

**UUDEN LIIKENTEEHALLINTAJÄRJESTELMÄN ALUSTAVA  
VAIKUTUSTENARVIOINTI VÄLILLÄ MUNKKIVUORI–KEHÄ 3**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Liikenneala, Riihimäki

Kevät 2021

Toni Paakkunainen

---

Tekijä	Toni Paakkunainen	Vuosi 2021
Työn nimi	Uuden liikenteenhallintajärjestelmän alustava vaikutustenarviointi välillä Munkkivuori–Kehä 3	
Ohjaaja	Nina Karasmaa	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia uuden liikenteenhallintajärjestelmän alustavia vaikutuksia liikenteen sujumuudelle valtatiellä 1 välillä Munkkivuori–Kehä 3. Työn tarkoituksena oli löytää liikenteen sujumuutta mittaava tekijä sekä osoittaa havainnollistava menetelmä, jonka avulla voidaan esittää liikenteen sujumuudessa tapahtuvia muutoksia.

Esiselvitys kytkeytyy Väyläviraston hankkeeseen, jossa rakennetaan uusi Suomen liikenneolosuhteisiin optimoitu liikenteenhallintajärjestelmä. Tutkimuskohteena toimi vilkkaasti liikennöity monikaistainen valtatieosuus, jossa suuret ruuhkatuntien liikennemäärät aiheuttavat huomattavia liikenteellisiä sujumuusongelmia. Osana uutta järjestelmäkokonaisuutta tieosuudelle toteutetaan ensimmäistä kertaa Suomessa kaistakohtaisesti vaihtuvat nopeusrajoitukset. Työn tilaajana toimi Fintraffic Tie Oy.

Tutkimus koostui liikennedatan määrällisestä analyysistä. Tulosten vertailua varten muodostettiin ennen–jälkeen-mittausasetelma. Johtopäätöksenä oli, että tulokset eivät olleet vertailukelpoisia vähäisten liikennemäärien takia. Aikaisemmat tutkimukset antoivat kuitenkin alustavaa näyttöä siitä, että uudella liikenteenhallintajärjestelmällä olisi positiivisia vaikutuksia liikenteen sujumuudelle. Työssä esitettiin kolmen liikennevirran perussuureen avulla, miten liikennevirran sujumuudessa tapahtuvia muutoksia voidaan esittää.

Avainsanat Liikenteenhallintajärjestelmä, liikennetiheys, liikenteen sujumuus

Sivut 30 sivua

---

Author	Toni Paakkunainen	Year 2021
Subject	Preliminary impact assessment of the new traffic management system between Munkkivuori–Kehä 3	
Supervisor	Nina Karasmaa	

---

ABSTRACT

The purpose of this thesis project was to study the preliminary effects of the new traffic management system on traffic fluidity on Highway 1 between Munkkivuori–Kehä 3. The purpose of the work was to find a factor for measuring traffic fluidity and to show an illustrative method to demonstrate changes in traffic fluidity.

The preliminary study is linked to the project of Väylä – Finnish Transport Infrastructure Agency project to build a new traffic management system optimized for Finnish traffic conditions. The project focused on a busy multi-lane highway section where high traffic volumes caused significant congestion problems. As part of the new system variable speed limits will be implemented for the first time in Finland lane-specific. The work was commissioned by Fintraffic Tie Oy.

The study consisted of a quantitative analysis of traffic data. To compare the results, a before–after measurement setup was formed. It was concluded that the results were not comparable due to low traffic volumes. However, previous studies provided preliminary evidence that the new traffic management system would have a positive impact on traffic fluidity. With the aid of three basic variables of traffic flow, the thesis showed how changes in the flow of traffic could be presented.

Keywords Traffic management system, traffic density, traffic fluidity

Pages 30 pages

## Sisälllys

Määritelmiä .....	..
1 Johdanto .....	1
2 Tietoperusta .....	2
2.1 Tieliikenteen sujuvuus .....	2
2.2 Vaihtuvat liikenteenohjausjärjestelmät.....	6
2.2.1 Vaihtuvien liikenteenohjausjärjestelmien toimintaympäristöt .....	6
2.2.2 Vaihtuvien liikenteenohjausjärjestelmien ohjauspolitiikat .....	6
2.2.3 Tutkimuksia vaihtuvista liikenteenohjausjärjestelmistä.....	9
3 Tutkimuskohteen kuvaus .....	15
4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät .....	16
5 Tulokset .....	18
6 Johtopäätökset .....	24
7 Pohdinta .....	26
Lähteet.....	29

## Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Suunnittelualue. (Väylä, n.d.) .....	16
Kuva 2. Liikennetiheyden ja liikennemäärän riippuvuus.....	22
Kuva 3. Liikennetiheyden ja keskinopeuden riippuvuus. ....	23
Kuva 4. Liikennemäärän ja keskinopeuden riippuvuus. ....	24
Taulukko 1. Vertailuajankohdan tunnusluvut. ....	19
Taulukko 2. Tarkasteluajankohdan tunnusluvut. ....	20

## Määritelmiä

**Ajokaista** on tiemerkinnoin osoitettu tai muu autolle riittävän leveä ajoradan pituussuuntainen osa tai osa pyöräkaistaa. (Finlex, 2018)

**Ajorata** on ajoneuvoliikenteelle tarkoitettu, yhden tai useamman ajokaistan käsittävä tien osa pyörätietä lukuun ottamatta. (Finlex, 2018)

**Keskinopeus** kuvaa yleensä keskimääräistä matkanopeutta. Tässä työssä keskinopeudet on mitattu keskimääräisellä pistenopeudella ja arvot esitetään yksikössä km/h.

**Kriittinen tiheys** on liikennetiheyden piste, jossa saavutetaan moottoritien välityskyky. Liikenteen tiheyden saavuttaessa kriittisen tiheyden, liikennemäärä alkaa laskemaan.

**Kriittinen nopeus** kuvaa liikennevirran keskinopeutta kriittisen tiheyden vallitessa. Kriittisen nopeusarvon jälkeen sekä liikennemäärä että nopeus alkavat laskemaan.

**Liikennemäärä** kuvaa laskettua liikennemäärää aikayksikössä. Tässä työssä liikennemäärät esitetään yksikössä ajoneuvoa/tunti.

**Liikenteen sujuvuus** kuvaa tässä työssä vapaiden ja toteutuneiden liikkumisolosuhteiden välistä eroa.

**Liikennetiheys** on liikenneyksiköiden määrä tien pituusyksikköä kohti. Tässä työssä liikennetiheydellä tarkoitetaan ajoneuvoa/km. Käytetään ensisijaisena liikenteen sujuvuutta kuvaavana mittarina monikaistaisilla tieosuuksilla.

**Liikennevirta** koostuu ajoradalla tai kaistalla samaan suuntaan ajavista liikenneyksiköistä (ajoneuvoista tai jalankulkijoista). Tässä työssä liikennevirta koostuu kevyistä sekä raskaista ajoneuvoista.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaaja on valtion erityistehtäväkonsernin Fintraffic:n tytäryhtiö Fintraffic Tie Oy, joka vastaa tieliikenteen ohjauksesta sekä hallinnasta. Työ kytkeytyy Väyläviraston hankkeeseen, jossa rakennetaan uusi Suomen liikenneolosuhteisiin optimoitu ainutlaatuinen liikenteenhallintajärjestelmä. Uusi liikenteenhallintajärjestelmä kattaa n. 15 kilometrin pituisen tieosuuden valtatiellä 1 välillä Munkkivuori–Kehä 3. Hankkeessa rakennetaan vaihtuvien nopeusrajoitusmerkkien lisäksi tiedotusopasteita, varoitusmerkkejä, liikenteenmittauslaitteita sekä kaksi tiesääasemaa. Hankkeessa toteutetaan ensimmäistä kertaa Suomessa kaistakohtaisesti vaihtuvat nopeusrajoitukset tarkastelualueen ruuhkaisimmalle tieosuudelle kehä 1:n ja kehä 2:n välille. Uuden järjestelmäkokonaisuuden odotetaan tuovan helpotusta vilkkaasti liikennöidyn työssäkäyntialueen ruuhkautumiseen sekä se mahdollistaa entistä ennakoivamman ja ajantasaisemman tilannetiedon välittämisen tienkäyttäjille. Hankeen päämäärät rakentuvat yhteiskuntataloudellisten tavoitteiden ympärille ja sen tärkein tavoite on liikenteen sujuvoittaminen.

Uuden liikenteenhallintajärjestelmän rakentamisen taustalla on merkittävät liikenteelliset sujuvuusongelmat, joita on todettu esiintyvän etenkin ruuhka-aikoina kehäteille erkanevilla kaistoilla. Tarkasteltavan tieosuuden kilometrien pituiset ruuhkat aiheuttavat vaaratilanteita kaistojen välisten nopeuserojen takia. Kaistakohtaisten nopeusrajoitusten odotetaan vähentävän ruuhkautuvien ramppien aiheuttamia hidastuksia ja täten parantavan liikenteen turvallisuutta.

