

**AUTOMAATTIAJAMISEEN VARAUTUMINEN VALTION
TIEVERKOLLA**



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Tulevaisuuden liikennejärjestelmät

Syksy, 2018

Riku Suursalmi

Tulevaisuuden liikennejärjestelmät
Riihimäki

Tekijä	Riku Suursalmi	Vuosi 2018
Työn nimi	Automaattiajamiseen varautuminen valtion tieverkolla	
Työn ohjaaja	Lehtori Teppo Sotavalta	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö on tehty Liikennevirastolle ja työssä esitetyt toimenpide-ehdotukset koskettavat maanteiden suunnittelu- ja toteutusprosessia. Työssä tarkastellaan automaattiajamista ja siihen liittyvää tekniikkaa sekä kuvataan maanteiden esi-, yleis-, tie-, ja rakennussuunnitteluvaiheet.

Työllä haetaan vastausta kahteen kysymykseen: Mitä automaattiajaminen vaatii tien fyysiseltä infrastruktuurilta ja kuinka varautua automaattiajamiseen valtion tieverkolla eri suunnitteluvaiheissa.

Työn teoreettisessa viitekehyksessä kuvataan automaattiajamiseen vaadittavia teknologioita ja antureita, sekä tarkastellaan viiden eri ajoneuvovalmistajan automaattiajamisen konseptia antureineen. Lisäksi työssä kuvataan tien suunnitteluprosessi osapuolineen sekä eri vaiheiden lopputulokset.

Työn aineisto kerättiin kirjallisuustutkimuksena pääosin ajoneuvovalmistajien sähköisistä materiaaleista ja tuote-esitteistä. Työssä tutkittiin mitä eri ajoneuvovalmistajien automaattiautot vaativat maanteiden tieinfralta. Asiantuntijahaastatteluja hyödynnettiin työn lopputuloksien oikeellisuuden varmistamisessa.

Työn lopputuloksena syntyi ehdotus tienpitäjälle automaattiajamiseen varautumisesta juuri nyt käynnistyvissä suunnittelu- ja toteutushankkeissa. Työssä laadittiin toimenpide-ehdotukset eri suunnitteluvaiheisiin ja kirjausehdotukset eri suunnitteluvaiheiden suunnitteluperusteisiin, jotta automaattiajaminen tulee huomioitua tulevilla tiehankkeissa riippumatta siitä, missä suunnitteluvaiheessa ne ovat nyt tai kuka on hankkeen toteuttava taho.

Avainsanat Automaattiajaminen, tiehanke, suunnittelu
Sivut 71 sivua, joista liitteitä 23 sivua

Traffic Management Systems of the Future

Riihimäki

Author	Riku Suursalmi	Year 2018
Subject	Preparing for autonomous driving on state-owned road network	
Supervisors	Lecturer Teppo Sotavalta	

ABSTRACT

This thesis was commissioned by Finnish Transport Agency, FTA. All the proposals for action in this thesis are made for above-mentioned organization. This thesis presents autonomous driving and technology used in it.

The aim of this thesis is to solve two questions: What are the requirements autonomous driving sets for road infrastructure and how to prepare for autonomous driving in different road planning phases.

The theoretical framework describes technologies and components used in autonomous driving and presents autonomous car concepts from five different manufacturers. Road planning process is also presented.

The data for this thesis was collected mainly from car manufacturers and FTA's research papers. Also, specialists were interviewed. Autonomous car manufacturer's needs towards road infrastructure were collected.

As an outcome of this thesis, there was made proposal how to prepare for autonomous driving in road planning and construction projects. Also, the requirements for actions in every road planning phase were described.

Keywords Autonomous driving, road project, planning

Pages 71 pages including appendices 23 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	TUTKIMUSASETELMA	4
3	AUTOMAATTIAJAMINEN	5
3.1	Automaattiajamisen tasot.....	5
3.2	Automaattiaajoneuvojen tekniikka.....	7
3.2.1	Tutka	7
3.2.2	Kamerat	8
3.2.3	LiDAR-tutka	9
3.2.4	Lämpökamera	11
3.2.5	Ultraäänianturit	11
3.2.6	Kuvatulkinta ja ohjelmistot.....	12
3.2.7	Paikannus.....	12
3.2.8	Automaattiajamisen tietoliikenne.....	13
3.3	Tekniikat eri ajoneuvovalmistajilla.....	18
3.3.1	Tesla.....	18
3.3.2	Sensible 4.....	22
3.3.3	VTT.....	23
3.3.4	Waymo.....	24
3.3.5	Volvo.....	24
3.4	Automaattiajamisen aikajänne	26
3.5	Yhteenvedo ajoneuvoteknologioista	27
4	TIEN SUUNNITTELUPROSESSI	27
4.1	Suunnittelun osapuolet.....	28
4.2	Esiselvitykset	29
4.3	Yleissuunnitelma	29
4.4	Tiesuunnitelma.....	30
4.4.1	Liikenteenhallinnan yleissuunnitelma	30
4.5	Rakennussuunnitelma.....	31
4.6	Suunnitteluperusteet	31
5	AURORA-ÄLYTIE.....	32
5.1	Hanke lyhyesti	32
5.1.1	Auroran varustelu.....	33
5.2	Tutkimustuloksia	35
5.2.1	Arctic Challenge	35
6	TIELIIKENTEEN AUTOMAATTIAJAMISEN VAATIMUKSET DIGITAALISELLE INFRASTRUKTUURILLE	38
7	TIELIIKENTEEN AUTOMAATTIAJAMISEN VAATIMUKSET FYYSELLE INFRASTRUKTUURILLE	38

8	AUTOMAATTIAJAMISEEN VARAUTUMINEN ERI SUUNNITTELUVAIHEISSA	41
8.1	Rakennussuunnittelu	42
8.2	Tiesuunnittelu	42
8.3	Esi- ja yleissuunnittelu.....	43
9	TULOSTEN ARVIOINTI	43
	LÄHTEET	45

Liitteet

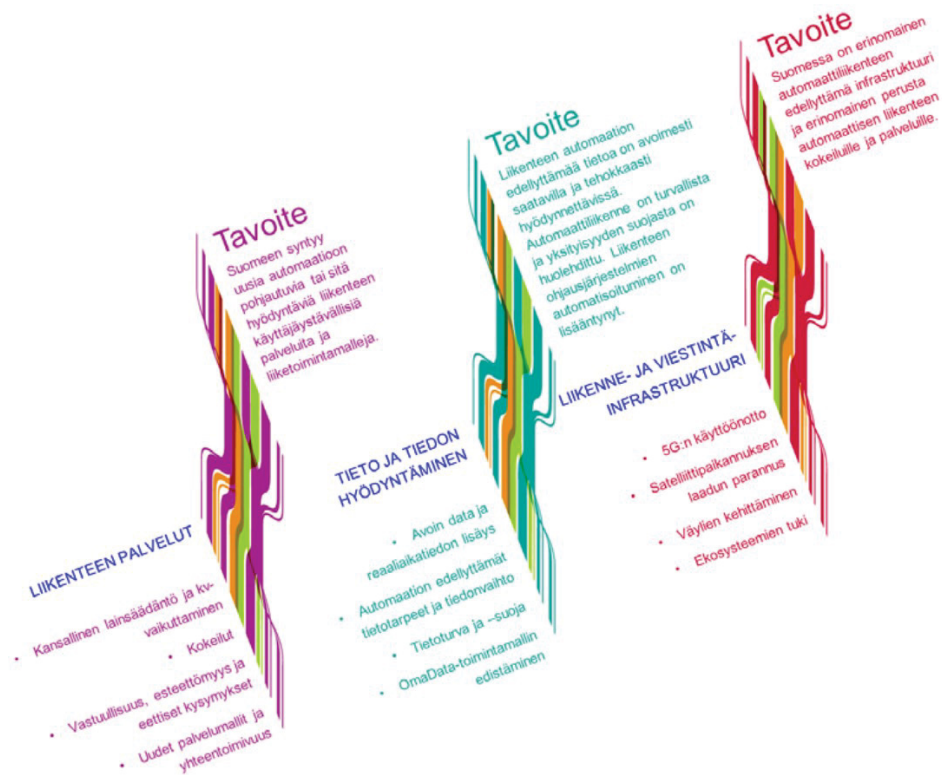
Liite 1	Liikennevirasto, Telematiikan suojaputket ja kaapelikaivot, luonnos
Liite 2	Inframallin tarkkuusvaatimukset

1 JOHDANTO

Tieliikenteen automatisoinnin edistäminen on liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan tavoitteena monella rintamalla. Liikenne- ja viestintäministeriö on linjannut Suomen olevan eturintamassa automaattiajamiseen varautumisessa ja mahdollisuuksien hyödyntämisessä. (Liikennevirasto, 2016a, s. 3)

Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strategisessa ohjelmassa on oma lukunsa digitalisaatiolle, kokeiluille ja normien purkamiselle. Automaattiajaminen osuu tämän otsikon alle täydellisesti. Hallitusohjelmassa on esitetty osana digitaalisen liiketoiminnan kasvu ympäristöä mm. liikenne palveluna ja uusien teknologioiden käyttöönotto. Norminpurku ja kokeilukulttuuri ovat avainasemassa mahdollistamassa automaattiajamisen testausta Suomessa. (Valtioneuvosto, 2015, s. 26)

Hallitusohjelman mukaisesti liikenne- ja viestintäministeriö on laatinut liikenteen automaation ja robotiikan kehittämistoimenpiteiden tiekartan vuosille 2017-2019. Tiekartan toimenpiteet ovat jaettu kolmeen teemaan: palveluiden älykäs automaatio ja robotiikka, tiedon hyödyntäminen ja liikenteen ohjaus sekä liikenne- ja viestintäinfrastruktuurin ja toimintaympäristön kehittäminen. Julkaisun mukaan automaattiajamisen odotetaan olevan mahdollista tietyillä tieosuuksilla jo 2025 mennessä, mutta kaikkialla vasta vuonna 2070. Ministeriön asettamat tavoitteet on esitetty kootusti kuvassa 1. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2017a)



Kuva 1. Liikenteen automaation kolme kehityskokonaisuutta. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017a, s. 15)

Konkreettisimmin automaattiajamiseen kohdistuvat seuraavat LVM:n asettamat tavoitteet:

- Suomessa on erinomainen automaattiliikenteen edellyttämä infrastruktuuri ja erinomainen perusta automaattisen liikenteen kokeiluille ja palveluille.
- Automaattiliikenne on turvallista ja yksityisyyden suojasta on huolehdittu.
- Liikenteen automaation edellyttämää tietoa on avoimesti saatavilla ja tehokkaasti hyödynnettävissä. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2017a, s. 15)

Liikennevirasto puolestaan toimii liikenne- ja viestintäministeriön ohjauksessa ja on käynnistänyt automaattiajamiseen ja laajemmin liikenteen digitalisaation liittyen useita hankkeita ja projekteja. Liikenneviraston toimenpiteet ovat hieman ministeriön toimenpiteitä konkreettisempia.

Parhaillaan Liikennevirasto toteuttaa kolmevuotista digitalisaatiohanketta, jonka yhtenä osahankkeena on automatisoitu liikenne- ja liikkumistietojen kerääminen ja jakelu. Digitalisaatiohankkeen tavoitteena on uudistaa liikenne-, väylä- ja liikkumistietojen tuottaminen, ylläpitäminen ja jakelu. Lisäksi hankkeen tavoitteena on raivata tietä

liikenteen uusille palveluille ja automaattiajamiselle. (Liikennevirasto, 2018a)

Myös Liikennevirastolla on tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma. Vuonna 2016 julkaistu ohjelma on laadittu yhteistyössä Trafín, VTT:n, LVM:n ja Viestintäviraston kanssa. Toimenpideohjelmaan sisältyi vuosille 2016-2017 mm. 114 hanketta, joista 26 kohdistui infrastruktuuriin. Alla, taulukossa 1, on esitetty infrastruktuuriin kohdistuvien toimenpiteiden ajoitukset aihealueittain. (Liikennevirasto, 2016a)

Taulukko 1. Yhteenveto infrastruktuuriin liittyvien toimenpidekorttien ajoituksesta. (Liikennevirasto, 2016a)

I. TIENINFRASTRUKTUURI	2016				2017					
	ID	Nimi	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
I.1	Automaattisen liikenteen tieverkko									
I.2	Tietoliikenneinfrastruktuuri									
I.3	Tiedon saatavuus taustajärjestelmistä									
I.4	Paikkatiedot automaatti-ajamisen tarpeisiin									
I.5	Automatisaation vaikutukset liikenteen hallinnan strategiaan									
I.6	Liittymät									
I.7	Tasoristeykset									
I.8	Liikuteltava tienvarsilaitteisto									
I.9	Automaattisen liikenteen infrastruktuurin verifiointi									
I.10	Taajuudet									
I.11	Tietoliikenneinfrastruktuurin saatavuus									

Liikenneviraston tieliikenteen automatisoinnin toimenpideohjelman mukaisesti on käynnissä myös tutkimus- ja kehityshankkeita. Tässä työssä jäljempänä esitellään valtatielle 21 toteutettu Aurora -älytie ja sen tutkimushankkeet Arctic Challenge ja Infra Challenge. Myös tämän opinnäytetyö voidaan ajatella olevan osa Liikenneviraston tieliikenteen automatisoinnin toimenpideohjelmaa.

Liikenteen digitalisaatio on pinnalla myös muilla hallinnonaloilla. Esimerkiksi työ- ja elinkeinoministeriö on laatinut toimenpideohjelman, jonka yhtenä osa-alueena sivutaan liikenteen automatisaatiota. Julkaisu on nimeltään Liikennealan kansallinen kasvuohjelma 2018-2022. Liikennealan kasvuohjelman päätavoitteena on liikenteen toimialan yritys- ja vientivetoisen kasvun edistäminen tutkimusalan, julkisen sektorin ja yksityisen sektorin yhteistyönä. Ohjelman avulla on tarkoitus luoda kansallinen viitekehys liikenteen digitalisaation, TKI-toiminnan ja investointien sekä julkisten hankintojen suuntaamiseksi. Kasvuohjelman liikenteen tulevaisuuskuvasa 2030 on mukana myös automaattiajaminen ja toimenpideohjelmassa on useita automaattiajamiseen konkreettisesti liittyviä toimenpiteitä, kuten "Älyliikenteen kokeilu-, kehitys- ja palvelualustatoiminta kaupungeissa", "Kaupunkialueille automaattisen liikenteen kehitysalueet" sekä "Markkinakokeilut mahdollistava älyliikenteen testialueiden verkosto". (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2017)

2 TUTKIMUSASETELMA

Liikennevirastolla ja ELY-keskuksilla on vuosittain ohjelmissaan lukuisia maanteiden suunnittelu- ja toteutushankkeita. Automaattiajamisen ennustetaan alkavan jo lähivuosien aikana, mutta tienpitäjällä ei ole vielä suunnitelmaa, kuinka automaattiajamiseen tulisi tiehankkeissa varautua. Automaattiajamiseen varautuminen perustuu tällä hetkellä yksittäisten asiantuntijoiden arvioihin, joten varautumisratkaisut vaihtelevat. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on antaa uusi näkökulma ja suosituksia, kun tarkastellaan ja määritellään niitä periaatteita, joilla maanteiden suunnittelussa ja rakentamisessa varaudutaan autonomisesti tieinfraalla liikkuviin ajoneuvoihin.

Työssä tutkittava automaattiajamisen toimintaympäristö on rajattu valtion maanteihin, josta on rajattu pois tieverkolla sijaitsevat erityiskohteet, kuten tunnelit, sillat ja rautatien ylityskohdat. Tarkasteltavan maantieverkon laajuus on 78 000 km. (Liikennevirasto, 2018e)

Ajoneuvo- ja anturivalmistajat tekevät kiivasta tutkimus- ja tuotekehitystyötä omien automaattiajoneuvojensa parissa. Autoteollisuuden tavoite on saada autonomiset ajoneuvot liikenteeseen laajasti ja nopeasti. Tämän opinnäytetyön kannalta on olennaista, miten tämän hetken kehittyneimmät automaattiajoneuvot toimivat ja mitä ne vaativat tieinfraalta.

Tällä opinnäytetyöllä haetaan ratkaisua kahteen kysymykseen: Mitä automaattiajaminen vaatii tien fyysiseltä infrastruktuurilta ja kuinka varautua automaattiajamiseen kussakin tien suunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyössä kuvataan automaattiajamisen tekniset ratkaisut ja automaattiajamisen eri tasot. Automaattiajamisen kannalta olennaiset toimilaitteet ja teknologiat esitellään pääosin ajoneuvovalmistajien ratkaisujen kautta. Automaattiajamisen ja sen teknisten ratkaisujen lisäksi työssä kuvataan tien suunnitteluprosessi ja niiden tulokset, erityisesti liittyen automaattiajamiseen.

Tietolähteenä käytetään automaattiajamiseen erikoistuneiden yritysten ja ajoneuvovalmistajien julkaisemia tietoja, asiantuntijahaastatteluja sekä alan julkaisuja. Tietojen perusteella laaditaan toimenpide-ehdotukset kullekin maantien suunnitteluvaiheelle.

3 AUTOMAATTIAJAMINEN

Tässä työssä keskitytään tieliikenteen automaattiajamiseen ja autonomisiin henkilöautoihin. Automaattiajamisella tarkoitetaan ajoneuvon liikkumista ilman kuljettajaa joko osittain tai kokonaan. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi määrittelee automaattiajoneuvon olevan ajoneuvo, joka osittain tai kokonaan kykenee suoriutumaan ajotehtävästä ilman kuljettajaa. (Trafi, 2015)

3.1 Automaattiajamisen tasot

Ajoneuvojen eri automaatiotasosta puhuttaessa käytetään yleisessä keskustelussa usein yhdysvaltalaisen autoalan Society of Automotive Engineers (SAE) International – standardointijärjestön kuusiportaista luokittelua. Tässä työssä käytetään samaa luokittelua. Luokittelussa tasolla 0 kuski hoitaa kaiken, eikä autossa ole kuljettajaa avustavia järjestelmiä lainkaan. Tasoluvun kasvaessa myös automaation ja avustavien järjestelmien lukumäärä kasvaa aina tasolle viisi asti. Ylimmällä tasolla kuljettaja ei osallistu ajamiseen enää lainkaan. Ajoneuvon automaatiotaso ja kuljettajan rooli voidaan kuvata seuraavasti: (Liikennevirasto 2016a, s. 15)

0. Ei automaatiota: Kuljettaja vastaa kaikista ajamisen osa-alueista.
1. Kuljettajan tuki: Järjestelmä tukee vain yhtä "toimintoa" ja kuljettaja huolehtii muista ajotoiminnoista ja seuraa ajoympäristöä.
2. Osittainen automaatio: Kuljettajan täytyy seurata ajoympäristöä.
3. Ehdollinen automaatio: Kuljettaja voi tehdä muita asioita ajaessaan, mutta tarvittaessa hänen täytyy ottaa ajoneuvo haltuunsa.
4. Korkea automaatio: Kuljettaja voi jopa nukkua, koska järjestelmä varoittaa häntä, jos kuljettajan täytyy ottaa ajoneuvo haltuunsa.
5. Täysi automaatio: Kuljettajaa ei tarvita.

(Liikennevirasto 2016a, s. 15)

Kuvassa 2 on esitetty automaattiajamisen tasot selkokielellä. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2017)



Kuva 2. Automaattiajamisen tasot selkokielellä. (Trafi, 2016)

Society of Automotive Engineers (SAE) International on kesäkuussa 2018 julkaissut tarkennetun automaattiajamisen luokittelun. Tarkennetussa luokittelussa otetaan erikseen huomioon ajoneuvon liikuttamisen ja ympäristön havainnoinnin automaatio. Tarkemmin on myös määritelty kuljettajan rooli tilanteissa, joissa automaatiojärjestelmä ei enää kykene suoriutumaan ajotehtävästä. Myös automaatiojärjestelmän käyttöympäristö vaikuttaa tason määräytymiseen. Taulukossa 2 on SAE:n määrittely automaattiajamisen tasosta. (SAE 2018, s. 19)

Taulukko 2. Automaattiajamisen tasot. (SAE 2018, s. 19)

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdytys, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen osallistuu dynaamiseen ajamiseen						
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuettaisiin varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmillä.	Ihminen	Ihminen	Ihminen	--
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä suorittaa dynaamisen ajamisen (ollessaan aktiivinen)						
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet (kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen hallinnoinnin). Ihminen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.	Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

Ajoneuvon automaation taso on verrannollinen teknisten järjestelmien määrään. Avustavalla tasolla (1) kuljettaja saa apua teknisiltä järjestelmiltä vain esimerkiksi ajovaloautomaatiikan tai vakionopeussäätimen muodossa. Täysin automatisoidussa ajoneuvossa teknisten järjestelmien ja

antureiden määrä on mittava. Huomionarvoista on kuitenkin joidenkin järjestelmien tarpeettomuus täysin automatisoidulla tasolla (5). Esimerkiksi ajovaloautomaatiikasta tulee tarpeeton, sillä se palvelee vain ihmiskuljettajaa. Alla, taulukossa 3, on esitetty automaattiautossa käytettäviä järjestelmiä eri automaatiotasolla. (Trafi, 2018a)

Taulukko 3. Automaation tasot ja niihin tarvittavia teknisiä järjestelmiä. (Trafi 2018a, mukailen)

Automaatiotaso	Avustava (1)	Osittain automatoitu (2)	Korkeasti automatoitu (3/4)	Täysin automatoitu (5)
Ajovaloautomaatiikka	valinnainen	valinnainen	pakollinen	valinnainen
Tutka	pakollinen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Ultraäänisensorit	valinnainen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Kamera eteen	pakollinen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Kamera taakse	valinnainen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Kamera sivuille	valinnainen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Pimeänäkö	valinnainen	valinnainen	pakollinen	pakollinen
Optinen kaukokartoitus (laser/LiDAR)	valinnainen	valinnainen	pakollinen	pakollinen
Paikkatietojärjestelmät	valinnainen	valinnainen	pakollinen	pakollinen
Kaasu- ja jarruautomaatio	valinnainen	pakollinen	pakollinen	pakollinen
Tekoäly	valinnainen	valinnainen	valinnainen	pakollinen
Toimintojen päällekkäisyys	valinnainen	valinnainen	valinnainen	pakollinen
Itsestään parantuva järjestelmä	valinnainen	valinnainen	valinnainen	pakollinen

3.2 Automaattiajoneuvojen tekniikka

Autonominen ajoneuvo tarvitsee runsaasti erilaisia toimilaitteita ja antureita havainnoimaan ympäristöä sekä tuottamaan tietoa tekoälyn päätöksenteon lähtötiedoiksi. Automaattiajoneuvon tulee tietää tarkasti sen oma ja vallitsevan ympäristön tila. Antureiden ja järjestelmien käyttötarkoitus vaihtelee, mutta yhdessä ne muodostavat automaattiajoneuvolle liikkumisen mahdollistavan tilannekuvan. Vuoden 2018 kesän tilanteessa ajoneuvojen anturointi ja varusteet maksavat enemmän kuin itse ajoneuvo.

