanavatekniikka on suhteellisen uusi rakentamismenetelmä, joten alan ammattiosaajia ei vielä löydy Suomesta kovinkaan paljoa. Muualla maailmassa sitä on jo jonkin verran esiintynyt, mutta laajemmalti se ei ole sielläkään vielä levinnyt. Ongelma piilee siinä, että vielä ei osata hyödyntää mikrokanavatekniikkaa parhaalla mahdollisella tavalla, vaan todellisissa rakennuskohteissa esiintyy hyvin paljon ongelmia, kun kyseisellä tavalla rakennetaan. Ongelmat voidaan jakaa karkeasti kahteen eri osa-alueeseen: suunnittelun aikaisiin valintoihin ja rakennusaikaisiin menetelmiin. Tätä työtä lähdetään rakentamaan niin, että tuotoksen avulla voidaan vaikuttaa molempiin alueisiin tutustuttamalla lukija mikrokanavatekniikan saloihin lähtien siinä käytettävistä materiaaleista aina esimerkkisuunnitelmiin saakka.

Työn toimeksiantajana toimii Eltel Networks Pohjoinen Oy, jolle työn merkityksenä on saada tietoa mikrokanavatekniikalla rakentamisesta. Saaduista tiedoista koostetaan tämä tuotos, joka sisältää myös esimerkkisuunnitelman alueen rakentamisesta tavalliseen tapaan ja mikrokanavatekniikalla. Tuotoksen avulla alan ammattilaiset ja kaikki muut kiinnostuneet voisivat vahvistaa omaa osaamistaan.

## 2 YLEISTÄ KIINTEISTÄ TELEVERKOISTA

### 2.1 Historia

Tietoliikenteen kehittyminen on lähtenyt tarpeista välittää jotain tietoa lähettäjältä vastaanottajalle muuten kuin kasvotusten keskustellen. Tietoliikenteellä tarkoitetaan jonkinlaisen tiedon välittämistä käyttäjältä toiselle käyttäen jotain keinoa sen avuksi. Voidaan ajatella, että alkeellisimpia tietoliikenteen tapoja ovat olleet huutoketjut, rumpujen käytöt, savumerkit ja kirjepostit, joista on lähdetty kehittämään keinoja kohti nykyaikaisempia tiedonsiirtomenetelmiä. (Kilkki 2015a, 14.)

Kuten moniin muihin keksintöihin, on sodat olleet vaikuttava tekijä tietoliikenteen kehittymisen kannalta. Suuri edistysaskel savu- ja tulimerkkien jälkeen oli optinen lennätin, joka oli näköhavaintoon perustuva mekaaninen merkinantolaite. Maaston korkeille kohdille rakennettiin mm. kuvion 1 tapaisia liikuteltavilla levyillä varustettuja laitteita. Levyjen avulla muodostettiin kuvioita, jotka vastasivat jotain ennalta sovittuja kirjainyhdistelmiä tai sanoja. (Perälä 2007; Suomi 2017.)



Kuvio 1. Optinen lennätin Tukholmassa (Perälä 2007)

Vuonna 1837 tietoliikenteessä tapahtui ratkaiseva muutos, kun Samuel Morse keksi kuvion 2 mukaisen sähkölennättimen. Kun optisen lennättimen kantomatka



oli yhdestä kymmeneen kilometriä riippuen maaston muodoista ja sääolosuhteista, niin sähköisen lennättimen avulla tietoa saatiin siirrettyä jo yli valtamerienkin. (Perälä 2007; Mäkelä 2008.)



Kuvio 2. Sähköinen lennätin (Peda.net a)

Sähköinen lennätin on yksinkertaisimmillaan virtalähteestä, lähettimenä toimivasta katkaisijasta ja vastaanottimena toimivasta sähkömagneettista rakennettu virtapiiri. Katkaisijaa alas painettaessa piirissä kulkee virta, kun taas sen nostettaessa ylös virran kulku katkeaa. Viestin lähettämistä varten myös tämä tapa vaatii ennalta sovitun sanaston tai kirjaimiston perustuen lähetettäviin sähkösignaaleihin. Tunnetuin sähköisen lennättimen käyttötapa on käyttää morsekoodia, jossa jokaisella kirjaimella on oma viivoista ja pisteistä koostuva merkityksensä. Morsetuksessa lyhyt painallus tarkoittaa pistettä ja pidempi painallus viivaa, kuten esimerkiksi a-kirjainta kuvastaa Morsen aakkosilla yksi lyhyt ja yksi pitkä painallus. (Perälä 2007; Mäkelä 2008.)

Ensimmäinen puheen tiedonsiirron väline eli lankapuhelin patentoitiin 1876 Alexander Graham Bellin toimesta, jota ennen teoreettisia kuvauksia oltiin esitetty

tutkijoiden toimesta useaan otteeseen. Muun muassa Elisha Grey jätti patenttihakemuksen puhelimesta saman päivänä kuin Bell, mutta kaksi tuntia myöhemmin. Nykyisellään puhelimen keksijänä pidetään kuitenkin Antonio Meccuita, jonka väitetään keksineen puhelimen ennen Belliä. Meccui ei voinut kuitenkaan patentoida keksintöään varattomuutensa vuoksi ja tästä syystä Belliä pidettiin pitkään puhelimen keksijänä. Joulukuussa 1877 rakennettiin Suomeen jo ensimmäinen puhelinlinja Metallitehtailija Johan Nissisen myymälästä pihan yli konttoriinsa, josta alkoi kiinteän puhelinverkon rakentaminen Suomeen. (Peda.net a; Elisa 2018.)

Aluksi puhelinjohdot olivat galvanoidusta rautalangasta tehtyjä yksilankaisia kaapeleita, jotka muuttivat 1880-luvulla kaksijohtimiseksi kupari- tai pronssijohdoiksi. Johdot rakennettiin aluksi täysin ilmakaapelointina kattojen ja pylväiden varaan, jolloin jatkuvasti tihentävä verkko oli alttiina myrskyisille sääolosuhteille, kunnes vuonna 1899 päätettiin sijoittaa ensimmäistä kertaa ilmajohtoja maan alle suojaan Suomessa. (Elisa 2018.)

Vuonna 1964 tuli myyntiin ensimmäiset puhelinverkkoa käyttävät telekopiolaitteet eli faksit. Näiden myötä puhelinverkkoa voitiin alkaa käyttämään äänen siirron lisäksi myös kirjoitetun tekstin välittämiseen vastaanottavan laitteen kopioidessa alkuperäisen tekstikappaleen, joka on syötetty lähettävään laitteeseen. (Brother 2014.)

1970-luvulla tietotekniikka kehittyi nopeasti, jolloin läpimurtonsa sai tietokoneiden väliset ”puhelut” eli datansiirto. Tällöin puhelinverkkoa alettiin hyödyntämään tähän käyttötarkoitukseen enemmän ja vuosikymmenen lopussa oli verkossa jo yli 6000 modeemia. Suurin hyöty saatiin tuona aikana etenkin talouselämän ja hallinnon aloilla, joissa tietokoneet olivat suurimmassa käytössä. (Elisa 2018.)

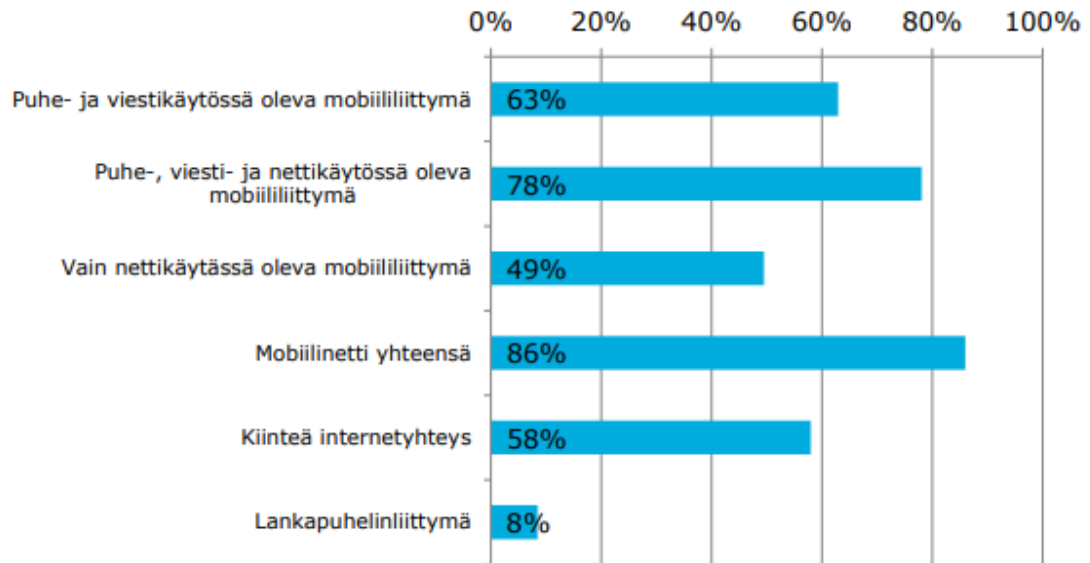
Samoihin datasiirron läpimurron aikoihin käynnistyi myös kaapeli-tv verkon rakentaminen, jolloin saatiin siirrettyä televisiolähetyksiä kaapeleita pitkin sujuvasti. Ensimmäinen kaapeli-tv verkko Suomessa valmistui Helsingin Kaapelitelevisio Oy:n toimesta Pasilan kaupunginosaan vuonna 1975, jossa se keskittyi alkuvuosinaan paikalliseen televisio-ohjelmatoimintaan. (DNA 2018.)

Vuonna 1979 rakennettiin ensimmäinen optinen valokuituyhteys, jonka jälkeen valokuituverkon alettiin rakentamaan pitkin Suomea. Tämän myötä samassa johdossa voitiin välittää niin puhetta, dataa, radio- kuin tv-ohjelmia huomattavasti aiempia menetelmiä jouhevammin. Alkuaikojaan valokaapeleilla tehtiin vain televerkkojen runkokaapelointeja, sillä sen ajan päätelaitteiden ominaisuuksien takia ei nähty tarvetta valokaapelin viemisestä loppuasiakkaan luo. Lisäksi valokaapelin kalliimpi ja vaikeampi jatkamistyö verrattuna kuparikaapeliin käänsi edun kuparikaapelin eduksi. Päätelaitteiden ja muun tekniikan kehittymisen myötä tämä tapa lähti kääntymään ja loppuasiakkaille alettiin viemään enenevissä määrin. (Elisa 2018.)

## 2.2 Nykytilanne

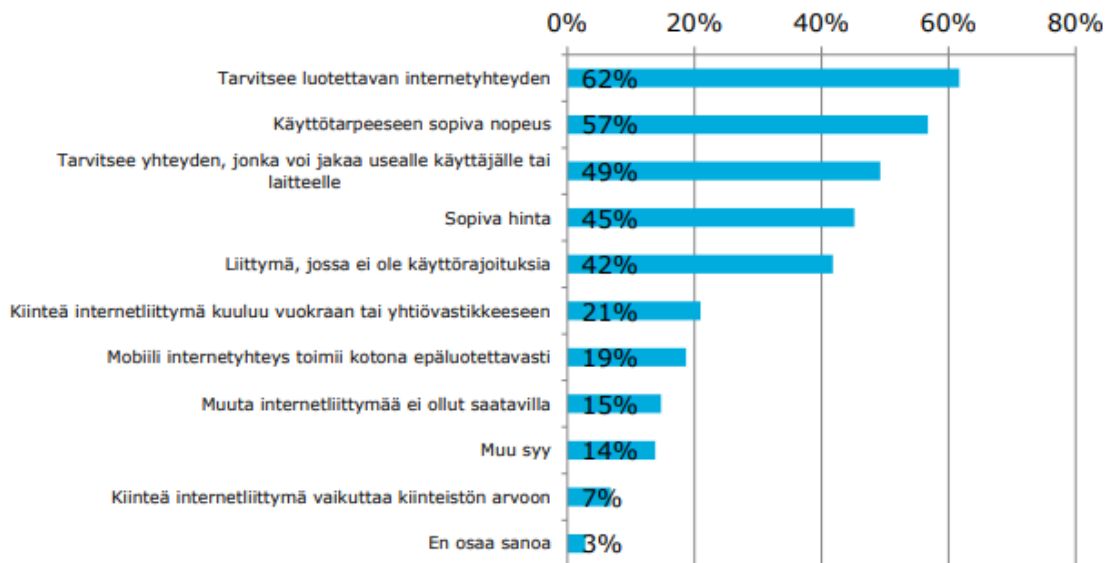
Nykyisessä Suomessa voidaan jo ajatella, että teleliittymä on jo lähes yhtä oleellinen asia uudisrakennusta rakennettaessa kuin vesi-, viemäri-, tai sähköliittymä. Kiinteä teleliittymä voidaan rakentaa uudiskohteeseen vielä joko kupari-, valokuitu- ja/tai kaapeliverkkoa käyttäen, riippuen mikä on alueen saatavuus eli mitä alueella käytetään runkoverkossa.

Viestintävirasto on teettänyt vuoden 2016 keväällä tutkimuksen, jossa selvitettiin matkaviestimien, laajakaistaliittymien, internetpalveluiden ja television katselun käyttötapoja sekä tottumuksia. Laajakaistaliittymien kyselyissä ei ole eroteltu tekniikkaa, millä liittymä on toteutettu. Yhteys voikin taten tulla niin valokuitua, kuparia, kuin kaapeliverkkoa pitkin. TNS Gallupin toteuttamaan Puhelinhaastatteluina toteutettuun tutkimukseen vastasi 3009 yli 15-vuotiasta suomalaista. (Viestintävirasto 2016, 3.)



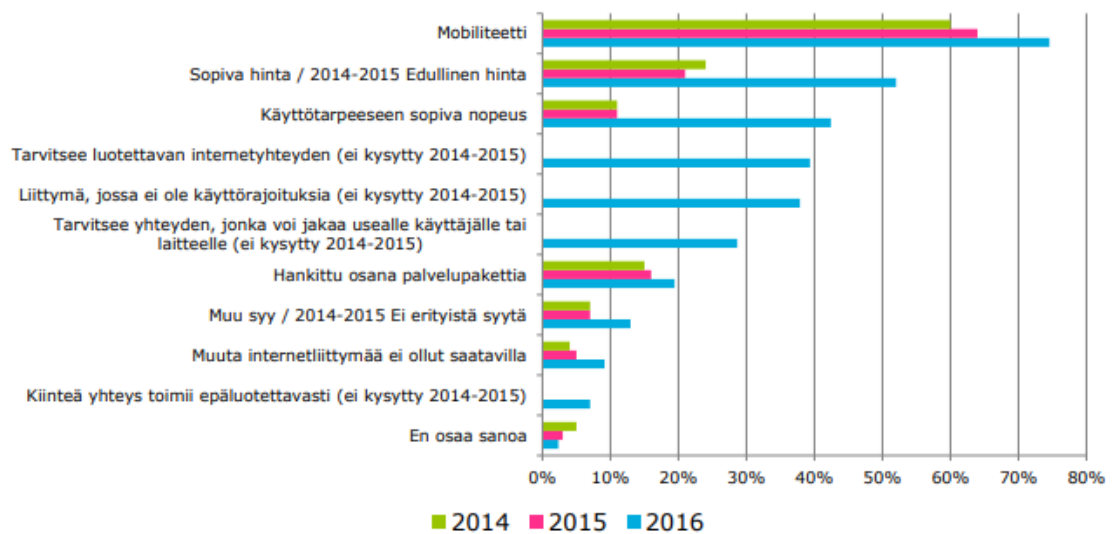
Kuvio 3. ”Onko teillä kotona käytössäne...?” (Viestintävirasto 2016, 3)

Kuvion 3 tuloksista huomataan, että kiinteitä internetliittymiä (58%) on käytössä hieman vähemmän kuin langattoman ratkaisun internetliittymiä (86%). Myös lankapuhelinliittymiä löytyy vielä pieneltä osalta (8) osallistujilta, kun langattomat ratkaisut ovat vallanneet puhelinmarkkinat selvällä erolla. Viestintävirasto tutki, että mikä saa ajamaan langattomaan (Kuvio 5) ja mikä kiinteään ratkaisuun (Kuvio 4). (Viestintävirasto 2016, 3.)



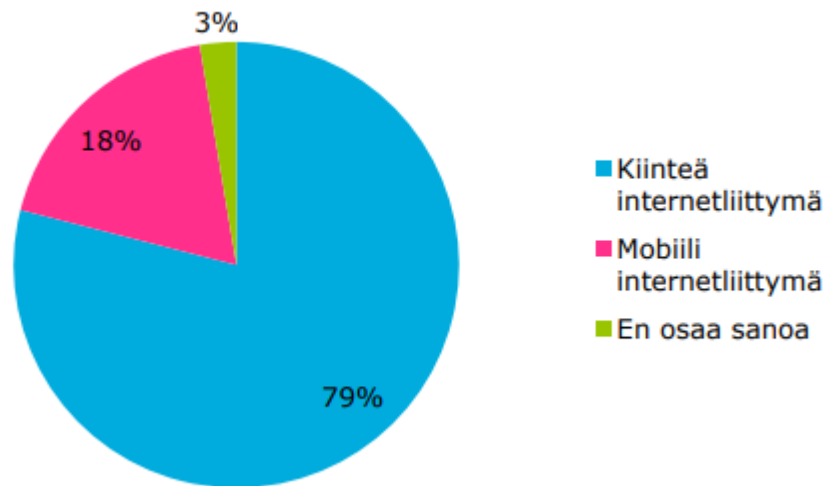
Kuvio 4. ”Mistä seuraavista syistä hankitte kiinteän internetliittymän?” (Viestintävirasto 2016, 4)

Suurimpana syynä kiinteän internetyhteyden ottamiselle on tarve luotettavalle internetyhteydelle. Tärkeimpiä syitä kiinteän yhteyden ottamiselle ovat myös kiinteän verkon tuoma nopeus sekä yhteyden jakotarve. Mobiiliin, eli langattoman ratkaisun epäluotettavuuden vastausprosentti vaihteli selvästi vastaajien asuinpaikkojen sijainnin mukaan, sillä maaseuduilla epäluotettavuus oli keskimäärin suurempi (29%) kuin pääkaupunkisedulla (13%). (Viestintävirasto 2016, 4.)



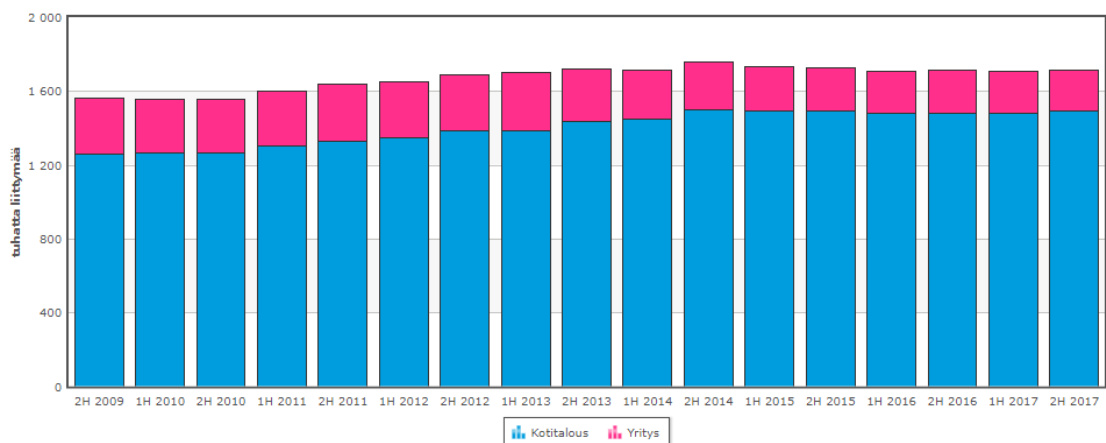
Kuvio 5. ”Mistä seuraavista syistä hankitte mobiiliin internetyhteyden?” (Viestintävirasto 2016, 5)

Tärkeimpänä syynä langattoman ratkaisun ottajille ja näin ollen suurimpana haastajana kiinteän verkon liittymille on mobiliteetti, eli mahdollisuus sijainnin riippumattomuuteen internetin käytölle. Osaltaan kiinteälle verkolle olisi vastaajien kesken ollut enemmän kysyntää kuin tarjontaa, sillä osa (9%) on vastannut mobiili liittymän hankinnan syyksi kiinteän verkon puuttumisen. (Viestintävirasto 2016, 5.)



Kuvio 6. ”Teillä on käytössänne useita internetliittymiä. Mikä näistä liittymistä on se, mitä käytätte pääasiallisesti kotonanne?” (Viestintävirasto 2016, 11)

Jopa lähes neljä viidennestä sekä mobiiliin, että kiinteän liittymän omistajista vastasi kyselyyn käyttävänsä kiinteää internetliittymää pääasiallisena internetyhteytenä (Kuvio 6). Tästä voidaan päätellä myös, että kiinteä internetyhteys koetaan miellyttävämmäksi käyttää muun muassa nopeuden ja tasalaatuisuuden vuoksi. (Viestintävirasto 2016, 12.)

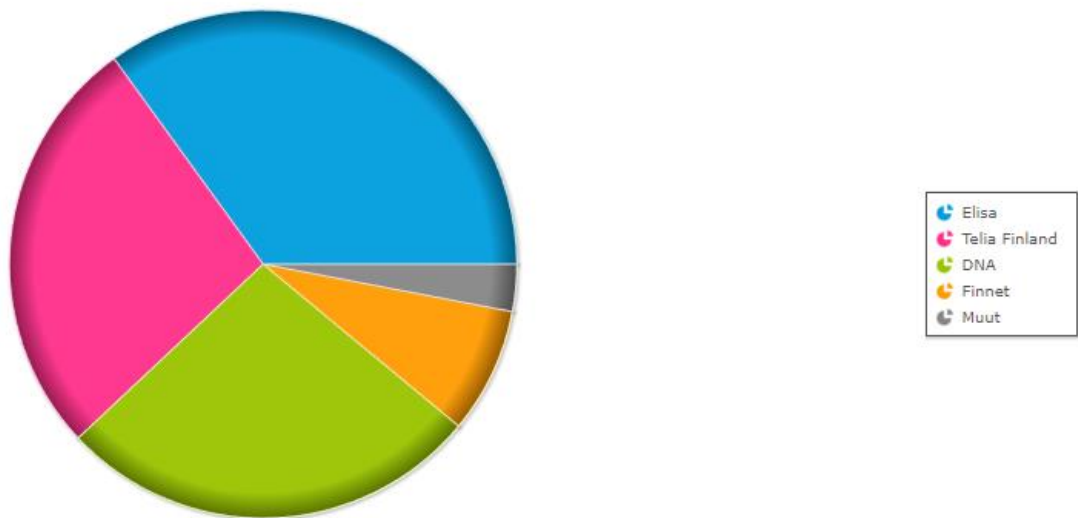


Kuvio 7. Kiinteiden laajakaistaliittymien määrä (Viestintävirasto 2018a)

Vuonna 2017 Suomessa oli 1 490 000 kiinteän verkon kotitalousliittymää, kun taas yritysliittymien määrä oli tuolloin 220 000 kappaletta. Kuvioista 7 voidaan myös nähdä, että vuosien 2009–2017 välillä kiinteän verkon liittymien määrä on pysynyt hyvin tasaisena. Kotitalousliittymien määrä on noussut tuolla aikavälillä

tasaisesti, kun yritysliittymien määrä on taasen hieman laskenut. (Viestintävirasto 2018a.)

Kiinteällä verkolla on Suomessa jopa 88 palveluntarjoajaa, mutta suurimmat markkinat alalta on vallannut DNA, Elisa, Telia Finland ja Finnet (Kuvio 81). Loppuosa koostuu pienemmistä paikallisista toimijoista tai kuntaverkoista. (Viestintävirasto 2018a; Viestintävirasto 2018b.)



Kuvio 8. Markkinaosuudet kiinteällä verkolla joulukuussa 2018 (Viestintävirasto 2018b)

### 2.3 Tulevaisuudennäkymät

Suurin haastaja kiinteälle verkolle on tulevaisuudessa jatkuvasti kehittyvä mobiilitarjonta. Viestintäviraston tilastojen mukaan mobiilindatan käytön kasvu on lähtenyt kuitenkin taantumaan, kun taas kiinteän verkon datamäärät jatkavat nousuaan. (Runsten 2017.)

Suurin osa uusista televerkoista rakennetaan jo tänä päivänä ja rakennetaan tulevaisuudessakin valokuidulla, kun kupari- ja kaapeliverkkojen siirtonopeudet eivät vastaa enää tämän päivän tarpeisiin. Vanhemmilla tekniikoilla rakennetaan kohteita pääsääntöisesti silloin, kun on tarve siirtää olevaa verkkoa esimerkiksi

työmaan tieltä pois tai korvataan ilmaverkkoa maihin. Vanhempia kupari-ilma-verkkoja korvataan myös suurelta osalta langattomilla ratkaisuilla, kun verkon ylläpito ei ole enää kannattavaa ja tilalle saadaan riittävän hyvä mobiili yhteys.

Kotitalouksista vasta noin kuudella prosentilla on valokuituliittymä, mutta tulevaisuuden tarpeet toimivalle tietoliikenneyhteydelle voidaan nähdä nostavan tätä lukua. Esimerkiksi jatkuvasti lisääntyvät digitaaliset palvelut vaativat hyviä siirtoyhteyksiä, johon vain valokuitu pystyy sujuvasti. Yritystenkin voidaan nähdä myös kasvattavan valokuidun osuutta kupariin verrattuna tulevaisuudessa, kun koko ajan tarvitaan nopeampaa ja tietovarmempaa tekniikkaa. (Avoin kuitu a; Avoin kuitu b.)

Kun kotitaloudet ja yritykset tarvitsevat tulevaisuudessa valokuituliittymiä, niin tarvitaan sitä myös mobiiliyhteyksien parantamisia varten. Tulevaisuuden 5G-verkko vaatii toimiakseen riittävän paljon tukiasemia, joiden välit tulee rakentaa valokuidun varaan riittävän nopeuden aikaansaamiseksi. (Avoin kuitu b.)

Lyhyesti voidaan tiivistää kiinteän verkon tulevaisuuden osalta, että alan parissa työskentelevät ovat vakaan leivän parissa vielä vuosikymmeniä. Vaikka langattomat verkot kehittyvät koko ajan, on kiinteällä verkolla ja etenkin valokuidulla vielä valoisat näkymät pitkään, sillä uusia verkkoja tullaan rakentamaan ja vanhoja saneeraamaan jatkuvalla syötöllä.

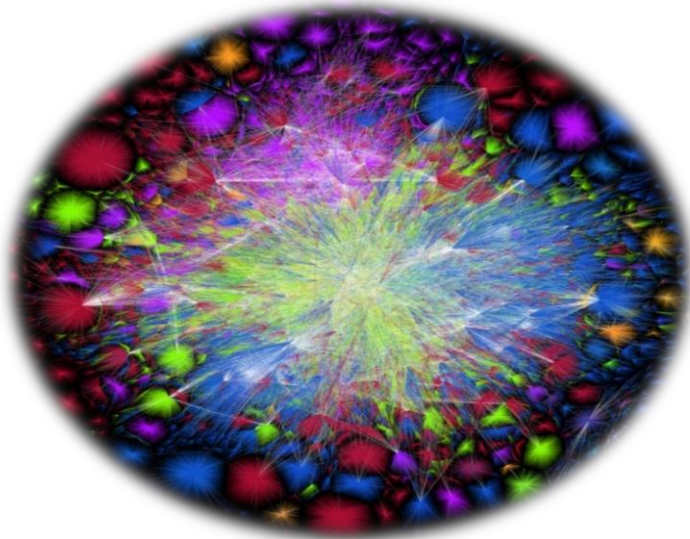
#### 2.4 Peruskäsitteitä kiinteästä televerkosta

Kuten aiemmissa kappaleissa on jo sivuttu, tarkoitetaan kiinteällä televerkolla verkkoa, jossa dataliikenteen siirtotienä käytetään kiinteästi asennettuja johtimia. Kiinteän verkon määritelmässä voidaan tosin ajatella myös niin, että johtimien kiinteää sijoitusta tärkeämpi asia on se, että niiden päät ovat sijoitettu kiinteästi. Jos verkossa käytetään radiolinkkejä, jotka ovat kiinteästi asennettuja, voidaan verkkoa pitää vielä kiinteänä verkkona. Tällä ajatustavalla myös satelliitit voidaan mieltää kiinteän verkon osaksi, kun maassa sijaitsevat asemat ovat kiinteästi asennettuja. (Kilkki 2015b, 93.)



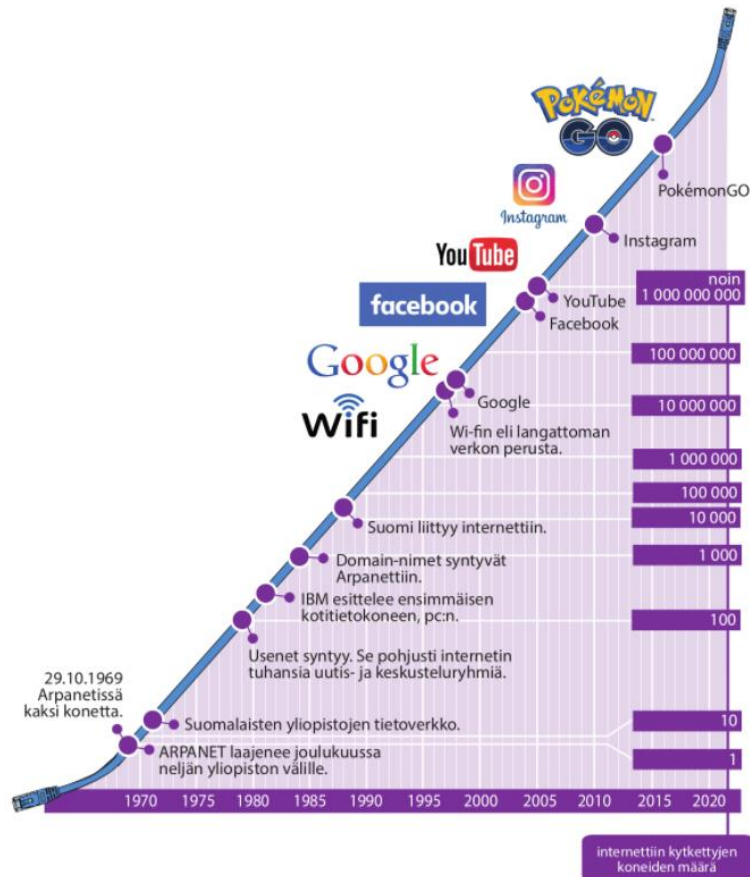
Kiinteän verkon vastakohta on niin ikään myös aiemmin mainittu mobiiliverkko, jonka tapauksessa päätelaitteet voivat liikkua suhteellisen vapaasti ja dataa saadaan liikuteltua johdottomia reittejä myöten eli käytännössä radioaaltoja pitkin. Satelliittiyhteyksien ollessa kytköksissä liikkuvaan maa-asemaan, on satelliitti osa mobiiliverkkoa. (Kilki 2015b, 93.)

Tunnetuin ja suurin yhteen liitettyjen verkkojen kokonaisuus, johon kaikilla on vapaa pääsy, on Internet. Internet on maailmanlaajuinen verkko, joka muodostuu useista pienemmistä toisiinsa kytketyistä kiinteistä ja mobiiliverkoista. Internetin rakenteesta on sen laajuuden vuoksi vaikea esittää yhtä havainnollistavaa kuvaa ja siitä on esitetty lukuisia eri versioita, joista yksi on kuviossa 9. (Peda.net b.)