Tutkimus on esiselvitys, jonka tavoitteena on tutkia uuden liikenteenhallintajärjestelmän alustavia vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle valtatiellä 1 välillä Munkkivuori–Kehä 3. Tarkoituksena on löytää liikenteen sujuvuutta mittaava tekijä sekä osoittaa havainnollistava menetelmä, jonka avulla voidaan esittää liikenteen sujuvuudessa tapahtuvia muutoksia. Työssä sujuvuuden käsitettä ja vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikuttavuutta pohjustetaan sekä suomalaisten että ulkomaisten tutkimusten ja julkaisujen kautta. Työssä kerätyn datan analysointi tehdään pistemäisen liikennetiedon pohjalta ja saadut tulokset esitetään numeerisesti sekä graafisesti.

## 2 Tietoperusta

### 2.1 Tieliikenteen sujuvuus

Suomalaisissa tieliikenteen sujuvuutta käsittelevissä julkaisuissa tieliikenteen sujuvuutta voidaan määritellä käsitteellisesti (esim. Luoma, 1998) tai sujuvuutta voidaan määritellä teiden palvelutasojen näkökulmasta (esim. Nevala ym., 2003; Ojala ym., 2007). Luoma (1998, s. 14) määrittelee tieliikenteen sujuvuuden koostuvan kolmesta erilaisesta päätekijästä: väylätekijät, liikennetekijät ja muut tekijät. Luoma raportoi Tielaitoksen selvityksessä, miten sujuvuutta voidaan hahmottaa eri näkökulmista ja, miten sen merkitys muuttuu tarkastelunäkökulman mukaan. Luoman mukaan käsitteet, kuten liikennöitävyys, toimivuus, tavoitettavuus, tehokkuus ja vaivattomuus kuuluvat sujuvuuden määritelmään, mutta määrittelyn sisältöön vaikuttaa tarkastelunäkökulma.

Luoman (1998, s. 11) mukaan yksilötasolla sujuvuuteen vaikuttaa eniten se, kuinka häiriöttömästi ja odotustensa mukaisesti tienkäyttäjät pystyvät liikkumaan tieosuudella. Subjektiviinen sujuvuus on Luoman mukaan tieliikennekäyttäjän tulkinta vallitsevasta liikennetilanteesta. Objekttiiviseksi tieliikenteen sujuvuudeksi kutsutaan taas liikennevirran sujuvuutta, jota mitataan tarkkailemalla liikennevirtaa tai yksittäisiä autoja. Järjestelmätasolla arvioidaan tieosuudelle kohdistuvan kysynnän häiritöntä ja tehokasta liikenteen välittämistä. Näitä kahta näkökulmaa arvioidaan Luoman mukaan eri mittareilla. Luoma toteaa julkaisussaan tärkeimmiksi sujuvuuden mittareiksi mm. matka-ajan, tavoitenopeuden, matkanopeuden ja liikennemäärät sekä olosuhdetekijät. (Luoma, 1998, ss. 12–14) Vaikka Luoman Tiehallinnolle kirjoittama selvitys 'Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen' on julkaistu vuonna 1998, ovat Luoman määritelmä sujuvuudesta ja mittarit sen arvioimiseksi edelleen päteviä.

Luoman (1998) julkaisussa sujuvuuden käsitettä määritellään tienpitäjän ja tienkäyttäjän näkökulmista. Tarkastelunäkökulman jakoa käytetään edelleen liikennevirran ominaisuuksien tarkasteluissa, joissa tienpitäjä havainnoi sujuvuutta lähinnä objektiivisten mittareiden, kuten matka-ajan tai matka-nopeuden avulla. Tienkäyttäjän subjektiiviset kokemukset tieliikenteen sujuvuudesta voivat taas perustua esimerkiksi haastatteluihin. Toisin kuin Luoma ovat Niinikoski ym. (2008, s. 44) tulleet Tiehallinnon selvityksessä siihen

lopputulokseen, että tieliikenteen käyttäjän näkökulmasta sujuvuutta voidaan määritellä myös objektiivisesti mitattavan, toteutuneen matka-ajan kautta. Toteutunutta matka-aikaa tarkastellaan selvityksessä mitattujen viivytysten ja normaalien matka-aikojen vertailuna.

Tiehallinnon selvityksessä 'Tieliikenteen palvelutason määrittäminen' (Ojala ym., 2007, s. 13) sujuvuuden määritelmä jaetaan osa-tekijöihin kuten matkanopeus, matkan kesto, ruuhkautumisen aste ja liikenteen ohjausratkaisut. Kyseiset tekijät kuvaavat sujuvuutta konkreettisemmin verrattuna Luoman (1998) julkaisussa esitettyihin käsitteisiin, ja ne toimivat objektiivisina mittareina määriteltäessä liikenteen sujuvuutta. Vastaavia tekijöitä kuvataan Nevalan ym. (2003, s. 18) selvityksessä, jossa matka-ajan- ja matkanopeuden lisäksi liikenteen häiriöt sekä ajomukavuus mainitaan liikennevirtaa kuvaaviksi tekijöiksi. Kyseisessä julkaisussa esitetyt sujuvuuden tekijät pohjautuvat amerikkalaiseen palvelutasoja määrittelevään teokseen Highway Capacity Manualiin (HCM), johon useimmat maailmalla julkaistut palvelutasoja käsittelevät teokset perustuvat.

Highway Capacity Manualissa on määritelty laajasti liikennevirran ominaisuuksia ja tieliikenteen sujuvuuden mittaamista. Teoksen mukaan liikennevirta voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan: keskeytymättömään ja keskeytettyyn virtaukseen. Kyseiset termit eivät kuvaa liikennevirtauksen laatua millään annetulla ajan hetkellä, vaan kuvaavat enemmänkin virtauksen luonnetta eli minkä tyyppisestä virtauksesta on kyse. Keskeytymättömälle virtaukselle on tunnusomaista, ettei tieosuudella ole esteitä liikkumiselle, eikä liikennevirtauksen keskeytymiselle ole järjestetty kiinteitä elementtejä, kuten esimerkiksi liikennevaloja. Valtatiet ovat yksi esimerkki keskeytymättömän liikennevirtauksen palveluista. Keskeytettyssä virtauksessa liikennevirtausta on hidastettu merkittävästi tai se pysäytetään säännöllisesti esimerkiksi liikennevaloilla tai pysäytys-merkeillä. (TRB, 2000, osa 2-1)

HCM esittää kolme suuretta, joiden avulla voidaan kuvata liikennettä millä tahansa ajoradalla: liikennemäärä, nopeus ja tiheys. Teoksen mukaan suureet nopeus ja tiheys ovat keskeiset osat keskeytymättömän virtauksen parametreista. (TRB, 2000, osa 7-1) Suomessa nopeuden ja tiheyden avulla pystytään mittaroimaan liikenteen sujuvuutta valtateillä. HCM nostaa liikennetiheyden kriittiseksi parametriksi liikennevirran tarkasteluissa ja sitä

käytetään Suomessa pääasiallisena palvelutasomittarina moottoriteiden linjaosuuksilla. (Ojala ym., 2007, s. 15)

Myös suomalaiset tutkijat ovat määritelleet tieliikenteen sujuvuutta tarkastelemalla liikenteen palvelutasoja (Luttinen ym. 2005). Luttinen ym. käsittelevät sujuvuutta eri liikennevirtateorioiden pohjalta. Luttisen ym. mukaan liikennevirran analysointi eri mallien avulla auttaa ennustamaan liikenteen sujuvuutta. Suomessa liikenneväylien palvelutasojen määrittely pohjautuu Highway Capacity Manualin mukaisiin menetelmiin, mutta Suomen olosuhteisiin sovitettuina (Ojala ym., 2007, s. 13). Tässä työssä tarkasteltavalla valtatieosuudella korkein näytettävä nopeusrajoitus on 100 km/h. Tiehallinnon selvityksen taulukon 2 (Ojala ym., 2007, s. 15) mukaan liikenne on sujuvinta palvelutasoluokassa A, liikennetiheyden arvon ollessa maksimissaan 7 ha/km/kaista ja sitä vastaavan liikennemäärän 700 ha/h/kaista. Taulukon perusteella moottoriteiden kriittisen tiheyden arvo – ja samalla välityskyky – olisi 28 ha/km/kaista palvelutasoluokassa E ja sitä vastaava liikennemäärä olisi 2300 ha/h/kaista. Luttinen ym. (Luttinen ym., 2005, s. 330) totetaa kuitenkin julkaisussaan moottoriteiden saavan helposti isompiakin tiheyden arvoja. Tässä työssä liikennetiheyden yksikkö on ajon/km ja esitetyt liikennemäärät sisältävät sekä kevyet että raskaat ajoneuvot. Tässä työssä liikennemäärän yksikkönä käytetään ajon/h. Fintraffic (Fintraffic, 2021) on soveltanut HCM:n palvelutasoja ja luonut kolmiportaisen liikenteen sujuvuutta havainnollistavan visuaalisen asteikon. Liikennetilanne-palvelussa kuvataan liikennemäärien ja keskituntinopeuksien avulla tarkastelupäivän liikenteen sujuvuutta kolmiportaisella asteikolla: sujuvaa (vihreä), jonoutunutta (keltainen) ja pysähtelee (punainen).