Tämän opinnäytetyön kannalta on merkityksellistä, millaisia antureita ajoneuvoissa käytetään ja miten ne toimivat. Jokaiselle anturille on oma tarkoituksensa automaattiajamisessa. Tässä työssä ei keskitytä automaattiajamisen toimilaitteisiin, joiden avulla ajoneuvo liikkuu, pysähtyy ja vaihtaa suuntaa, sillä tämän työn kannalta on olennaista, miten se tehdään turvallisesti eri ympäristöissä ja tilanteissa. Automaattiajamiseen tarvittavat toimilaitteet ovat olleet teollisuuden käytössä jo vuosikymmeniä.

3.2.1 Tutka

Tutka on laite, joka lähettää ja vastaanottaa radioaaltoja. Sen avulla voidaan havaita kohteita, mitata etäisyys niihin, sekä määrittää kohteiden suunta ja nopeus. Tutkan lähettämien radioaaltojen ominaisuuksia

muuttamalla tutkan kantaman ja havainnointitarkkuuden suhdetta säädetään halutuksi. Tutka toimii hyvin myös pimeässä ja heikoissa olosuhteissa.

Autojen avustimissa tutkaa käytetään mittaamaan etäisyyksiä muihin ajoneuvoihin sekä ympäristön esteisiin. Tutkaa käytetään esimerkiksi adaptiivisen vakionopeudensäätimen mitta-anturina sekä automaattisessa hätäjarrutuksessa. Muita toimintoja, joissa tutka-anturia käytetään muiden anturien tukena ovat vasemmalle kääntymisen avustaminen, väistöavustus sekä ruuhka-avustus. (Bosch, 2018)



Malliesimerkkinä ajoneuvoissa käytetystä pitkän kantaman tutka-anturista voidaan pitää Boschin valmistamaa anturia tuotenimellä Bosch LRR4.

Ominaisuudet:
 taajuusalue 76-77 GHz
 kantama 0,36 – 250 m
 objektien tunnistus 24 kpl
 paino 240g

Kuva 3. Bosch LRR4 sensori. (Bosch, 2018)

Keskipitkän kantaman tutkaa (Mid-range radar sensor) käytetään samoissa toiminnoissa, mutta sen kantama esimerkiksi Bosch:n tuotteessa on maksimissaan 160 metriä, taajuuden ollessa sama 76-77 GHz. Objekteja tuote tunnistaa maksimissaan 32 samanaikaisesti. Taaksepäin suunnattava tutka on Boschilla erikseen ja se tunnetaan lyhenteellä MRR rear. (Bosch, 2018)

3.2.2 Kameran

Ajoneuvovalmistajat käyttävät ajoneuvoissaan monenlaisia kameroita ja jokaisella on hieman erilainen käyttötarkoituksensa. Lähialueen kameraa käytetään esimerkiksi peruuttamiseen ja parkkeeraukseen. Lähialueen kamera on käytössä kuljettajan apuvälineenä jo nykyisin hyvin laajasti.



Kuva 4. Bosch lähialueen kamera. (Bosch, 2018)

Yleiskameraa käytetään videopohjaisten kuljettajaa avustavien järjestelmien perustana. Laadukas videokuva yhdistettynä älykkääseen kuvatulkiintaan toimii myös autonomisen ajoneuvon perustyökaluna.



Kuva 5. Bosch kamera. (Bosch, 2018)

Stereokameraa kahdella linssillä käytetään kolmiulotteisen mallin muodostamiseen. Kameroiden luomaa mallia hyödynnetään ennakoivassa hätäjarrutuksessa, kaistavahdissa, liikennemerkkien tunnistuksessa ja ajovaloautomaatiikassa.



Kuva 6. Bosch stereokamera. (Bosch, 2018)

3.2.3 LiDAR-tutka

LiDAR (Light Detection and Ranging) -tekniikkaan perustuva tutka-anturi toimii kuten perinteinenkin tutka, mutta lähettää radiosignaalien sijasta valonsäteitä ja mittaa niiden takaisinheijastuksia. LiDAR on siis optinen tutka, joka toimii näkyvän valon tai ultraviolettin valon alueella. (Velodyne, 2018)

Malliesimerkkinä LiDAR tutkasta toimii Velodyne HDL-64E. Sen tärkeimmät tekniset ominaisuudet ovat seuraavat (Velodyne, 2018):

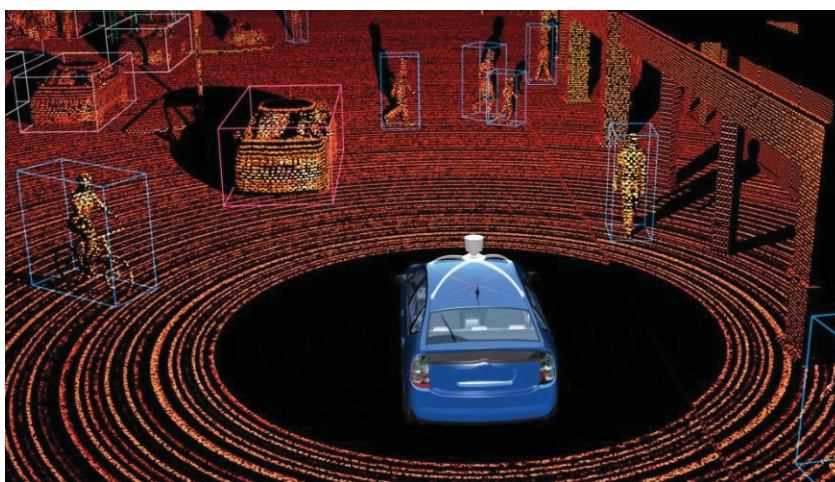
- 64 kanavaa
- kantama 120m
- tarkkuus ± 2 cm
- peitto 360°



Kuva 7. Velodyne HDL-64E LiDAR -anturi. (Velodyne, 2018)

LiDAR -tutkaa käytetään ajoneuvon ympäristön havainnointiin, sekä kolmiulotteisen mallin luontiin ja se toimii hyvin monen automaattiajamisen osa-alueen perustana. Osa ajoneuvovalmistajista luottaakin enemmän LiDAR -tutkiin, kun osa taas lisää perinteisten kameroiden määrää.

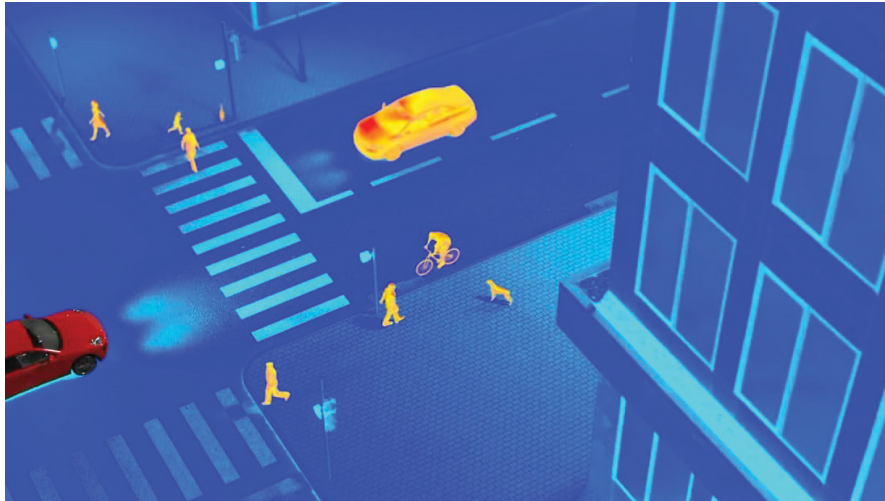
LiDAR -tutka ei tarvitse valaistusta toimiakseen, joten se on pimeässä kameraa luotettavampi anturi. LiDAR -tutka voi olla kiinteä tai jatkuvassa pyörimisliikkeessä oleva. (Velodyne, 2018)



Kuva 8. Havainnekuva LiDAR-tutkan tuottamasta kuvasta. (Voyage, 2018)

3.2.4 Lämpökamera

Lämpökamera on laite, joka muodostaa kuvan esineen pintalämpötilasta pinnan lähettämän infrapunasäteilyn perusteella. Lämpökameravalmistajat ovat tuoneet markkinoille useita automaattiajoneuvoihin tarkoitettuja kameroita, jotka ovat tarkoitettu parantamaan ajoneuvon luomaa tilannekuvaa ympäristöstä ja erityisesti tunnistamaan ja havaitsemaan muuta liikennettä. (Adasky, 2018)



Kuva 9. Adasky Viper -lämpökameran havainnekuva. (Adasky, 2018)

3.2.5 Ultraäänianturit

Ultraäänianturit perustuvat korkeataajuisen ääniaaltojen lähettämiseen ja vastaanottoon. Menetelmän avulla anturi tunnistaa esteitä ja pystyy mittaamaan etäisyyksiä niihin. Ultraääniantureita käytetään yleisesti peruutustutkissa sekä pysäköinnin avustimissa.

Esimerkiksi Bosch:n valmistamien kuudennen sukupolven ultraääniantureiden tunnistusetäisyydet ovat 0,15 – 5,5 metriä. Tätäkin lähempää anturi tunnistaa esteen, mutta ei pysty mittaamaan etäisyyttä. (Bosch, 2018)



Kuva 10. Bosch ultraääniantureita. (Bosch, 2018)

3.2.6 Kuvatulkinta ja ohjelmistot

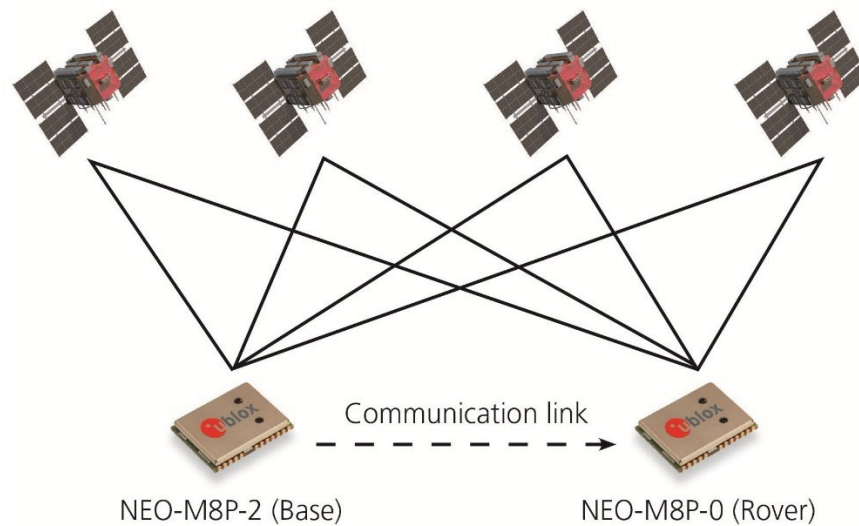
Kuvatulkintaa tehdään ohjelmistolla, joka voi olla osana laitteen tai anturin sisäistä laiteohjelmistoa tai se voi sijaita erillisessä tietokoneessa tai videonprosessointikortissa. Kuvatulkintaa tehdään visuaaliselle materiaalille, jota edellä mainitut anturit keräävät. Kuvatulkintaa tehdäänkin samanaikaisesti koko materiaalille, joka paikannustietojen perusteella yhteensovitetaan samaan ajanhetkeen ja paikkaan. Yhdistelemällä tutkan, kameroiden, LiDAR-tutkan ja muiden sensorien tuottama näkymä, saadaan ajoneuvolle luotua erinomainen ja kattava tilannekuva ilman sokeita pisteitä.

3.2.7 Paikannus

Ilman kuljettajaa liikkuvan ajoneuvon tulee jatkuvasti tietää sijaintinsa. Ajoneuvot käyttävät paikantamiseen pääosin satelliittipaikannusta, mutta sijaintitietoa tarkennetaan muiden antureiden avulla.

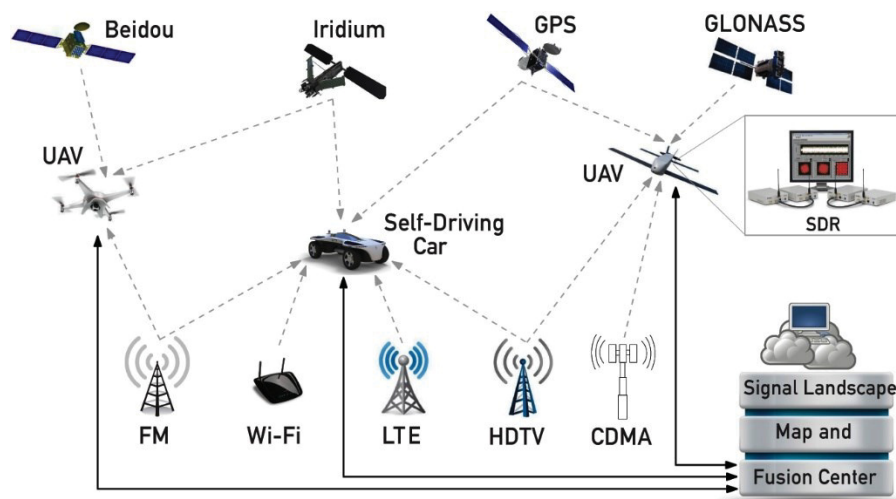
GPS (Global Positioning System) on alun perin Yhdysvaltojen puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Nykyisin järjestelmä tunnetaan myös lyhenteellä GNSS (Global Navigation Satellite System), joka pitää sisällään usean järjestelmän satelliitit. (GSA, 2018)

Yhden senttimetrin paikannustarkkuuteen päästään käyttämällä GNSS RTK paikannustekniikkaa. Lyhenne RTK (Real Time Kinematic) tarkoittaa reaaliaikaista kinemaattista mittausta, missä mittauksen tarkkuutta parannetaan kiinteiden referenssitukiasemien avulla. Tätä tekniikkaa mm. Sensible 4 kertoo käyttävänsä JUTO -ajoneuvossaan. (Sensible 4, 2018) Tekniikka tukee myös virtuaalisen referenssiaseman käyttöä, jolloin aseman kattama alue voi olla esimerkiksi koko Suomi. (u-blox, 2018)



Kuva 11. Havainnekuva GNSS RTK satelliittipaikannuksesta. (u-blox, 2018)

Satelliittiyhteyden puuttuessa apuna voidaan käyttää muita keinoja, kuten kuvassa alla on esitetty. GPS-signaalin puutetta korvataan tieto- ja radioliikenteen avulla. (Phys.org, 2018)



Kuva 12. Paikannusjärjestelmän havainnekuva. (Phys.org, 2018)

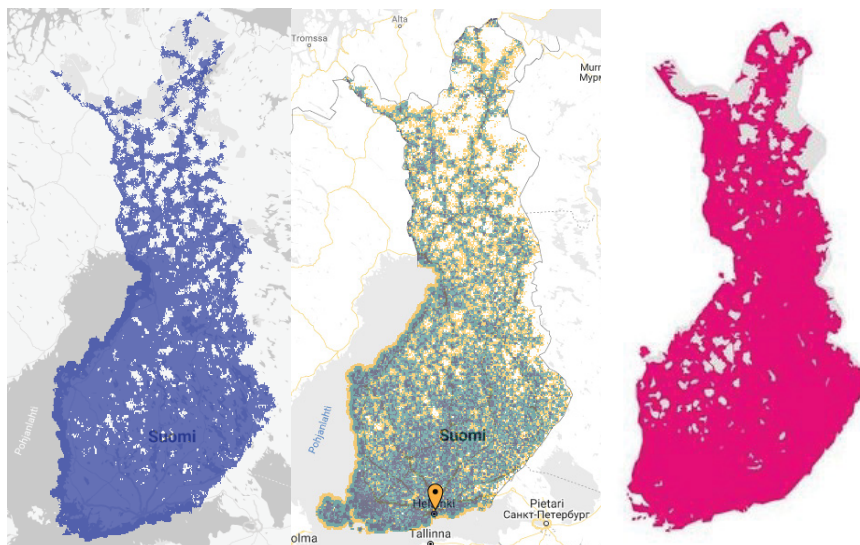
3.2.8 Automaattiajamisen tietoliikenne

Automaattiajamisessa on tietoliikenteellä suuri rooli. Sen avulla ajoneuvo voi mm. tarvittaessa päivittää tietomallia ja karttaansa. Autonomiset ajoneuvot voivat vaihtaa tietoja myös keskenään (v2v, Vehicle to Vehicle) tai infran kanssa (v2i, Vehicle to Infrastructure).

Ajoneuvojen välistä tiedonvaihtoa hyödynnetään ajoneuvojen viestissä toiselle tilatietoja ja aikeitaan. Esimerkiksi saman reitin omaavat ajoneuvot voivat kytkeytyä toisiinsa ja jatkaa matkaa letka-ajona pienemmällä turvaväleillä ja pienemmällä ilmanvastuksella. Infran ja

ajoneuvojen välistä tiedonvaihtoa voidaan hyödyntää esimerkiksi liikennevalojen tilatietojen välittämiseen liikennevalokojeelta ajoneuville. Tiedosta on hyötyä mm. ajoneuvon reittien suunnitteluun ja optimointiin.

Liikkuva auto tarvitsee langattoman tietoliikenteen, joka tuodaan ajoneuvon ulottuville tukiaseman avulla. Tällä hetkellä on laajasti käytössä neljännen sukupolven mobiilidata 4G. Verkko on rakennettu matkapuhelinoperaattoreiden toimesta, pääosin vuosien 2010-2016 aikana. Alle kuvaan on poimittu matkapuhelinoperaattoreiden Elisan, Telian ja DNA:n 4G-kuuluvuusalueet. (Telia, 2018) (Elisa, 2018) (DNA, 2018)

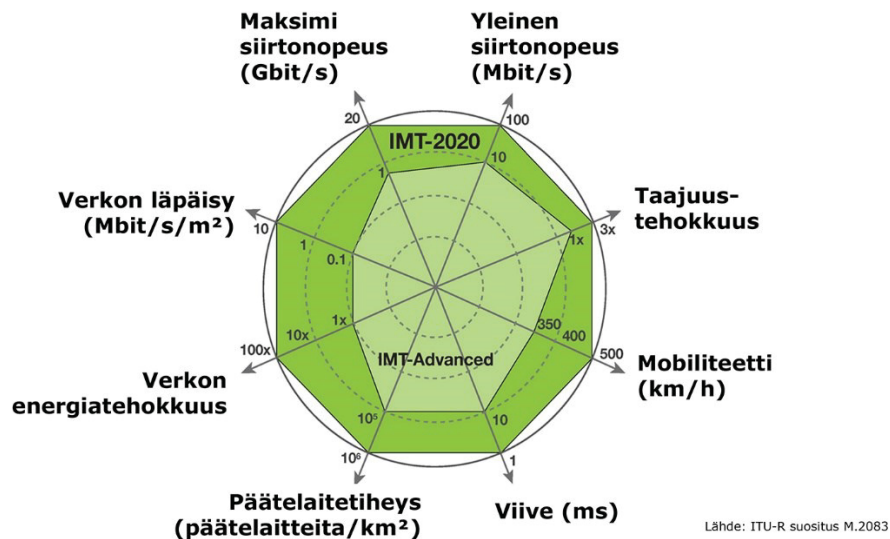


Kuva 13. Matkapuhelinoperaattoreiden 4G kuuluvuuskartta (vasemmalta: Elisa-Telia-DNA). (Telia, 2018) (Elisa, 2018) (DNA, 2018)

Kuuluvuus voi kuitenkin olla huono myös karttaan merkityllä alueella, jos päätelaitteen ja tukiaseman välinen signaali on heikko. Signaalia heikentävät esimerkiksi rakennukset, kasvillisuus ja jopa sääolosuhteet. Verkko-operaattoreilla ei ole velvoitetta rakentaa matkaviestinverkkoihin aukottomia peittoalueita. (Viestintävirasto, 2015)

4G-verkon sopivuutta automaattiajamisen tietoliikenneyhteydeksi tutkitaan Auroran älytien testijaksolla. Samassa yhteydessä pilotoidaan uudempaa viidennen sukupolven 5G-verkkoa.

