

Anna Eskola

# **MENETELMÄT SILTOJEN OHJEELLISEN AJOLINJATIEDON TUOTTAMISEEN**

Diplomityö  
Johtamisen ja talouden tiedekunta  
Heikki Liimatainen  
Riku Viri  
Toukokuu 2023

# TIIVISTELMÄ

Anna Eskola: Menetelmät siltojen ohjeellisen ajolinjatiedon tuottamiseen  
Diplomityö  
Tampereen yliopisto  
Tietojohtaminen  
Huhtikuu 2023

---

Siltojen ylityksen valvonnan on tarkoitus säästää siltojen ennen aikaista loppuun kulumista. Ylittämisen suorittaminen valvottuna rakenteellisesti oikealta kohdalta voi vähentää sillan kuormitusta verrattuna tavanomaisen kaistan ajolinjaan. Nykyinen raskaiden erikoiskuljetusten sillan ylitysten valvonta tapahtuu tien kunnossapitäjän silmämääräisellä valvonnalla. Prosessia halutaan kehittää ja luoda mahdollisuuksia tulevaisuuden valvonnan automatisoinnille. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, millaisilla menetelmillä voidaan tuottaa ajolinjatietoa käytettävään muotoon Suomen tiesilloista. Työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta, haastatteluista, työpajasta sekä kokeellisesta osiosta.

Kirjallisuuskatsauksessa selvitettiin nykyistä prosessia, ajolinjatiedon ominaisuuksia, datan vaatimuksia ja vertailukriteerien ominaisuuksia. Kirjallisuuskatsauksen perusteella Suomessa ei nykyisin kerätä ajolinjatietoa. Ajolinjatiedolla voi kirjallisuuskatsauksen perusteella olla erilaisia esitystapoja, kuten absoluuttinen paikkatieto tai suhteellinen tieto sillan rakenteisiin nähden. Haastattelujen ja työpajan perusteella selvitettiin asiantuntijoiden näkemyksiä kehityssuunnista, referenssimaiden vastaavia prosesseja, sekä eri menetelmiin liittyviä etuja ja haasteita. Haastatteluista nousi esiin, ettei Virossa, Ruotsissa tai Tanskassa ole myöskään kehitetty vastaavaa menetelmää siltojen ajolinjatiedon tuottamiselle. Asiantuntijoiden haastattelujen ja työpajan perusteella selvitettiin erilaisia menetelmävaihtoehtoja ajolinjatiedon tuottamiselle. Kiinnostavimpia ajolinjatiedon esittämistapoja olivat sillan kannen kuvaan, ilmakehuun tai satelliittipaikannusdatana tuotettu ajolinjatieto. Valikoituneet menetelmät olivat sillan kannesta otettuun kuvaan manuaalisesti piirtäminen, kuvantunnistusjärjestelmän käyttäminen, tunnettujen geometriapisteiden avulla laskeminen, ilmakehuun digitoiminen ja tarkkuuspaikantimella mittaaminen.

Kokeellisessa osuudessa testattiin tarkasteltavaksi valikoituneita menetelmiä tarkempien havaintojen keräämiseksi. Eri menetelmävaihtoehdot testattiin osittain ensimmäiselle testisillalle ja kaikki toiselle, kuvantunnistusjärjestelmää lukuun ottamatta. Geometriatietoa tuottavista menetelmistä tarkkuuspaikannus osoittautui testauksen perusteella ainoaksi menetelmäksi, joka vastasi haluttua tarkkuuden tasoa.

Eri menetelmien välillä voitiin havaita selkeitä eroja vaaditun manuaalisen työn määrässä, mikä heijastuu kustannuksiin ja muihin vaadittuihin resursseihin. Maastokäyntiä vaativat menetelmät ovat usein kustannuksiltaan korkeita. Maastokäyntien kustannuksia voidaan kuitenkin hallita toteuttamalla mittaukset muun käynnin yhteydessä, kuten sillan tarkastusten aikana. Vain kuvaan tuotettu ajolinjatieto palvelee paremmin monia muita käyttötarkoituksia, kuten ajoneuvon kuljettajan ajolinjan valintaa, mutta ei tue yhtä vahvasti sillan ylityksen valvonnan automatisointia satelliittipaikannuspohjaisesti.

Avainsanat: ajolinjatieto, erikoiskuljetus, sillan ylityksen valvonta

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Anna Eskola: Methods for producing driving line information for bridges  
Master's thesis  
Tampere University  
Master's Programme in Information and Knowledge Management  
April 2023

---

The monitoring of bridge crossings is intended to save the premature wear-out of bridges. Performing crossings on a controlled structurally durable driving line may reduce the load on the bridge compared to the normal driving lane line. The current monitoring of the crossing of the special heavy goods traffic bridge is carried out by visual control of the road operator. The aim is to develop the process and create opportunities for automation of future supervision. The purpose of this study was to find out what methods can be used to produce the driving line information to be used on the Finnish road bridges. The work consists of literature review, interviews, workshop and an experimental section.

The literature review examined the current process, the characteristics of the driving line data, the data requirements and the characteristics of the reference criteria. According to the literature review, no driving line data are collected in Finland at present. On the basis of the literature review, the driving line information may have different forms of presentations, such as absolute spatial data or relative data proportionate to bridge structures. Based on the interviews and the workshop, experts' views on development trends, similar processes in reference countries, as well as benefits and challenges related to different methods were examined. It emerged from the interviews that no similar method has been developed in Estonia, Sweden and Denmark for the production of driving line information on bridges. On the basis of interviews with experts and the workshop, various methods for the production of driving line information were examined. One of the most interesting ways of presenting the driving line information was the driving line data produced on the bridge cover, aerial image or satellite positioning data. The selected methods were manual drawing on the bridge cover photo, using the image recognition system, counting by means of known geometry points, digitizing the aerial image and measuring with precision positioning system.

The experimental part tested selected methods for the collection of more accurate observations. The different method options were partly tested on the first test bridge and all on the second, except for the image recognition system. On the basis of the testing methods that produce geometrical information about the driving line, precision detection proved to be the only method that corresponded to the desired level of accuracy. The imaged based driving line information products serves many other uses better, such as the choice of the vehicle driver's driving line but does not support the automation of bridge crossing control.

Clear differences in the volume of manual work required between the different methods could be identified, reflecting costs and other resources required. Methods requiring visits on the bridges are often of higher cost. However, the costs of visits can be managed by gathering the measurements during other visits, such as bridge inspections. Driving line information produced only in the image better serves many other purposes, such as the driver's choice of driving line, but does not support as strongly the automation of bridge crossing monitoring based on satellite positioning.

Keywords: driving line information, abnormal transportations, bridge crossing control

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

# ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Ramboll Finland Oy:ssä ja työn tilaaja on Väylävirasto. Työssä selvitetään menetelmävaihtoehtoja sillan ylityksen valvontaa tukevan ajolinjatiedon tuottamiselle. Iso kiitos kuuluu työtä ohjanneille ja tukea antaneille Kaisu Laitiselle, Riku Ilomäelle ja Aleksi Vesannolle. Lisäksi suuri kiitos vielä kaikille työkavereille, jotka tukivat työn tekemistä ja osallistuivat siihen. Kiitos työn mahdollistamisesta ja vakuuttavasta asiantuntijuudesta Heini Rauniolle. Ohjaamistilanteet olivat valtavan kannustavia ja rakentavia.

Kiitos myös Tampereen yliopiston kaikille opettajille, jotka ovat minua valmistaneet tähän työhön. Erityiskiitos kuuluu tietenkin työn ohjaajille, Heikki Liimataiselle ja Riku Virille, jotka vahvistivat työn etenemistä ja toivat hyviä näkökulmia esiin.

Haluan kiittää perhettäni ja ystäviäni loppumattomasta tuesta ja avusta. Erityisesti haluan kiittää puolisoani Petriä kaikesta tuesta, mitä ilman työn loppuun saattaminen ei olisi ollut mahdollista.

Kiitos juoksemiselle, joka on pitänyt pään kylmänä ja ajatukset virkeinä.

Kiitos kaikille, tästä on hyvä jatkaa!

Tampereella, 4.5.2023

Anna Eskola

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen tausta .....	1
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	2
1.3 Työn sisältö ja rajaukset .....	2
2. TUTKIMUSMETODOLOGIA .....	4
2.1 Kirjallisuuskatsaus .....	4
2.2 Data-analyysi .....	5
2.3 Haastattelu .....	6
2.4 Työpaja .....	6
2.5 Kenttätutkimus .....	7
3. TEORIA .....	9
3.1 Ylitysajolinjatiedon kerääminen Suomessa .....	9
3.2 Suhteellinen ja absoluuttinen ajolinjatieto .....	10
3.3 Datan laatu ja vertailu .....	10
3.4 Erikoiskuljetusprosessi ja ylitysgeometriadatan kerääminen muualla ..	11
3.4.1 Viron erikoiskuljetusprosessi .....	12
3.4.2 Ruotsin erikoiskuljetusprosessi .....	13
3.4.3 Tanskan erikoiskuljetusprosessi .....	13
4. SILLAN YLITYKSEN VALVONTA JA TARPEET .....	15
4.1 Perusprosessin kuvaus .....	15
4.2 Kehityssuunta ja tavoitetila .....	16
4.3 Siltojen kunto ja nykytilanne .....	17
4.4 Erikoiskuljetusten lupadata .....	22
5. VERTAILUKRITEERIT JA TEKNOLOGIAVAIHTOEHTOJEN TARKASTELU .....	25
5.1 Vertailukriteerit .....	25
5.1.1 Kustannukset .....	25
5.1.2 Tarkkuustaso .....	26
5.1.3 Teknologian kypsyys ja osaaminen .....	27
5.1.4 Valvonnan automatisointimahdollisuudet .....	28
5.1.5 Teknologian hallittavuus .....	28
5.1.6 Tietoturva .....	29
5.1.7 Tiedonsiirto ja tallentaminen .....	30
5.2 Teknologiovaihtoehtojen tarkastelu .....	32
5.2.1 Nykyiset sanalliset kuvaukset .....	35
5.2.2 Digitaaliset siltasuunnitelmat ja siltatiedot .....	36
5.2.3 Kartta-, tiestö- ja paikkatiedot .....	36
5.2.4 Kuvadata .....	37
5.2.5 Mittausdokumentaatio .....	38
6. PROSESSIN TESTAUS JA VERTAILU .....	39
6.1 Prosessien testaus .....	39

6.1.1 Testisilta A .....	39
6.1.2 Testisilta B .....	46
6.2 Vertailu.....	54
6.2.1 Manuaalisesti kuvaan piirtämällä .....	58
6.2.2 Kvanttunnistusjärjestelmien avustama tuottaminen.....	59
6.2.3 Taitorakennerekisterin geometriapisteistä .....	60
6.2.4 Digitoinnilla ilmakehuun piirtämällä .....	61
6.2.5 Absoluuttisen ajolinjatiedon tuottaminen satelliittipaikannusdatana 62	
7.TULOKSET JA JATKOKEHITYKSET .....	65
7.1 Suositeltava menetelmä ajolinjatiedon tuottamiseen .....	65
7.2 Jatkotutkimuskysymykset.....	69
8.YHTEENVETO JA ARVIOINTI.....	71
LÄHTEET .....	75

# KUVALUETTELO

Kuva 1	<i>Painorajoitettujen siltöjen määrä yleisillä teillä 1980–2021 (Väylävirasto, 2022a)</i>	20
Kuva 2	<i>Painorajoitetut sillat marraskuussa 2021 (Väylävirasto, 2022b)</i>	21
Kuva 3	<i>Siltöjen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Väylävirasto, 2022a)</i>	22
Kuva 4	<i>Teknologian elinkaari (mukaillen Nolte, 2008, ss. 24)</i>	27
Kuva 5	<i>Tiedonsiirronlähetysmekanismi (mukaillen Katavisto, 2012, ss. 23)</i>	31
Kuva 6	<i>Ajolinjatiedon tuottamisen prosessikuva.</i>	34
Kuva 7	<i>Osa sillan yleispiirrustusta rakenteen symmetrian toteamiseksi (Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	40
Kuva 8	<i>Osa sillan yleispiirrustusta, jossa nähdään sillan kaarevuus. (Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	40
Kuva 9	<i>Taitorakennerekisteristä haettuun kuvaan piirretyt ajolinjat (muokattu Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	41
Kuva 10	<i>Viivatiedon geometriapistöiden avulla piirretty sillan rakenteen geometrian suuntaviiva. Kuvasta poistettu teiden numerot. (Esri Inc., 2023)</i>	43
Kuva 11	<i>Suuntaviivan molemmille puolille piirretyt ajolinjan viivat geometriapistöiden selvittämistä varten. Kuvasta poistettu teiden numerot. (Esri Inc., 2023)</i>	44
Kuva 12	<i>Suuntaviiva ja geometriapistöiden selvittämistä varten piirretyt tukiviivat ilmakuvassa esitettyinä. (Esri Inc., 2023)</i>	44
Kuva 13	<i>Ilmakuvaan digitoitu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)</i>	45
Kuva 14	<i>Geometriapistöistä lasketut ajolinjan pisteet ja ilmakuvaan digitoitu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)</i>	46
Kuva 15	<i>Sillan poikkileikkaus (Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	46
Kuva 16	<i>Sillan kannen ja ajokaistöjen kuva (Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	47
Kuva 17	<i>Sillan olemassa olevaan kuvaan piirretty ajolinjatieto, havainnollistus. (muokattu Taitorakennerekisteri, 2023)</i>	48
Kuva 18	<i>Havainnollistus drooni-kuvaan piirretty ajolinja etelän suunnasta saavuttaessa.</i>	49
Kuva 19	<i>Havainnollistus drooni-kuvaan piirretty ajolinja pohjoisen suunnasta saavuttaessa.</i>	49
Kuva 20	<i>Taitorakennerekisterissä annetut suuntaviivapistöet ja sillan keskipistegeometria. (Esri Inc., 2023)</i>	50
Kuva 21	<i>Suuntaviivapistöiden perusteella piirretty viiva ja samansuuntainen viiva keskipistöen päälle siirrettyinä. (Esri Inc., 2023)</i>	51
Kuva 22	<i>Ilmakuvaan digitoimalla tuotettu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)</i>	52
Kuva 23	<i>Tarkkuuspaikantimella mitatut pisteet. (Esri Inc., 2023)</i>	53
Kuva 24	<i>Tarkkuuspaikannusmittauksen tulokset esitettyinä ilmakuvassa. (Esri Inc., 2023)</i>	53
Kuva 25	<i>Tarkkuuspaikannusviivan projisoiminen tunnistetun ajolinjan perusteella. (Esri Inc., 2023)</i>	54
Kuva 26	<i>Eri menetelmillä piirretyt ajolinjaviivat. Punainen geometriapistötiedosta laskettu. Valkoinen ilmakuvan perusteella digitoitu. Turkoosi tarkkuuspaikannuksella mitattu.</i>	56
Kuva 27	<i>Eri menetelmillä piirretyjen ajolinjaviivojen eroavaisuus. Punainen geometriapistötiedosta laskettu. Valkoinen ilmakuvan perusteella digitoitu. Turkoosi tarkkuuspaikannuksella mitattu.</i>	57
Kuva 28	<i>Suosittelavan menetelmän prosessikaavio.</i>	74

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

ETA-maat

ETRS89

EU

LeLu

Euroopan talousalueen maat

Eurooppalainen geometria referenssi systeemi

Euroopan Unioni

Erikoiskuljetuksien lupasovellus



# 1. JOHDANTO

Johdannossa esitellään tutkimuksen taustat ja tarpeen, jota pyritään palvelemaan. Toisessa alaluvussa esitetään tutkimuksen tavoitteet, esitetään päätutkimuskysymys, sekä kolme alatutkimuskysymystä, joihin tutkimuksessa pyritään vastaamaan. Kolmannessa alaluvussa esitellään tutkimuksen koko sisältö ja käsiteltävän aiheen rajauksia.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Elinkeinoelämällä on tarve kuljettaa yhä isompia kuljetuksia samalla kun Suomen tieverkon ja sen siltojen kunto on heikentynyt. Tästä seuraa haaste kuljetustarpeiden ja -mahdollisuuksien kesken. Erityisesti tuulivoimarakentamisen nopea kasvu on lisännyt merkittävästi erikoiskuljetuslupien tarvetta. Poikkeuksellisen painavat tiekuljetukset ovat aina haastavia tehtäviä, ja niihin sisältyy sillan kantavuuden näkökulmasta katsottuna riskejä. Raskaiden kuljetusten aiheuttamat rasitukset lyhentävät merkittävästi sillan käyttöikä ja pahimmillaan saattavat johtaa rakenteiden pettämiseen. Mikäli siltaa ylitetään optimaalista ajolinjaa, voidaan merkittävästi vähentää siltaan kohdistuvia rasituksia (Pietilä, 2021). Oikean ajolinjan valvonta on useilla silloilla hankalaa, sillä sillan ajolinja ei ole välttämättä pääteltävissä kadun poikkileikkauksen perusteella, eikä tieto ole ylityshetkellä kuljettajalla välttämättä saatavilla.

Siltojen ylityksen valvonnan on tarkoitus säästää siltojen ennen aikaista kulumista säästämällä siten resursseja. Ylittämisen suorittaminen valvottuna rakenteellisesti oikealta kohdalta vähentää sillan kuormitusta, verrattuna tavanomaisen kaistan ajolinjaan. Rakenteellisesti oikean ajolinjan valvonnan tärkeyteen vaikuttaa monet sillan ominaisuudet, kuten sillan rakenne, materiaali, ikä, ylikuormitukset, kunto, myöhemmät muutokset tai kaistajärjestelyt. Myös kuljetuksen massa, mitat, akselivälit ja painojakauma akseleille vaikuttavat aiheutuvaa sillan rasitukseen ja siten valvonnan tarpeeseen. (Terävä, 2012)

Sillanylitysvälitystä pyritään automatisoimaan, jolloin voidaan siirtyä esimerkiksi sähköiseen allekirjoittamiseen ja ajolinjan automaattiseen seurantaan. Tavoitteena on, että kuljetuksia voidaan seurata, saada tietoa ongelmakohtista ja aiheutuneisiin vaurioihin saataisiin paremmin tietoa seurannan tueksi. (Pietilä, 2021)

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn päätavoitteena on selvittää, miten ohjeellisista ylitysjolinjoista tulisi tuottaa digitaalista tietoa. Tavoitteen on tarkoitus tukea toimintaa, jolla voidaan varmistaa siltojen ylitys raskailla erikoiskuljetuksilla siten, että pystytään toteuttamaan mahdollisimman paljon kuljetuksia ja samalla varmistamaan siltainfran hallittu kuormitus. Automatisoimalla toteutuneen ajolinjan seuranta voidaan parantaa kuljetusten toimintaedellytyksiä sujuvoittamalla valvontaa vaativia ylityksiä. Automatisoinnilla voidaan esimerkiksi välttää sillan ylityksen valvonnan tuottamia aikataulujen yhteensovittamisen valvojan ja kuljettajan kesken. Samalla varmistetaan liikenneturvallisuus ja siltojen pidempi käyttöikä niin, että siltoihin kohdistuvat rasitukset eivät ylitä sillan kantavuuden kapasiteettia.

Päätutkimuskysymykseksi tutkimukselle on asetettu:

”Millaisilla menetelmillä voidaan tuottaa sillan ylityksen ajolinjatietoa?”

Tutkimuksen alatavoitteiden on tarkoitus tukea päätavoitetta, selvittäen erikoiskuljetusten sillanylittämisen prosessin taustaa, vaatimuksia ja yhtenäisyyttä prosessin kokonaiskuvaan. Tutkimuksen alatutkimuskysymyksiksi on asetettu:

”Mikä on ajolinjatiedon tarve valvottuun sillanylitykseen liittyvässä prosessissa?”

”Mitä kriteerejä ja mahdollisuuksia menetelmien vertailuun liittyy?”

”Mitkä ovat vertailun perusteella suositeltavat menetelmät ajolinjatiedon tuottamiseen?”

## 1.3 Työn sisältö ja rajaukset

Johdannossa käsitellään mitä, miten ja miksi työ toteutetaan. Toisessa luvussa esitellään tutkimuksessa käytettävät tutkimusmetodologiset menetelmät. Teoria kappaleessa käsitellään datan keräämisen laatua ja sen vertailtavuutta. Käsitellään myös ylitysgeometriadatan keräämisen nykyistä tilannetta Suomessa. Esitellään kansainvälisiä erikoiskuljetusten sillan ylitysten lupa ja valvontaprosessiin liittyen esimerkkejä Virossa, Ruotsissa ja Tanskasta. Vertailun kohdemaat valikoituivat kartoittamisen kautta, siten että olosuhteet, erikoiskuljetusten säätely ja teknologiat olisivat vastaavanlaisesti käytettävissä, sekä saatavilla olevien asiantuntijoiden mukaan.

Neljännessä luvussa kuvataan sillanylityksen ja ajolinjan valvonnan perusprosessi. Kappaleessa esitellään myös, millaisia erilaisia ryhmittelyjä silloille voidaan tehdä rakenteen poikkileikkauksen avulla. Siltojen kuormituksen kokonaiskuva hahmottamiseksi käsitellään siltojen ylitysten määrää, sekä painottumista Suomen

tieliikenteessä erikoiskuljetusten takia. Lupadatan sisältö ja tarpeet ajolinjatiedon hyödyistä ja yhteensovittamisesta esitellään neljännen luvun lopuksi.

Viidennessä luvussa käsitellään tarkasteltaville menetelmille laadittua vertailukriteeristöä ja laadun näkökulmaa menetelmien tarkasteluun. Luvun on tarkoitus tukea menetelmävalintoja. Pohditaan myös saatavilla olevien lähtötietojen kattavuutta ja laatua.

Kuudennessa luvussa käsitellään ajolinjantuottamismenetelmien testausta ja niiden prosesseja. Testauksia tehdään kahdelle sillalle. Esitellään menetelmävaihtoehdot vertailukriteerien näkökulmasta ja suoritetaan näiden välistä vertailua. Vertailussa kootaan havaintoja ja asiantuntijoiden näkemyksiä eri menetelmiin liittyen.

Luvussa seitsemän esitetään vertailun pohjalta tulokset ja jatkokehitys ehdotukset. Kappaleen on tarkoitus tarjota perusteluja eri menetelmien hyödynnettävyyden mahdollisuuksista ja myös sulkea pois epäotolliset vaihtoehdot perustellusti. Luvussa esitetään vastaukset asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkimuksessa keskitytään Suomen tieverkon siltoihin, joita voidaan käyttää erikoiskuljetusten reiteillä. Erityisesti tarkastelussa ovat sillat, joiden ylitystä halutaan valvoa. Menetelmissä keskitytään vaihtoehtoihin, joita voitaisiin hyödyntää jo lähitulevaisuudessa. Tämä huomioidaan vertailukriteerien tuottamisessa. Menetelmien tarkastelussa keskitytään ajolinjan tuottamismahdollisuuksiin normaaliolosuhteissa, missä oletuksena siltaan ei kohdistu merkittäviä muita vaikuttavia voimia. Poikkeavassa olosuhteessa optimaalinen ajolinja voi muuttua, jolloin aikaisemmin tuotettu ajolinjatieto voi olla vanhentunut.

Työn tarkastelussa on ohjeellisen ajolinjatiedon tuottaminen, mitä ei tule sekoittaa itse kuljetuksesta mitattavaan ajolinjatietoon. Ajolinjatiedon tuottamismenetelmän kannalta rajoitteena on myös tavoite päästä menetelmän tuotoksella alle puolen metrin sijaintitarkkuuteen. Ajolinjatiedon tulee tukea sillanylityksen valvonnan kehittämistä. Työssä tarkastelu rajataan myös koskemaan erityisesti ajolinjatiedon tuottamisen menetelmää, eikä valvonnan kehittämistä tai ajolinjan tunnistamista sillalla.

## 2. TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tässä työssä yhdistellään useita eri tutkimusmetodeja kattavan tutkimustuloksen saamiseksi ja toisiaan täydentäen. Kirjallisuuskatsausta on tarkoitus hyödyntää yhdessä eri asiantuntijoiden tulevaisuudennäkymien ja näkemyksiensä vahvistamiseksi. Näiden pohjalta muodostetaan kuvaa siitä, millaiset ovat ajolinjatiedon luomisen menetelmien mahdollisuudet ja haasteet.

Tutkimuksessa perehdytään aiheen kirjalliseen aineistoon, jonka perusteella pyritään argumentoimaan tuloksien vertailukriteeristöä ja siten ratkaisevan valittavan menetelmän. Näin voidaan siis perustella tutkimuksen olevan teoreettinen tutkimus, jossa tuloksia pyritään argumentoimaan teorian avulla (Tuomi 2007, ss. 74).

Teknologiaa vaihtoehtoja tieteenfilosofisena suuntauksena tutkiessa voidaan mieltää tutkimuksen olevan positivisminen, sillä tutkittu todellisuus on näkemyksistä huolimatta olemassa (Tuomi 2007, ss. 56). Positivismi tutkimukselle ominaista on, että tiede kuvaa ja selittää tapahtumia, sekä ennustaa seuraavia ilmiöitä (Tuomi 2007, s. 56). Tutkimuksessa pyritään kuvaamaan ajolinjadataan keräämisen mahdollisuuksien nykytilaa todellisen teoriapohjan avulla. Menetelmävaihtoehtoisissa käytettävien teknologioiden nykyisen tilan kuvaaminen ja teknologian kehittymisen mahdollisuuksien ennustamista voidaan pitää myös positivismin mukaisena tutkimuksena.

Tutkimuksen deduktiivisia piirteitä, sillä tutkimuksessa tosiasiana pidetystä teoriasta pyritään johtamaan uutta tietoa (Olkkonen 1993, ss. 29). Tutkimuksen tuloksia pyritään siis vertaamaan teoreettiseen viitekehykseen. Tulevaisuudennäkymiä pyritään kuitenkin tuottamaan myös muiden lähteiden kuin puhtaan teorian pohjalta, jolloin tutkimuksen voi perustella olevan teoriasidonnaista. Tässä tutkimustavassa eli abduktiivisessa päättelyssä tulokset eivät perustu pelkästään teoriaan, vaikka nojautuukin siihen vahvasti (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tutkimuksessa tulevaisuutta koskevien näkökulmien tuottamisessa tehtyjä analyysejä pyritään tukemaan teoreettisen tutkimuksen kautta, mikä on tyypillistä abduktiivista tutkimusta (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka 2006). Tulevaisuudennäkymiin sovelletaan myös erilaista lähdekritiikkiä, sillä ne eivät ole täysin vain teoriaan pohjautuvia.

### 2.1 Kirjallisuuskatsaus

Työn vertailukriteeristön valinnat ja teknologioiden tarkastelu perustuu keskeisesti tieteellisiin artikkeleihin ja kirjoihin. Myös muita lähteitä on tarkoitus käyttää ja yhdistellä,

mutta niillä pyritään tuomaan esille vielä tutkimattomia ominaisuuksia tai asiantuntijoiden näkökulmia. Kirjallisuustutkimuksessa pyritään kartoittamaan, mitä tutkittavasta aiheesta tiedetään aikaisempien tutkimuksien perusteella ja siten perustella käytettävän kirjallisuuden valinnat ja niiden taustat (Tuomi 2007, ss. 84). Uutta teoriaa on hankala tuottaa, mikäli aikaisempia tutkimuksia ja niiden tuloksia ei tiedosteta (Salmisen 2011, ss. 2).

Hyvässä kirjallisuuskatsauksessa pidetään tärkeänä etsiä tietoa useista lähteistä, huomioiden eri maantieteellisten alueiden ja lehtien hyödyntäminen. Lisäksi voidaan saavuttaa laajempi näkökulma, jos käytetään hyödyksi eri menetelmillä toteutettuja tutkimuksia. Käytettävää kirjallisuutta hyödyntäessä tulee myös tarkastella sen käyttämää lähdemateriaalia. (Webster & Watson 2002, ss. xv–xvi.)