Edellä esitettyjen selvitysten ja tutkimusten perusteella liikenteen sujuvuudelle ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä määritelmää. Tosin HCM (TBR, 2000) toimii pohjana monille liikenteen sujuvuuden määritelmille yhtenäistään osaltaan kyseisiä määritelmiä. Luoman (1998) selvityksessä tarkastellaan pohjoismaiden erilaisia määritelmiä sujuvuudelle. Vaikka selvityksen perusteella muista pohjoismaista on löydettävissä samankaltaisia menetelmiä sujuvuuden kuvaamiselle kuin Suomessa, on Luoman mukaan jokaisella maalla oma tapansa määritellä ja arvioida tieliikenteen sujuvuutta.

Luoman (Luoma, 1998, ss. 64–66) mukaan Ruotsissa sujuvuuden koetaan riippuvan tien leveydestä ja muista tienkäyttäjistä. Tieverkon laatua mitataan tien leveyden sekä liikennemäärien avulla ja sujuvuutta kuvataan HCM:stä poiketen kolmiportaisella asteikolla A, B ja C, jossa A kuvastaa hyvää sujuvuutta ja C vakavaa sujuvuuspuutetta. Ruotsissa sujuvuus liitetään osaksi valtakunnallista liikenneverkon tehokkuustavoitetta. Norjassa painotetaan paikkojen välistä saavutettavuutta. Sujuvuutta mitataan täten eri paikkojen välisellä matka-ajalla. Norjassa tieverkon tarkoitus on kuljettaa ihmisiä ja tavaroita, joten tieverkon laatutason tulee täytyä. Nevala ym. (Nevala, 2003, s. 32) raportoivat Tanskan arvioivan sujuvuutta keskimääräisen matkanopeuden ja kuormitusasteen avulla, mutta ilman HCM:n mukaista luokittelua. Tanskassa sujuvuuden mittaaminen keskittyy moottoriteille.

Eri maiden tienpitäjien tavoista tarkastella tieliikenteen sujuvuutta nousee yhteneväisenä tekijänä esille matka-aika, jota Suomessakin voidaan käyttää yhtenä sujuvuutta mittaavista tekijöistä. Suomessa matka-aikatietoja kerätään pääkaupunkiseudun päätieverkolla rekisterikilpien automaattiseen tunnistukseen perustuvalla matka-ajan mittausjärjestelmällä ja se tuottaa matka-ajan lisäksi matkanopeus ja matka-ajan vaihtelutietoja. (Niinikoski ym., 2008, s. 30) Nämä tiedot yhdistettynä liikenteen automaattisen mittausjärjestelmän (LAM) keräämään dataan tuottavat reaaliaikaista tietoa liikenteen sujuvuudesta. Väyläviraston aktiivisia LAM-pisteitä on Suomessa noin 500 ja ne tuottavat maahan sijoitetun induktiosilmukan avulla jokaisesta ylittävästä autosta liikennetietoa. Jokaisesta ajoneuvosta on saatavilla ohituksen kellonaika, ajosuunta, ajokaista, ajonopeus, ajoneuvon pituus, peräkkäisten ajoneuvojen aikaero ja ajoneuvoluokka.

Tieliikenteen sujuvuuden yhteydessä käytetään myös liikenteen toimivuuden käsitettä. Toimivuudella voidaan viitata yleisesti liikenteen toimivuuteen, jonka yhtenä osa-käsitteenä voi olla sujuvuus (Nevala ym. 2003, s. 26). Toimivuudella voidaan viitata myös niihin liikennejärjestelmiin, joilla pyritään vaikuttamaan tieliikenteen sujuvuuteen (Ojala ym. 2007, s. 13). Tässä työssä tarkastellaan uuden liikenteenhallintajärjestelmän käyttöönoton alustavia vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle. Tässä opinnäytetyössä liikenteen sujuvuudella tarkoitetaan vapaiden ja toteutuneiden liikkumisolosuhteiden välistä eroa. Järjestelmän toimivuutta kuvaisi liikenneverkon kyky palvella liikennettä eli miten häiriöttömästi ja tehokkaasti liikenneverkko pystyy välittämään siihen kohdistuvan kysynnän.

## 2.2 Vaihtuvat liikenteenohjausjärjestelmät

### 2.2.1 Vaihtuvien liikenteenohjausjärjestelmien toimintaympäristöt

Kaistakohtaisesti vaihtuvia nopeusrajoituksia ei ole aikaisemmin Suomessa kokeiltu ja, siksi niiden vaikutuksista ei ole saatavilla tutkittua tietoa. Suomessa on kuitenkin ollut käytössä vaihtuvia tieliikenteen ohjausjärjestelmiä 1990-luvulta lähtien ja niitä on käsitelty useissa julkaisuissa. Suomessa vaihtuvan ohjauksen käyttökohteet perustuvat Liikenneviraston ´Tieliikenteen vaihtuvan ohjauksen palvelutasot´ julkaisuun, jossa tieverkko jaetaan kolmeen toimintaympäristöön vaihtuvan ohjauksen vaikuttavuuden näkökulmasta: korkean palvelutason käytävät, ruuhkautuvat ja turvallisuuskriittiset osuudet kaupunkiympäristössä ja muut tieverkot. Julkaisussa on määritelty kullekin toimintaympäristölle omat palvelutasotavoitteet. Julkaisun tavoitteena on yhtenäistää toimintoja ja parantaa palveluiden ymmärrettävyyttä tienkäyttäjän näkökulmasta. Vaihtuvaa ohjausta toteutetaan muu tieverkko -toimintaympäristössä vain erityistapauksissa ja ongelmakohteissa. Tämän työn osalta valtatie 1 on osana E18 korkean laadun käytävää, mutta hankkeen tarkastelualue rajoittuu ruuhkautuvat ja turvallisuuskriittiset osuudet kaupunkiympäristössä - toimintaympäristöön. Edellä mainitussa julkaisussa vaihtuvan ohjausjärjestelmän palveluilla tarkoitetaan mm. kaistaohjausta, vaihtuvia nopeusrajoituksia, ruuhkavaroituksia, kelivaroituksia ja tienvarsitiedotusta. Suomessa käytössä oleville vaihtuville ohjausjärjestelmille on yhtenäistä, että niiden tavoitteet tähtäävät liikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden parantamiseen sekä ympäristöhaittojen vähentämiseen. Kyseiset tavoitteet nivoutuvat toisiinsa, sillä sujuva liikenne on usein turvallista ja toimiva liikennevirta takaa häiriöttömän sekä ympäristöystävällisemmän liikenteen. Ohjausjärjestelmiä ohjataan yleisesti ajantasaisella liikennetiedon sekä sää- ja keliolosuhteiden perusteella ja näiden avulla pystytään tuottamaan ennakoivampaa liikennetilannetietoa tienkäyttäjille.