Kuvio 9. Internetin rakenne (Opte 2015)

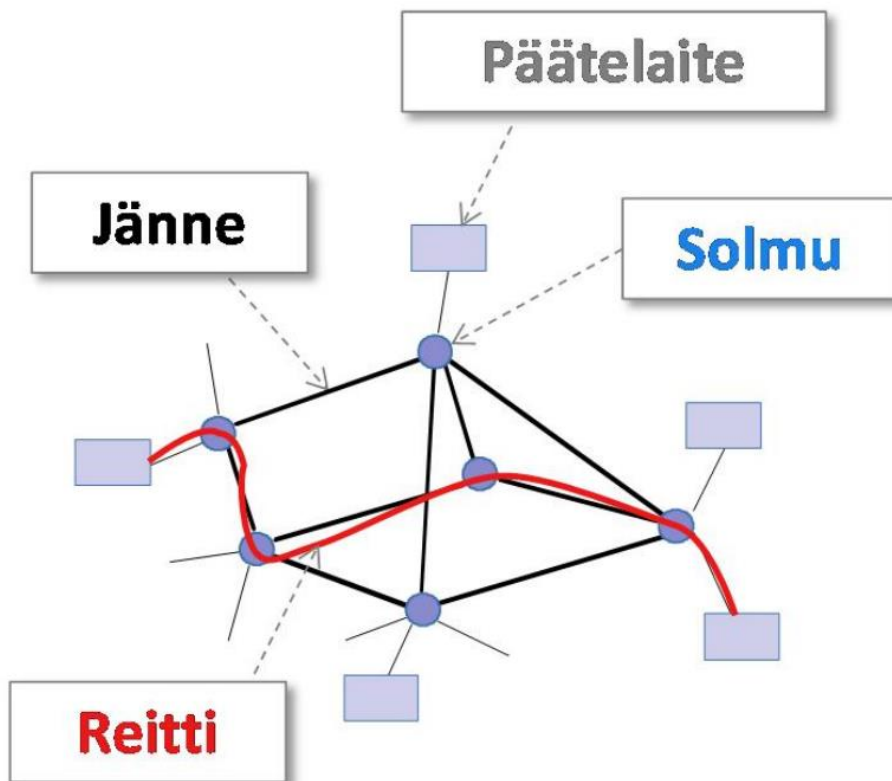
Se, että miten internet on kehittynyt vuosien saatossa ja kuinka siihen kytkettyjen koneiden määrä on kehittynyt sekä tulee kehittymään, on esitetty kuviossa 10.



Kuvio 10. Internetin kehitysaskleet (Peda.net b)

Keskeisiä termejä kiinteistä verkoista, jotka esitetty myös kuviossa 11: (Kilkki 2015b, 94.)

- **Verkko** (myös graafi): solmujen ja jänneiden muodosta kokonaisuus.
- **Solmu**: laite joka kykenee muodostamaan ja ylläpitämään yhteyksiä verkon muihin laitteisiin, graafiteoriassa käytetään myös nimitystä piste.
- **Jänne** (käytetään myös termejä linkki, viiva ja kaari): kahden solmun välinen yhteys. Periaatteessa jänneen päätepisteinä voi myös olla sama solmu.
- **Polku**: sarja toisiinsa liittyviä jänneitä ja solmuja.
- **Reitti**: polku kahden solmun välillä siten, että mikään jänne tai solmu ei esiinny enempää kuin kerran.
- **Päätelaite**: verkkoon yhden jänneen kautta kytketty laite.



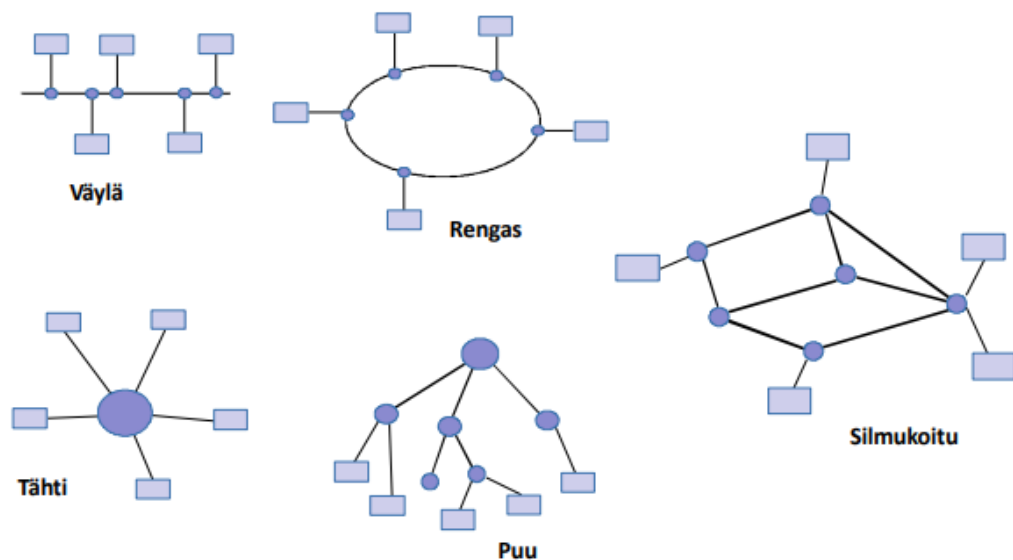
Kuvio 11. Kiinteän verkon termejä (Kilkki 2015b, 95)

Tämän päivän kiinteiden verkkojen rakenne on peräisin historiasta, eli puhelinverkkojen alkuajoista, kun teknologia oli analogista ja palveluissa oli monopoli-asema. Tuona aikana puhelujen ohjaus määrätti verkon rakennetta, niin kuin myös sen aikainen kustannusrakenne, kun kuparijohdot olivat suhteellisen kalliita. Myös alueelliset liiketoiminnan rakenteet, määrät ja niiden määrittämät hinnoittelut vaikuttivat verkon rakenteiden syntyyn. (Kilkki 2015b, 96.)

Samat historiallisen taustan tavat vaikuttavat myös tänä päivänä verkkojen rakenteisiin. Suurena vaikuttajana verkon rakenteelle on alueelliset asiakkaat, eli onko kyseessä henkilöasiakas, pienyritys tai suuryritys. Henkilöasiakkaiden liittymien tulisi olla mahdollisimman halpoja, kun yritysliittymissä edullisuuden edelle ajaa verkon suorituskyky, luotettavuus ja tietoturva. Perusteknologia on pääosin sama kaikille käyttäjäryhmille, mutta erot voivat vaikuttaa jossain määrin verkkojen rakenteisiin. (Kilkki 2015b, 96.)

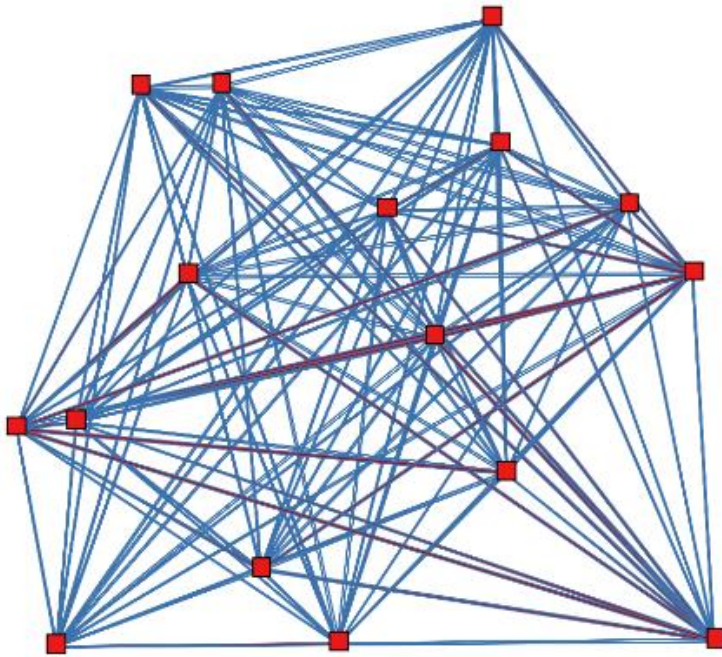
### 3 TOPOLOGIAT

Topologialla tarkoitetaan verkkorakennetta, eli muotoa minkä verkkoon liitetyt laitteet muodostavat (Kuvio 12). Tietoliikenneverkoissa topologian määrittäminen voi olla haastavaa määrittää, koska johtojen fyysinen sijainti ei välttämättä vastaa verkon toiminnallista rakennetta. Esimerkiksi lähiverkoissa, kun johdot kytketään tähtimäisesti yhteen pisteeseen, on verkko toiminnaltaan kuitenkin väylä tai rengas. Puhelinverkoistakin löydetään mahdollisesti eri rakenteita riippuen mistä kulmasta asiaa tarkastellaan. Esimerkiksi numeroinniltaan puumainen verkko voi olla fyysisesti silmukoitu rakenne, jotta verkko olisi luotettavampi. Tarkastellaan tässä opinnäytetyössä pääosin verkon fyysistä rakennetta. (Kilkki 2015b, 97.)



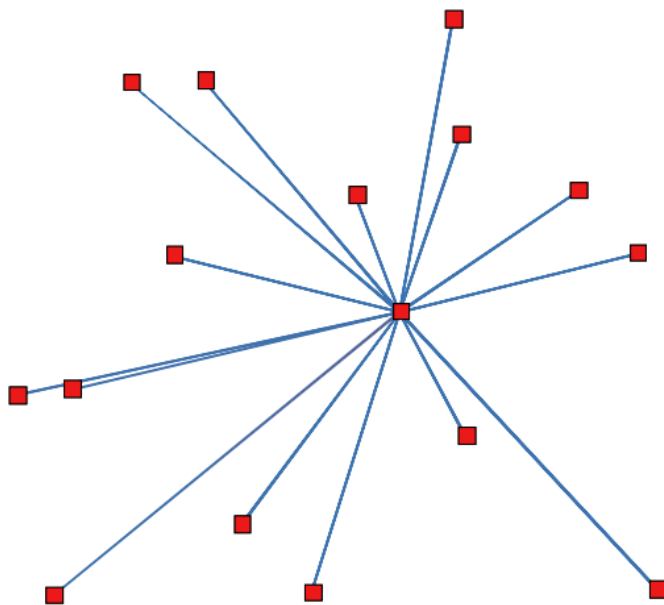
Kuvio 12. Topologioita eli verkon muodostamia rakenteita (Kilkki 2015b, 97)

Yksinkertaisimmillaan verkkorakenne on sitä, että kahden keskenään liikennöivän laitteen välille on rakennettu yhteydet, eli kiinteän verkon tapauksessa johto. Alkuaikojaan puhelinverkon muodostuivat juuri näin, eli jokaista osapuolta varten täytyi vetää oma johtonsa. Rakennustapa oli hyvin kallis ja epämiellyttävä viranomaisten ja maanomistajien näkökannasta suurien johtomäärien vuoksi. Verkkorakenteen ollessa osittain tällainen, kutsutaan sitä silmukoiduksi ja jos kaikki verkon osapuolet ovat kytketty erikseen toisiinsa, niin kutsutaan rakennetta täysin silmukoiduksi tai täysin kytketyksi (Kuvio 13). (Kilkki 2015b, 98.)



Kuvio 13. Täysin silmukoitu verkko (Kilkki 2015b, 98)

Kun keksittiin puhelinkeskukset, niin voitiin puhelinverkkoja alkaa rakentamaan tähtimäiseksi verkoksi (Kuvio 14), jolloin johtoreittejä tarvitaan huomattavasti vähemmän ja rakentaminen on selvästi kustannustehokkaampaa. (Kilkki 2015b, 98.)

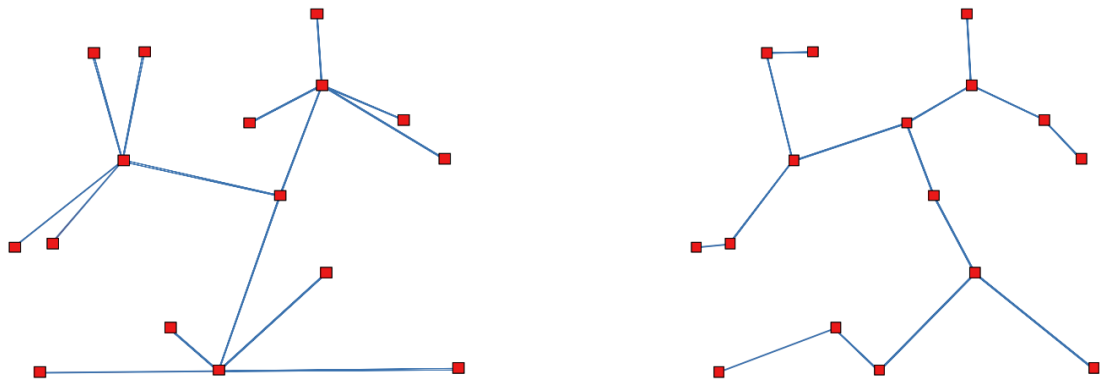


Kuvio 14. Tähtimäinen verkko (Kilkki 2015b, 98)

Tähtimäisessä verkossa eli jokaisesta osapuolesta menee johtotie yhteen tähtipisteeseen, joka ohjaa kaikkien verkossa olevien laitteiden välisiä yhteyksiä.

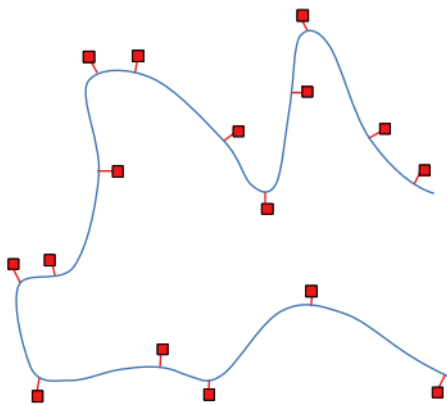
Tähtiverkkorakenne on yhteysliikenteen hallinnan mielessä hyvä ratkaisu, mutta ongelmana tässä topologiassa on luotettavuus, kun kaikki toiminta on yhteen pisteen varassa. (Kilkki 2015b, 99.)

Puutopologiassa (Kuvio 15) johtoreitit lähtevät yhdestä pisteestä ja kukin johto voi saada haaroja, jotka voivat taas haarautua uudelleen ja uudelleen. Tällainen rakenne voi muodostua herkästi monimutkaiseksi ja epäselväksi. (Kilkki 2015b, 99.)

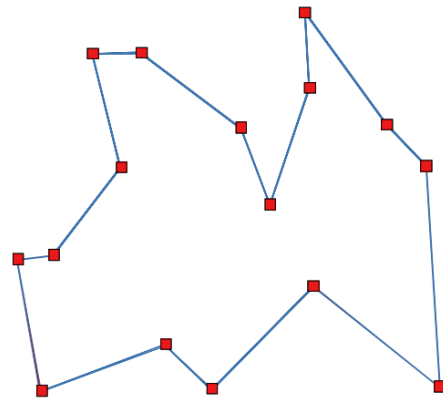


Kuvio 15. Puumaisia verkkoja (Kilkki 2015b, 99)

Kuviossa 15 on esitetty kaksi erilaista puumaista verkkoja, jossa verkkoon kytettyjen laitteiden paikat ovat samat. Vasemmanpuoleinen verkko on yksinkertainen hierarkkinen verkko, kun taas oikealla puolella esitetty verkko on pyritty mahdollisimman lyhyisiin jänteisiin yhdistämällä laitteita toisiinsa. (Kilkki 2015b, 99.)



Kuvio 16. Väylä (Kilkki 2015b, 99)

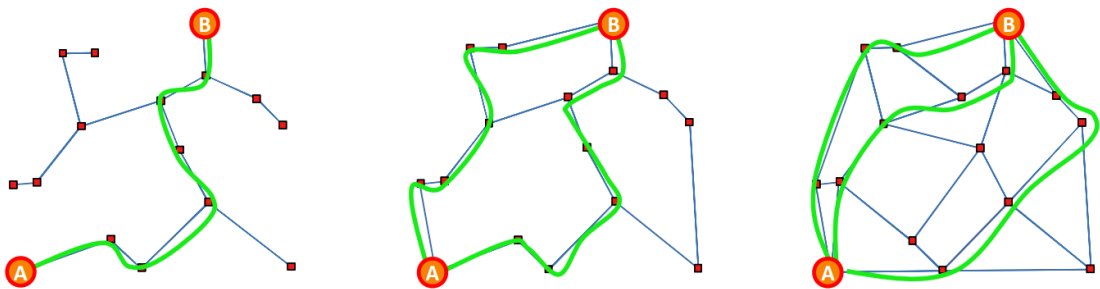


Kuvio 17. Rengas (Kilkki 2015b, 100)

Kuviossa 16 on esitetty verkkorakenne väylän muodossa. Tässä verkossa laitteet ovat kiinnitetty yhteiseen siirtotiehen. Kun tällaisen väylän molemmat päät yhdistetään suljetusti toisiinsa, niin saadaan muodostettua kuvion 17 tapainen rengasverkko. (Kilkki 2015b, 100.)

Kuten kuvioista 13-17 voidaan nähdä, laitteiden sijaintien pysyessä samoina, voi jännevälit muuttua suuresti riippuen topologiasta. Kun ajatellaan johtoverkkoja, niin ne muodostuvat lähes poikkeuksetta useista eri topologioista, joihin vaikuttavat muun muassa alueellinen maasto ja asiakaskunta. (Kilkki 2015b, 100.)

Kuviossa 18 on kolme erilaista verkkoa, jossa verkkolaitteiden paikat ovat samat. Ainoat erot esiintyvät jänteiden määrässä ja reiteissä, joten kuvioista voidaan huomata, että mitä enemmän johtoreittejä on silmukoitu, niin sitä enemmän saadaan erilaisia reittivaihtoehtoja.



Kuvio 18. Topologioiden vaikutus reittivaihtoehtojille (Kilkki 2015b, 102)

Verkkorakenteita suunnitellessa ja rakentaessa on huomioitava solmukohtien ja mahdollisesti tärkeiden laitteiden väliset johtotiet niin, että niiden välillä olisi toimiva varayhteys eikä esimerkiksi kaivinkoneen katkaistessa ainoan johdon, lakkaisi koko kyseisen solmun perässä oleva verkko toimimasta vaan varayhteys kytkeytyisi automaattisesti päälle. Varayhteyden johtoreittikin tulee sijoittaa selvästi eri reitille vähintään niin, ettei kaivinkoneella saada katkaistua pää- sekä varayhteyttä yhdellä kuopaisulla.

On huomioitava myös se, että yhteyksien viat voi aiheutua myös muusta syystä kuin kaivinkoneella aiheutetusta vahingosta. Kuviossa 19 on esitetty tyypillisiä

syitä, mistä johdoissa johtuvat viat voi olla peräisin, kun ne on asennettu maanvaraisesti ilman suojausta tai maanvaraisesti putkeen asennettuna. Lisäksi viat voi aiheutua myös laitteiston tai ohjelmointien virheistä. Yleisesti ottaen johtoreitien suunnittelussa pyritään minimoimaan inhimillisten virheiden vaikutus. (Kilkki 2015b, 101.)

	Sellaisenaan upotettu kaapeli	Putkitettu kaapeli
<b>Kaivuu</b>	<b>80 %</b>	<b>65 %</b>
<b>Jyrsijä</b>	<b>5 %</b>	<b>2 %</b>
<b>Työmiehet</b>	<b>2 %</b>	<b>13 %</b>
<b>Tulva</b>	<b>2 %</b>	<b>-</b>
<b>Salama</b>	<b>2 %</b>	<b>-</b>
<b>Höyry</b>	<b>-</b>	<b>2 %</b>
<b>Äärimmäinen lämpötila</b>	<b>-</b>	<b>2 %</b>
<b>Muut syyt</b>	<b>9 %</b>	<b>17 %</b>

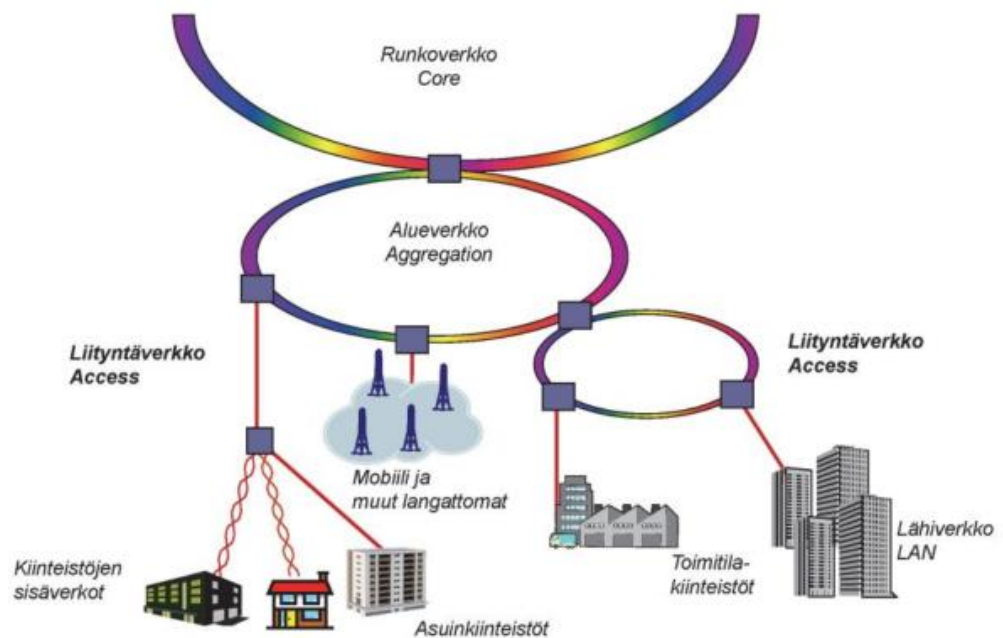
Kuvio 19. Kaapelivikojen tyypillisiä syitä (Kilkki 2015b, 101)



## 4 OPTINEN VERKKO

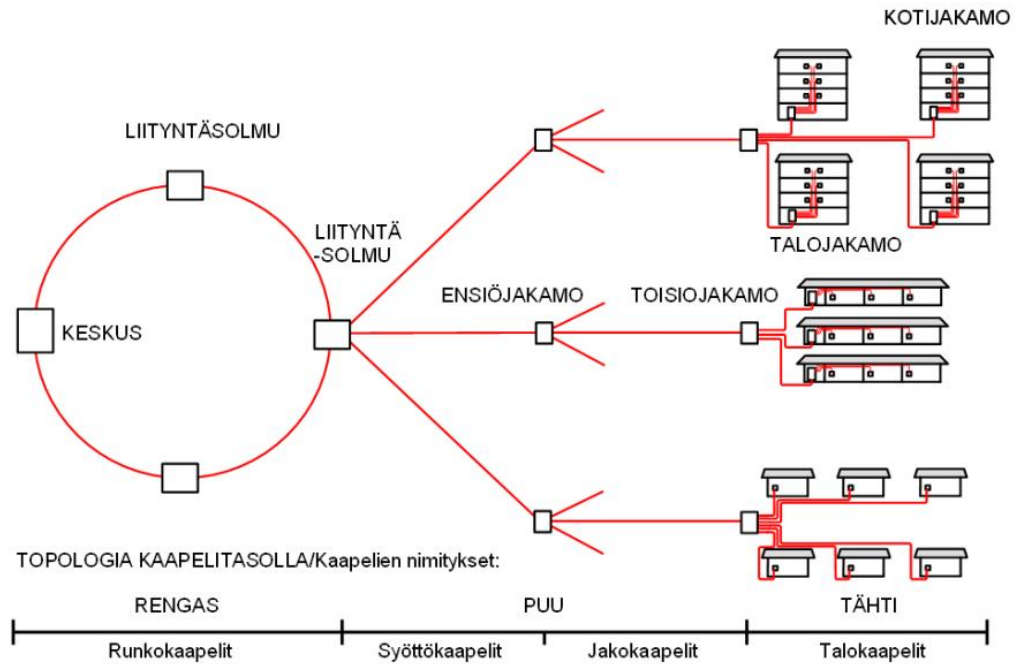
Yleisesti ottaen optiset verkot koostuvat liityntäverkoista ja niitä toisiinsa yhdistävistä runkoverkoista. Verkot voidaan jakaa karkeasti kolmeen tasoon kuvion 20 mukaisesti seuraavassa hierarkkisessa järjestyksessä: (Marttila 2015, 7.)

- Runkoverkko
- Alueverkko
- Liityntäverkko



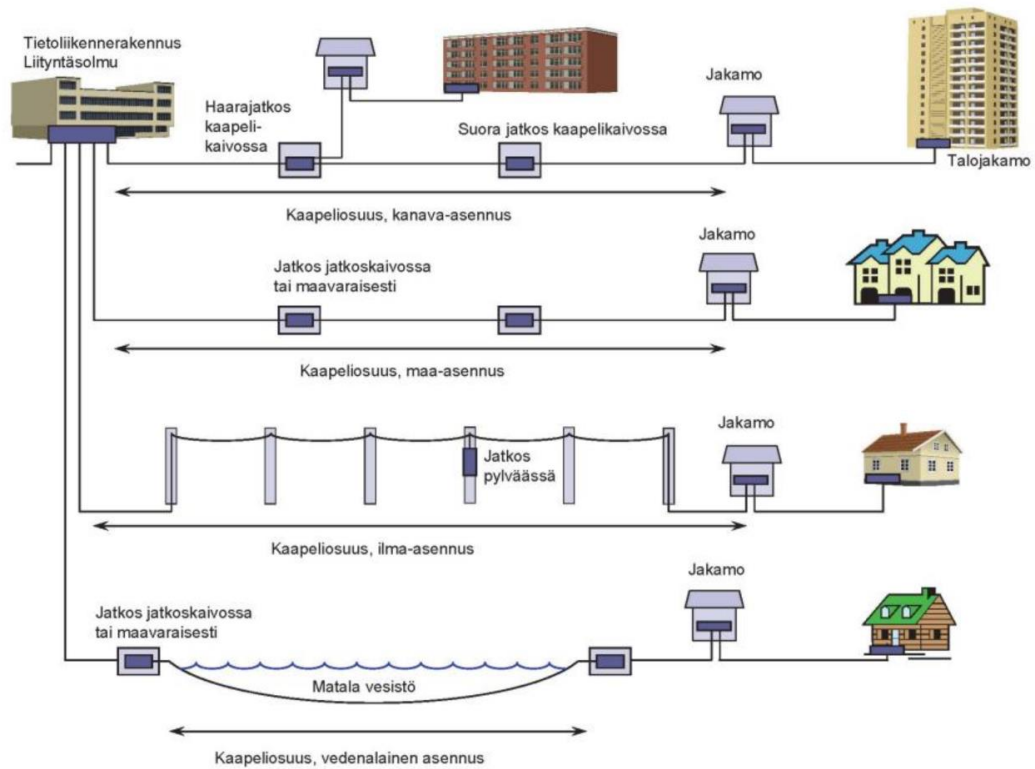
Kuvio 20. Optisen verkon perusrakenne (Marttila 2015, 7)

Liityntäverkoilla tarkoitetaan sitä verkon osaa, jossa verkkoon liitetään kiinteistöjen sisäverkot ja sitä myötä loppuasiakkaiden päätelaitteet eli esimerkiksi tietokoneet ja pelikonsolit. Toissijaisia nimityksiä liityntäverkoille on myös tilaajaverkko tai paikallisverkko. (Viestintävirasto 2009, 13.)



Kuvio 21. Optisen liityntäverkon rakenne kaapelitasolla sekä kaapelointien nimitykset (Viestintävirasto 2009, 13)

Kuviossa 21 on esitetty optisen liityntäverkon rakenne kaapelitasolla ja siitä voidaan nähdä, miten kaapelitasot vaikuttavat yleisesti ottaen verkon topologiaan. Runkokaapeloinnit rakennetaan rengasverkoiksi, kun siinä olevista solmukohtista lähtevät syöttö- ja jakokaapelit muodostavat puumaista verkkoa jakamoita tai haarajakoja käyttäen. Lopuksi, kun valokaapeli vie kiinteistön päähän joko talo- tai kotijakamoon, haarautuu sisäverkko tähtiverkon muodossa. Kuten jo aiemminkin on mainittu, voi alueellinen verkko koostua ja usein koostuukin useista eri topologioista muodostaen enemmän tai vähemmän silmukoitunutta verkkoa.



Kuvio 22. Optisen liityntäverkon rakennetta eri asennustavoilla rakennettuna (Marttila 2015, 96)

Optista verkkoa voidaan rakentaa monilla eri tavoin. Kuvioista 22 voidaan nähdä muutamia esimerkkejä asennustavoista, eli liityntäsolmulta aina asiakkaan päähän voi kaapelointi kulkea vaihtoehtoisesti niin maanvaraisesti, ilmassa kuin vedessä ja matkan varrella voi esiintyä niin haara- kuin suorja jatkoksia. Lähdetään tarkastelemaan tässä opinnäytetyössä pääosin tänä päivänä eniten käytettyä menetelmää, eli maanvaraisesti asentamista.

## 5 OPTISEN VERKON LAITTEET

### 5.1 Metro

Solmulla tarkoitetaan aktiivilaitetta, johon loppuasiakkaan, eli kiinteistön sisäverkko kytketään kaapelireittien välityksellä. Optiset liityntäverkot voidaan toteuttaa Metro Ethernet verkkona (ME), jolloin solmukohdassa toimii aktiivilaite, jolle käytetään nimitystä metro. Yksi metrojen valmistajista on esimerkiksi Nokia, jolta metroja löytyy useita eri verisoita ja esimerkiksi yksi sen laitteista on mallimerkinnältään 7750 SR-a4 (Kuvio 23). (Nokia 2017.)



Kuvio 23. Nokian metro mallimerkinnältä 7750 SR-a4 (Nokia 2017)

Kuvion 23 laite on ulkoisilta mitoiltaan 22.2 cm (korkeus) x 44.5 cm (leveys) x 30 cm (syvyys) ja se painaa noin 26 kilogrammaa. Tällaisia metroja voidaan sijoittaa erilaisiin laitetiloihin, joka voi olla esimerkiksi jokin operaattorin joko omistama tai vuokraama ison kiinteistön huone. Laitetila voi myös olla kuvion 24 tapainen operaattorin oma tai vuokraama lämmitettävä keskuskoppi. (Nokia 2017.)



Kuvio 24. Esimerkkejä laiteloista (Marttila 2015, 105)

Metrolta lähdetään rakentamaan liityntäverkkoa kohti loppuasiakkaita. Yhdestä metron portista saadaan käytettävästä metrosta riippuen yhteys aina yhdelle tai kahdelle liikekiinteistölle tai luvussa 7.2 esitetylle kytkimelle. Se, miten kaapeloinnit toteutetaan laitetilasta ulos, on aina operaattorikohtaista ja katsotaan aina tilanteen vaatimalla tavalla.

## 5.2 Kytkin

Koska metrosta saatava yhteysnopeus on suuri ja itse laitteen liityntäpaikat ovat hyvin rajalliset, voidaan sen perään kytkeä optinen verkkokytkin (Kuvio 25). Verkkokytkimen pääasiallisena ajatuksena on jakaa yhdestä metron liityntäportista yhteys useammalle yksityiselle liittyjälle eli esim. omakotitalolle tai rivi- tai kerrostalohuoneistolle. Kytkin on siis myös solmu, joka on kytketty metrosolmun perään. Kytkimiä voidaan ketjuttaa perätysten, jos kytkimen ominaisuudet ja operaattorin ohjeet sen sallivat, jolloin yhdestä metron portista saadaan käyttöön jo useita kymmeniä yksityisten asiakkaiden valokuituliittymiä.



Kuvio 25. Huawei S5300-52X-LI-48CS-AC verkkokytkin (Huawei 2014)

Verkkokytkin voidaan sijoittaa esimerkiksi samaan laitetelineeseen kuin missä metrokin sijaitsee, eli sen sijainti voi olla metron tapaan operaattorin omistamassa tai vuokraamassa laitetilassa. Kytkin voidaan myös taloyhtiön eli rivi- tai kerrostalon tapauksessa sijoittaa kiinteistön talojakamoon, eli huoneeseen, mistä muu kiinteistön sisäverkko lähtee.

### 5.3 Kaapelit

Valokuitukaapelit ovat kaapeleita, joiden sisällä on eri määrä optisia kuituja. Kaapelimalleja on useita erilaisia riippuen sen käyttötarkoituksesta, eli esimerkiksi siitä, että onko ko. kaapelia tarkoitus asentaa maahan, veteen, ilmaan vai sisälle. Kaapelirakenteet ovat näiden muuttujien mukaan erilaisia, mutta yleisesti ottaen ne muodostuvat erilaisista optisia kuituja suojaavista kerroksista. Kuviossa 26 on esitetty valokuitukaapeleiden perusrakenteita ja niiden kaksi ensimmäistä suomalaisen tyyppimerkinnän kirjainta. (Marttila 2015, 34.)



Kuvio 26. Valokuitukaapeleiden perusrakenteet (Marttila 2015, 34)

Nämä optiset kuidut, joita kaapelirakenne suojaa, ovat pääasiassa kvartsilasista valmistettuja valokuituja. Halvemmissa ja vähemmän vaativissa kohteissa kuidut voi olla myös osittain tai kokonaan muovia, mutta pidetään ajatuksena, että tässä opinnäytetyössä käsiteltävissä kaapeleissa kuidut ovat kokonaan lasista valmistettuja. (Marttila 2015, 34.)