Kirjallisuuskatsauksessa on tärkeää osata tarkastella lähdemateriaalia kriittisesti. Tietolähteiden arvioinnissa keskitytään tieteellisiin julkaisuihin, sekä muihin vertaisarvioituihin teoksiin. Lähteitä valitessa on tarkasteltava kyseisen materiaalin sopivuutta tutkimukseen ja materiaalin oikeellisuutta (Saunders, et al. ss. 72–73). Hirsjärvi et al. (2007, ss. 109–110) mukaan lähdemateriaalien laatua voidaan kriittisesti tarkastella esimerkiksi kirjoittajan tunnettavuuden ja aiemmin tekemiä tutkimuksien, lähteiden iän ja alkuperän sekä julkaisujen uskottavuuden kautta. Kirjoittajan voidaan olettaa olevan enemmän aiheen asiantuntemusta, mikäli hän on kirjoittanut useampia artikkeleita samasta aihepiiristä. Voidaan tarkastella myös aineiston julkaisijaa, sillä tekstin julkaisemiseksi tunnetut julkaisit edellyttävät tarkastuksen hyväksyntää. (Hirsjärvi et al. 2007, ss. 109–110.)

## **2.2 Data-analyysi**

Data-analyysillä tuetaan tutkimuksessa ratkaisuvaihtoehtojen kvantitatiivista arviointia. Kvantitatiivinen data viittaa kaikkiin ensisijaisiin ja toissijaisiin tietoihin, ja ne voivat vaihdella yksinkertaisista laskelmista, kuten mainoslauseen esiintymistiheydestä, monimutkaisempiin tietoihin, kuten testituloksiin, hintoihin tai vuokratilastuksiin. Hyötyjen saavuttamiseksi tätä dataa pitää analysoida ja tulkita. Data-analyysin avulla voidaan tutkia esimerkiksi esiintymistiheyttä, muuttujien välisiä yhteyksiä ja sitä kautta tuottaa monimutkaista tilastollista mallintamista. (Saunders, et al., 2019, ss. 564–566)

Ennen analyysin aloittamista on varmistettava, että data on kvantitatiivisessa muodossa, eli voidaan esittää numeerisesti ja siten analysoida kvantitatiivisesti. Tämä voidaan toteuttaa ei-numeerisen datan muokkaamista numeeriseen muotoon koodauksen avulla. Data-analyysin tulosten esittämisessä on tärkeää huomioida sopivan esittämistavan

valinta, jotta valittu kuvaaja esittää tarpeellisen tiedon selkeästi ymmärrettävällä tavalla. (Saunders, et al., 2019, ss. 565–567)

Data-analyysi aloitetaan datan valmistelulla kvantitatiiviseen analysointiin, tarkoittaen tarkasteltavien tapausten, data tyyppin ja numeerisen koodiston valintaa. Toiseksi kerätään dataa ja tarkastetaan sen laatu. Kolmanneksi valitaan tuloksien esittämiseen sopivat taulukot ja kuvaajat. Neljännessä vaiheessa valitaan sopivat tilastot datan kuvaamiseen ja vertailujen toteuttamiseksi. Lopuksi valitaan sopivat tilastot yhteyksien ja trendien tutkimiseksi. (Saunders, et al., 2019, ss. 567–597)

## **2.3 Haastattelu**

Haastattelut ovat tutkimuksessa oleellinen tutkimusmetodi. Haastatteluja voidaan toteuttaa jäsennehtynä, puolijäsennehtynä tai ilman suunniteltua rakennetta. Vaikka saattaa vaikuttaa siltä, että kaikki voivat yksinkertaisesti esittää kysymyksiä, voivat rennosti ja vähällä valmistelulla suoritettut haastattelut voivat johtaa pettymyksiin ja olla hukkaan heitetty tilaisuus (Qu & Dumay, Hanbuss mukaan, 2011). Haastattelun pitäminen vaatii moninaista osaamista, kuten kuuntelua, muistiinpanojen tekemistä, suunnittelua ja tehokasta valmistautumista. Hyvä valmistautuminen vaatii aiheeseen tutustumista, jotta osataan esittää sopivia kysymyksiä. (Qu & Dumay, 2011, ss. 238–240)

Puolijäsennehty haastattelu sisältää valmisteltuja kysymyksiä, jota ohjaavat tunnistettuihin teemoihin johdonmukaisella ja systemaattisella tavalla, ja väliin tehdään tarkempia vastauksia varten suunniteltuja jatkokysymyksiä. Näin ollen painopiste on kysymyskokonaisuuksissa, jotka sisältävät joukon laajoja teemoja, joita haastattelun aikana käsitellään ja jotka auttavat ohjaamaan keskustelua haluttuihin aiheisiin. (Qu & Dumay, 2011, ss. 246)

Tässä työssä haastattelut toteutetaan pääsääntöisesti puolijäsennehtynä. Pohjana haastatteluille käytetään ennalta suunniteltuja kysymyksiä, mutta keskustelulla tarkennetaan aiheisiin ja lisätään kysymyksiä tarpeen vaatiessa. Puolijäsennehty haastattelu koettiin tutkimuksen kannalta parhaaksi, sillä näin voidaan keskustella paremmin ennalta vieraammastakin aiheesta, mutta kuitenkin keskittyen työn kannalta oleellisiin aiheisiin.

## **2.4 Työpaja**

Työpajassa useat ihmiset pääsevät vastaamaan kysymyksiin ja keskustelemaan yhdessä aiheesta. Työpajatyöskentely hyödyntää joustavaa ja tutkivaa

keskustelumuotoa, jossa korostetaan osallistujien välistä vuorovaikutusta pikemminkin kuin haastattelijan ja haastateltavien välillä, haastattelijan toimiessa keskustelun ohjaajana. Käytännöllisyys ja ajansäästö ovat työpajakeskustelujen ensisijaiset edut sekä haastatteloille että haastateltaville. Koska tutkijalla on vähemmän aktiivinen rooli keskustelun ohjaamisessa, hän tuo esiin vähemmän puolueellisuutta kuin yksittäisissä haastatteluissa (Doyle, 2004).

Työpajassa hyödynnetään puolijäsenneltyä rakennetta kuten haastatteluissa. Puolirakenteisella työpajalla pyritään nostamaan keskustelua ja näkökulmia osallistujien oman asiantuntijuuden näkökulmasta. Työpajan rakenne halutaan pitää joustavana, jotta tärkeiksi huomatut aiheet voidaan käsitellä työpajassa. Vetäjän rooli työpajan pitämisessä on keskeinen, jotta oleellisille keskusteluille jää riittävästi aikaa ilman, että tilaisuuden kesto venyy (Qu & Dumay, 2011, ss. 246). Hyvän haastattelijan tulee malttaa ja antaa osallistujille aikaa muodostaa omia näkemyksiä ja vastauksia.

Ennen työpajaa on suunniteltava työpajan sisältö ja käytettävät työkalut huolella. Suunnitellaan tapa saada ihmiset paremmin osallistumaan työskentelyyn. Osallistumisen lisäämiseksi työpajassa pidetään lämmittelytehtävä, jonka avulla osallistujat pääsevät testaamaan käytettävää työkalua ja siirtämään keskittymisensä työpajaan. Haasteena osallistumiseen keskittymiselle toimii etänä työskentely, sillä mikäli osallistujan asiantuntijuutta koskevaa asiaa ei ole käsittelyssä, voi keskittyminen harhailla helpommin muihin tehtäviin.

Työpajatyöskentely koetaan tässä työssä sopivaksi menetelmäksi edellä mainittujen hyötyjen vuoksi ja aihe ei ole herkkä henkilökohtaisten tietojen takia. Työpajaan kutsuttavat valitaan asiantuntijuuden perusteella. Asiantuntijoita pyritään osallistamaan useilta osaamisalueilta, jotta vastauksia saadaan kattavasti eri näkökulmista. Näin pyritään myös laajentamaan näkemystä aiheesta ja mahdollisista jatkotutkimuskohteista.

## **2.5 Kenttätutkimus**

Kenttätutkimus määritellään laadulliseksi tiedonkeruumenetelmäksi, jonka tavoitteena on tarkkailla, olla vuorovaikutuksessa ja ymmärtää luonnollisessa ympäristössä tapahtuvaa toimintaa. Työssä toteutetaan tutkiva kenttätutkimus, jotta voidaan testata maastokäyntiä vaativia menetelmiä. Tutkiva kenttätutkimus tarkoittaa havaintojen ja havaittavien elementtien analysoinnin tekemistä. Tavoitteena on löytää havainnoimalla menetelmän toteuttamisen haastekohtia ja ominaisuuksia. Kenttäkokeen perusteella

pyritään arvioimaan ongelmakohtia ja ymmärtämään niiden mallia vastaavissa kohteissa.

Kenttätutkimus tehdään tyypillisesti tietyssä ympäristössä, vaikka tutkimuksen tavoitteena onkin tarkkailla ja analysoida kohteen erityistä käyttäytymistä kyseisessä ympäristössä. Tietyn käyttäytymisen syytä ja seurausta on kuitenkin vaikea analysoida, koska luonnollisessa ympäristössä on useita muuttujia. Suurin osa tiedonkeruusta ei perustu yksinomaan syy-seuraustutkimukseen vaan enimmäkseen korrelaatioon. Vaikka kenttätutkimus etsii korrelaatiota, pieni otoskoko vaikeuttaa syy-yhteyden määrittämistä kahden tai useamman muuttujan välillä. Erityisesti tässä työssä pieni otoskoko työn laajuuden puitteissa on huomioitava tulosten kattavuutta arvioitaessa. (Bhat, 2023)

Ensimmäisenä vaiheena kenttätutkimuksessa määritetään ongelma, resurssit, sopivat työkalut ja tekniikat. Tutkimusta varten on kerättävä oikeat henkilöt tutkimuksen kohteeksi maastokäynnille, joiden menetelmän toteuttamista voidaan seurata. Toteuttamista varten suunnitellaan tiedon keräämisen menetelmiä, jotta voidaan paremmin keskittyä oleellisten havaintojen tekemiseen. Maastokäynnin jälkeen toteutetaan analyysi saaduista tuloksista. Analyysin perusteella voidaan tuottaa päätelmiä ja tuloksia testatuista menetelmistä. (Shrutika et al., 2022)

Kenttätutkimus voi olla esimerkiksi havainnoivaa, osittain osallistuvaa ja dokumentteja tai muuta informaatiota analysoivaa. Tässä työssä kenttätutkimus on osittain osallistuvaa, sillä keskeistä on seurata menetelmän toteuttamista, mutta tarvittaessa tarkentaen tilannetta kysymyksillä. Tässä kenttätutkimusmenetelmässä tutkija on mukana tutkimusprosessissa, ei pelkästään tarkkailijana, vaan myös osallistujana. Tämäkin menetelmä toteutetaan luonnollisessa ympäristössä, mutta erona on vain se, että tutkija osallistuu keskusteluihin ja osaa muokata keskustelujen suuntaa. (Bhat, 2023)



## 3. TEORIA

Kappaleessa käsitellään teoreettisia taustoja aiheeseen liittyen, sekä esimerkkejä muissa maissa vastaavista prosesseista. Ensin esitellään ajoneuvoista kerättävän datan laatua ja vertailtavuutta, sekä sen mahdollisesti asettamia rajoitteita. Toisessa luvussa kuvataan nykyistä tilannetta Suomessa. Kolmannessa luvussa käsitellään absoluuttisen ja suhteellisen ajolinjatiedon eroja ja mahdollisuuksia. Lopuksi kappaleessa esitellään esimerkkimaina Viron, Ruotsin ja Tanskan prosesseja erikoiskuljetusten sillanylityksiin liittyen.

### 3.1 Ylitysajolinjatiedon kerääminen Suomessa

Suomessa valtion siltojen kehittämisestä sekä kunnossapidosta vastaa Väylävirasto yhteistyössä alueellisten ELY-keskusten kanssa. Siltojen kunnossapito kattaa vaurioiden korjausten lisäksi peruskorjaukset sekä puhdistukset. Siltojen kunnossapidon keskeinen tavoite on taata siltojen liikenneturvallisuus ja kantavuus. Säännöllisissä siltojen tarkastuksissa tarkkaillaan siltojen kantavuuteen vaikuttavia tekijäitä ja siltakohtaisilla painorajoituksilla varmistetaan siltojen kestävyys ja turvallisuus. (ELY-keskus, 2023)

Väylävirasto julkaisi omaisuudenhallintajärjestelmä Taitorakennerekisterin vuonna 2017, joka on taitorakenteiden, kuten siltojen perustietovarasto korvaten aiemmin käytössä olleen Siltarekisterin. Taitorakennerekisterissä on silloista esimerkiksi hallinnollista, rakenteellista, vaurio- sekä kuntotietoa. (Väylävirasto, 2022c) Väylävirasto omisti vuoden 2020 lopulla 15 093 tiesiltaa (Väylävirasto, 2021, ss. 9). Väyläviraston lisäksi kunnat ja kaupungit omistavat arviolta 4050 siltaa (Väylävirasto, 2022c). Taitorakennerekisterin tiedoissa, ei ole kaikkia kaupunkien ja kuntien siltoja listattuna.

Liikennevirasto päivitti vuonna 2015 siltojen kantavuutta tarkastelevan kantavuuslaskentaohjeen. Ohjetta hyödynnetään olemassa olevien siltojen kantavuuden määrittelyssä laskennallisesti tavalliselle liikenteelle, sekä erikoiskuljetuksille. Ohje ei ole uusien siltojen suunnitteluun. (Liikennevirasto, 2015, ss. 10)

Nykyisin erikoiskuljetusten siltojen ylittämisen ajolinjasta ei kerätä dataa. Mikäli ylitykselle on asetettu kuvausehto, kerätty tieto sisältää mahdollisesti valvojan sanallisen kuvailun ylityksestä tai kuvan toteutuneesta ylityksestä. Tieto ajetuista erikoiskuljetusten siltojen ylityksistä on lähinnä myönnettyihin lupiin ja niiden reitteihin perustuvaa.

Siltojen ylityksen ajolinjan oikeellisuudesta, tarkkuudesta ja hyväksyttävyyden rajoista on rajallisesti tietoa ja seurantaa. Tavoitteellista olisi parantaa tätä tilannetta. Tavoitteena

on, että eri osapuolilla on tarvittaessa saatavilla tieto sopivasta ajolinjasta sopivalla tarkkuudella.

### **3.2 Suhteellinen ja absoluuttinen ajolinjatieto**

Ajolinjatieto voidaan antaa sillan ylityksen absoluuttisena sijaintitietona tai suhteellisena tietona sillan rakenteisiin nähden. Absoluuttinen ajolinjan sijaintitieto voidaan antaa koordinaattien avulla pituus ja leveysasteilla. Suhteellinen ajolinjatieto on taas sidottua sillan rakenteisiin, kuten kaiteisiin. Absoluuttisen ajolinjatiedon tuottamisen etuna on esimerkiksi mahdollisten jatkokehitystoimien laajemmat mahdollisuudet ajoneuvojen tarkan ajetun ajolinjatiedon vertautumiseen dataperusteisesti. Hankaluutena absoluuttisen ajolinjatiedon tuottamisessa on siltojen tarkan sijainnin tiedon mahdolliset epätarkkuudet nykyisissä tiedoissa, mikä johtaisi maastokäyntien tarpeeseen ajolinjatiedon tuottamiseksi.

Suhteellinen tieto, kuten sillan kaiteisiin suhteuttaminen tuo tiettyjä etuja ajolinjan valintaan ja valvontaan. Suhteellinen ajolinjatieto voi olla kuljettajalle yksiselitteisempi, mutta heikommin varmennettavissa oikeaksi automatisoidussa valvonnassa. Ajolinjatieto tulee kuitenkin tunnistaa sillalla suhteellisena tietona, jotta voidaan tehdä tarkastelu ajolinjan absoluuttisesta sijainnista. Absoluuttisen tiedon keräämiseen voi liittyä todellisessa tilanteessa haasteita, kuten sään ja ympäristön aiheuttamat haitat satelliittipaikannusdatan keräämiseen (Verho, 2022).

### **3.3 Datan laatu ja vertailu**

Ajoneuvoista ajolinjatietoa ei tule kerätä vain tiedon olemassaolon takia. Ajolinjatietoa tulisi voida verrata ohjeelliseen ajolinjaan ylityksen hyväksyttävyyden tarkasteluksi. Ajolinjatiedon vertailu voidaan toteuttaa usealla tapaa joko suhteelliseen- tai absoluuttiseen ohjeelliseen ajolinjatietoon verraten.

Varsinaisen ajoneuvon ajaman ajolinjan keräämiselle haetaan toimivia vaihtoehtoja. Ajetun ajolinjan keräämisestä on tehty testiajoja pilotin avulla. Pilotissa Wärtsilä Finland Oy, Havator Oy, Pirkanmaan ELY-keskus ja Väylävirasto pyrkivät kehittämään erikoiskuljetusten sillanylityksenvalvonnan prosessia, jossa usein toistuville, vakiokokoisille ja vakioreitillä toimiville raskaille kuljetuksille myönnetään määräaikainen erikoiskuljetuslupa. Digia Finland Oy erikoisasantuntia Verho (2022) esitteli haastattelussa pilottia ja siinä nousseita haasteita. Verhon mukaan pilotti on venynyt digitaalisen valvonnan testaamisen osalta tavoiteajastaan monien haasteiden takia, kuten tarkkuuden saavuttamisesta johtuen satelliittipaikannuksen tarkkojen signaalien

käyttämisen rajoitteiden takia myös tietoturva asiat. Tietyissä kohteissa pilotissa kerätty ajolinjatieto sisältää myös heijastumia, esimerkiksi lähellä sijaitsevista rakennuksista. Joidenkin siltojen rakenne itsessään voi asettaa hankaluuksia tarkan satelliittipaikannusdatan keräämiselle.

Lupahakemusta täyttäessä hakemukseen on täytettävä kuljetuksen perustietoja ja käytettävä reitti. Mikäli ajolinjatietoa kerättäisiin kuljetuksista, voidaan toteutunutta ajoreittiä verrata haettuun reittiin. Nykyisessä mallissa ilman ajoneuvon reitin ja ajolinjan mittaamista ei kuljetuksilla ole kuitenkaan velvoitetta ajetun reitin todistamiselle. Valvonta perustuu nykyään valvojan aistin varaiseen valvontaa.

Ajetun ajolinjan valvonnalle on kuitenkin muitakin vaihtoehtoja, kuin satelliittipaikannusdatan kerääminen kuljetuksista. Valvonta voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvaamis- tai videointiehdolla. Mikäli ajettua ajolinjaa valvotaan kameran avulla, kuvantunnistusjärjestelmää käyttäen, voi kuvaan tuotettu ajolinjatieto olla helpommin käytettävissä.

### **3.4 Erikoiskuljetusprosessi ja ylitysgeometriadatan kerääminen muualla**

Erikoiskuljetusten prosesseissa on maakohtaisia eroja. Koska erikoiskuljetukset eivät täytä alueelle asetettuja tiekuljetusten ajoneuvojen painoja ja mittoja koskevia vaatimuksia, tarvitaan käytäntö, jonka kautta tällaisia kuljetuksia voidaan kuitenkin suorittaa. Viranomaisten olisi suositeltavaa varmistettavaa, että tiereitin siltarakenteet kestävät usein tavallista raskaampia ajoneuvoja, ja että tiet sopivat siirrettävän kuorman kokoon. (Barrot, 2021)

Tällä hetkellä alalla ei ole yhdenmukaistettua eurooppalaista käytäntöä, joten kansainväliset liikenteenharjoittajat joutuvat kohtaamaan lukuisia sääntöjä ja menettelyjä, jotka koskevat esimerkiksi ajoneuvojen saattajaa, sallittuja määräaikoja tai sallittuja nopeuksia saadakseen poikkeuksellisen kuljetuksen luvan. Tämä vaihtelee EU:n jäsenvaltioittain tai joskus jopa alueittain. (Barrot, 2021)

Luvussa esitetään, miten kyseinen prosessi on toteutettu Virossa, Ruotsissa ja Tanskassa. EU-maiden väleillä erikoiskuljetusten luvan hankinnoissa on yleisesti toistuvia eroja, kuten esimerkiksi

- luvan toimittamiseen tarvittava aika, joka voi vaihdella perustapauksissa tyypillisesti kahdesta työpäivästä kahteen kuukauteen,
- eri jäsenvaltioiden vaatimukset luvan myöntämiselle,

- erilaiset saattaja-ajoneuvoja (yksityiset ja/tai poliisi) koskevat säännöt,
- merkittäviä eroja erikoiskuljetusten merkitsemisessä,
- joskus vaaditaan todisteita siitä, että kuljetuksen suorittajaa on yritetty lähestyä selvittääkseen mahdollisuuksia vähentää lastin painoa ja/tai mittoja,
- lupien kattavuudet voivat olla yrityskohtaisia, ajoneuvo kohtaisia tai kuormakohtaisia,
- erilaisia poikkeavien tiekuljetusten hakulomakkeita ja hakutapoja,
- erot vaadituissa ajoneuvotietoasiakirjoissa. (Barrot, 2021)

Tällaiset eroavaisuudet voivat aiheuttaa esteitä erikoiskuljetusten toteuttamiselle EU:n sisällä. Onkin hyödyllistä tarkastella muiden maiden toimintaa, kun kehitetään toimintatapoja ja prosesseja. Erilaisten toimintatapojen seurauksesta myös siltojen ylitysten valvonta on EU-maissa maakohtaista. Tutkimuksen haastattelujen perusteella kuitenkin kiinnostusta kehittämiseksi ja samankaltaisille ratkaisuille on olemassa.

### **3.4.1 Viron erikoiskuljetusprosessi**

Viron erikoiskuljetusten lupaprosessin asiantuntijan Valterin (2023) mukaan Virossa siltojen ylityksen ehdot ovat riippuvaisia sillan luokituksen mukaan. Luokitus perustuu sillan rakenteisiin, kantavuuteen ja muihin vaikuttaviin tekijöihin. Valvontaa ei ole 44 tonnin kuljetuksien kohdalla, sillä se on yleisen normin sallima todellinen massa, jolle sopimattomat sillat on merkitty ajamista kieltävällä liikennemerkillä. 44–80 tonnin kuljetuksista tarkastelu tehdään vain silloissa, mikäli sillan kuormitusmalli on määritetty tiettyyn luokkaan.

Alkaen 60 tonnin painosta, sillan mitoituskantavuus tarkistetaan erikoiskuorma-auton aiheuttamalla kuormituksella. Tätä varten käytetään Excel-pohjaista laskentaohjelmaa. Sillan kuormitusmallin mukaan laskelmiin lisätään varmuuskerroin. Seuraavaksi kuorma-auton kuormaa verrataan sillan mitoituskuormaan, ja sen mukaan tunnistetaan suurempi. Jos sillan kantokyky ylittää kuljetuksen kuorman, silta voidaan ylittää tietyin ehdoin. Sillan kantavuustiedot ja jännevälit ovat julkisia tietoja Virossa.

Jos sillan kantokyky ylittää kuljetuksen kuorman osavarmuuskertoimeltaan asetetun raja-arvon ilman muuta liikennettä, silta voidaan ylittää omalla kaistallaan. Muissa tapauksissa silta on ylitettävä tien keskiakselilla. Mikäli sillan kantokyky on pienempi kuin kuljetuksen aiheuttama kuorma, tiedot välitetään siltainsinöörille, joka voi sallia sillan ylittämisen asetettuja ehtoja noudattaen.

Yrityksen hakiessa lupaa erikoiskuljetukselle hakemus tehdään internet palvelun kautta. Hakemuksessa ilmoitetaan muun muassa ajoneuvojen akselipainot ja akselivälit, sekä haluttu reitti. Mikäli sillan kantokyky ja kuljetuksen kuormituksen suhde on tarkastelun perusteella alhainen, yleinen ohje raskaiden kuljetusten sillan ylitykselle on nopeuden rajoittaminen 10 kilometriin tunnissa, sekä jarruttamisen ja kiihdyttämisen kieltäminen sillan ylittämisen aikana. Valter toteaa haastattelussa, ettei ehtoja aina noudateta, ja ettei Virossa siltojen ylitystä valvota mitenkään.

### **3.4.2 Ruotsin erikoiskuljetusprosessi**

Ruotsin liikenneviraston Trafikverket erikoiskuljetusten asiantuntija Thomas Holmstrand (2023) mukaan Ruotsissa erikoiskuljetusten lupaprosessi alkaa yleensä sähköisellä hakemuksella. Kuljetusta varten haetaan arviolta noin 90 % tapauksista lupaa selainpohjaisen Trix -palvelun kautta. Loput hakemuksista toimitetaan kaavakkeena sähköpostilla tai postilla.

Hakemuksen käsittelyssä tarkastellaan ajoneuvon akseleiden kuormaa ja jakautumista. Arvot lasketaan Brokontroll -järjestelmässä, eli siltojen ylitysprosessin hallintajärjestelmässä. Laskelmien perusteella arvioidaan, voidaanko kuljetukselle myöntää lupaa haetulle reitille. Ruotsissa Holmstrandin mukaan kuljetuksia ei valvota viranomaisten tai poliisin toimesta. Ruotsissa on käytössä kuitenkin DBS-järjestelmä, joka kertoo kuljettajalle tai liikenteenohjaajalle ohjeita, esimerkiksi miten hidastaa sillan lähestyessä.

Brokontroll -järjestelmä antaa tarvittaessa erityisohjeita ylitystä varten, esimerkiksi valittavaa ajolinjaa tai nopeutta varten. Raskaissa kuljetuksissa on usein määrätty, että niiden on ylitettävä sillat keskeltä pienemmällä, tasaisella nopeudella, eikä sillalla ole samanaikaisesti muita ajoneuvoja koko ylityksen aikana. Jos silta on suljettava, se on aina tehtävä liikennejohtajan tai poliisin toimesta.

### **3.4.3 Tanskan erikoiskuljetusprosessi**

Rambollin erikoiskuljetusten Tanskan lupaprosessin asiantuntija Nielsen (2022) esitteli Tanskan vastaavaa prosessia erikoiskuljetusten siltojen ylittämiseksi ja sen valvonnalle. Tanskassa raskaiden, yli 54 tonnia tai tietyn akselipainon ylittävien, erikoiskuljetusten siltojen ylittämisen lupaa tulee hakea sillan omistajalta itseltään. Sillan omistaja voi olla esimerkiksi valtio, kunta tai yksityinen omistaja. Luvan hakeminen toimii paperisesti, ja paperiset siltakohtaiset luvat usein toimitetaan kirjeitse luvan myöntäjälle. Pääsääntöisesti erikoiskuljetuksissa vältetään reitille osuvia siltoja ja voidaan ennemmin suunnitella kiertäviä reittejä.

Nielsenin mukaan Tanskassa on määritetty tieverkosto, jolle on helppo hakea erikoiskuljetuslupaa alle 100 tonnia painaville kuljetuksille. Verkoston kartta on nähtävissä hakuvaiheessa, ja se ohjaa reitin suunnittelua. Mikäli reitti on pitkälti automaattisesti määritellyllä reitillä ja kuljetus alle 100 tonnia, luvan käsittely on melko nopeaa. Yli 100 tonnia painaville kuljetuksille määritellään ajoneuvoluokka akselipainojen ja muiden mittojen mukaan. Toisinaan määrittelyn apuna käytetään painon kohdistumista mittaavaa alustaa, joka tuottaa tiedon ajoneuvon maahan kohdistamista voimista ja niiden jakautumisesta akseleittain.