5G-verkon myötä mobiiliyhteyksien nopeus kasvaa, viiveet pienenevät ja tuettu laitemäärä moninkertaistuu. 5G:n tiedonsiirtonopeus ylittää 10 gigabittiin sekunnissa ja yhden neliökilometrin alueella verkkoon voidaan kytkeä jopa miljoona laitetta. Kuvassa alla on esitetty viestintäviraston julkaisemat 5G verkon tavoiteominaisuudet. (Viestintävirasto, 2015)



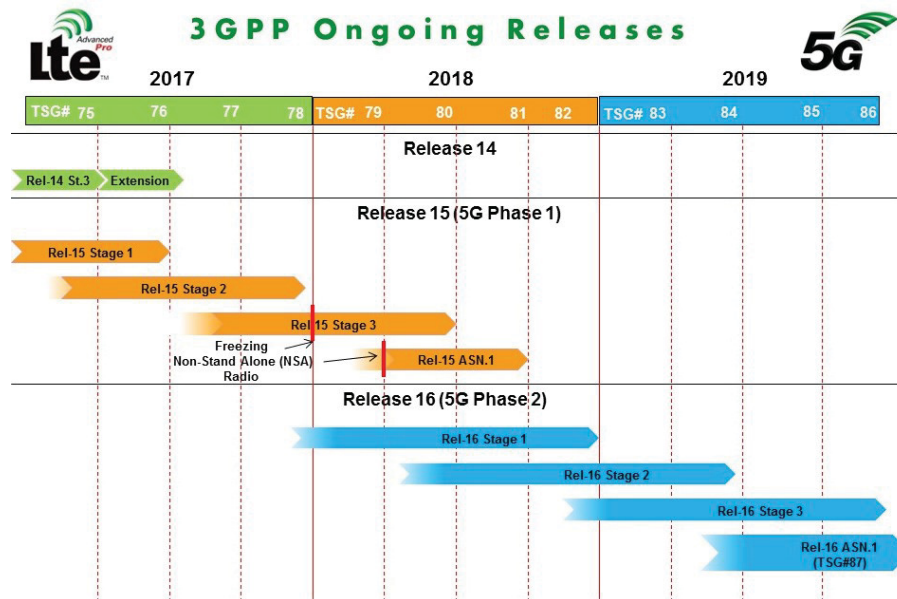
Kuva 14. 5G verkon tavoiteominaisuudet. (Viestintävirasto, 2015)

Myös taajuuksien käyttö tehostuu 5G-verkon myötä. Sen hyödyntämät taajuudet jakaantuvat kolmelle taajuusalueelle, joilla jokaisella on oma käyttötarkoituksensa. Matalat taajuudet, kuten 700 megahertsiä, vievät verkon laajalle, kaupungeissa lisää kapasiteettia saadaan 3,5 gigahertsin taajuudelta ja lisäksi esimerkiksi kotien laajakaistaa ja kuitua voidaan korvata korkeilla, lähes 30 gigahertsin taajuuksilla. Mitä korkeampi on taajuus, sitä lyhyempi on etäisyys tukiasemaan ja sitä heikompi on signaalin läpäisykyky. Taajuuden vaikutus etäisyyteen on kuvattu alla taulukossa 4. (Viestintävirasto, 2015)

Taulukko 4. Taajuuden vaikutus tukiaseman etäisyyteen. (Viestintävirasto, 2015)

Taajuus	Etäisyys
2 GHz	5 km
28 GHz	360 m
70 GHz	140 m

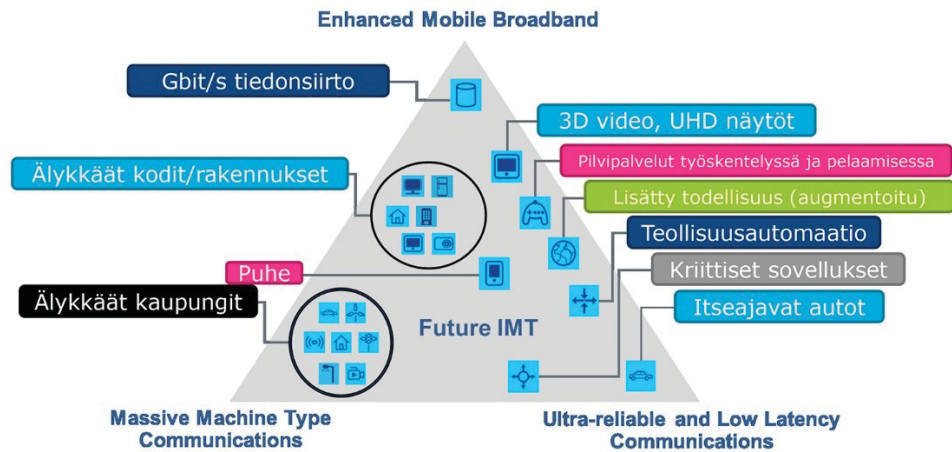
5G-verkon standardointi ja yhteyskäyttöisyys saavutti merkittävät välitavoitteet joulukuussa 2017 ja kesäkuussa 2018. Ensin alan standardeista sopiva 3GPP-organisaatio hyväksyi NSA-rajapinnan (Non-Standalone) määrittelyn ja myöhemmin kesäkuussa hyväksyttiin uusi määrittely, Release 15. Standardointityö kokonaisuudessaan on vielä kesken ja jatkuu ainakin vuoden 2019 loppuun asti. Kuvassa alla on esitetty 3GPP-organisaation 5G standardoinnin aikataulu. (3GPP, 2018)



Kuva 15. 5G standardoinnin aikataulu. (3GPP, 2018)

Kesäkuussa 2018 3GPP sai valmiiksi 5G-tekniikan määrittelevän Release 15 -standardin. Uusi määritys ei sisällä mitään vanhasta 4G/LTE-tekniikasta, joten käytännössä 5G-standardi on nyt valmis. Release 15 määrittelee 5G-standalone-määritykset, joten niiden pohjalta voi 5G-verkkoa alkaa suunnitella sellainen operaattori, jolla ei ole aiempia mobiiliverkkoja. Koko arkkitehtuurin perustuessa uusiin määrittelyihin, saadaan päätelaitteista nopeampia ja niiden viive on lyhyempi. (3GPP, 2018)

Automaattiajamisen kehityksen edetessä on vielä epäselvää, kuinka suuri rooli tietoliikenneyhteyksillä on. Ajoneuvojen välinen kommunikaatio verkon kautta ei ole välttämätöntä, sillä autot näkevät ympärilleen myös kameroillaan ja antureillaan. Autonomisissa ajoneuvoissa yhteyksiä voidaan hyödyntää moniin tarkoituksiin: ohjelmistopäivityksiin, liikenne- ja kelitietojen välittämiseen ja mahdolliseen ajoneuvon etäoperointiin vaikeissa tilanteissa ohjauksen siirtyessä itse autolta operaatiokeskuksesta etänä toimivalle kauko-ohjaajalle. Nämä kaikki asettavat erilaisia vaatimuksia yhteyksille luotettavuudesta nopeuden kautta aina jatkuviin yhteyksiin.



Kuva 16. 5G-verkon käyttötapauksia. (Viestintävirasto, 2015)

Suomeen 5G-verkon ympärille on kehitetty 5G Momentum -ekosysteemi. Kyseessä on yhteistyöverkosto jota koordinoi Viestintävirasto. Sen tavoitteena on tehdä Suomesta 5G-tekniikan kärkimaa. Ekosysteemin tarkoitus on edistää kokeilutoimintaa ja 5G-tekniikan tuntemusta, tulevaisuuden mahdollisuuksien tunnistamista ja toimijoiden yhteistyötä. 5G Momentum vauhdittaa uusien palveluiden luomista kuluttajille, yrityksille ja julkishallintoon. (Viestintävirasto, 2018b)

1.6.2018 järjestettiin 5G Momentum -seminaari, jossa Volvo kertoi 5G-verkon olevan olennainen osa heidän automaattiajamisen konseptiaan tulevaisuudessa. Kuva alla on poimittu Anders Eugessonin esityksestä kyseisestä seminaarista. (Viestintävirasto, 2018b)



Kuva 17. Volvon 5G käyttötapauksia. (Viestintävirasto, 2018b / Volvo, Anders Eugesson)

Anders Eugesson kertoo esityksessään Volvon hyödyntävän 5G-verkkoa kartta-aineistojen latauksessa, yhteydessä ohjauskeskukseen sekä liikennevalotietojen vastaanotossa.

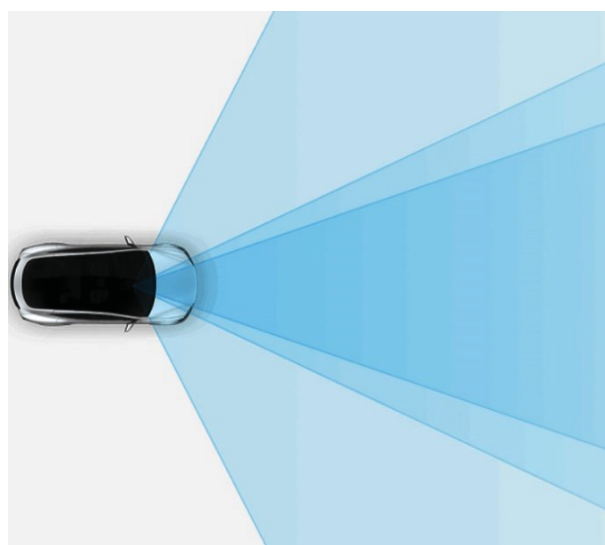
Sen hyvinä puolina Eugesson listaa matalan viiveen mahdollistavan tuen operatiivisessa päätöksenteossa, 5G mahdollisuudet ajoneuvojen välisissä (V2V) ja ajoneuvon ja infran (V2I) välisessä kommunikoinnissa, nopeamman tiedonsiirron laitteiden välisissä yhteyksissä (D2D) sekä esineiden internetin (IoT) avautumisessa autoteollisuuden käyttöön. (Viestintävirasto, 2018b / Volvo, Anders Eugesson)

3.3 Tekniikat eri ajoneuvovalmistajilla

Ajoneuvovalmistajat eivät ymmärrettävästi halua paljastaa tulevaisuuden suunnitelmiaan autonomisten ajoneuvojen anturoinnista ja niiden valmiusasteista, joten tässä työssä keskitytään julkaistuihin tietoihin eri valmistajien konsepteista. Autoteollisuus on lähtenyt ratkaisemaan automaattisen ajamisen haasteita kukin tavallaan, mutta eivät kuitenkaan esitä juurikaan vaatimuksia tieinfralle. Tässä opinnäytetyössä tutustutaan viiden valmistajan automaattiajamisen konseptiin. Tarkastelussa on kaksi kotimaista valmistajaa, joiden lähestymistapana on varustella valmis auto kolmansien osapuolien antureilla, Sensible 4 ja VTT. Kansainvälisistä valmistajista tarkasteluun valittiin Waymo, Tesla ja Volvo.

3.3.1 Tesla

Teslan autonominen ajoneuvokonsepti perustuu kehittyneeseen anturitekniikkaan. Autoa ympäröi kahdeksan kameraa, jotka tuottavat 360 asteen näkyvyyden. Ympäristön havainnointia tehostetaan kahdellatoista ultraäänianturilla. Kameroita ja ultraääniantureita tukee lisäksi eteenpäin suunnattu tutka. (Tesla, 2018)



aina 250 metriin asti.

Teslassa on kolme eteenpäin suunnattua kameraa:

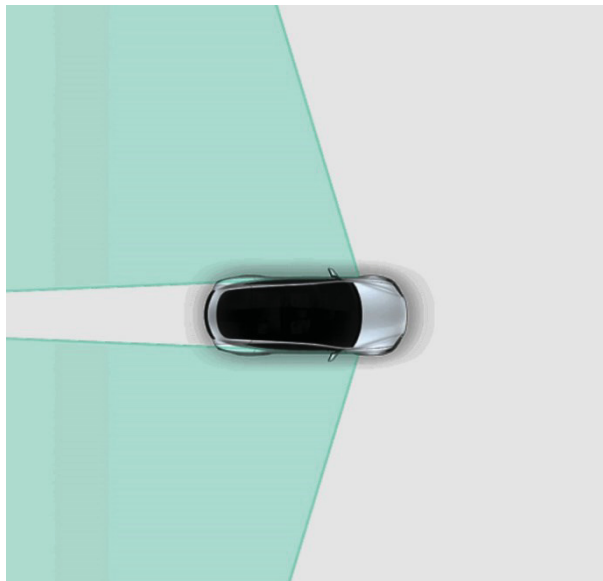
- 120 asteen kalansilmälinsillä varustettu laaja-alainen kamera, jonka maksimi havaintoetäisyys on 60 metriä.
- pääkamera, jonka maksimi havaintoetäisyys on 150 metriä.
- kapea-alainen kamera, joka havainnoi kaukana olevat kohteet

Kuva 18. Teslan kamerat eteen. (Tesla, 2018)



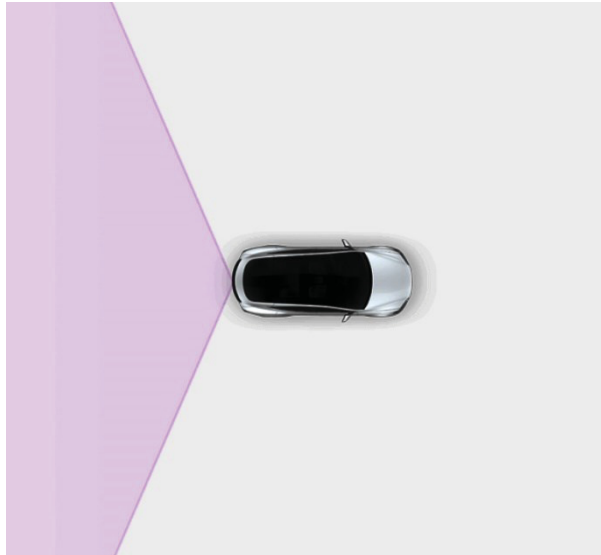
Eteenpäin osoittavat sivukamerat näkevät 90 astetta ja havainnoivat mm. ajoneuvoja auton sivuilla.

Kuva 19. Teslan kamerat sivulle. (Tesla, 2018)



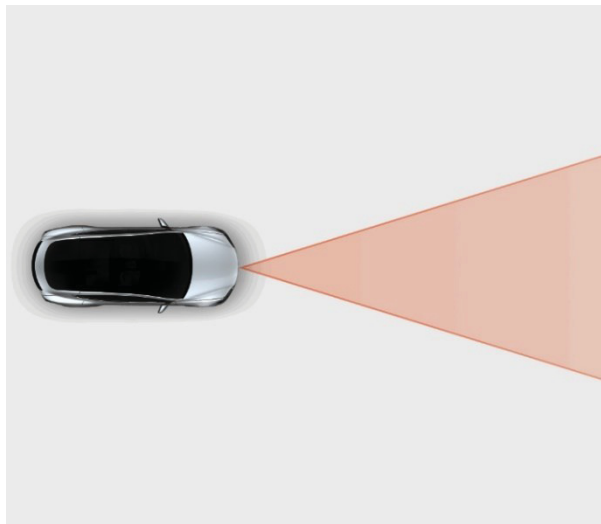
Taaksepäin osoittavat sivukamerat Teslan molemmilla sivuilla tarkkailevat sokeita pisteitä, jotka ovat tärkeitä kaistavaihdossa ja muun liikenteen seassa liikkumisessa.

Kuva 20. Teslan taaksepäin osoittavat sivukamerat. (Tesla, 2018)



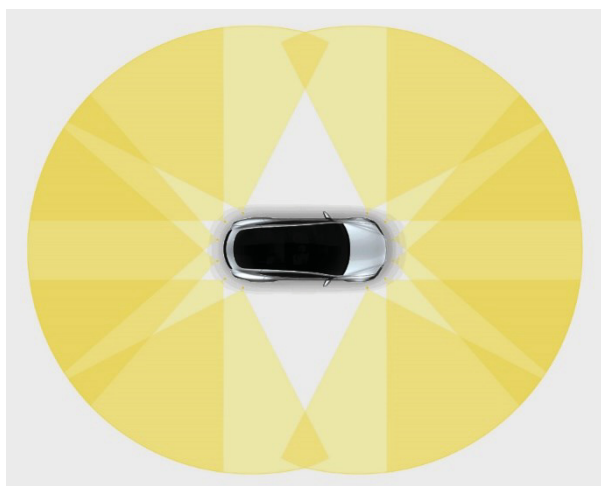
Teslan taaksepäin suunnattu kamera tukee liikenteen seassa liikkumista sekä mahdollistaa automaattisen pysäköinnin.

Kuva 21. Teslan taaksepäin suunnattu kamera. (Tesla, 2018)



Telassa on eteenpäin suunnattu tutka, joka näkee sumun, pölyn, sateen ja lumen läpi sekä autojen alitse. Sen pääkäyttötarkoitus on havaita kohteet ja auttaa autoa reagoimaan niihin.

Kuva 22. Teslan tutka eteen. (Tesla, 2018)



Teslan ultraäänianturit havainnoivat ympäristöä kaikkiin suuntiin. Ne tarkkailevat viereisiä kaistoja sekä auttavat pysäköinnissä.

Kuva 23. Teslan 12 ultraäänianturia. (Tesla, 2018)

Teslan anturivarustus luettelona ja niiden havaintoetäisyydet:

- Tutka eteen, 160m
- Pääkamera eteen, 150m
- Laaja-alainen kamera eteen, 60m
- Kapea-alainen kamera eteen, 250m
- Sivukamerat eteen, 80m
- Sivukamerat taakse, 100m
- Ultraäänianturit, 8m
- Kamera taakse, 50m

Antureiden tuottamaa dataa tarvitaan analysoimaan tehokas tietokone sekä tiedon tallennuskapasiteettia.

Tesla lupaa paljon:

”Kaikissa tehtaissamme valmistetuissa Tesla-ajoneuvoissa, Model 3 mukaan lukien, on täydelliseen itsestään ajamiseen tarvittava laitteisto. Sen tarjoama turvallisuustaso on huomattavasti parempi kuin ihmiskuljettajan.” Tarkempi tutustuminen Teslan julkaisemaan materiaaliin kertoo kuitenkin hieman toista. Teslan avustimet on koottu erilaisiin lisävarustepaketteihin seuraavasti (Tesla, 2018):

Tesla Vision

- kamerajärjestelmä
- näkymänprosessointityökalut

Parannettu Autopilot, joka edellyttää kuljettajan valppautta

- Adaptiivinen vakionopeuden säädin
- kaistavahti- ja vaihto
- moottoritien vaihto
- moottoritietä poistuminen
- automaattipysäköinti
- autonominen talliin ajo ja paluu kutsusta.

Rampille ja rampilta -toiminto

- Moottoritieympäristön kaistanvaihdot ja rampeilta poistumiset.

Autosteer+ -toiminto

- Autonominen ohjaus omalla kaistalla perustuen kattavaan anturivalikoimaan.

Smart Summon -toiminto

- Kutsutoiminto jossa auto ajaa itse parkkihalliin ja saapuu kutsusta takaisin.

Täysin itsestään ajava

- Kaksinkertaistaa kameroiden määrä neljästä kahdeksaan ja mahdollistaa automaattiajamisen melkein kaikissa olosuhteissa.

Vakiona olevat turvallisuustoiminnot

- automaattinen hätäjarrutus
- kylkikolarointivaroitin
- nokkakolarivaroitin
- automaattiset kaukovalot

Yhteenvedona Teslan automaattiajamisen edellytyksistä voidaan todeta, että valmistaja pääotsikoissaan mainostaa täysin automaattista ajamista, mutta tarkemman tarkastelun lopputuloksena Tesla kykenee tällä hetkellä automaattiajamisen tasoon neljä, eikä se vaadi siihen tieinfralta mitään. Tesla ei kerro mitkä infran ominaisuudet nostaisivat sen automaation tasolle viisi. Mikäli Teslan keskustelupalstojen käyttäjäkokemuksiin on luottamista, ei Tesla pärjäisi Suomen talvessa montakaan metriä. (Tesla 2018.)

Täysin itsestään ajava -toiminnon lisähinta Model S -ajoneuvoon kesäkuussa 2018 on 8900 euroa. (Tesla, 2018)

3.3.2 Sensible 4

Sensible 4 on suomalainen automaattiajamiseen erikoistunut yritys, joka on varustellut Renault Twizy -mallisen pienen henkilöauton vastaamaan automaattiajamisen haasteisiin. Auto on nimetty JUTOksi. Talvella 2018 JUTOa testattiin runsaasti valtatiellä 21 Muoniossa, Auroran testialueella.



Kuva 24. Sensible 4 – JUTO. (Sensible 4, 2018)

JUTO:n anturivarustelu on seuraava:

- 2 LiDAR -tutkaa, yksi edessä ja takana, peitto 360° ja kantama 150m
- Lyhyen ja pitkän kantaman tutkat, peitto 360° ja kantama 200m
- 5 kameraa, jotka tarkkailevat auton ympäristöä
- lämpökamera, joka näyttää eteenpäin

- RTK-GPS paikannin auton katolla, jonka paikannustarkkuus on n. 5cm.