FIN 2012		
	Kuidun väri	Kuitu
	sininen (SI)	1
	valkoinen (VA)	2
	keltainen (KE)	3
	vihreä (VI)	4
	harmaa (HA)	5
	oranssi (OR)	6
	ruskea (RU)	7
	turkoosi (TU)	8
	musta (MU)	9
	violetti (VT)	10
	vaaleanpunainen (VP)	11
	punainen (PU)	12

Kuvio 27. FIN 2012 -värijärjestelmä (Marttila 2015, 44)

Yleisimmät kaapeleiden kuitumäärät ovat 4, 12, 24, 48, 96, 192, 288, 384 ja 432. Jotta kuidut voidaan erotella toisistaan kaapeleiden sisällä, on tätä varten kehitetty erilaisia värijärjestelmiä, joista kuviossa 27 on esitetty Suomessa paljon käytetty FIN 2012 -värijärjestelmä. Tällaisen järjestelmän käyttöä varten kuidut tulee jakaa 12 kappaleen nippuihin, joissa jokainen kuitu on oman värisensä. Jos kuitunipun määrä on pienempi kuin 12, voi viimeinen väri olla värijärjestelmästä poiketen punainen. (Marttila 2015, 44.)

#### 5.4 Kaapelijatkokset

Koska ei ole teknisistä ja taloudellisista syistä järkevää rakentaa metroilta tai kytkimeltä kaapelia erikseen jokaiselle liittyjälle, käytetään välissä erilaisia jakamoita ja jatkoksia kaapeliverkon haaroituksia varten. Kaapelijatkoksia käytetään myös tapauksissa, kun käytettävissä oleva kaapeli loppuu tai menee poikki ja se tulee jatkaa.



Kuvio 28. Erilaisia valokaapelijatkoksia (Nestor Cables a; Onninen a; Onninen b)

Kuviossa 28 on esitetty esimerkkejä erilaisista kaapelijatkoksista, joita käytetään valokaapeleiden jatkamiseen, kun puhutaan maanvaraisesti asennetuista kaapeleista. Jatkokset ovat vesitiiviitä, joten ne voidaan sellaisenaan jättää maanvaraiseksi. Esimerkiksi taajama-alueella on kuitenkin syytä ottaa huomioon mahdolliset jälkiliittymät verkkoon, jolloin kaapelijatkos voidaan sijoittaa myös helpommin esille kaivettavaan muovikaivoon (Kuvio 29).



Kuvio 29. Valokaapelijatkos ja sondipallo muovikaivossa (Nestor Cables a)

Muovikaivon syvyys on yleensä sellainen, että kaivon päästään käsiksi kaivamalla vain pintamaat päältä pois. Muovikaivon kestävyyden vuoksi sitä ei voida asentaa liikennöidylle väylälle, vaan sen tulee sijaita kohdassa, johon ei ajoneuvoilla ole tarkoitus päästä. Niin muovikaivoon kuin maanvaraiseen jatkokon on aina syytä laittaa sondipallo (Kuvio 29), jonka avulla jatkos voidaan etsiä maan



päältä siihen tarkoitetulla hakulaitteella. Jos kaivoa ei voida sijoittaa liikennöimättömälle alueelle, niin tulee muovikaivon sijasta käyttää betonikaivoa (Kuvio 30).



Kuvio 30. Betoninen jatkoskaivo (Nestor Cables e)

Tiheästi asutetulla taajama-alueella ei enää kaivojen käyttö ole järkevää, jos jälkiliittyjiä on tiedossa runsaasti ja voidaan olettaa, että verkko vaatii tulevaisuudessa muutoksia. Tällaisessa tapauksessa on järkevin tapa käyttää kaapelijatkosten ja -haarojen kohdalla jakokaappia (Kuvio 31). Jakokaappiin on mahdollista sijoittaa perinteisiä kaapelijatkoksia, mutta käytännöllisempi tapa on käyttää jakokaapin sisällä siihen tarkoitettua jatkoskaappia.












Kuvio 31. Vasemman puoleiseen jakokaappiin on sijoitettu jatkoskaappi, kun oikean puoleisessa kaapissa valokaapelijatkos on viety jakokaappiin, jossa on myös kuparikaapeleita (Onninen 2011a)

## 5.5 Kaapeloinnin päättäminen

Kun valokuidut ovat kulkeutuneet erilaisten kaapelireittien kautta kiinteistön päähän, tulee kiinteistöön menevä kaapeli päättää sinne, niin että loppuasiakas saa verkkoyhteydet käyttöönsä. Kaapeloinnin päättämisessä tarvittavat laitteet vaihtelevat muun muassa sen mukaan, millainen kiinteistö on kyseessä. Pääsääntöisesti tarvittavat laitteet kiinteistön päähän ovat:

- Etujatkos, jossa ulkokaapeli muutetaan sisäkaapeliksi
- Valokuitupääte, johon valokuitukaapeli päätetään
- Verkkopääte / kytkin, joka liitetään valokuitupääteeseen ja johon voidaan kytkeä kiinteistön sisäverkko ja päätelaitteet

Kuviossa 32 on esitetty esimerkkejä kiinteistön päähän tulevista laitteista sen mukaan, onko kyseessä omakotitalo, taloyhtiö vai liikekiinteistö.

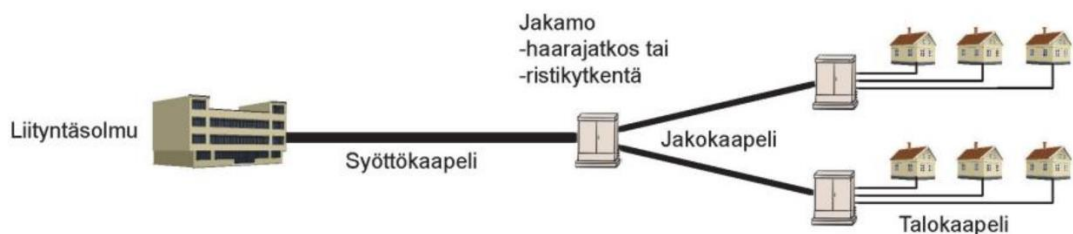
Valokuitukaapelin päättäminen kiinteistöön	Omakotitalo	Taloyhtiö	Liikekiinteistö
Etujatkos			
Valokuitupäätte			
Verkkopäätte / Kytkin			

Kuvio 32. Valokuitukaapelin päättäminen kiinteistöön (Juniper 2018; SLO; Router Switch 2018; Onninen c; Onninen d; Onninen e; Onninen f; Onninen g)

Ulkokaapeli tulee muuttaa sisäkaapeliksi viestintäviraston paloturvallisuusmääräyksen myötä, joka sallii ulkokaapelin tuonnin sisälle korkeintaan viiden metrin matkalta. Tämä sääntö perustuu standardin SFS 600-5-52 kohtaan 527.1.4, joka määrittää paloluokan  $F_{ca}$  tietoliikennemateriaalin suurimmaksi sallituksi pituudeksi sisätiloissa viisi metriä. Sama standardi määrittää myös, että tällaista kaapelia ei saa kuljettaa palo-osastosta toiseen. Tällä säännöllä haetaan palon leviämistä ja savuamista aiheuttavien materiaalien minimoimista sisätiloissa. (Viestintävirasto 2018c.)

## 6 SUUNNITTELU

Suunnittelu on se verkon rakentamisen vaihe, jossa vaikutetaan eniten verkon elinkaaren kustannuksiin. Suunnittelua tehdessä tulee osata huomioida alueen sen hetkiset potentiaaliset verkkoon liittyjät sekä tulevaisuuden tarpeet. Jotta suunnittelija voi tehdä valintoja erilaisista toteutusvaihtoehdoista, tulee hänen hahmottaa jo tässä opinnäytetyössä kirjoitetun infrastruktuurisen fyysisen verkon laitteiden ja kaapelitopologian lisäksi kuitutopologia. Kuitutopologialla tarkoitetaan kaapeleiden sisällä kulkevien kuitujen muodostamaa rakennetta, jossa on huomioitu reitin varrella sijaitsevat mahdolliset jatkokset.

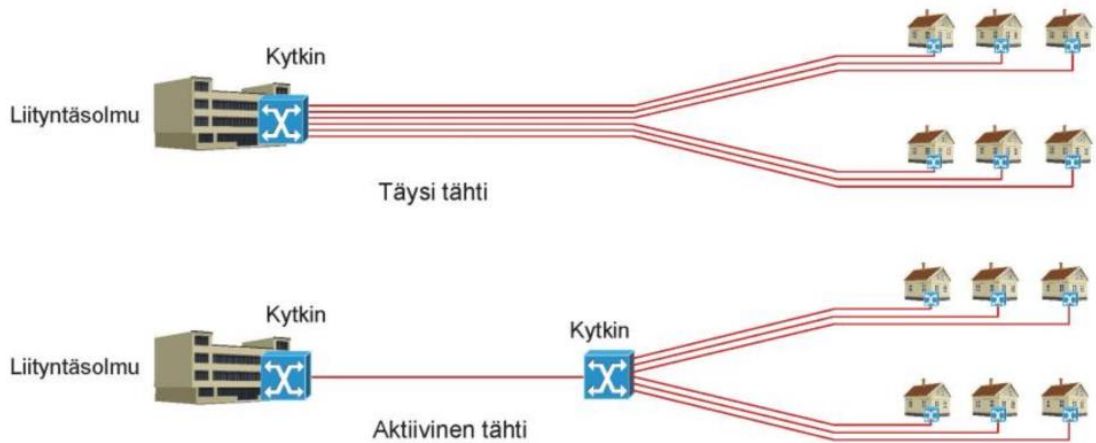


Kuvio 33. Kaapelitopologia (Marttila 2015, 99)

Kuviossa 33 on esitetty yksinkertaistettuna kaapelitopologia omakotitaloalueelle rakennettuna. Kuvioista huomataan, että omakotitaloja varten on rakennettu vain yksi syöttökaapeli liityntäsolmulta jakamoon, josta haarautuu kaksi kaapelia omakotitaloja syöttäviin jakamoihin. Näin ollen fyysisestä kaapeliverkosta muodostuu puumainen verkko.

Kuviossa 34 on taasen esitetty sama kaapelirakenne kuitutopologiana kahdessa eri vaihtoehdossa: (Marttila 2015, 98.)

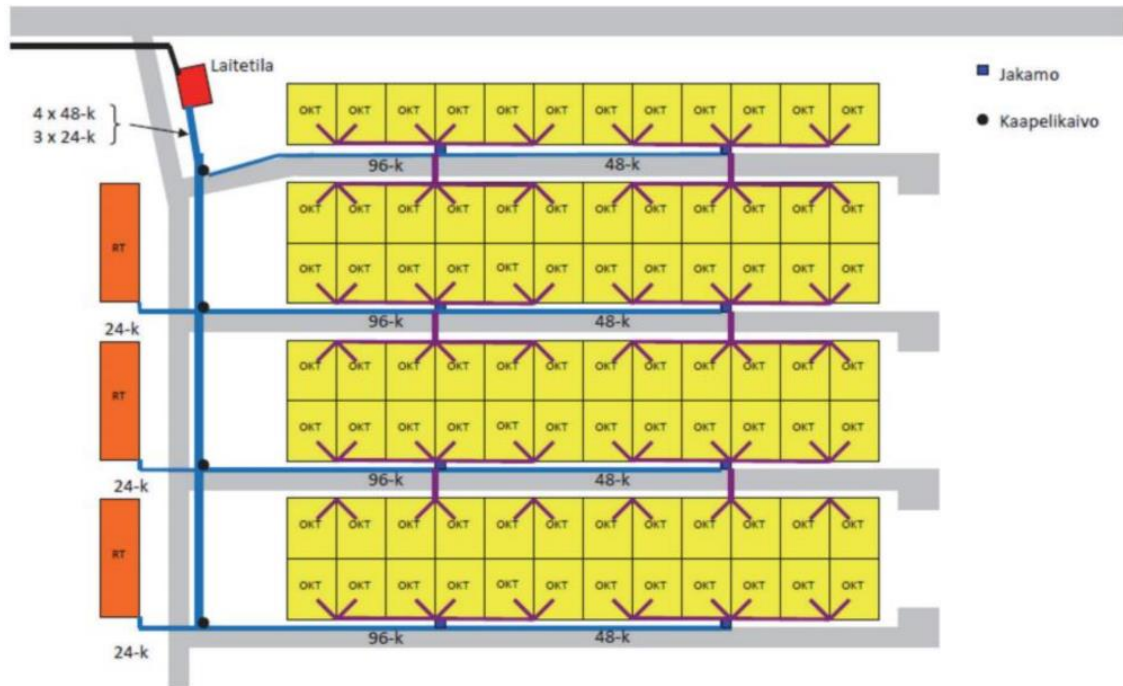
- Ylemmässä versiossa on kytkin asennettu laitetilaan, josta syöttö lähtee. Kuidut kulkevat ensimmäisen jakamon kautta vain haaroittuen siinä, jolloin kuitutopologiaksi muodostuu täysi tähtiverkko, vaikka kaapeliverkko onkin puumainen.
- Alemmassa versiossa on asennettu toinen kytkin jakamoon, jossa kaapelit haarautuvat, jolloin muodostuu topologiaksi aktiivinen tähti.



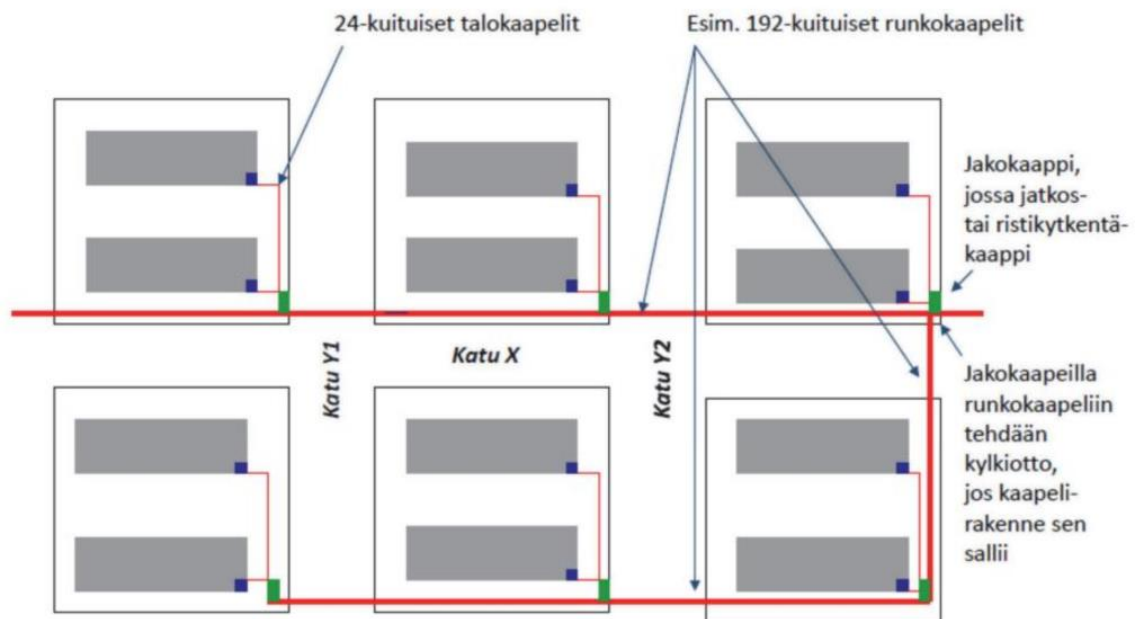
Kuvio 34. Kuitutopologia (Marttila 2015, 98)

Molemmissa tapauksissa on ajateltu, että omakotitalon yhteyttä varten riittää yksi valokuitu. Tekniikkana voi olla myös kahden kuidun tekniikka, jolloin rakenne pysyy täysin saman, mutta kuitumäärät vain tuplaantuvat. Se, että käytetäänkö yhteytenä yhden vai kahden kuidun tekniikkaa, riippuu yhteyttä myyvästä operaattorista ja käytettävissä olevista laitteista. Lisäksi yhteyden lävitse saamisen lisäksi, voi operaattorikohtaisesti olla eroja, että viedäänkö kiinteistöä kohti myös eri määriä ylimääräisiä kuituja. (Marttila 2015, 101.)

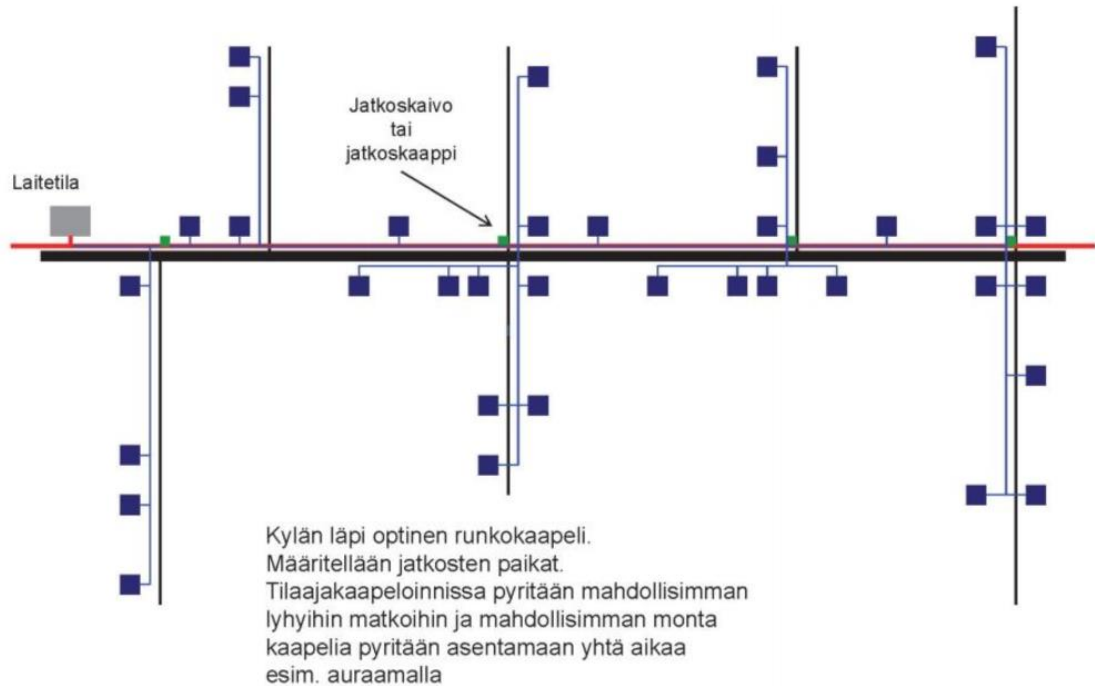
Kuvioissa 35, 36 ja 37 on esitetty mahdollisia kaapelointitapoja erilaisille alueille, kun omakotitaloa kohti kytketään kaksi kuitua ja taloyhtiötä varten 24 kuitua. (Marttila 2015, 114.)



Kuvio 35. Esimerkki omakotitaloalueen kuitukaapeloinnista (Marttila 2015, 114)



Kuvio 36. Esimerkki kaupunkialueen kuitukaapeloinnista (Marttila 2015, 115)



Kuvio 37. Esimerkki haja-asutusalueen kuitukaapeloinnista (Marttila 2015, 115)

Sen lisäksi, että ymmärtää kuitutopologian ja verkon toiminnan kauttaaltaan, on myös selvitettävä suunniteltavalla alueella olemassa olevat laitteet, kaapeloinnit ja muut haitat kuten esimerkiksi kaukolämmön sijainti. Esimerkiksi jakokaappien sijoituksissa tulee huomioida olevat sähkökaapit, joiden viereen uudet kaapit tulisi asentaa siistin kokonaiskuvan saavuttamiseksi.

Olemassa olevat haitat ja maaperän rakenne vaikuttavat osaltaan siihen, että millaista luvussa 10 esitettyä maanrakennusmenetelmää tulisi käyttää, joka taas puolestaan vaikuttaa eniten siihen, mitä verkon rakentaminen tulee kustantamaan. Toinen suuri kustannustekijä on teletöistä johtuva, eli kaapeleiden jatkamisesta syntyvät kustannukset. Kolmas kustannuksiin vaikuttava tekijä on käytettävät materiaalit.

Uutta verkostoa suunnitellessa on myös huomioitava mahdolliset yhteistyökumppanit. Jos alueella on toinenkin osapuoli samoihin aikoihin tekemässä myös kaivutöitä, on järkevää sopia kaivantojen yhteiskäytöstä, ettei reittiä tarvitse moneen otteeseen kaivaa ja tällöin myös saadaan syntyviä kustannuksia jaettua.

Kaikkeen uuteen rakentamiseen ja kaapeleiden sijoittamiseen tulee hakea myös luvat maanomistajalta tai aluetta valvovalta viranomaiselta kuten kaupungilta tai ELY-keskukselta. Alueen omistaja tai valvova viranomainen voi myös ohjata ja neuvoa rakentamista, sillä heillä voi olla tietoa alueen maanalaisista rakenteista, mitä ei järjestelmistä ja maan pinnalta näy. Lisäksi heillä voi olla tietoa alueelle suunnitelluista maanrakennushankkeista, joiden mukaan uusia kaapelointeja voidaan suunnitella ennakoivasti eri paikkaan hankkeiden haitoilta.

Kun kaikki reitit ovat selvitetty, syntyvät kustannukset ovat arvioitu ja luvat haettu, tekee suunnittelija sellaiset dokumentit, joilla suunnitellun reitin rakentaminen voidaan suorittaa. Rakentamisen jälkeen toteutuneet reitit taltioidaan järjestelmiin, eli dokumentoidaan, jotta osataan tulevaisuudessa katsoa olevien reitien sijainnit ja mahdollisesti jatkaa suunnitteluja niiden mukaan.



## 7 TELETYÖT

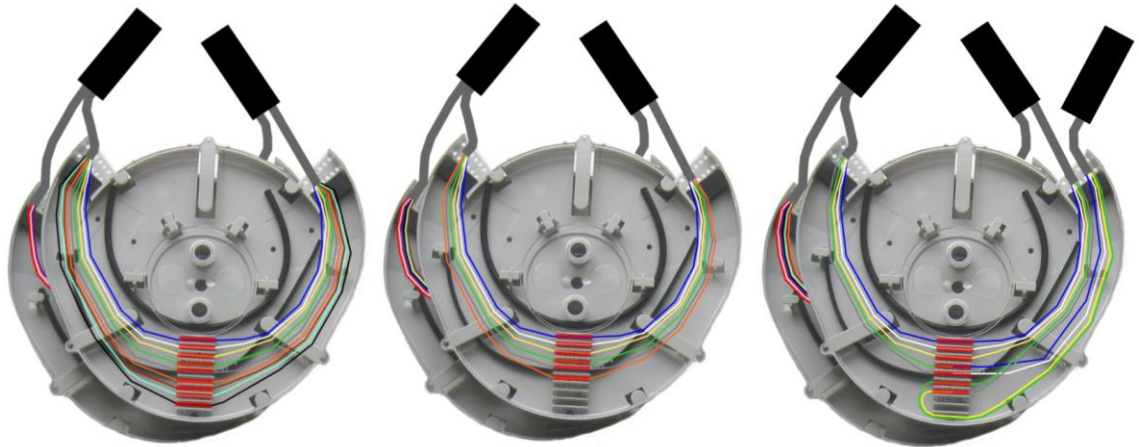
Teletöihin lukeutuu kaikenlaisten päätelaitteiden asentamisen lisäksi valokaapeleiden jatkamiset ja päättämiset. Jatkamisen tarkoituksena on saada kaapelin sisällä kulkevat kuidut kulkemaan yhtenä kappaleena käytettävän jatkoksen läpi, jolloin itse jatkoskotelon tehtävänä on vain suojata jatkettuja kuituja. Päättämisessä valokuidut on tarkoitus jatkaa kuitupäätteen sisällä oleviin häntäkui-tuihin, jotka menevät valmiiksi liittimille, mistä kuitureittiä voidaan jatkaa kytkennällisesti.

Esivalmisteluna kuitujen jatkamiselle tulee jatkettavat kaapelit mitoittaa jatkosta varten niin pitkälle, että siinä riittää työvaroja. Työvaroilla tarkoitetaan mitoitusta niin, että kaapeli voidaan viedä esim. työpöydälle jatkamisen ajaksi. Lisäksi mitoituksessa tulee huomioida varat pituudessa siihen, että ennen kuitujen jatkamista varten kaapelia tulee kuoria noin 1-3 metriä riippuen käytössä olevasta jatkoksesta riippuen. Kuorinta suoritetaan, jotta kuidut voidaan jatkaa eli hitsata kuvion 38 tapaisessa kuitujatkoskoneessa.



Kuvio 38. Kuitujatkoskone (TEK Finland 2018)

Kun kuitu on hitsattu, siirretään valmis kuitujatkos jatkoskotelossa sijaitsevalle jatkoslevylle (Kuvio 39). Kuituja jatkaessa onkin huomioitava jatkoslevyllä olevien jatkospaikkojen määrä niin, ettei esimerkiksi suoraa jatkoa tehdessä käytettäisi kaikkia levyllä olevia jatkospaikkoja, vaan jätettäisiin tulevaisuuden tarpeita ajatellen muutosvara. Kuviossa 38 on vasemmalla jatkoslevy, johon on tehty suora jatko kalustaen levy täyteen ja keskellä on suora jatko, jossa levy on kalustettu vain osittain täyteen. Oikean puoleiseen levyyn on tehty jälkikäteen haarajatto, jolloin osittain kalustettuun levyyn on voitu vielä lisätä kuitujatkoksien määriä. Kuvion esimerkit ovat hyvin kärjistettyjä, sillä kyseiseen levyyn mahtuu todellisuudessa 36 kuitujatkosta ja kuidut ovat oikeasti levyn sisällä kiepillä työvarojen vuoksi.



Kuvio 39. Jatkoslevyjä eri tavoin kalustettuna (Sähkönumerot)

Kun valokuidut päätetään jollekin päätteelle, hitsataan ne vastaavalla tavalla päätteessä oleviin häntäkuituihin. Kiinteistöjen päähän asennettavien päätteiden lisäksi on kaapelit mahdollista päättää esimerkiksi ristikytkentäkaapissakin käytettäville liitinlevyille (Kuvio 40). Ristikytkentäkaappi on vastaavanlainen jakokaapin sisään asennettava kaappi kuin tavallinen jatkoskaappi, mutta siinä on jatkoslevyjen lisäksi liitinlevyjä, joissa voidaan tehdä kytkentöjä kytkentäkuituja käyttäen.

Kuvio 40. Kytkentöjä ristikytkentäkaapin sisällä olevissa liitinlevyissä (Onninen 2011b)



## 8 MAANRAKENNUSMENETELMÄT

### 8.1 Kaapelinäyttö

Ennen kuin päästään varsinaiseen maanrakentamiseen, tulee selvittää alueella ennestään jo olevat kaapelit ja muut haitat kuten kaukolämpöputket. Selvitysten jälkeen pyydetään kyseessä olevan haitan omistajaa tai omistajan edustajaa näyttämään haitta maastossa eli merkitsemään sen maalimerkein. Näyttämistä varten tuleekin olevan verkon dokumentointi olla kunnossa, jotta osataan hakea haitat oikeasta paikasta.

### 8.2 Kaapeleiden levitys

Kun kaapelireittiä lähdetään rakentamaan, niin tulee suunnitella, miten kaapeli puretaan kelata pois, johon ne on tehtäällä pakattu. Kaapeli voidaan levittää rakennettavan reitin viereen ennen itse rakennustöitä, jolloin se on niin sanotusti ”hankikaapeli”, joka upotetaan rakentamisen edetessä kaivantoon. Hankikaapeli voidaan rakentaa vetämällä häntää kaapelikelalta rakennettavalle reitille tai kuljettamalla kelaa reitin vierellä purkaen sitä samalla reitin vierelle. Häntää ei voida vetää kuin lyhyitä suorja osuuksia kerralla, sillä sellainen veto rasittaa kaapeleita, joille on aina tietty maksimi vetolujuus.

Toinen vaihtoehto on purkaa kaapelia kelalta sitä myötä, mitä rakentaminen etenee. Tällöin kaapelikelaa kuljetetaan kaivannon vierellä esimerkiksi kärryssä (Kuvio 41) tai kaivinkoneen puomin päässä olevassa nostolaitteessa, josta sitä puretaan suoraan kaivantoon.



Kuvio 41. Kaapelikelaa kytettynä kaapelikärryyn (Siikaverkko 2014)

Jos maastossa on esimerkiksi putkilinja, johon kaapeli on suunniteltu sijoitettavaksi, niin tuo se haasteita kaapelin purkamiselle. Putkireitin ollessa rakentamisen alkupäässä, voidaan kaapelia purkaa kelalta suoraan putkeen. Jos putkireitti taas sijoittuu keskelle rakennettavaa reittiä, tulee kaapelin katkaisemisen välttämistä varten kaapelia purkaa eli ”lempata” kelalta putkireitin juurelle niin paljon, että se ylittää suunnitellun reitin toiseen päähän.

Lemppaus voidaan suorittaa niin, että kaapeli kieputetaan kelalta kahdeksikon muotoiselle kiepille, joka katkaistaan oikean mittaisena. Muoto takaa sen, että purettaessa kieppiä ei kaapeli sotkeennu ja väänny sellaiseen kulmaan, että sisällä olevat kuidut vaurioituisivat. Kaapelin kieputtaminen kasimaiseen muotoon vaatii kohtuullisen tasaisen ja ison tilan, sillä siinä tulee huomioida kaapelin minimi taivutussäde ja kieputettavan kaapelin määrä. Lemppauksen jälkeen katkaistu pää voidaan viedä putkilinjan lävitse ja kaapelia voidaan taas lähteä viemään kohti suunniteltua päätöskohtaa. Jos matka on putkilinjan jälkeen vielä pitkä tai mutkainen, voidaan tehdä uusia välistävetoja, jotta ei ylitetä kaapelin maksimilujuutta tai kaapeli oikene suoraksi mutkaisissa kohdissa. Putkilinjan käytöstä kerrotaan lisää luvussa 10.3.1.

### 8.3 Asennus kaivamalla

Yksi yleisimpiä tapoja sijoittaa kaapelia maaperään, on tehdä se kaivinkoneella kaivamalla. Kaivinkoneena voi toimia tela-alustainen kaivinkone (Kuvio 41) tai pyöräalustainen kaivinkone (Kuvio 42). Pyörä-alustainen kone on jouhevampi liikumaan tiealueella, mutta tela-alustaisella kaivinkoneella pääsee hieman pehmeämmällekkin maalle kaivamaan. Tela-alustaisella kaivinkoneella on vaarana päällystetyllä tiellä työskennellessä se, että tien pinta vaurioituu, joten sen takia on suotavaa, että telat ovat sileäpintaset tiellä työskennellessä.



Kuvio 42. Erilaisia ja eri kokoisia pyöräalustaisia kaivinkoneita

Kaivaminen tulee kyseeseen silloin, kun maaperä on lujaa tai rakennettavalla alueella on muuta olevaa verkkoa, jota tulee varoa. Kaivuutyöt alkavat pintamaiden poistolla, jolloin eloperäinen maa-aines siirretään sivuun täyttötöitä varten. Pintamaiden poiston jälkeen kaivetaan loppukaivanto aina tavoitesyvyyteen saakka erotellen erilaiset maa-ainekset (Kuvio 43).



Kuvio 43. Kaapelikaivantoa taajama-alueella

Kun reittiä on kaivettu riittävän pitkästi ja kaivannon pohja on tasattu, sijoitetaan kaapeli kaivannon pohjalle. Telekaapeleilla tavoitesyvyys on normaalisti 70 senttimetriä. Ohjesyvyys voi vaihdella riippuen rakennuspaikasta, kuten esimerkiksi ELY:n jyrkkäluiskaisen tien ojan pohjaan kaivettaessa syvyyden tulee olla 0,8m. Tiealueelle kaivettaessa voi tiealueen haltijalla olla erilaisia ohjeistuksia siitä, kuinka kauas tai lähelle saa uuden kaapelin sijoittaa tien reunasta (Kuvio 44).



Kuvio 44. Kaapelikaivantoa ELY:n tiealueella

Jos kaivantoa ei voida jostain syystä, esimerkiksi olevan verkon takia sijoittaa riittävän syväälle, tulee se suojata. Suojaus voidaan toteuttaa työkohteesta riippuen muovikourulla (Kuvio 45), metallikourulla tai muoviputkella. Pienissä syrjäisissä kallioisissa kohdissa voidaan kaapeli myös valaa betonilla suojaan. Suojauksella saadaan myös täyttövaihetta helpotettua, sillä silloin pienet kivet eivät pääse vaurioittamaan kaapelia. Etenkin kaupunkialueella on myös syytä kouruttaa kaapeli, vaikka tavoitesyvyys saavutetaan, sillä seuraava kaivanto voidaan aukaista täysin samaan kohtaan ja tällöin kaapeli ei ole niin riskialttiina vaurioitua. (Liikennevirasto 2016, 12.)