Tanskalaisista silloista on toteutettu juoksevaa numerointia noudattava listaus kantavuuden mukaan. Osalle silloista kantavuutta ei ole Tanskassa erikseen laskettu, vaan kantavuus perustuu arvioon. Silloille on määritelty kantavuuslukema, jota voidaan verrata ajoneuville annettuun luokkaan. Näiden lukujen perusteella määräytyy suoraan, sallitaanko ylitys ja millä ehdoilla se voidaan sallia. Mikäli sillan kapasiteetti ei salli kuljetusta, on suunniteltava uusi reitti tai tehtävä muutoksia kuljetukseen, esimerkiksi lisäämällä akseleita. Ehtoina sillan ylittämiseksi voidaan antaa esimerkiksi nopeusrajoitus tai muun liikenteen samanaikaisen kulun estäminen. Tanskassa itse sillan ylittämistä ei valvota, vaan prosessi perustuu luottamukseen. Oletuksena on sillan keskilinjan ajaminen kaikissa ylityksissä, ellei toisin mainita.

Tanskassa ei Nielsenin mukaan tällä hetkellä kerätä erikoiskuljetusten sillan ylityksestä dataa. Kiinnostus tulevaisuudessa kehittää prosessia on keskusteluissa. Tehokkaampien erikoiskuljetusprosessien avulla voitaisiin vähentää mahdollisesti ylimääräisiä prosessin vaiheita ja käsittelyaikoja. Esimerkiksi erikoiskuljetuksia itsessään voisi nopeuttaa huomattavasti, mikäli erityisen raskasta kuljetusta ei tarvitsisi liiaksi hidastaa siltaa ylittäessä, vaan ylitys voitaisiin tehdä korkeammilla nopeuksilla vähentäen kiihdyttämiseen, hidastuneeseen kuluvaan aikaa. Ajonopeuksia rajoittamalla voidaan vaikuttaa myös siltoihin aiheutuviin kuormituksiin.

## 4. SILLAN YLITYKSEN VALVONTA JA TARPEET

Luvussa kuvataan, miten erikoiskuljetusten sillanylitys toimii tarkasteluhetkellä Suomessa. Tarkastellaan, miten sillanylityksen valvonta liittyy koko prosessiin aina erikoiskuljetusluvan hakemuksen jättämisestä lähtien. Luvussa käsitellään, miten nykyistä prosessia voitaisiin kehittää ja sen tavoitetilaa.

Kolmannessa alaluvussa jaetaan siltoja poikkileikkausgeometrian mukaisiin ryhmiin, sen mukaisesti, miten ne eroaisivat ajolinjaltaan. Neljännessä alakappaleessa käsitellään sillanylitysten määrää ja painottumista Suomen tieverkolla. Viimeisessä alaluvussa kuvataan lupahakemiseen liittyvää prosessia ja siitä saatavaa dataa sillan ylityksiin liittyen.

### 4.1 Perusprosessin kuvaus

Ajoneuvoasetus uudistettiin vuonna 2013, jolloin raskaiden tavarankuljetusajoneuvojen ja ajoneuvoyhdistelmien suurimpia sallittuja mittoja ja massoja nostettiin. Ajoneuvoyhdistelmän enimmäismassa nostettiin 60 tonnista 76 tonniin ja enimmäiskorkeus 4,2 metristä 4,4 metriin. Kuljetuksen pituuden enimmäismitta on 30 metriä. Ajoneuvon suurin sallittu enimmäismassa vaihtelee eri akseli- ja teliyhdistelmien mukaan. (ELY-keskus, 2023)

Ajoneuvo tai ajoneuvoyhdistelmä tarvitsee erikoiskuljetusluvan, mikäli vapaat tai EU- ja ETA-valtioiden ulkopuolella rekisteröidyillä ajoneuvolla normaaliliikenteen mittarajat ylittyvät tai normaaliliikenteen akseli-, teli- tai kokonaismassarajat ylittyvät (ELY-keskus, 2022). Raskaan erikoiskuljetuksen toimittaminen alkaa suunnittelulla ja reitin valinnalla. Reitille tarvitaan erikoiskuljetuslupa Pirkanmaan ELY-keskukselta. Lupahakemuksen käsittelyssä saattaa mennä jopa vuosia, mikäli joudutaan selvittämään useita reittejä tai reitillä täytyy toteuttaa siltojen vahvennuksia tai uusimisia. Erikoiskuljetusluvan myöntäminen voi toisinaan vaatia useiden vaihtoehtoisten reittivaihtoehtojen selvittämistä, ulkopuolisen silta-asiantuntijan tekemää sillan kantavuuden arviointia, siltojen koekuormituksia tai siltojen vahventamista (Hylkilä, 2022). Toisinaan käyvän ratkaisun löytäminen vaatii muutoksia kuljetuskalustoon tai jopa kuljetettavaan kuormaan (Väylävirasto, 2016).

Kun kuljetuksen rasitukset muun liikenteen seassa ajettuna ylittää sillan kapasiteetin, asetetaan sillan ylitykselle valvontaehto. Sillasta riippuen erityisen painavat kuljetukset voivat vielä kulkea muun liikenteen seassa riippuen akselipainoista ja -väleistä.

Siltavalvojan kanssa sovitaan tapaamisaika ja -paikka ennen valvottavaa siltaa. Sillan valvontaa suorittaa tällä hetkellä maanteiden hoitourakoitsija. (Terävä, 2012) Suomi on jaettu 79 eri urakka-alueeseen, joita hoitaa kuusi eri urakoitsijaa. Sillanvalvoja tarkistaa kuljetusluvasta suunnitellun sillanylitystavan, mikä voi olla esimerkiksi keskeltä siltaa, määrättyä sillan osaa käyttäen tai uuden sillan kautta vasten liikennettä. Sillanvalvoja tarkistaa ylityksen toteuttamista silmämääräisesti kuljetusluvan mukaisesti ja kuittaa luvanmukaisen ylittämisen. Sillanvalvojan tulee ilmoittaa luvanmyöntäjälle luvan mukaisen ajotavan poikkeamista tai muista huomioista, jotka voivat aiheuttaa sillan kantavuuden uudelleen arviointiin. (Terävä, 2012) Prosessin keskeisenä tavoitteena on vähentää siltoihin kohdistuvia kuormituksia ja ennaltaehkäistä siltojen ennenaikaista vaurioitumista. Valvonta itsessään toimii osittain kuljettajalle pelotteena ajaa annettua ajolinjaa, mutta myös ylitysten onnistumisen ja epäonnistumisen raportoinnin apuvälineenä.

## 4.2 Kehityssuunta ja tavoitetila

Erikoiskuljetusten sillanylityksen valvonnan automatisoinnin myötä on tavoitteellista, että valvojan ei tarvitsisi mennä paikanpäälle valvomaan kuljetusta, vaan liikenteen ohjaajan läsnäolo riittäisi ylityksen tukena. Muutoksen myötä prosessiin pyritään saamaan lisää joustavuutta, prosessista aiheutuvien kustannusten leikkausta ja parempaa tietoa tehdyistä ylityksistä sekä niiden vaikutuksista siltoihin.

Ajolinjatiedon digitaalisen tiedon saatavuus voidaan tuoda prosessiin eri vaiheisiin. Lupahakemusta täyttäessä hakija pystyisi mahdollisesti paremmin arvioimaan ehdottamansa reitin sopivuutta, mikäli siltojen ylittämisen ajolinjaa voisi tarkastella jo hakemusvaiheessa. Hakemuksen käsittelyssä ajolinjatieto voi auttaa helpommin selvittämään tarvitaanko kyseisen sillan ylitykseen erityisiä toimenpiteitä, muttei aina välttämättä annettavissa, sillä kuljetuksen ominaisuudet vaikuttavat ajolinjan valintaan.

Ajolinjatieto antaa kuljettajalle varmuutta oikean ajolinjan valintaa, ilman merkittävää epäselvyyttä, esimerkiksi sillan keskilinjan sijainnista. Tavoitteellista olisi, että ajolinjatiedon avulla useampi kuljetus ajaisi varmemmin haluttua ajolinjaa vähentäen siltaan aiheutuvaa kuormitusta. Selkeästi esitetty ajolinjatieto myös nopeuttaa ja parantaa tiedon ymmärrystä ja soveltamista maastossa.

Valvontaprosessin digitalisaation myötä saadaan mahdollistettua myös toteutuneen ajolinjan vertaaminen ylityksen haluttuun ajolinjaan. Merkittävien poikkeamien ilmetessä pystytään tehokkaammin reagoimaan ja esimerkiksi tarvittaessa tarkastamaan siltaan mahdollisesti aiheutuneet vauriot.



### 4.3 Siltojen kunto ja nykytilanne

Tieverkolla on Suomessa yli 15 000 siltaa, joista päätieverkolla noin 2 500 kappaletta. Huonokuntoisia siltoja oli vuonna 2020 noin 760 kappaletta, joista päätieverkolla on noin 210 kappaletta. Sillat ovat maantieverkon kriittisiä kohteita. Enenevässä määrin siltojen kunto aiheuttaa haasteita elinkeinoelämän kuljetuksille. Haasteita ilmenee erityisesti raskaille erikoiskuljetuksille ja muille korkeamassaisille kuljetuksille. (Tieto.Traficom, 2021)

Taulukko 1 esittää kaikkien siltojen kuntoluokan sillan toiminnallisen luokan mukaan jaoteltuna 31.12.2021. Huomataan, että kuntoluokaltaan huonoja ja erittäin huonoja on merkittävä määrä, lähes 5 %. Vuoden 2020 alusta siltojen keskimääräinen kuntoluokka on ollut laskussa. Heikot kuntoluokat 1 ja 2 korostuvat vanhemmilla silloilla erityisesti 60- ja 70-luvulla valmistuneilla silloilla. (Väylävirasto, 2022a)

**Taulukko 1 Kaikkien siltojen kuntoluokka sillan toiminnallisen luokan mukaan vuonna 2021 (mukaillen Väylävirasto a, 2022)**

Toiminnallinen luokka	Kuntoluokka						Siltoja yhteensä
	1	2	3	4	5	Ei tiedossa	
Valtatie	20	103	1494	2057	282	37	3993
Kantatie	12	67	579	581	27	5	1271
Seututie	23	116	1251	1241	116	17	2764
Yhdystie	72	300	3060	2279	340	31	6082
Muu tie	6	35	364	493	61	48	1007
<b>Yhteensä</b>	<b>133</b>	<b>621</b>	<b>6748</b>	<b>6651</b>	<b>826</b>	<b>138</b>	<b>15117</b>

5 = Erittäin hyvä, 4 = Hyvä, 3 = Tyydyttävä, 2 = Huono, 1 = Erittäin huono

Siltarakenteella on oltava riittävä kantavuus, jotta kuljetus voidaan suorittaa turvallisesti ja ilman, että siltarakenne vaurioituu. Kantavuus riippuu useista eri muuttujista, kuten sillan suunnittelukuormasta, kunnosta ja kuormituksen kohdistumisesta. Suomen suurin silta on Raippaluodon vinoköysisilta kokonaispituudeltaan 1045 metriä. Raippaluodon sillalla on myös pisin jänne 250 metriä. (Väylävirasto, 2022a)

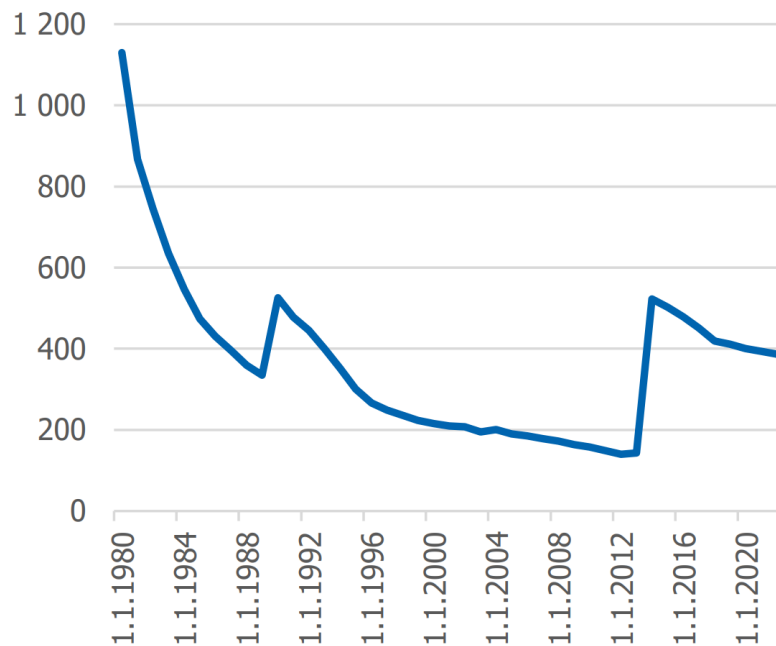
Taulukko 2 esittää siltojen jakaumaa valmistumisvuoden mukaan. Voidaan huomata Suomen siltakannan vanhenevan (Väylävirasto, 2022a). Sillan ikä altistaa rakenteiden heikkenemistä ja erikoiskuljetuksen tuottamat kuormitukset siltaan voivat korostaa tilannetta.

**Taulukko 2 Siltojen jakauma valmistumisvuoden mukaan (Väylävirasto, 2022a)**

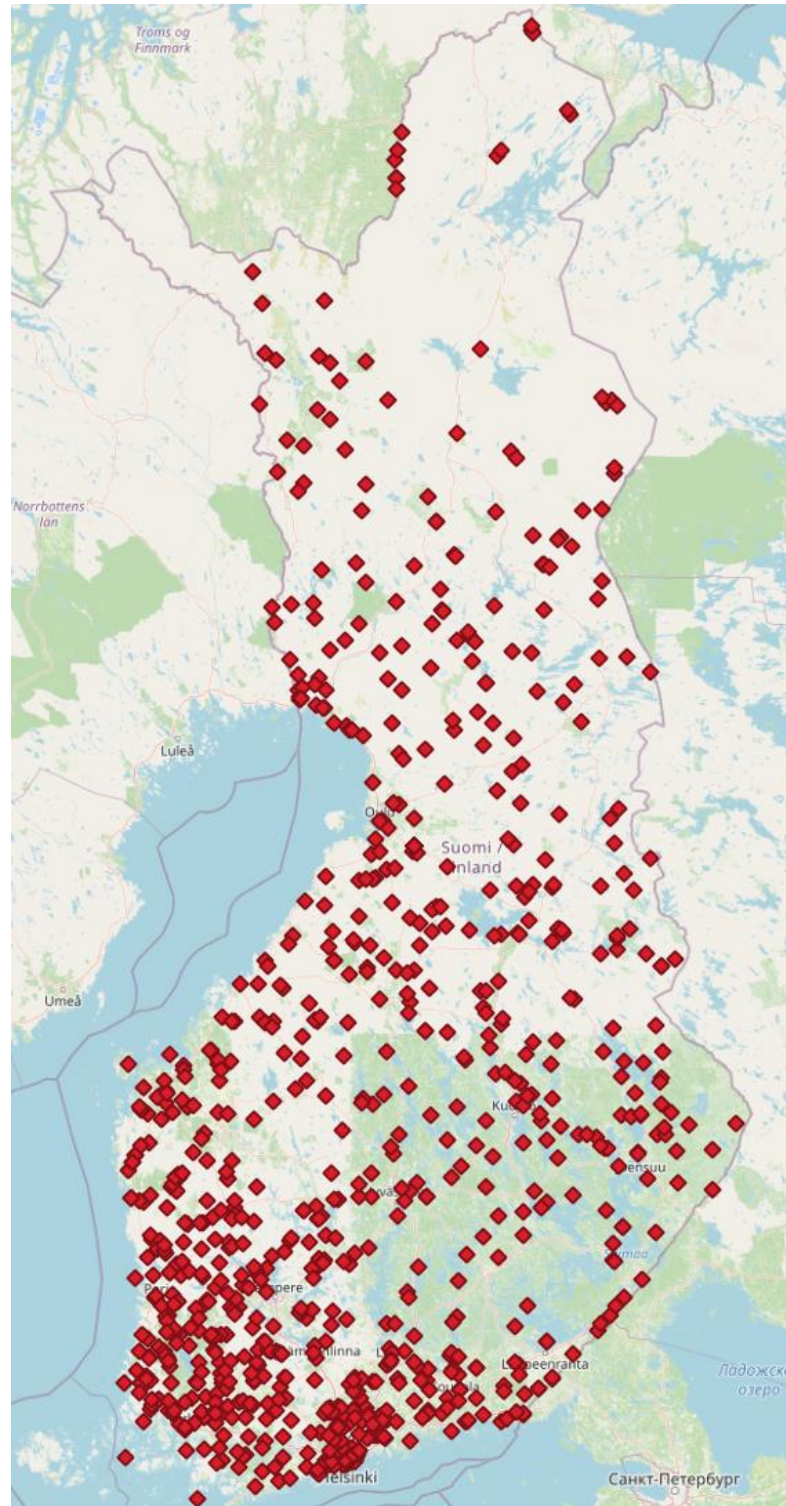
<b>Valmistumisvuosi</b>	<b>Lukumäärä</b>	<b>Pinta-ala</b>
< 1900	38	8 273
1900–1904	28	4 133
1905–1909	35	4 998
1910–1914	17	2 592
1915–1919	13	1 901
1920–1924	24	4 417
1925–1929	81	9 781
1930–1934	253	27 376
1935–1939	351	43 329
1940–1944	28	3 597
1945–1949	87	12 267
1950–1954	393	55 482
1955–1959	849	152 126
1960–1964	925	229 069
1965–1969	983	331 771
1970–1974	1 084	352 091
1975–1979	1 087	272 180
1980–1984	897	244 889
1985–1989	786	303 027
1990–1994	1 134	500 964
1995–1999	782	376 094
2000–2004	484	265 670
2005–2009	486	253 205
2010–2014	453	227 216
2015–2019	309	175 584
2020–2021	160	85 539
Ei tietoa	12	3 057
Yhteensä	11 779	3 950 627

Erikoiskuljetuksissa olennaista on se, kuinka kuormitus jakautuu kansirakenteelle ja kuinka rakenne jakaa kuormituksia alusrakenteelle. Lisäksi on tarkasteltava itse siltarakennetta kokonaisuutena. Olennaista on tuntea sillan vaurioitumismekanismit, jotta vaurioitumista osataan välttää mahdollisuuksien mukaan. Näin voidaan myös mahdollisesti tunnistaa lisätarkastuksiin johtavat ajettut ajolinjat.

Painorajoitettuja siltoja oli Suomessa vuonna 2021 387 kappaletta (Väylävirasto, 2022a). Kuva 1 esittää painorajoitettujen siltojen määrää yleisillä teillä vuosina 1980–2021. Kuva 2 esittää kartalla painorajoitettut sillat marraskuussa 2021, mutta rajoituksia voidaan lisätä tai poistaa tarkastelun mukaan.



**Kuva 1 Painorajoitettujen siltojen määrä yleisillä teillä 1980–2021 (Väylävirasto, 2022a)**



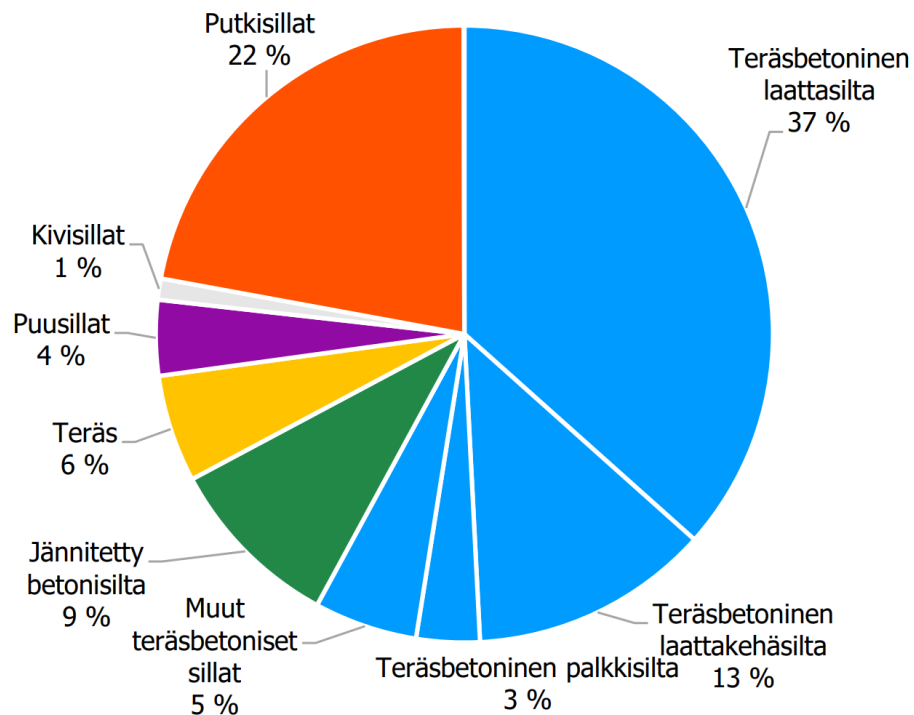
**Kuva 2 Painorajoitetut sillat marraskuussa 2021 (Väylävirasto, 2022b)**

Siltojen rakenteet voivat olla toisistaan merkittävästi eroavia käyttötarkoituksen ja olosuhteiden mukaan. Tähän vaikuttaa esimerkiksi sillalla olevat ajoneuvoliikenteen kaistat, jalankulku- ja pyöräväylät. Rakenteen ja väylän poikkileikkaus voi olla symmetrinen tai epäsymmetrinen. Jalankulku- ja pyöräväylät on voitu esimerkiksi toteuttaa molemmille ajokaistoja tai vain toiselle, aiheuttaen sillan poikkileikkauksesta

epäsymmetrisen. Symmetrian selvittäminen on oleellista parhaan ajolinjan tunnistamisessa sillalla. Erikoisia siltoja, kuten avattavia siltoja on Suomessa 28 kappaletta ja museosiltoja 33 kappaletta (Väylävirasto, 2022a).

Sillan suunniteltukuorma vaikuttaa valvonnan tarpeeseen. Rakenteelliset muutokset siltaan voivat muuttaa parhaan ajolinjan. Ajolinjaan voi vaikuttaa myös sillan kunto ja vauriot. Pysyvät ajoesteet, kuten liittymäjärjestelyt, sekä tilapäiset ajoesteet ja järjestelyt, kuten tietyöt, voivat estää kokonaan sillan käyttämisen erikoiskuljetusten reitillä, mutta voi myös johtaa ajolinjan uudelleen suunnitteluun.

Siltoja on erityyppisiä, joiden rakenne ja kantavuus voi vaihdella. Kuva 3 esittää erisiltatyypien lukumäärän jakaumaa Suomessa. Vuonna 2021 valmistui 123 siltaa, joista 47 oli putkisiltoja, 43 teräsbetonisiltoja ja 19 jännitettyjä betonisiltoja (Väylävirasto, 2022a).



**Kuva 3 Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Väylävirasto, 2022a)**

#### 4.4 Erikoiskuljetusten lupadata

Mikäli kuljetuksen mitat tai massa ylittää tieliikennelain sallimat massat tai mitat tulee tehdä erikoiskuljetuslupahakemus. Myönnettyjen erikoiskuljetuslupien määrä on ollut viime vuosina noin 10 000 ja 14 000 välillä (ELY-keskus, 2022). Pirkanmaan ELY-keskuksen erikoiskuljetuslupien asiantuntija Hylkilän (2022) haastattelun mukaan

erikoiskuljetusluvut tulisi hakea verkkosivujen kautta, mutta joitain hakemuksia tulee edelleen postitse. Hakemuksella voi hakea lupaa yksittäiselle kuljetukselle tai usealle toistuvalla erikoiskuljetukselle. Tuulivoimaloiden kuljetuksissa kuljetuskertoja voi olla jopa kymmeniä, kun taas konekuljetukset ovat usein yksittäisiä. Hakemus siirtyy käsiteltäväksi Pirkanmaan ELY-keskukselle LeLu-järjestelmään kuljetuslupa-asiantuntijoille. LeLu-järjestelmään tuodaan lupapäätöksen käsittelyn tueksi tietoja integraatioiden avulla useista järjestelmistä, kuten siltatietoja Taitorakennerekisteristä.

LeLu-järjestelmän kautta pystytään antamaan lista kaikista reitin varrelle osuvista silloista ja ratkaisemaan yksinkertaisia siltalaskelmia kantavuuslaskentaportaalin avulla. Automaattinen laskenta perustuu Taitorakennerekisteriin tallennettuihin siltojen kantavuustietoihin, sekä perustietoihin. Kantavuuslaskentaportaalissa tapahtuvan automaattisen laskennan taustalla käytetään eri jännemittapituuksille ja jännemittojen suhteille laskettuna vaikutusviiva-arkistoja, joiden avulla voidaan yksinkertaistetusti verrata todellisen kuljetuksen aiheuttamia sillan pääsuunnan rasituksia sillan todelliseen kantavuuteen. Sillan tietoja saadaan näkyviin järjestelmäintegraatioiden avulla, sekä esimerkiksi ajolinjakuvaus sanallisena. Hylkilän mukaan ajolinja saattaa olla kuvattuna järjestelmässä hyvinkin tarkasti esimerkiksi viiden sentin tarkkuudella tietyistä kaiteesta, mutta useimmiten pienempikin tarkkuus on koettu riittäväksi.

Lupapäätöksessä erikoisehdossa on sillanvalvontaehto omana kohtanaan. Perusoletuksena sillanvalvontaehdossa on sillan keskilinjaa ajaminen, mutta erikoistilanteissa ajolinja on tarkemmin määriteltynä. Mikäli sillalle määrätään valvonta lupaprosessin perustiedoissa, raportoidaan kuljetusten määrä, sillanimi, siltatunnus, tieosoite, sillan sijainti, valvojan tiedot, vaaditut mittaukset, ylitysaika, valokuvausehto ja mahdolliset lisätiedot. Ylitysaikaa voidaan käyttää sillan monitoroinnin tarkkailuun, mikäli sillalla on monitorointi. Joskus sillan omavalvontaehdoon lisätään valokuvausehto, jolloin kuljetuksesta otetaan myös valokuvat, jotka toimitetaan raportin yhteydessä. Mikäli sillanvalvonnassa havaitaan merkittäviä poikkeamia ohjeistetusta ajolinjasta, voitaisiin erikoiskuljetuslupa esimerkiksi perua, mutta vastaavia tapauksia ei käytännössä ole tapahtunut. Sillalle voidaan tarvittaessa teettää myös ylimääräinen tarkistus mahdollisten vaurioiden varalta.

LeLu-järjestelmästä saadaan tietoa esimerkiksi käytetyimmistä reiteistä ja painotuksista reitinhaussa. Lupapäätöstä tehdessä nähdään reitille osuvat häiriöt ja tietyt eritaustakarttojen ja kerrosten avulla. Jatkossa järjestelmän avulla on tarkoitus mahdollistaa erikoiskuljetuksiin liittyvää tilastointia ja hakutoimintoja. Nykyinen järjestelmä ei mahdollista kuljetusten määrätietojen saamista, sillä sillan valvontoja sisältämättömistä luvista ei ole tietoa, montako kertaa yksittäistä lupaa käytetään.

Erikoiskuljetuslupahakemusprosessi ajolinjatieto voisi Hylkilän mukaan olla hyödyllistä esimerkiksi asiakkaan suunnitellessa reittiään ja mahdollisesti paremmin pystyvän arvioimaan halutaanko kyseinen silta välttää reitillä.



## 5. VERTAILUKRITEERIT TEKNOLOGIAVAIHTOEHTOJEN TARKASTELU

**JA**

Luvussa kuvataan menetelmän valintaan vaikuttavia vertailukriteerejä ja niiden laatuvaatimuksia. Luvussa esitellään tunnistetut seitsemän vertailukriteeriä. Nämä ovat tunnistettu ohjausryhmän toimesta.

### 5.1 Vertailukriteerit

Sopivien vertailukriteerien valinta on tärkeää kokonaisuudeltaan tarkoituksen mukaisen menetelmän löytämiseksi. Vertailukriteerit myös ohjaavat keskittymään menetelmän oleellisiin ominaisuuksiin. Vertailukriteerit vaikuttavat myös toisiinsa ja lopullista valintaa tehdessä vertailua tulee tehdä kokonaisuuden kannalta.