(Liikennevirasto, 2013, ss. 9–10)

### 2.2.2 Vaihtuvien liikenteenohjausjärjestelmien ohjauspolitiikat

Liikennevirasto on julkaissut vuonna 2014 ohjeistuksen vaihtuvan ohjausjärjestelmän ohjauspolitiikan laadinnasta. Ohjeessa on kuvattu yhtenäiset vaatimustasot ohjauspolitiikoille sekä määritetty järjestelmien ohjausperusteiden ja ohjausehtojen

suunnittelua. Ohjauspolitiikan laadinta on julkaisun mukaan täydentyvä asiakirja, jonka laadinta aloitetaan yleensä tien yleissuunnitelman aikana ja se toimii hankkeen alkuvaiheen liikenteenhallintajärjestelmän suunnittelua ohjaavana asiakirjana. Asiakirja täydentyy ja tarkentuu tiehankkeen suunnitteluprosessin myötä. Ohjeessa todetaan, että järjestelmien automatiikan ohjauksen perustana ovat erilaiset olosuhdetietoparametrit, kuten sää-, keli ja liikennetietoparametrit. Näiden pohjalta on määritetty neliportainen olosuhdeluokitus, joka toimii perustana nopeusrajoitusmerkkien ohjausehtojen laatimiselle. Olosuhdeluokituksessa kirjain A kuvaa hyviä olosuhteita, jolloin voidaan pitää korkeinta määritettyä nopeusrajoitusta. Kirjain D kuvaa vaarallisia olosuhteita, jolloin nopeus rajoitetaan alhaisimpaan määritettyyn nopeuteen. Ohjausjärjestelmissä sää- ja kelitietojen osalta keskeisimpiä kerättäviä parametrejä ovat keli- tai tilatieto, arvio tienpinnan kitkasta sekä tienpinnan lämpötila. Kyseisten parametrien kerääminen edellyttää tiesääasemia ja niiden yhteyteen asennettuja kaistakohtaisia tienpinta-antureita sekä kitka-antureita ajosuunnan oikeanpuoleiselle kaistalle. Julkaisu kehottaa kaistakohtaiseen havaintojen analysointiin ajokaistojen määrän ollessa ajosuunnassa kaksi tai enemmän. Ajantasaista liikennetietoa kerätään nykyisinkin LAM-pisteiltä tai LML-pisteiltä induktiotekniikalla. Vaihtuvien ohjausjärjestelmien liikennetieto-ohjauksen parametrit perustuvat edellä mainituilta pisteiltä kerättyihin ajoneuvohavaintoihin. Ohje mainitsee kolme liikennetieto-ohjauksessa käytettyä, ajoneuvohavaintoihin perustuvaa, laskennallista parametria: nopeussuure, liikennemäärä ja varausaste. Kuten sää- ja kelitietopohjaisissa ohjausehdoissa mainittiin, myös liikennetietopohjaisten ohjausehtojen tulisi perustua monikaistaisilla teillä kaistakohtaisiin havaintoihin. (Liikennevirasto, 2014, ss. 21–27)

S. Lindholm kirjoittaa Väylävirastolle ja Uudenmaan ELY-keskukselle tarkoitetussa liikenteenhallintajärjestelmän ohjauspolitiikan suunnitelmassaan tämän opinnäytetyön aiheena olevan hankkeen ohjauksen periaatteista. Suunnitelman mukaan tarkasteltavassa hankkeessa opasteiden ohjaustoimintoja ovat käsiohjaus, liikennemääräohjaus, ruuhkavaroitushajaus sekä sää- ja kelitieto -ohjaus. Ohjaustoiminnot perustuvat olosuhdeluokitukseen A–E. (S. Lindholm, Liikenteenhallintajärjestelmän ohjauspolitiikka, Liikenteenhallinnan rakennussuunnitelma, Väylävirasto, 11.11.2020)

Käsiohjaus on ohjaussuunnitelman mukaan prioriteetiltaan korkein ohjaus ja sen avulla järjestelmän käyttäjä voi ohjata opasteita mihin tahansa sallittuun ohjaustilaan ohi

automaatiikan. Liikennemääräohjaus perustuu kolmiportaiselle olosuhdeluokitukselle A–C ja siinä nopeusrajoituksia alennetaan, jos mittauspisteillä (LAM- & LML-pisteet) havaitaan suuria liikennemääriä. Ruuhkavaroitushjaus perustuu liikenteen seurantalaitteiden LAM- ja LML-pisteiden keräämään ajantasaiseen nopeustietoon. Tässä ohjaustoiminnossa varaudutaan suunnittelualueen liikenteen hidastumiseen ja voimakkaaseen jonoutumiseen. Ruuhkavaroituksen ohjaustoiminnot koskevat nopeusrajoituksia, varoitusmerkkejä sekä tiedotusopasteita ja ne toteutetaan koko suunnittelualueelle 15 km:n matkalle. Ruuhkavaroitushjauksen alaiseen järjestelmään kuuluu nopeusrajoitusten ohjaus. Suunnitelmassa esitetään, että nopeusrajoitukset määritellään kaistakohtaisten nopeussuureiden avulla. Kyseisessä hankkeessa nopeussuure vastaa Liikenneviraston 'Vaihtuvan ohjausjärjestelmän ohjauspolitiikan laadinta' ohjeen nopeussuureen laskentakaavaa. (Liikennevirasto, 2014, s. 26) Tämän hankkeen sää- ja kelitieto-ohjaus perustuu kolmiportaiseen olosuhdeluokkaan A–C. Tarkasteltavat havainnot kerätään kahdelta tiesääasemalta ja niiden yhteyteen asennetuista optisista keliantureista. Näiden lisäksi toteutetaan myös päällysteeseen asennettavat tien pinta-anturit.

Lindholm kirjoittaa suunnitelmassaan, että kaistakohtaisesti vaihtuvien nopeusrajoitusten ohjausta toteutetaan suunnittelualueella vain ruuhkaisimmalla kehä 1:n ja kehä 2:n välillä. Kyseisen osuuden ruuhkautuminen johtuu pääasiassa kehäteille erkanevien kaistojen suuresta liikennemäärästä. Suunnittelualueen muilla tieosuuksilla toteutetaan normaaleja vaihtuvien nopeusrajoitusten ohjausperiaatteita. Suunnitelmassa esitetään, että kattavalla liikenteen seurannalla ja riittävän tiheästi sijoitetuilla vaihtuvilla opasteilla pystytään reagoimaan liikennemäärien kasvuun sekä ruuhkautumiseen. Pääperiaatteena on nopeusrajoitusten ennakoiva alentaminen kaistakohtaisesti määritettyjen ohjaustoimintojen perusteella. Vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutusalueella 100 km/h on korkein näytettävä nopeus. Liikennemääräohjauksen avulla nopeus alennetaan ennakoivasti arvoon 80 km/h, kun liikennemäärät kasvavat ja ennen kuin liikenne ruuhkautuu päätieliittymävälillä. Tähän nopeusarvoon ohjataan myös huonoissa sää- ja keliolosuhteissa. Ruuhkavaroitushjauksen avulla nopeusrajoitus lasketaan puolestaan arvoon 60 km/h liikenteen mittauspisteiden tuottaman nopeustiedon perusteella. Nopeusrajoitus ohjataan tähän arvoon, kun huomataan voimakasta liikennevirran nopeustason alenemaa eli liikenteen pysähtelevyyttä tai seisomista. Kaistakohtaisesti vaihtuvien nopeusrajoitusten lisäksi tienkäyttäjälle näytetään vaihtuvia tiedotusopasteita, varoitusmerkkejä ja varoitusmerkkien lisäkilpiä.

Lisäkilpien avulla tienkäyttäjälle viestitetään esimerkiksi etäisyydestä ruuhkautuneeseen tien kohtaan tai ruuhkautuneen vaikutusalueen pituudesta.

### 2.2.3 Tutkimuksia vaihtuvista liikenteenohjausjärjestelmistä

Suomessa vaihtuvien ohjausjärjestelmien vaikutuksia käsittelevät tuoreimmat tutkimukset sijoittuvat 2000-luvun alkupuolelle. Tutkimuksissa on tarkasteltu mm. automaattisten ohjausjärjestelmien vaikutuksia liikennevirtaan (Innamaa ym., 2000) sekä sään ja kelin perusteella vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. (Rämä ym., 2003 & Schirokoff ym., 2005) Kaistakohtaisten nopeusrajoitusten vaikutuksia moottoriteiden liikenneturvallisuuteen simulaation keinoin ovat tutkineet mm. Liu ja Shi 2018 julkaistussa tutkimusartikkelissa. He tarkastelevat tutkimuksessaan kaistakohtaisesti vaihtuvan ohjausjärjestelmän lisäksi kuljettajien nopeusrajoitusten noudattamisasteen vaikutuksia turvallisuuden tasoihin. Tutkimusten perusteella yleisvaikutelma vaihtuvista ohjausjärjestelmistä on positiivinen. Vaihtuvien ohjausjärjestelmien avulla näyttisi pystyvän vaikuttamaan liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen.

Vuonna 2000 Tielaitoksen selvityksessä tarkasteltiin Länsiväylän automaattisen liikenteenohjausjärjestelmän vaikutuksia liikennevirtaan (Innamaa ym., 2000). Tarkastelualueelle oli asennettu ruuhkautumisesta ja jonoista varoittava ohjausjärjestelmä, joka tienkäyttäjälle näkyi vaihtuvina nopeusrajoitus- ja varoitusmerkkeinä. Ensimmäinen ohjausvaihe toteutettiin vuonna 1996 ja toinen ohjausvaihe vuonna 1999. (Innamaa ym., 2000, s. 15) Selvityksessä todetaan, että vaikka suunniteltu järjestelmä ei tulisi ruuhkia kokonaan poistamaan, sen tärkeimpänä päämääränä liikenteen ja ympäristön kannalta oli liikenneturvallisuuden parantaminen ja ruuhkautumisesta aiheutuvien haittojen lieventäminen. Tuloksista selvisi, että Länsiväylän automaattisella ohjausjärjestelmällä oli positiivisia vaikutuksia liikennevirtaan, mutta se ei täyttänyt sille asetettua tehtäväänsä liikennevirran harmonisoinnissa. Selvityksessä raportoidaan alennettujen nopeuksien vaikuttaneen erityisesti silloin, kun nopeusrajoituksen yhteyteen liitettiin keliolosuhteista tai turvallisuudesta, kuten esimerkiksi liukkaasta ajoradasta, varoittava varoitusmerkki. Päinvastainen vaikutus ajonopeuteen havaittiin syntyvän silloin, kun nopeusrajoitukseen yhteyteen liitettiin ruuhkasta varoittava merkki. Ajonopeudet olivat siis korkeampia ruuhkasta varoittavassa tilanteessa kuin tilanteessa, jossa varoitusmerkkejä ei näytetty.