Sensible 4 ei kerro tarvitsevana infralta mitään fyysisiä tukitoimia. Ympäristön tilatietoja se toki hyödyntää. (Sensible 4, 2018)

3.3.3 VTT

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy on kehittänyt robottiautoja yli kahdenkymmenen vuoden ajan. Testikäytössä on tällä hetkellä kaksi henkilöautoa, Martti ja Marilyn. Marilyn on Citroënin pohjalle rakennettu ja Martin pohjana on käytetty Volkswagen Tuareg -mallista henkilöautoa. Marilynissä yhdistyy VTT:n, SICK:in, Oplatekin ja Modulightin LiDAR- ja anturifuusiotekniikka. VTT:n mukaan Marilyn on kaupunkiauto, joka osaa mm. automaattiparkkeerauksen. Martin avulla kehitetään automaattiajamista vaikeissa olosuhteissa. (VTT, 2018)

Martin anturivarusteluun kuuluu lämpökamera, stereokamera, tutkia lähelle ja kauas sekä LiDAR-sensoreita. Paikantamiseen Martti käyttää satelliittipaikannusta. Liikkumiseen Martti käyttää tekoälyä ja koneoppimista kuten muidenkin valmistajien autonomiset ajoneuvot. (VTT, 2018)

Martin ei kerrota tarvitsevana GPS:n tarkennuspisteitä tai muuta apua tieinfralta, kuten kaistaviivoja tai muita tiemerkeitä. Martin liikkuminen perustuu VTT:n luomaan tarkkaan karttamalliin, jonka avulla suunnistus tapahtuu. (VTT, 2018)



VTT:n varustelema Volkswaen Tuareg -automaattiajoneuvo, Martti. (VTT, 2018)

3.3.4 Waymo

Vuonna 2009 Googlen käynnistämä automaattisen ajoneuvon kehitysprojekti tunnetaan nykyään nimellä Waymo. Projektin ajoneuvoilla on ajettu liikenteen seassa eri puolella Yhdysvaltoja jo yli 7 miljoonaa kilometriä. Sen kerrotaan yltävän täysin autonomiseen ajamiseen ilman kuljettajaa. (Waymo, 2018)

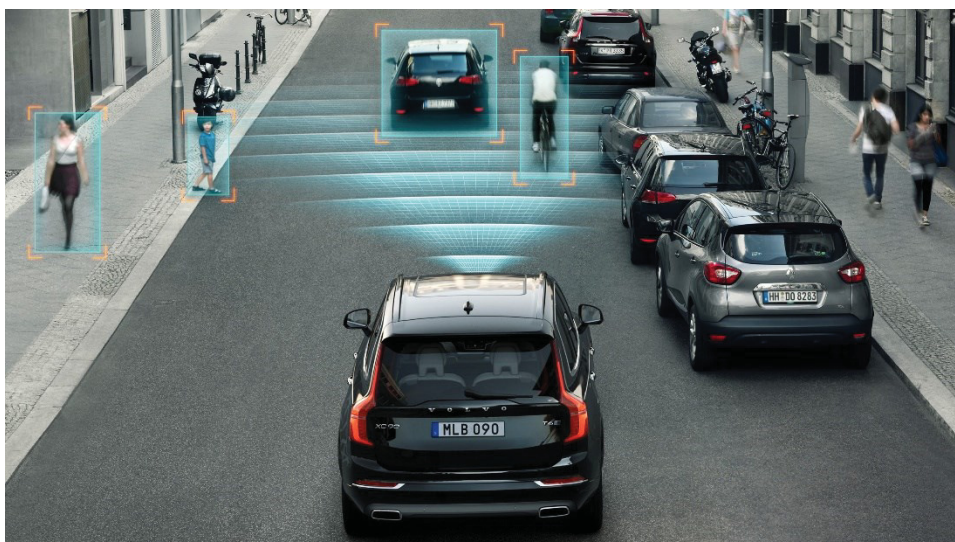


Kuva 25. Waymon vuonna 2018 julkaisema I-PACE. (Waymo, 2018)

Waymon konsepti perustuu 360-asteen LiDAR-tutkaan, perinteiseen tutkaan ja kameroihin sekä jatkuvasti oppivaan tekoälyyn. Valmistaja ei ole julkaissut yksityiskohtia anturien malleista tai lukumääristä. Tieinfraalta Waymo ei kerro tarvitsevansa mitään, mutta oletettavasti se hyödyntää ainakin tiemerkintöjä ja liikennemerkkejä. Waymo myöntää, että lumiset olosuhteet ovat sille vielä haastavia, mutta uskoo ratkaisevansa haasteet pian. (Waymo, 2018)

3.3.5 Volvo

Volvo kutsuu automaattiajamisen konseptiaan nimellä IntelliSafe Autopilot. Konsepti on koekäytössä Göteborgin kaduilla Drive me -projektissa, joka alkoi vuonna 2017, sadan Volvo XC90 -mallin voimin. (Volvo, 2018)



Volvo Intellisafe Autopilot havainnekuva. (Volvo, 2018)

Projektissa on sata XC90 -mallin ajoneuvoa varusteltu seuraavasti:

- 4kpl 60m kantaman tutkaa, joiden peitto on 360°.
- 3kpl 150m kantaman tutkaa
- 4kpl kameraa, joiden yhteispeitto 360°.
- ”kolmisilmäinen” Trifocal-kamera, peitto 140° ja kantama 150m
- LiDAR-tutka eteen, peitto 130° ja kantama 150m
- 12 kpl ultraäänianturia, 360° peitolla.
- GPS-40 paikannus
- Pilvipohjainen digitaalinen 3D-kartta



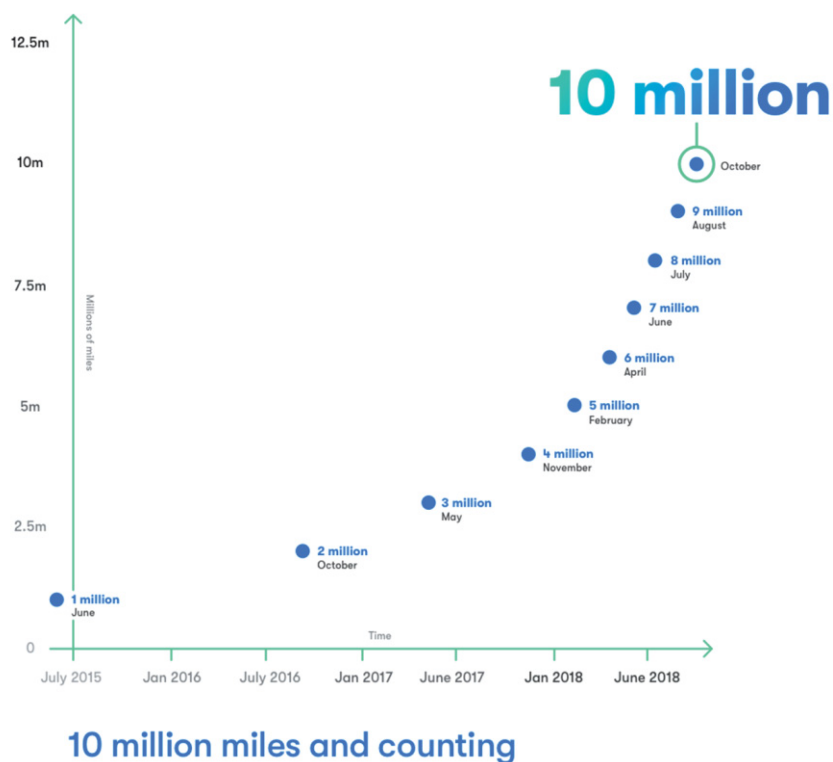
Kuva 26. Volvon Trifocal-kamera. (Volvo, 2018)

Volvo lupaa konseptiauton toimivan kaikkialla, mutta kertoo kuitenkin ajoneuvon ohjautuvan turvallisesti paikoilleen, mikäli järjestelmä tunnistaa, ettei autopilotti ole enää kykenevä kuljettamaan autoa. Tieinfralta Volvo ei kerro tarvitsevensa mitään tukitoimintoja. (Volvo, 2018)

3.4 Automaattiajamisen aikajänne

Automaattiautojen kehittäminen alkoi tiettävästi jo 1900-luvun alussa. Ensimmäisiä visioita autonomisesta liikenteestä esitettiin 1939 maailmannäyttelyssä General Motorsin toimesta. 1960-luvulla auto saatiin kulkemaan itsenäisesti ennalta määrättyä reittiä. Tämä tapahtui kuten lasten autoradalla, ajoneuvon seurattessa maahan asennettuja kaapeleita. Seuraavina vuosikymmeninä mukaan tulivat tutkat ja kamerat. (Trafi, 2018)

Nykyisin kaikilla suurimmilla ajoneuvovalmistajilla on omat automaattiauton kehitysprojektinsa. Tämän opinnäytteen kirjoittamisen aikaan, kesällä 2018, on markkinoille tulleet ensimmäiset tason 4 automaattiautot. Esimerkiksi Google (nyk. Waymo) on kehittänyt automaattiajoneuvoaan vuodesta 2009 asti suorittaen ajoneuvoillaan yli 10 miljoonaa testimailia. (Waymo, 2018)



Kuva 27. Waymon testimailit ajan funktiona. (Waymo, 2018)

Vuoteen 2020 mennessä Waymo laajentaa automaattiajoneuvojen testaukseen käytettävää "laivuettaan" 20 000 Jaguar I-PACE -mallimerkintää kantavalla, tason 5, automaattiajoneuvolla. 2020 mennessä Waymon testauskapasiteetti ylittää normaalina päivänä miljoonaa matkaa. (Waymo, 2018)

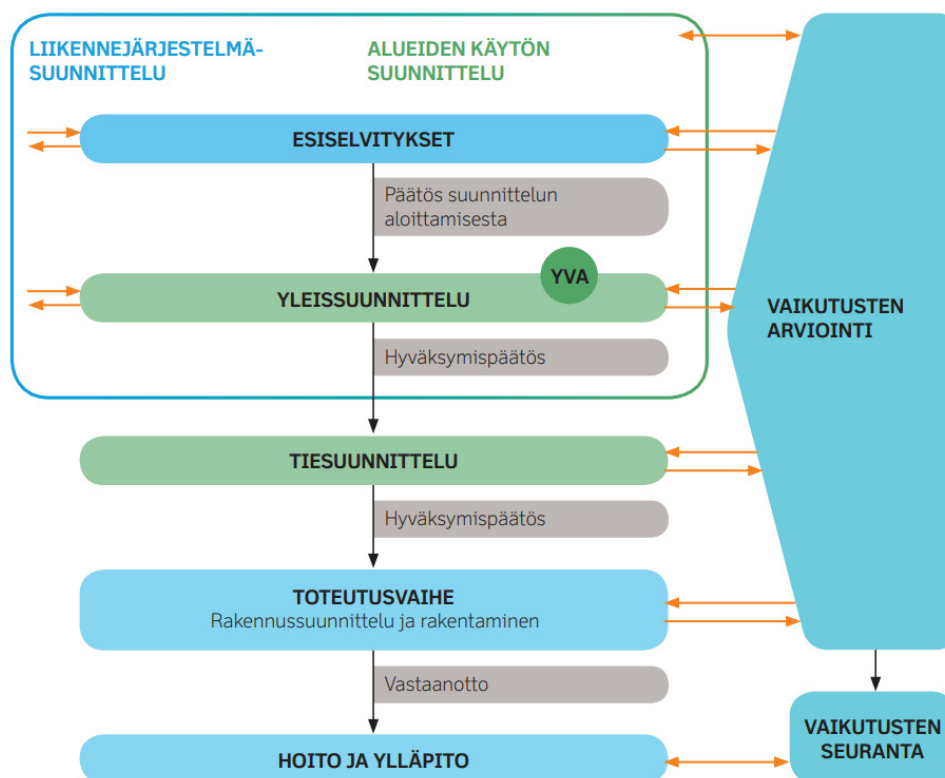
Ajoneuvovalmistajien kilpailu on kovaa ja lupaukset vielä kovempia. Kehitystä kuvaa hyvin ennusteet vain kahden vuoden takaa, jolloin uskottiin automaattiajamisen olevan mahdollista aikaisintaan 2025. Tälläkin hetkellä normaalin liikenteen seassa kulkee tuhansia ajoneuvoja ilman kuljettajaa, enemmän ja vähemmän autonomisena.

3.5 Yhteenveto ajoneuvoteknologiosta

Yhteenvetona voidaan todeta, että kaikki tutkitut ajoneuvovalmistajat luottavat ajoneuvoihinsa asennettuihin antureihin. Tutkimuksessa ei löydetty yhtenkään ajoneuvovalmistajan edellyttävän fyysistä infrastruktuuria tienrakenteista.

4 TIEN SUUNNITTELUPROSESSI

Tiehankeiden suunnittelu etenee vaiheittain tarkentuen suunnitteluvaiheesta toiseen edetessä. Kunkin vaiheen suunnittelutarkkuus ja päätöksenteko sovitetaan yhteen alueiden käytön sekä liikennejärjestelmäsuunnittelun kanssa. Suunnitteluprosessissa on neljä vaihetta: esiselvitys, yleis-, tie- ja rakennussuunnitteluvaiheet. Vähäisimmissä hankkeissa eri suunnitteluvaiheita voidaan myös yhdistää. (Liikennevirasto, 2010)



Kuva 28. Tien suunnitteluprosessin vaiheet. (Liikennevirasto, 2010)

Tiensuunnitteluprosessin aikajänne voi olla vuosista jopa kymmeneen vuosiin. Toisinaan suunnitelmat ehtivät vanhentua ennen rakentamista, jolloin suunnitelmia on päivitettävä ennen toteutusta. Yleissuunnitelma on maantielain mukaan voimassa kahdeksan vuotta ja tiesuunnitelma neljä vuotta. Tienpitäjä voi tietyin ehdoin pidentää yleissuunnitelman voimassaoloa neljällä vuodella ja tiesuunnitelman voimassaoloa jopa kahdeksalla vuodella. (Laki maantielain muuttamisesta 2018, 31§)

Rakennussuunnitelmien osalta vanheneminen tarkoittaa suunnitelmien käyttökelpoisuuden ja ajantasaisuuden heikkenemistä ajan kuluessa mm. tekniikan kehittymisen myötä. Suunnitelmat voivat vaatia päivitystä myös niissä tilanteissa, joissa suunnitteluohjeet tai -perusteet ovat muuttuneet ennen rakentamisen aloittamista.

4.1 Suunnittelun osapuolet

Valtion ylläpitämien maanteiden suunnittelu perustuu maantielakiin ja -asetukseen. Valtion puolesta tienpitäjänä toimii Liikennevirasto, jonka ohjauksessa tienpitöviranomaisena toimivat alueelliset elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset eli ELY-keskukset. Urakoitsijat ja muut palvelutuottajat toteuttavat suunnittelun, rakentamisen ja kunnossapidon ELY-keskusten toimeksiannoista. (Liikennevirasto, 2010)

Käytännön työnjako Liikenneviraston ja ELY-keskusten välillä vaihtelee, mutta pääsääntöisesti ELY-keskus vastaa esiselvityksistä, yleissuunnitelmista ja tiesuunnitelmista. Rakennussuunnittelun ja rakentamisen vastuutaho vaihtelee. Liikennevirasto vastaa hankkeista, joille eduskunta myöntää kohdennetun rahoitusvaltuuden. ELY-keskukset suunnittelevat ja toteuttavat pienempiä hankkeita, joiden rahoitus sisältyy perusväylänpidon rahoitukseen. Toteutuksien jälkeen tie palautuu ELY-keskukseen hoitoon ja ylläpitoon.

Liikenne- ja viestintäministeriö on käynnistänyt virastouudistuksen, joka vaikuttaa edellä kuvattuun työnjakoon. Kesäkuussa 2018 eduskunta hyväksyi hallituksen esityksen laiksi Liikenneviraston liikenteenohjaus- ja hallintapalveluiden muuttamisesta osakeyhtiöksi ja eräksi siihen liittyviksi laeiksi. Tämä tarkoittaa sitä, että Liikenteenohjausyhtiö aloittaa toimintansa 1.1.2019. (Eduskunta, 2018a)

Eduskunta on hyväksynyt myös hallituksen esityksen maantielain uudistamisesta, jossa pääosa elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten liikennevastuualueiden tehtävistä siirtyy maakuntien hoidettavaksi. Lisäksi valtakunnallisia tehtäviä siirtyisi Liikennevirastoon ja perustettavaan liikenteenohjausyhtiöön. Laki astui voimaan 1.8.2018, mutta sen vaikutus vastuunjakoon organisaatioiden välillä toimeenpannaan vasta 1.1.2021. (Valtioneuvosto, 2018)

Syksyllä 2018 eduskunta käsittelee hallituksen esityksen Liikenne- ja viestintäviraston perustamisesta, Liikennevirastosta annetun lain muuttamisesta ja eräksi niihin liittyviksi laeiksi. Esityksen mukaan Liikenteen turvallisuusvirasto, Viestintävirasto sekä Liikenneviraston tietyt toiminnot yhdistettäisiin uudeksi virastoksi, Liikenne- ja viestintävirastoksi. Liikenneviraston jäljellä olevat tehtävät ja toiminnot tulisivat Väyläviraston tehtäväksi. Virasto vaihtaisi nimeään, mutta muutoin virasto jatkaisi keskeytyksettä toimintaansa. Liikenneviraston liikenteenohjaus- ja hallintapalvelut (tie- rautatie- ja meriliikenteen ohjaus) muutettaisiin osakeyhtiöksi ja tehtävät siirrettäisiin perustettavaan valtion erityistehtäväyhtiöön. Väylävirasto vastaisi kuitenkin edelleen liikenteenohjauksen järjestämisestä, sitä koskevista sopimuksista ja rahoituksesta. (Eduskunta, 2018b)

4.2 Esiselvitykset

Esiselvityksiä on erilaisia, koska niitä tehdään eri näkökulmista ja eri tarkoituksiin. Hankekohtaisia esiselvityksiä ovat mm. kehittämisselvitykset, tarveselvitykset ja toimenpideselvitykset. Esiselvityksissä korostuu vuorovaikutus ja yhteistyö eri toimijoiden kanssa. Esiselvityksen lopputuloksena voi olla esimerkiksi päätös laajemman suunnittelun käynnistämisestä. (Liikennevirasto, 2010)

Esiselvitys tuottaa yleensä seuraavat tulokset:

- tavoitteet
- vaihtoehdot
- likimääräiset toimenpiteet
- alustavat vaikutusarvioinnit
- kustannusennusteet

(Liikennevirasto, 2010)

Automaattiajamisen kannalta esiselvitysvaiheen merkitys voi vaihdella. Esiselvitys voisi hyvinkin tulevaisuudessa kohdistua automaattiajamisen mahdollistamiseen, mikäli automaattiajaminen asettaisi vaatimuksia tieinfralle. Vaihtoehtoisesti esiselvityksen kohdistuessa perinteisempään liikennejärjestelmäsuunnitteluun tai väyläsuunnitteluun, on automaattiajaminen vain sivuroolissa, jos siinäkään.

4.3 Yleissuunnitelma

Yleissuunnittelussa tarkennetaan esiselvityksen tuloksia. Yleissuunnitelmasta tehdään hyväksymispäätös, jonka jälkeen hanke voidaan lisätä toteuttamishjelmiin Liikennevirastossa ja ELY-keskuksessa. Osana yleissuunnitelmaa tehdään tarvittaessa myös ympäristövaikutusten arviointi. (Liikennevirasto, 2010)

Yleissuunnittelu tuottaa yleensä seuraavat tulokset:

- tien likimääräinen sijainti
 - liikenne- ja tietekniset perusratkaisut
 - tieympäristön maisemoinnin ja viheralueiden käsittelyn periaatteet
 - ympäristöhaittojen torjumisen periaatteet
 - vaikutusten arvioinnit
 - kustannusarvio
 - rakentamisen tavoitteellinen ajoitus ja
 - rakentamisvaiheet
- (Liikennevirasto, 2010)

Yleissuunnittelussa automaattiajamisen vaikutukset ovat hieman esiselvitysvaihetta suuremmat. Yleissuunnitelmavaiheessa tehdään alustavat valinnat automaattiajamiseen varautumisessa ja huomioidaan sen kustannukset. Näin automaattiajamisen varautumisella on vaikutusta mm. hyötykustannuslaskelmiin.

4.4 Tiesuunnitelma

Tiesuunnittelu määrittelee tien tarkan sijainnin, tarvittavat alueet, liittymät sekä muut tiejärjestelyt. Vuorovaikutus maanomistajien kanssa on merkittävässä roolissa tiesuunnitteluvaiheessa, sillä tiesuunnitelmasta tehdään hyväksymispäätös, joka antaa tienpitäjälle oikeuden tarvittaviin maa-alueiden haltuunottoihin. (Liikennevirasto, 2010)

Tiesuunnittelu tuottaa yleensä seuraavat tulokset:

- tarkka tiealue
- yksityiskohtaiset ratkaisut
- kustannusarvio ja mahdollinen kustannusten jako
- Liikenteenhallinnan yleissuunnitelma

Tiesuunnitelmassa automaattiajamiseen varautuminen määritellään jo yksityiskohtaisena ratkaisuna. Automaattiajaminen voidaan käsitellä omana osionaan tiesuunnitelmassa tai vaihtoehtoisesti osana liikenteenhallinnan yleissuunnitelmaa, jossa se olisi luonteva osa muuta teknistä infrastruktuuria käsittelevää aineistoa.

4.4.1 Liikenteenhallinnan yleissuunnitelma

Tiesuunnitelmaan tehtävässä liikenteen hallinnan yleissuunnitelmassa selvitetään tiejakson liittyminen nykyisiin liikenteen hallinnan telematiikkasovelluksiin ja varauksiin. Liikenteen hallinnan eriytetyn tietoliikenneverkon rakenne ja mahdollisuus operaattoreiden kanssa yhteisrakenteeseen selvitetään. (Liikennevirasto, 2005)

Liikenteen hallinnan yleissuunnitelma sisällytetään tiesuunnitelman liikenteenohjausosaan ja sen tulokset ovat seuraavat:

- Peruspalvelut
- Toiminnalliset periaatteet
- Tekniset periaateratkaisut
- Kustannusarvio

Liikenteen hallinnan yleissuunnitelmassa automaattiajaminen tulisi viedä jo teknisten periaateratkaisuiden tasolle. Konkreettisesti tämä tarkoittaisi esimerkiksi määrittelyä, kuinka monta suojaputkea automaattiajamisen kaapeleilla varattaisiin.

4.5 Rakennussuunnitelma

Rakennussuunnittelu on osa tien rakentamisvaihetta ja kuuluu nykyisin useimmiten Liikenneviraston vastuulle. Rakennussuunnittelussa syntyy kaikki tien rakentamiseen tarvittavat dokumentit. (Liikennevirasto, 2010)

Liikenteen hallinnan osalta rakennussuunnitelmia syntyy seuraavasti:

- Liikenteenohjaussuunnitelma
- Tietoliikennesuunnitelma
- Automaatiosuunnitelma
- Tietojärjestelmäsuunnitelma
- Turvajärjestelmäsuunnitelma
- Sähkösuunnitelma
- Käyttöönottosuunnitelma
- Käyttö- ja hoitosuunnitelma

(Liikennevirasto, 2005)

Rakennussuunnitelmaan sisältyy suunnitelmat, joiden perusteella automaattiajamiseen varautuminen voidaan toteuttaa. Konkreettisenä esimerkkinä automaattiajamisen kaapeloinnin suojaputkien tarkat sijainnit, metrimäärät ja teknistoiminnalliset laatuvaatimukset.

4.6 Suunnitteluperusteet

Liikennevirasto ohjaa ELYjen suunnittelua erilaisilla suunnitteluohjeilla sekä määrittelemällä kullekin hankkeelle ja suunnitteluvaiheelle suunnitteluperusteet, joissa määritellään hankkeen tavoitteet, toiminnalliset, tekniset ja ympäristölliset vaatimukset ja rajoitukset sekä mahdolliset poikkeamat suunnitteluohjeisiin. (Liikennevirasto, 2011)

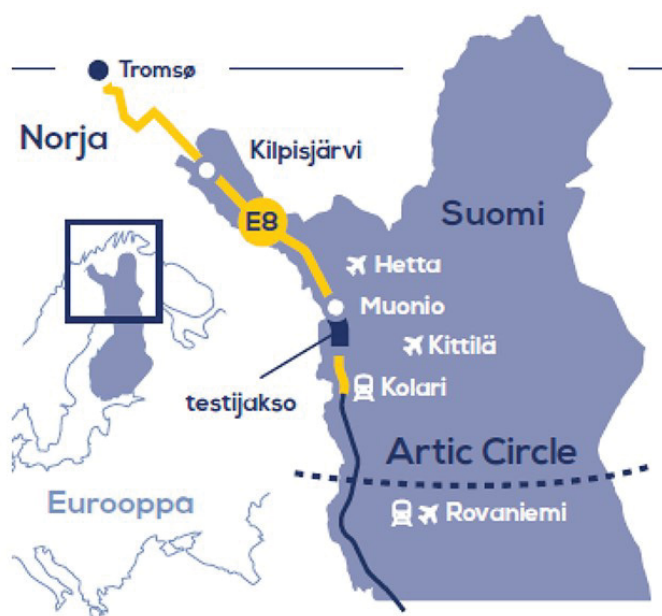
Vuonna 2011 julkaistu Liikenneviraston ohje suunnitteluperusteista ei luonnollisesti sisällä viittauksia automaattiajamiseen, eikä juuri

muuhunkaan tekniikkaan. Tulevaisuudessa suunnitteluperusteiden tulisi ottaa kantaa, mikäli automaattiajamiseen halutaan jotenkin varautua.