#### 5.1.1 Kustannukset

Menetelmävaihtoehtoja tarkastellessa on tärkeää huomioida menetelmän tuottamien hyötyjen suhde kustannuksiin. Käytännön kannalta on huomioitava, että menetelmä on kilpailukykyinen nykyisen tarkastusmenetelmän kanssa pitkällä aikavälillä. Nykyisessä mallissa henkilötyötunteja kertyy lupaprosessin eri vaiheissa ja tarkastuksessa huomattava määrä, mitä valvontaprosessin digitalisointi leikkaa. Työtunteja kertyy eritahoille prosessissa esimerkiksi luvan hakemisessa, käsittelyssä, valvonnan sopimisessa, paikan päällä tapahtuvassa sillanvalvonnassa, valvonta paikalle siirryttäessä ja siihen liittyvissä mahdollisissa odotusajoissa. Hoitourakoinnin valvontaan käyttämät resurssit ovat myös suoraan pois muusta työstä. Menetelmän kautta valvonnan automatisoinnilla voidaan siis mahdollistaa kustannusleikkauksia hyvin toteutettuna. Ajolinjan tunnistaminen suhteessa sillan rakenteisiin kerryttää kustannuksia, sillä se vaatii jonkin verran asiantuntijan tarkastelua ainakin tapauksissa, joissa ei ole saatavilla nykyistä sanallista kuvausta.

Kerran laadukkaasti tuotettu ajolinjatieto ylitysten valvontaan ei tuota juurikaan lisäkustannuksia, mahdollisesti sillanmuutoksista johtuvia päivitystarpeita lukuun ottamatta. Kustannuksissa tulee huomioida koko menetelmän käytön elinkaaren aiheuttamat kustannukset. Kustannuksia voi olla lähtökustannukset, käytön jatkuvat tai mittauskohtaiset kustannukset, ylläpitokustannukset, sekä mahdollisten korjausten aiheuttamat kustannukset.

Ajolinjamääriteltävien siltojen lukumäärästä johtuen korkeat siltakohtaiset kustannukset kertyvät nopeasti. Tämän vuoksi menetelmän vaatiessa maastokäynnin jokaisella tarkasteltavalla sillalla on usein kallista. Maastokäynnin kustannuksia voidaan kuitenkin hallita toteuttamalla mittaukset muun vierailun, kuten sillan tarkastuksen yhteydessä. Kustannuksia eri menetelmistä voi syntyä, jos vaadittavaa teknologiaa tarvitsee kehittää tai muokata, sekä tietynlaisen ohjelmiston hankinnasta.

Kustannusten arvioinnissa haasteena on arvioiminen saavutettuun tulokseen ja sen laatuun nähden. Mikäli tulos ei ole käytettävissä tai huono laatuinen, ei menetelmää voida pitää matalista kustannuksista huolimatta soveltuvana. Toisaalta taas kustannuksia merkittävästikin tuottava menetelmä voidaan todeta sopivaksi, mikäli lopputuote on halutunlainen, korkealaatuinen ja mahdollisesti jopa avaa muitakin käyttö mahdollisuuksia.

### **5.1.2 Tarkkuustaso**

Ajolinjatiedon hyödyntämiseksi sillanylitysvälvoimassa on tarkkuustason oltava riittävän korkealla tasolla. Tarkkuustason minimivaatimuksen määrittäminen on riippuvainen esimerkiksi sillan ominaisuuksista, ajoneuvon ajolinjan seurannan menetelmästä, sekä halutusta lopputuloksesta. Ajoneuvojen ajolinjatiedon tarkkuus on tällä hetkellä riippuvainen käytetystä satelliittipaikannusjärjestelmästä tai silmämääräisestä arviosta. On myös siltakohtaista, miten paljon ajatun ajolinjan poikkeama voi aiheuttaa sillan kuormitusta, vaikuttaen esitettävän ajolinjatiedon tarkkuuden tarpeellisuuteen.

Tarkkuustason laatua voidaan tarkastella mahdollisen toimittajan antaman tarkkuustason perusteella. Tarkkuustason laatua voidaan testata tarkastelemalla mittauksen toistettavuutta samalla reitillä. Mitä samankaltaisemmat eri mittaustulokset ovat, sitä korkeampi laatuinen datan keräysmenetelmä on. Heikko tarkkuustaso voi johtaa vähäisiin mittauksiin, korkeaan virheprosenttiin, uudelleentyöstöön ja käsin tehtävien muokkausten tekemiseen (Nolte, 2008, ss. 4).

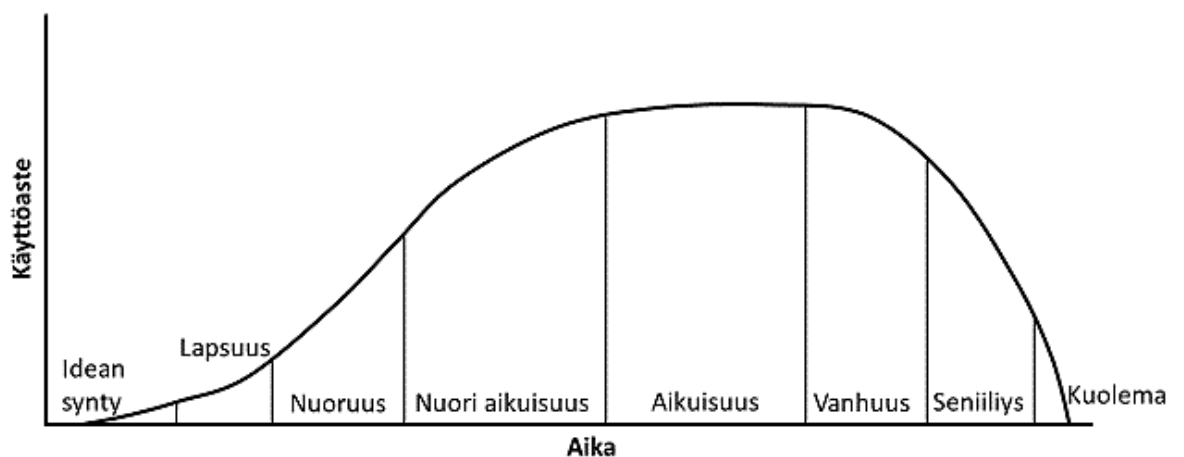
Mikäli käytössä on varmennettu satelliittipaikannussignaali, ajoneuvojen ajatun ajolinjan tieto on tarkkuudeltaan satelliittipaikannuslaitteen antaman teknisen tarkkuuden mukaan 20 cm satelliittipaikannussignaalin saatavuuden takia (Verho, 2022). Signaalin tarkkuus on kuitenkin useista tekijöistä riippuvainen, eikä näin tarkkaa tietoa välttämättä saavuteta kaikissa olosuhteissa esimerkiksi huonon sään tai lähellä olevien rakenteiden aiheuttamien heijastumien takia. Niin kauan kuin tämä rajoite ajatun ajolinjatiedon tarkkuudessa on, ei ole välttämättä kannattavampaa pyrkiä tätä tarkempaan tiedon tuottamiseen. Menetelmälle työssä asetettu tarkkuustason minimivaatimus paikannukselle on 50 senttimetriä, mutta tuloksia voidaan pitää sitä parempana, mitä

tarkempaa ajolinjatietoa pystytään tuottamaan. On huomioitava, että mittaus virhe kasvaa, mikäli kahta epätarkkaa tietoa verrataan toisiinsa, kuten haluttua ajolinjatietoa ylityksen aikaiseen ajolinjaan.

### 5.1.3 Teknologian kypsyys ja osaaminen

Nolten (2008 ss. 4–14) mukaan teknologian kypsyydellä tarkoitetaan sen kyvykkyyttä vastata haluttuun tarpeeseen kehityksen myötä. Mitä kypsempi teknologia on, sitä paremmin sitä opitaan hyödyntämään. Kypsyystason vertailussa tarkastellaan menetelmän luotettavuutta, saatavuutta ja ylläpidon tarvetta. Tason määrittelyn apuna hyödynnetään saatavilla olevaa dokumentaatiota, käytön referenssejä ja kustannuksia. Kuten aikaisemmissa luvuissa käsiteltiin, nykyään ei ole käytössä kyseiseen tarpeeseen tarkoitettua menetelmää. Vertailussa on siten huomioitava, mikä on tarkasteltavaan menetelmään tarvittavien teknologioiden kypsyystaso. Datan keräysmenetelmien laatua vertaillaessa on hyvä tiedostaa myös teknologian kypsyiden mahdollisesti tuomat haasteet, kuten tuotantoriski, aikataulu ja suorituskyvyn puutteet (Nolte, 2008, ss. 4).

Kuva 4 esittää teknologian elinkaarta. Mikäli teknologia on vasta elinkaarensa alkupäässä, sen hyödyntämiseen voi liittyä haasteita, joita ei vielä tunneta tai osata ratkaista. Esimerkiksi tekoälyyn pohjautuvan järjestelmän hyödyntäminen saattaa osoittautua toistaiseksi epätehokkaaksi teknologian kypsyiden vuoksi. Voidaan kuitenkin olettaa teknologian kehittyvän ja olevan myöhemmin mahdollisesti käytettävissä oleva vaihtoehto.



**Kuva 4 Teknologian elinkaari (mukaillen Nolte, 2008, ss. 24)**

#### **5.1.4 Valvonnan automatisointimahdollisuudet**

Menetelmän halutaan itsessään vaativan vähän asiantuntijan manuaalista työtä, sekä tukevan valvonnan automatisointia. Näin voidaan parantaa asiantuntija resurssien hyödyntämistä muualla. Automatisaatio tunnistetaan prosesseja tehostavana tekijänä, jonka kautta voidaan saavuttaa useita etuja. Automatisaation avulla voidaan tehdä parempia järjestelmä integraatioita, vähentää manuaalisesta työstä johtuvia virheitä, sekä vapauttaa aikaa ja resursseja rutiinitöiden tekemisestä. Mahdollisimman vähällä manuaalisella työllä toimiva järjestelmä mahdollistaisi tehokkaan siltojen ajolinjatiedon tuottamisen.

On punnittava automatisaation tuomia kustannuksia sen hyötyihin. Siltojen ylitysten merkittävän määrän takia ylitysten valvonnan kustannukset ovat manuaalisesti paikan päällä valvottuna korkeat. Automatisaation toteuttaminen kuitenkin usein on kertakustannuksiltaan suurempi. Menetelmän tulokselle onkin tavoitteellista, että se tukee valvonnan automatisoimista.

Automatisaation mahdollisuudet ovat myös riippuvaisia siitä tuotetaanko käytetyllä menetelmällä absoluuttista ajolinjatietoa vai suhteellista sillan rakenteisiin olevaa tietoa. Suhteellinen sijainti on haastavammin automatisoitavissa sanallisina kuvailuina. Kuvana tuotettu ajolinjatieto on haastavampaa hyödyntää automatisoidussa valvonnassa, mikäli suoritetun ylityksen ajolinjatieto kerätään satelliittipaikannusdatana. Tällaisen ajolinjan valvontaa tukee paremmin myös satelliittipaikannusdataan helposti verrattava. Vaihtoehtona on myös toteuttaa valvontaa muilla tavoin, kuten kuvantunnistusjärjestelmää käyttäen, jolloin menetelmän tuotokselle asettuu erilaisia kriteerejä automatisoinnin näkökulmasta.

#### **5.1.5 Teknologian hallittavuus**

Teknologian hallittavuus on tärkeää luotettavan ja pitkäaikaisen käytön kannalta. Teknologian hallittavuus on myös oleellista tarvittavan helppokäyttöisyyden saavuttamiseksi. Merkitys korostuu erityisesti vaihtoehdoissa, joissa prosessin tekijöillä on merkittävämpi riski vaihtua työn aikana. Tämän johdosta prosessi tulisi olla helposti ymmärrettävä ja uusien henkilöiden käyttöön otettavissa.

Hallittavuuden osatekijänä voidaan pitää myös menetelmän tuotoksen muodon soveltuvuus. Menetelmän tuotos on voitava viedä muotoon, jossa se voidaan tallettaa käyttöä varten halutulla tavalla. Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi tiedon viemistä tiettyyn tiedostomuotoon. Mikäli menetelmä on hyvin automatisaatioon nojaava, on hyödyllistä, että voidaan tehdä tuloksiin manuaalisesti muutoksia tarpeen vaatiessa. Muutoksien teko tulee olla mahdollista esimerkiksi ajolinjan muutoksien vuoksi.

### 5.1.6 Tietoturva

Sillat ovat tieverkon kriittisiä kohteita. Siltatiedot sisältävät julkisuuslain osoittamaa suojeltavaa tietoa, mikä korostaa tietoturvan tärkeyttä. Menetelmävertailussa huomioitavaa on tietoturvan riittävän tason saavuttaminen ja turvallisen tiedon siirron mahdollistaminen valvonnan eri vaiheissa. Ajolinjatietoa tuottavan menetelmän on mahdollistettava varmuus, ettei kriittistä tietoa voi väärinkäyttää teknologian tietoturvaongelmien vuoksi.

Tietoturva on muutakin kuin asiattoman pääsyn estämistä tietoon. Tietoturvan avulla pyritään myös esimerkiksi takaamaan tiedon saavutettavuus, eheys ja luottamuksellisuus (Katavisto, 2012, ss. 2–4). Tiedon käytettävyyden kannalta nämä ovat oleellisia ominaisuuksia.

Paikkatieto vaikuttaa turvallisuuteen sekä uhkana että mahdollisuuksia avaavana. Tämän vuoksi riskianalyysien tuottaminen ja tietojen julkistamisen harkitseminen riskien mukaisesti kuuluu tärkeänä osana paikkatietojen julkaisuun. Paikkatiedot ovat merkittävä tietomäärä kokonaisuutena datamassana, ja jo pelkästään siksi ne tulisi suojata yhteiskunnan kokonaisturvallisuuden näkökulmasta.

Toimijat, jotka keräävät, hallinnoivat tai käsittelevät paikkatietoja, joutuvat suojaamaan työstämänsä tiedon asiattomalta käytöltä. Tavoitteena on, että tarvittavat tiedot ovat asianomaisten käyttäjien saavutettavissa, joiden täytyy tiedot saada (ns. need-to-know -periaate). Lisäksi tietojen on oltava saatavilla sovitusta paikasta silloin, kun niitä tarvitaan (ns. need-to-go).

Paikkatietojen tietoturvaa koskee samat periaatteet kuin yleisesti muutakin tietoa. Tietoja voidaan suojata varmistamalla etukäteen eheyden, luottamuksellisuuden ja käytettävyyden sekä saatavuuden tavoitetasot. Paikkatietoihin liittyy myös tietosuojanäkökulmia, joista joitakin ei välttämättä vielä tunnisteta. Tällaisia voivat olla esimerkiksi paikkatietojen yhdistäminen suoran tai epäsuoran sijainnin tai esimerkiksi paikkatiedon tunnisteiden avulla, sekä arkaluonteisten tietojen julkaiseminen. Paikkatieto voidaan yhdistää myös henkilötietoon epäsuorasti, ja mikäli eri lähteistä kerättyä tietoa kootaan luonnollisesta henkilöstä, voi tästä aiheutua tietosuojaloukkauksia.

Paikkatietojen ajantasaisuus ja niiden asianmukainen saatavuus mahdollistavat sen, että erilaiset palvelut, joilla turvataan yhteiskunnan toimintaa, sujuvat halutunlaisesti. Toisaalta tiedon avoimuus voi lisätä riskiä väärinkäytölle, mikäli tietoa yhdistellään ja käytetään turvallisuutta vaarantaen. (Maanmittauslaitos, 2023a)

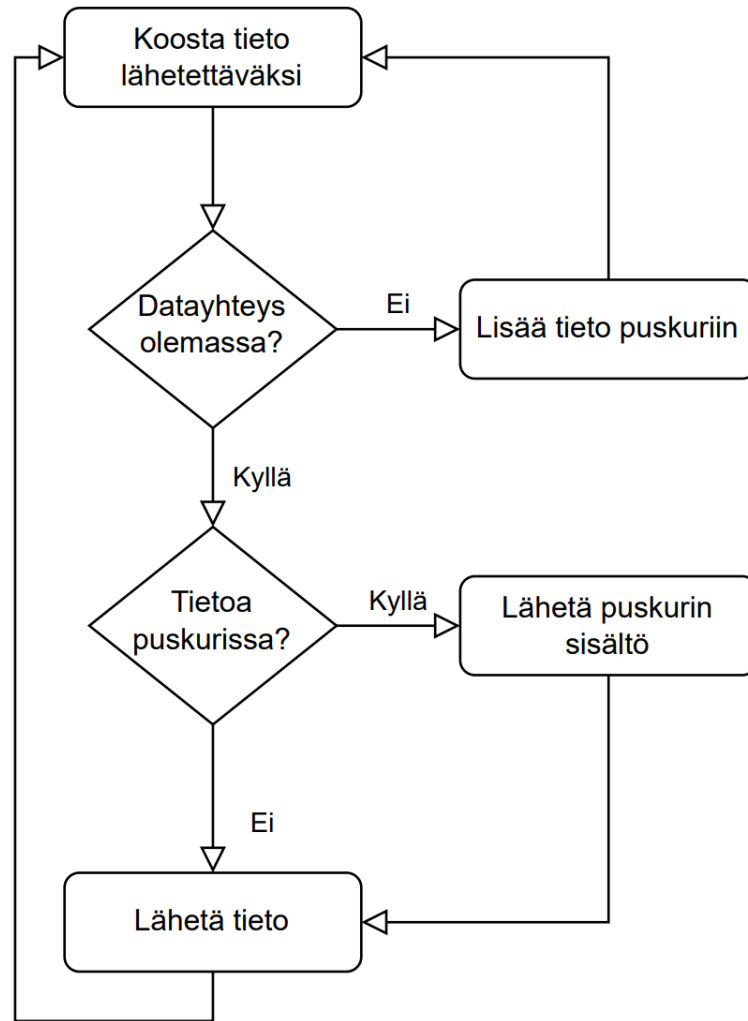
Paikkatieto on henkilötietoa, jos se sisältää tietoa tunnistettavissa olevasta luonnollisesta henkilöstä. Paikkatieto on henkilötietoa myös silloin, kun henkilö voidaan välillisesti

tunnistaa tiedoista. Paikkatietolaki edellyttää, että paikkatietoa hallinnoiva viranomaisen laatii ja ylläpitää ajantasaista yhteiskäyttöön soveltuvaa versiota lain soveltamisalaan kuuluvasta paikkatietoaineistosta. (Korpisaari, 2018, ss. 92) Menetelmälle on siis tietoturvan näkökulmasta edukasta, mikäli se ei ole yhdistettävissä henkilötietoihin.

### **5.1.7 Tiedonsiirto ja tallentaminen**

Tiedonsiirron eheydellä tarkoitetaan sitä, että lähetetty tieto on pysynyt samana koko tiedonsiirron ajan. Tässä tarkistuksessa ei oteta kantaa siihen, onko tieto mahdollisesti muuttanut muotoaan tahattomasti tai tahallisesti. Tahallinen tiedon muutos voi olla tapahtunut ulkopuolisen tietohyökkäyksen toimesta ja tahaton taas esimerkiksi yksinkertaisesti huonon kaapeliliitoksen aikaansaamana.

Tiedonsiirtoväylä on jo itsessään varsin turvallinen käytettäessä mobiiliyhteyttä. Yhteyden katkottomuutta ei voida taata. Yhteyden olemassaolo tulee tarkistaa ennen tiedon lähettämistä ja lähettämistä on lykättävä siihen asti, kun yhteys on taas muodostettu. Kuva 5 esittää tiedonlähetysmekanismia, jossa kaikki tieto voidaan saattaa lähetetyksi ja talteen. Mekanismissa on otettu huomioon tiedonvälityksen katkeaminen. Katkoksen aikana tieto tallennetaan puskuriiin. Kun datayhteys taas palautuu, puskurin sisältö lähetetään. (Katavisto, 2012, ss. 23–24)



**Kuva 5 Tiedonsiirronlähetysmekanismi (mukailen Katavisto, 2012, ss. 23)**

Sillan ylityksen valvontaa tukevan tuotoksen muodon valinnassa on huomioitava, miten tietotuote voidaan tallentaa. Tuotettu ajolinjatieto haluttaisiin tallentaa Taitorakennerekisteriin, mahdollisesti tietosuojattuna, siten että sitä voidaan mahdollisten rajapintojen kautta hyödyntää. Nykäsen (2023) mukaan Taitorakennerekisteriin voidaan helposti tallentaa tietoa kuvana. Taitorakennerekisterissä on nykyisin tallennettuna myös geometriapistetietoa, joten voidaan todeta myös sen tallentamisen olevan helposti toteutettavissa.

Tiedon tallentamisen haasteena voi olla tarve tiedon erilliselle muokkaamiselle muotoon, jossa se voidaan tallentaa. Mikäli esimerkiksi menetelmässä kerätään dataa mittaamalla, se voi vaatia erillistä käsittelyä. Tiedon tallentamisessa on huomioitava myös tiedon käyttämisen mahdollisuudet tarvittavien rajapintojen kautta. Tietoa tallettaessa ja tiedon siirron eri vaiheissa on pystyttävä varmentamaan, että tieto pysyy ehyenä, ilman epähaluttuja muokkauksia.

## 5.2 Teknologiavaihtoehtojen tarkastelu

Teknologiavaihtoehtoja työstettiin asiantuntijaryhmässä työpajassa. Työpajassa oli edustettuna kattava asiantuntija ryhmä. Työpajan tavoitteena oli kerätä monipuolisesti tietoa ja näkemyksiä eri aiheiden asiantuntijoilta. Tavoitteena oli täydentää ja tarkentaa jo tunnistettuja vaihtoehtoja. Työpajassa tunnistettiin myös asiantuntijoiden potentiaalisimmiksi koettuja ajolinjatiedon tuottamisen menetelmiä ja lähteitä.

Työpajaan osallistui yhdeksän asiantuntijaa. Taulukko 3 esittää työpajaan osallistuneet ja edustamansa asiantuntijuuden. Työpajassa aluksi taustoitettiin työn tavoitteita ja selvitettiin mihin ajolinjatietoa voitaisiin käyttää. Työskentelyosuudessa käytettiin Mural-työkalua pohjana, mihin osallistujat pystyivät interaktiivisesti kirjaamaan omia ajatuksiaan. Mural-taulu käytiin yhdessä läpi keskustellen ja mahdollisia huomioita nostaen. Lopuksi vaihtoehtoista toteutettiin äänestys, jonka tulosten pohjalta ohjausryhmän keskustelun vahvistamana otetaan menetelmiä ja tietolähteitä tarkempaan tarkasteluun.

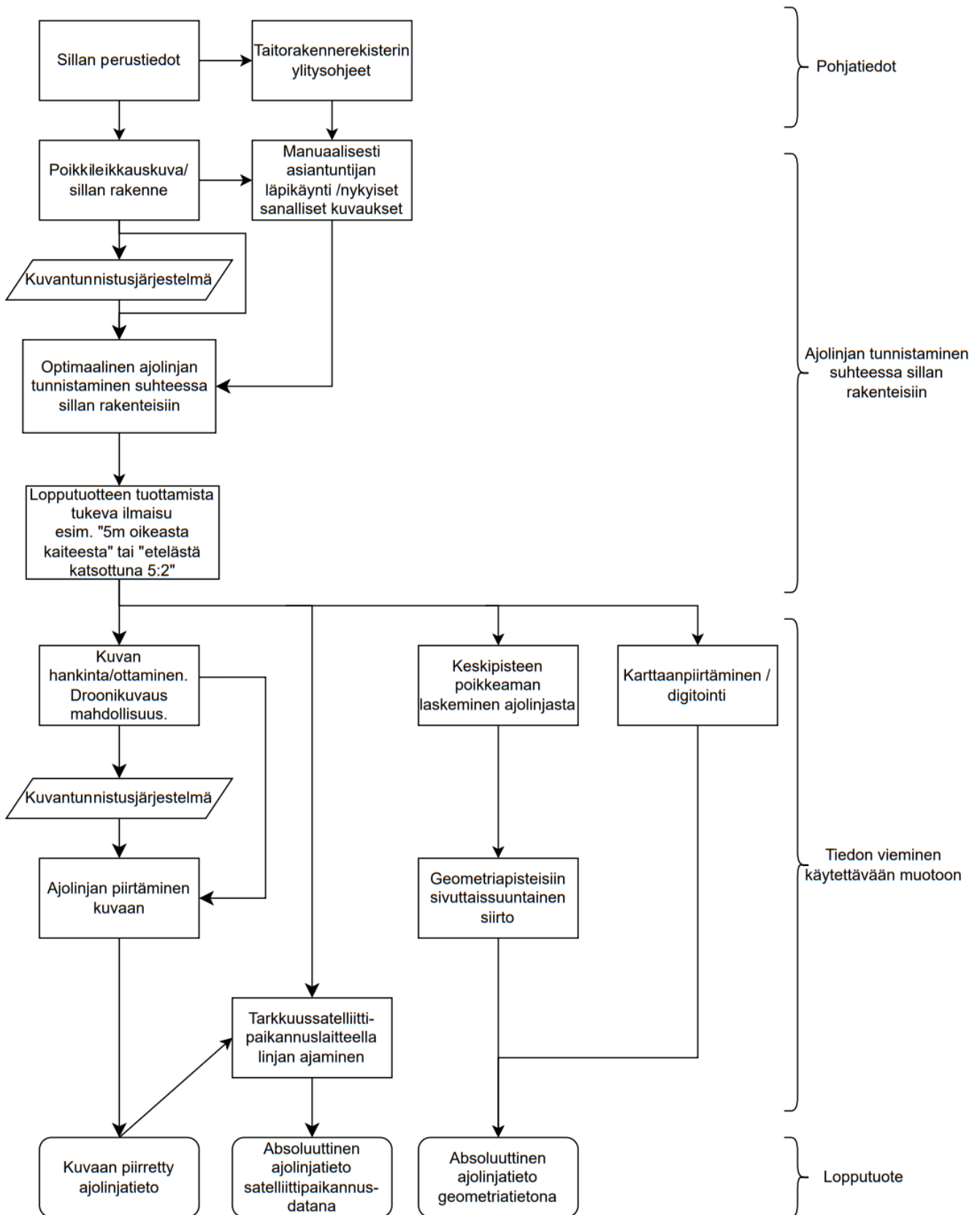


**Taulukko 3 Työpajan osallistajat.**

<b>Osallistuja</b>	<b>Asiantuntijuus</b>
Aki Hylkilä	Erikoiskuljetuslupa-asiantuntija
Aleksi Vesanto	Liikennedata, datan keräys
Anna Eskola	Työpajan fasilitointi
Ari Hyvärinen	Tiestömittaukset ja tiestötietojen käsittely
Eero Särkkä	Sillat
Heini Raunio	Siltojen kantavuus
Jani Lehenberg	Tiestötiedot, Digiroad ja tiedontuotanto
Jari Myllärinen	Tiestön ja liikenteen tiedot ja analytiikka
Kaisu Laitinen	Työpajan fasilitoinnin avustaminen
Niklas Fieandt	Väyläviraston tietojärjestelmät ja teknologiat
Riku Ilomäki	Erikoiskuljetukset

Työskentelyosuuden perusteella tarkempaan tarkasteluun nousi ajolinjatiedon tuottaminen kuvalliseen muotoon. Lähtötiedoista nousi nykyiset sanalliset kuvaukset LeLu tai Taitorakennerekisteri -palvelussa, Taitorakennerekisterin hyödyntäminen, sekä kuvadatan hyödyntäminen esimerkiksi kuvatietovarastosta. Menetelminä ajolinjatiedon tuottamiseen nostettiin kuvantunnistus tai muu tekoäly sekä tiedon keruu maastossa. Työpajan tuloksien lisäksi haastattelujen ja ohjausryhmän keskustelujen perusteella tarkasteluun valikoitui myös geometriapisteiden perusteella laskenta ja ilmakuvan perusteella digitoiminen.