Kuvio 45. Kaapeleita suojattuna muovikourulla (Turpeinen, N. 2018)

Kaapelin kaivantoon laskemisen jälkeen kaapelin päälle levitetään noin 20 senttimetrin vahvuinen esitäyttö. Esitäyttö voi olla kaivettua maa-ainesta, jos se on tarpeeksi hienojakoista eikä sisällä kiviä, jotka voisivat vaurioittaa kaapelia täyttövaiheessa tai maaperän routienessa. Jos maa-aines on hyvin karkeaa ja kivistä, tulee esitäyttönä käyttää erikseen tilattua hiekkaa. Kivinen maa-aines kaapelin päällä on myös riski silloin, jos kyseisen kaapelin päällä tullaan myöhemmin kaivamaan. Tällöin kivi voi painaa kaapelin rikki, eikä konekuski välttämättä koskaan näekään kaapelia, jolloin vauriokohta on vaikea paikallistaa.

Esitäytön päälle levitetään varoitusnauha, joka ilmoittaa seuraavalle alueella kaivajalle, että lähistöllä on telekaapeli. (Kuvio 46). Varoitusnauhan levittämisen jälkeen loputkin kaivetut maa-ainekset voidaan sijoittaa takaisin kaivantoon, mutta suuria kiviä ei kuitenkaan koskaan kannata sijoittaa samaan kaapeliojaan takaisin. Jos maa-aines on ollut kivistä ja täyttöihin on jouduttu tuomaan hienompaa maa-ainesta muualta, ei kaikki kaivettu tavara mahdu samaan kaivantoon vaan

ylimääräinen tavara tulee ajaa muualle, missä sitä voitaisiin esimerkiksi jatkojalostaa, jolloin puhutaan massanvaihdosta.



Kuvio 46. Kaapelikaivannon esitäyttöä ja varoitussauhan levitystä (Turpeinen, M. 2018)

Kerralla kaivettavan kaivannon pituus tulisi ajoittaa niin, että kaivanto saadaan saman työvuoron aikana mahdollisimman pitkälle peiteltyä. Tällöin ei jätetä mahdollisuutta, että ihminen tai eläin pääsisi tippumaan kaivantoon. Jos maaperä on herkästi sortuvaa, kannattaa kaapelikaivannon pituus pitää myös kohtuullisena, sillä keskeltä kaivantoa voi olla hankala ja tietyissä tapauksissa mahdoton kaivaa kaivinkoneella kaivannon sortuessa. Jouhevin tapa rakentaa kaapeliojaa kaivamalla, pitäen kaapelikaivannon pituus lyhyenä, on rakentaa kaapeliojaa kahdella koneella, jolloin etummainen kaivaa reittiä ja jälkimmäinen peittää sitä (Kuvio 47).





Kuvio 47. Peittelykoneena toimiva pyöräalustainen kaivinkone, jonka takana liikenteenohjausvaunu

Yleensä taajama- ja piha-alueilla tulee kaivuumassoilla peitelty kaapelikaivanto vielä mullata maanomistajan vaatimusten mukaisesti. Multauksen päälle tulee myös mahdollisesti levittää vielä nurmikon siemenet ja se tulee tiivistää esimerkiksi kuvion 48 tapaisella verkkojyrällä.



Kuvio 48. Verkkojyrä (Ideamrent 2018)

Jos kaivetaan liikennöityjä väyliä, tai muuten maaperä vaatii erityistä tiivistämistä, niin se voidaan tehdä esimerkiksi kuvion 49 tapaisella tärylätkällä. Tiivistys tulee tehdä lätkän koosta riippuen riittävän useissa kerroksissa, jotta saadaan koko kaivanto oikeaan tiiveyteen.



Kuvio 49. Tärylätkä (Rotator)

### 8.3.1 Kanavaputkiston asennus ja käyttö

Kun kaapelireittejä kaivetaan, voidaan samaan kaivantoon asentaa kaapelin kanssa myös kanavaputkea, johon voidaan myöhemmin asentaa uusia kaapeleita eikä samaa reittiä tarvitse uudestaan kaivaa. Yleisimpiä putkikokoja ovat kuuden metrin salkoina olevat 100mm ja 110mm putket. Kanavaputkistoa on syytä rakentaa etenkin taajama-alueilla, jossa putkilinjoilla voidaan muodostaa suuriakin järjestelmiä. Jotta putkilinjoihin voitaisiin sijoittaa uutta kaapelia helposti, onärkevin tapa rakentaa linjaston kulma- ja haarakohtiin kaivoja, joista voidaan myös tehdä välistävetoja pienentäen kaapeliin syntyviä rasituksia. Putkien päiden ollessa irrallaankin kaivosta, on ne syytä merkitä sondipallolla mahdollisesti tulevaa myöhempää esiin kaivuuta ajatellen.

Lyhyen matkaa kaapelia voidaan työntää suoraan putkeen, mutta pitempien matkojen ollessa kyseessä työnnetään putkilinjan läpi ensin esimerkiksi polttomootorikäyttöisellä laitteella vaijerimainen lasikuitusauva, jolla sitten kaapeli vedetään putkeen. (Kuvio 50)



Kuvio 50. Kaapeli voidaan vetää putkeen esimerkiksi käyttäen tällaista JKS putkikäärmevaunua. (SKT 2018)

### 8.3.2 Kaivaminen päällystetyillä osuuksilla

Kaapelikaivantoa joudutaan välillä kaivamaan myös päällystetyille osuuksille. Tällaisissa tapauksissa asfaltti leikataan ensin siihen tarkoitetulla leikkurilla (Kuvio 51) kaivettavalta osuudelta, jotta se ei repeile. Tällöin myös vältetään ylimääräisiltä paikkauksilta. Päällystetty osuus tuleekin asfaltoida entiselleen, mutta jos samalla alueella on useita työkohteita, on ne syytä päällystää ensin väliaikaisella päällysteellä, esim. öljysoralla ja kaikkien kohteiden valmistuttua asfaltoidaan kaikki reitit yhdellä kerralla, jolloin vältetään ylimääräisiltä asfalttikalustojen siirroilta ja niiden aiheuttamilta kustannuksilta.



Kuvio 51. Asfaltin leikkuuta kaivinkoneeseen tarkoitettulla asfalttileikkurilla (Nupumies)

#### 8.4 Louhinta

Jos rakennettava reitti sijoittuu kallioiselle alueelle, eikä kaapelin suojaus matala-asennusmenetelmillä ole riittävä keino, tulee kallio poistaa. Pidemmällä kallioosuuksilla on järkevintä poistaa kallio louhimalla. Louhinta alkaa siitä, selvitetään kalliokohteen laajuus ja kaivetaan se paljaaksi vähintään metrin (Kuvio 52) leveydeltä. (Turpeinen, N. 2018.)



Kuvio 52. Kalliokohtaa puhdistettuna ja merkattuna maalimerkein (Turpeinen M, 2018)

Kun kallio on puhdistettu, aletaan siihen poraamaan reikiä panostusta varten (Kuvio 53). (Turpeinen, N. 2018.)



Kuvio 53. Kalliokohteen porausta (Turpeinen, N. 2018)

Kun kalliokohde on porattu ja reikiin on asetettu panokset, niin räjäytettävä kohta täkätään, eli sen päälle levitetään kumiset painavat matot, jotka estävät irtomateriaalin sinkoilun (Kuvio 54). (Turpeinen, N. 2018.)



Kuvio 54. Täkätty louhintakohta (Turpeinen, N. 2018)

Täkätty kohta räjäytetään, jolloin kiinteä kallio muuttuu louhemaiseksi rakenteeksi, joka kaivetaan kokonaan pois. Puhtaaksi kaivettu louhintakohta tasataan hiekalla noin 20-30 senttimetrin vahvuudella, (Kuvio 55) jonka jälkeen suoritetaan kaapelin kaivantoon asentaminen ja täyttötöyt. Räjäytetty kallio tulee sen takia poistaa kokonaisuudessaan reitiltä, sillä jos se poistetaan vain osittain, niin pohjantasaushiekka valuu ajan saatossa louherakenteen sekaan aiheuttaen sen, että kaapelit joutuvat terävää rikkonaista kalliota vasten. (Turpeinen, M. 2018.)



Kuvio 55. Louhitun kohdan pohjantasausta hiekalla (Turpeinen, M. 2018)

## 8.5 Auraus

Toinen hyvin yleinen kaapeleiden asennustapa on kaivamisen lisäksi auraaminen. Auraaminen tarkoittaa kaapelin sijoittamista maaperään kaivinkoneen puolemin päässä olevan laitteen avulla (Kuvio 56). Auralla voidaan myös kaapeleiden lisäksi sijoittaa maahan tarpeen vaatiessa noin 50mm vahvaa putkea rullatavara.



Kuvio 56. Kaapelioura tärylaitteella varustettuna (HWOY)

Auraaminen on erittäin nopea kaapeleiden asennustapa, koska sillä saadaan asennettua kaapelia maaperään jopa kävelyvauhdilla. Auran käyttö vain vaatii tasalaatuisen kohtuullisen kivettömän maaperän, jotta sillä voidaan rakentaa kaapelireittejä. Yleensä auran pääasiallisia käyttökohteita ovatkin tien varret (Kuvio 57).



Kuvio 57. Valokuitukaapelin aurausta (Runsten 2017)

Jos maaperä on niin tiivistä tai kivistä, että auraaminen ei aivan onnistu, niin kaivamisen sijasta voidaan kaapelireitti esiaurata. Esiaurauksessa suunniteltu aurasreitti aurataan ensin ilman kaapelia läpi käyttäen joko kaapeliauraa tai routapiikkiä (Kuvio 58).



Kuvio 58. Routapiikki (Varaosakauppa 2012)

Aurusjälki tulee lopuksi siistiä. Tässä saadaankin myös huomattava etu niin ajallisesti kuin kustannuksellisesti kaivamiseen nähden, sillä aurausjälki on selkesti pienempi kuin kaivamalla tehdyn kaivannon jälki.

## 8.6 Maasahaus

Valokuituverkkoa voidaan rakentaa myös erilaisilla maasahoilla tai -jyrsimillä. Esimerkiksi piha-alueille voidaan rakentaa kaapelireittiä pienillä ketjukaivureilla, joissa moottorisahan terän tapainen teräketju sahaa kapean uran maahan, johon kaapeli sitten sijoitetaan. Ketjukaivuri voi olla kaivinkoneen puomin päähän asennettava laitteisto tai kuvion 59 tapainen käsikäyttöinen laite. Ketjukaivurin etuna onkin laitteiston vähäinen tilantarve verrattuna kaivinkoneisiin, mutta sillä vaurioitetaan herkästi alla mahdollisesti olevia kaapeleita tai putkia.





Kuvio 59. Käsikäyttöinen ketjukaivuri (Several 2017)

Ketjukaivuria tehokkaampi menetelmä on käyttää sirkkelimäisiä kaapeliurajyrsimiä, jonka voidaan sijoittaa mallista riippuen kaivinkoneen puomin päähän tai esimerkiksi traktorin perään (Kuvio 60). Jyrsimellä voidaan lävistää pehmeän maan lisäksi niin asfalttia, betonia, kuin kiviäkin. Kaapelijyrsimen suuri etu on se, että sillä voidaan rakentaa kaapelireittiä myös talvella routaiseen maahan. Mallista riippuen kaapelijyrsimellä voidaan syöttää auran tapaan kaapeli tai putki jyr-sinnän yhteydessä uraan tai jyr-sinnän jälkeen käsin siirtämällä se sinne. (Arrock Cable.)



Kuvio 60. Kaapelijyrsin (Arrock Cable)

Jyrsimen etuna on myös se, että sillä saadaan jyr-sinnän yhteydessä maaperästä riippumatta hienojakoista ainesta, jolla kaapelioja saadaan takaisin peittoon. Jyr-

sinnän ja täyttöjen jälkeen jälki tulee tarvittaessa tiivistää siihen tarkoitettu kalustolla, (Kuvio 61) sillä tavallinen tärylätkä ei mahdu etenkaan päällystetyillä osuuksilla kaivantoon.



Kuvio 61. Jyrsimen uran tiivistystä (Päiviö 2015)

### 8.7 Mikro-ojitus

Taajama-alueilla, missä alueet ovat suurimmalta osalta päällystettyjä, on syytä harkita mikro-ojituksen käyttö. Mikro-ojitus on hieman vastaavanlainen tapa, kuin jyrsintä, mutta kalusto on vain pienempää ja hampaallisen pyörän sijasta uran tekee timanttilaikat (Kuvio 62). (Sammatti 2017.)



Kuvio 62. Sahauskoneessa Rellok RSF750 on kolme timanttilaikkaa vierekkäin, jolloin sahausurasta tulee reilut kaksi senttimetriä leveä (Sammatti 2017)

Tällä tavalla rakentaessa onkin ajatuksena, että kaapeli sijoitettaisiin matala-asennuksena noin 40 cm syvyyteen. Tällöin haasteena onkin valita rakennuspai-kaksi sellainen, missä matala-asennuksesta ei tulisi koitumaan haittaa. Mikro-oji-tuksen etuna on perinteiseen kaivamismenetelmään verrattuna jopa kolme ker-taa nopeampi rakentamistahti. Mikro-ojaan voidaan sijoittaa valokuitukaapeleita, tai luvussa 11 esitettyä mikrokanavaa (Kuvio 63). (Sammatti 2017.)



Kuvio 63. Mikrokanavan sijoitusta mikro-ojaan (Sammatti 2017)

Kun kaapeli tai mikrokanava on saatu asennettua railoon, niin tulee se peittää asianmukaisesti. Uran tulee olla vähintään niin syvä, että maatyttöä saadaan 25 cm matkalta. Ensimmäinen pieni kerros on hienoa hiekkaa verkon suojaksi ja toinen kerros yltää asfaltin alareunaan saakka. Toinen täyttökerros tulee olla nolla-aineetonta tiivistyksen jälkeisten painumisien estämiseksi. (Sammatti 2017.)

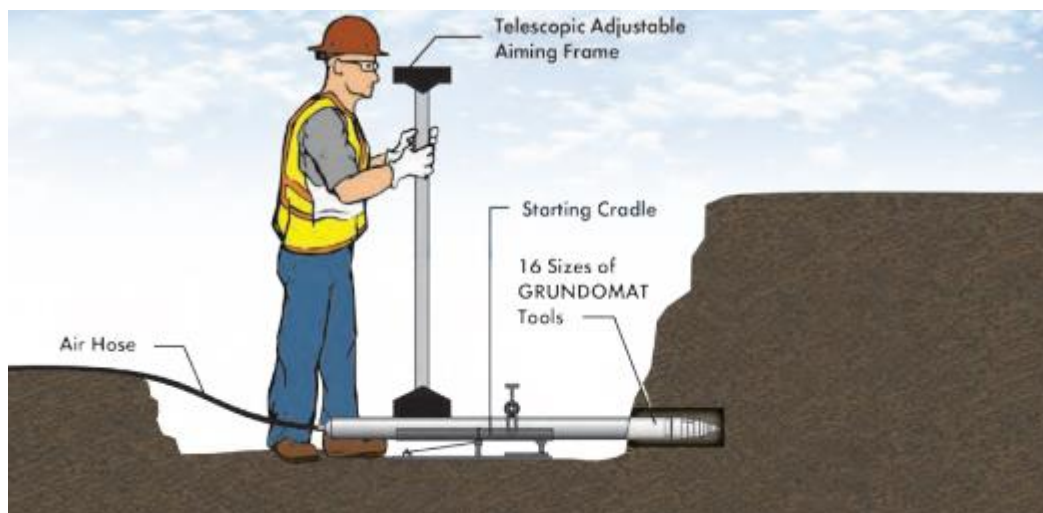
Asfaltin alareunaan täytetyn railon päälle valetaan hieman bitumia, jolloin sa-haurako saadaan pestyä vedellä. Pesulla saadaan varmistettua viimeisen pääl-lystekerroksen kiinnittyminen, joka on asfalttia muistuttavaa erikoisbitumia. Lop-putuloksena rakennetulle reitille jää vain kapea tuore päällysteraita. (Sammatti 2017.)

## 8.8 Alitukset

Yleensä päällystettyjä teitä ei saada tai voida kaivaa esteettisten tai liikenteellisten syiden vuoksi. Tällaisissa tapauksissa, kun halutaan telekaapelireitti rakentaa tien puolelta toiselle, tulee tie alittaa kaivamattomalla menetelmällä esimerkiksi tunkkaamalla (8.8.1) tai suuntaporaamalla (8.8.2).

### 8.8.1 Tunkkaus

Tunkkaminen on tien alitustapa käyttäen paineilmatoimista myyrää. Myyränä toimii metallinen noin 1,3 metriä pitkä paineilmakäyttöinen laite, jonka avulla tien alle asennetaan suojaputki (Kuvio 64). Paineilma liikuttaa myyrän kärkeä, joka syrjäyttää maaperän tiiviiksi maaputkeksi ja liikuttaa myyrää eteenpäin vetäen samalla alitusputkea perässä. Tunkkaamalla alitus sopiikin vain pienkivisille, tasalaatuisille ja kuivahkoille maalajeille, sillä maaperän muutokset ja kivet muuttavat herkästi myyrän suuntaa. Hyvillä mailla alituspituutena voidaan pitää korkeintaan 18-20 metriä. Myyrää ei voida käyttää myöskään pohjaveden alapuolisissa rakenteissa eikä se sovellu häiriintymisherkille maalajeille, sillä se jumiutuu herkästi kyseisissä maalajeissa. (Dahlbacka.)



Kuvio 64. Tunkkauksen lähtökuoppa ja myyrän suuntaus (TT Technologies 2017)

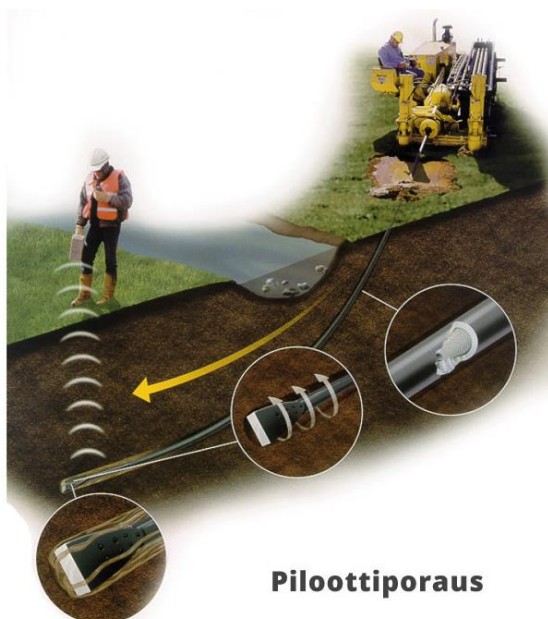
Alitupaikkaa valitessa on huomioitava niin myyrän viemä tila, kuin myös sen perään asennettavan putken pituus ja jäykkyys, sillä myyrää varten on kaivettava lähtökuoppa (Kuvio 64). Lisäksi tilaa vie iso paineilmakompressori, jota voidaan

kuskata esimerkiksi auton peräkärjessä tai kuorma-auton lavalla, joten tunkkauskalustolla ei siis aivan ahtaisiin paikkoihin voida mennä. Sitä ei voida myöskään ohjata maaperässä muuten kuin eteen ja taakse, joten alussa on tärkeä suunnata se kunnolla siihen tarkoitetulla tähtäyslaitteella (Kuvio 64). Kun myyrä menee tien toiselle puolelle, tulee sinnekin kaivaa kuoppa, josta myyrä nostetaan takaisin maan pinnalle ja putki jää tien alle.

### 8.8.2 Suuntaporaus

Alitusmatkan tai halutun syvyyden ylittäessä myyrän maksimit, on vaihtoehtona alittaa tie suuntaporaamalla. Teiden alitusten lisäksi suuntaporaus toimii myös vesistöjen alituksiin, sillä kyseisellä tavalla voidaan alittaa yhdellä kertaa noin 600 metriä ja alitussyvyys voi olla jopa 25 metriä. (Dahlbacka.)

Suuntaporausessa kalustona toimii porausvaunu, jolla työnnetään maaperään pyörivä porauskärki, joka poraa reittiä eteenpäin (Kuvio 64). Tätä vaihetta kutsutaan pilottiporaukseksi. Tietynlaisilla kärjillä on myös mahdollista porata kallioperää. Suuntaporauslaitteistoa voidaan ohjata maan päältä käsin, joten reitin ei tarvitse olla aivan suora eikä kalusto tarvitse lähtö- tai nostokuoppaa. Ohjaus toimii käsikäyttöisellä laitteella, jota kuljetetaan porakärjen yllä (Kuvio 65). (Several 2017.)



Kuvio 65. Suuntaporaus eteenpäin ja porakärjen ohjaus (Several 2017)

Myyrästä poiketen suuntaporatessa eteenpäin ei perässä kulje putkilinjaa, vaan se vedetään lopuksi kertaalleen porattuun reikään takaisinpäin (Kuvio 66). Tätä varten takaisin tullessa porauslaitteistoon asennetaan porakärjen tilalle avennuskärki, jotta reiästä saadaan tarpeeksi suuri asennettavaa putkea varten. (Several 2017.)



Kuvio 66. Putkeen veto avennusterän avulla (Several 2017)

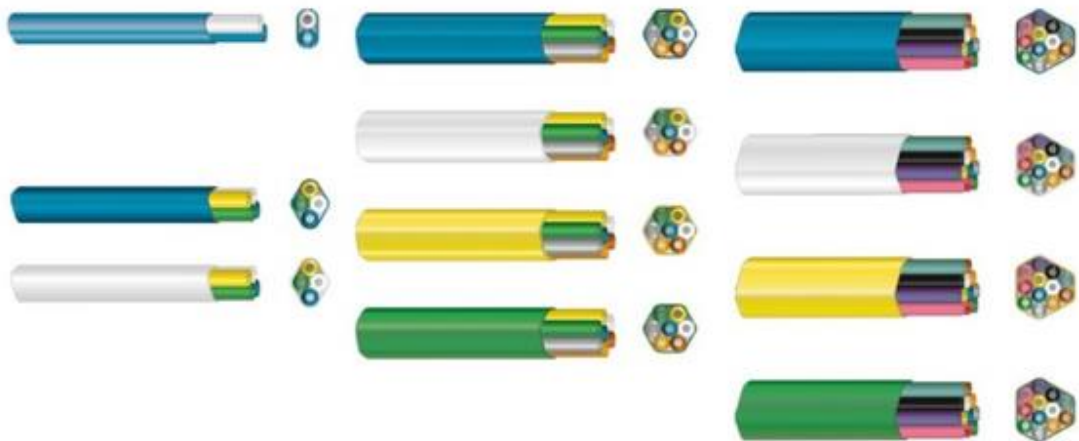
## 8.9 Viankorjaus

Yksi yleisimpiä kaapelivikoja on se, että kaapeli katkaistaan kaivinkoneen kauhalla poikki. Tällaisissa tapauksissa ei yleensä kaapeleissa riitä jatkosvaroja siihen, että molemmat kaapelin päät yltaisivät teletöiden vaatiman verran jatkoskotelon sisään. Tällöin joudutaan kaivamaan molempia katkenneita päitä esille riittävästi niin, että molempiin päihin asennetaan jatkokset ja näiden väliin uutta kaapelia.

## 9 MIKROKANAVATEKNIikka

### 9.1 Yleistä

Mikrokanavatekniikka tarkoittaa valokuituverkon rakentamista käyttäen mikroputkista muodostettuja mikrokanavanippuja, joihin itse valokaapelit puhalletaan sisään (kappale 11.5). Mikrokanavat ovatkin lyhyesti sanottuna pieniä muun muassa HDPE:stä valmistettuja yksittäisiä putkia tai HDPE:llä vaipattuja putkinippuja (Kuvio 67). Nippujen yleisimmät putkimäärät ovat 2, 4, 7 ja 12. Putkien ja nippujen erottamiseksi toisistaan, käytetään Suomessa niissä samaa FIN 2012 värijärjestelmää, kuin valokuiduissakin. (Nestor Cables d; Renfors 2018.)



Kuvio 67. Erilaisia 7/3,5 kokoisia mikrokanavanippuja (Hexatronic a)

Koska mikrokanavat ovat huomattavasti pienempiä, kuin tavalliset kanavat, tulee niissä käyttää aina kyseiseen tuotteeseen tarkoitettuja mikrokanavakaapeleita. Mikrokanavakaapelit saadaankin sen takia pienempään muotoon kuin tavanomaiset kaapelit, sillä niiden mekaaninen suojaus perustuu mikrokanavan antamaan suojaan. (Nestor Cables c.)

Suomessa suurimmat mikrokanavien ja mikrokanavakaapeleiden toimittajat ovat Hexatronic Cables & Interconnect Systems AB ja Nestor Cables Oy, joten tutustutaan tässä opinnäytetyössä pääosin heidän materiaaleihin ja asennusmenetelmiin.

Mikrokanavatekniikan perusajatuksena onkin, että sitä käyttämällä saadaan aina tietyille alueelle jätettyä varauksia pienemmillä kustannuksilla, kuin tavallisella tekniikalla rakennettuna. Ajatus tästä perustuu siihen, että tavallisella tapaa rakennettuna varaukset perustuvat sopivien kuitumäärien valintaan, joka voi olla tietyissä tilanteissa haastavaa suunnitella. Kuitumäärien jäädessä liian vähäiseksi, on erittäin kallista rakentaa alueelle uudestaan verkkoa ja liian suuret kaapeli- ja kuitumäärät nostavat turhaan rakennusaikaisia kustannuksia, jos verkko jää käyttämättä.

Mikrokanavatekniikkaa käytettäessä, varaukset perustuvat putkilinjoihin, jolloin rakennettavalle alueelle voidaan rakentaa valokuituverkkoa vain sen hetkisen tarpeen verran. Rakennettaessa esimerkiksi omakotitaloaluetta, jätetään jokaista taloa kohti yksi varausputki, jolloin yksittäisten tilaajien liittyminen verkkoon voidaan toteuttaa sitten, kun se on ajankohtaista eikä näin ollen synny kustannuksia ylimääräisistä kaapelinvedoista eikä teletöistä. Runkoverkkoa rakennettaessa mikrokanavatekniikalla, ei tarvitse tehdä kuituvarauksia mieltien esimerkiksi mahdollisia uusia kaava-alueita tai muita laajennuksia, vaan reitille voidaan rakentaa putkivarauksia, joilla alueet saadaan tarpeen vaatiessa jälkikäteen kuidun perään.

Toinen mikrokanavatekniikan ajatus on, että sillä saadaan verkkoa yksinkertaistettua ja teletöitä vähennettyä, koska sillä saadaan vähennettyä liityntäpisteiden eli jakokaappien tai jatkosten määriä. Määriä saadaan vähennettyä muun muassa siksi, että alueelle ei tarvitse jättää varausten takia liityntäpisteitä. Liityntäpisteiden vähentäminen onnistuu myös sen takia, että verkon rakentamisen aikana, voidaan useiden kaapeleiden sijasta kaivantoon sijoittaa vain yksi tai muutama mikrokanavanippu, jolloin itsessään rakentaminen on helpompaa ja nopeampaa.

Mikrokanavilla rakennettu verkko on modulaarinen koska se koostuu moduuleista, eli putkista ja liittimistä, joita voidaan lisätä ja poistaa. Modulaarisen rakenteen ansiosta on tällaista verkkoa helppo laajentaa jälkikäteen ilman suuria muutostöitä.

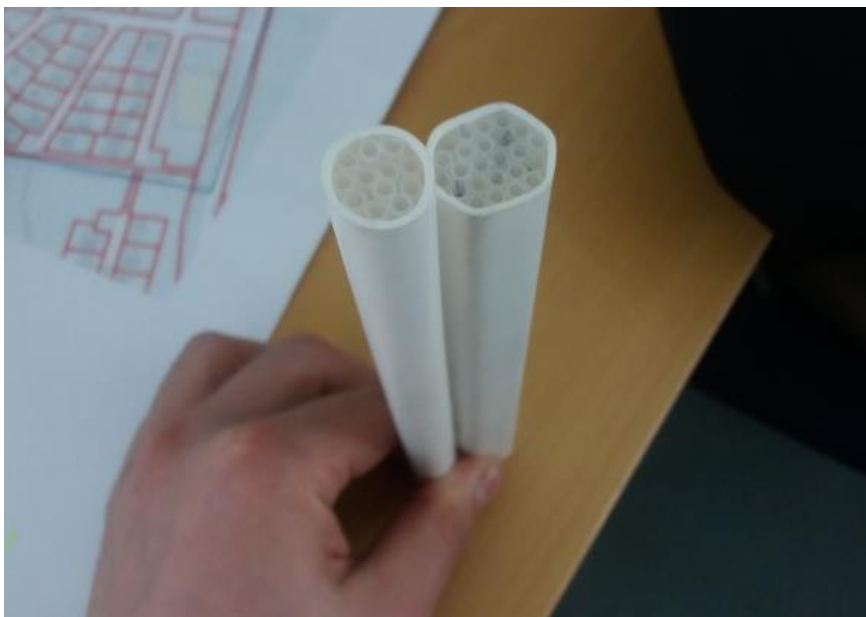


## 9.2 Mikroputket

Sekä Hexatronic, että Onninen tarjoaa mikrokanavia tarkoitettuna maahan asennettavaksi tai valmiiseen suojaputkeen asennettavaksi. Hexatronicin toimittamien maahan asennettavaksi tarkoitettujen mikrokanavien yksittäisten putkien eli mikroputkien koot ovat 7/3,5 mm, 14/10 mm ja 18/12 mm, jossa ensimmäinen luku tarkoittaa putken ulkohalkaisijaa ja toinen luku putken sisähalkaisijaa. Onninen tarjoaa näiden kokojen lisäksi mikroputkia myös putkikokoissa 12/8 mm ja 20/14 mm. (Nestor Cables d; Hexatronic a.)

Molempien yritysten olevaan kanavaan asennettavaksi tarkoitettut mikroputket ovat ohutseinäisempiä, kuin maanvaraisesti tarkoitettujen putkien, jolloin niiden koot ovat 12/10 mm ja 5/3,5mm. (Nestor Cables d; Hexatronic a.)

Hexatronic toimittaa markkinoille myös sisätiloihin tarkoitettua mikrokanavaa putkikokoissa 5/3,5 mm ja 12/10 mm (Kuvio 68). Sisätiloihin tarvitaan erilaatuiset mikrokanavat kuin ulkona, koska standardin SFS 6000-5-52 kohta 527.1.4 pätee vastaavasti ulkokäyttöön tarkoitettuihin mikrokanaviin kuin tavallisiin ulkokaapeleihin. (Hexatronic a; Nestor Cables d; Renfors 2018.)



Kuvio 68. Sisäkäyttöön tarkoitettuja mikrokanavistoja

### 9.3 Mikrokanavien liittimet ja tarvikkeet

Mikroputket voidaan jatkaa kuviossa 69. näkyvällä liittimellä, johon mikroputkien päät vain tökätään paikoilleen. Kuviossa 69. on myös toisenlainen putkijatkos, jossa putkien liittimeen asentamisen jälkeen kierretään vielä lukitukset paikoilleen. Tällaisia kierrettäviä jatkoksia käytetään vähenevissä määrin, sillä ne unohtuvat helpommin kiristää ja niiden läpi ei näe, että mikroputket olisivat täysin perillä. Mikroputkijatkot soveltuvat maa-asennuksiin. (Hexatronic b.)



Kuvio 69. Mikroputken jatko, sulku, jatko lukitustoiminnolla ja kaasunsulkuliitin

Mikroputket tulee aina katkaistuaan tulpata niin väliaikaisesti kuin pysyvästikin tulpata esimerkiksi kuviossa 69 esiintyvällä sulkuliittimellä, että kanavaan ei pääsisi vettä ja pölyä. Kuviossa 69 esiintyvällä kaasunsulkuliittimellä on tarkoitus estää kondenssivettä tuottavan ilmanvirtauksen syntyminen putkistoon. Sillä voidaan myös nimensä mukaisesti estää haitallisten kaasujen virtaus suuntaan tai toiseen, kun se asennetaan kiinteistöön menevän putkilinjan väliin. Kaasunsulkuliitin otetaan käyttöön siten, että kun kaapeli on puhallettu siitä jo lävitse, niin painetaan liittimen osat yhteen, jolloin liitin tiivistyy kaapelin ympärille eikä ilma pääse enää virtaamaan. (Hexatronic b.)

Mikroputkiin liittimiä asennettaessa, on erityisen tärkeää, että putken pää on leikattu täysin suoraksi käyttäen siihen tarkoitettua leikkuria (Kuvio 70) ja se, että putkien päät ovat täysin perillä jatkossa. Jos putki on leikattu hieman viistosti tai

pää ei ole aivan perillä, niin pääsee kaapeli mahdollisesti tökkäämään jatkossa olevaan pykälään aiheuttaen mahdollisesti puhalluksen estymisen.