Suunnitteluperusteilla tilaaja kertoo suunnittelijoille suunnittelun lähtökohdat ja automaattiajamisen tulisi olla jatkossa mukana väyläsuunnittelun lähtökohtia. Yksinkertaisimmillaan automaattiajamiseen liittyvä suunnitteluperuste voisi olla seuraava: *Tieosuus suunnitellaan siten, että automaattiajamisen vaatima tekninen infrastruktuuri sisältyy suunnitelmiin.* Ilman automaattiajamisen suunnitteluperustetta sitä ei huomioida suunnittelussa tai vaihtoehtoisesti se käsitellään muutos- tai lisätyönä.

5 AURORA-ÄLYTIE

Osana tieliikenteen automatisointiohjelmaa Liikennevirasto on toteuttanut valtatielle 21, Pahtosen ja Muonion välille, 10 kilometrin pituisen arktisen älyliikenteen taustaekosysteemin. Älytie on varusteltu sensoreilla ja antureilla, jotka keräävät tietoa automaattiajamisen tarpeisiin. Hankkeen tavoitteena on luoda kansainvälisesti houkutteleva ja riittävän haasteellinen testialusta automaattiajoneuvojen ja antureiden kehittäjille. (Liikennevirasto, 2018)



Kuva 29. Aurora kartalla. (Liikennevirasto, 2018)

5.1 Hanke lyhyesti

Aurora hanke koostuu neljästä aloprojektista: Liikenteen automaatio, digitaalinen liikenneinfrastruktuuri, älykäs väyläomaisuuden hallinta sekä

liikenne palveluna (MaaS). (Liikennevirasto, 2018) Automaattiajaminen on läsnä kaikissa alaprojekteissa.



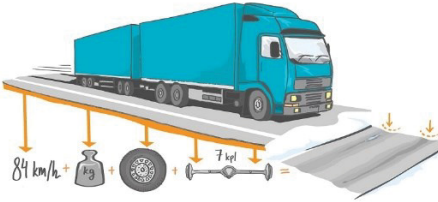


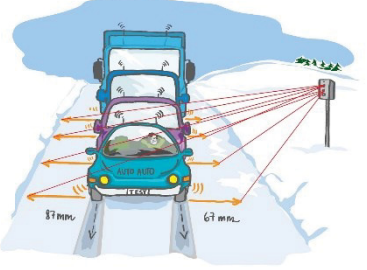
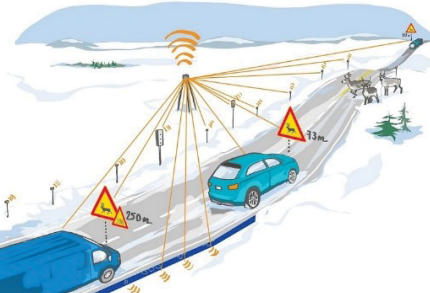
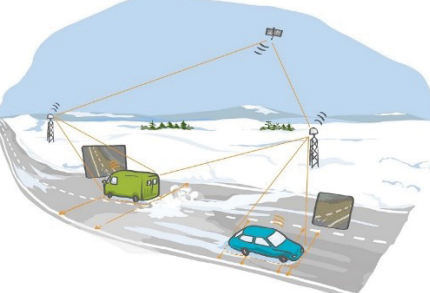
Kuva 30. Auroran palvelut. (Liikennevirasto, 2018)

Auroran älytie tarjoaa testaajille ainutlaatuisen yhdistelmän arktisia olosuhteita ja älykästä infrastruktuuria. Auroran tarjoamat palvelut koostuvat tierakenteiden ja ajoneuvojen mittaustiedoista, älykkäistä reunapaaluista, tien pinnan ja ajoneuvojen laserskannauksesta, 5G mobiiliverkosta sekä korkealaatuisesta karttamallista. Lisäksi alueella on valmiiksi tarjolla sähkönsyöttö ja tietoliikenneyhteydet sekä jalustat ja rakenteet antureiden ja laitteiden asennusta varten.

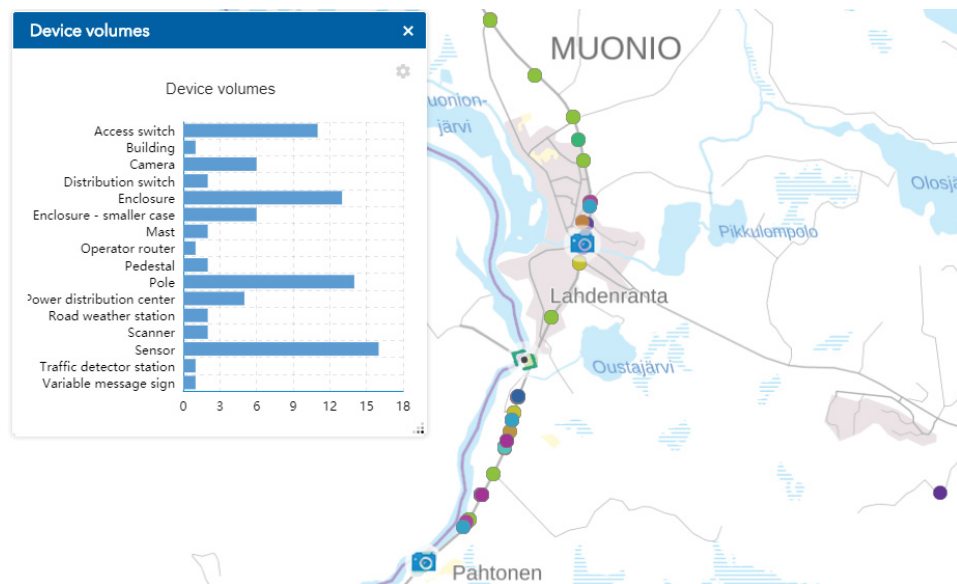
5.1.1 Auroran varustelu

Aurora -älytien perustana on avoin data. Dataa kerätään samoin periaattein kuin muullakin tieverkolla, eli tiesääsemien, liikenteen automaattisten mittauspisteiden avulla. Näiden lisäksi on tiejaksolle asennettu seuraavat sensorit, jotka on kuvattu alle taulukkoon 5.

Taulukko 5. Auroran varustelu. (Liikennevirasto, 2018f)

<p>Tienpinnan ja ajoneuvojen painon mittaus</p> 	<p>Tierakenteiden värähtelyn mittaus</p> 
<p>Älykkäät reunapaalut</p> 	<p>Laserskannerit</p> 
<p>5G-testiverkko</p> 	<p>Tietomallikartta</p> 

Kuvaan 31 on kuvattu Auroran varustelun maantieteellinen sijoittuminen.



Kuva 31. Auroran varustelu kartalla. (Liikennevirasto, 2018)

5.2 Tutkimustuloksia

Tämän opinnäytetyön kirjoitushetkellä, kesällä 2018, ei ole julkaistu kirjallisia tutkimustuloksia Aurora -hankkeelta. Joitakin mainintoja onnistumisista on kuitenkin raportoitu. Esimerkiksi 15.12.2017, VTT kirjoittaa julkaisussaan seuraavasti:

”VTT:n robottiauto Martti on onnistunut ensimmäisenä automaattisena auton ajamaan täysin autonomisesti todellisella tiellä lumipeitteisissä keliolosuhteissa ja tekemään samalla myös uuden 40 km/h:n nopeusennätyksensä Muoniossa Aurora E8 -älytiellä, mikä on todennäköisesti myös uusi epävirallinen maailmanennätys” (VTT, 2018).

Uutisoinnissaan VTT kuitenkin mainitsee, ettei Auroran tarjoamalla älykkäällä infralla ollut juurikaan roolia ennätyksen teossa, vaan ajoneuvo liikkui pääosin antureidensa ja oman tietomallinsa avulla. (VTT, 2018) Tämän opinnäytetyön kannalta tämä tieto on hyvin olennainen, sillä se viittaa tieinfran roolin olevan varsin pieni.

5.2.1 Arctic Challenge

Aurora-hankkeen Arctic Challenge -osiossa viranomaisten tutkimuskysymykset jakautuvat viiteen kategoriaan: väyläinfrastruktuuri, tietoliikenne, paikkatieto ja paikannus, vaikutusarviot ja tieto. Tutkimuskysymykset pohjautuvat Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016–2020. Arctic

Challengen tutkimuskysymykset on esitetty taulukossa 5. (Liikennevirasto, 2018c)

Taulukko 6. Arctic Challenge tutkimuskysymykset. (Liikennevirasto, 2018c)

Osa-alue	Tutkimuskysymys
Tiimerkinnät ja liikennemerkit	Miten sää- ja keliolosuhteet vaikuttavat tiemerkinntöjen ja liikennemerkkien eri koneelliseen havainnointiin ja tunnistettavuuteen eri anturityypeillä?
Tien päällysteeseen ja rakenteisiin sijoitettavat tunnistimet	Mitkä tekniikat ja tunnistimet ovat käyttökelpoisia lumisissa ja jäisissä olosuhteissa?
Tien päällysteeseen ja rakenteisiin sijoitettavat tunnistimet	vaikuttavatko näkyvyys- ja valaistusolosuhteet näiden käyttökelpoisuuteen, kuten tarkkuuteen, toimivuuteen ja luotettavuuteen?
Reunapaalut ja auraukepit	Minkälaisia fyysisiä rakenteita (engl. landmarks), kuten reuna- ja heijastinpaaluja tai aurauke- ja tonttiliittymäkepejä, automaattijaminen vaatii?
Reunapaalut ja auraukepit	Missä niiden tulisi olla?
Reunapaalut ja auraukepit	Millaisia niiden tulisi olla?
Anturitekniikat	Miten liikkauuden tunnistamisen anturitekniikat toimivat jäisillä, lumisilla ja sohjoisilla tienpinnoilla eri lämpötiloissa (-30...+3°C)?
Yhteistoiminnallinen liikennetieto	Miten liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta parantavat C-ITS Day 1 -hybridipalvelut kannattaa toteuttaa Aurora Borealis -käytävällä?
Yhteistoiminnallinen liikennetieto	Mikä on niiden tekninen toimivuus?
Yhteistoiminnallinen liikennetieto	Mitkä Day 1 -palvelut kannattaa toteuttaa Aurora Borealis -käytävällä?
Langaton tiedonsiirto ja tietoliikenneinfrastruktuuri	Miten ajoneuvon etäohjaus ja -valvonta toimivat 4G- ja ensimmäisen vaiheen 5G-verkon välityksellä hyvissä ja huonoissa sää- ja kelioloissa?
Langaton tiedonsiirto ja tietoliikenneinfrastruktuuri	Mitkä vähimmäisvaatimukset tietoliikenneverkon tulee täyttää automaattiautojen etäohjauksen toimimiseksi?
Paikkatieto ja paikantaminen	Miten ja millä tarkkuudella ajoneuvon sijainti voidaan määrittää automaattisen ajamisen tarpeisiin pohjoisilla leveysasteilla olosuhteissa, joissa reunaviivoja tai tietä ei ole havaittavissa?
Paikkatieto ja paikantaminen	Miten eri menetelmät toimivat erikoiskohteissa ja -tilanteissa, kuten signaalien katveissa tai heijastuksissa?

Arctic Challenge -tutkimushankkeen lopputulokset julkaistaan vasta 2019, mutta joitakin väliaikattietoja on hankkeen toimijoilta saatu.

Lapin Ammattikorkeakoulu Oy:n ja Roadscanners Oy:n työyhteisöliittymä on tutkinut tienvarressa oleviin reunapaaluihin kiinnitettävien eri materiaaleista muotoiltujen heijastepintojen vaikutuksia tutkasensorien havainnointiin. Heijasteet pyrkivät parantamaan lumisella tiellä automaattiajoneuvon sijainnin paikantamista. Alustavien tulosten perusteella kokeiluja jatketaan muovikoteloituja alumiinisia kulmaheijasteita käyttäen. Selvitettävänä on vielä mm. heijastinpintojen kulmien vaikutukset liikkuvalla ajoneuvolle.

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n johtama työyhteisöliittymä on tutkinut matkaviestinverkkoa sekä lyhyen kantaman tiedonsiirtoa tieliikenteen olosuhdetiedon välittämiseen arktisissa olosuhteissa. Ensimmäisissä kokeiluissa tieinfrastruktuuriin asennetun lyhyen kantaman radioteknologian avulla välitettiin onnistuneesti varoituksia kuljettajalle tiellä edessä olevasta vaarasta. Lisäksi VTT:n automaattiajoneuvo Martti on saavuttanut 40 km/h nopeuden lumisilla teillä sekä pystynyt suodattamaan lumipölyn haittavaikutuksia tutkasensorien havainnoista.

Sensible4 Oy:n johtama kahdeksan yrityksen ryhmittymä on tutkinut ajoneuvon paikannusta ajamalla useita testiajoja automaattiauto Jutolla. Ensimmäisiä hyviä tuloksia on saavutettu ajoneuvon paikantamisessa 3D-lasertutkan, 3D-kartan ja inertia- sekä satelliittipaikannuksen yhdistelmällä. Lisäksi paikannusta on kokeiltu reunapaaluissa sijaitsevilla radiomajakoilla, jotka lähettävät erittäin lyhyen kantaman ja korkean taajuuden signaalia. Alustavat tulokset antavat jopa muutaman senttimetrin tarkkuuden tienreunan sijainnista vaihtelevissa talviolosuhteissa. Ajoneuvon nopeuden kasvun on todettu heikentävän paikannustarkkuutta. (Liikennevirasto, 2018g)

6 TIELIIKENTEN AUTOMAATTIAJAMISEN VAATIMUKSET DIGITAALISELLE INFRASTRUKTUURILLE

Automaattiajamisen digitaalisella infrastruktuurilla tarkoitetaan tietotarpeita, joilla mahdollistetaan tai vähintäänkin edesautetaan automaattiajamista tieliikenteessä. Liikenne- ja viestintäministeriö on julkaissut aiheesta selvityksen alkuvuodesta 2018. (Selvitys automaattiajamisen edellyttämistä tiedoista ja kehittämistarpeista, liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 19/2017.) Selvitystyössä kuvattiin tieliikenteen automaattiajamisen tietotarpeet ja niihin liittyvät kehitystarpeet siltä osin, kuin ne kuuluvat julkisen sektorin vastuulle.

LVM:n selvitys tuo esiin digitaalisen infrastruktuurin roolin automaattiajamisen avustajana, mutta ei pakollisena automaattiajamisen edellytyksenä. Tärkeitä tietoja liikenneympäristön tilasta voidaan hyödyntää automaattiajamisessa. Staattisten tietojen, kuten tarkkojen karttojen ja liikennemerkkitietojen avulla ajoneuvot voivat esimerkiksi parantaa reittiensä suunnittelua. Dynaaminen tieto tuo lisäarvoa liikennetilanteen muuttuessa.

Selvityksen mukaan Suomessa julkisesti saatavien tietojen kattavuus on melko hyvä. Kehitettävää on eniten liikenteen valo-ohjausjärjestelmien ajantasaisen datan sekä erilaisten staattisten tietojen koneluettavaan muotoon saattamisessa. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2018c)

7 TIELIIKENTEN AUTOMAATTIAJAMISEN VAATIMUKSET FYYSELLE INFRASTRUKTUURILLE

Fyysisen tieinfran ominaisuudet ja varusteet voivat olla automaattiajamisen tukitoimintoja, joita edellytetään tai joilla edesautetaan automaattiajamisen onnistumista. Esimerkiksi yleisenä uskomuksena vielä jokin aika sitten pidettiin tiemerkitöjen tärkeyttä.

Antureiden kehityksen myötä tiemerkitöjen havainnointi on jäänyt pienempään rooliin.

Automaattiajamisen perusta on ajoneuvon sijainnin ja liikesuunnan tarkka määrittäminen. Paikannus tapahtuu karkealla tasolla satelliittien ja karttojen avulla ja tarkemmalla tasolla ajoneuvon omien antureiden avulla. Mikään tutkituista ajoneuvovalmistajista ei kerro tarvitsevansa paikannukseen tarkennuspisteitä, mutta kuitenkin hyödyntää niitä, mikäli niitä on saatavilla. Tienpitäjän rooli paikannuksen tarjoajana jäänee pieneksi.

Digitaalinen kartta-aineisto ja sitä täydentävä kolmiulotteinen malli tiestöstä on automaattiajoneuvolle tärkeä. Ajoneuvo täydentää muistissaan olevaa mallia antureidensa tuottamalla tiedolla sekä vertaa mallia nykytilaan havaitakseen muutoksia ympäristössä. Kartta-aineiston ja mallin päivittämiseen automaattiajoneuvo tarvitsee nopeaa ja luotettavaa tietoliikenneyhteyttä.

Luotettavilla ja nopeilla tietoliikenneyhteyksillä on merkittävä rooli automaattiajamisessa. Langattoman tiedonsiirron avulla ajoneuvo lähettää ja vastaanottaa tietoja ajoneuvojen ja infran välillä. Tietoliikennettä voidaan hyödyntää myös korvaamaan heikkoa GPS-signaalia. Automaattiajoneuvojen lukumäärän kasvaessa myös datan määrä kasvaa räjähdysmäisesti. Dataa liikkuu entistä enemmän ja se pitää saada nopeasti ja luotettavasti ajoneuvolta toiselle sekä pilvipalvelimille. Langaton 5G-verkko voi olla ratkaisu, mutta sekin tarvitsee fyysisen valokuituyhteyden, jolla verkko tuodaan tienvarteen ajoneuvon ulottuville.

Automaattisen ajoneuvon tulee tietää tienpitäjän asettamat erilaiset kiellot ja määräykset, jotka perinteisesti on saatettu kuljettajan tietoon kielto- ja rajoitusmerkein. Lisäksi tiestöllä on erilaista dynaamista ohjausta kuten esimerkiksi liikennevalot. Näiden tietojen saattamisessa reaaliaikaisesti automaattiauton tietoon on kaksi vaihtoehtoa: Ajoneuvo tulkitsee tilanteen omien antureidensa avulla tai tieto tarjotaan ajoneuvolle koneluettavassa muodossa suoraan laitteelta tai rajapintojen kautta tietoliikenneyhteyksien avulla. Todennäköisesti molemmat vaihtoehdot ovat tulevaisuudessa käytössä.

Olenneisinta valittaessa keinoja automaattiajamiseen varautumisessa on se, voidaanko infran varusteet suunnitella ja toteuttaa myöhemmin tierakenteita avaamatta vai onko kustannustehokkaampaan asentaa jotakin osana väylärakennetta tien rakennusvaiheessa. Alle, taulukkoon 6, koottiin yleisimpiä tieinfran automaattiajamista tukevia ominaisuuksia sekä niiden sijoittuminen tien rakenteisiin. Taulukko muodostettiin asiantuntijatyöpajassa, johon osallistui eri tekniikan alojen asiantuntijoita. Tukevat ominaisuudet jaettiin kolmeen luokkaan niiden asennustarpeiden mukaisesti.

Taulukko 7. Infran tuki automaattiajamiselle.

tukijärjestelmä / laite / ominaisuus	Asennus tien rakenteisiin	Asennus tien rakenteiden päälle	Digitaalinen infra = TIETO
Koneluettavat opasteet		x	x
Koneluettavat kiello- ja rajoitusmerkit		x	x
Koneluettavat ohjauslaitteet		x	x
Liikennetiedot			x
Liikenteen mittauslaitteet		x	
Olosuhdetiedot			x
Olosuhteiden mittalaitteet		x	
Kartta-aineistot			x
Tietomallit			x
3D-tietomallit			x
Tietoliikenne, valokuitu	x		
Tietoliikenne, langaton, lyhyt kantama		x	
Tietoliikenne, langaton, pitkä kantama		x	
Sähkönsyöttö	x		
Kaapeleiden suojaputket	x		
Kaapelivetokaivot	x		
Laitteiden jalustat ja pylväät	x	x	
Älykkäät reunapaalut		x	x
Paikannuksen referenssimajakat		x	x
Tiementunnukset		x	

Taulukkoon 7 on koottu asiantuntijoiden näkemys infran tukijärjestelmistä. Kuten taulukosta yllä nähdään, on tien rakennusvaiheessa tien rakenteisiin asennettavia komponentteja varsin vähän. Tietoliikennekaapelointi, sähkönsyötön kaapelointi sekä niiden suojaputket ja kaivot ovat järkevin asentaa tien rakentamisen yhteydessä. Putkien ja kaapeleiden asennusta edeltää rakennussuunnittelu ja niillä on vaikutusta myös aiempiin suunnitteluvaiheisiin. Laitteiden jalusta ja pylväät ovat pistemäisiä asennuksia, joita voidaan tehdä tarpeen mukaan myös valmiiseen tierakenteeseen varsin pienellä työllä. Määrittävänä tekijänä asennusvaiheelle pidettiin asennuskustannuksia.

Automaattiajamiselle fyysistä infraa tärkeämpää onkin tieto, eli digitaalinen infra. Infran ominaisuudet, staattiset ja dynaamiset olosuhdetiedot tulee koota koneluettavaan muotoon, jotta ne ovat kaikkien ajoneuvovalmistajien käytettävissä. Näiden tietojen kokoaminen tulee ottaa huomioon tien suunnittelu- ja toteutusprosessissa.

Vastauksena tämän opinnäytetyön kysymykseen ”Mitä automaattiajaminen vaatii tien fyysiseltä infrastruktuurilta”, ei vielä löydy yksiselitteistä vastausta. Automaattiajoneuvojen tekninen kehitys on edelleen kesken ja kehityksen vauhti on todella huimaa. Tästä syystä ei tienpitäjän kannata vielä tehdä lopullisia päätöksiä teiden varustamisesta. Tietoliikenteen ja sähkönsyötön rooli näyttäisi kuitenkin olevan kiistanaton. Johtopäätöksenä tästä voidaankin todeta, että tämän päivän tietojen

valossa tulee tienpitäjän varautua automaattiajamiseen riittävällä määrällä kaapelointivarauksia, eli suunnitella ja toteuttaa väylärakenteisiin suojaputkitus sähkö- ja tietoliikennekaapeleille.

Tiensuunnitteluprosessi esiselvityksestä rakennussuunnitteluun kestää useamman vuoden ja pahimmillaan sen kesto voi olla jopa yli 15 vuotta. Onkin todennäköistä, että tänä vuonna yleissuunnitelmavaiheessa olevassa hankkeessa tehdyt ratkaisut automaattiajamiseen varautumisessa muuttuvat ennen tien rakentamista. Tällä hetkellä ei myöskään kannata suunnitella sellaisia ratkaisuja, jotka voidaan toteuttaa myöhemmin, automaattiajamisen vaatimuksien varmistuttua.