Kuva 6 esittää eri prosessipolkumahdollisuuksia ajolinjatiedon tuottamiselle, joita työssä on havaittu ja valittu tarkasteluun. Kuvasta voidaan huomata, että eri polkuja voidaan päätyä erilaisiin tuotoksiin, josta voidaan jatkojalostaa myös muita tuotostyypppejä. Eri menetelmiin voi liittyä muitakin pohjatietoja, jotka esitetään menetelmä kohtaisesti.



**Kuva 6 Ajolinjatiedon tuottamisen prosessikuva.**

Prosessista on keskeistä tunnistaa ero ajolinjan sijainnin tunnistamisella ja ajolinjatiedon viemisellä käytettävään muotoon välillä. Ajolinjan sijainnin tunnistaminen on tämän tutkimuksen ulkopuolella, mutta oletuksena tieto on nykyisiin sanallisiin ajolinjakuvauksiin perustuvaa tai asiantuntijan osoittamaa. Ajolinjatiedon vieminen käytettävään muotoon taas tarkoittaa tunnistetun ajolinjan esittämistä tavalla, jota voidaan hyödyntää sillan ylityksen valvonnan kehittämisessä.

### **5.2.1 Nykyiset sanalliset kuvaukset**

Nykyisiä sanallisia kuvauksia on saatavilla useasta eri paikasta. Työpajan keskustelujen perusteella pääsääntöisesti tietolähteet ovat kuitenkin yhdistetty toisiinsa integraatioiden avulla sisältäen samat tiedot. Tiedot ovat nykyisin kattavimmin ELY-keskuksen LeLu -palvelussa, sillä sinne on saatettu tehdä lisäkirjauksia Taitorakennerekisteristä tuotujen kuvausten lisäksi. Nykyiset sanalliset kuvaukset voivat ohjata ajolinjasta esimerkiksi kaiteiden puolesta välistä, pohjoiseen kulkevaa kaistaa pitkin. Taitorakennerekisterin tukipalvelun (2023) mukaan Taitorakennerekisteriin on tallennettu sanallinen kuvaus ylitysajolinjalle vain 66 sillalle. Sanallisia kuvauksia ei ole annettu silloille, joilla oletuksena on, että ajetaan keskellä siltaa. Osa sanallisista kuvauksista saattaa olla myös kirjattuna LeLu -palvelun kautta, jolloin ne eivät näy Taitorakennerekisterissä. Lukujen perusteella ei voida pitää oletusarvoisena, että sanallisten kuvausten kattavuus olisi kovin hyvä.

Sanallisia kuvauksia löytyy joistain silloista, mutta ei kattavasti kaikista. Haasteena työpajassa tunnistettiin myös kuvausten tulkinnanvaraisuus ja vapaan tekstikentän muu hyödyntäminen järjestelmissä haasteelliseksi. Kattavuuden puutteiden takia tarvitaan manuaalista työtä tai toinen tiedon tuottamisen menetelmä puuttuvien tietojen kattamiseksi. Sanalliset kuvaukset vaikuttavat kuitenkin ensisijaisesti ajolinjan tunnistamiseen sillasta, eikä menetelmää, jolla ajolinjatieto tuotetaan.

Nykyisten sanallisten kuvausta voidaan hyödyntää monella tapaa. Halutusta tuotetun ajolinjatiedon esittämistavasta riippuen nykyisiä sanallisia kuvauksia voidaan käyttää sellaisenaan. Kuvauksia voidaan myös hyödyntää visuaalisen tiedon tuottamisessa ilman tarvetta maastokäynnille tai poikkileikkausten tarkemmalle tarkastelulle.

Sanallinen kuvaus ajolinjalle on usein annettu myös vakio muotoisena tekstinä:

”Silta on ylitettävä hiljaisella tasaisella nopeudella keskellä siltaa ajaen, ellei reittikuvauksessa ole muuta mainintaa ajolinjasta. Sillalla ei samanaikaisesti kuljetuksen kanssa saa olla muita ajoneuvoja. Liikenteenohjauksesta vastaa luvan saaja tai kuljetuksen suorittaja. Valvoja seuraa sillan ylityksen ja tarkastaa sillan silmämääräisesti

ennen ja jälkeen kuljetuksen. Kuljetuksen aiheuttamat vauriot kirjataan jatkotoimenpiteitä varten.”

### **5.2.2 Digitaaliset siltasuunnitelmat ja siltatiedot**

Väyläviraston asiantuntija Nykäsen (2023) mukaan taitorakennerekisterissä on paljon tietoa silloista, joiden kattavuus tieverkolla vaihtelee. Vaihtelua tietojen kattavuudessa on paljon sillan iän, keskeisyyden ja korjaustoimenpiteiden takia. Työpajan perusteella silloista on melko kattavasti saatavilla poikkileikkauskuvia, rakennetietoja ja esimerkiksi korjaussuunnitelmia. Erityisesti valtion silloilla tietoa on kuitenkin hyvinkin kattavasti Taitorakennerekisterissä saatavilla.

Taitorakennerekisterissä on kattavasti tarkastelun perusteella saatavilla eri siltojen yleiskuvia, joista voidaan tarkastella sillan rakenteen perusteella haluttua ajolinjaa. Ajolinjan tunnistaminen yleiskuvan ja sillan kannesta otettujen kuvien perusteella ei välttämättä vaadi sillalla vierailua. Siltasuunnitelmia ja siltatietoja voidaan hyödyntää ajolinjan tunnistamiseen, mutta eri esittämistapojen takia niitä on kuitenkin haastavaa hyödyntää ajolinjatiedon tuottamisvaiheessa.

### **5.2.3 Kartta-, tiestö- ja paikkatiedot**

Siltojen sijainnista on käytettävissä olevaa kartta-, tiestö- ja paikkatietoa. Nykäsen (2023) haastattelun mukaan tiedon tarkkuustaso kuitenkin on hyvin vaihtelevaa. Silloilla on taitorakennerekisterissä annettuna keskipistesijainti geometriapisteenä. Kaikille silloille, rautatiesillat mukaan lukien, löytyy geometria tieto 14 717 sillalle 26 281 sillasta. Keskipistegeometriatiedoista 21 kappaletta on satelliittipaikannus laitteella mitattu, 10 715 kappaletta kartan avulla määritetty, 1407 kappaletta suunnitelmatiedon pohjalta määritetty, sekä 78 kappaletta tarkemitattu. Muilla silloilla keskipistegeometrian tuottamistavoista ei ole tietoa. (Taitorakennerekisterin tukipalvelu, 2023)

Silloille on keskipisteen lisäksi määritetty suuntaviivat geometriapisteiden avulla. Taitorakennerekisterissä siltojen suuntaviivageometrioista 1 silta on satelliittipaikannus laitteella mitattu, 9924 kappaletta kartan avulla määritetty, 772 kappaletta suunnitelmatiedon pohjalta määritetty, sekä 23 kappaletta tarkemitattu. (Taitorakennerekisterin tukipalvelu, 2023)

Pisteen sijainti voi olla melko tarkka, etenkin sillan poikittaissuunnassa. Pituussuunnassa pisteen sijainti voi poiketa todellisesta jopa usealla metrillä tapauksesta riippuen. Tarkkuuden vaihtelevuus haastaa tiedon käyttöä, sillä sitä ei voida pitää kattavasti käyttökelpoisena. Silloille on usein määritetty myös suuntaviiva, jonka avulla pystytään tarkastamaan sillan pitkittäinen suunta sijainnin lisäksi. Suuntaviiva on merkitty

geometriapisteillä, joita uusilla silloilla tulisi olla mitattuna noin 1–3 metrin välein. Nykäsen mukaan nykyisiä geometriasijaintitietoja käytetään väylä ja liikennetietojen keräämisessä. Vanhemmista silloista suuntaviiva on kuitenkin ilmaistu kahden pisteen avulla.

#### 5.2.4 Kuvadata

Kuvadatan hyödyntäminen ylitysajolinjatiedon tuottamisessa nousi asiantuntijatyöpajassa keskusteluun. Kuvadata silloista voi käsittää monen tyyppistä tietoa. Kuva voi esittää esimerkiksi sillan poikkileikkausta, kuvaa sillasta ylhäältä päin tai viistokuvaa sillasta. Lähtökohtaisesti pintarakenteista otetut kuvat ovat julkisia ja siten helposti käytettävissä. Kuvia löytyy myös Taitorakennerekisteristä. Siltakuvaan olisi mahdollista visuaalisesti esittää ajolinjatieto helposti ymmärrettävällä tavalla. Kuvalla esitetty ajolinjatieto on myös helppo tallentaa eri tietojärjestelmiin ja välittää eteenpäin halutuille tahoille.

Kuvalla esitetty ajolinjatieto voi olla myös esimerkiksi kartan muodossa. Karttaan lisätty ajolinjatieto ei tosin ole kovin hyödyllistä, sillä karttojen tarkkuus on rajallinen, eikä ajolinjatietoa voi tällöin havainnoida esimerkiksi kaistoihin verraten. Kuvia voitaisiin myös tuottaa esimerkiksi droonilla kuvaamalla siltaa yläviistosta molempiin suuntiin. Dronilla kuvaamalla pystytään vaikuttamaan, millaisia kuvia sillasta halutaan. Kuvat voidaan ottaa hyvinkin ylhäältä viistosta, lähempää ajoneuvontasoa matalammalta tai suoraan alaspäin sillan päältä.

Ajolinjatiedon lisääminen visuaalisesti kuvaan vaatii manuaalista työtä. Olemassa olevien kuvien hyödyntäminen vähentää tarvetta maastokäynnille, samoin kuin karttaan ajolinjatiedon liittäminen. Olemassa olevien kuvien taso ja käytettävyys kuitenkin vaihtelee. Uusia kuvia otetaan sillantarkastuksien yhteydessä, joten kuvat ovat suurimmassa osassa tapauksia kohtuullisen ajantasaisia.

Työpajassa esitettiin myös mahdollisuus ajolinjatiedon esittämisestä videomuodossa, jolloin sillalle saapuminen olisi myös helposti esitettävissä. Ohjevideo olisi mahdollista tarvittaessa katsoa etukäteen ja havainnoida mahdolliset sillan haasteet, kuten mahdolliset esteet jo etukäteen. Menetelmä koettiin kuitenkin haastavana valvonnan kehittämisen näkökulmasta.

Kuvadatan hyödyntämisen tehostamiseksi voidaan tarkastella erilaisia kuvantunnistuksen ja tekoälyn menetelmiä. Esimerkiksi vaihtoehtoja tunnistaa sillan rakenteita ajolinjatiedon pohjaksi tai ajoneuvoista käsin tuottaa ajolinjatietoa.

### 5.2.5 Mittausdokumentaatio

Harvasta sillasta on olemassa tarkkuuspaikannettua mittausdokumentaatiota. Mittausta voidaan tehdä maastossa ajolinjatiedon tuottamiseksi. Ajolinjatietoa voidaan tuottaa toteuttamalla pistemittauksia tarkkuussatelliittipaikannus laitteen kanssa, jolloin ajolinjatieto voidaan tuottaa suoraan ajoneuvosta kerättävän toteutuneen ajolinjatiedon vertailuun. Näin voitaisiin toteuttaa absoluuttisen ajolinjatiedon tuottaminen. Tällainen tuottamismenetelmä vaatii maastossa käymistä tarkkuuspaikantimen kanssa. Maastossa käymisen etuna on, että samalla pystyttäisiin ottamaan tarvittaessa kuvia absoluuttisen ajolinjatiedon tueksi.

Mittaustietoa voitaisiin ajolinjalle tuottaa myös esimerkiksi sillan laserkeilauksella suhteessa kiinteisiin tarkennuspisteisiin. Näin voitaisiin tuottaa kuvadataa käytettäväksi monesta kuvakulmasta havainnoinnin helpottamiseksi. Laserkeilauksen avulla voitaisiin myös helpommin havaita mahdollisia ylityksen ongelmakohtia.

Maastossa mittausta voidaan myös käyttää täydentämään puutteellista paikkatietoa, mikäli siltojen geometriapistetiedoissa on puutteita. Nykäsen (2023) haastattelun perusteella voitaisiin mitata jopa viidestä kymmeneen siltaa päivässä, mikäli samalla ei tarvitse suorittaa muita mittauksia. Aikajänne koko tieverkon siltojen geometriapisteidien mittaukselle on kuitenkin Nykäsen mukaan lähemmäs viisi vuotta resurssien kuten mittaajan ja laitteiston rajoitteiden takia.

Mittausten tekemistä suunnitellessa on hyvä tarkastella muita mahdollisia projekteja, joiden yhteydessä mittauksia voitaisiin suorittaa. Mittauksia voitaisiin toteuttaa esimerkiksi siltojen tarkastusten, huoltotoimenpiteiden tai muiden maastokäyntiä vaativien töiden yhteydessä.

## 6. PROSESSIN TESTAUS JA VERTAILU

Luvussa testataan eri menetelmien toteuttamista kahdella eri testisillalla. Kuvaan piirtäminen, geometriapisteen perusteella piirtäminen, sekä ilmakuvan perusteella digitoiminen testataan molemmilla testisilloilla. Droonikuvan hyödyntäminen ja tarkkuussatelliittipaikannus mittauksen testaaminen toteutetaan vain testisilta B:llä. Haastattelujen, kirjallisuuden ja testien havaintojen perusteella luvussa vertaillaan eri menetelmiä esitellen niiden ominaisuuksia. Kvantunnistusjärjestelmää ei pystytty tutkimuksen puitteissa testaamaan kummallakaan sillalla, sillä se vaatisi järjestelmän kehittämistä.

### 6.1 Prosessin testaus

Eri menetelmäprosesseja testataan, jotta voidaan havainnoida menetelmän hyötyjä ja haasteita. Prosesseja testataan työssä kahdella sillalla. Maastokäynti toteutetaan yhdellä sillalla, jolla testataan myös tarkkuuspaikantimella tuotettavan ajolinjatiedon tuottamisen prosessi ja droonikuvien ottaminen.

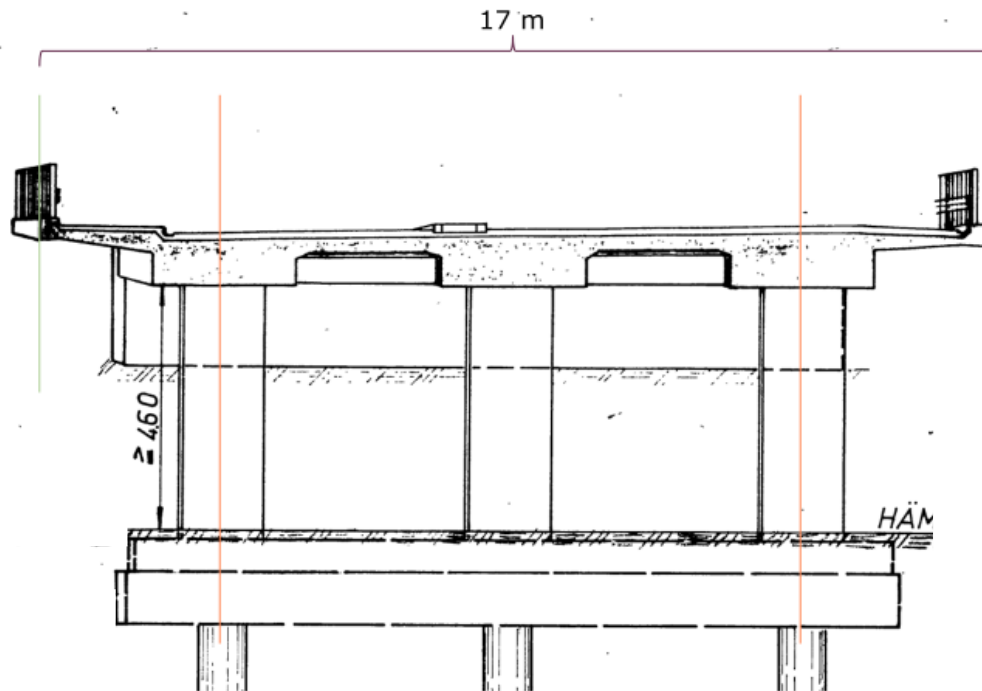
#### 6.1.1 Testisilta A

Sillan optimaalista ajolinjaa tunnistessa sillan rakenteisiin nähden Taitorakennerekisteristä voidaan tarkastella sillan rakenteita. Sillasta on yleispiirustus, josta havaitaan, että sillan alusrakenteessa on kolme kantavaa pilaria ja palkkia. Pilarit sijaitsevat symmetrisesti sillan kansirakenteeseen nähden. Kantavin ajolinja on siten kyseisellä sillalla leveysuunnassa keskellä kantta. Yleispiirustuksesta havaitaan myös sillan kannen olevan pituussuunnassa kaareva, tarkoittaen ettei ajolinjatietoa voida esittää suorana viivana.

Sillan kuvista voidaan havaita, ettei kuljetuksen ajaminen keskellä sillan kantta kuitenkaan onnistu ilman portaalien ja liikennemerkkien irrottamista. Keskellä sillan kantta ajamista ja sillalle saapumista hankaloittaa myös sillan päissä olevat liikenneympyrät. Tästä syystä kestävin ajolinja ilman rakenteiden irrottamista on eri ajosuuntiin eri. Ajolinjan tunnistaminen suhteessa sillanrakenteisiin vaatisi asiantuntijan tarkastelua, mutta työn puitteissa merkitään ajolinjojen olevan reunimmaisten pilarien kohdalla, mikä ei kuitenkaan välttämättä vastaa todellista ohjeellista ajolinjaa.

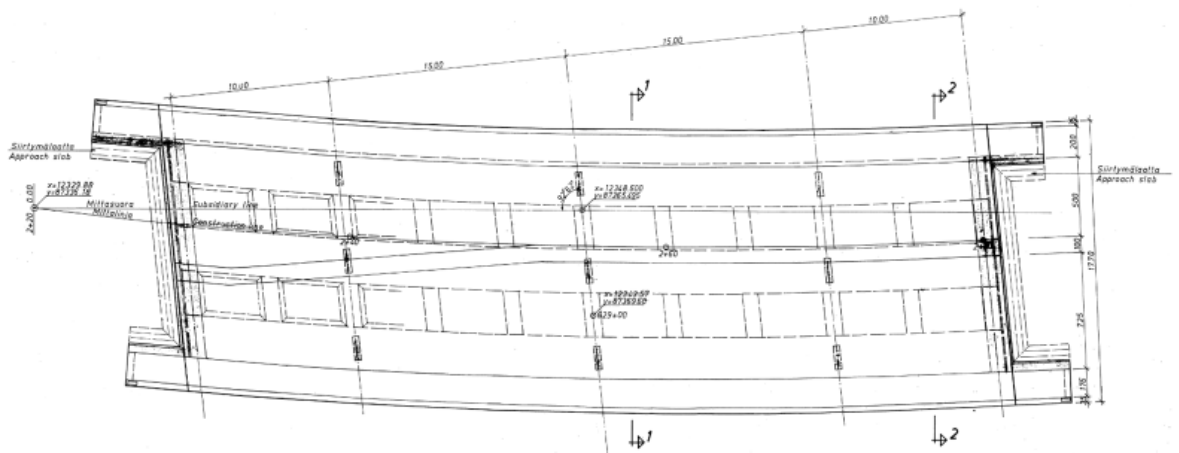
Kuva 7 esittää sillan poikkileikkauksen, josta voidaan tarkastella pilarien sijaintia muihin sillan rakenteisiin nähden. Taitorakennerekisterin (2023) sillan tiedoissa annetun kannen leveyden ollessa 17 metriä voidaan yleiskuvasta todeta sivummaisten pilarien sijaitsevan

noin 3,3 metriä kansirakenteen reunasta molemmilta puolilta. Ajolinjan tunnustetaan siis olevan sillalla suhteessa sillan rakenteisiin noin 3,3 metriä sillan reunakaiteista molemmilla puolilla.



**Kuva 7 Osa sillan yleispiirrustusta rakenteen symmetrian toteamiseksi (Taitorakennerekisteri, 2023)**

Kuva 8 on osa sillan yleispiirrustusta, jonka perusteella voidaan sillan havaita olevan kaareva. Kaarevuus tulee ottaa huomioon menetelmän tuloksen tarkkuutta tarkastellessa. Tarkkuuden tulee olla hyvä koko sillan pituuden matkalta.



**Kuva 8 Osa sillan yleispiirrustusta, jossa nähdään sillan kaarevuus. (Taitorakennerekisteri, 2023)**



Toisena vaiheena, kun sillan ajolinjat on tunnustettu sen rakenteisiin nähden, tulee tuottaa ajolinjatieto muodossa, joka tukee sillan ylityksen valvontaa ja mahdollisesti ylittämistä. Tieto voidaan tuottaa luvussa kuusi esitetyllä tavalla kuvaan piirrettynä tietona, ilmakuvaan tai karttaan piirrettynä, sekä geometriatietona tai satelliittipaikannusdatana.

### **Manuaalisesti kuvaan piirtämällä**

Kuva 9 esittää manuaalisesti kuvaan piirrettyä ajolinjatietoa. Kuvaan piirrettynä ajolinjat voidaan esittää suoraan samassa suhteessa kuin aikaisemmassa vaiheessa selvitetty ajolinjatieto. Kyseisestä sillasta ei ole valmiiksi saatavilla hyvin soveltuvaa kuvaa, etenkin molempiin suuntiin. Suositeltavaa olisi kuvata silta paikan päällä molempiin suuntiin huomioiden käyttötarkoitus.



***Kuva 9 Taitorakennerekisteristä haettuun kuvaan piirretyt ajolinjat (muokattu Taitorakennerekisteri, 2023)***

Huomioitavaa on, että kuva ei ole ajantasainen, sillä siinä ei ole vielä nykyisin sillalla tehtyjä muutoksia. Sillan molemmissa päissä on nykyisin pisaraliittymät, jotka vaikuttavat sillalle saapumisen ajolinjaan. Tämä on keskeinen hankaluus menetelmässä, mikäli ajojärjestely ovat muuttuneet sillalla, eivätkä kuvat ole siten ajantasaisia. Valokuvien ajantasaisuuden varmistaminen tuo lisävaiheen menetelmään. Menetelmän tehokkuutta

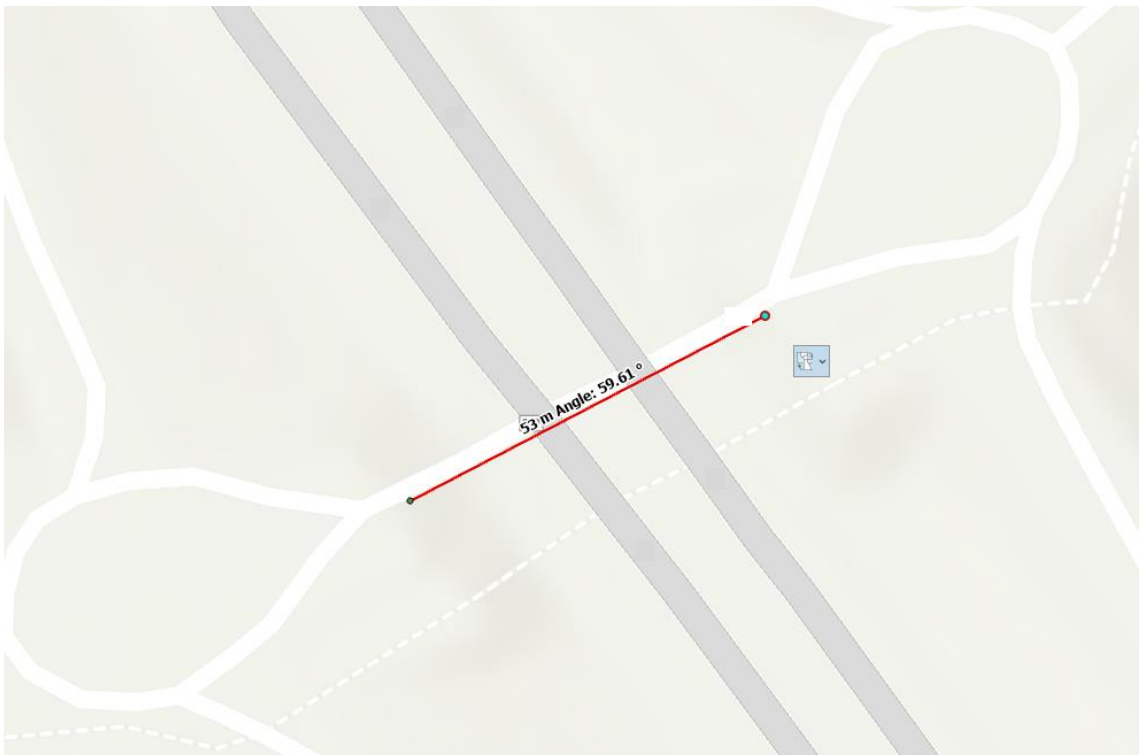
haittaa merkittävästi, mikäli ajantasaisia kuvia tarvitsisi käydä erikseen ottamassa maastossa.

## Geometriapisteistä laskemalla

Taitorakennerekisterin geometriatiedoissa sillalle on annettuna yksi viiva kahden geometriapisteen avulla. Koordinaatit on annettu ETRS89 / TM35FIN -koordinaattijärjestelmän mukaisesti. Näiden perusteella voidaan laskea kaksi geometriapistettä ajolinjatiedoille, jotka poikkeavat 5,2 metriä molemmille puolille geometriatiedoissa annetusta viivasta. Huomioitavaa on, että viiva ei anna täysin tarkkaa tietoa, mikäli sillan kaarevuutta ei huomioida laskuissa. Kaarevuuden takia ajolinjaa ei voida myöskään laskea koko matkalle ilman tietoa useammasta geometriapistestä.

ArcGis Pro -ohjelmalla karttatasolle piirrettiin Taitorakennerekisterissä annettujen rakenteen geometrian viivapisteiden perustella sillan suuntaa kuvaava viiva. Kuva 10 esittää koordinaattipisteiden sijaintia karttatasolla ja näiden väliin piirretyn suuntaviivan. Keskellä siltaa kulkevan suuntaviivan molemmille puolille piirrettiin 5,2 metrin etäisyydelle samansuuntaiset viivat.

Kuva 11 esittää projisoidut viivat 5,2 metrin etäisyydellä sillan keskelle piirretystä viivasta. Näiden viivojen kulmapisteet kuvaavat halutun ajolinjan sijaintia sillan kannella. On huomioitava, ettei itse viivoja voi pitää ajolinjana sillan kaarevuuden takia.