Kuvio 70. Mikroputkileikkuri

Isommat niput voidaan leikata myös kokonaisena siihen tarkoitettulla leikkurilla, mutta jatkamisia ja tulppauksia varten, tulee jokainen putki vielä katkaista mikroputkileikkurilla erikseen, että saadaan varmasti suorat päät putkille ja näin ollen tiiviit liitokset (Kuvio 71).



Kuvio 71. Putkinipun katkaisu siihen tarkoitettulla leikkurilla (TAKK 2017)

## 9.4 Asennustapojen vertailu tavalliseen kaapelointiin

### 9.4.1 Kaapeleiden levitys ja asennus olevaan kanavaputkistoon

Mikroputket ja niput valmistetaan tehtailla samalla tapaa keloille, kuin kaapelitkin, jolloin mikroputkien levittämisessä voidaan soveltaa luvussa 10.2 käytettyjä kaapelien levitystapoja, kun lähdetään rakentamaan uutta reittiä (Kuvio 72).



Kuvio 72. Mikrokanavan asennusta kelalta olevaan kanavaan (TAKK 2017)

Levitysvaiheessa mikrokanavalla rakentaminen kääntyy edukseen verrattuna tavalliseen kaapelointiin, koska esimerkiksi hankikaapelointia vedettäessä, kun jos reitille joudutaan levittämään useita tavallisia kaapeleita ja täten kulkemaan reittiä edes taas useaan otteeseen, tehdään sama mikrokanavalla vain kertaalleen. Tässä vaiheessa myös mikrokanavanipun keveys verrattuna useisiin tavanomaisiin kaapeleihin helpottaa asentamista. (Hautaniemi 2018)

Jos rakennettavalla reitillä on putkilinja, niin mikrokanava voidaan katkaista ennen linjaa ja yhdistää toisesta päästä työnnettävään häntään ja näin ollen välttää isoilta lempauksilta. Tämä vaihe on sitä suuremmassa roolissa rakentamisen nopeuteen, mitä enemmän tarvitsisi kyseisiin putkilinjoihin lempata kaapeleita erikseen. Ajatellaanpa, että on 12 kaapelia vedettävä putkilinjastoihin, niin niiden lempauksien sijasta maanrakennusvaiheessa voidaan viedä vain yksi 12 mikroputken nippu linjaston läpi ilman lempausta. Ja mitä enemmän putkilinjoja

rakennettavalle reitille sattuu, sitä enemmän etu kääntyy mikrokanavatekniikan puolelle.

#### 9.4.2 Mikroputkien jatkaminen

Mikroputkien jatkaminen on kriittinen vaihe mikrokanaviston toiminnan kannalta. Kuten aiemmin mainittiin, tulee leikkausvaiheessa putkien päästä saada aivan suorat, jotta putkilinjasta tulee yhtenäinen eikä synny pykälää. Lisäksi mikroputkien jatkamisissa on huomioitava erityisesti se, että jatkos ei synny mutkakohtaan. Jos jatkos tehdään mutkaan, se saattaa aiheuttaa liitokseen pykälän, vaikka putken päät olisivatkin luotisuorat. Liitin saattaa ajan saatossa antaa hieman periksi erityisesti routivalla maalla, jos liitin on sijoitettu mutkaan, jolloin voi syntyä myös pykälä.

Vaikka mikroputkiliittimet voidaan sijoittaa maanvaraisesti, niin mahdollisuuksien mukaan kannattaa liitoskohta sijoittaa aina kaivoon ja tukea jatkettu mikroputki esimerkiksi teipillä viereisiin putkiin (Kuvio 73). Kaivoon sijoittaessa mahdollinen vikapaikka on huomattavasti helpompi kaivaa esille. Vikakohteiden minimoimiseksi kannattaa myös pyrkiä jatkosten sijoittamiselle samaan paikkaan mahdollisuuksien mukaan ja maanvaraisesti asennettaessa on myös jatkoskohta merkittävä sondipallolla kuten muovikaivokin.



Kuvio 73. Mikroputkijatkos muovikaivossa

Kuviossa 73 on jatkettu mikroputki muovikaivossa. Kyseisessä kuvassa on huomioitava, että kaivoon tulevat putket on sijoitettu keskelle kaivoa, joka aiheuttaa sen, että mikroputket kiertyvät tarpeettoman jyrkässä kulmassa. Kaivoissa onkin syytä huomioida, että mikroputket saataisiin kulkemaan reunoja myöten, jolloin minimoitaisiin mikrokanavakaapelin ja mikroputken välinen kitka.

Mikrokanavan suuri etu on se, että siitä voidaan ottaa kylkiotto mistä kohtaa vain, nopeasti ja helposti. Tavallisistakin tietyn tyyppisistä kaapeleista on myös mahdollista ottaa kylkiotto, mutta se vaatii erityistä ammattitaitoa asentajalta, ja on hidas ja kallis toimenpide sekä erittäin riskialtis verrattuna mikrokanavan kylkiottoon. Mikrokanavan kylkiotto toimii niin, että nipusta kuoritaan kylki pois noin metrin matkalta, jonka jälkeen haluttu putki katkaistaan ja käännetään ulos nipusta. Uloskäännettyyn putkeen voidaan tehdä mikroputkijatkos, jonka jälkeen jatkos viedään aivan nipun kylkeen kiinni ja tuetaan teipillä. Lisäksi jatkoskohta voidaan suojata vielä teippaamalla aiemmin kuorittu nipun kylki takaisin jatkoksen päälle, jonka jälkeen jatkos on valmis (Kuvio 74).



Kuvio 74. Valmis kylkiotto, joka tulee vielä suojata mikrokanavasta kuoritulla pallalla ja merkata sondilla (Eltel Networks Pohjoinen Oy 2017)

### 9.4.3 Asennus kaivamalla

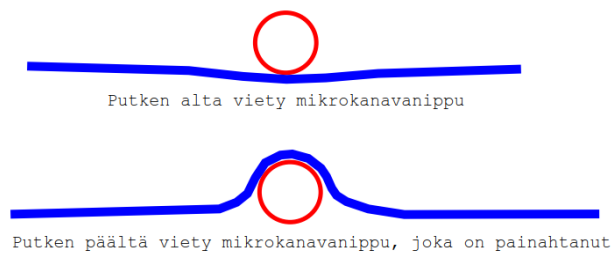
Helppo kylkiotto mahdollistaa sen, että itse maanrakennusporukka voi tehdä tarvittavat haarat, jolloin monttuja ei tarvitse jättää auki odottamaan teletyöporukkaa tekemään jatkoksia vaan montut saadaan saman tien peittoon. Peittomahdollisuus tuo turvallisuutta alueelle, sillä silloin kaivantoon ei pääse putoamaan mitään eikä ketään. Monttujen peitto jo rakennusvaiheessa on samalla merkittävä kustannussäästö, koska peittelykalustoa ei tarvitse tuoda enää erikseen montun peittelyn takia takaisin vaan saadaan kerralla valmista jälkeä aikaiseksi. (Hautaniemi 2018.)

Kun kaivetaan mikrokanavaa maahan, niin asennusvaiheessa tulee linjasto asettaa huomattavasti tarkemmin kaivettuun ojaan, kuin mitä tavallinen kaapelointi tarvitsee. Sillä jos mikrokanava ei mene linjassa riittävän suorasti ja tasaisesti, niin kaapelin puhallusvaiheessa pääsee mikrokanavakaapeli hiertymään tarpeettomasti mikroputkeen, joka lyhentää kaapelin asennusmatkaa huomattavasti. Ojaan asennettaessa useita samankokoisia mikrokanavia, erotetaan ne käyttämällä eri värisellä vaipalla olevia nippuja (Kuvio 75).



Kuvio 75. Kaksi mikrokanavanippua ojassa (Hexatronic 2015)

Kaivuukohteissa on huomioitava oleva verkko niin, että vietäisiin mikrokanava aina esimerkiksi maassa jo olevan poikittaisen putkilinjan alitse. Tavallisellekin kaapelille tämä olisi suotavaa, mutta usein kyseinen toimenpide vaatisi lempkauksia. Mikrokanavalla tämä on tärkeämpää kuin kaapelilla, sillä jos se vietään putken päältä, niin täyttövaiheessa se saattaa painua kasaan etenkin, jos putki on kaivettu kokonaan esille eikä sen vierelle olla jätetty pitkää luiskaa molemmin puolin, jolloin kaapelin asennus mikroputkeen voi estyä jopa täysin (Kuvio 76).



Kuvio 76. Putken alta ja päältä viedyt mikrokanavaniput

Kaivetun oja pohjan sekä esitäytön tulee olla riittävän hienojakoista materiaalia (Kuvio 77), että mikrokanava ei pääse vaurioitumaan asennushetkellä, eikä myöhemmin maan tiivistyksen tai routimisen yhteydessä. Mikrokanavanipun ympärillä tulisikin olla mieluummin vain alle 16 mm maa-ainesta tai jokin mekaaninen suojaus, eli esimerkiksi muovikouru tai matala-asennuksissa jopa betoni. Tässä kohtaa tavallinen kaapelointi vie pitemmän korren, sillä ne kestävät huomattavasti paremmin mekaanista rasitusta. Mikrokanavan vaurioitumien eli kasaan painuminen tai poikki meneminen lyhentää merkittävästi kaapelin asennusmatkaa tai jopa estää sen kokonaan. (Ahola 2018.)



Kuvio 77. Vaarallinen kivi esitäytössä (Turpeinen, M. 2018)



#### 9.4.4 Auraus

Mikrokanavareittiä voidaan rakentaa auraamalla (Kuvio 78). Aurauksen etuna on se, että siinä syntyvä kaapelioja on hyvin kapea, jolloin mikrokanava asettuukin täysin suoraan sivusuuntaisesti. Auraamalla mikrokanavanippu asettuu myös paremmin samaan syvyyteen kuin kaivamalla, jolloin pystysuuntainenkin vaihtelu on erittäin pientä. Auraamalla rakennettava mikrokanavalinjasto vaatii vain erittäin suosiollisen maaperän, sillä auratessa ei mikrokanavan ympärille voida rakentaa suojarahkalla kerrosta, jolloin se jää alttiiksi roudan liikuttamille kiville. Auraus soveltuukin lähinnä vain isojen rakennettujen teiden sisäluisiin, hiekkaiselle maalle ja pelloille. Mikrokanavaa auratessa onkin suositeltavaa esiaurata reitti ensin täryauralla, jotta saadaan suora reitti ja samalla varmistettua maaperän kiivettämyys ainakin isompien kivien osalta. (Hexatronic 2015; Ahola 2018.)



Kuvio 78. Mikrokanavanipun aurausta (TKF Finland, 2014)

Aurauskohteet tulee kuitenkin miettiä tarkkaan, että onko syytä rakentaa mikrokanavalla vai tavallisella kaapelilla. Pidemmässä runkoyhteyksissä on työvaiheita mikrokanavatekniikalla tehtävä enemmän, eli aurauksen jälkeen tulee mikrokanavakaapeli asentaa vielä putkeen, jolloin kustannuksiakin syntyy enemmän niin töiden, kuin materiaalien osalta. Maanlaadun ohella siis myös toinen vaikuttava tekijä aurauksessa käytettävään menetelmään on reitin suunniteltu pituus, koska

myös mikrokanavakaapelin puhallusmatkassa on rajoitteita, mutta sekä Suomessa, että ulkomailla ollaan saatu onnistuneita puhallustuloksia auruksen jäljittä. (Nestor Cables 2017; Ahola 2018; Renfors 2018.)

#### 9.4.5 Maasahaus ja mikro-ojitus

Maasahaus ja mikro-ojitus ovat oivallisia tapoja asentaa mikrokanavaa, sillä kyseisillä menetelmillä aikaansaadut urat ovat kapeita, joten mikrokanava saadaan asennettua suoraan linjaan ojassa. Molemmissa menetelmissä on mikrokanavan rakentamiselle suotuisaa se, että sahattu aines jolla ura peitetään, on erityisen hyvää täyttömaata mikrokanavalle sen hienojakoisuuden vuoksi.

Mikro-ojitusta tai sahausta tehdessä päällystetyillä alueilla, on huomioitava kylkiottoja tehdessä se, että toimenpide vaatii tilaa mikrokaapelin ja -putken taivutussäteiden vuoksi. Tämän takia kylkiotot ja jatkamiset olisi syytä tehdä kaivoissa tai päällysteen ulkopuolella, ettei päällystettä tarvitsisi poistaa enempää kuin tarve.

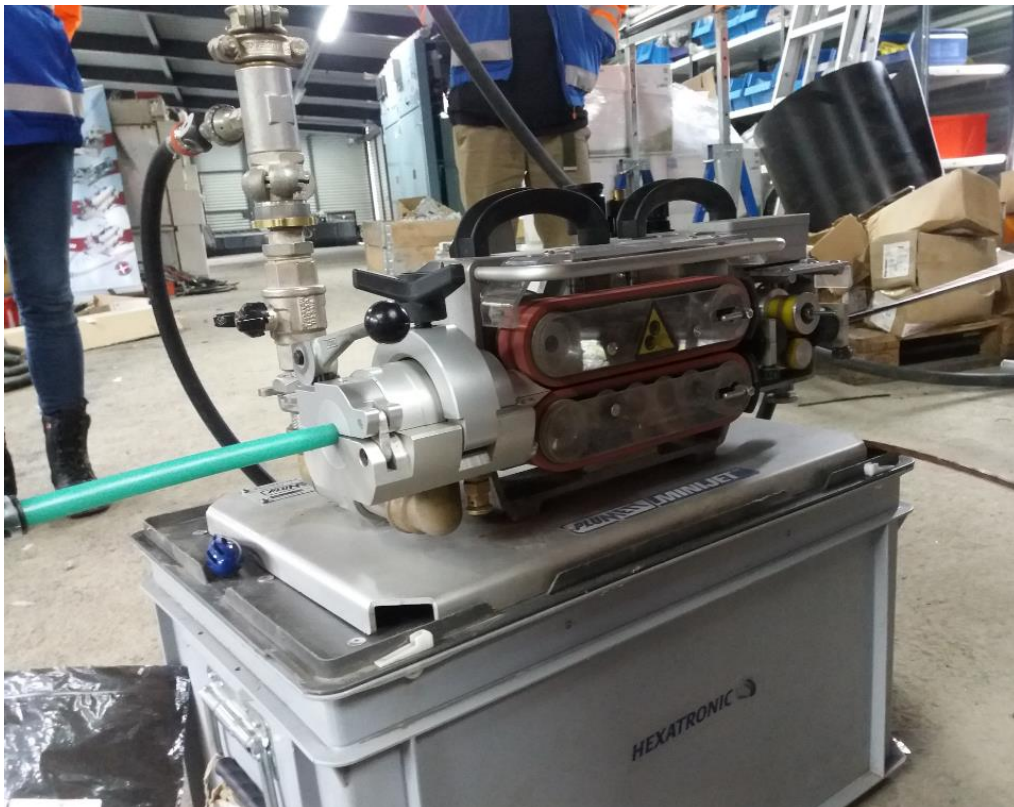
#### 9.5 Puhallus

Kun mikrokanavareitti on saatu rakennettua, niin on seuraava työvaihe asentaa mikrokanavakaapelit niihin putkiin, jotka on suunniteltu käyttöönotettaviksi. Asentaminen mikroputkiin tapahtuu siihen tarkoitetulla menetelmällä eli paineilman avulla puhaltamalla.



Kuvio 79. Runkokaapeleiden puhalluksessa käytettävä kompressori

Puhallukset voidaan jakaa karkeasti runkokaapeleiden (mikrokaapelit) ja tilaajakaapeleiden (nanokaapelit) puhalluksiin. Runkokaapeleita puhaltaessa laitteistona toimii esimerkiksi kuvion 79 kompressorilla syötetään syöttölaitteiston kautta ilmaa mikrokanavaan, jonka tarkoituksena on pitää mikrokanavakaapeli irti mikroputken seinistä ja vähentää täten kitkaa samalla kun laitteisto työntää kaapelia putkeen. Lisäksi paineilma myös samalla työntää hieman kaapelia apuna.



Kuvio 80. Mikrokanavakaapeleiden syöttölaitteisto

Optimaalisin puhallustulos saadaan, kun kaapelin ulkohalkaisija on noin 60-70% putken sisähalkaisijasta. Puhalluslaitteiden valmistajat lupaavatkin optimaalisissa olosuhteissa ja ehjällä verkolla puhalluspituudeksi jopa useita kilometrejä noin sadan metrin minuuttinopeudella. Käytännön kokemukset kuitenkin osoittavat, että maksimaalinen puhalluspituus voi vaihdella tästä huomattavastikin. Käsitellään puhalluspituuksia luvussa 11.6 enemmän. (Järkevä; Humminen 2018.)

Pienemmille runkokaapeleille tai tilaajakaapeleille on käytössä myös esimerkiksi porakoneeseen liitettäviä kuitupuhalluslaitteita, joiden toimintaperiaate on sama

kuin runkopuhalluslaitteessakin. Pienempi puhalluskone toimii myös pienemällä teholla, joten sen käyttöön riittää pienempikin kompressori (Kuvio 81).



Kuvio 81. Porakonekäyttöinen kuitupuhalluslaite, taustalla kompressori

Lisäksi markkinoilla on pelkästään tilaajakaapeleiden puhalluksiin suunniteltuja laitteita, kuten kuviossa 82 esiintyvä paineilma- ja sähkömoottorikäyttöinen kone, joka on tarkoitettu Hexatronicin omille kevyille ABF, eli Air Blow Fiber tilaajakaapeleille.



Kuvio 82. ABF kuitupuhalluslaite

Ennen kuin mikroputkeen puhalletaan kaapeli, se tulee puhdistaa huolellisesti. Puhdistusta varten mikrokanavaan valutetaan liukastusainetta, jonka jälkeen puhalletaan mikroputken läpi puhdistustuppo (Kuvio 83). Sama toistetaan niin kauan, että tuppo tulee täysin puhtaana mikroputken läpi, jotta kaapeli ei takkuaisi. Puhdistukseen jälkeen putki liukastetaan taas, jonka jälkeen voidaan kaapelia alkaa puhaltamaan mikroputkeen.



Kuvio 83. Kerran mikroputken läpi puhallettu puhdistustuppo

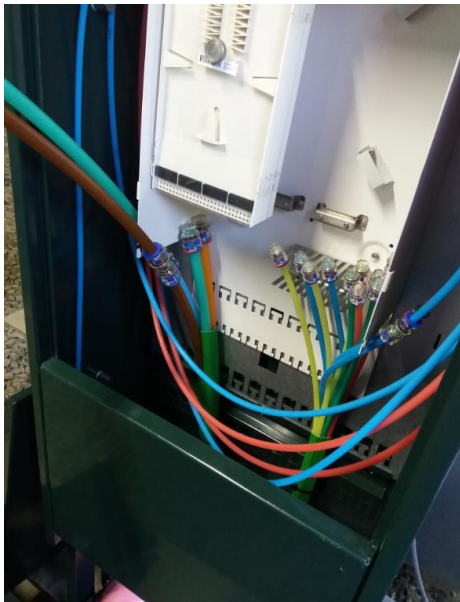
Tilaaajakaapelit on järkevä puhaltaa kiinteistöstä riippuen talon seinustalle asennetulle etujatkolle saakka, josta kiinteistön sisälle jatketaan joko tavallisella asennuskaapelilla tai vaihtoehtoisesti sisämikroputkella, johon puhalletaan asennuskaapeli. Puhallettava asennuskaapeli voi olla noin 30 metrin pituinen asennuskaapeli, joissa toisessa päässä on valmiit liittimet, jotka voidaan purkaa puhalluksen ajaksi pois. Asennuskaapelin tarkoituksena on se, että talon päässä ei tarvitsisi alkaa tekemään hitsaustöitä, vaan kiinteistön päässä tehtävät työt saataisiin tehtyä mahdollisimman nopeasti eikä näin häirittäisi asukkaita tarpeettomasti (Kuvio 84).



Kuvio 84. Puhallettava asennuskaapeli

Koska yleensä taloyhtiöihin ja liikekiinteistöihin on helpompi ja luontevampi kulku talojakamoon, on näissä tapauksissa kuitu myös mahdollista puhaltaa suoraan perille saakka sinne, minne kuitu on tarkoitus myös päättää. Ulkokäyttöön tarkoitettua kaapelia voidaan tällöin kuljettaa sisätiloissa enemmän kuin 5 metriä, koska se on suojattu sisäkäyttöön tarkoitetulla mikroputkella.

Tilaajamikroputkien toinen pää on useimmiten mikrokanaville tarkoitetussa jakokaapissa, jossa kaapelit jatketaan esimerkiksi jatkoslevyillä (Kuvio 85). Keskuksien päässä mikrokanavat sijoitetaan yleensä keskuksen sisälle asennetun etujatkoksen juurelle.



Kuvio 85. Mikroputkia jakokaapissa, osaan putkista käynnissä puhallus

## 9.6 Viankorjaus

Kun mikrokanavakaapeli ja mikrokanava menevät poikki, olisi tarkoituksenmukaista poistaa vanha kaapeli putkesta kuidun syöttölaitteiston avulla, jonka jälkeen poikki mennyt putki korjataan. Korjattuun putkeen puhalletaan tilalle uusi ehyt kaapeli, joka päätetään taas molemmista päistä. Joskus vaihtoehdoksi ei jää kuin perinteisellä tavalla korjaaminen, jos etäisyys seuraavaan jatkospisteeseen on liian pitkä tai sinne menevät kanavat ovat vaurioituneet käyttökelvottomiksi. (Renfors 2018.)

Syy siihen, että miksi mikrokanavakaapelia ei puhalleta suoraan kiinteistön sisälle, vaan se käytetään etujatkolla, johtuu myös osittain viankorjauksellisista syistä. Ulkokäyttöön tarkoitettujen mikroputken sisälle viemisen kiellon lisäksi se, että jos putki ja kaapeli jostain syystä vaurioituvat tontilla, niin kaapelia ei tarvitse vaihtaa talon sisältä saakka, vaan riittää että se vaihdetaan liityntäpisteen ja talon ulkoseinän väliltä, kun putkireitti on korjattu. Tämä vähentää asukkaille koituvaa harmia, sillä asentajilla ei tarvitse viankorjauksen aikana käydä sisätiloissa lainkaan, vaan vasta korjauksen tehtyä he voivat käydä varmistamassa liittymän toiminnan.

Pidemmillä matkoilla, kun huomataan jo puhdistusvaiheessa, että mikrokanava on mennyt poikki tai läjään, voidaan mikroputkeen puhalleta siihen tarkoitettu hakulaite eli sondi. Sondin avulla saadaan paikannettua vikakohta ja näin ollen kaivettua se esille ja korjattua.

#### 9.7 Mikrokanavaverkon ylläpito ja laajentaminen

Mikrokanavaverkon ylläpito on muutakin kuin viankorjauksia. Kun katsotaan verkkojen laajentumista pidemmälle esimerkiksi koko kaupungin mittakaavassa, niin verkkojen ylläpitäminen helpottuu. Jos kunta esimerkiksi muuttaa jonkin risteyksen kiertoliittymäksi, jonka yhteydessä on tavallisia kaapeleita niin tulee ne saada alta pois ennen liikenneympyrätyömaan alkua. Tällöin tehdään jokin väliaikainen ratkaisu hankikaapelointina tai kaivetaan uusi reitti jonnekin liikenneympyrän lähetyville, johon vanhat kaapelit jatketaan. Kaapeleiden jatkamista varten vanhat kaapelit tulee katkaista, jolloin ne tulee kuoria ja käsitellä ennen kuin ne saadaan yliheitettyä eli liitettyä uudelleen verkkoon, josta syystä verkko on pitkään pois käytöstä. (Renfors 2018.)

Liikenneympyrän läheisen verkon ollessa toteutettuna mikrokanavatekniikalla, voidaan parhaimmillaan vain putkireittejä muuttamalla ja yhdistelemällä etsiä kiertotie liikenneympyrälle, eikä välttämättä tarvita massiivisia kaivuutöitä. Mikroputkeen puhallettu kaapeli voidaan taas käsitellä valmiiksi ennen kuin se liitetään olevaan verkkoon esimerkiksi jakokaapilla, jolloin niin sanottu yliheitto on huomattavasti nopeampi toimenpide. (Renfors 2018.)

Mikrokanavilla rakennettua verkkoa laajentaessa on etuna tavalliseen kaapelointiin verrattuna tuoreemmat kaapelit, joita on helpompi käsitellä. Verrataan esimerkiksi tilannetta, jossa alueelle on tuotu suuren kuitumäärän sisältävä kaapeli, jonka viimeisiä kuituja ollaan ottamassa käyttöön. Tällöin tämä suuren kuitumäärän omaava kaapeli on ollut useita vuosia tai jopa vuosikymmeniä maassa, jonka takia kuitujen käsittely on hyvin hankalaa niiden haurauden vuoksi. Mikrokanavatekniikalla samassa tilanteessa alueelle puhallettaisiin kapasiteetin loppuessa uusi kaapeli, jonka kuidut ovat selvästi helpompia käsitellä jatkosuutosta tai uuden kaapelin lisäämistä varten. (Renfors 2018.)

Vastaavasti voidaan verrata tontin rajalla odotellutta kaapeli- tai putkikieppiä, joka jatketaan kiinteistöön. Kun kaapelikieppi on maannut maassa vuosikausia, on sen kuoriminen ja käsittely huomattavasti vaikeutunut uudesta, kun taas mikroputkella seinustalle jatkettuun linjaan voidaan puhaltaa helposti käsiteltävä uusi kaapeli. (Renfors 2018.)

Se mikä verkonomistajien kannalta on olennainen tieto mikrokanavista, on mikroputkien ja niissä olevien kaapeleiden käyttöikä. Ensimmäiset mikroputket ovat asennettu 90-luvulla, joten niiden säilyvyydestä ei vielä varmaa tietoa ole pidemmältä aikaväliltä, mutta muovin käyttöäksi voidaan olettaa useita kymmeniä vuosia. Tätä varten Hexatronic on tutkinut kaapelin ja putken yhdistelmän kestävyyttä erilaisilla lujuustesteillä, joissa on saatu hyviä tuloksia kestävyuden kannalta. (Renfors 2018.)



## 10 MIKROKANAVATEKNIKASSA ESIINTYVÄT ONGELMAT

Mikrokanavatekniikka ei ole aivan ongelmatonta rakentaa, kuten on jo aiemmissa kappaleissa tullut osaltaan ilmi. Suurin yksittäinen ongelman aiheuttaja on tietämättömyys mikrokanavatekniikan rakentamiseen liittyvistä asioista. Esimerkiksi, kun verrataan Ruotsiin, niin siellä rakennetaan valokuituverkot lähes kokonaan käyttäen mikrokanavatekniikka (Liite 1). Tämä kertoo sen, että siellä on onnistuttu levittämään tietoa rakentamismenetelmästä enemmän ja sitä myöten saatu rakentamiskäytännöt kohdalleen. (Aamulehti 2017; Renfors 2018.)

Käytännössä maastossa esiintyvä ongelma mikrokanavatekniikassa on se, että mikrokanavakaapelia ei saada puhallettua paikasta A paikkaan B, vaan se jumittuu välille johtuen mikrokanavaverkon oikeanlaisten ja ohjeiden mukaisten asennustapojen laiminlyömisestä. Yleensä ongelmat johtuvat väärästä kaivannon täyttötavasta, liittimien huonosti tehdyistä asennuksista tai kanavien riittämättömistä suojauksista rakentamisen aikana. (Ahola 2018.)

Hexatronic vaatiikin tällaisten ongelmien vähentämiseksi ja 20 vuoden takuun edellytykseksi heidän mikrokanavatuotteiden kanssa työskentelevältä henkilöltä tai yritykseltä Hexatronicin oman sertifiointin. Sertifiointin voi saada käymällä Hexatronicin mikrokanavatekniikan koulutuksen. Koulutuksia järjestetään räätälöidysti verkon suunnittelijoille, projektipäälliköille, maanrakennusurakoitsijoille ja asentajille. Koulutuksissa käydään mikrokanavajärjestelmän kaikki vaiheet suunnittelusta maanrakennustöihin ja kaapeleiden asentamiseen painottaen koulutusta työtehtävän suuntaan. (TAKK 2017.)

Esimerkiksi suunnittelijoiden ja projektipäälliköiden koulutuksessa perehdytään mikrokanavajärjestelmän käyttökohteisiin, ominaisuuksiin, erilaisiin asennusmenetelmiin, materiaalimäärien laskemiseen ja osakurakoiden aikataulutukseen. Maanrakennusurakoitsijoiden koulutuksessa taas tutustutaan enemmän mikroputkien asentamiseen, maa-ainesten valintaan ja dokumentointiin. Asentajille koulutus opettaa mikroputkien haaroittamiset, liitokset ja erilaiset puhallustekniikat. (TAKK 2017.)

### 10.1.1 Yhteisojat

Sertifiointi on hyvä menetelmä oikeiden rakennustapojen varmistamiselle, mutta siinäkin on omat ongelmansa. Katsotaanpa esimerkiksi katuvalojen saneeraus- aluetta, jossa korvataan vanhaat pylväät uusilla ja näille rakennetaan uusi maan- varainen sähkökaapelointi. Pylväissä voi kulkea myös katuvalojen lisäksi kiinteis- töihin meneviä sähkökaapelointeja ja operaattorin kaapeleita, jolloin operaattori joutuu purkamaan myös oman kaapelointinsa pois mieltien vaihtoehtoa, että kor- vaako vanhat langalliset liittymät langattomilla ratkaisuilla vai uudella langallisella verkolla. Valitessaan uuden verkon rakentamisen vanhan tilalle eli migraation, maanomistaja, eli yleisimmin kunta, todennäköisesti ohjaa rakentamisen niin, että alueella rakennustyön suorittavan tahon tulee tehdä kaikki kaapeloinnit sa- malla kerralla. Kun kaapelointien rakentajana on sähköyhtiö, niin heillä ei ole vält- tämättä sertifiointitunnukset kunnossa, sillä heillä ei tarvetta kyseiselle pätevyydelle omissa töissään, jolloin mikrokanavatekniikkaa ei päästä käyttämään vaan jou- dutaan tyytymään tavanomaiseen kaapelointiin.

Tällaiset tilanteet ovatkin hyvin yleisiä mikroputkityömailla, sillä yhteiskäyttöpylväiden irtisanominen pakottaa operaattorit migraatioon. Yhteiskäyttöpylväiden irtisanomista kiihdyttää uusi sähkömarkkinalaki, joka määrittää sähkönjakelun suu- rimmaksi keskeytykseksi taajama-alueella kuusi tuntia lumikuorman tai myrskyn takia. Haja-asutus alueilla katkos saa vastaavasti kestää korkeintaan 36 tuntia. Vuoden 2019 loppuun mennessä vähintään 50 prosentilla asiakkaista ja vuoden 2023 loppuun mennessä 75 prosentilla asiakkaista tulisi täytyä nämä ehdot. Lo- puksi vuoden 2028 ehdot tulisi täytyä kaikkien asiakkaiden kohdalla. Näihin eh- toihin päästään käytännössä vain korvaamalla ilmassa kulkevat sähkökaapelit jakeluverkon osalta maihin. (Veikkola 2018; Rauman Energia.)

### 10.1.2 Uudet kaava-alueet

Samalla tavalla uudet kaava-alueet ovat ongelmallisia, jos ojaikäntänä toimii säh- köurakoitsija ja haluttaisiin rakentaa uuden alueen tietoliikenneinfra mikrokanavatekniikalla.

Uudet kaava-alueet ovatkin periaatteellisesti erinomaisia kohteita mikrokanavatekniikalle, sillä ei välttämättä tiedetä alueelle syntyvän rakennuskannan aikataulua ja valokuituliittymien ottajien halukkuutta. Tällöin etenkin yhteisössä rakennettuna rakennusaikaiset kustannukset ovat erittäin maltillisia, sillä tässä vaiheessa tarvitsee maastoon sijoittaa vain putket ja tarvittavat jakokaapit. Puhallukset ja teletyöt saadaankin tehtyä sitä mukaan sitten, miten valokuituliittymän tilaajia ilmestyy.

Käytännössä kuitenkin, mikä mikrokanavatekniikassa on ongelma uusilla kaava-alueilla, on se, että operaattori voi vaatia valokuitukaapelin rakentamisen tontin osuudelle tontin omistajalta. Tontin omistajalla harvemmin on sertifiointeja, jolloin hän ei saisi kyseistä reittiä kuitenkaan rakentaa, eikä rakentaminen käytännössä ole välttämättä mahdollistakaan, sillä runkoreitin rakennusvaiheessa tontille tarkoitettu mikroputki jätetään lyhyehkölle kiepille tontin rajalle. (Telia 2017.)