Tuloksista selvisi lisäksi, että sää- ja keliolosuhteet vaikuttavat liikennevirran ominaisuuksiin voimakkaimmin. Alennettujen nopeusrajoitusten vaikutus oli siis sitä voimakkaampi, mitä heikompi ajokeli oli. (Innamaa ym., 2000, ss. 74–80) Länsiväylältä kerättyjen tulosten perusteella voidaan siis todeta vaihtuvien opasteiden vaikuttavan positiivisesti liikennevirran ominaisuuksiin. Paras vaikutus saatiin, kun alennettujen nopeusrajoitusmerkkien yhteyteen liitettiin turvallisuuteen viittaava varoitusmerkki. Aineiston ja autoilijoiden subjektiivisten näkemysten perusteella voidaan siis päätellä, että silloin, kun alennetut nopeusrajoitukset koetaan ns. oikeutetuiksi tai siihen sisältyy jokin ajoturvallisuuteen liittyvä syy, kuljettavat ovat valmiita laskemaan ajonopeuksia.

Liikenne- ja viestintäministeriön teettämässä tutkimuksessa Vaihtuvien nopeusrajoitusten laajamittainen käyttö Suomessa (Schirokoff ym., 2005) tutkittiin sää- ja keliolosuhteiden mukaan vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutuksia liikenneturvallisuuteen. Liikennetilanteen pohjalta ohjattujen vaihtuvien opasteiden käyttöä ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu. Tutkimuksessa selvitettiin turvallisuustavoitteiden lisäksi järjestelmän rakennus- ja ylläpitokustannuksia sekä hyöty-kustannuslaskelmien avulla järjestelmän kannattavuutta. Tarkasteltavaksi valittu tieverkko valtatie 7 jaettiin kolmeen eri laajuiseen osaan liikenneturvallisuuden ja liikennemäärien perusteella. Tutkimuksen turvallisuusvaikutusten laskenta pohjautui vuoden 2003 Tiehallinnon selvitykseen muuttuvien nopeusrajoitusjärjestelmien turvallisuudesta (Rämä ym., 2003). Järjestelmän turvallisuusvaikutuksia liikenteelle arvioitiin mm. turvallisuus- sekä nopeusmuutosten perusteella. Tuloksista selvisi sää- ja keliohjatun järjestelmän vaikuttaneen liikenneturvallisuuteen vähentäen henkilövahinko-onnettomuusriskiä n. 10 %. (Schirokoff ym., 2005, s. 37) Tutkimuksessa havainnollistetaan vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutuksia keskinopeuksiin moottoritiellä sekä moottoriliikennetiellä aikaisemman kerätyn aineiston perusteella. Tulosten perusteella keskinopeudet alenivat järjestelmän vaikutuksesta, vaikka huonon sään todetaan alentavankin nopeuksia jo ennestään. Tarkasteltavalla moottoritieosuudella nopeuksien alentamisen katsottiin pienentävän myös nopeuksien keskihajontaa. Yksiajorataisilla tieosuuksilla alinta mahdollista nopeusrajoitusta näytettiin vain pienen osan ajasta ja tästä syystä todettiin keskinopeuksien nousseen. Tutkimuksessa mainitaan, että vaihtuvien nopeusrajoitusten alaisilla tieosuuksilla oli käytössä vaihtuvia liukkaan ajoradan varoitusmerkkejä ja näiden turvallisuudesta ilmoittavien merkkien

todettiin edistävän keskinopeuksien alenemista entisestään 1–4 km/h. (Schirokoff ym., 2005, ss. 18–20)

Edellä mainittun Liikenne- ja viestintäministeriön teettämään tutkimuksen ja vuoden 2000 Tielaitoksen Länsiväylällä tekemän tutkimuksen perusteella voidaan todeta vaihtuvien opasteiden lisäävän liikenneturvallisuutta ja alentavan keskinopeuksia. Molemmista tutkimuksista käy ilmi, että alennettuja nopeusrajoituksia uskotaan paremmin, kun niiden yhteyteen liitetään oikea-aikainen ja turvallisuuteen perustuva varoitusmerkki. Liikenne- ja viestintäministeriön tutkimuksessa todetaan lisäksi, että vaihtuvien nopeusrajoitusjärjestelmien rakentaminen näyttäisi olevan kerätyn aineiston perusteella kannattavaa Suomessa ja, että ne vastaavat parhaiten liikenneturvallisuudelle ja yhteiskuntataloudelle asetettuihin tavoitteisiin ympärivuotisesti käytettyinä ja sään, kelin sekä ajantasaisen liikennetiedon pohjalta ohjattuina. (Schirokoff ym., 2005, s. 38)

Kuten Schirokoffin ja Innamaan tutkimuksista käy ilmi, vaikuttaa autoilijoiden subjektiivinen kokemus nopeusrajoituksista niiden noudattamiseen, ja sitä kautta vaihtuvien nopeusrajoitusjärjestelmien vaikuttavuuteen. Edellä mainitut tutkijat ovat kuitenkin perustaneet tutkimuksensa liikennevirrasta saatuihin, mitattaviin tuloksiin. Liikennevirran ominaisuuksia voidaan tarkastella myös yksinomaan tieliikennekäyttäjän subjektiivisesta näkökulmasta. Tiehallinnon selvityksessä Muuttuvat nopeusrajoitukset autoilijoiden kokemina (Schirokoff & Vitikka, 2001) selvitettiin tienkäyttäjien mielipiteitä muuttuvasta nopeusrajoitusjärjestelmästä, joka asennettiin valtatielle 9 tammikuussa vuonna 2000. Tarkasteluosuuden järjestelmä perustui sää- ja kelitietojen keräykseen ja se koostui 26:sta muutettavasta nopeusrajoitusmerkistä. Mielipiteitä selvitettiin tienvarsihaastattelulla kaksi kuukautta järjestelmän käyttöönoton jälkeen. Selvityksestä saatujen tulosten perusteella tienkäyttäjät pitävät muuttuvia nopeusrajoituksia yleisesti tarpeellisina ja uskovat niiden parantavan liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta. Vain 2 % vastanneista piti järjestelmää täysin tarpeettomana. Kolmannes vastaajista koki muuttuvien nopeusrajoitusten vastaavan paremmin todellista ajotilannetta kuin kiinteät merkit. (Schirokoff & Vitikka, 2001, ss. 21–22) Järjestelmän nopeusrajoitusarvot olivatkin tutkimuksen mukaan lähes kaikkien (93 %) mielestä enimmäkseen oikein asetettuina. (Schirokoff & Vitikka, 2001, s. 26) Selvityksen subjektiivisista tuloksista voidaan päätellä, että tienkäyttäjillä on luottamusta liikenteen telematiikan ratkaisuihin valtatieväylillä ja vahva usko siihen, että nopeusrajoitusmerkeissä

esitettävä arvo perustuu todelliseen liikennetilanteeseen. 2000-luvun alun tutkimuksien tulokset ja tämän haastattelututkimuksen aineisto vahvistavat käsitystä siitä, että liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta parantavan ohjauksen perusta on ajantasaisuus ja ohjauspolitiikan yhdenmukaisuus. Tämä tutkimustulos on tosin osin kyseenalaistettavissa Innanmaan ja Schirkoffin tutkimusten perusteella. Innanmaa ja Schirokoff ovat molemmat tulleet johtopäätökseen, että tieliikennekäyttäjät eivät aina koe vaihtuvia nopeusrajoituksia perustelluiksi. Tämä voidaan tulkita epäluottamuksena muuttavia nopeusrajoituksia kohtaan.