**Kuva 10 Viivatiedon geometriapisteiden avulla piirretty sillan rakenteen geometrian suuntaviiva. Kuvasta poistettu teiden numerot. (Esri Inc., 2023)**



**Kuva 11 Suuntaviivan molemmille puolille piirretyt ajolinjan viivat geometriapisteiden selvittämistä varten. Kuvasta poistettu teiden numerot. (Esri Inc., 2023)**

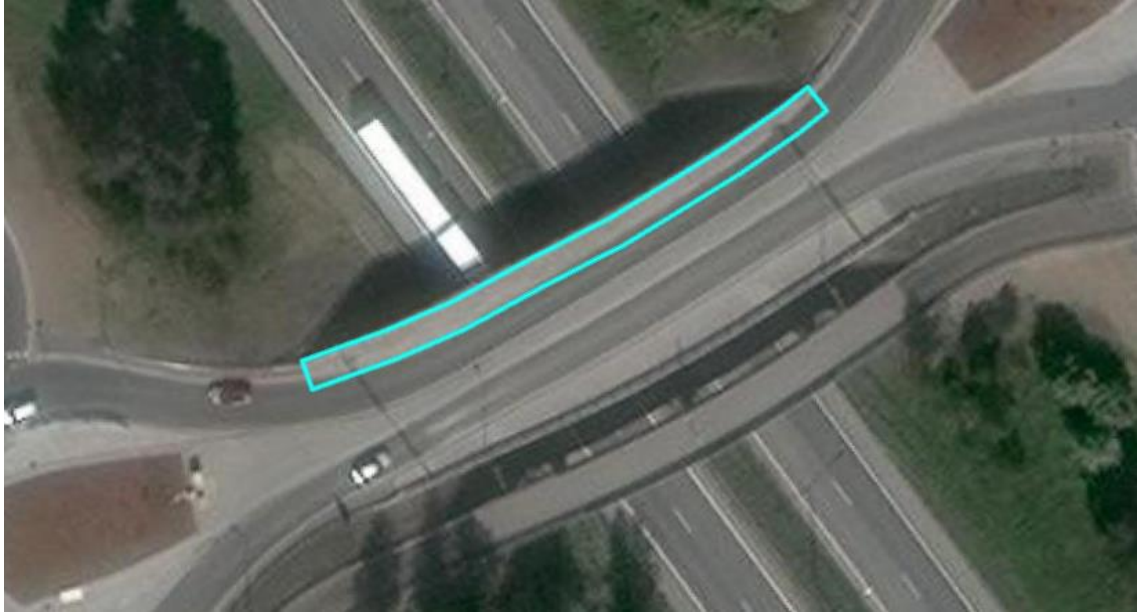
Kuva 12 näyttää miten piirretty kuvio asettuu sillan kannella ilmakuvan perusteella. Kuvasta voidaan päätellä pisteiden osuvan kohtuullisen hyvin halutuille sijainneille. Pisteiden tarkkuus on kuitenkin epätarkka, sillä geometriatiedoissa annettujen viivapisteiden voidaan jo havaita olevan ilmakuvan perusteella keskikohdan sivussa.



**Kuva 12 Suuntaviiva ja geometriapisteiden selvittämistä varten piirretyt tukiviivat ilmakuvassa esitettynä. (Esri Inc., 2023)**

### **Ilmakuvaan digitoimalla**

Ilmakuvan perusteella voidaan piirtää tunnistetun ajolinjan perusteella. Kuva 13 esittää tällä menetelmällä tuotettua ajolinjaa. Tarkastelu toteutettiin ArcGis Pro ohjelmistolla. Ensiksi sillankaiteen sijainti merkittiin pisteiden avulla mahdollisimman tarkasti manuaalisesti pisteitä lisäten ja ne viivaksi yhdistäen. Tämän jälkeen pisteiden muodostaman viivan toiselle puolelle lisättiin samansuuntainen viiva 3,3 metrin etäisyydelle.



***Kuva 13 Ilmakuvaan digitoitu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)***

Ajolinjatieto pystyttiin tuottamaan karttaan digitoimalla hyvin nopeasti arviolta vain noin viidessätoista minuutissa. Haasteena menetelmää testatessa voitiin havaita ilmakuvien tarkkuuden rajoitteet. Mahdolliset varjot ja epäselvyydet kuvassa haastavat sillan kaiteiden tarkkaa merkitsemistä kuvan perusteella. Tulosten voidaan kuitenkin sanoa olevan kohtuullisen tarkkoja. Menetelmän etuna on myös, että piirretyn viivan geometriapisteen saadaan tuotettua koko tuotetun viivan pituudelta.

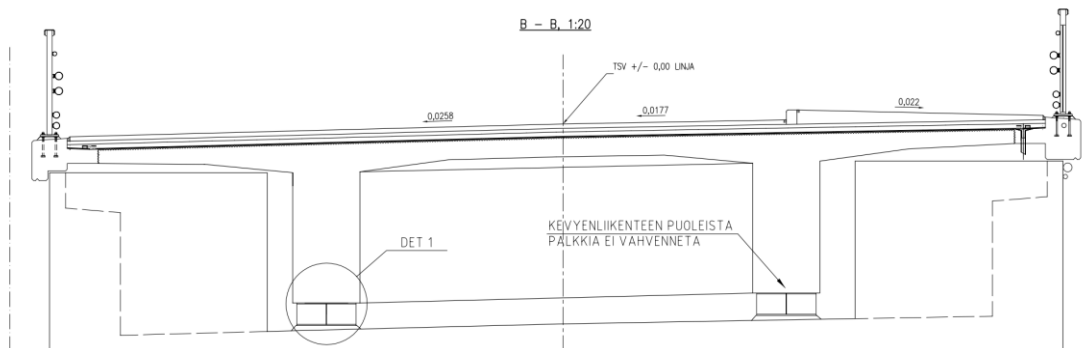
Kuva 14 esittää ilmakuvaan digitoimalla tuotetun ajolinjatiedon vertautumista aiemmin geometriapistestä laskettuihin ajolinjan geometriapisteisiin. Kuvasta voidaan havaita ajolinjan ja geometriapisteen osuvan melko hyvin samaan kohtaan. Pisteet eroavat todellisuudessa arviolta noin 10 senttimetriä.



**Kuva 14 Geometriapisteistä lasketut ajolinjan pisteet ja ilmapuuvaa digitoitu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)**

### 6.1.2 Testisilta B

Kuva 15 esittää sillan yleiskuvassa olevaa poikkileikkausta. Yleiskuvasta voidaan havaita sillan tukirakenteiden olevan symmetrisesti sillan reunoihin nähden, joten kestävin ajolinja sillalla on keskellä kansirakennetta.



**Kuva 15 Sillan poikkileikkaus (Taitorakennerekisteri, 2023)**

Kuva 16 perusteella voidaan myös havaita, ettei sillan kannella ole ajamista haittaavia esteitä keskellä kannen rakennetta. Keskeltä kulkeva ajolinja voidaan siis todeta toimivaksi saatavilla olevien pohjatietojen perusteella. Sillan yleistietojen perusteella sillan leveys on 11,05 metriä, jolloin haluttu ajolinja on 5,525 metrin etäisyydellä molemmista reunoista.



***Kuva 16 Sillan kannen ja ajokaistojen kuva (Taitorakennerekisteri, 2023)***

### **Manuaalinen kuvaan piirtämällä**

Sillan ajolinjatieto voidaan tuottaa kuvaan manuaalisesti piirtämällä. Haasteena piirtämisessä on sivusta otettu kuva ja sillan kaarevuus. Nykyinen kuva on Taitorakennerekisteristä ja menetelmää helpottaisi parempi kuva esimerkiksi keskeltä siltaa yläviistosta. Piirtäminen kuitenkin onnistuu nykyiseenkin kuvaan tietyn tarkkuuden rajoissa. Tarkkuutta heikentää vinosta kuvasta kaiteiden välisen keskilinjan löytämisen. Nämä tekijät tulee huomioida ajolinjatietoa piirtäessä. Etuna kyseisellä sillalla kuitenkin on, että kaistat ovat samalla leveydellä koko sillan pituussuunnan matkalta, jolloin ajolinjan viiva on samassa suhteessa kaistamerkintöihin koko sillan pituudelta.



***Kuva 17 Sillan olemassa olevaan kuvaan piirretty ajolinjatieto, havainnollistus. (muokattu Taitorakennerekisteri, 2023)***

Kuva 18 ja 20 esittävät droonilla sillasta otettuja kuvia etelän ja pohjoisen saapumissuunnista. Kuviin on manuaalisesti piirretty ajolinjatieto. Droonikuvien ottaminen oli maastossa nopeaa ja helppoa, haastavista tuuliolosuhteista huolimatta. Kuvista tuli hyvälaatuisia ja helposti käytettäviä ajolinjatiedon esittämiseksi. Haasteena kuvausta tehdessä mittaja Pyydysmäki (2023) esitti korkean tuulen, mikä saattaa estää droonin lennätyksen, sekä lentokentän läheisyyden huomioimisen lentokorkeudessa.





***Kuva 18 Havainnollistus drooni-kuvaan piirretty ajolinja etelän suunnasta saavuttaessa.***



***Kuva 19 Havainnollistus drooni-kuvaan piirretty ajolinja pohjoisen suunnasta saavuttaessa.***

Testauksen perusteella voidaan havaita, että kuvien perusteella ajolinjan hahmottaminen on silmämääräisen valvonnan kannalta lähes yhtä selkeitä. Manuaalisesti kuvaan piirtämisen menetelmän valittaessa droonikuvien ottaminen koetaan kuitenkin olevan suositeltavaa, erityisesti mikäli sillasta ei ole Taitorakennerekisterissä hyvää ajantasaista lähtötietokuvaa saatavilla.

### **Geometriapisteistä laskemalla**

Taitorakennerekisterin geometriatiedoissa kyseiselle sillalle on annettuna yksi suuntaviiva kahden geometriapisteen avulla. Koordinaatit on annettu ETRS89 / TM35FIN -koordinaattijärjestelmien mukaisesti. Näiden perusteella voidaan laskea kaksi geometria pistettä sillan suunnan selvittämiseksi. Huomioitavaa on, että viiva ei anna täysin tarkkaa tietoa, mikäli sillan kaarevuutta ei huomioida. Kaarevuutta ei voitu huomioida kaarevuuden tietojen puutteen vuoksi. Kuva 20 esittää ilmakuvatasossa annettujen geometriapisteen sijaintia suhteessa tarkasteltavaan siltaan punaisella ympyröityinä. Suuntaviivan pisteet eivät osu edes sillan päälle, mutta sillan keskipiste osuu melko hyvin kuvan perusteella kohdalleen.



***Kuva 20 Taitorakennerekisterissä annetut suuntaviivapisteen ja sillan keskipistegeometria. (Esri Inc., 2023)***

ArcGis Pro -ohjelmalla karttatasolle piirrettiin Taitorakennerekisterissä annettujen rakenteen geometrian viivapisteen perusteella sillan suuntaa kuvaava viiva. Kuva 21

esittää suuntaviivan ja sen suunnan perusteella keskipisteen kohdalle piirretyn saman suuntaisen viivan. On huomioitava, ettei itse viivoja voi pitää ajolinjana, sillä sillan kaarevuuden takia.



**Kuva 21 Suuntaviivapisteiden perusteella piirretty viiva ja samansuuntainen viiva keskipisteen päälle siirrettynä. (Esri Inc., 2023)**

Voidaan havaita, että geometriapisteiden perusteella piirretty ajolinjaviiva ei ole tarkasti sillan ajolinjalla. Ajolinja on kohdillaan keskipisteen kohdalta, mutta molempien päiden kohdalla tarkkuus on huomattavan heikentynyt suurimmaksi osaksi kaarevuuden takia.

### **Ilmakuvaan digitoimalla**

Ilmakuvan perusteella voidaan piirtää ajolinja aiemmin tunnistetun ajolinjan perusteella. Kuva 22 esittää tällä menetelmällä tuotettua ajolinjaa. Tarkastelu toteutettiin ArcGis Pro -ohjelmistolla. Ensiksi sillankaiteen sijainti merkittiin pisteiden avulla mahdollisimman tarkasti manuaalisesti kaiteen kohdalle pisteitä lisäten ja yhdistäen ne viivaksi. Tämän jälkeen pisteiden muodostaman viivan toiselle puolelle muodostetaan puskuri viiva 5,525 metrin etäisyydelle reunasta. Voidaan havaita, että menetelmän perusteella piirretty ajolinjatieta osuu kuvan perusteella hyvinkin tarkasti haluttuun kohtaan. Menetelmällä tuotettu ajolinja huomioi myös sillan kaarevuuden lisäten menetelmän tarkkuutta koko sillan pituuden matkalta.

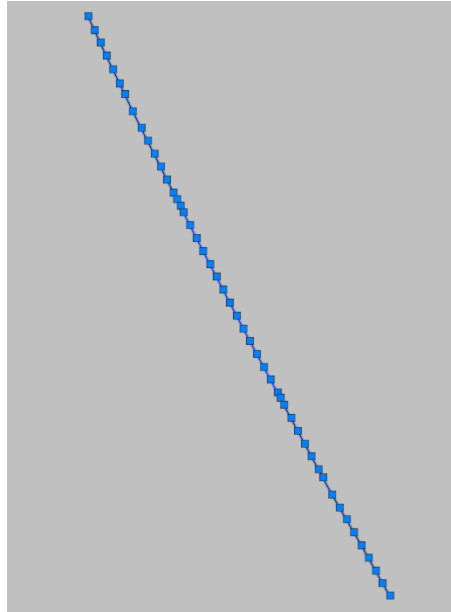


**Kuva 22 Ilmakuvaan digitoimalla tuotettu ajolinjatieto. (Esri Inc., 2023)**

### **Tarkkuuspaikantimella mittaamalla**

Sillalla toteutettiin sijainnin mittaus tarkkuuspaikantimella. Menetelmän testauksessa mittauksen suoritti Rambollin mittausasiantuntija Pyydysmäki (2023). Kyseisellä sillalla tunnistettu ajolinja sijaitsee ajokaistalla, jolta pisteiden mittaamaan meneminen vaatisi ELY-keskukselta erillisen työluvan ajojärjestelyin. Ajojärjestelyjen tekeminen vaatii toimia, kuten ajonopeuden alentamista ja kaistajärjestelyjä. Työn puitteissa pyrittiin helpottamaan mittausta ja pisteet mitattiin kävelyn ja pyöräilyn väylän puoleisesta kaiteesta. Pisteiden mittaaminen kaiteesta osoittautui helpoksi, sillä näin ei tarvinnut erikseen tarkentaa ajolinjan sijaintia suhteessa sillan rakenteisiin mittauksen aikana. Pisteet mitattiin sillan kaiteen tolppien kohdalta, eli noin 2 metrin välein. Mittausväliä voidaan pitää riittävänä huomioimaan sillan kaarevuudet. Varsinaisen sillan kannen päältä mittauspisteitä on 17 kappaletta.

Kuva 23 esittää tarkkuuspaikantimella mitattuja pisteitä. Pisteiden käsittely testauksessa oli haastavaa eri koordinaattijärjestelmien ja tiedostomuotojen takia. Toistuvalla mittaus ja datan käsittelytavalla tämä ei olisi ongelma prosessin tullessa tutuksi datan käsittelijälle. Testauksen perusteella arvioidaan, että siltakohtaisen datan käsittelyyn menee aikaa noin puolituntia, riippuen miten tiedon tallennusprosessi Taitorekisteriin lopulta toimii.



**Kuva 23 Tarkkuuspaikantimella mitatut pisteet. (Esri Inc., 2023)**

Kuva 24 mukaisesti pisteet ovat kuitenkin mitattu sillan kaiteen kohdata, joten ne eivät kuvaa haluttua ajolinjatietoa. Kuvasta voidaan myös huomata, miten ilmakehän ja mitattukohde eivät vastaa toisiaan täsmällisesti, sillä kuvan perusteella mittausta on tehty sillan ulkopuolelta. Kuva 26 esittää mitatusta sillankaiteesta projisoitua ajolinjaa sillalla.



**Kuva 24 Tarkkuuspaikannusmittauksen tulokset esitettynä ilmakehässä. (Esri Inc., 2023)**



*Kuva 25 Tarkkuuspaikannusviivan projisoiminen tunnistetun ajolinjan perusteella. (Esri Inc., 2023)*

## 6.2 Vertailu

Kappaleessa käydään läpi eri menetelmäpolut ajolinjatiedon tuottamiselle. Vertailussa nostetaan havaintoja prosessien testaamisen perusteella ja mahdollisia huomioita tulosten käytettävyyden kannalta. Prosesseja vertaillaan luvussa 5 esitettyjen kriteerien näkökulmasta.

Tunnistettujen menetelmien perusteella voidaan eri prosessipolkujen tuotteena toteuttaa kuvaan tai ilmakehuun toteutettu visuaalinen esitys ajolinjatiedosta. Hyvä kuva on olennaista tiedon hyödynnettävyyden takaamiseksi, esimerkiksi sillan oikean ylityksen tueksi. Tarkastelun perusteella useista silloista on olemassa kohtuullisen hyviä kuvia kuvan ottajan tasolta. Kuvia on silloilta saatavilla valmiina pääsääntöisesti vain toisesta ajosuunnasta, mikä on erityinen haaste pituussuunnassa epäsymmetrisillä silloilla.

Luettavuuden parantamiseksi voitaisiin kuitenkin harkita yläviistokuvien käyttöä, luvussa 6.1 testatulla tavalla dronilla kuvaamalla. Uusien kuvien tuottamisella voitaisiin taata kuvien tasalaatuisuus, soveltuvuus ja kuvat kaikista ajosuunnista sillalle. Dronilla kuvaaminen on itsessään kustannuksiltaan kohtuullisena pidettävä kuvaustapa sen hyötyihin nähden, erityisesti jos se voidaan toteuttaa muun maastokäynnin ohessa ilman erillistä vierailua.

Kuvalla esitetyssä ajolinjatiedossa tulee huomioida sillan käyttäminen molempiin suuntiin. Mikäli kuvassa esitetään ajolinja vain toisesta saapumissuunnasta, se ei palvele valvontaa tai ylityksen ajamista kovinkaan hyvin saapuessa vastakkaisesta suunnasta. Tämä korostuu erityisesti silloilla, joissa haluttu ajolinja painottuu tiettyyn reunaan epäsymmetrisesti. Myös kuvaan piirretyn tiedon automatisoitavan valvonnan rajoitteita on huomioitava.

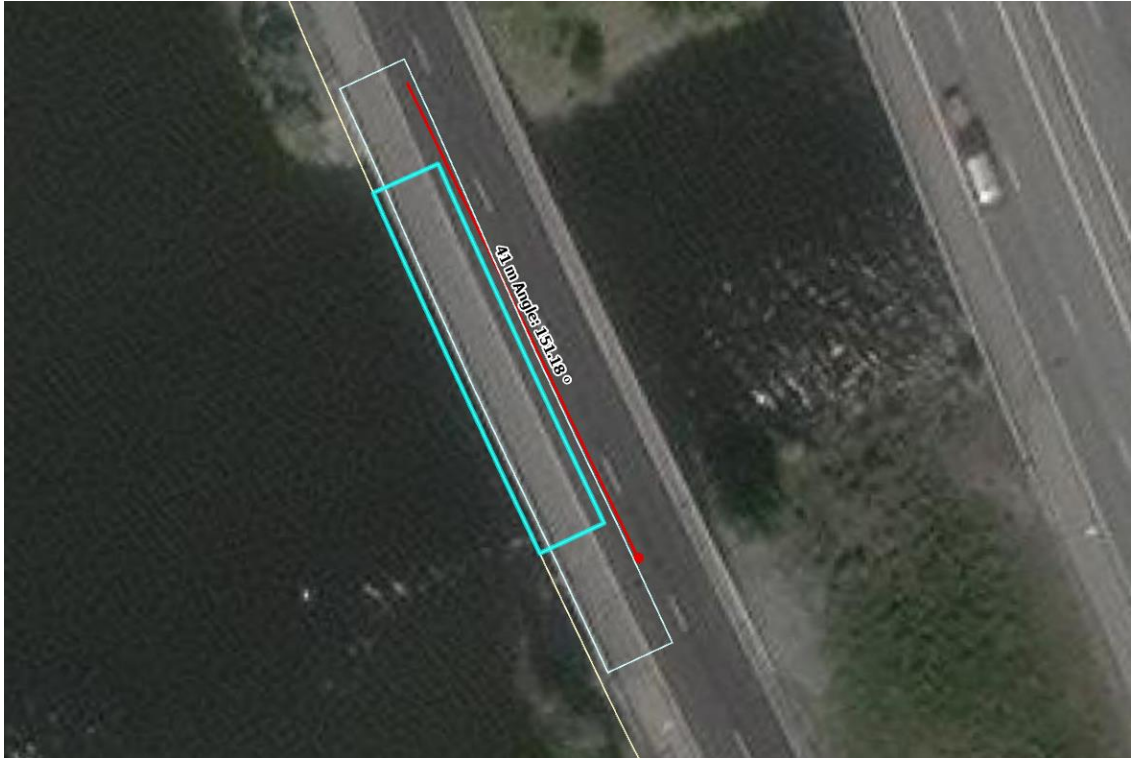
Nykäsen (2023) haastattelun perusteella Taitorakennerekisterin kannalta helpoin tapa esittää ja tallentaa ajolinjatieto olisi geometriapisteen tai kuvan avulla. Ajolinjatiedon tuottamiseen geometriapisteen avulla on tunnistettu kolme menetelmää. Vaihtoehtona on laskea nykyisten geometriapistetietojen avulla ajolinjan geometriapistetieto, digitoida ajolinja karttaan piirtämällä ja tarkkuuspaikantimella mittausta.

Geometriapisteen etuna on niiden mahdollisuudet automaation lisäämisessä valvonnassa tulevaisuudessa. Ajolinjan geometriapistettä voidaan verrata ajoneuvosta ylityksen aikana mitattuun satelliittipaikannusdataan. Haasteena on tarkkuuden takaaminen ja saatavilla olevien geometriapisteen vähäisyys silloilla. Mikäli sillan suuntaviiva on ilmoitettu vain kahdella pisteellä ja silta ei ole suora, voidaan ajolinjalle ilmoittaa vain kaksi pistettä, ellei sillan kaarevuutta tiedetä.

Sillan ylityksen valvonnan kannalta kuvaan tuotettu ajolinjatieto auttaa valvojaa hahmottamaan halutun ajolinjan sijainti sillalla paremmin, kuten kuljettajaakin. Kuvausolosuhteissa valvonnassa voitaisiin yksiselitteisemmin verrata ajettua ajolinjaa haluttuun ajolinjaa, sillä molemmat olisivat visuaalisesti esitettyjä. Suurimpana haasteena on kuvaan tuotetun ajolinjatiedon hyödyntäminen automatisoituvassa sillanylityksen valvonnan prosessissa. Mikäli siltojen ylitystä aiotaan seurata satelliittipaikannusseurannan avulla, ei kuvaan tuotettua ajolinjatietoa voida hyödyntää suoraan automaattisessa valvonnassa suoraan vertailtavan datan puutteen vuoksi. Koneäön avulla toteutettua ajolinjan valvontaa kuvaan piirretty ajolinjatieto kuitenkin voisi mahdollisesti palvella.

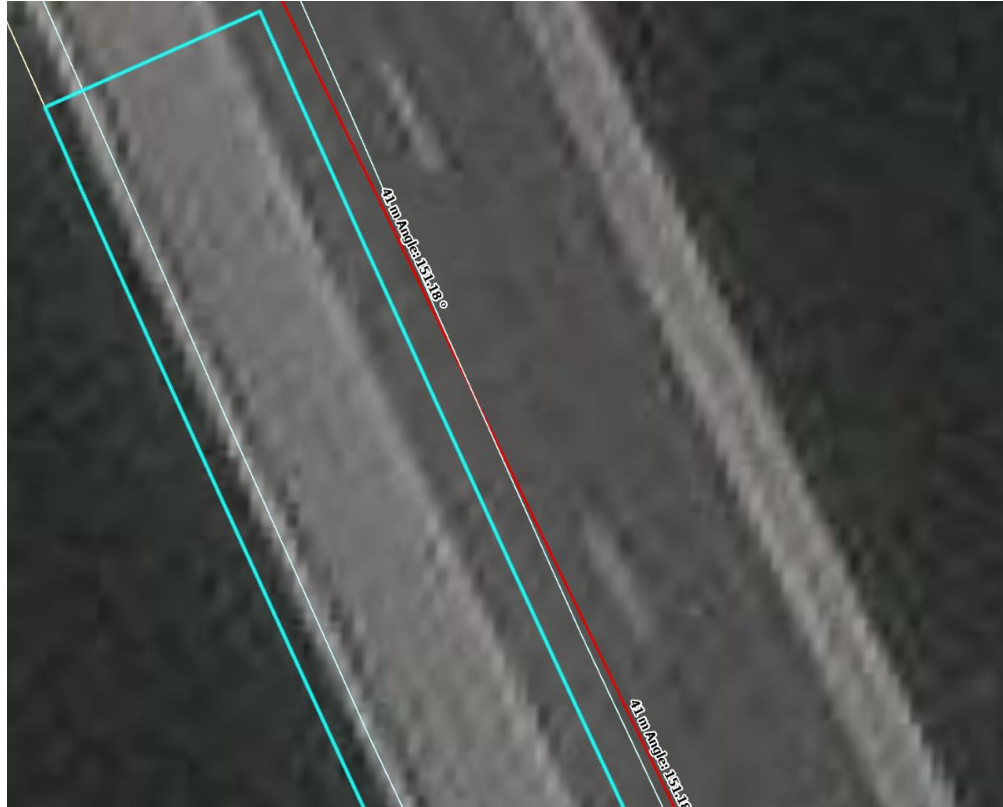
Testisilta B:n eri menetelmien avulla ilmakehään tuotujen ajolinjaviivojen välillä tehtiin vertailua. Viivojen välisiä etäisyyksiä toisiinsa tarkasteltiin käytetyssä ArcGis Pro

ohjelmistossa. Kuva 26 esittää eri menetelmillä testisillalla B tuotetut geometriatiedon omaavat ajolinjatiedot päällekkäin. Kuvassa punainen ajolinja on Taitorakennerekisterin geometriapistetietojen perusteella laskettu, valkoinen ilmakuvan perusteella digitoitu ja turkoosi tarkkuuspaikannuslaitteella mitattu. Voidaan huomata, että ajolinjat eivät ole toisiinsa nähden kohdakkain, vaan selkeästi eroavat toisistaan. Kuva 27 esittää ajolinjojen erot tarkemmalla tasolla, josta voidaan havaita, että etenkin tarkkuuspaikantimella mitattu ajolinjatiieto eroaa sijainniltaan muihin nähden.



**Kuva 26 Eri menetelmillä piirretyt ajolinjaviivat. Punainen geometriapistetiedosta laskettu. Valkoinen ilmakuvan perusteella digitoitu. Turkoosi tarkkuuspaikannuksella mitattu.**





**Kuva 27 Eri menetelmillä piirrettyjen ajolinjaviivojen eroavaisuus. Punainen geometriapistetiedosta laskettu. Valkoinen ilmakuvaan perusteella digitoitu. Turkoosi tarkkuuspaikannuksella mitattu.**

Taulukko 4 esittää tarkkuuspaikantimella mitatun, geometriapisteidien avulla lasketun ja ilmakuvaan perusteella digitoitun ajolinjaviivan etäisyydet toisiinsa nähden metreinä. Etäisyydet on tarkasteltu sillan keskipisteen kohdalta, sillan kannen eteläkärjestä, sekä pohjoiskärjestä. Taulukon perusteella voidaan havaita, että erot eri menetelmillä tuotettujen ajolinjojen välillä ovat merkittäviä.

**Taulukko 4 Eri menetelmillä tuotettujen ajolinjaviivojen etäisyydet toisiinsa nähden metreinä.**

Sijaintien erot toisiinsa nähden	Eteläkärki	Keskikohta	Pohjoiskärki
Mitattu vs. Geometriapisteidien avulla laskettu	1,2 m	0,96 m	0,58 m
Mitattu vs. Ilmakuvaan digitoitu	0,88 m	0,85 m	0,97 m
Geometriapisteidien avulla laskettu vs. Ilmakuvaan digitoitu	0,32 m	0,11 m	0,39 m

Mittauksen toteuttanut Pyydysmäki (2023) arvioi tarkkuuspaikannuslaitteen pystyvän jopa muutaman senttimetrin tarkkuuteen. Käytetyn tarkkuuspaikantimen Trimble R10 laitevalmistajan mukaan horisontaalinen tarkkuus on 3 senttimetriä (Trimble, 2019). Mikäli siis tarkkuuspaikantimella mitattua sijaintitietoa pidetään tutkimuksena tarkimpana tuloksena, voidaan todeta sekä geometriapisteidien avulla lasketun ja ilmakuvaan digitoitujen ajolinjan olevan haluttua puolen metrin tarkkuustasoa epätarkempia.