Tästä päästäänkin siihen, että tontin omistaja ei ole välttämättä tietoinenkaan mikroputkesta vaan kuvittelee kaapelin olevan tavallista mustaa johtoa. Tontin rajalle on mahdollisesti kaapelointivaiheessa tuotu myös kilpailevan operaattorin kaapeli, joka onkin tavallista johtoa, jolloin tontin omistaja vie kyseisen kaapelin perille kiinteistöön saakka taloa rakentaessa luullen, että kyseisestä johdosta on mahdollista saada molempien operaattoreiden yhteydet. Myöhemmin tämä omistaja tilaa valokuituliittymän mikrokanavan omistavalta operaattorilta, jolloin huomataan, että kyseisen operaattorin kaapeli ei menekään vaan vaatii kaivuutöitä. Pahimmassa tapauksessa tontin rajalta ei ole vedetty putkilinjaa kiinteistön sisään ja piha on keretty päällystää, jolloin mikrokanavan omistavan operaattorin on erittäin vaikea toimittaa liittymää.

Tällaiseen tapaukseen olisi paras apu selkeä, hyvä ja riittävän aikainen informaatio operaattorin suunnalta uusille talonrakentajille, että alueella on mikrokanavaa, ja vaatii täten putkilinjan kiinteistön talojakamosta tontin rajalle mahdollisimman lähelle tontille tarkoitettua kieppiä, jota kautta valokuituliittymä voidaan toimittaa mahdollisimman pienellä vaivalla. Kiinteistöä varten tarkoitettu kieppi voi olla haudattu maahan, jolloin tontin omistajalla ei ole välttämättä tietoa sen sijainnista ja

siitä, että mihin putkireitti tontin alueella tulisi viedä. Tässä tapauksessa mikrokanavatekniikassa on taas huomattava etu verrattuna tavalliseen kaapelointiin, sillä siitä voidaan ottaa kylkiotto mistä kohtaa tahansa, jolloin tontin alueen putkilinjaakin voidaan viedä mihin kohtaa tahansa sitä tontin reunaa, missä mikrokanava kulkee.

Tästä syystä mikroputkikiieppi kannattaa viedä vastakkaiseen kulmaan tonttia, mistä kaapelin puhallus on tulossa, jos ei ole muuta vihjettä mihin kohtaa se kannattaisi sijoittaa. Kieppiä itsessään ei siis välttämättä tarvitsisi viedä lainkaan tontin alueelle, mutta se helpottaa jälkiliittyjien luvanhakuja, sillä kieppiä hyväksi käytettäessä ei tarvitse enää hakea kunnalta sijoitus- ja työlupia lupia, joka nostaisi myös kustannuksia. Sama ajatus pätee myös esimerkiksi olevilla kaava- tai haja-asutusalueilla kohteissa, joissa ei tiedetä kummalle puolelle päällystettyä pihatietä kieppi olisi paras sijoittaa.

#### 10.1.3 Rakentaminen roudan aikaan

Mikrokanavaverkkoa ei kannata rakentaa routaiseen aikaan. Tähän väitteeseen perustuu se, että jos roudan aikaan kaivettu kaapelireitti peitellään virheellisesti jäisillä kaivuumassoilla, niin se ei kestä sen sijoittamista päällensä. Rakennettava reitti voidaan tosin sulattaa myös, jolloin kaivuumassoista saadaan sulaa tavaraa ja sen ollessa hienoa hiekkaa sitä voitaisiin asettaa takaisin mikrokanavan päälle. Riskinä on kuitenkin se, että routa on yletynyt syvemmälle kuin mitä kaapelioja ylittää, jolloin rakennetaan roudan päälle. Roudan sulaessa saattaa mikrokanavalinja painua ja tällöin mennä mahdollisesti käyttökelvottomaksi.

#### 10.1.4 Levitysvaihe

Ennen varsinaista rakentamista, haasteena mikrokanavan purkamisesta kelalta on se, että mikrokanavanippu ei joissain tapauksissa levity tasaisesti kentälle, vaan se muodostaa aaltomaisen efektin. Aaltoilu johtuu siitä, että kanavanipussa kulkevien putkien tulee kulkea puhallusvaiheen takia täysin suoraan nipun sisällä eli ne eivät saa kiertää toisiaan. Kun nippu kierretään tällaisen profiilin omatesaan kaapelikelan ympärille, niin nipun alimmalle putkelle tulee lyhempi matka

kuin nipun päällimmäiselle. Tämä aiheuttaa sen, että toleranssien ollessa sopivat, syntyy vastavoima, joka yrittää tasata tätä epäsuhtaa ja toisinaan kiertää kanavanipun ylösalaisin. Tämä jää mikrokanavanipulle muistiin, jolloin se kelalta purettuna näkyy nipun aaltomaisuutena.

Helpoin tapa välttää aaltoilu asennuksissa on pitää kanavanippu kireällä kelalta purettaessa ja tarvittaessa tehdä sille teräviä nyppyjä. Täten jos keloja käsitellään vääräoppisesti ja mikrokanavanippua puretaan vaaka-asennossa, ei sille saada riittävää kireyttä jolloin aaltomaisuutta voi esiintyä. Jos näin kuitenkin pääsee tapahtumaan, niin mikrokanavanippu relaxoituu eli asettuu suoraksi ajan myötä. (Reinfors 2018; Humminen 2018.)

Yleisemmin aaltomaisuutta esiintyy nipun koon ollessa 12x7/3,5. Suurin tekijä aaltomaisuudelle on nipun materiaali. Vaikka niput ovatkin pääosin HDPE:stä valmistettuja, niin kyseisen aalto-efektin esiintymisessä on valmistajakohtaisia eroja riippuen käytettävistä seoksista. (Renfors 2018.)

Pakkaskeleillä mikrokanavanipun levitysvaihe saattaa tuottaa muovirakenteensa takia ongelmia, sillä kanavat ovat tällöin huomattavasti jäykempiä ja niiden relaxoituminen kestää pidempään kuin lämpötilan ollessa nollan yläpuolella. Mikrokanavaverkkoa on kuitenkin rakennettu onnistuneesti jopa -20c lämpötilassa. (Renfors 2018.)

#### 10.1.5 Puhallusvaihe

Kun kaapelia puhalletaan mikroputkeen, jonka toinen pää on jonkin kiinteistön sisällä, on vaarana, että puhallettava kaapeli aiheuttaa putkesta ulos tullessaan vaaratilanteen. Kiinteistön päistä taas puhallus ei välttämättä onnistu, jos tilaa ei ole riittävästi tarvittavalle kalustolle. Tämän myötä onkin yleensä järkevä käyttää sisätiloissa tavanomaista sisäkaapelointia ja tehdä laadunvaihdos ulkoseinälle sijoitetulla etujatkolla.

Kun puhalletaan pidempää reittiä, on vaarana, että kaapeli alkaa hiertymään johonkin pieneen kulmaan tai painaumaan pikkuhiljaa, jolloin kaapeli tarpeeksi pitkälle päästyään jumiutuu. Tämä on paljon vaikeammin paikallistettava vika kuin jos kaapeli kerralla tökkäisi, sillä tässä tapauksessa vikakohtaa ei tiedetä mitenkään tarkasti. Tällöin vaihtoehdoksi tulee kaivaa mikroputkea esille yrittäen arvioida vikakohtetta korjausta varten tai hyljätä putki ja kaapeli sen sisään.

Puhallukset eivät onnistu, jos mikroputkiin on päässyt vettä ja likaa, koska kaapeli ei silloin kulje mikroputken lävitse. Jos likaa on päässyt runsaasti mikroputkeen ja makaa siellä pitkään, niin se pinttyy sinne eikä sitä saa välttämättä puhaltamalla pois. Tästä syystä on erittäin tärkeää, että mikroputket tulpataan joka ikinen kerta heti jo myös työn aikana, kun mikroputket katkaistaan.

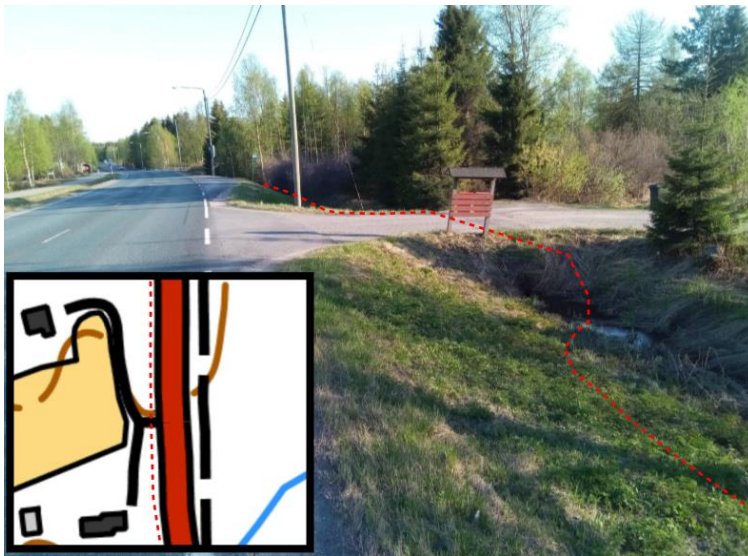
## 11 MIKROKANAVAVERKON SUUNNITTELU

Kun tiedetään valokuituverkon toimintaperiaatteet ja asennusmenetelmät, niin voidaan alkaa suunnittelemaan uutta valokuituverkkoa. Sanotaan, että mikrokanavatekniikan avulla verkon suunnittelua voidaan yksinkertaistaa, koska sitä käytettäessä ei tarvitse arvioida läheskään niin paljon tulevaisuuden kuitumäärien tarvetta, kuin tavallista tekniikkaa käytettäessä sillä siinä lasketaan vain rakennusajan hetkinen tarve. Väite pitääkin siltä osin paikkaansa, mutta mikrokanavaverkkoa suunniteltaessa on tunnettava valokuituverkon toiminnan lisäksi myös mikrokanavatekniikan asennusmenetelmät, sen käyttö ja riskikohteet, jolloin mikrokanavatekniikka vaatiikin näin ollen huomattavasti enemmän tietotaitoa kuin tavallisen kaapeloinnin suunnittelu. Mikrokanavatekniikan yhtenä suurimmista haasteista voidaan pitää oikeaoppista suunnittelua, jotta saataisiin mikrokanavaverkosta kaikki hyöty irti. Mikrokanavatekniikan suurimpia hyötyjä ovatkin verkon helppo laajennettavuus, modulaarisuus ja asennettavien elementtien vähyyks. (Ahola 2018.)

Eryteisesti mikrokanavatekniikassa on huomioitava puhallusmatkat, sillä jos oikeita etäisyyksiä ei osata arvioida, niin voi syntyä huomattavasti ylimääräisiä kustannuksia. Kustannuksien nousu voi johtua siitä, että joudutaan irrottamaan putkeen puhallettu kaapeli, joka on jumiutunut. Aina jumiutunutta kaapelia ei saada kaan pois, vaan se joudutaan jättämään putkeen, jolloin kyseinen putki on käytökelvoton. Kustannuksia voi myös nostaa se, että putkilinja joudutaan kaivamaan odottamattomasta kohtaa auki välipuhallusta varten.

Puhallusetäisyyksiin vaikuttavan eniten mikrokanavaverkossa olevat mutkat ja maanmuodot. Ylämäkeen puhallettaessa asennusmatka onkin huomattavasti pienempi kuin tasaisella tai alamäkiosuudella. Voidaan sanoa, että mikrokanavaverkon suunnittelussa tulee omata kolmiulotteinen hahmottelukyky, sillä mikrokanavaverkkoa ei saada koskaan asennettua luotisuoraan maanmuotojen ja maastossa esiintyvien haittojen takia. Näitä haittoja voi olla muun muassa oleva verkko, jonka mukaan uutta reittiä joudutaan rakentamaan.

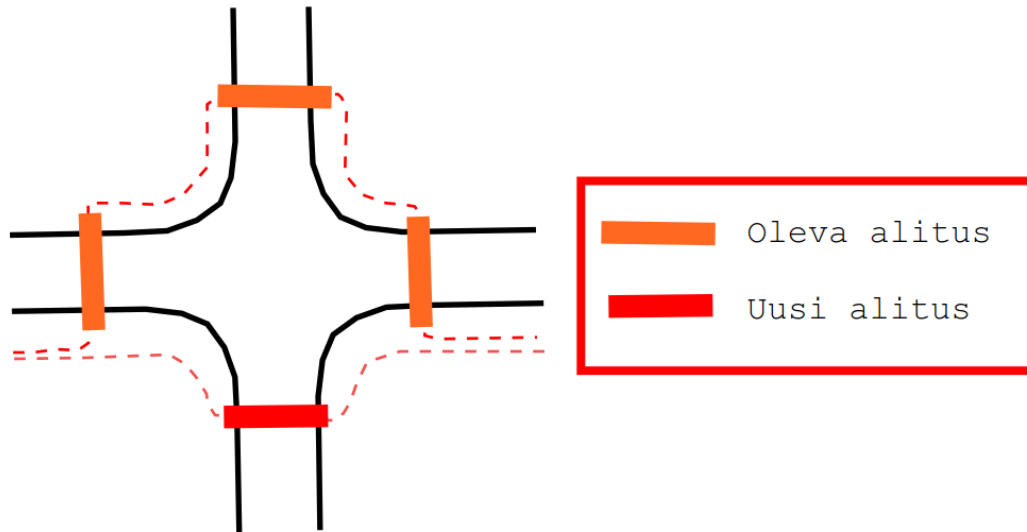
Ilmeinen virhe, mitä suunnitteluvaiheessa voidaan tehdä, on ajatella, että suoralla tiellä päästään rakentamaan täysin suoraa linjaa, jolloin puhallusetäisyys saateen arvioida liian pitkiksi. Suorallakin tiellä kun on yleensä myös liittymiä, varsinkin kun ollaan taajama-alueilla, jolloin jokainen liittymä saa aikaan mutkan mikrokanavassa. Sen lisäksi, että mikrokanava tekee liittymän kohdalla sivuttaissuuntaisen mutkan, tekee se myös syvyysuuntaisen mutkan koska tien alituksissa yleensä ohjeistukset määrittävät syvemmän sijoitussyvyyden kuin muualle asennettaessa (Kuvio 86). (Humminen 2018.)



Kuvio 86. Mikrokanavareitti piirrettynä kartalle suoraksi, mutta käytännössä se voi tehdä mutkan liittymän kohdalla.

Toinen tyypillinen suunnitteluvaiheen virhe on käyttää olemassa olevia alitusputkia hyväksi, jos niillä saadaan aikaan mutkainen reitti. Esimerkiksi kuviossa 87 on valittu reitiksi olevien alitusputkien reitti, joka aiheuttaa sen, että puhallusmatka lyhenee huomattavasti verraten siihen, että tehtäisiin yksi uusi alitus. Lisäksi tässä tavassa kustannuserokaan ei ole valtavan suuri olevien alitusten käytön eduksi, sillä putkien päät joudutaan kuitenkin kaivamaan ja näin ollen etsimään esille.



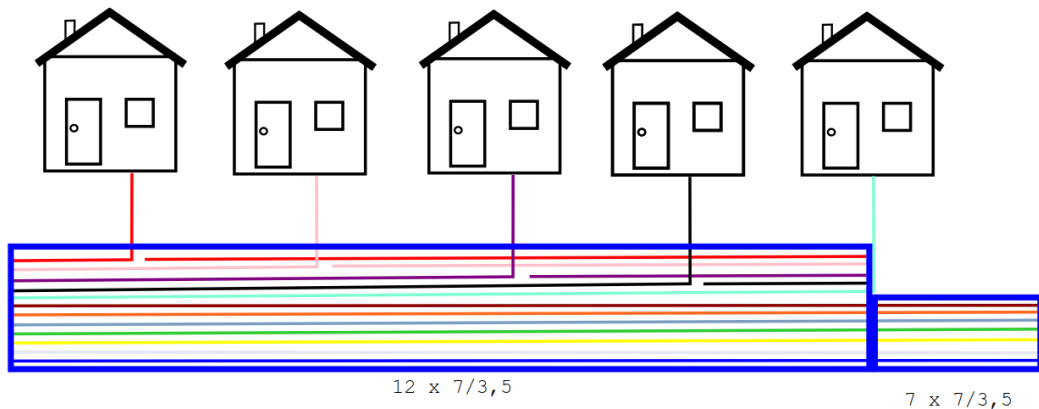


Kuvio 87. Olevien alitusputkien käyttö voi joskus aiheuttaa monta mutkaa verrattuna uuden alituksen tekoon

Suunnitteluvaiheessa määritetään jakokaappien paikat, josta kaapelit puhalletaan kohti tilaajia. Tässä vaiheessa tulee huomioida, että puhalluskalusto vaatii tilaa, joten jakokaappeja ei kannata sijoittaa kaikkein ahtaimpiin paikkoihin. Sama pätee myös mahdollisiin kaivoihin, jos niitä sijoitetaan matkan varrelle. Kaivoja kannattaakin mahdollisuuksien sijoittaa kulma- ja haarakohtiin, joista voidaan olettaa mikrokanavareitin joskus myöhemmin jatkuva. Kaivo on helpompi kaivaa esille kuin maanvarainen reitti myös silloin, jos huomataan, että puhallus joudutaan tekemään useassa erässä.

Jakokaappien sijoittelussa tulee huomioida puhallusetäisyydet ja arvioida miten kaikki aiemmin mainitut asiat vaikuttavat niihin. Nyrkkisääntöinä voidaan pitää, että maksimaalinen tilaajakaapeleiden puhallusmatka hyvällä toimivalla verkolla on noin 500 metriä, mutta on suositeltavaa pitää etäisyys alle 300 metrin. Runkokaapeleissa taas kerralla puhallettava osuus tulisi mieluiten pysyä alle yhden kilometrin, mutta välipuhallusten avulla runkoakin saadaan vietyä useita kilometrejä katkaisematta. Puhallusmatkan kasvaessa liian suureksi, syntyy liian suuri kitka ja kaapelin puhallus hidastuu ja lopulta se voi jäädä jumiin. Ero runko- ja tilaajakaapeleiden puhallusmatkasta johtuu kyseisten menetelmien erilaisista puhalluskalustoista. (Humminen 2018.)

Mikrokanavaverkkoa voidaan suunnitella siten, että kun tilaajaputkia jätetään tonttien rajalle kiepille, niin pienennetään sitä myöten nipun kokoa, kuin mitä siinä on käyttämättömiä putkia jäljellä (Kuvio 86). Tällä tavalla rakennettuna, on tonttien putkia lähdeävään purkamaan värijärjestyksen väärästä päästä, jotta pienempi nippu saadaan kytkettyä vastaaviin väreihin, kuin mitä isommasta nipusta on käyttämättömänä (Kuvio 88).



Kuvio 88. Mikronipun haaroittaminen ja nipun koon supistaminen, kun puhallussuunta on vasemmalta oikealle

Supistuksia tehden saadaan jonkin verran materiaalisäästöjä, mutta kovin pienissä töissä sillä ei ole juuri vaikutusta lopullisiin kustannuksiin. Tätä tapaa ei myöskään ole syytä käyttää kuin esimerkiksi pistoteiden päissä, joissa kaapelointi ei tule jatkumaan mitä suurimmalla todennäköisyydellä. Pitämällä putkinippu koko matkalta täysin ehyenä, pidetään yllä mahdollisuutta puhaltaa kaapeli toisesta suunnasta, jos ensimmäinen yritys koituu vialliseksi.

Suunnittelusta alueesta luodaan karttapohjalle piirretty suunnitelma, josta nähdään mihin on tarkoitus rakentaa millainenkin mikrokanavanippu tai -putki. Hyvin laadituista mikrokanavasuunnitelmista on helpompi ottaa selvää kuin tavallisen kaapeloinnin suunnitelmista siinä käytettävien värien ja elementtien vähyyden vuoksi, jolloin maanrakentaja voi nopeammin ja varmemmin suorittaa asennustyöt. (Hautaniemi 2018.)

## 12 VERTAILU

Tässä luvussa käsitellään esimerkkityömaata rakennettuna tavalliseen tapaan ja mikrokanavatekniikalla. Työmaasta tehdään suunnitelmat, joita vertaillaan työmenetelmittäin keskenään niin materiaalien, rakentamiseen kuluvien aikojen ja kustannusten mukaan. Lopuksi vertaillaan alueiden loppudokumentaatioiden tekemisiä ja niiden onnistumisen merkityksiä.

### 12.1 Kohteen esittely

Rovaniemelle Vennivaaraan tullaan rakentamaan kaava-alueen laajennusosa kesällä 2018 (Kuvio 89), joten suunnitellaan sinne aluetta palveleva valokuituverkosto sekä perinteisellä kaapelilla ja mikrokanavatekniikalla. Alue sijaitsee noin viiden kilometrin päässä Rovaniemen keskustasta 10. kaupunginosassa. Alue on rakentamaton alue, jolle rakennetaan kokonaan uusi infra kahdessa erässä. Tontteja alueelle tulee yhteensä 90 kappaletta, joista 87 on AO eli erillispientalojen tontteja ja kolme AR eli rivitalojen ja muiden kytkettyjen asuinrakennusten tontteja. (Rovaniemi, A; Rovaniemi B.)



Kuvio 89. Vennivaaran kaava-alueen laajennusosa merkattu punaisella (Rovaniemi 2015)

Lähtötietona suunnitelmia varten käytetään sähköyhtiön suunnitelmia, jonka mukaan valitaan tien puoleisuus ja jakokaappien sijoitukset, jotta saadaan kaapelit samoihin ojiin ja jakokaapit sijoitettua siististi. Suunnitelmat laaditaan niin, että AO tonttia varten varataan kaksi kuitua ja AR tonttia varten neljä kuitua, jolloin ajatellaan molemmissa suunnitelmissa tuotavaksi alueelle 192 kuituinen runkokaapeli olevaa putkitusta hyväksikäyttäen. Suunnitelmissa otettiin huomioon alueen urakan kaksiosaisuus suunnittelemalla verkko niin, että ensimmäisen osan verkon toiminta ei ole riippuvainen toisen osan valmistumisesta. Suunnitelmat on laadittu sillä oletuksella, että kaava-alueen kaapelointien maanrakennusmenetelmänä tullaan käyttämään kaivamista.

## 12.2 Perinteinen kaapelointi

Perinteistä kaapelointia suunnitellessa tarkastellaan ensin jakokaappien sijainnit ja runkokaapeloinnit (Kuvio 89). Perinteisellä kaapeloinnilla jakokaappien sijainnit valitaan niin, että kaapilta olisi kohtuullinen matka loppuasiakkaan luokse eikä täten tarvitse rakennusvaiheessa kuljettaa isoa kaapelinippua mukana, jolloin saadaan kustannustehokkain ja helpoiten toteutettavissa oleva ratkaisu. Tällöin saadaan laskettua aina jakokaappia kohti tarvittava kuitumäärä, kun tiedetään kaappikohtainen loppuasiakkaiden määrä (Kuvio 90).

Kun kaappikohtaiset kuitumäärät on laskettu, tulee jokaiselle kaapille suunnitella syöttö- eli runkokaapeli. Runkokaapelin kuitujen määrään vaikuttaa kaappikohtaisen loppuasiakkaiden määrän lisäksi aina verkon huipulta tulevan syöttökaapelin koko (Kuvio 90). Koska kyseessä on perinteinen kaapelointi, niin syöttökaapeli tulee mitoittaa maksimitarpeen mukaan.



Kuvio 90. Jakokaappien sijainnit ja runkokaapeloinnit

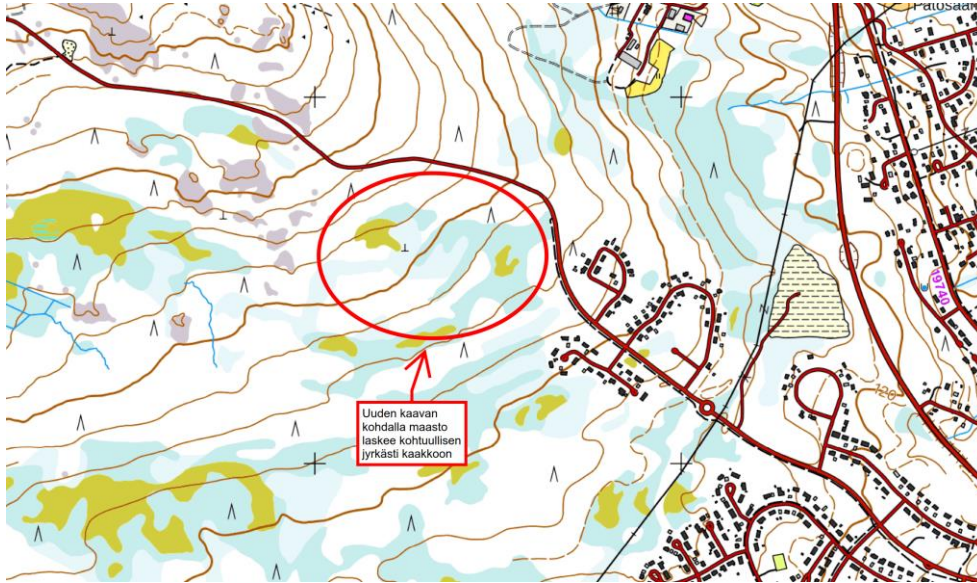
Tätä suunniteltavaa aluetta varten valikoitui kaappien sopivaksi määräksi 12 kappaletta, jolloin tilaajakaapeleiden matkat pysyvät kohtuullisina pisimmän reitin ollessa noin 100 metriä. Jakokaappien ja runkokaapelointien ollessa selvillä voidaan laatia loppuasiakkaiden kaapelointien reitit ja tehdä niistä suunnitelmakokonaisuus (Kuvio 91). Liitteissä 2 ja 3 on alueen tavallisen kaapeloinnin suunnitelmat tarkempana eriteltyinä urakkaosien mukaan.



Kuvio 91. Alueen suunnitelma kokonaisuudessaan

### 12.3 Mikrokanavatekniikka

Mikrokanavatekniikalla suunniteltaessa tulee myös aluksi selvittää runkokaapeloinnit, jakokaappien sijainnit ja niissä tarvittavat kuitumäärät (Kuvio 93). Ennen jakokaappien sijoittelua tulee kuitenkin selvittää maanmuodot, jotta voidaan ennakoida puhalluspituuksien toimivaa etäisyyttä (Kuvio 92).



Kuvio 92. Maanmuodot suunniteltavalla alueella (Rovaniemi)

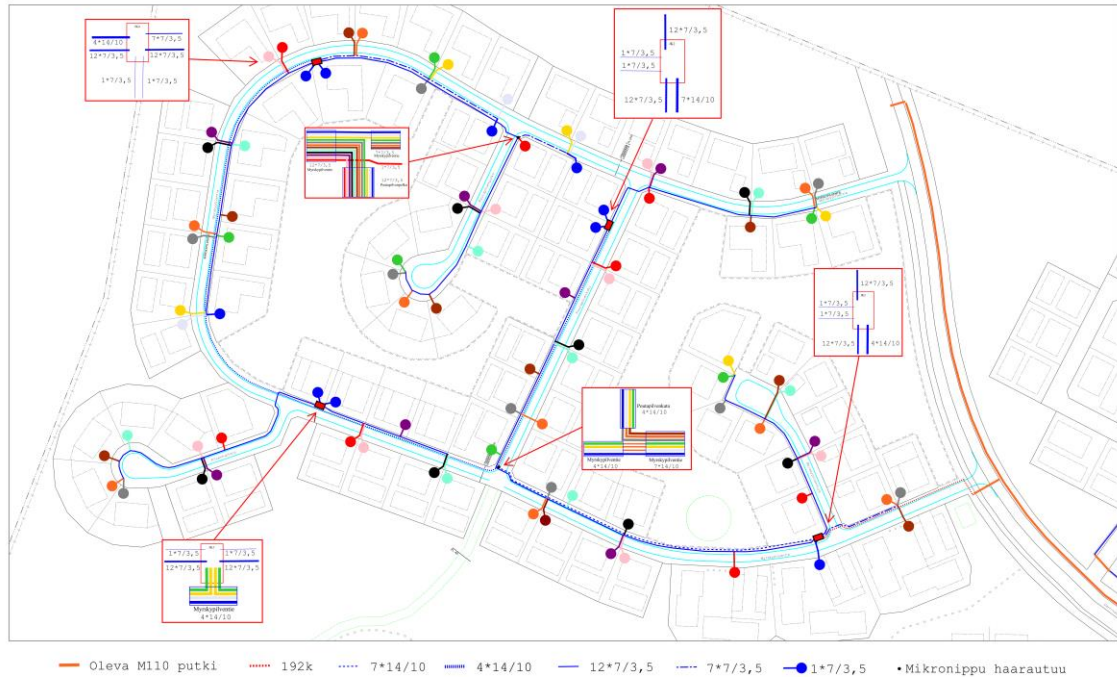
Suunniteltavalla alueella maa viettää voimakkaasti kohti kaakkoa, joten jakokaappien sijoittelussa on pyritty siihen, että luodetta kohti tulisi mahdollisimman vähän puhallettavaa. Sähköyhtiön suunniteltujen kaappien takia alueella joudutaan tekemään pieniä kompromisseja, mutta saadaan aikaiseksi kohtuullisen hyvä ratkaisu suunnittelemalla alue neljän jakokaapin varaan (Kuvio 93). On huomioitava, että kyseinen ratkaisu ei ole ainut mahdollinen tapa, vaan alueen voisi esimerkiksi rakentaa jopa kolmen jakokaapin varaan jättämällä kaappi JK3 pois. Neljällä jakokaapilla on haettu tilaajakaapeleiden pitämistä suositelluissa puhalluspituuksissa.



Kuvio 93. Mikrokanavatekniikalla tarvittavat jakokaapit ja runkokaapeleiden määrät (Rovaniemi)

Runkokaapeloinnit on suunniteltu niin, että materiaaliarpeen selkeyttämiseksi alue on suunniteltu puhallettavaksi vain 48k kaapelilla. Muihin kaappeihin tämä riittääkin laskennallisesti, mutta pohjoisimman kaapin eli JK4:n maksimitarve jää hieman vajaaksi tällöin. Koska kyseessä on mikrokanavatekniikka, niin voidaan kaapin mahdollisesti täyttyessä sinne puhalleta uusi syöttö eikä täten yhden rungon takia tarvitse tilata isoa kaapelia erikseen. On mahdollista, että kyseisen jakamon kuitumäärät eivät koskaan tule kokonaisuudessaan käyttöön, jolloin ei näin ollen synny turhia kustannuksia. Vaihtoehtoinen toteutustapa olisi puhalleta kaapilta JK4 kaapille JK1 96k kaapeli kaapin JK3 kautta, jolloin kaappien JK1 ja JK3 välille jäisi yksi putki enemmän käyttöön tulevaisuuden varalle.

Kuitumäärien ja jakokaappien sijaintien ollessa selvillä, saadaan aloitettua alueen pallokarttojen piirtäminen. Kuviossa 94 on esitetty kokonaisuus työmaasta ja liitteistä 4 ja 5 nähdään pallokartat tarkennettuna urakkaosille. Suunniteltuun pallokarttaan on myös piirretty tarkekohtia jakokaapeista ja haaroista, miten mikroputket ja -niput on suunniteltu kulkemaan.



Kuvio 94. Mikrokanavatekniikalla toteutettu suunnitelma

Vennivaaran kaava-alueelle laaditussa mikrokanavasunnitelmassa jakokaappien paikat ovat valittu siten, että kaapeilta päästäisiin puhaltamaan mahdollisimman suoria reittejä useaan suuntaan. Tätä varten kaapit ovat pyritty sijoittamaan haarakohtiin. Jakokaappien JK3 ja JK2 sijainnit olisivat paremmat, jos ne olisivat vielä lähempänä risteystä, mutta olevien sähkön suunnitelmien myötä ne joudutaan sijoittamaan hieman kauemmas. Tämä tuokin yhden lisähaasteen, kun pyritään suunnittelemaan mahdollisimman suoraa verkkoa.

Suunnitelmassa on myös ajateltu maanmuotojen vaikutusta puhallusmatkoihin. Kun katsotaan jakokaappia JK4, niin sen sijoituspaikaksi on saatu ihanteellinen koko seudun korkein kohta, josta saadaan puhallettua kohtuullisen suoraan ja pitkästi alamäkeä kohti. Tästä syystä jakokaapilta JK4 pisin lähtevä tilaajaputki on pituudeltaan noin 320 metriä. Vastakohtaisesti jakokaappi JK1 on sijoitettu katurakenteen vuoksi alamäen puolelle, jota joudutaan kompensoimaan lyhemillä puhallusetäisyyksillä. Jakokaapilta JK1 on pisin puhallus Myrskytien varteen noin 190 metriä, joka on loivaan ylämäkeen kohtuullisen paljon, mutta toteutettavissa liittymien vähäisyyden ja täten suoran reitin ansiosta. Kuitenkin puhalluksen onnistumisen varmistukseksi pisimpään kohteeseen pidetään jakokaappien JK1



ja JK2 välinen mikrokanavareitti yhtenäisenä, jolloin jää mahdollisuus puhaltaa kaapeli jakokaapilta JK2 alamäkeä kohti.