Suomessa kaistakohtaisesti vaihtuvia nopeusrajoituksia ei ole aikaisemmin kokeiltu, joten niiden vaikuttavuudesta ei ole tutkimustuloksia. Liu ja Shi ovat kuitenkin tutkineet simulaation avulla, millaisia vaikutuksia liikenteen turvallisuudelle saadaan kaistakohtaisilla nopeusrajoituksilla. Tutkimuksessa tarkastellaan lisäksi millaisia vaikutuksia kuljettajien määräysten noudattamisen asteella on turvallisuuden eri tekijöihin. Turvallisuustekijöiksi tutkimuksessa mainitaan kaistanvaihdon tiheys, nopeuden vaihtelukerroin sekä onnettomuuspotentiaali. Tutkimuksessa tulokset esitetään kuvaajina, joissa edellä mainittuja turvallisuustekijöitä verrataan suhteessa erilaisiin liikennetiheyksiin. Nykyisen Suomessa järjestettävän hankkeen tarkastelualue käsittää monikaistaisen valtatieosuuden ja se eroaa kaistojen suhteen Liun ja Shin tutkimuksessa mallinnetusta ympäristöstä. Tutkimusympäristö mallinnettiin kaksikaistaiseksi kehätieksi, joka sallii nopeusrajoitusasetukset kaistakohtaisesti. Tutkimuksessa luotiin kolme vaihtoehtoista skenaariota, joista kaksi toimi uusien kaistakohtaisesten nopeusrajoitusasetuksien alaisuudessa ja näitä kahta verrattiin tavanomaisia nopeusrajoituksia käyttävään asetukseen. Luomalla eri nopeusperusteisia skenaarioita, pystyttiin hahmottamaan nopeusasetuksen vaikutukset turvallisuustasojen muutoksiin. (Liu & Shi, 2018)

Liu ja Shi (2018) arvioivat tutkimuksessaan kaistakohtaisen nopeusjärjestelmän vaikutuksia edellisessä kappaleessa mainituille turvallisuustekijöille. Vaikutuksia havainnointiin eri skenaarioiden kautta sekä vaihtamalla kuljettajien määräysten noudattamisastetta. Tuloksista selvisi, että kaistakohtaisella nopeusjärjestelmällä on potentiaalia pienentää nopeuden vaihtelua ja kaistanvaihdon tiheyttä sekä potentiaalia vähentää onnettomuusriskiä. Tutkimus osoittaa, että moottoritieosuuksilla etenkin hitaiden kulkuneuvojen noudattaessa nopeusrajoituksia, turvallisuusvaikutukset ilmenevät

voimakkaimmin. Tähän viitaten tutkimuksessa todetaan kaistanvaihdon tiheyden sekä nopeusvaihteluiden kohoamisen liittyvän määräysten noudattamisen asteen pienentymiseen. Kaistanvaihtotiheyden ja nopeustasojen kasvaessa myös riski onnettomuustilanteisiin kohoaa. (Liu & Shi, 2018, ss. 8–10)

Nopeuksien hajonnan vaikutuksista onnettomuusriskiin on kirjoitettu mm. VTT:n tutkimuksessa 'Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset' (2014). Tutkimus esittää, että useiden tutkimuksien mukaan nopeuksien keskihajonnan kasvun lisäävän onnettomuusriskiä. Tutkimukset eivät kuitenkaan ole aivan yksiselitteisiä siitä, että onnettomuusriskin kasvu johtuisi juuri nimenomaan nopeuksien hajonnan kasvusta. Julkaisun mukaan Liun ja Shin tutkimuksessakin käytetty nopeuksien vaihtelukerroin on parempi kuvaamaan nopeuksien hajontaa. VTT:n julkaisussa viitataan Elvikin vuoden 2014 'Nopeus ja liikenneturvallisuus' -raporttiin ja siinä esiteltiin tutkimuksiin, joissa esitellään nopeuden vaihtelukertoimen vaikutuksia onnettomuusriskiin. Elvikin esittelemien tutkimusten mukaan tulokset viittaavat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta siihen, että nopeuden vaihtelukertoimen kasvu lisäisi onnettomuusriskiä tulosten suuresta vaihtelusta huolimatta. (Kallberg ym., 2014, s. 24)

Liun ja Shin tutkimuksen mukaan kaistakohtaisen nopeusrajoitusjärjestelmän eduiksi luetaan, että järjestelmä pyrkii rajaamaan hitaammin kulkevat ajoneuvot tietyille (usein uloimmille) kaistoille, jolloin muilla kaistoilla voidaan pitää korkeampaa nopeusrajoitusta. Tuloksista selviää, että hitaimpien ajoneuvojen ollessa tarkoituksenmukaisesti ohjattuja kulkemaan ulointa kaistaa, voidaan molempien kaistojen nopeuden vaihteluun vaikuttaa alentavasti. Tutkimuksessa esitetään, että järjestelmän ansiosta myös kuljettajien halukkuus kaistanvaihtoon saattaa olla jossain määrin tukahdutettavissa. Liu ja Shi suosittelevat tutkimuksensa perusteella sellaista järjestelmää, jossa vierekkäisille kaistoille on omat maksimi- ja vähimmäisnopeusrajoitukset. (Liu & Shi, 2018, ss. 8–10)

Khondaker ja Kattan tutkivat vuonna 2015 julkaistussa artikkelissaan yksittäisten ajoneuvotietojen pohjalta ohjatun vaihtuvan nopeusrajoitusjärjestelmän vaikutuksia liikenteen liikkuvuudelle, turvallisuudelle sekä ympäristölle. Artikkelissa esitetään ohjausalgoritmi, joka toisi samanaikaisia hyötyjä kaikille edellä mainituille tavoitteille. Esitetyn ohjausalgoritmin tutkimisen apuna käytetään mikroskooppista lähestymistapaa,

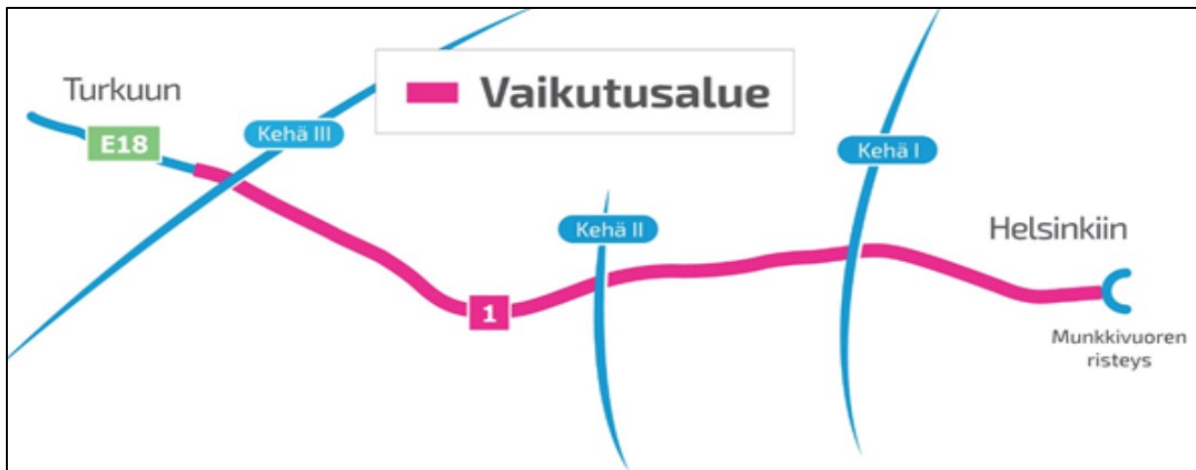
jonka havainnoinnin keskiössä on yksittäisen kuljettajan käyttäytyminen. Suunniteltaessa ennakoivaa ohjausjärjestelmää yksittäisen kuljettajan toiminnan osa-alueiden hahmottaminen lisää sen tehokkuutta. Tutkimuksessa tiedostetaan, että kuljettajia on erilaisia ja esimerkiksi kuljettajan määräysten noudattamisen taso on huomioitu ohjausalgoritmiä kehitettäessä. (Khondaker & Kattan, 2015) Liikennevirran mikroskooppisesta teoriasta on kirjoitettu Suomessa mm. Luttisen, Pursulan ja Innamaan julkaisussa Liikennevirran ominaisuudet. Julkaisu esittää mikroskooppisen mallin keskittyvän yksittäisen ajoneuvon tarkasteluun sekä ajoneuvojen väliseen vuorovaikutukseen. Mikroskooppisilla liikennevirran malleilla saadaan siis yksityiskohtaisia havaintoja liikennevirrasta, kun taas makroskooppiset mallit kuvaavat kollektiivisemmin liikennevirran keskimääräisiä ominaisuuksia erilaisissa tilanteissa. (Luttinen ym., 2005) Khondaker ja Kattan tutkivat ohjausalgoritmin vaikutuksia VISSIM-simulointiohjelmaan mallinnetulla hypoteettisella moottoritiellä. Simulointituloksista selvisi, että liikenteen sujuvuuden mittarina käytetty kokonaismatka-aika väheni noin 20 %, turvallisuusparannukset lisääntyivät 6–11 % ja ympäristövaikutukset heijastuivat 5–16 % polttoainekulutuksen vähentymisenä. Tulokset paljastivat myös sen, että pelkästään turvallisuuden kannalta optimoitu järjestelmä toi enemmän optimaalisia parannuksia kuin tilanne, jossa haettiin kaikille osa-alueille samanaikaisia hyötyjä. (Khondaker & Kattan, 2015, s. 157)

Vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutusten arvioinnin tueksi ovat Nissan ja Koutopoulosb tutkineet Tukholman E4-moottorien vaihtuvaa nopeusrajoitusjärjestelmää, joka perustuu suositeltujen nopeusrajoitusten esittämiseen. Useimmat vaikutustutkimukset liittyvät pakollisten vaihtuvien nopeusrajoitusten esittämiseen, mutta tämä kyseinen tutkimus keskittyy tarkastelemaan nimenomaan ohjeistavan järjestelmän vaikutuksia liikenneolosuhteisiin. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että järjestelmällä ei ollut merkittäviä vaikutuksia liikenneolosuhteisiin. Tuloksia mitattiin heti järjestelmän käyttöönoton jälkeen sekä useiden kuukausien jälkeen järjestelmän käyttöönoton. (Nissan & Koutsopoulosb, 2011) Tutkimuksen perusteella voidaan siis todeta, että vaihtuvien nopeusrajoitusten ollessa luonteeltaan pakollisia, niillä on voimakkaampi vaikutus ja kuljettajat noudattavat nopeusrajoituksia paremmin kuin niiden ollessa suosituksia.

### 3 Tutkimuskohteen kuvaus

Uusi liikenteenhallintajärjestelmä toteutetaan valtatielle 1 välille Kehä 3–Munkkivuori. Uuden ohjausjärjestelmän vaikutusalue kattaa n. 15 km:n pituisen monikaistaisen tieosuuden sivuten Helsingin, Espoon ja Kauniaisten alueita. Suunnittelualue rajautuu idässä Huopalahdentien liikennevaloliittymään ja lännessä kehä 3:n eritasoliittymän länsipuolelle (Kuva 1). Tieympäristöltään suunnittelualue on vilkasliikenteinen kaupunkiseudun moottoritie, joka kuuluu liikenne- ja viestintäministeriön määrittämään maanteiden pääväyliin. Suunnittelualueen liittymätiheyden ja liikennemäärien ollessa hyvin suuret liikenne ruuhkautuu säännöllisesti aiheuttaen kilometrien pituisia sujuvuusongelmia. Ruuhkautumista esiintyy etenkin kehäteiden erkanevilla kaistoilla. Vuoden 2019 Väyläviraston liikennemääräkartan mukaan suunnittelualueen keskimääräinen vuorokausiliikenne jakaantuu 31 000 ja 75 000 ajoneuvon välille. Liikennemääräkartan mukaan liikenne on korkeimmillaan välillä Kehä 1–Kehä 2 (n. 74 400 ajon/vrk). Lindholm esittää ohjauspolitiikan suunnitelmassaan liikenteen ruuhkautuvan voimakkaimmin aamuliikenteessä Helsingin menosuunnassa Turvesolmun ja kehä 1 välillä, jossa kaksi kaistaa erkanee kehä 1:lle. Liittymävälillä on suunnittelualueen korkeimmat huipputuntien liikennemäärät n. 5500 ajoneuvoa tunnissa molemmissa menosuunnissa. Kaistakohtaisesti vaihtuvat nopeusrajoitukset toteutetaan vain liikenteellisesti vilkkaimmalle kehä 1:n ja kehä 2:n väliselle tieosuudelle. Vaihtuvia nopeusrajoitusmerkkejä löytyy valtatieltä 1 ennestään kehä 3:n länsipuolelta Turun suuntaan. Nopeusrajoitusmerkkien lisäksi hankkeessa rakennetaan tiedotusopasteita, varoitusmerkkejä, liikenteenmittauslaitteita sekä kaksi sääasemaa.

Kuva 1. Suunnittelualue. (Väylä, n.d.)



#### 4 Tutkimusaineisto ja tutkimusmenetelmät

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus, jossa tehdään kerättävän datan määrällinen analyysi. Tämän työn tavoitteena on tutkia uuden liikenteenhallintajärjestelmän alustavia sekä suuntaa antavia vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle valtiolla 1 välillä Munkkivuori–Kehä 3. Tarkoituksena on löytää liikenteen sujuvuutta mittaava tekijä sekä osoittaa havainnollistava menetelmä, jonka avulla voidaan esittää liikenteen sujuvuudessa tapahtuvia muutoksia. Tässä työssä tutkimuskysymyksenä on sujuvoittaako uusi liikenteenhallintajärjestelmä liikennettä?

Määrälliselle tutkimukselle on ominaista tietojen tarkasteleminen numeerisesti eli havainnoitavat asiat esitetään numeroiden avulla. Määrällinen tutkimus on menetelmä, joka kuvaa mitattavien ominaisuuksien eli muuttujien välisiä suhteita ja eroavaisuuksia. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa pyritään esittämään aina oleellimmat tulokset. Oleellisiksi tuloksiksi luetaan mm. ne luvut, jotka ilmentävät aineistosta esiin nousseita eroja. Keskeisiä kvantitatiivisen tutkimuksen piirteitä on tulosten esittäminen numeerisesti, graafisesti sekä sanallisesti. Tutkimuksessa tutkijan on tärkeää osata kuvata ja selittää analysoitava numeerinen tieto sanallisesti niin, että lukijalle syntyy ymmärrys mitä ollaan tutkimassa ja miten eri asiat liittyvät toisiinsa tai eroavat toisistaan. (Vilka, 2007)

Esiselvitys kytkeytyy Väyläviraston hankkeeseen, jossa uuden ohjausjärjestelmän avulla pyritään sujuvoittamaan liikennettä vilkkaasti liikennöidyllä tieosuudella. Hanke rakentuu

yhteiskuntataloudellisten tavoitteiden ympärille ja sen yhtenä merkittävimmistä tavoitteista on helpottaa työssäkäyntialueen ruuhkautuneisuutta. Työssä tarkastelualue rajattiin voimakkaasti ruuhkautuva kehä 1:n ja kehä 2:n välinen monikaistainen tieosuus. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan vain yhden liikenteen automaattisen mittauspisteen (LAM-pisteen) tuottamaa liikennetietoa. LAM-piste sijaitsee valtatiellä 1 Friisinmäen kohdalla kehä 1:n ja kehä 2:n välissä. Kyseinen LAM-piste on valittu liikennemäärien ja sijainnin takia.

Esiselvityksessä sujuvuuden käsitettä ja liikennevirran ominaisuuksien mittaamista taustoitetaan aikaisempien tutkimuksien sekä julkaisujen kautta. Teoreettinen viitekehys rakennettiin hakemalla tutkimuksia ja julkaisuja tietokannoista, etsimällä niitä tutkimusten lähdeluetteloista tai aiemmin valmistuneista opinnäytetöistä. Ensisijaisina tietokantoina käytettiin HAMK Finna-hakupalvelua sekä Google Scholaria. Teoreettinen viitekehys rakentuu pääosin suomalaisista julkaisuista. Suomessa vaihtuvia ohjausjärjestelmiä ei ole tutkittu kovin kattavasti, joten työssä käytetyt julkaisut painottuvat julkisten organisaatioiden, kuten esimerkiksi Tiehallinnon tai Liikenneviraston teettämiin selvityksiin, eivätkä ne täten edusta tieteellistä teoriapohjaa. Vaihtuvien liikenteenohjausjärjestelmien teoreettisten lähtökohtien tueksi työssä käytetään myös ulkomaisia tutkimusartikkeleita.

Tiehallinnon julkaisussa (2007) esitetään, että Suomessa monikaistaisilla tieosuuksilla pääasiallisena palvelutasomittarina käytetään liikennetiheyttä. Vaikka tässä työssä ei ole tarkoitus määritellä palvelutasoa, pystytään liikennetiheyden ja muiden liikennevirran perussuureiden avulla kuvaamaan liikennevirran sujuvuudessa tapahtuvia muutoksia. Tässä työssä liikenteen sujuvuutta tarkastellaan liikennevirran perussuureiden: liikennetiheyden  $k$  (ajon/km), liikennemäärän  $q$  (ajon/h) sekä keskinopeuden  $v$  (km/h) avulla. Luttinen (Luttinen, 2005, s. 48) kirjoittaa näiden suureiden olevan riippuvaisia toisistaan sekä ne muodostavat tärkeimmän liikennevirtaa kuvaavan yhtälön  $q = kv$ . Pääasiallisena mittarina tässä työssä käytetään liikennetiheyttä, jota suhteutetaan tuntiliikennemääriin ja keskinopeuksiin.