Geometriapisteidien avulla lasketun ajolinjan ja ilmakuvaan perustuen digitoimalla tuotetun ajolinjan väliset erot toisiinsa nähden eivät ole kuitenkaan yhtä merkittävät. Tämän ajatellaan perustuvan siihen, että Taitorakennerekisterissä annetut geometriapisteeet ovat myös saatettu määrittää ilmakuvan tai kartan perusteella. Tietoa kyseisen testatun sillan geometriapisteidien määrittämistavasta ei ole saatavilla. Siltojen geometriapistetiedoista 9 924 kappaletta on määritetty kartan perusteella ja vain 23 kappaletta on tarkemmitattu (Taittorakennerekisterin tuki, 2023).

### **6.2.1 Manuaalisesti kuvaan piirtämällä**

Ajolinjatiedon tuottaminen lopputuotteen aikaansaamiseksi vaatii joka tapauksessa jonkin verran manuaalista työtä ajolinjan tunnistamisen vaiheessa. Nykyisten sanallisten kuvausten läpikäynti ja erikoisia rakenteita omaavat sillat ovat haastavia automatisoida, joten on tehokkaampaa todennäköisesti käydä nämä manuaalisesti läpi. Nykyisten sanallisten kuvausten automaattinen läpikäyminen on hankalaa muiden kuin vakiolausekkeisten siltojen osalta. Manuaalisesti läpikäyntiä tehdessä voi toteuttaa yksinkertaisilla digitaalisilla piirustustyökaluilla ajolinjan piirtämisen kuvaan, kuten alaluvussa 6.1 testattiin.

Manuaalinen läpikäynti voitaisiin toteuttaa esimerkiksi siltojen kuntotarkastusten käsittelyn yhteydessä tai keskeisten kuljetusreittien osalta ensisijaisesti. Kun sopiva kuva on saatavilla, voidaan ajolinjatieto lisätä manuaalisesti kuvaan yksinkertaisilla piirtotyökaluilla aiemmin tunnistetun ajolinjatiedon mukaisesti. Ajolinja voidaan laskea kuvaan melko tarkastikin suhteessa sillan kaiteisiin tai reunoihin, mutta tarkkuus kärsii helposti, mikäli kuvaa ei saada suoraan sillan kannen keskeltä tai silta on kaareva.

Manuaalinen työ vie asiantuntijan aikaa nostoen kustannuksia. Menetelmän kustannuksia voidaan kuitenkin pitää kohtuullisina, sillä siltaa kohden tarvittava työmäärä on testin perusteella Taittorakennerekisterin kuvia käyttäessä nopeaa. Menetelmään kuluu arviolta noin puolituntia kuvaa kohden. Mikäli sopivaa kuvaa ei ole mahdollista saada lähtötietona, täytyy kuva käydä ottamassa sillalta. Kuvan ottaminen voidaan toteuttaa muun sillalla tapahtuvan työn yhteydessä madaltaen siitä aiheutuvia kustannuksia. Kuvan laatua voidaan myös parantaa käyttämällä droniam. Kuvaan

ajolinjan tuottaminen on kuitenkin vähemmän aikaa vievää, verrattuna esimerkiksi siltojen läpikäymiseen maastossa.

Sillantarkastuskäsikirjan (Väylävirasto, 2020) mukaan silloista tulee olla otettuna vähintään kaksi kappaletta yleiskuvia. Yleiskuvat tulee olla otettuna molemmista suunnista sillan päältä. Näissä kuvissa tulee näkyä sillan kaiteen aloitus. Nämä kuvat voivat olla parhaiten menetelmässä hyödynnettäviä. Kuvat ovat myös kohtuullisen ajantasaisia viiden vuoden välein aikataulutettujen tarkastusten takia. Testauksen perusteella kuitenkin voitiin havaita, että testisilta A tapauksessa otettu kuva oli jo vanhentunut, sillä siinä ei ollut silla päihin tehtyjä pisaraliittymiä, jotka vaikuttavat sillalle saapumisen ajolinjaan.

Testauksen perusteella kuvaan manuaalisesti ajolinjan piirtäminen on melko yksinkertaista, mikäli lähtötiedot ovat riittävät. Hyvä kuva ja tieto ajolinjan sijainnista suhteessa sillanrakenteisiin ovat tarvittavat. Itse ajolinjan piirtäminen kuvaan onnistuu hyvin nopeasti myös kokemattomammalta henkilöltä ilman korkeita kustannuksia.

### **6.2.2 Kuvantunnistusjärjestelmien avustama tuottaminen**

Kuvantunnistusjärjestelmiä käyttämällä on mahdollisuus vähentää manuaalisen työn tarvetta. Kuvantunnistusjärjestelmän avulla voidaan vähentää manuaalisen työn tuottamia virheitä. Perustapauksissa, joissa sillan rakenne on sama koko pituussuunnan matkalta, voidaan tunnistaa ajolinjan sijainti suhteessa sillan reunoihin tai kaiteisiin. Kuvantunnistusjärjestelmän avulla tunnistaminen käy nopeasti, mikäli pohja-aineisto on kunnossa. Keskeisimpänä haasteena on, ettei vastaavaa järjestelmää ole ja se tulisi kehittää tässä tutkimuksessa esitettyä tarvetta varten. Järjestelmän kehittäminen on alkukustannuksiltaan kallista.

Mikäli ajolinjatiedon tunnistaminen poikkileikkauksista tai alusrakennekuvista onnistuu myös kuvantunnistusjärjestelmällä, voidaan mahdollisesti samaa järjestelmää käyttäen toteuttaa ajolinjan piirtäminen sillan kannen kuvaan. Näin kehittyneen järjestelmän toteuttaminen on kuitenkin hyvin haastavaa. Kuvaan piirtäminen tulisi toteuttaa piirtämällä ajolinja kuvaan samassa suhteessa, kuin aiemmassa vaiheessa tunnistettu ajolinjan suhde sillan kaiteisiin tai reunoihin.

Rambollin kuvantunnistusprojekteissa mukana olleen asiantuntijan Yllikäisen (2023) mukaan haasteena on pohja-aineiston laatu ja kattavuus. Poikkileikkauksien vaihtelevuus ja ajantasaisuus, esimerkiksi korjausten jälkeen voi tulla isojen massojen tasolla hyödyntämisen esteeksi. Haasteena on myös sopivien kuvien saaminen ja kerääminen. Osasta siltoja kuvat tulisi käydä ottamassa. Kuvat olisi hyvä olla myös tarpeeksi yläviistosta, jotta siitä voi havainnoida ajolinjaa paremmin, jolloin dronilla

kuvaus olisi eduksi. Kuvat tulisi tuottaa myös molemmista suunnista siltaa, jotta sen tulkinta valvoijille ja kuljettajille olisi selkeämpää.

Prosessin etuna on visuaalisen kuvan helppo hahmotettavuus kuljettajan näkökulmasta. Sillan ylityksen valvonta tulisi edelleen toteuttaa paikan päällä valvomalla tai kuvausehdolla. Kvanttunnistuksella voitaisiin jälkikäteen verrata ylityksen onnistumista ajolinjan suhteen. Ylityksen kuvaamisen haasteena voivat olla huonot olosuhteet, kuten pimeys tai sumu. Kuvien laadusta riippuen tarkkuus on melko tarkkaa ja vastaa arvion perusteella asetettuun tavoitteeseen alle puolen metrin tarkkuudesta. Etuna on myös ajolinjatiedon kuvaan lisäämisen parempi tarkkuus, sillä automaattinen kuvantunnistusjärjestelmä pystyy paremmin huomioimaan kuvakulman vaikutuksen kuin kuvan silmämääräinen tarkastelu.

Yllikäisen (2023) mukaan siltojen monipuolisuuden ja määrän ansiosta kuvantunnistusjärjestelmä voi koitua hyvin epäkuustannustehokkaaksi vaihtoehdoksi. Merkittävä osa silloista tulee kuitenkin käydä manuaalisesti läpi tai tuotos vähintään varmistaa, jolloin kuvantunnistusjärjestelmän piirtämisen hyödyt laskevat. Myös järjestelmän kehittäminen tarvetta vastaavaksi vie paljon resursseja huomioiden, ettei tarve ole kuitenkaan jatkuva siltojen läpikäymisen jälkeen satunnaisia päivityksiä tai uusia siltoja lukuun ottamatta.

### **6.2.3 Taitorakennerekisterin geometriapisteistä**

Silloilla on geometriatietoja taitorakennerekisterissä. Silloilla on keskipistetiedon lisäksi myös kirjattuna useampi piste, jotka kertovat sillan inventointisuunnan. Ajolinjatiedon perusteella voidaan toteuttaa laskenta halutun ajolinjan geometriapisteille. Sillan suuntapisteet eivät ole välttämättä sillan tiettyyn kohtaan kohdistettuna, mutta niiden perusteella selvitetty suunta voidaan yhdistää keskipistetietoon.

Esimerkiksi mikäli sillan ylityksen haluttu ajolinja on keskipisteestä metrin oikealle, voidaan ajolinjalle laskea uusi geometriapiste. Näin saataisiin absoluuttinen ajolinjatieto geometriapisteinä, mikä olisi mahdollista esittää karttatasolla. Luvussa 6.1 ajolinjalle laskettiin geometriapisteet viivageometria pisteiden ja sillan keskipisteen avulla. Tarkastelu oli yksinkertaista toteuttaa ArcGis Pro -ohjelmalla. Kun tarkasteluja toteutetaan usealle sillalle kerralla, voidaan käydä läpi useita siltoja hyvinkin nopeasti kerralla.

Testatun prosessin perusteella siltaa kohti aikaa kuluu arviolta 15 minuuttia, ellei ajolinja ole tunnistettu sijoittuvan erikoisesti annettuihin suuntapisteisiin nähden. Geometriapisteistä ajolinjatiedon geometriapisteiden laskentaa voidaan pitää hyvin kustannuksiltaan edullisena menetelmänä suorille silloille.

Menetelmää ei kuitenkaan pidetä testauksen perusteella soveltuvana menetelmänä sen epätarkkuuden vuoksi. Vertailu pystyttiin toteuttamaan vain yhdelle sillalle, mutta testissä geometriapisteidä perusteella tuotettu ajolinjaviiva erosi merkittävästi tarkkuuspaikantimella mitatusta. Tällöin menetelmällä tuotettua ajolinjatietoa ei voida pitää luotettavan valvonnan apuvälineenä. Epätarkkuus geometriapisteillä voi vaihdella siltakohtaisesti, mutta tarkkaa geometriapistetietoa on saatavilla vain pienellä osalla Suomen tiesilloja.

Keskeisenä tarkkuuden haasteena menetelmälle tunnistetaan erimuotoisille silloille ajolinjatiedon tuottaminen. Mikäli silta on kaareva, siitä aiheutuu epätarkkuutta muuten kuin keskipistetiedon kohdalla. Taitorakennerekisteristä ei ole saatavilla tietoa kaarevuudesta. Taitorakennerekisterissä olevat geometriapisteeet voivat olla merkittynä sillan ilmakuvan perusteella, jolloin niiden lähtökohtainen tarkkuus on rajallinen tarkkuuspaikannukseen verrattuna.

#### **6.2.4 Digitoinnilla ilmakuvaan piirtämällä**

Ajolinjatietoa voidaan tuottaa myös ilmakuvaan digitaalisesti piirtämällä. Piirtämisen avulla ajolinjatieto voidaan suoraan esittää karttatasona, mutta myös käytetystä ohjelmasta riippuen geometriatietona. Digitoitu ajolinjatieto voidaan tallentaa suoraan kuvana Taitorakennerekisteriin, jolloin tieto toimii molemmista suunnista tarkastellessa. Digitoinnin tuloksena syntyvä geometriatieto voidaan esittää esimerkiksi geometriapisteinä, jotka ovat tallennettavissa esitettävissä taitorakennerekisterissä. Ilmakuvaan piirtäminen digitoimalla on tehtävissä ilman tarvetta maastokäynnille. Tämä nopeuttaa sillaston läpikäyntiä ja vähentää tarvittavia työtunteja vaikuttaen kustannuksiin.

Käytettävästä ilmakuvasta riippuen niiden päivitystiheys voi vaihdella. Maanmittauslaitoksen ilmakuvat päivitetään keväisin ja syksyisin, jolloin kuvat ovat aina kohtuullisen ajantasaisia. Haasteena päivitys syklissä on, että jos halutaan päivittää ajolinjatieto heti sillan muutosten tai rakentamisen jälkeen, vielä ei ole välttämättä uutta kuvaa saatavilla. (Maanmittauslaitos, 2023b) Maanmittauslaitoksen tuottamissa ilmakuvissa maaston korkeuserot ja kuvauksen kallistuskulmista aiheutuvat mittakaava vaihtelut poistetaan, jolloin korkeuseroilla ei ole ilmakuvaan digitoinnin kannalta merkitystä. Korkeuserojen aiheuttama kuvan maastovirhe korjataan sillan kohdalla alla kulkevan tienpinnan korkeuden mukaan ja sillalta jatkuvan tien kohdalta todellisen tienpinnan korkeuden mukaan, tien geometria vääristyy. Korjauksella saadaan ylikulkusillat kohdistettua oikeaan asemaan sillalla kulkevaan tiehen nähden. (Haggrén, 2002)

Rajoitteena on karttaan piirretyn geometriatiedon tarkkuus todelliseen maastossa mitattuun ajolinjaan nähden. Kartan tulee hyvin tarkasti vastata sillan todellista sijaintia, jotta sen vertailukelpoisuus säilyy. Menetelmää ei pidetä testauksen perusteella soveltuvana menetelmänä sen epätarkkuuden vuoksi. Vertailu pystyttiin toteuttamaan vain yhdelle sillalle, mutta testissä ilmakehuun digitoimalla tuotettu ajolinjaviiva erosi merkittävästi tarkkuuspaikantimella mitatusta. Tällöin menetelmällä tuotettua ajolinjatietoa ei voida pitää luotettavan valvonnan apuvälineenä.

Maanmittauslaitoksen ilmakuvat yhdistetään maastokoordinaatistoon ilmakehuvaussignaaleilla. Ilmakehussa olevan kohteen sijainnin tarkkuus riippuu käytetyn kameran rakenteesta ja kuvauksen korkeudesta. Kuvan sijainnin tarkkuuteen tulee virhettä maaston korkeuseroista ja keskusprojektiosta. Virhe on suurimmillaan kuvan reunoilla ja pienimmillään kuvan keskellä. (Maanmittauslaitos, 2023b) Menetelmän soveltuvuutta voidaan tarkastella uudelleen ilmakehujen kohdistamisen tarkkuuden parantuessa.

### **6.2.5 Absoluuttisen ajolinjatiedon tuottaminen satelliittipaikannusdatana**

Ajolinjatietoa voidaan tuottaa maastosta satelliittipaikannusdatana tarkkuuspaikantimen avulla. Haasteena menetelmälle on tarpeeksi tarkan ja luotettavan satelliittipaikannussignaalin saaminen ja kustannukset prosessista riippuen. Tarkan satelliittipaikannusdatan esteenä voi olla monet tekijät, kuten sää, rakennusten heijastumat, tarkkuus satelliittipaikannussignaalin saatavuus tai sillan rakenteet, jotka haittaavat signaalia (Verho, 2022).

Kun ajolinja on tunnistettu sillalle aiemmin kuvatulla tavalla poikkileikkauskuvaan ja sillan kannen kuvaan perustuvalla tarkastelulla, kuvantunnistusjärjestelmällä tai nykyisten sanallisten kuvausten perusteella, voidaan toteuttaa tarkkuussatelliittipaikannusmittaus. Näin voidaan tuottaa absoluuttista koordinaattijärjestelmään sidottua ajolinjatietoa. Tarkkuussatelliittipaikannusmittaus tarkoittaa, että sillalla käytäisiin tekemässä tunnistetun ajolinjan perusteella tarkkuussatelliittipaikannuslaitteen kanssa mittaus. Näin saataisiin tuotettua ajolinjasta dataa, josta voidaan suoraan toteuttaa automaattinen tarkastelu myöhemmin kuljetuksen suorittamasta ylityksestä, mikäli ajoneuvoista kerätään myös satelliittipaikannusdataa.

Tarkkuussatelliittipaikannuslaitteella maastomittauksen toteuttaminen sanallisen kuvauksen tai kaiteisiin nähden olevan suhdetiedon perusteella vaatisi vierailua sillalla. Näin voitaisiin varmistaa ajolinjan oikeellisuus mittauksen aikana ja taata laatu estäen virheellisen ylitysajolinjan päätyksen referenssiksi.

Tarkkuussatelliittipaikannusmittaus voidaan toteuttaa myös jatkoprosessina luvussa 6.1 esitetyle prosessille kuvaan tuotetun ajolinjatiedon pohjalta. Kuvaan tuotetun ajolinjatiedon perusteella ajolinjan mittaus tarkkuussatelliittipaikannuslaiteella on selkeämpi toteuttaa myös ilman erityisasiantuntijan paikallaoloa ja valvontaa. Jatkoprosessina tuotetun tarkkuussatelliittipaikannusmittauksen etuna on, että prosessin lopputuotteena voidaan tuottaa kuvalla visuaalisesti esitetty ajolinjatieto sekä absoluuttinen ajolinjatieto satelliittipaikannusdatana. Kustannuksia voidaan myös pienentää maastomittauksissa, mikäli ajolinjatiedon asiantuntijan ei tarvitse itsensä olla paikalla. Kuvalla esitetty ajolinjatieto palvelisi paremmin kuljettajien ajolinjan valintaa. Satelliittipaikannusdata auttaisi ylityksen valvontaa ja jälkikäteen toisi mahdollisuuksia valvonnan automatisointiin.

Vaihtoehtoisesti tarkkuuspaikannusmittaus voidaan toteuttaa myös sillan kiinteistä rakenteista, kuten testisilta B:llä mitattiin kaiteesta. Pisteiden mittaaminen on näin helpompaa, kun maastossa ei ole epäselvyyksiä oikeasta mittapisteestä. Pisteiden projisointi halutun ajolinjan kohdalle voidaan tällöin toteuttaa mitatun datan käsittelyvaiheessa.

Satelliittipaikannusmittauksella saadaan tuotettua hyvinkin tarkkaa sijaintitietoa. Pyydysmäen (2023) mukaan testauksessa käytetyllä tarkkuuspaikantimella voidaan selvittää sijainti jopa alle 10 senttimetrin tarkkuudella. Menetelmä on tarkkuudeltaan ja automatisoinnin mahdollisuuksiltaan eriomainen. Ajolinjatieto olisi verrattavissa ajoneuvoista sillanylityksen aikana kerättyyn sijaintitietoon, mikäli valvonnan automatisointia toteutetaan satelliittipaikannuspaikannuksen avulla. Menetelmästä aiheutuu kustannuksia erityisesti, mikäli mittaus suoritetaan erillisenä toimenpiteenä. Mittausta tehdessä sillalla tarvitsee hakea työ lupa, mikä voi ajokaistalla mittauksia tehdessä ajojärjestelyjen tekemisen. Erityisesti korkeanopeuksisilla ja ruuhkaisilla silloilla turvallisuus on huomioitava. Itse mittaus sillalla osoittautui testin perusteella hyvinkin nopeaksi.

Mittaus voidaan toteuttaa myös esimerkiksi sillan tarkastuksien yhteydessä, eikä tällöin tuo merkittäviä kustannuksia kuin tarvittavan laitteiston takia. Ammattikäyttöinen tarkkuuspaikannin maksaa laitteesta riippuen useita tuhansia euroja, sekä tämän lisäksi satelliittipaikannussignaalin lisenssi toista tuhatta euroa vuotta kohden. (Pyydysmäki, 2023) Kustannuksia voidaan kuitenkin pitää kohtuullisena saavutettaviin tuloksiin nähden, sillä vertailun perusteella menetelmä on ainoa, jolla voidaan tuottaa absoluuttista ajolinjatietoa halutulla tarkkuudella.

Mittausten haasteena tunnistetaan tarkkuutta heikentävien tekijöiden huomioiminen, kuten sääolosuhteet tai sillan rakenteet, jotka estävät tarkan signaalin saamista. Myös sillan tunnistetun ajolinjan kohdistaminen maastossa vaatii tarkkuutta, jotta tulokset eivät kärsi. Mikäli esimerkiksi mitattava ajolinjatieto on sillalla tietyllä etäisyydellä kaiteesta, on etäisyys tarkastettava mittapisteitä ottaessa.



## **7. TULOKSET JA JATKOKEHITYKSET**

Luvussa esitetään kirjallisuus katsauksen, asiantuntijoiden haastattelujen työpajan ja testausten perusteella muodostetut havainnot eri menetelmiin liittyen. Esitettäviksi menetelmiksi on valikoitunut viisi menetelmää asiantuntijoiden ja työpajan perusteella. Luvussa esitetään myös jatkotutkimuskysymyksiä, joilla tutkimuksen tuloksia voitaisiin tarkentaa ja kehittää.

### **7.1 Suositeltava menetelmä ajolinjatiedon tuottamiseen**

Eri menetelmät soveltuvat erilaisten tulosten tuottamiseen. Arviot menetelmien soveltumisesta valittuihin vertailukriteereihin nähden voidaan arvioida eri tavoin, mikäli haluttu loppukäytön kohde ajolinjatiedolle on erilainen. Menetelmien arviointia tehdään pitkälti vain erikoiskuljetusten valvonnan kehittämisen näkökulmasta.

Taulukko 5 ja 6 esittävät testausten ja vertailun perusteella tehtyä koostetta eri menetelmäprosessien ominaisuuksista halutuilla vertailukriteereillä. Taulukoissa vihreä väri kuvaa menetelmän sopivuutta tarkasteltavan vertailukriteerin näkökulmasta. Punainen ja keltainen väri kuvastavat, että menetelmässä on vertailukriteeriin liittyviä haasteita, jotka tulisi tarkastella menetelmän käyttöönottoa harkittaessa. Tarkemman perustelut arvioiduille sopivuuksille esitetään seuraavissa kappaleissa.

**Taulukko 5 Menetelmien, joiden lopputuotteena kuvaan piirretty ajolinjatieto vertailu asetetuilla vertailukriteereillä.**

Vertailukriteerit	Manuaalisesti kuvaan tuottaminen	Kvanttunnistusjärjestelmällä tuottaminen
<b>Kustannukset</b>	Mikäli sopiva kuva pohjatietona saatavilla, asiantuntijatyö kustannus arviolta 20–200 euroa per silta. Kuvauksesta lisäkustannuksia 100–1 000 euroa per silta.	Alkukustannuksia vaadittavan kehityksen vuoksi. Ylläpito- ja käyttökustannukset 5–500 per silta. Järjestelmän kehittäminen ja opettaminen arviolta 5 000–100 000 euroa.
<b>Tarkkuustaso</b>	Piirtäminen tarkasti sillan pituudelta on haastavaa kaarevuuksien, kuvakulman ja muiden tekijöiden vuoksi. Ei päästä alle puolenmetrin tarkkuuteen.	Tasalaatuisuus, ei manuaalisen työn virheitä. Riippuvainen käytetyn järjestelmän tarkkuudesta. Tarkkuustason arviointi edellyttää testaamista.
<b>Teknologian kypsyys ja osaaminen</b>	Teknologia helposti käytettävissä. Onnistuu yksinkertaisella kuvanmuokkaus ohjelmalla.	Teknologiaa ei ole suoraan valmiiksi käytettäväksi. Ei välttämättä sovellu erikoiskohteisiin.
<b>Automatisoinnin mahdollisuudet</b>	Ei tue sillan ylityksen valvonnan automatisoimista, mikäli valvonta toteutetaan satelliittipaikannuksella.	Ei tue sillan ylityksen valvonnan automatisoimista, mikäli valvonta toteutetaan satelliittipaikannuksella.
<b>Teknologian hallittavuus</b>	Manuaalisesti piirrettävää ajolinjaa voidaan kohdistaa kuvaan vapaasti.	Manuaalisten muokkauksen mahdollistaminen tuotettuun kuvaan tulee mahdollistaa.
<b>Tietoturva</b>	Ei havaittuja merkittäviä tietoturvahaasteita.	Ei havaittuja merkittäviä tietoturvahaasteita.
<b>Tiedonsiirto ja tallentaminen</b>	Kuva helposti tallennettavissa Taitorakennekisteriin.	Kuva helposti tallennettavissa Taitorakennekisteriin

Huono

Kohtalainen

Hyvä



**Taulukko 6 Menetelmien, joiden lopputuotteena ajolinjatieto geometriapistein tai -viivana vertailu asetetuilla vertailukriteereillä.**

Vertailukriteerit	Geometriapisteinä Taitorakennerekisterin pisteisiin perustuen	Geometriapisteinä ilmakuvaan digitoimalla	Satelliittipaikannusdatana tarkkuuspaikantimella
<b>Kustannukset</b>	Mikäli pohjatiedot saatavilla, asiantuntijatyö kustannus arviolta 20–200 euroa per silta. Geometriapisteidien paikannus 20–2000 euroa per silta.	Mikäli pohjatiedot saatavilla, asiantuntijatyö kustannus arviolta 20–100 euroa per silta. Ilmakuvan tuottaminen 1 000–10 000 per silta.	Vaatii sillalla käymistä. Voidaan hallita toteuttamalla muun vierailun, kuten sillan tarkastusten yhteydessä. Mittaus 1 500–10 000.
<b>Tarkkuustaso</b>	Geometriapistetiedot usein määritetty kartan/ilmakuvan perusteella, epätäsmällisesti kohdistettu. Kaarevuuden haasteet. Ei päästä alle puolenmetrin tarkkuuteen.	Ilmakuvan sijainnin tarkkuus koordinaatistoon nähden, sekä digitoidessa piirrettyjen pisteiden sijainnin tarkkuus. Ei päästä alle puolenmetrin tarkkuuteen.	Erittäin tarkka, jopa muutaman senttimerin tarkkuudella.
<b>Teknologian kypsyys ja osaaminen</b>	Teknologia helposti käytettävissä.	Teknologia helposti käytettävissä.	Teknologia helposti käytettävissä. Vaatii tarkkuuspaikantimen.
<b>Automatisoinnin mahdollisuudet</b>	Ajoneuvoista kerättävään satelliittipaikannusdataan verrattavissa.	Ajoneuvoista kerättävään satelliittipaikannusdataan verrattavissa.	Suoraan ajoneuvoista kerättävään satelliittipaikannusdataan verrattavissa.
<b>Teknologian hallittavuus</b>	Nojautuu vahvasti lähtötietojen tarkkuuteen.	Nojautuu vahvasti lähtötietojen tarkkuuteen.	Voi vaatia manuaalisesti virhemittausten suodattamista.
<b>Tietoturva</b>	Ei havaittuja merkittäviä tietoturva-asteita.	Ei havaittuja merkittäviä tietoturva-asteita.	Ei havaittuja merkittäviä tietoturva-asteita. Huomioitava henkilötietojen yhdistäminen.
<b>Tiedonsiirto ja tallentaminen</b>	Samassa muodossa kuin jo Taitorakennerekisterissä tallennetut geometriapistetiedot.	Samassa muodossa kuin jo Taitorakennerekisterissä tallennetut geometriapistetiedot.	Vaatii datan käsittelyn tallennettavaan muotoon

Huono

Kohtalainen

Hyvä



Taulukko 5 perusteella voidaan huomata, että kuvantunnistusjärjestelmän käyttäminen ajolinjatiedon tuottamisen menetelmää ei pidetä sopivana menetelmävaihtoehtona. Kuvaan manuaalisesti tuotettu ajolinjatieto omaa huonot automatisaation mahdollisuudet, sillä se ei tue sillan ylityksen valvonnan automatisoimista, mikäli valvonta toteutetaan satelliittipaikannuksella. Keskeisimpänä menetelmän haasteena kuitenkin tunnistetaan sen epätarkkuus, sillä tarkkuutta on haastavaa todentaa ja ajolinjan piirtäminen kuvaan hyvin tarkasti koko sillan pituudelta on haastavaa sillan kaarevuuksien, kuvakulman, ja muiden tekijöiden vuoksi.