Suunnitelmassa on jätetty mikrokanavanippujen supistamiset pois, sillä supistukset tapahtuisivat suurimmassa osassa tapauksia vasta kadun loppumetreillä, jolloin materiaalisäästö on pienekkö. Tällä tavoin myös saadaan kaava-alueen rakentaminen selkeämmäksi ja helpommaksi, kun rakentajalla ei tarvitse kuljettaa useaa nippua jokaisella katuhaaralla mukana.

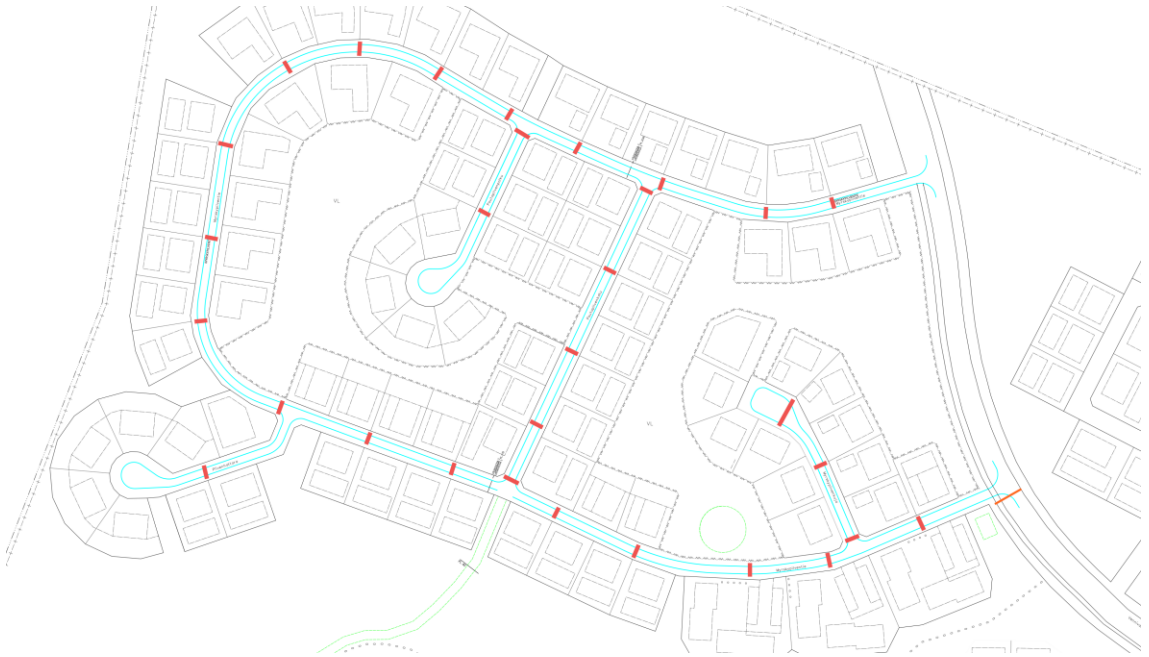
Kun mikroputket on saatu rakennettua, niin ensimmäisten tilaajien ilmetessä voidaan puhaltaa tarvittavat runkokaapelit ja tilaajakaapelit perille, jolloin syntyvät vasta ensimmäiset teletöiden kustannukset.

## 12.4 Työmaan vertailu

### 12.4.1 Materiaalivertailu

Kun katsotaan rakentamisen aikana tarvittavia materiaaleja, niin mikrokanavatekniikalla toteutettuna saadaan materiaaliluettelosta hieman pienempi, mutta kunhan mikrokanavistoihin aletaan puhaltamaan kaapeleita, niin erilaisten materiaalien määrä on taas hieman suurempi kuin tavalliseen tapaan rakennettuna. Kun taas katsotaan materiaalien määrää, mitä kaivettuun ojaan tarvitsee sijoittaa, niin huomataan, että tavallisessa kaapeloinnissa ojaan joudutaan asentamaan pahimmillaan jopa 7 elementtiä, kun taas mikrokanavatekniikalla toteutettuna ojaan ei missään vaiheessa tarvitse asentaa yli kahta elementtiä, vaikka verkkoon liittymispisteitä eli jakokaappeja on huomattavasti vähemmän.

Tällaisella uudella kaava-alueella on syytä suojata kaapelit ja kanavat putkiin, vaikka tiet eivät olisi vielä päällystettyjä kaapeloinnin aikana. Kaava-alueen alitusputket onkin ajateltu rakennettavaksi katujen rakentamisen yhteydessä, jolloin putkien asennus on edullisinta. Kaava-alueen valmistuttua kaapelointien rakentaja voi käyttää näitä valmiita alituksia kaapeleiden sijoittamiseen eikä tällöin jää riskiä siihen, että jälkikäteen kaivettaessa alitusputket sekoitettaisiin rakennekerroksia (Kuvio 95).



Kuvio 95. Alitusputkien sijoitussuunnitelma

Alitusputkien asennuksessa ei ole aika- eikä hintaeroa mikrokanavatekniikan ja tavallisen kaapeloinnin välillä tällaisessa kohteessa, sillä molemmissa kohteissa on yhtä paljon alituksia syystä, että jokaisen tontin rajalle viedään joka tapauksessa kieppi. Silloin syntyisi kustannuksia enemmän alitusputkien laitosta, jos tavallisen kaapelireitin varteen rakennettaisiin myös putkilinja, koska alituksia tulisi asentaa aina vähintään kaksi rinnan. Alitusten paikat on pyritty valitsemaan tonttien rajojen kohdalle, jolloin voidaan viedä yhdestä alituksesta kahdelle tontille kaapeli tai mikroputki, eikä näin ollen alitusputkia tarvitse jokaisen tontin kohdalle asentaa.

#### 12.4.2 Aikavertailu

Suuren osan kaapeloinnin rakentamiseen kuluva ajasta vie kaapeleiden levitykset. Kun katsotaan tätä suunnitelmaa, niin tavallista kaapelia on levitettävänä yli 5100 metriä ja mikrokanavaa vain noin 3300 metriä. Tavallisia kaapeleita on levitettävä rakentamisen yhteydessä 85 kappaletta, kun taas mikrokanavanippuja tarvitsee levittää vain 14 kappaletta, kun huomioidaan nippujen haarat ja kaapit.

Myös lemppaukset alitusputkien läpi vie aikaa, sillä näiden suunnitelmien tapauksissa alituksia on molemmissa kohteissa 31 kappaletta. Tällöin tavallisen kaapeloinnin tapauksessa viedään kaapeli alituksen läpi 54 kertaa kun taas mikrokanavanippuja tai -putkia viedään alituksen läpi 49 kertaa. Mikrokanavaniput ja -putket voidaan lemppauksien sijaan tarvittaessa katkaista, kun taas tavalliset kaapelit ovat pidettävänä ehyenä koko matkalta. Mikrokanavanippuja ja -putkia ei kuitenkaan ole syytä katkaista joka alituksen kohdalla, sillä mikroputkijatkos on aina riskikohta puhalluksen onnistumisen kannalta.

Mikronipusta tulee ottaa asennuksen aikana kylkiötöt, joita tuleekin tehdä 90 kappaletta. Kummassakin tapauksessa tehdään vielä tontin rajalle kieppi. Tavallisen kaapeloinnin tapauksessa kiepin tulisi ylittää tontin kulmasta toiseen, jotta sitä ei tarvitse liittymän toimituksessa jatkaa, tosin kuin mikroputki joka jää vain lyhyehkölle kiepille.

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty muutamia arvioituja rakentamiseen kuluvia aikoja, kun rakennetaan mikrokanavatekniikalla tai perinteisellä menetelmällä verkkoa. Taulukoiden kohteet on valittu niin, että niissä on eroavaisuuksia riippuen siitä, rakennetaanko mikrokanavatekniikalla vai perinteisellä menetelmällä.

Taulukko 1. Arvioituja rakentamisen aikoja mikrokanavatekniikalla rakennettuna

<b>Mikrokanavatekniikka</b>			
<b>Suorite</b>	<b>Määrä (km)</b>	<b>Nopeus (km/h)</b>	<b>Aika yht. (h)</b>
Levitys	3,3	1	3,3
<b>Suorite</b>	<b>Määrä (kpl)</b>	<b>Aika (min)</b>	<b>Aika yht. (h)</b>
Katkaisu	14	3	0,7
Lemppaus	49	5	4,1
Kiepitys	90	1	1,5
Kylkiötto	90	3	4,5
<b>Kulunut aika yhteensä (h):</b>		14,1	

Taulukon 1 levitysnopeudessa on huomioitu elementtien levitys reitin varteen ennen kaivuuta ja siirto kaivettuun kaivantoon. Katkaisulla tarkoitetaan elementin katkaisua kelasta levitettävän reitin päässä ja kaluston siirtoa uuteen levitykseen.

Lemppauksessa on arvioitu keskimääräinen aika, kun mikrokanavanippuja tai -putkia lempataan tai katkaistaan alituksen kohdalla. Kiepityksessä on huomioitu nipun kääriminen kiepille ja merkkkaus sondilla. Kylkiotossa on arvioitu haaran otamiseen kuluvaa aikaa, kun otetaan nipusta tilaajaputken haara.

Taulukko 2. Arvioituja rakentamisen aikoja perinteisellä tavalla rakennettuna

<b>Perinteinen kaapelointi</b>			
<b>Suorite</b>	<b>Määrä (km)</b>	<b>Nopeus (km/h)</b>	<b>Aika yht. (h)</b>
Levitys	5,1	1	5,1
<b>Suorite</b>	<b>Määrä (kpl)</b>	<b>Aika (min)</b>	<b>Aika yht. (h)</b>
Katkaisu	85	3	4,3
Lemppaus	54	8	7,2
Kiepitys	90	4	6,0
<b>Kulunut aika yhteensä (h):</b>		22,6	

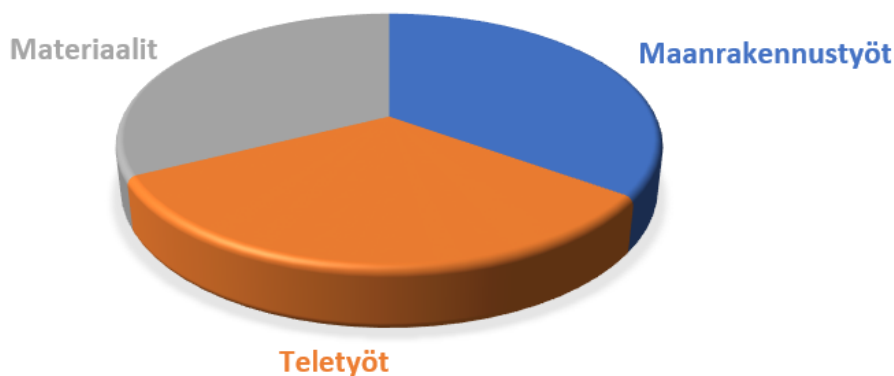
Taulukossa 2 on arvioitu samalla tavalla rakentamiseen kuluvia aikoja, kuin taulukossa 1. Lemppauksessa ero tulee siinä, että kaapelia ei voida missään vaiheessa katkaista kesken reitin toisin kuin mikronippuja ja -putkia, kun taas kiepityksessä erona on suurempi kiepittävä määrä. Taulukoista puuttuu molemmille rakentamismenetelmille olennaiset elementin suojaustavat, eli mikrokanavatekniikan hiekoitus ja tavallisen kaapeloinnin kourutus. Nämä on jätetty pois listauksesta ajatellen, että ne vievät keskimäärin yhtä paljon aikaa rakentamisesta.

Taulukkoja vertaamalla huomataan, että tässä työssä rakentamismenetelmien myötä mikrokanavatekniikalla voidaan rakentaa kyseinen työmaa jopa yhtä työvuoroa nopeampaa. Jos työmaahan kuuluisi pidempiä runkokaapelointeja, jonka välillä olisi olevia putkilinjoja, niin lemppauksen merkitys korostuisi huomattavasti tähän työmaahan verrattuna. Silloin myös asutustiheys olisi oletettavasti pienempää ja täten mikroputkihaaroja tulisi vähemmän suhteutettuna rakennettavaan matkaan, jolloin mikrokanavatekniikan maanrakennusaikainen nopeus vain korostuisi.

### 12.4.3 Kustannusvertailu

Tarkastellaan tässä luvussa, miten kustannukset jakautuvat, kun rakennetaan mikrokanavatekniikalla tai tavallisella kaapeloinnilla. Tarkastellaan myös sitä, miten jakautuminen vaikuttaa lopullisiin alueen rakentamisvaiheen kustannuksiin. Vertailu on tehty sillä oletuksella, että sekä tavallisen kaapeloinnin, että mikrokanavalla toteutetun alueen runkoverkot on rakennettu kokonaisuudessaan ja ovat täten valmiina tilaajakaapeleiden rakentamisille, joita tässä vaiheessa ei ole vielä toteutettu yhtään. Vertailussa maanrakennustyöt on ajateltu tehtäväksi sähkökaapeloinnin kanssa yhtä aikaa, jolloin maanrakennustöiden osuus on saatu pienemmäksi kuin kokonaan omana työnä tehtynä.

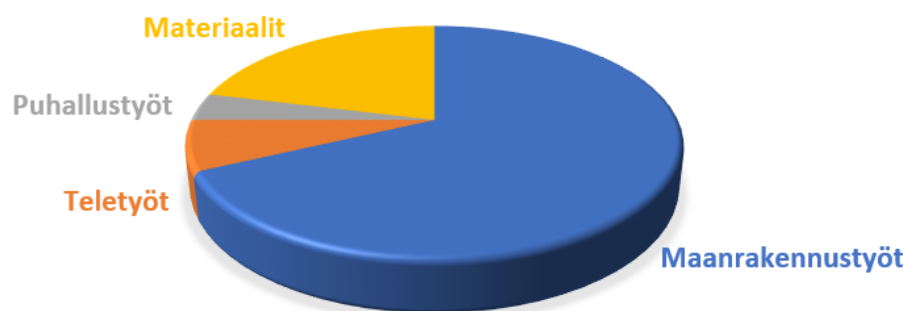
## KUSTANNUSJAKAUMA PERINTEISELLÄ TAVALLA RAKENNETTUNA



Kuvio 96. Kustannusten jakautuminen perinteisellä tavalla rakennettuna

Kun rakennetaan perinteisellä tavalla alueen runkoverkko, niin kustannukset jakautuvat hyvin tasaisesti materiaalien, maanrakennustöiden ja teletöiden kesken (Kuvio 96). Kun taas rakennetaan mikrokanavatekniikalla, niin huomataan kuviosta 97, että maanrakennusaikaisten töiden osuus on kyseisellä tekniikalla rakennettuna selvästi suurin.

## KUSTANNUSJAKAUMA MIKROKANAVATEKNIKALLA RAKENNETTUNA

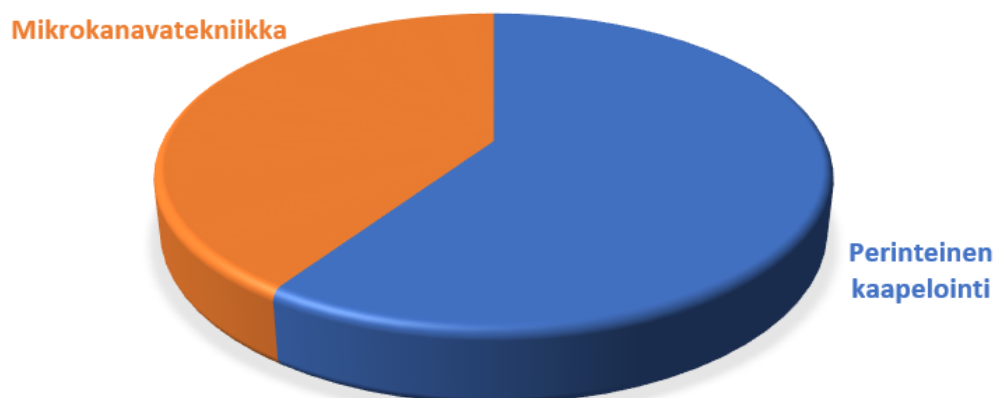


Kuvio 97. Kustannusten jakautuminen mikrokanavatekniikalla rakennettuna

Eron tekee se, että tässä vaiheessa mikrokanavatekniikalla rakennettuna ei kaapeleita juurikaan tarvita työmaalla sekä myös jakokaappeja on selvästi vähemmän kuin tavallisessa kaapeloinnissa. Kaapeleiden ja kaappien vähäisyyden vuoksi ei myöskään teletöitä tarvitse tehdä lähellekään yhtä paljon, kuin tavallisessa kaapeloinnissa, jotta verkko saadaan käyttökuntoon. Kuvio 95 nähdään myös puhallustöiden pienehkö merkitys runkokaapeloinnin rakentamiselle, kun verkko on oikeaoppisesti rakennettu sekä ehjä.

Vaikka mikrokanavaverkon asentaminen onkin nopeampaa ja helpompaa sekä elementtien asennuksia kaivettuun ojaan on vähemmän, niin maanrakennustöiden osuuden kustannuksia siinä nostaa suojaehkoituksen asentamisen osuus, jolloin rakennetut metrit voivat olla suurempia kustannuksiltaan kuin perinteisellä kaapeloinnilla. Suojaehkoituksen kustannuksia taas voidaan tosin jakaa yhteisöissä toisin kuin kourun, jota kaapelin suojaehkoituksissa käytetään. On myös mahdollista suojata mikrokanavanippu tai -putki kouruun ja peitellä se kaivuumailla, jolloin ehkoituksen määrää voidaan vähentää. Tällöin pohjien tulee olla kuitenkin kunnossa ja kaivuumaisten myös suhteellisen hyviä, jotta ei aiheuteta mikrokanaviston toimimattomuutta.

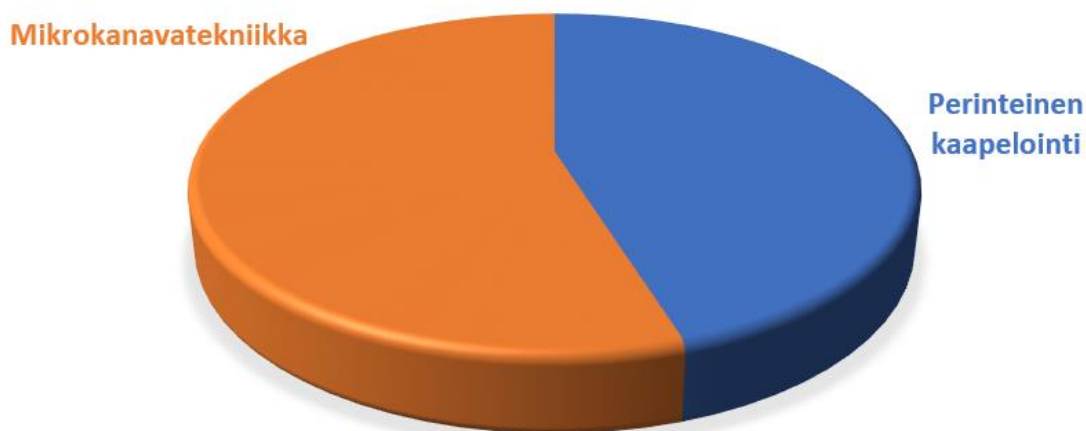
## KUSTANNUSVERTAILU, EI TILAAJIA



Kuvio 98. Ei tilaajia liittynyt verkkoon

Kuviosta 98 nähdään, että mikrokanavatekniikalla rakennetun alueen runkoverkko saadaan käyttöön huomattavasti perinteistä kaapelointia edullisemmin. Pääsyyinä tähän onkin materiaalin ja teletöiden pienempi osuus, kun käytetään mikrokanavatekniikkaa. Sitä mukaan, kuin tilaajamäärät nousevat, niin myös materiaalien ja töiden määrät nousevat enemmän mikrokanavatekniikalla kuin tavallisella kaapeloinnilla toteutettuna. Materiaalien suurempi määrä mikrokanavatekniikalla johtuu siitä, että liittymää toimittaessa tarvitaan aina mikroputkea, kaapeli, kaapelinauhaa ja kuitupäätteet, kun taas perinteisellä menetelmällä kaapelinauha ja kuitupäätteet riittävät. Lisäksi teletöitä on enemmän mikrokanavatekniikalla toteutetussa liittymän toimituksessa, koska uusi kaapeli tulee käsitellä kahdesta päästä, tosin kuin perinteinen kaapelointi, joka on päätetty kaapin päähän jo rungon rakentamisvaiheessa. Tästä syystä tietyssä pisteessä mikrokanavatekniikka kääntyy kalliimmaksi ratkaisuksi kuin perinteisellä tavalla toteutettu verkko (Kuvio 99).

## KUSTANNUSVERTAILU, KAIKKI TILAAJAT



Kuvio 99. Kaikki tilaajat liittyneet verkkoon

Kuviosta 99 nähdään mikrokanavatekniikan hieman korkeammat kustannukset, jos kaikki alueen tilaajat liittyvät verkkoon. Tämä vertailu on tehty sillä oletuksella, että jokainen tilaaja käydään tekemässä erikseen, jolloin puhalluskalusto joudutaan siirtämään aina uudelleen paikan päälle. Jos alueelle saadaan rakennettua aina kerralla enemmän tilaajia niin suhde pienenee, mutta vaikka kaikki tehtäisiin kerralla, niin mikroputkitekniikka ei tule edullisemmaksi sadan prosentin otannalla.

### 12.4.4 Dokumentaation vertailu

Kun reitit ovat rakennettu, on molemmissa kohteissa loppudokumentaation merkitys tärkeä, jotta tiedetään tulevaisuudessa mitä maaperään on sijoitettu. Onnistuneeseen dokumentaatioon on erittäin tärkeää, että rakentamisen aikana tapahtuneet suunnitelmanmuutokset merkittäisiin, eli tehtäisiin punakynät, joiden mukaan verkko tallennettaisiin järjestelmiin. Mikrokanavatekniikassa on erityisen vaikea päätellä valokuvistakin, mihin mikäkin putki menee, jos suunnitelmat ovat muuttuneet eikä punakyniä ole palautettu. Tavallista kaapelointia dokumentoidessa on mahdollista kuitenkin hieman päätellä kaapeleiden suuntia esimerkiksi kaapelikoon mukaan, vaikka hyviä punakyniä ei tulisikaan. (Yli-Suvanto 2018.)



Lähitulevaisuutta ajatellen on erityisen tärkeää mikrokanavaverkossa, että dokumentaatio on kunnossa siksi, että tiedetään mikä mikroputki menee mihinkin ja täten tiedetään mihin putkeen tulee aina puhaltaa kaapeli liittymää toimittaessa. Jos ei tiedetä mihin putkeen tulisi puhaltaa, on isompi työ kuljettaa puhalluskalustoa ja selvittää sen avulla puhaltamalla oikea putki, kuin mitä se on verrattuna tavalliseen kaapelointiin, jossa merkkamaton reitti voidaan valottaa ja selvittää kevyellä kuituvalolla.

## 13 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mikrokanavatekniikalla voidaan rakentaa kustannustehokkaasti verkkoa alueelle, jossa ei vielä tiedetä tulevia tilaajamääriä tarkasti. Tällaisia alueita ovatkin muun muassa uudet kaava-alueet ja vanhat tiivisti rakennetut asuinalueet, joihin mikrokanavatekniikalla voidaan rakentaa verkko käyttökuntoon huomattavasti pienemmillä alkuinvestoinneilla kuin tavallisella kaapeloinnilla toteutettuna. Pienemmät rakennusaikaiset kustannukset johtuvat mikrokanavatekniikalla toteutetun verkon yksinkertaisemmasta muodosta, josta syystä myös teleyöt ja rakentamisen aikaiset materiaalit tarpeet ovat huomattavasti pienemmät.

Koska mikrokanavatekniikan avulla rakennetun yksittäisen liittymän toimittaminen on kalliimpaa kuin mitä se on tavallisella kaapeloinnilla toteutettuna, niin uutta aluetta suunnitellessa tulee pohtia tulevien liittymien määrää. Jos alueen kaikki asiakkaat ottavat kuituliittymän, niin lopullinen alueen kustannus voi olla kalliimpi toteutettuna mikrokanavatekniikalla, sillä silloin materiaalia on kulunut enemmän ja työvaiheita on tehty useampia. Tähän vaikuttaa suuresti alueen muodot, joten verkkoa tarpeeksi yksinkertaistettuna mikrokanavatekniikalla alueesta voidaan saada myös hyvin lähelle sama kokonaiskustannus kuin tavallisella kaapeloinnilla toteutettuna. Jos verkkoa ei saada yksinkertaistettua tarpeeksi ja liittymien ottajamäärä on suuri, niin saattaa tavallinen kaapelointimenetelmä olla parempi ratkaisu.

Kustannuksien synty mikrokanavatekniikalla kohti lopullista hintaa ei ole kuitenkaan se pääasia vaan se, että kustannusten synty saadaan ajoitettua aina oikein puhaltamalla alueelle verkkoa sitä mukaan kuin on tarvetta, eikä näin ollen jouduta sitomaan pääomaa vain verkon varalla oloon. Mikrokanavatekniikallakin kannattaa kuitenkin lähivuosien tiedossa oleva tarve pitää varalla lisäkuiduilla varalla, että ei jouduta tekemään ylimääräisiä puhalluksia. Pidetään näin varalla olevat mikroputket vapaana pidemmän tähtäimen laajennuksia ajatellen ja käyttövalmiina mahdollisille verkon muutoksille.

Mikrokanavatekniikka on sitä kustannustehokkaampaa mitä tiheämpää asutus on. Tästä syystä sen käyttö runkoverkoissa on vähäisempää, mutta sen käyttö

on mahdollista myös siinä. Esimerkiksi jos pidemmän reitin päässä reitti haarautuu useaan osaan, jossa jokaisen haaran päässä on alue, joka voitaisiin kuiduttaa, niin voidaan reitti rakentaa mikrokanavatekniikalla. Tällöin jokaiselle alueelle voidaan puhaltaa oma runkonsa eikä haarakohtaan tarvitse tuoda näin ollen todella isoa runkokaapelia tai rakentaa aktiivilaitetta.

Uuden rakentamisen lisäksi mikrokanavatekniikka on muutostöissä erinomainen kohde, sillä olevia mikrokanavareittejä pitkin voidaan muuttaa kaapelireittejä ja näin voidaan päästä esimerkiksi jonkin rakennustyömaan alta pois. Muutostöiden varalta mikrokanavareittejä rakentaessa on syytä käyttää isompia nippuja mitä olisi tarve, jotta niitä voitaisiin käyttää muutostöissä. Olevista nipuista voidaan jatkaa rakentamista helposti mikrokanavaverkon modulaarisuuden vuoksi, jolloin verkon rakennetta voidaan muuttaa huomattavasti helpommin kuin tavallisen verkon rakennetta.

Jotta mikrokanavatekniikasta saataisiin kaikki hyöty irti, tulisi rakentajien tuntea mikrokanavaverkon rakennustavat, jotta verkko saadaan toimivaksi. Toimivaa verkkoa varten mikrokanavaverkko tulisi suunnitella hyödyntäen kaikki siitä saatavat mahdollisuudet, jolloin mikrokanavaverkon suunnittelu on työläämpää ja vaatii enemmän kuin tavallisen verkon suunnittelu. Toisaalta mikrokanavaverkko antaa myös hieman anteeksi virheitä. Esimerkiksi jos suunnittelija on katsonut, että kadun varressa on talo ja piirtänyt sille yhden putken ajatellen, että sinne menee nelikuituinen kaapeli. Huomataan, että kyseessä onkin paritalo, niin nelikuituisen kaapelin sijasta voidaankin puhaltaa talon seinustalle 12 kuituinen kaapeli, josta jaetaan yhteys molempiin asuntoihin.

Yhteenvetona voidaan sanoa, että mikrokanavatekniikalla saadaan aikaiseksi kustannustehokkaita varauksia tiheästi rakennetuille alueille, jos rakentaminen ja suunnittelu sujuu oikeaoppisesti. Voidaan pitää myös ajatus mielessä, että mitään aluetta ei ole pakko suunnitella ja rakentaa joko tavallisella kaapeloinnilla tai mikrokanavatekniikalla, vaan tietyissä tapauksissa molempien yhdistäminen saattaa olla jopa paras ratkaisu.

## 14 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mikrokanavatekniikan hyödyntämistä optisen verkon rakentamisessa haastatteluilla, lähteillä ja esimerkkisuunnitelmien vertailuilla. Tutkimuksessa saatiin hyvin tietoa mikrokanavatekniikan soveltuvuudesta optisen verkon rakentamiseen ja kerätystä tiedosta saatiin tämä kattava opinnäytetyö, joten tavoitteet voidaan sanoa saavutetuiksi.

Haastattelut toteutettiin henkilökohtaisella tasolla joko sähköpostitse, puhelimitse tai kasvotusten ja niillä saatiin erinomaista tietoa mikrokanavaverkon rakentamisesta. Haastattelukysymykset olivat aina kohdistettu ja mietitty erikseen liittyen siihen, millä tasolla haastateltava toimii mikrokanavatekniikan parissa. Täten kysymykset olivat pääosin erilaisia jokaiselle, mutta muutamia samoja kysymyksiä oli. Samoissa kysymyksissä ei esiintynyt juurikaan eroavaisuuksia vastauksissa ja yleinen mikrokanavatekniikan mielikuva oli haastateltavilla positiivinen.

Haastatteluja, lähteitä ja omaa työkokemusta käyttäen laatimani suunnitelmat Vennivaaran kaava-alueesta selvittivät hyvin eroavaisuuksia mikrokanavatekniikan ja tavallisen kaapeloinnin välissä. Näiden suunnitelmien avulla voi hahmottaa konkreettisemmin eroja, kun pohtii rakentamistavan valintaa uusille alueille.

Sen lisäksi, että tästä opinnäytetyöstä voi saada ajatuksia mikrokanavatekniikan hyödyntämisestä ja käyttömahdollisuuksista, voi myös tuotoksen avulla tutustua optisen verkon peruseräisiin ja tavallisiin rakentamismenetelmiin. Näiden koostaminen tuotokseen tuntui luonnolliselta oman työkokemuksen kautta ja niistä kehittyi myös hyvin kattava paketti.

Koska mikrokanavatekniikka on vielä alalla uutta eikä täten voida tietää varmuudella mikrokanavien käyttöikä, tulisi tulevaisuudessa tutkia vielä, miten maaperässä olo vaikuttaa mikroputkien puhallusominaisuuksiin. Tutkimuksia voisi keskittää esimerkiksi siihen, että painuvatko mikroputket ajan saatossa ja muuttuuko putkien sisäpinnat enemmän kitkaa aiheuttaviksi. Tähän liittyen myös matala-asennuksien vaikutuksia mikroputkiin olisi syytä tutkia tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

Aamulehti 2017. Yt-neuvotteluissa työnsä menettäneet miehet jalostivat bisnesideansa – tietoliikenneyhteyksiä rakennetaan nyt uudella tekniikalla. Viitattu 13.4.2018 <https://www.aamulehti.fi/kaupallinen-yhteistyö/yt-neuvotteluissa-työnsä-menettäneet-miehet-jalostivat-bisnesideansa-tietoliikenneyhteyksiä-rakennetaan-nyt-uudella-tekniikalla-nsedi0014812/>.

Ahola, J. Opinnäytetyöhön kysymys mikrokanavatekniikasta. teemu.kosamo@edu.lapinamk.fi 18.5.2018. Tulostettu 20.5.2018.

Arrock Cable. Arrock Cable T8150. Viitattu 4.4.2018 [http://www.arrock.fi/arrock\\_cable/](http://www.arrock.fi/arrock_cable/).

Avoin kuitu a. 5G tekniikka kehittyä valokuidun mukana. Viitattu 5.3.2018 <https://www.avoinkuitu.fi/juuri-nyt/5g-tekniikka-kehittyä-valokuidun-mukana>.

Avoin kuitu b. Toimivat yhteydet vaativat valokuitua. Viitattu 5.3.2018 <https://www.avoinkuitu.fi/juuri-nyt/toimivat-yhteydet-vaativat-valokuitua>.

Brother 2014. Faksi on jo 50-vuotias. Viitattu 22.2.2018 <https://www.brother.fi/about-brother/news/2014/fax-50-years>.

Dahlbacka. Myyrä. Viitattu 7.4.2018 <http://www.dahlbacka.com/myyra.html>.

DNA 2018. Vuosikymmenten kokemus. Viitattu 23.2.2018 <https://www.dna.fi/vuosikymmenten-kokemus>.

Elisa 2018. Historia vuosikymmenittäin. Viitattu 20.2.2018 <http://corporate.elisa.fi/tietoa-elisasta/historia/historia-vuosikymmenittäin/>.