8 AUTOMAATTIAJAMISEEN VARAUTUMINEN ERI SUUNNITTELUVAIHEISSA

Automaattiajamiseen olisi hyvä varautua suunnittelemalla ja toteuttamalla riittävä suojaputkitus sähkö- ja tietoliikennekaapeleille, jotka voidaan tarvittaessa ottaa myöhemmin käyttöön. Varautuminen on hyvä tehdä jo tässä vaiheessa vaikkakaan tarkkaa käyttötarvetta ei vielä osata edes arvioida. Riittävän määrän ja putkitusten asennustavan määrittämiseksi haastateltiin teknisiä asiantuntijoita. Haastatellut henkilöt olivat Liikenneviraston Tieosaston tieliikenteen teknisten järjestelmien projektipäällikkö Lauri Kapanen ja Dynniq Finland Oy:n projektipäällikkö Pentti Haavisto.

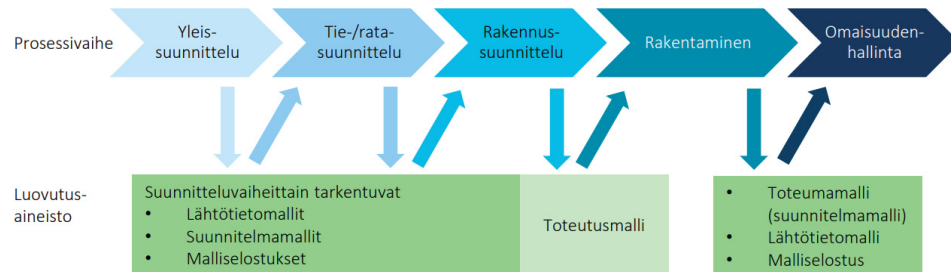
Kyseiset asiantuntijat ovat yhdessä laatineet Liikenneviraston ohjeen telematiikan suojaputkille ja kaapelikaivoille. Ohje on vielä luonnosvaiheessa, mutta se julkaistaan Liikenneviraston ohjekokoelmassa syksyllä 2018. Ohjeen luonnos on tämän työn liite 1.

Putkituksen yleisinä periaatteina on hyvä noudattaa seuraavia ohjeen periaatteita:

- Suojaputkina käytetään lujuusluokan A suojaputkea (halkaisija 110 mm).
- Tiensuuntaisesti kaivolta kaivolle asennetaan yleisperiaatteena kolme suojaputkea.
- yksi putki on sähkönsyöttökaapeleita varten
- toinen on runkokuitua varten
- kolmas putki on laitekuiduille ja signaalikaapeleille
- lisäksi asennetaan projektikohtaiset varaputket
- Laitteen jalustan ja lähimmän kaivon väliin asennetaan yksi suojaputki.

(Liikennevirasto, 2018, Liikenneviraston ohje - Telematiikan suojaputket ja kaapelikaivot, 2.8.2018)

Kenties putkitustakin tärkeämpää on varautua automaattiajamiseen digitaalisella infrastruktuurilla, eli tiedolla. Tähän tuleekin varautua luomalla kattava tietomalli aina tiehankkeen yhteydessä. Inframallin laadinnasta on olemassa ohje: Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje, Liikenneviraston ohjeita 12/2017. (Liikennevirasto, 2017)



Kuva 32. Inframallinnuksen luovutusaineiston muodostuminen vaiheittain. (Liikennevirasto, 2017)

Inframalli on vaiheittain tarkentuva tietosisältö, jossa edellisen vaiheen lopputulos toimii seuraavan vaiheen lähtötietona. Viimeisimmässä vaiheessa, jossa tie otetaan liikenteelle, tulisi käytössä olla ajantasainen toteumamalli, joka toimisi hyvänä lähtötietona automaattiajoneuvojen käyttämänä tietomallina.

Inframallin tarkkuusvaatimukset on esitetty Liikenneviraston inframalliohjeen liitteessä, joka on tämän työn liite 2.

8.1 Rakennussuunnittelu

Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan arvioida valmistumaisillaan olevan telematiikan ja suoja-putket ja kaapelikaivot -ohjeen sopivan valmistuessaan rakennussuunnittelun ja toteutusvaiheen määrääväksi dokumentiksi. Aiemmille suunnitteluvaiheille suositetaan kirjattavaksi kullekin suunnitteluvaiheelle sopivat vaatimukset.

Tietomallin osalta automaattiajamiseen varautumisen vaatimuksena on rakennussuunnittelun ja toteutuksen kautta syntyvä toteumamalli.

8.2 Tiesuunnittelu

Tiesuunnittelussa tulisi huomioida sekä tietomalli, että putkitusvaraukset. Tiesuunnittelun suunnitteluperusteisiin tuleekin lisätä kirjaus, jossa edellytetään automaattiajamiseen varautumista vähintään kolmella, ohjeen mukaisella pitkittäisputkilinjalla, sekä tietomallilla.

8.3 Esi- ja yleissuunnittelu

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheissa suunnittelun ollessa yleisemmällä tasolla riittää putkitusten ja tietomalliin sisällyttäminen suunnitelmiin tarkoituksenmukaisella tasolla. Näissä suunnitteluvaiheissa konkreettisin vaikutus on varautumisen huomioiminen kustannusarvioissa ja hyötykustannuslaskelmissa.

9 TULOSTEN ARVIOINTI

Tässä tutkimuksessa selvitettiin automaattisten ajoneuvojen valmistajien näkemyksiä siitä, mitä automaattiajaminen vaatii nykyiseltä tien fyysiseltä infrastruktuurilta. Tässä opinnäytetyössä tehtyjen selvitysten pohjalta vastaus on yksiselitteinen, sillä automaattisten ajoneuvojen kehittäjät eivät kehitystyössään tukeudu tieliikenteen infraan eikä heillä siten ole erityisiä vaatimuksia tieliikenteen infralle vaan kehitystyön tavoitteena on, että ajoneuvo pärjää sen omien laitteiden avulla. Toisaalta ajoneuvojen laitteet pystyvät hyödyntämään tieliikenteen infraa, sikäli kun tieliikenteen infran tietoja on digitaalisesti saatavilla.

Tieliikenteen infran investoinnit ovat pitkävaikutteisia ja tarkasteltava aikaikkuna on kymmeniä vuosia, kun taas ajoneuvovalmistajat kehittävät ajoneuvojen autonomista liikkumista juuri nyt, jonka kehityssuuntaa pitkällä tähtäimellä on vaikea arvioida. Tienpitäjän roolissa varautuminen tulevaan kehitykseen on tärkeää ja se on tieliikenteen investoinneissa syytä aloittaa jo nyt. Näin mahdollistetaan tulevat tieliikenteen infran digitalisoinnin kehitystarpeet, joiden arviointi tarkemmin ei vielä nyt ole mahdollista.

Toinen tutkimuskysymys, jota tässä opinnäytetyössäni tarkasteltiin, oli kuinka varautua automaattiajamiseen kussakin tien suunnitteluvaiheessa. Tässä työssä tehtyjen asiantuntijahaastatteluiden ja selvitysten pohjalta esitetään, että tieliikenteen infrainvestoinneissa aletaan varautua automaattisiin ajoneuvoihin lisäämällä sähkö- ja tietoliikenne kaapelointien vaatimia putkituksia, jotka mahdollistavat jatkossa tulevat kehitystarpeet ja näin edistävät automaattisten ajoneuvojen kehitystä ja tarvittaessa mahdollistavat sellaisen tieliikenteen infran digitalisoimisen, joka edistää ja osaltaan mahdollistaa automaattisten ajoneuvojen liikenteen kehittämisen, edistämisen ja laajenemisen koko Suomen tieverkolle. Tienpitäjän roolia tulevan kehityksen mahdollistajana voidaan toteuttaa nyt arvioiden parhaalla mahdollisella tavalla. Tarkasteltuani tässä työssäni Liikenneviraston luonnosta tieliikenteen infran uudeksi putkitusohjeeksi voin todeta sen olevan sopivan tyyppinen ohjeistus, joka voidaan ottaa käyttöön välittömästi.

Tärkein jatkotoimenpide automaattiajamiseen varautumisessa on seurata tarkasti automaattiajamisen kokeilujen tuloksia. Auroran tutkimushankkeiden tulosten perusteella tulee tämän työn lopputulokset arvioida uudelleen. Tutkimushankkeen valmistuttua vuonna 2019 on tiedossa mm. reunapaalujen vaikutus automaattiajamiseen sekä 5G-verkon hyödynnettävyys automaattiajamisessa ja sen mahdollisessa etäohjauksessa.

Toisena jatkotoimenpiteenä tulee tiehankkeiden inframalli suunnitella ja toteuttaa palvelemaan automaattiajamista. Suomessa käytettävän tietomallin tulee täyttää kansainväliset kriteerit, jotta siitäkin saadaan houkutteleva testikohde yhdistettynä arktisiin olosuhteisiin.

Kolmantena itsestään selvänä toimenpiteenä on työssä käsitellyn putkitusohjeen viimeistely ja julkaisu. Viimeistelyssä huomioidaan automaattiajaminen ja mahdollisesti muutetaan vielä julkaisun nimikin yleisemmäksi, sillä nykyinen työnimi ”Telematiikan suojaputkien ja kaapelikaivojen ohje”, tuntuu liian rajaavalta. Myös muiden ohjeiden päivittäminen on ajankohtaista niin automaattiajamisen kuin virastouudistuksenkin vuoksi. Erityisesti päivittämistä kaippaa vuodelta 2005 oleva Liikenteenhallinta osana tienpitoa -dokumentti, joka on ollut koekäytössä jo liki 20 vuotta.

Tämän opinnäytetyön ulkopuolelle jääneitä tutkimuskohteita tulisi tutkia. Tieverkon erityiskohteiden sekä kaupunkiseutujen varustelu automaattiajamisen tarpeisiin on yhtä tärkeää kuin maanteiden, mikäli automaattiajoneuvojen halutaan toimivan yhtä hyvin koko tieverkolla.

Työn tekeminen itsessään oli mielenkiintoista ja mukaansatempaavaa. Työtä tehdessä oppi paljon automaattiajamisesta. Haasteena työssä oli tunnistaa oikea tieto ennusteista sekä löytää viimeisin tieto aiheesta. Tutkimuksia ja julkaisuja aiheeseen liittyen on paljon ja niiden laatu vaihtelee laidasta laitaan. Opinnäytetyöni kirjoitushetkellä onnistuin kuitenkin löytämään hyviä tietolähteitä. Harmillisesti mielenkiintoiset tutkimushankkeet pohjoisessa ovat kesken, eikä niistä saatu tietoja tämän työn pohjaksi. Tässä työssä ei tehty kansainvälistä vertailua, joka on tunnistettu selkeäksi jatkotutkimuskohteeksi.

Epävarmuustekijöitä nousee esiin pohdittaessa automaattiajamisen tekniikan todella nopeaa kehittymistä verrattuna tien suunnitteluprosessin hitauteen. Mikäli tien suunnittelun ja toteutuksen välillä kuluu vuosia, ehtivät automaattiajamiseen varautuvat suunnitelmat todennäköisesti vanhentua. Tekninen kehitys voi toisaalta poistaa kokonaan tarpeen automaattiajamiseen varautumiselle. Mikäli automaattiajamisen taso 5 saavutetaan ilman infran apua, lienee suunnittelussa turha varautua siihen.

LÄHTEET

3GPP (2018). 3GPP internetsivut. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <http://www.3gpp.org/>

Bosch (2018). Internetsivut. Haettu 18.6.2018 osoitteesta <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/left-turn-assist/long-range-radar-sensor/>

DNA (2018). DNA internetsivut. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <https://www.dna.fi/kuuluvuus-ja-peittoalueet>

Eduskunta (2018a). Hallituksen esitys HE 34/2018. Haettu 28.6.2018 osoitteesta https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/KasittelytiedotValtiopaivaasia/Sivut/HE_34+2018.aspx

Eduskunta (2018b). Hallituksen esitys HE 61/2018. Haettu 28.6.2018 osoitteesta https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_61+2018.aspx

Elisa (2018). Elisan internetsivut. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <https://elisa.fi/kuuluvuus/>

GSA Eurooppa (2018). Internetsivut. Haettu 18.6.2018 osoitteesta <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>

Liikenne- ja viestintäministeriö (2017a). Liikenteen automaation ja robotiikan kehittämistoimenpiteiden tiekartta 2017–2019, haettu 18.4.2018 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-504-0>

Liikenne- ja viestintäministeriö (2018c). Selvitys automaattiajamisen edellyttämistä tiedoista ja kehittämistarpeista. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 19/2017. Haettu 18.2.2018 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-544-6>

Liikennevirasto (2005). Liikenteen hallinta osana tienpitoa, haettu 18.6.2018 osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100033-v-05liha_osana_tienpitoa.pdf

Liikennevirasto (2010). Tiensuunnittelun kulku. Haettu 5.5.2018 osoitteesta https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/34253/tiensuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4

Liikennevirasto (2011). Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus. Liikenneviraston ohjeita 24/2011. Haettu 5.5.2018 osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2011-24_vaylahankkeiden_suunnitteluperusteiden_web.pdf

Liikennevirasto (2016a). Tieliikenteen automatisoinnin etenemissuunnitelma ja toimenpideohjelma 2016-2020. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 19/2016. Haettu 10.10.2017 osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2016-19_tieliikenteen_automatisoinnin_web.pdf

Liikennevirasto (2017). Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. Haettu 20.6.2018 osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-12_tie_ratahankkeiden_web.pdf

Liikennevirasto (2018a). Digitalisaatiohanke. Haettu 10.2.2018 osoitteesta <https://www.liikennevirasto.fi/hankkeet/digitalisaatiohanke#.WzDUKaczY-V>

Liikennevirasto (2018c). Arctic Challenge internetsivut. Haettu 27.6.2018 osoitteesta <https://www.liikennevirasto.fi/web/en/e8-aurora/r-d/arctic-challenge#.WzSSJNlzY-U>

Liikennevirasto (2018d). Liikenneviraston ohje - Telematiikan suojausputket ja kaapelikaivot, 2.8.2018, Liite 1.

Liikennevirasto (2018e). Tieverkko. Haettu 28.9.2018 osoitteesta <https://www.liikennevirasto.fi/tieverkko#.W63sPmgzY-U>

Liikennevirasto (2018f). Aurora internetsivut. Haettu 27.6.2018 osoitteesta <https://www.liikennevirasto.fi/web/en/e8-aurora/test-ecosystem/instrumentation-and-services#.W63-pGgzY-U>

Liikennevirasto (2018g). Sähköpostikeskustelu Ilkka Kotilainen – Riku Suursalmi 20.7.2019.

Laki maantielain muuttamisesta 31§. Haettu 29.9.2018 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180572>

Sensible 4 (2018). Internetsivut. Haettu 19.6.2018 osoitteesta <http://sensible4.fi/>

Telia (2018). Telian internetsivut. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <https://www.telia.fi/asiakastuki/verkko/verkko/verkkokartta>

Trafi (2015). Automaation edistäminen tieliikenteen ajoneuvoissa. tietokortti 20.2.2015. Haettu 20.6.2018 osoitteesta [https://www.trafi.fi/filebank/a/1424379177/a8d819248b49d8ebbbfb7ef7cd6966d/16901-Trafi- Tietokortti Automaatio tieliikenteessa.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1424379177/a8d819248b49d8ebbbfb7ef7cd6966d/16901-Trafi-Tietokortti%20Automaatio%20tieliikenteessa.pdf)

Trafi (2018a). Automaattiautojen vaikutukset liikkumistottumuksiin. Trafín tutkimuksia 1/2018. Haettu 13.2.2018 osoitteesta [https://www.trafi.fi/filebank/a/1514986269/b5ae0319297711c948bcdb784cab7555/28956-Trafi_01_2018_Automaattiautojen vaikutukset liikkumistottumuksiin.pdf](https://www.trafi.fi/filebank/a/1514986269/b5ae0319297711c948bcdb784cab7555/28956-Trafi_01_2018_Automaattiautojen_vaiikutukset_liikkumistottumuksiin.pdf)

Työ- ja elinkeinoministeriö (2017). Liikennealan kansallinen kasvuohjelma 2018–2022, TEM oppaat ja muut julkaisu 15/2017. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-288-0>

U-blox (2018). Internetsivut. Haettu 19.6.2018 osoitteesta <https://www.u-blox.com/en>

Valtioneuvosto (2015). Ratkaisujen Suomi, Pääministeri Juha Sipilän hallituksen strateginen ohjelma 29.5.2015. Hallituksen julkaisusarja 10/2015. Haettu 26.1.2018 osoitteesta [https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1427398/Ratkaisujen+Suomi_FI_YHDISTETTY_netiti.pdf/801f523e-5dfb-45a4-8b4b-5b5491d6cc82/Ratkaisujen+Suomi FI YHDISTETTY netiti.pdf.pdf](https://valtioneuvosto.fi/documents/10184/1427398/Ratkaisujen+Suomi_FI_YHDISTETTY_netiti.pdf/801f523e-5dfb-45a4-8b4b-5b5491d6cc82/Ratkaisujen+Suomi_FI_YHDISTETTY_netiti.pdf.pdf)

Valtioneuvosto (2018). Hallituksen esitys HE 45/2018. Haettu 28.6.2018 osoitteesta <https://valtioneuvosto.fi/paatokset/paatos?decisionId=0900908f805a78f4>

Waymo (2018). Internetsivut. Haettu 18.6.2018 osoitteesta <https://waymo.com/tech/>

Velodyne (2018). Internetsivut. Haettu 10.5.2018 osoitteesta <http://velodynelidar.com/lidar-101.html>

Viestintävirasto (2015). Mitä 5G on? Viestintäviraston ja LVM:n 5G-seminaari, Säätöalo 22.10.2015. Haettu 26.6.2018 osoitteesta https://www.viestintavirasto.fi/attachments/esitykset/5G2015_Vivi_JI.pdf

Viestintävirasto (2018b). 5G Momentum internetsivut. Haettu 26.6.2018 osoitteesta <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/5gmomentum-ekosysteemi.html>

Volvo (2018). Internetsivut. Haettu 12.2.2018 osoitteesta <https://www.volvocars.com>

Voyage (2018). Internetsivut. Haettu 19.4.2018 osoitteesta
<https://voyage.auto/>

Haastattelut

Kapanen (2018). Haastattelu. Liikennevirasto, Tieliikenteen teknisten järjestelmien projektipäällikkö Lauri Kapanen, 23.4.2018.

Haavisto (2018). Haastattelu. Dynniq Finland Oy, Projektipäällikkö Pentti Haavisto, 23.4.2018.

Liikenneviraston ohje
Telematiikan suojaputket ja kaapelikaivot

Versio	Pvm	Päivittäjä	Kuvaus
	2.8.2018	YSP / PHa	Ohje julkaistu

SISÄLLYSLUETTELO

1.	YLEISTÄ.....	4
2.	Telematiikkakeskusten ja haaroituskaappien sijoittelu	4
3.	Telematiikkalaitteiden kuivatuksen suunnittelu	4
4.	TYÖSSÄ NOUDATETTAVAT OHJEET JA VAATIMUKSET	5
5.	SUOJAPUTKET.....	5
5.1.	SUUNNITTELUN YLEISET PERIAATTEET	5
5.2.	PUTKIEN ASENNUS	6
5.3.	PUTKIEN ASENNUS BETONIKAIVOON JA MUUT HUOMIOT	7
5.4.	PUTKIEN ASENNUS RISTIKKOPYLVÄISIIN JA PORTAALeihin	8
5.5.	PUTKIEN JA KAIVOJEN SUUNNITTELU ERI KOHTEISSA.....	8
5.5.1.	LIITE 5 VME/TIO, tiensivussa olevien opasteiden putkitukset.....	8
5.5.2.	LIITE 5 VME/TIO, tien yläpuolella olevat opasteet ja portaaliasennattavat opasteet	9
5.5.3.	LIITE 4 KRM–opasteen/opasteiden putkitukset.....	9
5.5.4.	LIITE 6 LKA/HHT/OPM-laitteiden putkitukset.....	9
5.5.5.	LIITE 7 KPU-puomin putkitukset	9
5.5.6.	LIITE 8 LPU-puomin putkitukset	9
5.5.7.	LIITE 1 Keskuksien putkitukset (LAM, LML, SK, LOK, HK).....	10
5.5.8.	LIITE 9 Laitetilan putkitukset.....	10
5.5.9.	LIITE 10,11 Siltojen päässä olevat putkitukset.....	10
5.5.10.	LIITE 1 Keskuksien ja laitteiden huoltotasanteet	10
6.	KAAPELIKAIVOT	12
6.1.	SUUNNITTELUN YLEISET PERIAATTEET	12
6.2.	KAIVON RAKENNE	12
6.3.	KAIVOLUETTELO	13
6.4.	KAIVOJEN ASENNUS.....	14
7.	OPASTE JA LAITEMAADOITUKSET	15

8.	ILMAISINKAAPELIKAIVOT	16
9.	SEURANTA, RAPORTOINTI JA LOPPUDOKUMENTOINTI	16

1. YLEISTÄ

Ohjeessa esitetään suojaputkitusten ja kaapelikaivojen rakentamisen ja suunnittelun määrätykset telematiikkahankkeissa.

Ohjetta käytetään olemassa olevia ja uusia teitä koskevissa rakennushankkeissa ja korvausinvestointien tekemisessä.

Ohjeessa epäselvästi kerrotut tai puuttuvat asiat suunnitteluun tai rakentamiseen liittyen tulee kysyä aina Tilaajalta.

2. YHTEENSOVITUS SUUNNITTELURYHMIEN VÄLILLÄ

Suunnitteluryhmien tulee tutustua putkitusohjeeseen ennen suunnittelun aloitusta.

Kaivojen, putkien, kaiteiden, kuivatuksen, valaistuksen, keskuksien ja laitteiden yhteensovitus tehdään, jotta ohjeen määrätykset täyttyvät telematiikan osalta.

Yhteensovituksessa käytettävät voimassa olevat ohjeet:

- tiekaiteiden suunnittelu 11.6.2013
- maantie- ja rautatiealueiden valaistuksen suunnittelu 13.5.2015
- teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu 5/2013
- tiealueen puomien laatuvaatimukset 17.4.2013

Suunnitelmien itselleluovutuksesta tulee ilmetä, että asiat on sovitettu yhteen kokonaisuudessaan suunnitteluryhmien kesken.