Kvanttunnistusjärjestelmän hyödyntämisestä ajolinjatiedon tuottamiseen voidaan todeta olevan kustannuksiltaan epätehokas menetelmä, sillä järjestelmän alkukustannukset ovat korkeat vaadittavan kehityksen vuoksi. Teknologiaa ei ole suoraan valmiiksi käytettäväksi. Kuten manuaalisesti kuvaan piirretty ajolinjatieto, myös kuvantunnistusjärjestelmällä tuotettu kuva on haastava sillan ylityksen valvonnan automatisoinnin kannalta. Kun sillat on kerran käyty läpi ja ajolinjatieto tuotettu, ei järjestelmälle ole välttämättä enää tarvetta kuin yksittäisten siltojen tapauksessa niiden korjausten tai rakentamisen vuoksi. Järjestelmän ylläpidosta todennäköisesti aiheutuu turhan paljon kustannuksia satunnaiseen harvenevaan käyttöön nähden. Kvanttunnistusjärjestelmän ollessa itsessään hyvin automaattinen, on huomioitava, että pohjatieto tunnistetun ajolinjan sijainnista on kuitenkin annettava järjestelmälle todennäköisesti manuaalisesti.

Geometriapisteistä Taitorakennerekisterin tietoihin perustuen tuotettu ajolinja voidaan todeta melko hyvin vastaavan valittuihin kriteereihin paitsi tarkkuuteen. Olemassa olevien geometriapisteiden tarkkuustason epävarmuus johtuu pitkälti niiden tuottamismenetelmästä. Suurimmassa osassa siltoja geometriapistetiedot on määritetty Taitorakennerekisteriin kartan tai ilmakuvan perusteella, mikä ei välttämättä ole täsmällisesti kohdistettu. Myös siltojen erilaiset muodot, kuten kaarevuus aiheuttaa haasteita laskennalle, sillä kaarevuudesta ei ole valmista tietoa. Menetelmän etuna on, ettei se vaadi sillalla käymistä ja tarvittavat teknologiat, eli paikkatietojärjestelmät ovat käytettävissä matalin kustannuksin.

Ilmakuvan perusteella digitoimalla tuotettu ajolinjatieto vastaa hyvin kaikkiin asetettuihin vertailukriteereihin, paitsi datan tarkkuuteen. Menetelmä on kustannustehokas, teknologialtaan käytettävissä, sekä tietoturvan, tiedonsiirron ja tallentamisen kannalta

toimiva ratkaisu. Menetelmän avulla voidaan tuottaa ajolinja ilmakehuun piirrettynä, sekä geometriapisteinä, jolloin tiedon käyttäminen automatisaatiassa on todennäköisesti melko helppoa. Menetelmän tarkkuustaso taaskin rajoittaa käytettävyyttä. Kuten erimenetelmien vertailussa todettiin, ilmakehuun digitoimalla tuotettu on tarkkuudeltaan asetetun puolen metrin tarkkuustasoa heikompi. Tarkkuutta heikentää ilmakehuvan sijainnin tarkkuus koordinaatistoon nähden, sekä digitoimissa piirrettyjen pisteiden sijainnin tarkkuus. Mikäli menetelmällä tuotettu ajolinjatieto on tarkkuudeltaan epäluotettavaa, voidaan tulosta pitää merkityksettömänä.

Tarkkuuspaikantimella mitattu ajolinjan satelliittipaikannusdata on kustannuksiltaan nopeasti epätehokas menetelmä, mikäli se vaatii jokaisella tarkasteltavalla sillalla erikseen käymistä ja mittausten tekemistä. Kustannuksia voidaan kuitenkin hallita suunnittelemalla mittausten toteuttamista muiden sillalla vierailujen ohessa, kuten siltatarkastusten yhteydessä. Itse mittauksen lisäksi menetelmässä aikaa kuluu myös mitatun datan käsittelyyn. Tarkkuuspaikantimen antaman datan tulisi olla Taitorakennerekisteriin vietävässä ja käytettävässä muodossa. Menetelmä valitessa mittaustiedon paras muokkaustapa Taitorakennerekisteriin tallentamista varten olisi selvitettävä. Useiden geometriapisteen vieminen Taitorakennerekisteriin ei kuitenkaan ole Nykäsen (2023) haastattelun perusteella ongelmallista. Menetelmä tukee kuitenkin erittäin hyvin valvonnan automatisoimista, sillä mikäli varsinaisista erikoiskuljetuksien sillan ylyksistä kerätään dataa tarkkuuspaikantimella, on datat tällöin verrattavissa toisiinsa saman muodon ansiosta. Menetelmän tulokset ovat erittäin tarkat, mikäli käytetään tarpeeksi tarkkaa tarkkuuspaikanninta. Menetelmää pidetään vaihtoehtoista tarkimpana ja ainoana geometriapistettä tuottavana menetelmänä, joka pystyy luotettavasti vastaamaan asetettuun tarkkuustasoon.

## 7.2 Jatkotutkimuskysymykset

Tutkimuksen tuloksia tulisi tarkastella menetelmiin liittyvien ominaisuuksien ja tarpeen kehittyessä. Menetelmän avulla tuotettuja tuloksia voitaisiin mahdollisesti myös hyödyntää muissa prosesseissa ja jatkotutkimuksena perehtyä mahdollisia muita ajolinjatiedon tarvekohteita. Selvityskohteena voisi esimerkiksi tutkia voidaanko tuotettua ajolinjatietoa hyödyntää erikoiskuljetuslupaprosessissa.

Sillan valvonnan toteuttamisen yhteydessä voitaisiin selvittää, miten mahdollisesti huonosti toteutettuihin ylityksiin voidaan reagoida. Miten ajoneuvostakerättyyn dataan vertaaminen toteutetaan ja mitkä ovat rajat, jolloin suoritettu ylitys otetaan tarkempaan tarkasteluun. Onko mahdollista, että selkeästi halutusta ajolinjasta poikennut sillan ylitys

aiheuttaa esimerkiksi sillan tarkastuksen tarpeen tai muuten vaikuttavan sillan kunnan tarkastustiheyteen.

Jatkotutkimuskohteena voitaisiin selvittää, miten ajolinjatieto suhteessa sillan sijaintiin voitaisiin selvittää tehokkaamman prosessin avulla. Ajolinjan osoittaminen suhteessa sillan rakenteisiin vaatii useissa tapauksissa asiantuntijuutta sillan rakenteista ja tietoa sillalla olevista esteistä. Voittaisiin kuitenkin selvittää, onko esimerkiksi olemassa merkittävää määrää perustapauksia, joille ajolinjatieto voitaisiin määritellä massana tai jotakin automaatiota hyväksikäyttäen.

Ennen menetelmän käyttöönottamista tulee pohtia tiedon tallentamiseen mahdollisesti liittyviä haasteita. Tiedon suojaaminen on mahdollistettava tarpeellisella tasolla. On käytävä keskustelua, miten ja kenelle ajolinjatieto on lopulta saatavilla.

## 8. YHTEENVETO JA ARVIOINTI

Työssä pystyttiin vastaamaan esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Päättökysymyksenä esitettiin ”Millaisilla menetelmillä voidaan tuottaa sillan ylityksen ajolinjatietoa?” Menetelmiä valittiin tarkasteluun asiantuntijoiden haastattelujen, sekä työpajan perusteella viisi. Manuaalisesti kuvaan piirtäminen ja kuvantunnistusjärjestelmän käyttäminen tuottavat lopputuotteenaan ajolinjatiedon kuvaan esitettynä. Taitorakennerekisterin geometriapisteistä laskeminen, ilmakuvan avulla digitointi, sekä tarkkuuspaikantimella mittaaminen tuottavat ajolinjatiedon geometriatietona, mikä on yhdistettävissä esimerkiksi ilmakuvaan.

Alatutkimuskysymyksenä esitettiin ”Mikä on ajolinjatiedon tarve valvottuun sillanylitykseen liittyvässä prosessissa?” Ajolinjatiedon tarve tunnistettiin eri asiantuntijatahojen haastattelujen avulla. Ajolinjatiedon tarve tunnistettiin sillan ylityksen valvonnan kehittämisestä. Ajolinjatietoa tarvitaan, jotta erikoiskuljetusten sillanylityksien toteumalle saadaan vertailukohta. Ajolinjatiedon dataa voidaan hyödyntää valvonnan automatisoinnissa.

Toisena alatutkimuskysymyksenä esitettiin ”Mitä kriteerejä ja mahdollisuuksia menetelmien vertailuun liittyy?” Valvonnan automatisointi luo erityisesti kriteerejä esiteltävälle menetelmän lopputuotteelle. Menetelmien vertailukriteerit tunnistettiin valvonnan kehittämisen tarpeiden kautta mahdolliset resurssit huomioiden. Vertailukriteerit ovat kustannukset, tarkkuustaso, teknologian kypsyys ja osaaminen, automatisoinnin mahdollisuudet, teknologian hallittavuus, tietoturva, sekä tiedonsiirto ja tallentaminen.

Kolmantena alatutkimuskysymyksenä esitettiin ”Mitkä ovat vertailun perusteella suositeltavat menetelmät ajolinjatiedon tuottamiseen?” Ajolinjatiedon tuottamiselle selvitettiin useita vaihtoehtoisia menetelmiä, joiden lopputuote palvelee eri tavoin tunnistettua tarvetta valvonnan tukena. Suositeltavaksi menetelmäksi tutkimuksen perusteella valikoitui tarkkuuspaikantimella ajolinjatiedon mittaaminen. Menetelmä oli tarkkuudeltaan ainoa, joka pystyy varmimmin vastaamaan asetettua puolen metrin tarkkuustasoa. Menetelmän lopputuote myös tukee sillanylityksen valvonnan automatisointia parhaiten.

Tutkimuksessa on pystytty hyödyntämään laajaa asiantuntijajoukkoa kattavien näkökulmien saavuttamiseksi. Asiantuntijoiden laaja osallistuttaminen ja näkemysten yhdistäminen teoriapohjaan luo uskottavuutta tuloksille. Asiantuntijoiden näkemysten

perusteella koottiin potentiaalisia menetelmävaihtoehtoja, joille toteutettiin vertailua ja testauksia.

Ajolinjatieto voidaan tuottaa kuvaan piirtämällä. Menetelmä vaatii tarkkaa kuvaan piirtämistä, jotta ajolinja saadaan merkittävä oikeaan kohtaan. Menetelmä on kuitenkin kohtuullisen nopea ja kustannustehokas, mikäli käytössä on sopiva kuva, silloin ei ole tarvetta sillalla vierailulle. Menetelmää testatessa tarkasteleville silloille oli kuva saatavilla valmiiksi Taitorakennerekisterissä, mutta on hyvä huomioida, että kuvat voivat olla useita vuosia vanhoja ja niiden ottamisen jälkeen on voitu jo tehdä muutoksia.

Kuvaan tuotetun ajolinjan tuottamista voidaan tehostaa hyödyntämällä kuvantunnistusjärjestelmää. Menetelmän haasteeksi tunnistettiin järjestelmän kehittämisen kertakustannukset ja poikkeavien siltojen huomioiminen. Menetelmää ei työssä päästy testaamaan teknologian puutteen vuoksi. Voidaan kuitenkin todeta havaintujen haasteiden olevan läsnä tästä huolimatta.

Ajolinjatiedon tuottaminen Taitorakennerekisterin geometriapisteiden perusteella todettiin hyväksi menetelmäksi useilla vertailukriteereillä. Menetelmän haasteena löydettiin tarkkojen lähtötietojen saatavuuden haaste, sekä siltojen erilaiset muodot, kuten kaarevuus. Menetelmän testaaminen oli erityisen hyödyllistä havaintojen tekemiseksi. Suuntageometriapisteeet olivat annettu eritavoin eri silloille, mikä luo haasteen useiden siltojen käsittelylle. Menetelmän käytettävyyden arviointia kuitenkin haittaa se, ettei tiedetä geometriatietojen kattavuutta ja tarkkuutta Taitorakennerekisterissä.

Ilmakuvan avulla digitoitu ajolinjatieto vastaa lähes kaikkiin asetettuihin vertailukriteereihin hyvin. Menetelmän testaus onnistui helposti, eikä testauksessa havaittu merkittäviä haasteita. Menetelmä on joustava erilaisten siltojen käsittelyssä ja on helppokäyttöinen. Heikkouksina menetelmälle voidaan tunnistaa tarkkuutta rajoittavat tekijät, kuten ilmakuvan sijainnin tarkkuus koordinaatistoon nähden. Tarkkuus ei vastaa asetettua tarkkuustasoa, joten menetelmää ei sen takia suositella.

Ajolinjatiedon tuottaminen maastossa mittaamalla tarkkuuspaikantimella on automatisoinnin mahdollisuuksiltaan hyvä, mikäli valvontaa aiotaan toteuttaa kuljetuksien satelliittipaikannuksen avulla. Tällöin data on samassa muodossa verrattavissa. Menetelmä aiheuttaa kuitenkin kuluja, erityisesti mikäli ajolinjatietoa varten erikseen vierailaan silloilla mittaamassa. Kustannustehokkuutta voidaan parantaa toteuttamalla mittaukset muiden silloilla vierailujen yhteydessä, kuten siltojen tarkastusten.

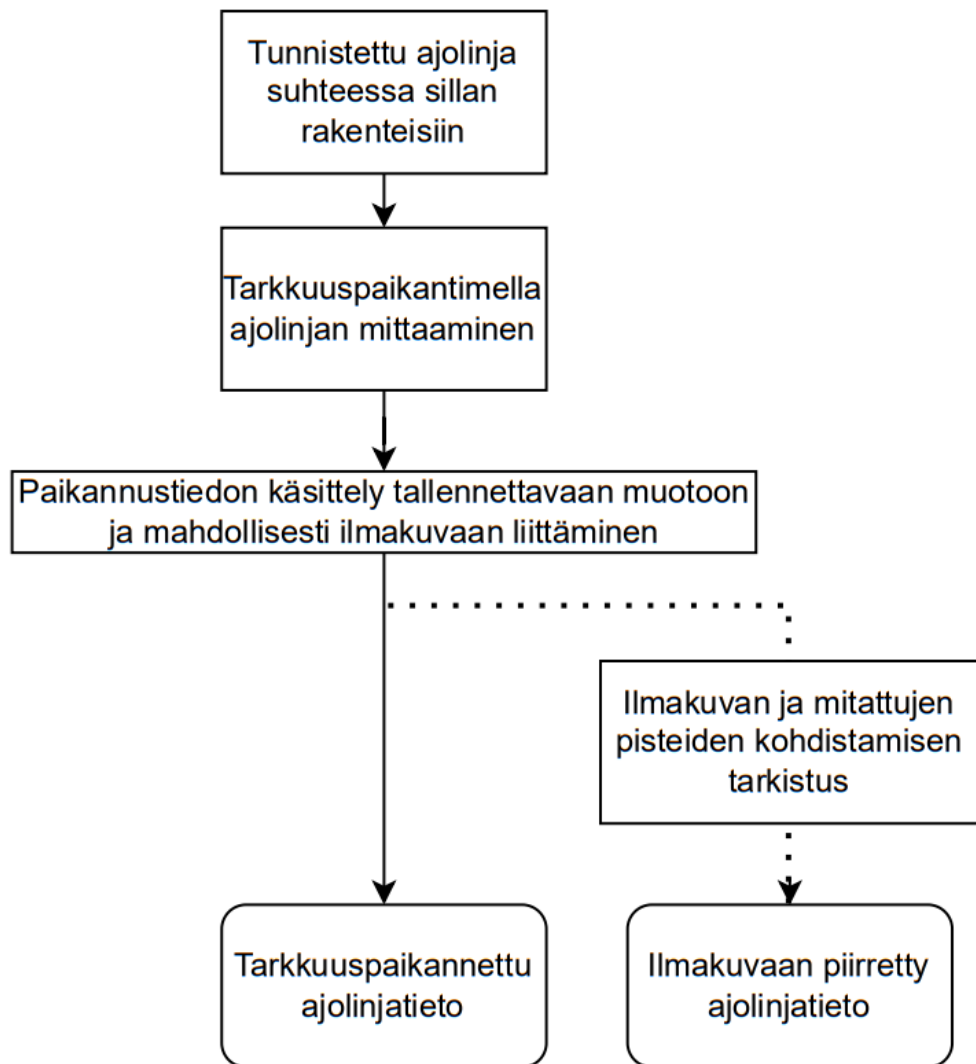


Tarkkuuspaikantimella mitattu ajolinjatieto on erittäin tarkkaa, jopa muutaman senttimetrin luokkaa etenkin perustapauksissa. Jotkin olosuhteet, kuten sillan merkittävät peittävät metallirakenteet tai lähellä olevat korkeat rakennukset, voivat heikentää mittaustuloksen tarkkuutta. Mittaus itsessään on nopea toimenpide, mikäli sillalle mennessä on selkeää mitä pisteitä paikannetaan. Tarkkuuspaikannetun datan käsittelyssä ilmeni testauksessa haasteita eri koordinaattijärjestelmien yhteensovittamisessa, mutta käsittely on prosessin tutuksi tultua nopeaa ja sopivalla ohjelmistolla helposti visuaalisesti esitettävissä esimerkiksi ilmakuvassa tai kartalla.

Valitun vertailukriteeristön lisäksi tarkkuuspaikantimella mitattava ajolinjatieto voidaan perustella muillakin ominaisuuksilla. Siltojen ylityksen valvonnan lisäksi menetelmä tukee muitakin toimia, kuten Taitorakennerekisterin nykyisten sijaintitietojen korvaaminen tarkemmin mitatuilla tiedoilla.

Huomioitavaa on, että silloilla mittausten tekeminen omaa turvallisuusriskejä, etenkin muun liikenteen toimiessa normaalisti sillalla. Erityisesti ruuhkaisilla ja korkeanopeuksisilla silloilla mittausten tekeminen on haastavaa. On varmistettava, että mittauksen tekijä on tietoinen oikeasta toiminnasta mittauksia tehdessään.

Kuva 28 esittää työn perusteella suositeltavan menetelmän prosessikaavion. Mikäli ajolinjatieto asettuu ilmakuvaan halutulla tavalla, missä maastossa mitattu piste vastaa ilmakuvassa olevaa, voidaan ajolinjatieto esittää myös ilmakuvassa. Erityisesti valvontaprosessin kehittäminen voi muuttaa ajolinjatiedolle kohdistuvia kriteerejä. Valvontaprosessin kehittäminen ohjaa menetelmän kautta tuotettavan tiedon muotoa. Nykyisessä kontekstissa tuloksia voidaan kuitenkin pitää hyvinä.



**Kuva 28 Suositeltavan menetelmän prosessikaavio.**

Suosittelvan menetelmän lopputuloksena voidaan toteuttaa ajolinjatieto sekä koordinaatistoon sidottuna absoluuttisena geometriatietoja, sekä mahdollisesti ilmakehussa esitetynä. Joka tapauksessa suositeltavan prosessin tuloksena on absoluuttinen ajolinjatieto, jota voidaan hyödyntää sillanylityksen valvonnan kehittämisessä.

## LÄHTEET

Barrot J. (2021) European Best Practice Guidelines for Abnormal Road Transports, European commission directorate-general for energy and transport, Saatavilla: [https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/abnormal\\_transport\\_guidelines\\_en.pdf](https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/abnormal_transport_guidelines_en.pdf), Viitattu: 6.4.2023

Bhat A. (2023) What is Field Research: Definition, Methods, Examples and Advantages, QuestionPro, Saatavilla: <https://www.questionpro.com/blog/field-research/> , Viitattu: 28.3.2023

Doyle, J.K. (2004) Introduction to interviewing techniques, in Wood, D.W. (Ed.), Handbook for IQP Advisors and Students, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, MA

ELY-keskus (2020) Kunnossapito. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavilla: <https://www.ely-keskus.fi/kunnossapito2>, Viitattu 14.4.2023

ELY-keskus (2022) Erikoiskuljetusluvan tarve. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavilla: <https://www.ely-keskus.fi/erikoiskuljetusluvan-tarve>, Viitattu 25.10.2022

ELY-keskus (2023) Sillat. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Saatavilla: <https://www.ely-keskus.fi/-/uud-liikenne-kunnossapito-sillat>, Viitattu 5.4.2023

Esri Inc. (2022). ArcGIS Pro (Version 3.0.3). Esri Inc. Saatavilla: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/overview>

Estromiz (2006) Rautasilta. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Rautasilta>, Viitattu: 6.4.2023

Haggrén H. (2002) Luento 7: Ortokuvien tuottaminen, Aalto yliopisto, Fotogrammetrinen kartoitus, Saatavilla: <https://foto.aalto.fi/opetus/220/luennot/7/7.html> Viitattu: 21.4.2023

Hirsjärvi, S. Remes, P. & Sajavaara, P. (2007). Tutki ja kirjoita, 13. painos, Tammi, 448 s.

Holmstrand T. (2023) Ruotsin erikoiskuljetusten lupa ja valvontaprosessi. Anna Eskolan haastattelu. 5.4.2023

Hylkilä A. (2022) Erikoiskuljetuslupa prosessit. Anna Eskola haastattelu. 15.11.2022

Katavisto, S. (2012) Ajoneuvon ulkoisen tiedonsiirron tietoturva. Suomi: Kajaanin ammattikorkeakoulu. 27 s.

Korpisaari, P. (2018) Henkilötiedot ja paikkatiedot. Miten tietosuojalainsäädäntö vaikuttaa paikkatietojen julkaisemiseen ja luovuttamiseen. Ympäristöministeriön raportteja. Ympäristöministeriö. 106 s.

Liikennevirasto (2015) Siltojen kantavuuslaskentaohje, Liikenneviraston ohjeita, Saatavilla: [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo\\_2015-36\\_siltojen\\_kantavuuslaskentaohje\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2015-36_siltojen_kantavuuslaskentaohje_web.pdf) , Viitattu: 8.3.2023

Maanmittauslaitos (2023a) Turvallisuus ja tietosuoja. MML Maanmittauslaitos. Saatavilla: <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/peruspaikkatietojentuotanto/tiedontuottajille/turvallisuus-ja-tietosuoja>, Viitattu: 3.1.2023

Maanmittauslaitos (2023b) Maanmittauslaitoksen ilmakeku. MML. Maanmittauslaitos. Saatavilla: <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevallekayttajalle/tuotekuvaukset/ilmakeku>, Viitattu: 13.4.2023

Nielsen J.V. (2022) Tanskan erikoiskuljetus käytännöt. Anna Eskolan haastattelu. 28.11.2022

Nolte, William L. Did I Ever Tell You About the Whale?, or, Measuring Technology Maturity. Charlotte, N.C: Information Age Pub., 2008. Print, 197 s.

Nykänen S. (2023) Ajolinjatieto Taitorakennerekisterissä. Anna Eskolan haastattelu. 20.2.2023

Olkkonen, T. (1994). Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön, toinen painos, Teknillinen korkeakoulu, 143 s.

Pietilä P. (2021) Erikoiskuljetusten reittiverkon kehittäminen – tieto kulkemaan – reitit turvallisiksi. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristöministeriö. Saatavilla: [http://www.liikenneturvallisuus.info/application/files/6516/3695/7267/5\\_ERIKU\\_PPietila.pdf](http://www.liikenneturvallisuus.info/application/files/6516/3695/7267/5_ERIKU_PPietila.pdf), Viitattu: 25.10.2022

Pyydysmäki J. (2023) Tarkkuuspaikannus ja droonikuvaus. Anna Eskola haastattelu. 18.4.2023

Qu S. ja Dumay J. (2011) The qualitative research interview. *Qualitative Research in Accounting & Management* (3), 238–264.

Saaranen-Kauppinen, A. & Puusniekka, A. (2006). KvaliMOTV – Menetelmäopetuksen tietovaranto, Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto, Saatavilla: <https://www.fsd.tuni.fi/menetelmaopetus/puuttuvat/puuttuvat.html>, Viitattu: 14.9.2022.

Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin, Vaasan yliopisto, 45 s.

Saunders, M. N. K. et al. (2019) Research methods for business students. Eighth edition. Harlow, England: Pearson Education.

Shrutika, S. et al. (2022) How to Conduct Field Research Study? – A Complete Guide, Enago Academy, Saatavilla: <https://www.enago.com/academy/how-conduct-field-research-study-complete-guide/>, Viitattu: 28.3.2023

Taitorakennerekisteri (2023) Väylävirasto. [Tietojärjestelmä] edellyttää oikeuksia. Viitattu: 11.2.2023

Taitorakennerekisterin tukipalvelu (2023) Siltojen ajolinjatieto. Anna Eskola sähköpostikysely 18.4.2023

Terävä S. (2012) Erikoiskuljetusten sillanvalvonta. Elinkeino- ja ympäristökeskus. Saatavilla: [https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset\\_siltojen+valvonta\\_koulutusmateriaali.pdf/d9229466-5cdf-4d26-9918-268b2a99b91f](https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_siltojen+valvonta_koulutusmateriaali.pdf/d9229466-5cdf-4d26-9918-268b2a99b91f), Viitattu: 25.10.2022

Tieto.Traficom (2021) Maantieverkon sillat ja silloituskohteet. Tieto.Traficom. Saatavilla: <https://tieto.traficom.fi/fi/tilastot/maantieverkon-sillat-ja-silloituskohteet>, Viitattu: 25.10.2022

Trimble (2019) Trimble R10 Model 2 GNSS System. Trimble. Saatavilla: [https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-04/022516-332A\\_TrimbleR10-2\\_DS\\_USL\\_0419\\_LR.pdf](https://geospatial.trimble.com/sites/geospatial.trimble.com/files/2019-04/022516-332A_TrimbleR10-2_DS_USL_0419_LR.pdf), Viitattu 4.5.2023

Tuomi, J. (2007). Tutki ja lue: Johdatus tieteellisen tekstin ymmärtämiseen, Tammi, 171 s.

Valter O. (2023) Viron erikoiskuljetusten lupa ja valvontaprosessi. Anna Eskolan haastattelu. 3.2.2023

Väylävirasto (2016) Tieliikenteen erikoiskuljetuksen järjestäminen ei ole läpihuutojuttu – lupa edellyttää selvittelyjä ja vaatii siksi aikaa. Väylävirasto. Saatavilla: <https://vayla.fi/-/tieliikenteen-erikoiskuljetuksen-jarjestaminen-ei-ole-lapihuutojuttu-lupa-edellyttaa-selvittelyja-ja-vaatii-siksi-aikaa>, Viitattu: 25.10.2022

Väylävirasto (2020) Sillantarkastuskäsikirja, Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus, Väyläviraston ohjeita 33/2020. Saatavilla: [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo\\_2020-33\\_sillantarkastuskasikirja\\_web.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-33_sillantarkastuskasikirja_web.pdf), Viitattu: 21.4.2023

Väylävirasto (2021) Väyläviraston sillat 31.12.2020, Väyläviraston julkaisuja 38/2021. Saatavilla: <https://www.doria.fi/handle/10024/181983>, Viitattu: 8.3.2023

Väylävirasto (2022a) Väyläviraston sillat 31.12.2021. Väylävirasto, Väyläviraston julkaisuja 53/2022. Saatavilla:

[https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185731/vj\\_2022-53\\_978-952-317-991-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185731/vj_2022-53_978-952-317-991-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y), Viitattu: 16.11.2022

Väylävirasto (2022b) Tieverkon kartat. Väylävirasto. Saatavilla: <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/kartat/tieverkon-kartat>, Viitattu: 25.10.2022

Väylävirasto (2022c) Taitorakennerekisteri. Sillat ja muut taitorakenteet. Palveluntuottajalle. Saatavilla: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/trex>, Viitattu: 8.3.2023

Verho H. (2022) Ajolinjadatan kerääminen kuljetuksista. Anna Eskola haastattelu 19.12.2022

Webster, J. & Watson, R. T. (2002). Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review, *MIS Quarterly*, Vol. 26(2), pp. xiii–xxiii.

Yllikäinen S. (2023) Kuvantunnistusjärjestelmät. Anna Eskola haastattelu 7.3.2023