Hautaniemi, J. Veljekset Toivanen Oy, Maarakennuskoneenkuljettajan haastattelu 20.5.2018.

Hexatronic 2015, Valokaapelituotteet liityntäverkkoihin. Viitattu 8.4.2018 [https://hexatronic.com/media/207678/2015-12-22\\_finland\\_catalog\\_general\\_original\\_lr.pdf](https://hexatronic.com/media/207678/2015-12-22_finland_catalog_general_original_lr.pdf).

Hexatronic a. Paksuseinäiset mikrokanavaniput, yksiputkiset, 7/3,5 mm. Viitattu 8.4.2018 <http://hexatronic.com/fi/tuotteet/mikrokanavat-maa-asennuksiin/paksuseinaiset-mikrokanavaniput-yksiputkiset-73-5-mm/>.

Hexatronic b. Gas Block Connector 7-14 mm. Viitattu 7.4.2018 <http://hexatronic.com/fi/tuotteet/sulut-liittimet-ja-paeatetulpat/gas-block-connector-7-14-mm/>.

Huawei 2014. Huawei S5300LI V200R05 Switch Product Brochures. Viitattu 11.3.2018 [http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw\\_093970.pdf](http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093970.pdf).

Humminen, M. 2017. Eltel Networks Pohjoinen Oy. Työpäällikön haastattelu 21.5.2018.

HWOY. Kaapeliaurat. Viitattu 27.3.2018 <http://www.hwoy.fi/kaivinkoneiden-lisalaitteet/muut-lisalaitteet-kaivinkoneisiin/kaapeliaurat/>.

Ideamrent 2018. Verkkojyrä/nurmikkojyrä 50 cm. Viitattu 2.4.2018 <http://ideam.fi/home/247-vuokraus-verkkojyr-nurmikkojyr-50-cm-nurmijyr-nurmi-kon-perustamiseen-ja-mullan-tasaukseen.html>.

Juniper 2018. SRX300 Services Gateways. Viitattu 15.3.2018 <https://www.juniper.net/us/en/products-services/security/srx-series/srx300/>.

Järkevä. Miniflow Rapid – Kaapelinpuhalluslaite. Viitattu 13.4.2018 [http://www.jarkeva.fi/webshop/vuokrauspalvelut.html/?\\_\\_store=fremco&\\_\\_from\\_store=m3m#!/Item/miniflow-rapid-kaapelinpuhalluslaite-8.html](http://www.jarkeva.fi/webshop/vuokrauspalvelut.html/?__store=fremco&__from_store=m3m#!/Item/miniflow-rapid-kaapelinpuhalluslaite-8.html).

Kilki, K. 2015a. Informaatioteknologian perusteet. Johdanto. Viitattu 7.3.2018. <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/view.php?id=35526>.

-2015b. Informaatioteknologian perusteet. Kiinteät verkot. Viitattu 7.3.2018 <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/view.php?id=84282>.

Liikennevirasto 2016. Liikenneviraston määräys johtojen ja rakenteiden sijoittamisesta maantien tiealueelle. Viitattu 26.3.2018 [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lm\\_2016\\_tiealueen\\_johdot\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lm_2016_tiealueen_johdot_web.pdf).

Marttila S. 2015. FTTX Optiset liityntäverkot. Oulu: Nestor Cables Oy.

Matilainen, J. 2015. Seutuverkkoseminaari. Viitattu 4.3.2018 [http://www.seutuverkot.fi/assets/images/esityksetK2015/Finnet\\_Seutuverkot\\_seminaari.pdf](http://www.seutuverkot.fi/assets/images/esityksetK2015/Finnet_Seutuverkot_seminaari.pdf).

Mäkelä, E. 2008. Lennättimen historiaa. Viitattu 17.2.2018 [http://www.lehti.hok-saa.net/lennattimen\\_historiaa.html](http://www.lehti.hok-saa.net/lennattimen_historiaa.html).

Nokia 2017. Nokia 7750 SR-a Series Data Sheet EN. Viitattu 11.3.2018 [https://onestore.nokia.com/asset/181678/Nokia\\_7750\\_SR-a\\_Series\\_Data\\_Sheet\\_EN.pdf](https://onestore.nokia.com/asset/181678/Nokia_7750_SR-a_Series_Data_Sheet_EN.pdf).

Nestor Cables 2017. Mikrokanavatekniikka soveltuu taajamien valokaapelointeihin. Viitattu 11.4.2018 <http://www.nestorcables.fi/blog/mikrokanavatekniikka-soveltuu-taajamien-valokaapelointeihin>.

Nestor Cables a. TBK8 kotelon asentaminen. Viitattu 12.3.2018 [http://www.nestorcables.fi/sites/default/files/attachments/tbk8-kotelon\\_asentaminen.pdf](http://www.nestorcables.fi/sites/default/files/attachments/tbk8-kotelon_asentaminen.pdf).

Nestor Cables b, Jatkoskotelo TBK8. Viitattu 12.3.2018 <http://www.nestorcables.fi/nescon-asennustarvikkeet/tykoflex-jatkoskotelot/jatkoskotelo-tbk8>.

Nestor Cables c. Mikrokanavakaapelit. Viitattu 7.4.2018 <http://www.nestorcables.fi/mikrokanavatekniikka/mikrokanavakaapelit>.

Nestor Cables d. Maahan asennettavat mikrokanavat. Viitattu 8.4.2018 <http://www.nestorcables.fi/mikrokanavatekniikka/mikrokanavat/maahan-asennettavat-mikrokanavat>.

Nestor Cables e. Valokaapelit moottoriteiden telematiikkaratkaisuihin. <http://www.nestorcables.fi/projektit/valokaapelit-moottoriteiden-telematiikkaratkaisuihin>.

Nupumies. Kuva asfaltin leikkauksesta. Viitattu 27.3 [https://nupumies.fi/photos/kulj\\_ja\\_maa/vio502.jpg](https://nupumies.fi/photos/kulj_ja_maa/vio502.jpg).

Onninen 2011a. Jatkoskaapit optisiin liityntäverkkoihin UK-FTTX, UK-FTTX PFD ja UK-FTTX 200 mm. Viitattu 14.3.2018 <http://www.onninen.com/finland/Tuotteet/tietoliikenne/Valokaapelitekniikkajaliityntaverkot/Jatkoskaapit/Pages/JatkoskaapitOptisiinLiityntaverkkoihin.aspx>.

-2011b. Ristikytkentäkaappi ulkoasennuksiin UK 192, tuotenro 692 490. Viitattu 20.3.2018 <http://www.onninen.com/finland/Tuotteet/tietoliikenne/Valokaapelitekniikkajaliityntaverkot/Ristikytkentäkaapit/Pages/RistikytkentäkaappiUK192.aspx>.

Onninen a. Draka XOK 10307-24P. Viitattu 13.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=1437242&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=1437242&lang=FIN1).

Onninen b. Kuitujatkospakkaus Draka XOK 112. Viitattu 13.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=1586434&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=1586434&lang=FIN1).

Onninen c. Jatkoskotelo Onninen TT-12/24 seinäasennettava. Viitattu 17.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=1356136&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=1356136&lang=FIN1).

Onninen d. Aktiivilaite Inteno XG-6846. Viitattu 17.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=2007183&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=2007183&lang=FIN1).

Onninen e. Aktiivilaite Inteno XG-6846 pohjalevy. Viitattu 17.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=2007258&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=2007258&lang=FIN1).

Onninen f. Liitinpaketti Päätekotelo LC 12 häntäk./adap. Viitattu 17.3.2018. [http://products.onninen.com/catalog/299016/product/1492664/AMJ220\\_FIN1.html](http://products.onninen.com/catalog/299016/product/1492664/AMJ220_FIN1.html).

Onninen g. Päätekotelo Fibox FTTH FTB-A PC7TPE,IP54,SCx4. Viitattu 17.3.2018 [http://products.onninen.com/catalog/index.pl?\\_function=productcard&pr\\_id=1588133&lang=FIN1](http://products.onninen.com/catalog/index.pl?_function=productcard&pr_id=1588133&lang=FIN1).

Opte 2015. The Internet. Viitattu 8.3.2018 <http://www.opte.org/the-internet/>.

Peda.net a. Puhelimen historiaa. Viitattu 20.2.2018 <https://peda.net/valkeakoski/opetuspalvelut/pk/naakan-koulu/oppiaineet/fysiikka/fyym%C3%A4ntyl%C3%A4/e9k2/3ssjv/puhelimen-historiaa>.

Peda.net b. Mikä on Internet?. Viitattu 9.3.2018 <https://peda.net/jyu/it/do/kkv/2-internet/2moi>.

Perälä, R. 2007. Lennätin mullisti tiedonvälityksen. Viitattu 14.2.2018 <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2007/10/04/lennatin-mullisti-tiedonvalityksen>.

Päiviö, O. 2015. Arroch Cable -kaapelijyrsimellä ympäri vuoden. Viitattu 5.4.2018 <http://www.koneporssi.com/uutiset/arrock-cable-kaapelijyrsimella-ympari-vuoden/>.

Rauman Energia. Säävarma sähköverkko. Viitattu 30.5.2018 <https://rauman-energia.fi/sahkoverkko/saavarma-sahkoverkko>.

Renfors, J. 2018. Opinnäytetyö mikrokanavatekniikasta. teemu.kosamo@edu.lapinamk.fi 19.5.2018. Tulostettu 20.5.2018.

Rotator. Bomag tärylätkät ja täryvasarat. Viitattu 3.4.2018 <https://www.rotator.fi/koneet/maanrakennus/bomag-maantiivistajat/tarylatka-ja-taryvasara/>.

Router Switch 2018. LS-S5328C-EL-24S. Viitattu 16.3.2018 <http://www.router-switch.com/ls-s5328c-ei-24s-p-15882.html>.

Rovaniemi 2015. Rovaniemen kaupunki Asemakaava ja asemakaavan muutos 10. kaupunginosa, Vennivaara. Viitattu 20.5.2018 <https://www.rovaniemi.fi/loader.aspx?id=57295e6a-1981-4cf6-81c1-c5d7bc141798>.

Rovaniemi 2017. Katukohteet 2018. Viitattu 20.5.2018 <https://www.rovaniemi.fi/loader.aspx?id=2f9f79ed-4257-4abd-abc0-a4a1719caf3f>

Rovaniemi. Rovaniemen karttapalvelu. Viitattu 17.5.2018 <https://kartta.rovaniemi.fi/ims/>.

Runsten, K. 2017. Nopea laajakaista olisi jo saatavilla joka toiseen kotiin – kiinteä yhteys vasta joka kuudennessa. Viitattu 1.3.2018 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/talous/nopea-laajakaista-olisi-jo-saatavilla-joka-toiseen-kotiin-kiinte%C3%A4-yhteys-vasta-joka-kuudennessa-1.184783>.

Sammatti, M. 2017. Mikro-ojitus valokuituverkon rakentamisessa. Viitattu 5.4.2018 <https://www.koneviesti.fi/artikkelit/artikkeli-1.205610>.

Several 2017a. Suuntaporaus. Viitattu 7.4.2018 <http://www.several.fi/brands/vermeer/suuntaporat/suuntaporaus.html>.

-2017b. Ketjukaivuri Vermeer RTX150. Viitattu 2.4.2018 <http://www.several.fi/brands/vermeer/ketjukaivurit/rtx150/index.html>.

Siikaverkko 2014. Valokuitu. Viitattu 25.3.2018 <http://siikaverkko.fi/valokuitu/>.

SKT 2018. JKS putkikäärmevaunu PST 1000. Viitattu 1.4.2018 <https://skt-products.fi/tuote/jks-putkikaarmevaunu-pst-1000/>.

SLO. Paneelit TT-24 SC/s 697428 TT-24 SC Päätep. Malli. Viitattu 15.3.2018 [https://www.slo.fi/slo/fi/products/\\_layouts/15/slo/productdetails.aspx?partno=7203931](https://www.slo.fi/slo/fi/products/_layouts/15/slo/productdetails.aspx?partno=7203931).

Suomi, R. 2017. Optinen lennätin oli aikansa pikaviestin – asemanhoitajan suurin synti oli nukahtaa. Viitattu 14.2.2018 <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/optinen-lennatin-oli-aikansa-pikaviestin-asemanhoitajan-suurin-synti-oli-nukahtaa-6691280>.



Sähkönumerot. Jatkoslevy Tykoflex – Optisten kuitujen jakoslevy – Tykoflex. Viitattu 18.3.2018 <https://www.sahkonumerot.fi/7283000/>.

TAKK 2017. Uutta TAKKissa: Hexatronic mikrokanavatekniikan koulutus. Viitattu 11.4.2018 [http://www.takk.fi/ajankohtaista/single\\_view/article/uutta-takkissa-hexatronic-mikrokanavatekniikan-koulutus.html](http://www.takk.fi/ajankohtaista/single_view/article/uutta-takkissa-hexatronic-mikrokanavatekniikan-koulutus.html).

TEK Finland 2018. Sumitomo T-71c+ kuitujatkoskone. Viitattu 18.3.2018 <http://tekfinland.fi/tuotteet/sumitomo-kuitujatkoskoneet/sumitomo-t-71c.html>.

Telia 2017. Pientalorakentajan tietoliikenneopas. <https://www.telia.fi/dam/jcr:8c556c1e-8fc2-4d63-9083-7402bc76a48f/pientalorakentajan-tietoliikenneopas-2017.pdf>.

TT Technologies 2017. Grundomat pneumatic piercing tool. Viitattu 6.4.2018 <http://www.tttechnologies.com/download/literature/grundomat-lit.pdf>.

Turpeinen, M. 2018. Tekomo Oy. Maarakennuskoneenkuljettajan haastattelu 11.5.2018.

Turpeinen, N. 2018. Tekomo Oy. Maarakennuskoneenkuljettajan haastattelu 11.5.2018.

Varaosakauppa 2012. Engon Routapiikki R10/s45 – 700 mm. Viitattu 27.3.2018 <http://www.varaosakauppa.fi/Engcon-Routapiikki-R10S45-700-mm>.

Veikkola, J. 2018. Opinnäytetyö. [teemu.kosamo@eltelnetworks.com](mailto:teemu.kosamo@eltelnetworks.com) 30.5.2018. Tulostettu 30.5.2018.

Viestintävirasto 2009. Optiset liityntäverkot V2. Viitattu 10.3.2018 <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/tyoryhmaraportit/TRA-portti012006v2.pdf>.

Viestintävirasto 2016. Kuluttajatutkimus, 2016. Viitattu 23.2.2018 [https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Kuluttajatutkimus\\_2016.pdf](https://www.viestintavirasto.fi/attachments/toimialatieto/Kuluttajatutkimus_2016.pdf).

Viestintävirasto 2018a. Kiinteän verkon laajakaistaliittymien määrä. Viitattu 26.2.2018 <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/tilastot/2013/kiinteaverkonlaajakaistaliittymat.html>.

-2018b. Kiinteän verkon laajakaistaliittymien markkinaosuudet. Viitattu 26.2.2018 <https://www.viestintavirasto.fi/tilastotjatutkimukset/tilastot/2013/kiinteaverkonlaajakaistaliittymienmarkkinaosuudet.html>.

-2018c. Sisäverkkojen usein kysytyt kysymykset. Viitattu 10.4.2018 [https://www.finlex.fi/data/normit/44045/Sisaverkkojen\\_usein\\_kysytyt\\_kysymykset\\_M65C.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/44045/Sisaverkkojen_usein_kysytyt_kysymykset_M65C.pdf).

Yli-Suvanto, M. 2018. Eltel Networks Pohjoinen Oy. Dokumentoijan haastattelu 21.5.2018.

## LIITTEET

Liite 1. Haastattelukysymyksiä

Liite 2. Tavallinen kaapelointi, urakkaosa 1

Liite 3. Tavallinen kaapelointi, urakkaosa 2

Liite 4. Mikroputkitus, urakkaosa 1

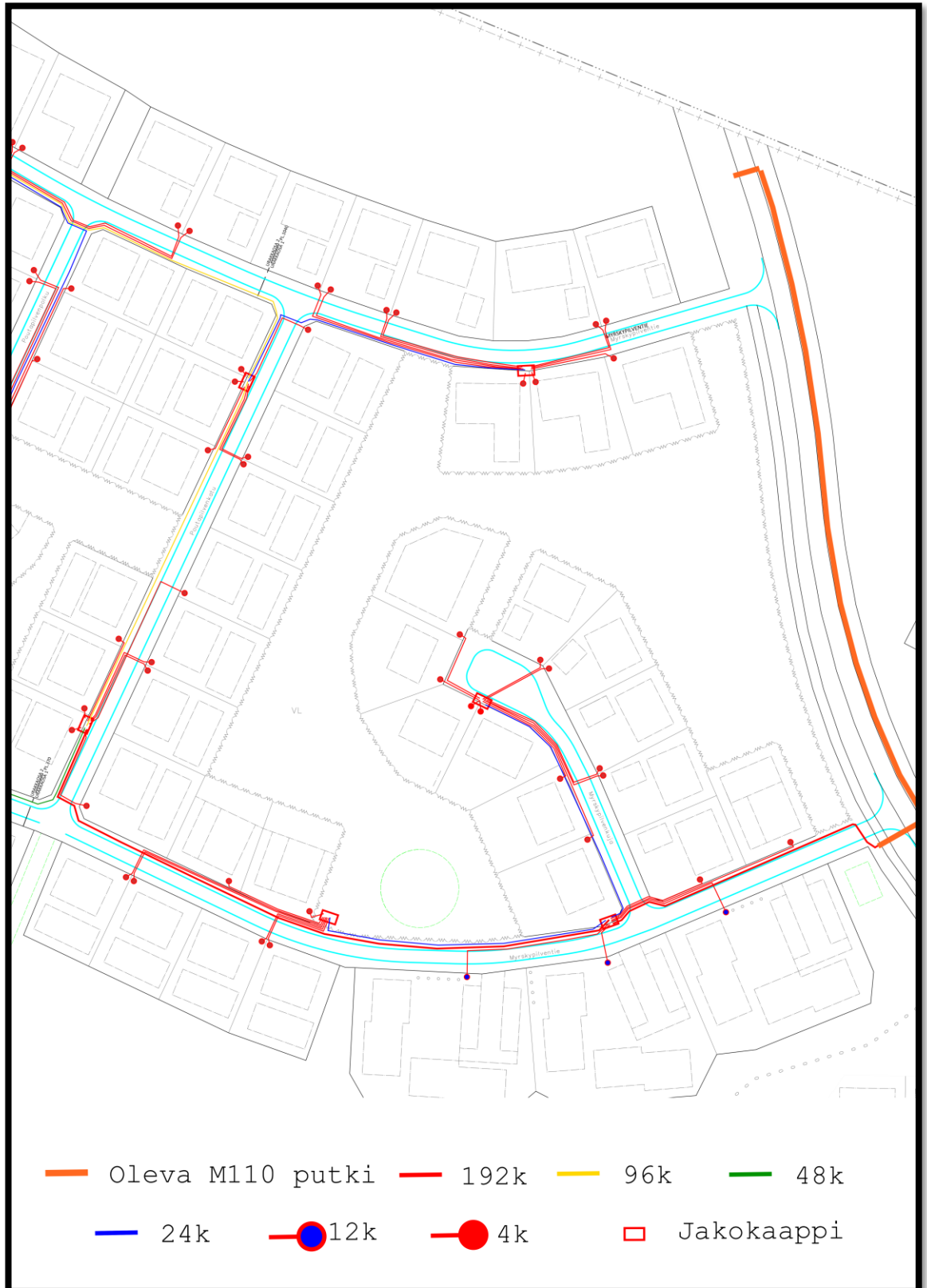
Liite 5. Mikroputkitus, urakkaosa 2

- Onko jossain aurattu mikrokanavareittiä, miten se onnistui ja onko puhallukset rakennetulle reitille onnistuneet?
- Oliko niin, että ulkokäyttöön tarkoitettua mikroputkea ei saisi viedä lainkaan sisälle. Standardin SFS 6000-5-52 kohdan 527.1.4 mukaan saisi viedä 5 metriä ulkokaapelia sisälle, mutta koskeeko tämä standardi mikroputkea?
- Mistä materiaalista mikrokanavat on pääosin tehty? HDPE?
- Mikä on alin lämpötila, missä mikrokanavaa on onnistuneesti rakennettu? Mitä mikrokanavalle tapahtuu, kun mennään liian alhaisille asennuslämpötiloille?
- Vieläkö mikrokanavan kiertymisiä on kuulunut esiintyvän, kun sitä puretaan kelalta (eli ei asetu suoraksi vaan menee "spiraalille") ja mitkä syyt aiheuttavat sen? Onko sen estämiselle jokin keino?
- Onko mikrokanava suojattava välttämättä hienolla hiekalla, vai olisiko mahdollista kouruttaa kanavaa, jolloin kaivuumassoja (jos ei älyttömän kivistä) voitaisiin käyttää esitäyttönäkin?
- Onko jossain matala-asennuksissa tehty mikrokanavan suojauksia betonoinnilla, ja miten tällaiset kohteet ovat onnistuneet niin rakentamisen kuin puhaltamisen merkeissä?

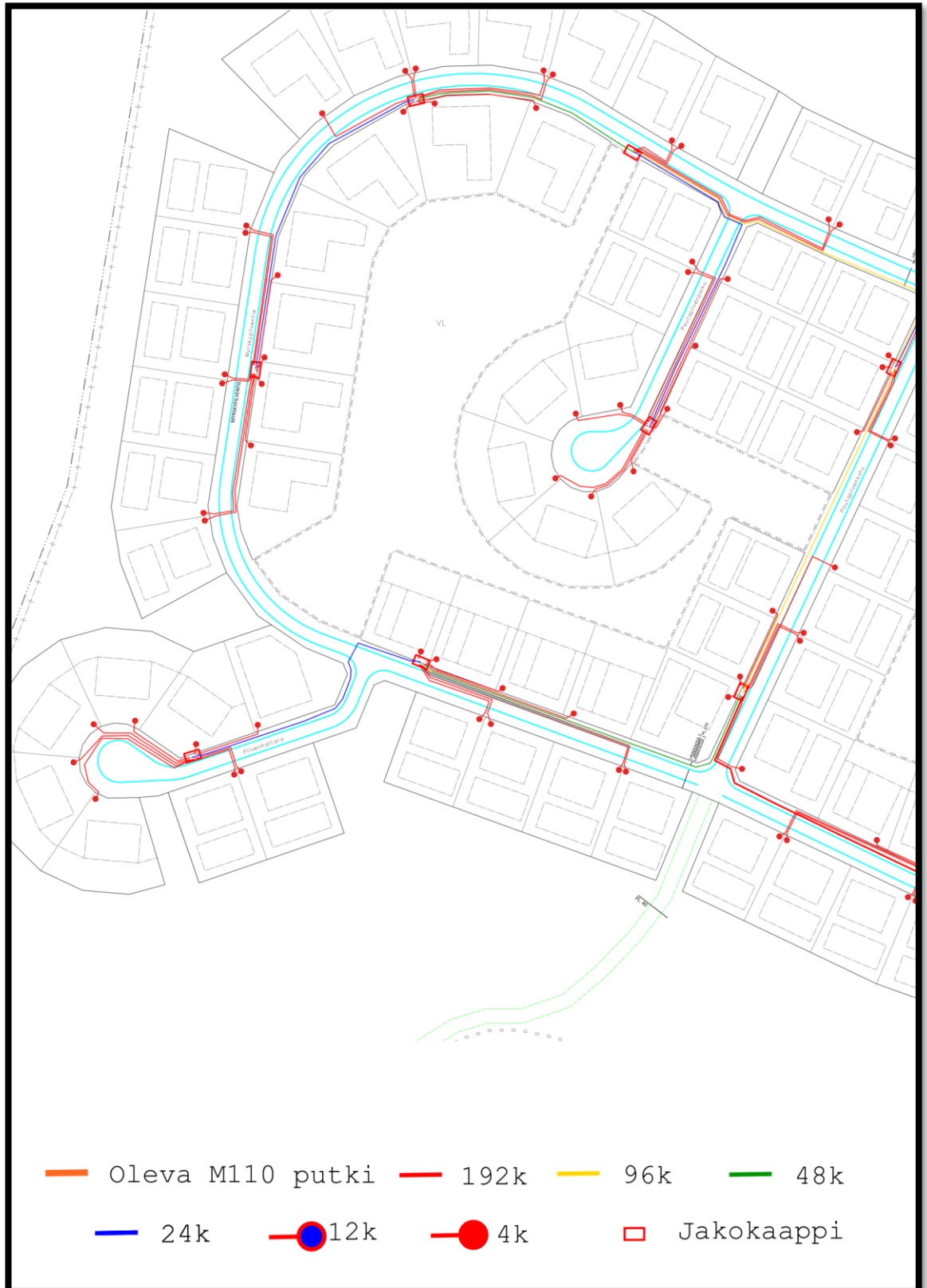
- Ruotsissa rakennetaan kertomasi mukaan lähes kaikki valokuituverkot mikrokanavatekniikalla:  
  
<https://www.aamulehti.fi/kaupallinen-yhteistyoyt-neuvotteluissa-tyonsamenettaneet-miehet-jalostivat-bisnesideansa-tietoliikenneyhteyksia-rakennetaan-nyt-uudella-tekniikalla-nsedi0014812/>
  - Mikä tekee eron, että siellä rakennetaan enemmän kuin Suomessa?
  - Onnistuuko rakentaminen siellä yhtään paremmin kuin Suomessa vai kärsitäänkö siellä myös ongelmista, joita Suomessa esiintyy (mm. puhallukset eivät onnistu viallisen mikrokanavaverkon vuoksi)?
- Onko jossain kaivettu kaapeleita sisältävä mikrokanava poikki, joka olisi korjattu oikealla menetelmällä eli poistamalla poikkinaiset kaapelit putkesta -> yhdistämällä putket ja puhaltamalla uudet kaapelit tilalle, vai onko käytäntö osoittanut, että korjaukset tehdään tavallisten kaapelikorjausten tapaan eli pätkä kaapelia ja pari jatkoa väliin?
  - Jos tehdään perinteiseen malliin, niin mikä on syy siihen?
- Juolahtaako mieleesi mitään muuta kommenttia mikrokanavatekniikasta, jota olisi hyvä esittää opinnäytetyössä?
- Kuinka pitkästi runkokaapelia voi puhaltaa hyvissä olosuhteissa ja ehjällä mikrokanavaverkolla?
- Kuinka pitkästi tilaajakaapelia voi puhaltaa hyvissä olosuhteissa ja ehjällä mikrokanavaverkolla?
- Mikä tekee eron runkokaapeleiden ja tilaajakaapeleiden puhallusmatkoihin?
- Mitkä asiat ovat merkittävimpiä puhallusmatkoja lyhentäviä tekijöitä?

- Tuntuiko, että mikroputkituksen asentaminen olisi ollut haasteellisempaa tai helpompaa verrattuna tavallisen kaapelin asentamiseen?
- Miksi asentaminen oli haasteellisempaa tai helpompaa? (Alla vaihtoehtoisia ajatuksia mihin voit vastata)
  - Oliko etuna tai haittana:
  - ...mikrokanavan paino?
  - ...lemppauksen vähyys koska voi katkaista väliltä?
  - ...mikrokanavan käsiteltävyys ja kelalta purettavuus? Menikö mikroputki kierteelle vai asettuiko suorasti kelalta purettaessa?
  - ...mikroputkien värijärjestys? Olisiko mieluummin esimerkiksi numeroilla erotettava selkeämpi ja helpommin luettavissa?
- Tuntuiko mikrokanavan peittäminen hiekalla turhan tarkkuutta vaativalta työltä?
- Mikrokanava vaatii metallia sisältävän varoitusnauha, jos siinä ei ole kuoressa itsessään signaalinlähetintä. Asensitteko tällaista metallinauhaa ja oliko sen käsiteltävyydessä ja jatkamisissa jotain ongelmia tai haasteita?
- Jäikö mikrokanavan rakentamisesta positiivinen tai negatiivinen mielikuva? Jos saisit itse päättää, kummalla menetelmällä rakentaisit mieluummin ja miksi? (mikrokanavatekniikalla vai tavallisella mustalla kaapelilla)
- Onko teillä ollut useita mikrokanavatekniikalla toteutettuja työmaita (kaivamalla, auraamalla tai muuten toteutettuna) ja onko niistä yleensäkin jäänyt positiivinen vai negatiivinen kokemus?
- Mitkä ovat mielestäsi suurimmat haasteet mikrokanavatekniikassa? Liittykö se suunnittelun aikaisiin valintoihin vai rakentamisen aikaisiin menetelmiin tai johonkin aivan muuhun?
- Onko mikrokanavan aurauksessa ilmennyt mitään erityistä ongelmaa, vai sujahtaako mikrokanava kaapelin lailla kaivantoon?
- Kun mikrokanavaa on aurattu, niin onko puhallukset putkiin onnistuneet ongelmitta heti aurauksen perään ja vuosien kuluttua aurauksesta?

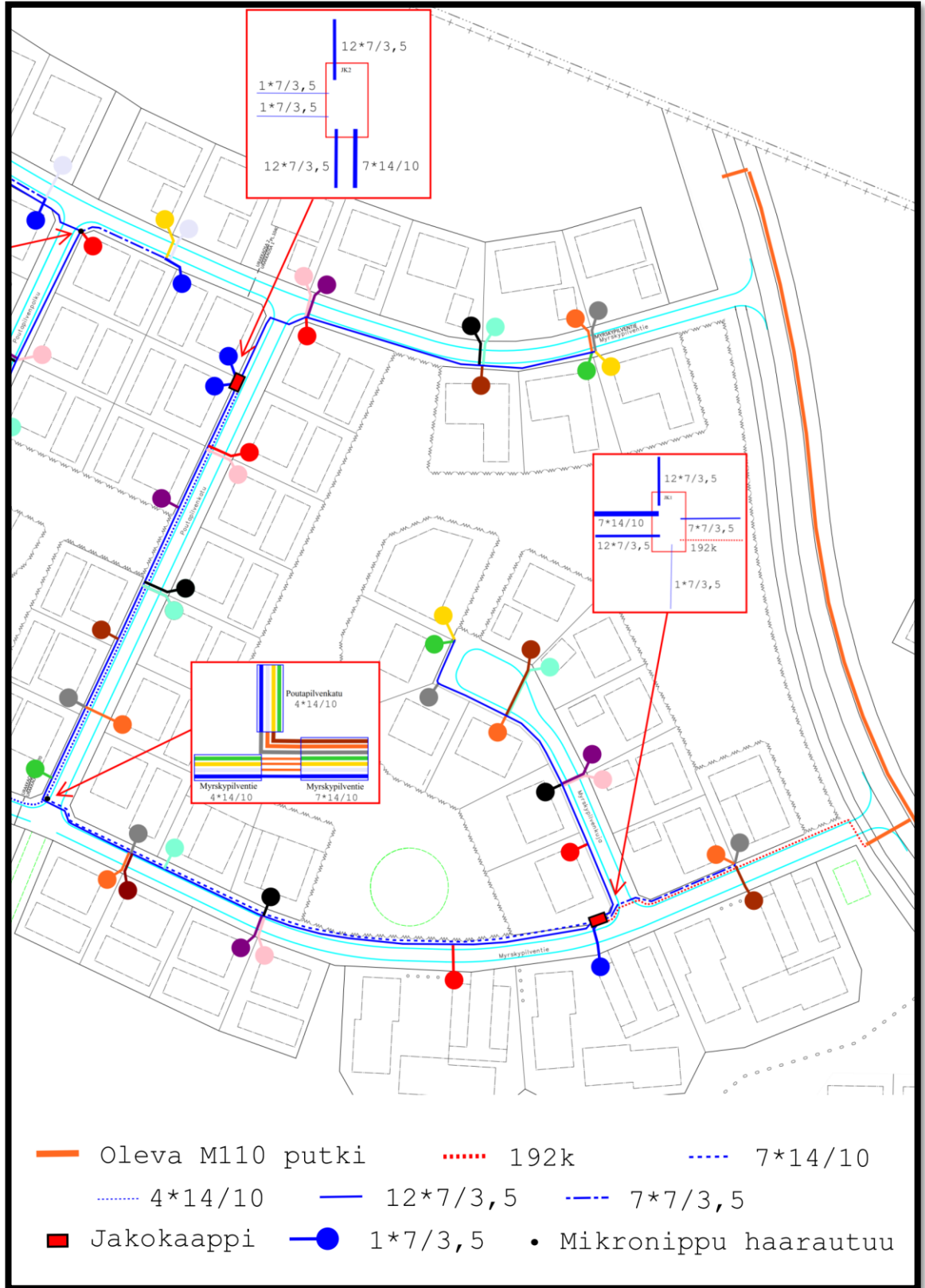
## Liite 2



## Liite 3



Liite 4





## Liite 5