3. TELEMATIIKKAKESKUSTEN JA HAAROTUSKAAPPIEN SIJOITTELU

Tien keskialueella kaappien tulee sijaita vähintään yhden metrin päässä kaiteesta. Mikäli keskialue on riittävän leveä, keskus sijoitetaan 1,7 m päähän kaiteesta. Keskus on sijoitettava kaiteen toimintaleveyden ulkopuolelle. Keskuksien kaappien sijoittelu keskialueella tulee olla määritetyn etäisyyden päässä törmäysturvallisuuden vuoksi.

Tien reunassa kaappien etureunan tulee sijaita vähintään 2,5 m päässä kaiteesta. Kyseinen etäisyys tulee olla, jotta keskuksen eteen pystytään rakentamaan kunnollinen huoltotaso ja jotta työskentely olisi sujuvaa.

4. TELEMATIIKKALAITTEIDEN KUIVATUKSEN SUUNNITTELU

Kaikkien laitteiden kuivatus tulee suunnitella niin, ettei vesi jää makaamaan huoltotasoa vasten tai jalustan ympärille. Maa tulee muotoilla niin, että vesi kulkee jalustan ohi pintakuivatuksen purkuputkelle tai lopulliseen veden laskupaikkaan.

Pintakuivatus tulee suunnitella niin, että keskialueella pintaveden purkuputki ei ole 15 m lähempänä laitteen jalustaa.

Kaivojen ja putkien poikkileikkaukset on esitetty liitteessä 12.

5. TYÖSSÄ NOUDATETTAVAT OHJEET JA VAATIMUKSET

Mikäli johonkin suoritettavaan työhön ei ole ohjetta, noudatetaan InfraRYL 2010 osan 2 kohdan 33110.3 ohjeita sekä muita Liikenneviraston voimassa olevia ohjeita. Asennustoleranssit on määritetty InfraRYL:ssä.

Maanalaisten rakenteiden ja kaapeleiden sijainti olemassa olevilla teillä on selvitettävä ennen maankaivuutöiden aloittamista.

Tiellä tulee huolehtia asianmukaisesta työnaikaisesta liikenteenohjauksesta putkitus- ja kaivuutöitä tehdessä. Työn tekemiseen tarvittavat liikenteenohjaussuunnitelmat on hyväksyttävä Tilaajalla ennen töiden aloittamista.

Suunnittelun ja rakentamisen yhteydessä tulee ottaa huomioon kaivojen, keskuksien ja laitteiden sijoittaminen tierakenteeseen siten, ettei nykyisten teknisten ratkaisujen toiminta esty.

6. SUOJAPUTKET

6.1. SUUNNITTELUN YLEISET PERIAATTEET

Putkireitin suunnittelussa on otettava huomioon vallitsevat olosuhteet, kuten tie- ja pengermateriaali. Putkitusreittien pitää olla toteutuskelpoisia kyseisessä maastossa, ja suunnittelun aikana ilmeneviin ongelmakohtiin on esitettävä toteutuskelpoiset ratkaisut. Olemassa olevien teiden alituksissa on huomioitava tien rakenne.

Suojaputkina käytetään standardin SFS50520 lujuusluokan A suojaputkea (halkaisija 110 mm). Putket ovat väriltään keltaisia. B-luokan suojaputken käyttö ei ole sallittua aikaisemmin havaittujen putkien kasaanpainumisongelmien takia, jotka ovat johtuneet putkien heikommasta rengasjäykkyydestä.

Yleisen periaatteen mukaan kolme suojaputkea asennetaan kaivolta kaivolle tien suuntaisesti. Sähkönsyöttöjen määrä yhdessä M110-putkessa on esitetty liitteen 2 taulukossa. Jos vedettävien kaapeleiden määrä ylittää taulukossa olevan määrän, tulee asentaa lisäsuojaputki/-suojaputkia.

Yleisperiaatteet putkituksessa:

- Yksi putki on sähkönsyöttökaapeleita varten.
- Toinen putki on runkokuitua varten.
- Kolmas putki on laitekuiduille ja signaalikaapeleille.
- Varaputket ovat projektikohtaisia.

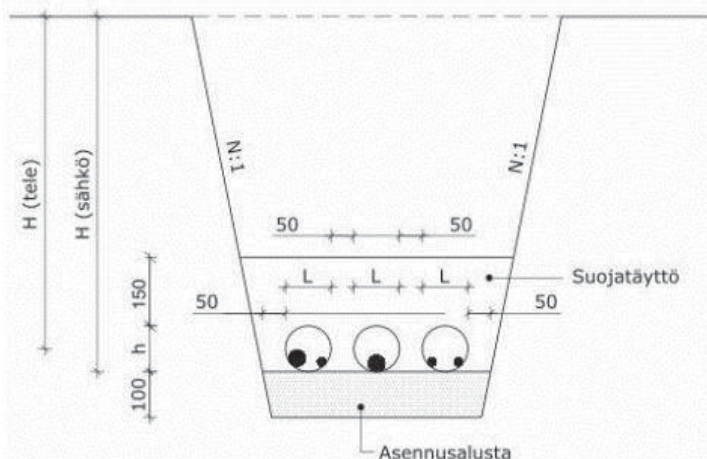
Laitteen jalustan ja lähimmän kaivon väliin asennetaan yksi suojaputki. Kaivon ja laitteen jalustan välissä sähkö- ja kuitukaapelit voivat kulkea samassa putkessa. Kaivon ja laitteen jalustan välinen suojaputkilinja rakennetaan 6-24 m pitkäksi (putkilinjat on esitetty liitteissä 1, 4, 5, 6, 7 ja 8). Tällöin laitekohtainen kaapelointi on rakennettavissa kaapelien vetojousta käyttäen.

Uusilla teillä teiden alituskohtiin asennetaan aina kaksi varaputkea tulevia tarpeita varten. Varaputkitus rakennetaan tarvittavien alituskohtien rakentamisen yhteydessä tulevaisuuden tarpeita varten sekä kulujen optimoimiseksi. Kaikissa varalle jäävissä putkissa tulee olla vetolanka, ja putkien päät tulee tulppata vesitiiviisti suoja-putken tulppaa käyttäen. Suoja-putkien tulppaus edesauttaa suoja-putkien puhtaana pysymistä tulevia käyttötarpeita varten.

Runkolinja suunnitellaan mahdollisimman suoraksi tien suuntaisesti, jotta kaapeleiden vetäminen putkiin onnistuu mahdollisimman helposti. Runkolinjasta tehdään tarvittavat pistot kaivojen kautta telematiikkalaitteille (esimerkki runkolinjasta laitteelle liitteessä 4). Runkokuidun vetäminen yhtenäisenä vetona mahdollisimman pitkän matkan parantaa kuituverkon laatua. Eritasoliittymien runkoputkituksissa on pyrittävä välttämään 90 asteen kulmia. Esimerkki toteutuksesta on esitetty liitteessä 18.

6.2. PUTKIEN ASENNUS

Kaapeleiden asennussyvyyksien tulee olla InfraRYL kohdan 33110.3 ohjeiden mukaisia



KUVA 1. Suoja-putkien asennusetäisyydet kaapelikaivannossa (InfraRYL 2006).

Suoja-putkien minimiasennussyvyys tiealueella on 0,70 m ja tien alituksissa 0,8 m. Ojienalituksissa asennussyvyys tulee olla 1,2 m. Kaivamalla tehtävissä alituksissa putket asennetaan 0,7m syvyyteen. Poikkeustapauksissa suoja-putket voidaan asentaa 0,4 m syvyyteen. Kun minimisyvyys alittuu, tulee suoja-putki suojata esim. betonikourulla tai metallilevyllä. Sähkökaapeleiden asennussyvyys määrittää SFS 600-1-2.

Kaapelioja täytetään siten, että ensiksi tasoitetaan ojan pohja ja poistetaan sieltä kivet. Ojan pohja täytetään 100 mm kerroksella 0-11 kalliomurskettä. Putken asentamisen jälkeen suoritetaan alkutäyttö 0-11 kalliomurskeella. Alkutäyttö suoritetaan 10-15 cm paksuudelta putkien päälle, ja tämän päälle asennetaan keltainen varoitusnauha 0,30 m maanpinnasta. Lopuksi tehdään kaapeliojan lopputäyttö. Käytettävässä täyttömaassa ei saa olla halkaisijaltaan 25 cm suurempia kiviä. Kaivuujäljet siistitään ja ylimääräiset maat ja kivet kuljetetaan pois.

Kaapeleiden asennussyvyyksistä ja suoja-putkien sijoituksesta ja asennuksesta kaapelikaivantoon on määritelty tarkemmin InfraRYL 2010 osassa 2 kohdassa 33110.3.

Jos suojaputkireitti joudutaan kaivamaan olemassa olevan tien, rakenteilla olevan tien tai kevyenliikenteenväylän läpi, on rakentajan huolehdittava kaivannon asianmukaisesta täytöstä ja tiivistyksestä. Rakennekerrokset tulee rakentaa käyttäen samaa materiaalia ja vastaavaa tiivisastetta kuin ympäröivällä teialueella.

Olemassa olevan tien alitukset toteutetaan suuntaporaamalla, ellei toisin ole mainittu. Alitustapa määritetään rakennussuunnitelmavaiheessa tien rakenteen mukaan. Rakennussuunnitelmassa voidaan myös määrittää alituksen teko kaistoittain kaivamalla. Alituskohtiin tarvittavien putkien määrä määritetään RS-suunnitelmassa.

Jos rakennettavalta alueelta löytyy tien alittavia kaapeliputkia, tulee niiden käyttömahdollisuus selvittää rakennussuunnitelmavaiheessa.

Vesi ei saa jäädä seisomaan suojaputkiin. Putkeen tulee suunnitella vähintään 0,5 prosentin kaato kaivojen välille, ellei kaato ole jo tien geometriasta johtuen suurempi. Kaato voidaan myös toteuttaa putkilinjan keskeltä kaivojen suuntaan, jolloin vesi valuu molempiin kaivoihin. Putkissa mahdollisesti seisova vesi ei jää tällöin putkilinjaan.

Asennuksien valmistuttua suojaputkiin tulee asentaa riittävän vahva vetolanka (esim. Piippo Oy:n 3-4 mm vetolanka tai vastaava) myöhemmin mahdollisesti lisättäviä kaapeleita varten. Vetolankaa voidaan myös myöhemmin käyttää putkilinjan eheyden tarkastamiseen.

Suojaputkien päät, jotka eivät pääty kaapelinvetokaivoon, laitteelle, ohjauskeskukselle tai laitetiltaan, tulee merkitä asettamalla teräsvanne putken pään ympärille. Putken pää tulpataan ja laitetaan maan alle n. 20 cm syvyyteen. Putken päästä otetaan koordinaatti ja se lisätään loppudokumentteihin. Merkintä tulee tehdä suojaputkien asennuksen yhteydessä.

Tällä merkintätavalla helpotetaan suojaputken pään löytämistä myöhemmin tapahtuvien kaapeliasennusten yhteydessä.

6.3. PUTKIEN ASENNUS BETONIKAIVOON JA MUUT HUOMIOT

Kaapelikaivoihin tehdään putkimäärän edellyttämät läpiviennit 110 mm putkille. Kaivojen reiät porataan timanttiporalla tehtaalla tai maastossa. Putkien tiivistyksessä ei saa käyttää uretaania.

Tunnelin kaivoihin, joihin asennetaan telematiikan/tunnelitekniikan putkia, läpivientien tiivistäminen toteutetaan kaivon läpivientitiivisteillä. Kyseisellä menettelyllä varmistetaan, ettei vesi tai muut nesteet päädy kaivoon tunnelialueella.

Putket katkaistaan kaivon sisäpinnasta n. 5 cm päähän kuvan 2 mukaisesti.



KUVA 2

6.4. PUTKIEN ASENNUS RISTIKKOPYLVÄISIIN JA PORTAALEIHIN

Ristikcopylväissä ja portaaleissa kaapelit tulee suojata kuumasinkityllä teräsputkella laitekotelolta opastekotelolle saakka. Putki katkaistaan n. 15 cm ennen laitetta / opasteen läpivientikohtaa / ristikkoportaalin 90 asteen kulmaa, jotta kaapeli saadaan taittumaan kohteeseen. Kaapeleihin tehdään ennen opastekoteloa ja laitetta vesilenkit, ettei sadevesi valu putkea pitkin alas.

Ristikcopylväissä käytettävän sinkityn teräsputken vähimmäismitat ovat seuraavat: koko DN 20 / ulkohalkaisija 20 mm / seinämän paksuus 1,6 mm. Kulmat voidaan tehdä käyttäen kierteillä olevia putkikulmia, joilla saadaan yhtenäinen putkilinja kotelolta laitekotelolle.

Esimerkkiputki ja kulma:

- Asennusputki metalli - PA-20/16,8x3000 – Pipelife
- Suojaputken kaari metalli - PA-kaari 20, galv - Pipelife

Teräsputki kiinnitetään teräsrakenteeseen kuumasinkityillä U-pulteilla, lattakiinnikkeillä ja lukkomuttereilla.

6.5. PUTKIEN JA KAIVOJEN SUUNNITTELU ERI KOHTEISSA

6.5.1. LIITE 5 VME/TIO, tiensivussa olevien opasteiden putkitukset

Opasteen edestä katsottuna vasemman puoliseen pystyjalkaan asennetaan lähimmältä betonikaivolta yksi putki, jossa menee tietoliikennekaapelit. Opasteen edestä katsottuna oikean puoliseen pystyjalkaan vedetään lähimmältä kaivolta yksi putki, jossa menee sähkökaapelit (sähkönsyöttö ja maadoitukset).

6.5.2. LIITE 5 VME/TIO, tien yläpuolella olevat opasteet ja portaaliasennattavat opasteet

Opasteen edestä katsottuna oikeanpuoleiseen jalustaan (penkanpuoli) asennetaan lähimmältä betonikaivolta yksi putki, johon asennetaan kaikki kaapelit. Tarvittaessa portaalin toisesta jalustasta voidaan tuoda kaapelit vastaavalla asennuksella, jos portaaliin asennettaisiin esim. kamera.

Kotelo/kotelot asennetaan portaaliin rakennussuunnitelmassa olevan poikkileikkauskuvan mukaisesti.

6.5.3. LIITE 4 KRM –opasteen/opasteiden putkitukset

Opasteen jalustaan asennetaan yksi putki lähimmältä kaivolta.

6.5.4. LIITE 6 LKA/HHT/OPM -laitteiden putkitukset

Laitteen jalustaan asennetaan yksi putki lähimmältä kaivolta.

6.5.5. LIITE 7 KPU-puomin putkitukset

Alue toteutetaan liitteen mukaisesti. Puomialueen pinta tasataan koko matkalta samaan tasoon kuin puomin jalustan yläpinta (-50 mm). Alue tasataan niin, että pintavedet valuvat pintakuivatuksen suuntaan. Jos tie kallistuu alueeseen päin, on pintakuivatus toteutettava ennen aluetta. Ylityskohdan toiseen reunaan tehdään samanlainen 3 metriä pitkä taso asfaltin reunasta. Suunnitteluryhmä määrittää tason pinnankorkeuden tien tasoon sopivaksi. Jos tie kallistuu alueeseen päin, on pintakuivatus toteutettava ennen aluetta.

Keskuksen, kaivon ja puomin sijoittelu toteutetaan liitteen mukaisesti.

6.5.6. LIITE 8 LPU-puomin putkitukset

Alue toteutetaan liitteen mukaisesti. Puomialueen pinta tasataan koko matkalta samaan tasoon, kuin puomin jalustan yläpinta (-50 mm). Alue tasataan niin, että pintavedet valuvat ojen suuntaan. Suunnitteluryhmä määrittää tason pinnankorkeuden tien tasoon sopivaksi. Puomialueen kuivatus toteutetaan rumpuputkella ojan pohjalla.

Keskuksen, kaivon, puomin ja paikallishjauskotelon sijoittelu toteutetaan liitteen mukaisesti.

6.5.7. LIITE 1 Keskuksien putkitukset (LAM, LML, SK, LOK, HK)

Lähimmältä kaivolta asennetaan vähintään neljä putkea keskuksen jalustaan. Varalle tulee jäädä aina vähintään yksi tyhjä putki tulevaisuuden asennuksia varten.

HK-jalustalle asennetaan kolme putkea. Varalle tulee jäädä yksi putki.

Putkien viennissä keskusjalustaan tulee käyttää putkikulmia, jotta putket saadaan vietyä jalustaan pystysuuntaisesti.

6.5.8. LIITE 9 Laitetilan putkitukset

Laitetilan alueelle asennetaan kaapelikaivo (1800 x 1000 mm). Laitetiloihin tuleva kaapelimäärä on yleensä suurempi ja kaivon käytettävyys pysyy parempana myöhemmän operoinnin kannalta.

Laitetilaan vietäviä putkia tulee jäädä varalle 1 kpl sähköliikennepuolelle ja 1 kpl tietoliikennepuolelle.

Vietäessä putkia laitetilaan tulee käyttää putkien kulmapaloja, jotta putket saadaan pystysuoraan läpiviennin kohdalle. Putket katkaistaan n.10 cm päästä lattiapinnan alapuolelta. Läpiviennit tukitaan 5 cm paksuisella palovillakerroksella, jonka päälle asennetaan palomassa.

6.5.9. LIITE 10,11 Siltojen päässä olevat putkitukset

Siltojen päiden molempiin reunoihin asennetaan kaapelikaivot, joihin johdetaan kaikki sillasta tulevat putket. Kaapelikaivot sijoitetaan n. 30 m päähän maatuesta. Tällä mahdollistetaan kaapelikaivon parempi käytettävyys asennettaessa kaapelia putkeen, ja se, ettei kaapelinvetokaivo asetu sillan yhteydessä olevien valaisinpylväiden ja kaiteiden tielle. Sillan reunat ovat yleensä jyrkkiä, eikä niihin ole perusteltua sijoittaa kaapelikaivoja.

Sillan rakenteeseen tai hyllylle asennetaan suunnitelmien mukaiset kaapeli- ja varausputket, sekä kolmansien osapuolien vaatimat putket.

Siltojen alapintaan näkyville tulevien putkien värin tulee olla harmaa. Kaikissa kaksi- tai useampipalkkisissa silloissa asennetaan alumiininen kaapelihylly palkkiväleihin.

Sillan telematiikan ja kolmansien osapuolien kaivojen sijoittelu suunnitellaan liitteen mukaisia periaatteita noudattaen.

6.5.10. LIITE 1 Keskuksien ja laitteiden huoltotasanteet

Keskuksen/haaroituskaapin/laitteen eteen tai ympärille tehdään huoltotaso liitteen 1 mukaisesti. Veden virtaus ohi huoltotason keskialueella tehdään ensisijaisesti maan muotoilulla. Tarvittaessa käytetään rumpuputkea huoltotason alitse.

Alueet suunnitellaan telematiikan poikkileikkaus- ja sijoituspiirustuksiin.

Kyseisillä ratkaisuilla varmistetaan keskuksien ja laitteiden oikea sijainti sekä alueiden tekninen toteutus ja huollettavuus.

Maanvaraisten keskusten perustus asennetaan ja ympärystäyttö tehdään InfraRYL 2006 osan 2 kohtien 32621.3.3 ja 33430 ohjeiden mukaisesti. Jalusta täytetään sisältä ulkopuolisen maanpinnan tasoon kevytsoralla. Maahan asennettavan keskuksen ja jakokaapin edessä on oltava huoltotasanne, jonka tasainen alue ulottuu vähintään 2,5 metriä ovien aukeamissuuntaan. Tasanteella on oltava esteetön kulku keskukselle. Huoltotasanne pinnoitetaan murskeella (maksimi raekoko 28 mm), ja alue muotoillaan siten, ettei vesi jää seisomaan siihen.

Maahan asennettavaan pylväs- tai tukirakenteeseen asennetun kotelon edessä on oltava huoltotasanne, jonka tasainen alue ulottuu vähintään 1,5 metriä ovien aukeamissuuntaan.

Vaihtuvien opasteiden jalustan ympärille tehdään tasainen huoltotaso (1 m) murskeella.

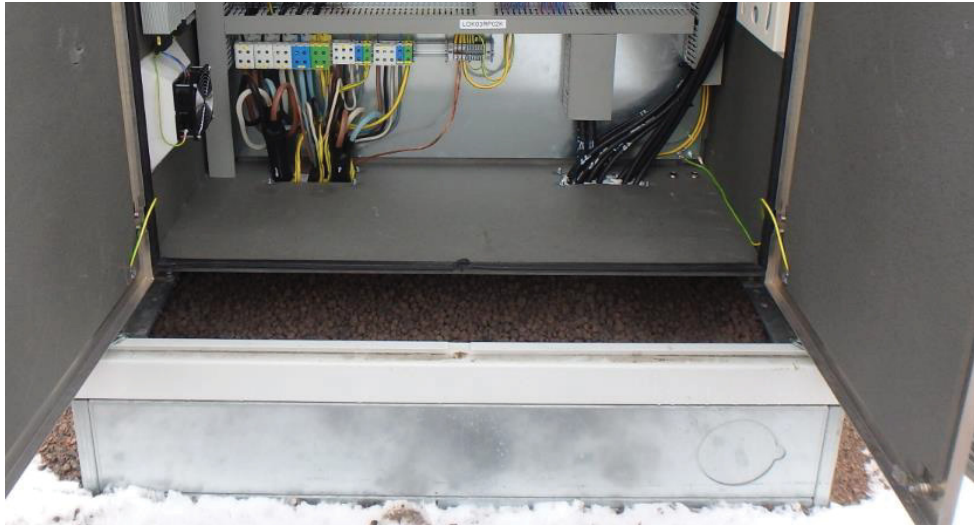
Vihreästä kestopuusta (50 x 100 mm) katkaistaan kaksi n.1,2 m pituista jalkaa keskuksen jalustaa varten. Kestopuut kiinnetään jalustaan täkkipulteilla. Jalat tukevoittavat keskusta lopullisessa asennuksessa. Keskuksen jalustana voidaan käyttää betonista jalustaa. Tällöin jalustaan ei tarvita kiinnitettäviä kestopuujalkoja. Hankkeessa käytetään vain yhtä jalustatyyppiä (betoni tai metalli).

Kuvassa 3 näkyy telematiikkakeskuksen huoltotaso ja keskuksen perustuskorkeus. Vesi ei jää seisomaan alueelle. Jalustasta saa ylimmän pellin irti.



KUVA 3

Kuvassa 4 on kevytsoralla täytetty jalusta. Kevytsoralla ehkäistään kosteuden nousu maaperästä.



KUVA 4

7. KAAPELIKAIVOT

7.1. SUUNNITTELUN YLEISET PERIAATTEET

Kaivon reuna sijoitetaan n.1,2 m päähän asfaltin reunasta. Jos kyseessä on nelikaistainen tie, jossa on keskialue, keskialueen kaivo voidaan tuoda lähemmäksi asfaltin reunaa, jotta kaivon yläpinta saadaan pintakuivatustason yläpuolelle keskialueella. Kaivon yläreunan tulee sijaita n.15 cm korkeammalla kuin keskialueen pintakuivatustason.

Keskialueen kuivatuskaivon poistoputki tai poistorumpu, joka laskee tien sivuojaan, ei saa sijaita 15 m lähempänä keskialueella sijaitsevaa telematiikkakaivoa. Näin varmistetaan, ettei keskialueella sijaitsevaa telematiikkakaivoa asenneta pitkittäissuunnan alimpaan kuivatustasoon. Tällöin keskialueelta vedet kasaantuvat/poistuvat eri kohdasta kuin missä telematiikan kaapelinvetokaivo sijaitsee, eikä kaivo täyty vedellä. Kaide, kaivo ja pintakuivatuksen rumpu tulee sovittaa yhteen rakennussuunnittelun aikana.

Kaivojen sijainnit on esitetty liitteessä 12.

Kaivojen maksimietäisyydet eri kaapelipoikkipintoja käytettäessä on esitetty liitteessä 3.

7.2. KAIVON RAKENNE

Kaapelikaivoina käytetään halkaisijaltaan 1 000 mm ja syvyydeltään 1 000 mm olevia betonikaivoja. Eri kaapelikaivojen koot on kuvattu liitteissä 18, 19, 20 ja 21. Kaapelikaivojen pohjimmaisesta läpivientirivistön reiän keskikohtaan tulee olla liitteiden mukaan 150 mm korkeudella pohjasta. Näin varmistetaan, ettei kaivoon mahdollisesti tuleva sakka tai vesi pääse kertymään putken sisään, vaan poistuu kaivon pohjassa olevan vedenpoistoreiän kautta.

Laitetilan ja eritasoliittymien solmupisteissä käytetään halkaisijaltaan 1 800 mm ja syvyydeltään 1 000 mm olevia betonikaivoja (liitteet 9 ja 18).

Kaapelikaivon kansi on valurautakansi, joka on halkaisijaltaan 600 mm ja joka kestää 40 tonnin kuormitusta.

Tunneleissa kaapelikaivon kansi on valurautakansi, joka on halkaisijaltaan 800 mm ja joka kestää 40 tonnin kuormitusta. Kaivojen koko vaihtelee kaivon paikan mukaan tunnelissa. Risteävissä kohdissa, joissa kaapelimäärä on suuri, tulisi käyttää joko 1 400, 1 800, tai 2 400 mm levyisiä ja 1 000 mm korkeita kaivoja. Tunnelissa kaivon korkeus voi vaihdella 750- 1 000 mm välillä riippuen louhinnan tasosta.

Kaikkien kaapelivetokaivojen pohjaan tehdään 50 mm kokoinen vesireikä. Esimerkki toteutuksesta on esitetty kuvassa 1.

Betonikaivot toteutetaan liitteiden 13,14,15 ja 16 mukaisesti. Kaivojen koot voivat vaihdella valmistajan mukaan. Ennen kuin kaivoja aletaan valmistaa, tulee toimittajan esittämät kaivot hyväksyttäväksi Tilaajalla.

Urakoitsija voi liitteiden avulla pyytää tarjoukset toimittajilta kaivoluettelon mukaisilla tiedoilla.

Sillan päähän asennetaan suunnitelmien mukaiset kaivot, joihin johdetaan kaikkien osapuolien putket. Kaivoihin johdetaan kaikki reunapalkista tulevat muovi- tai metalliputket. Putkien kautta saadaan vietyä siltaan asennetulle laiteelle sähkö- ja tietoliikenne. Kuvassa 5 näkyy esimerkkipuoli- ja kaivo sekä sillasta tuotavat 50 mm muoviputket, joiden avulla kaapelit saadaan vietyä kohteeseen.

Kaivojen sijainti silloissa suunnitellaan liitteiden 10 ja 11 mukaisesti.



KUVA 5

7.3. KAIVOLUETTELO

Rakennussuunnittelun yhteydessä tehtävässä kaivuluettelossa esitetään seuraavat tiedot jokaisen kaivon kohdalla:

- tunnus (merkitään kaivon sisään maalitussilla)
- x-koordinaatti
- y-koordinaatti
- z-koordinaatti, (kaivon kannen pinta)
- kaivon koko
- kaivon kannen koko ja tyyppi
- tarvittavat reikien määrät, sekä koko suunnittain (suunnat liitteissä 13,14,15 ja16).

Urakoitsija päivittää kaivojen paikat ja korot toteutuksen jälkeen.

Kaapelikaivojen tunnus merkitään maalitussilla kaivojen sisäpuolelle. Kaivojen kaapelisuojuputkien päälle merkitään, mihin putki menee, putken numero, ja seuraavan kaivon tunnus tai opasteen tunnus. Putkilinjat eivät saa risteillä kaivojen välillä.

Kaikista kaivoista otetaan kuvat (3 kpl) toteutuksen jälkeen. Kuvissa tulee näkyä putket ja merkinnät kaivossa. Kuvat luovutetaan Tilaajalle laatudokumentoinnin yhteydessä. Kaivo siivotaan siistiksi ennen kuvien ottamista.

7.4. KAIVOJEN ASENNUS

Uudella ja olemassa olevalla tiellä kaapelikaivo perustetaan 150 mm paksun murskekerroksen päälle. Murskeen raekoon on oltava maksimissaan 32 mm. Murske tiivistetään vaakasuoraksi (vaateriin). Perustus yltyä n. 150 mm kaivojen reunan ulkopuolelle. Kaivon perustus on halkaisijaltaan n. 300 mm suurempi kuin käytettävän kaivon halkaisija.

Kaivojen alustan pohjamaasta poistetaan suuret kivet ja epätasaisuudet ennen perustuksen tekemistä.

Olemassa olevalle tielle suunniteltujen kaivojen kuivana pysyminen pitää varmistaa työmaalla ennen asennustyön aloittamista. Jos suunniteltu paikka näyttää yleisesti märältä kohdalta, tulee kaivon paikka muuttaa mahdollisimman hyvään paikkaan. Kaivon uusi sijainti merkitään loppupiirustuksiin.

Olemassa olevilla teillä tehtävistä kaivojen lisäyksistä kertyneet ylijäämämassat kasataan rakennussuunnitelmassa sovittuun paikkaan.

Olemassa olevilla teillä pintamaat tasataan ja kaivuujäljet nurmetetaan nykyistä vastaavaksi. Kaivojen kohdalla maanpinta tasataan kaivon kannen tasoon. Kaivo asennetaan korkeussuunnassa luiskaan siten, että kannen keskipiste on yläpinnaltaan teoreettisen luiskakaltevuuden mukaisessa luiskan pinnan korkeudessa. Tämän jälkeen kaivoa ympäröivä luiska muotoillaan jouhevasti maastoon sopivaksi siten, että kaivon kansijää näkyviin. Tätä sääntöä voidaan tarvittaessa soveltaa kaiteiden takana olevissa jyrkissä luiskissa.

Kuvassa 6 näkyy keskuksen huoltoalueelle tehty kaapelivetokaivo. Pintamaa on tasattu kaivon kannen tasalle.



KUVA 6

Kuvassa 7 näkyy telematiikkalaitteen viereen tuleva kaivo jyrkässä luiskassa. Pintamaa on muotoiltu niin, että kaivonkansi jää näkyviin.



KUVA 7

8. KESKUS, OPASTE JA LAITEMAADOITUKSET

Keskuksien, opasteiden ja liikenteenhallintalaitteiden maadoitukset tehdään samalla, kun keskuksen perustuksia, suojaputkireittiä ja kaapelikaivoja rakennetaan.

Laitetekotelot, keskuksset, portaalit, pylväät ja teräsrakenteet maadoitetaan suunnitelmien mukaisesti maahan asennettavalla, vähintään 25 m pitkällä maadoituselektrodilla (16 mm² Cu-köysi), ellei toisin mainita. Maadoitusköysi kaivetaan johtavaan maahan tien

ulkopuolelle, pois murske- tai louhetäytöstä. Mikäli johtavaa maaperää ei ole mahdollista saavuttaa, täytyy maadoituselektrodin pituutta kasvattaa. Sähköjakalessa käytettävien maadoitusten vaatimukset on esitetty standardissa SFS 6001.

Maadoituselektrodia jatketaan MK16 kevi -johtimella sillan putkitusta pitkin laitekotelolle.

9. ILMAISINKAAPELIKAIVOT

Ilmaisinkaapelikaivot suunnitellaan ja toteutetaan liitteen 17 mukaisesti.

Ilmaisimien kohdalle molemmille puolille tietä asennetaan muoviset pohjalliset kytkentäkaivot. Silmukan kytkentä tehdään aina silmukkakaivossa. Kaivon pohjaan porataan 10 mm kokoinen vesireikä keskelle pohjaa.

KytKentäkaivojen syvyys on 600 mm ja halkaisija 315 mm. Kaivoihin asennetaan 40 tonnin kuormituksen kestävä valurautakansi. Kaivo suunnitellaan ja asennetaan n. yhden metrin päähän asfaltin ulkoreunasta siten, että kannen yläpinta on asennuspaikan maanpinnan tasossa.

Ilmaisinkaapelikaivot esitetään ilmaisimien mitoituspiirustuksissa, sijoituspiirustuksissa ja telematiikan suunnitelmakartoilla. **Suunnitelmakarttaan tulee aina merkitä viittaus (suunnitelmatunnus) mitoitus- ja sijoituspiirustuksesta.**

Ilmaisinkaapelikaivoja asennetaan puomeille, LAM-pisteille, LML-pisteille ja tiesääasemien tieanturien yhteyteen mallikuvien mukaisesti. Ilmaisinkaapelikaivojen kansina käytetään valurautaisia kansia.

Silmukkakaivojen tunnus merkitään metallikilvellä kaivojen sisäpuolelle.

10. SEURANTA, RAPORTOINTI JA LOPPUDOKUMENTOINTI

Urakoitsija täydentää suunnitelmat rakennusvaiheen muutoksilla ja tarkepiirustuksilla.

Suojaputkista, kaapelikaivoista sekä silmukkakaivoista rakennetut alueet tulee mitata, ja tiedot tulee päivittää suunnitelmakarttoihin ja luetteloihin asennuksia vastaaviksi. Kaapelikaivojen ja suojaputkien sijainnit merkitään luetteloiden x-y-z-koordinaatistoon. Kaapelikaivannossa olevien putkien sijainti mitataan keskimmäisen putken päältä molempien kaivojen kohdalla ja puolesta välistä putkilinjaa. Mittauksilla varmistetaan putken riittävä kaltevuus kaivovälillä.

Urakoitsija toimittaa kaikista asentamistaan kenttälaitteista, keskuksista, kaapeleista, kaapelikaivoista ja kaapeleiden tien alituksista ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon liitetyn dwg-kuvan, jossa erityyppiset elementit on esitetty omilla tasoilla. Laitteista toimitetaan lisäksi sijaintiluettelot (.xls), joissa sijainnit on esitetty ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa.

Kaapeleiden paikkatietojen tarkkuutta koskevien vaatimusten vuoksi putkilinja tulee mitata 6 m välein putkipatterien reunoissa olevista putkista.

Inframallin tarkkuusvaatimukset

Värikoodi	Mallinnustarkkuus
	Lähtökohtaisesti ei mallinneta. Voidaan sopia hankekohtaisesti.
	Mallinnetaan osien ulkopinnat. Ei vaadita tilavuusominaisuuksia; 2D-pinta, aluerajaus tai taiteviiva riittää.
	Mallinnetaan osat 3-ulotteisina kappaleina, pintoina, taiteviivoina. Objektien ominaisuuksitiedoista kerrotaan vain ko. suunnitteluvaiheessa olennaiset asiat.
	Mallinnetaan täydellinen kuvaus rakenteesta.
	Mallinnus ja sen tarkkuustaso sovitaan hankekohtaisesti.

	Selitys
P	Pakollinen, mallinnetaan aina
H	Hankekohtaisesti
E	Ei mallinneta (ei relevantti asia suunnitteluvaiheen kannalta)

Siltojen ja muiden taitorakenteiden osalta noudatetaan

Siltojen tietomalliohjetta (LO 6/2014)

RO = Rakennusosa

Esisuunnitteluvaiheessa sovelletaan yleissuunnitteluvaiheen tarkkuustasoja.

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
	Tie- ja ratatekninen suunnittelu				
-	Vaaka - ja pystygeometria	P	P	P	
-	Muut geometrialinjat	P	P	P	Esimerkiksi tien reunalinjat
-	Radan tilavaara	E	P	P	Esimerkiksi aukean tilan ulottuma (ATU)
-	Tie- ja rautatiealueen rajat	P	P	P	
-	Tie- ja rautatien suoja-alueen rajat	E	P	P	
-	Väylien hallinnolliset muutokset	E	P	P	
-	Pintakuivatusjärjestelyt	H	P	P	
-	Maanotto- ja läjitysalueet	E	P	P	
-	Rakentamisaikaiset tilapäiset raiteet ja muut liikennejärjestelyt	E	H	H	
-	Työnäikaiset haltuunotot	E	H	P	
-	Työnäikaiset tasoristeykset	E	H	P	
-	Työnäikaiset tieoikeudet ja muut rasitteet	E	P	P	

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
-	Rautatieliikennepaikat	P	P	P	
-	Työvaiheistus	E	H	H	
-	Pohjavesi	H	P	P	Pohjavesialue määritetään jo yleissuunnitelma vaiheessa, mutta sitä ei ole välttämätöntä mallintaa. Pohjavedenpinta mallinnetaan tie-/rata- sekä rakennussuunnitelma vaiheessa
-	Kalliopinta	H	P	P	
-	Maa- ja kallioperärajapinnat	H	P	P	
-	Maa- ja kallioperätkimukset	H	H	H	Esimerkiksi 3D-diagrammit tai pylväät
	Pilaantuneet maat ja rakenteet				
1210	Poistettavat pilaantuneet maat ja rakenteet	H	P	P	
1220	Eristerakenteet	P	P	P	
1230	Muut poistettavat pilaantuneet maat ja rakenteet	H	H	H	
-	Kapselointirakenteet	H	P	P	
	Perustusrakenteet				
1311	Anturaperustukset	H	P	P	
1312	Laattaperustukset	H	P	P	
1319	Sähköratapylväiden perustukset	H	P	P	
1320	Paaluperustukset	E	P	P	
1330	Arinarakenteet	E	P	P	
	Pohjarakenteet				
-	Pohjarakenteisiin liittyvät tavoitepinnat	H	P	P	Esimerkiksi paalujen tavoitetaso, massavaihdon alapinta
1411	Syvätiivistetyt maarakenteet	P	P	P	
1412	Liuskapystyöjittetyt maarakenteet	P	P	P	
1413	Stabiloidut maarakenteet	P	P	P	
1415	Injektoidut maarakenteet	P	P	P	
1415	Lujitetut maarakenteet	P	P	P	
1419	Muut vahvistetut maarakenteet	P	P	P	
1421	Roudaneristykset	H	P	P	

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
1422	Lämmöneristykset	H	P	P	
1423	Pohjavedensuojaukset	P	P	P	
1424	Radonkaasunsuojaukset	H	P	P	
1429	Muut suojaukset ja eristykset	H	H	H	
1431	Salaajaputket	E	H	P	
1432	Salaajien tarkastuskaivot	E	P	P	
1433	Salaajien tarkastusputket	E	P	P	
1434	Avo-ojat ja -uomat	H	P	P	
1435	Rumpuputket	H	P	P	
1436	Imeytysrakenteet	H	P	P	
1439	Muut kuivatusrakenteet	H	H	H	
	Kallioitiivisyys- ja lujitusrakenteet				
1510	Kallioinjektioinnit	E	H	H	
1520	Mekaanisesti lujitetut kalliorakenteet	E	H	H	
1530	Ruisbetonointirakenteet	H	H	H	
	Maaleikkaukset ja -kaivannot				
1610	Maaleikkaukset	P	P	P	
1620	Maakaivannot	H	P	P	
1630	Kaivannon tukirakenteet	H	P	P	
1640	Vedenalaiset maaleikkaukset ja -kaivannot	H	P	P	
1650	Rakenteiden alitukset	H	H	H	
	Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit				
1710	Kallioavoleikkaukset	H	P	P	
1720	Kalliokanaalit, -kuopat ja -syvennykset	E	H	P	
1730	Kallioon louhittavat rakennus- ja siltakaivannot	H	P	P	
1740	Vedenalaiset kallioleikkaukset ja -kaivannot	H	P	P	
1750	Jäikkäsitellyt kallioinnat	E	H	P	

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
1760	Maanalaiset kalliotilat	P	P	P	
1771	Kallioon poratut reiät	P	P	P	
1779	Muut kallioon porattavat rakenteet	E	H	H	
-	Tasausloushinta	E	E	H	
	Penkereet, maapadot ja täytöt				
1811	Penkereet	P	P	P	
1811.5	Vastapenkereet	P	P	P	
1811.6	Esikuormituspenkereet	H	H	P	
1812	Luisikatäyte	H	P	P	
1831	Asennusalustat	E	H	P	
1832	Alkutäytöt	H	P	P	
1833	Lopputäytöt	H	P	P	
1834	Perustusten alustäytöt	E	H	P	
1835	Rakenteiden ympärystäytöt	E	H	P	
1836	Massanvaihtoon kuuluvat täytöt	H	P	P	
1837	Johtokaivantojen virtaussulut	H	H	H	
1839	Muut kaivantojen täytöt	H	H	H	
	Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset				
-	Ylin yhdistelmäpinta	P	P	P	
-	Alin yhdistelmäpinta	H	P	P	
2111	Suodatinkerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2112	Suodatinkankaat	E	E	P	Mallinnetaan yläpinta
2120	Jakavat kerrokset, eristykerrokset ja välikerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2131	Sitomattomat kantavat kerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2132	Sidotut kantavat kerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2140	Päällysteet ja pintarakenteet	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2150	Siirtymärakenteet	E	E	P	Mallinnetaan yläpinta

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
2161	Piennartäyte	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
-	Radan huoltoteiden ylin yhdistelmäpinta	H	P	P	
-	Radan huoltoteiden rakennekerrokset	E	H	P	Mallinnetaan yläpinnat
	Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset				
2211	Reunatuet	E	P	P	
2221	Luisakennostot	E	P	P	
2222	Kiviheitokset	E	P	P	
2223	Kiviladokset	E	P	P	
2224	Vahvisteverkot	E	P	P	
2225	Luonnonmukaiset eroosiosuojaukset	E	P	P	
2229	Muut luiskaverhoukset ja eroosiosuojaukset	E	P	P	
	Kasvillisuusrakenteet				
2310	Kasvualustat ja katteet	H	P	P	
2320	Nurmi- ja niittyverhoukset	H	P	P	
2330	Istutukset	H	P	P	
	Ratojen päällysrakenteet				
2410	Tukikerrokset ratarakenteissa	P	P	P	
2421	Ratakiskot	E	H	P	Esimerkiksi kiskon selän korko 3D-vivana
2422	Ratapölkkyt	E	E	H	
2423	Vaihteet (tyyppi, kätisyys, jatkokset, matemaattinen keskipiste)	P	P	P	
	Vesihuollon järjestelmät				
3110	Jätevesiviemärit	P	P	P	
3120	Hulevesiviemärit	P	P	P	
3130	Vesijohdot	P	P	P	
3140	Veden ja jäteveden käsittelylaitokset	H	H	H	
3150	Pysyvät pohjaveden alennusrakenteet	P	P	P	
	Turvallisuusrakenteet, opastusjärjestelmät ja kalusteet				

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
3210	Kaiteet, johteet ja törmäyssuojat	H	P	P	
3220	Aidat, puomit ja portit	H	P	P	
3230	Reunapaalut ja pollarit	H	P	P	
3240	Suoja- ja varoitusrakenteet	H	P	P	
3250	Eryitysrakenteet	P	P	P	Esimerkiksi hidasterakenteet
3261	Liikenne- ja opastusmerkit	E	P	P	
3262	Liikennevalot ja valo-opasteet	H	P	P	
3263	Tiimerkinnät	E	P	P	
3264	Opastustaulut	H	P	P	
3290	Muut turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät	E	H	H	
-	Radan merkit	E	H	P	
	Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät				
3310	Sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	P	P	P	
3320	Kaapeleiden putkien ja johtojen suojarakenteet	E	P	P	
3331	Pylväät	E	P	P	
3332	Ilmajohtojen kannatinrakenteet	E	P	P	
3333	Mastot	H	P	P	
3334	Portaalit	E	P	P	
3339	Muut kannatusrakenteet	H	H	H	
3360	Valaistusrakenteet	P	P	P	
3370	Sähkö-, tele- ja konetekniset laitteet	H	P	P	
3381	Radan sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	Tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa tilavaraus riittää. Rakennussuunnitelmavaiheessa sovitaan hankekohtaisesti, mikäli vaaditaan tarkempaa mallinnustarkkuutta.
3384	Raitiotieliikenteen sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	
	Lämmön- ja kaasinsiirtorakenteet				
3410	Kaukolämpöjohdot	P	P	P	
3420	Kaukojäähdytysjohdot	P	P	P	
3430	Sulanapitojärjestelmä	E	P	P	

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
3440	Maakaasuputkisto	P	P	P	
	Laiturit				
4310	Laiturien tukirakenteet	E	P	P	
4320	Laiturien päällys- ja pintarakenteet	P	P	P	
4330	Laiturien varusteet ja laitteet	E	H	P	
	Perustus- ja tukirakenteet				
4421	Tukimuurit, ≤ 700mm	P	P	P	
4422	Tukiseinät	P	P	P	
4423	Kivikorit	E	P	P	
4424	Portaat	P	P	P	
	Ympäristörakenteet				
4511	Meluseinät	P	P	P	
4512	Melukaiteet	P	P	P	
4513	Tärinävaimennusrakenteet	H	P	P	
4519	Muut vaimentavat rakenteet	H	H	H	
	Rakennelmat ja kalusteet				
4610	Suojat	H	P	P	Esimerkiksi katokset
4620	Kalusteet ja varusteet	E	H	P	