Määrällistä analyysia varten LAM-aineisto kerättiin Väyläviraston Tiira-analytiikkapalvelusta. Liikenteen sujuvuutta on tässä työssä tarkasteltu kulkusuunnittain. Tässä työssä Suunta 1 on Turun menosuuntaan ja Suunta 2 on Helsingin menosuuntaan. Aineistoa kerättiin vuorokauden liikennemääristä, tuntiliikennemääristä sekä keskinopeuksista viiden minuutin

laskentajaksolta. Aineistoa analysoitiin ennen järjestelmän käyttöönottoa sekä järjestelmän käyttöönoton jälkeen taulukoimalla aineistosta saadut tunnusluvut Excelissä. Uuden ohjauksjärjestelmän liikennemäärään perustuvan olosuhdeluokituksen mukaan kaistakohtaisesti muuttuvia nopeusrajoituksia ohjataan nelikaistaosuuksilla, kun liikennemäärät ylittävät 4800 ajon/h, joten vertailutietojen valintakriteerinä käytettiin ensisijaisesti liikennemäärää ja talvikuukautta. Vertailutiedoiksi aineistoon valittiin vuodelta 2019 ja 2020 tammikuulta sellaiset arkipäivät, joina liikennemäärät ylittivät 4800 ajon/h. Tarkasteltavilta päiviltä eli vuoden 2021 helmikuun kymmeneltä arkipäivältä liikennetietoa kerättiin samoilta ruuhkatunneilta kuin ennen-tilanteessa sekä samoilta menosuunnilta. Arkivuorokausien tuntiliikennemäärien havaintojen perusteella tarkasteluun valittiin kolme vuorokauden ruuhkaisinta tuntia. Turun menosuuntaan valittiin tunnit 15–18 ja Helsingin menosuuntaan tunnit 6–9. Tiira-järjestelmästä saadut ja tässä työssä esitetyt tuntiliikennemäärät tarkoittavat ajoratakohtaisia liikennemääriä eli tarkasteltavan suunnan kaikkien kaistojen yhteenlaskettu liikennemäärää. Tuntiliikennemäärissä on huomioitu raskaanliikenteen osuus. Jokaisen ruuhkatunnin nopeuskeskiarvo laskettiin kyseisen tunnin viiden minuutin laskentajakson keskinopeusarvoista. Keskinopeudet ovat LAM-järjestelmässä laskettu automaattisesti painotettuna keskiarvona, jossa henkilöautojen määrä on suhteutettu raskaisiin ajoneuvoihin. Liikennetiheys (ajon/km) on laskettu tuntiliikennemäärän (ajon/h) ja keskinopeuden (ajon/h) osamääränä.

## 5 Tulokset

Esiselvitykseen vertailuajankohdaksi valittiin vuoden 2019 ja 2020 tammikuun kymmenen talvikuukauden arkipäivää, jolloin tuntiliikennemäärät ylittivät 4 800 ajoneuvoa. Data-analyysin vertailuajankohdan vuorokausiliikenteen tulokset osoittivat, että liikennemäärät ovat korkeimmillaan arkivuorokausina ja alhaisimmillaan viikonloppuisin ja juhlapäyhinä. Arkivuorokausien tuntiliikenneanalyysin perusteella ruuhkatuntien jakaumasta löytyi eroavaisuuksia. Turun menosuuntaan vilkkaimmat tunnit painottuvat iltapäivän tunneille 15–18 ja Helsingin menosuuntaan aamun tunneille 6–9. Vuorokausiliikennemäärät vaihtelivat 38 000 ja 44 500 ajoneuvon välillä. Korkeimmat tuntiliikennemäärät havaittiin Helsingin menosuunnassa aamun huipputuntina klo 7–8 välillä 5085 ajoneuvoa. Vertailupäivien ruuhkatuntien keskinopeuksien vaihteluväli oli Turun menosuunnassa 55–94 km/h ja nopeuksien keskiarvo oli 88 km/h. Helsingin menosuunnassa ruuhkatuntien

keskinopeuksien vaihteluväli oli 57–94 km/h ja keskiarvo 76 km/h. Turun menosuunnassa liikennetiheys oli suurimmillaan 80 (ajon/km) tiistaina 14.1.2020 klo 16–17 välisenä aikana ja tarkastelupäivien keskiarvotiheys oli 52 (ajon/km). Helsingin menosuunnassa liikennetiheys oli suurimmillaan 83 (ajon/km) maanantaina 14.1.2019 klo 8–9 välisenä aikana ja tarkastelupäivien keskiarvotiheys oli 58 (ajon/km). Taulukko 1 esittää vertailuajankohdan tuloksista saadut tunnusluvut menosuunnittain.

Taulukko 1. Vertailuajankohdan tunnusluvut.

	Suunta 1 (Turku)			Suunta 2 (Helsinki)			
	tammikuu 2020			Tammikuu 2019 & 2020			
Tunti	Ruuhkatuntien liikennemäärä (ajon/h)	Tunnin nopeuden ka (km/h)	Tunnin tiheyden ka (ajon/km)	Tunti	Ruuhkatuntien liikennemäärä (ajon/h)	Tunnin nopeuden ka (km/h)	Tunnin tiheyden ka (ajon/km)
15-16	4 934	90,5	54,5	6-7	3 420	93,6	36,5
16-17	3 941	55,2	71,4	7-8	5 071	80,8	62,8
17-18	3 906	95,4	41,0	8-9	4 994	67,7	73,8
15-16	4 753	89,0	53,4	6-7	3 281	78,0	42,1
16-17	4 922	77,2	63,8	7-8	4 757	70,4	67,6
17-18	3 873	88,6	43,7	8-9	4 962	60,8	81,6
15-16	4 908	91,4	53,7	6-7	3 080	81,8	37,7
16-17	4 951	85,9	57,6	7-8	4 648	69,1	67,3
17-18	3 834	90,4	42,4	8-9	4 830	57,9	83,4
15-16	4 861	92,1	52,8	6-7	3 203	90,2	35,5
16-17	4 835	86,4	56,0	7-8	4 914	76,2	64,5
17-18	3 887	89,3	43,5	8-9	4 886	72,7	67,2
15-16	4 987	92,0	54,2	6-7	3 209	79,5	40,4
16-17	4 784	66,5	71,9	7-8	4 790	67,1	71,4
17-18	3 872	89,7	43,2	8-9	4 998	60,5	82,6
15-16	4 806	89,0	54,0	6-7	3 193	92,2	34,6
16-17	4 771	82,0	58,2	7-8	5 085	77,8	65,4
17-18	3 999	88,0	45,4	8-9	5 072	68,8	73,7
15-16	4 857	93,9	51,7	6-7	3 032	88,3	34,3
16-17	4 932	88,1	56,0	7-8	4 832	75,8	63,7
17-18	3 667	90,0	40,7	8-9	4 982	62,8	79,3
15-16	5 025	93,1	54,0	6-7	3 164	89,0	35,6
16-17	4 651	88,7	52,4	7-8	4 851	79,2	61,3
17-18	3 602	91,0	39,6	8-9	4 697	79,8	58,9
15-16	4 884	93,6	52,2	6-7	3 316	87,3	38,0
16-17	4 943	89,2	55,4	7-8	4 907	70,7	69,4
17-18	3 767	91,3	41,3	8-9	4 624	68,3	67,7
15-16	4 861	94,0	51,7	6-7	3 268	89,7	36,4
16-17	4 912	88,7	55,4	7-8	4 876	79,9	61,0
17-18	3 920	91,9	42,7	8-9	4 569	75,6	60,4
<b>Yht.</b>	<b>134 845</b>	<b>88</b>	<b>52</b>	<b>Yht.</b>	<b>129 511</b>	<b>76</b>	<b>58</b>

Tarkasteltavaksi ajankohdaksi valittiin vuoden 2021 helmikuun kymmenen arkipäivää. Järjestelmä otettiin käyttöön 2.2.2021, joten se valittiin ensimmäiseksi tarkastelupäiväksi. Viimeinen tarkastelupäivä oli 15.2.2021. Vuorokausiliikennemäärät vaihtelivat 33 000 ja

37 000 ajoneuvon välillä. Korkein tuntiliikennearvo mitattettiin perjantaina 5.2.2021 klo 15–16 välisenä aikana 3875 ajoneuvoa Turun menosuunnassa. Vertailupäivien ruuhkatuntien keskinopeuksien vaihteluväli oli Turun menosuunnassa 76–97 km/h ja nopeuksien keskiarvo oli 90 km/h. Helsingin menosuunnassa ruuhkatuntien keskinopeuksien vaihteluväli oli 71–93 km/h ja keskiarvo 88 km/h. Turun menosuunnassa liikennetiheys oli suurimmillaan 46 (ajon/km) tiistaina 2.2.2021 klo 16–17 välisenä aikana ja tarkastelupäivien keskiarvotiheys oli 37 (ajon/km). Helsingin menosuunnassa liikennetiheys oli suurimmillaan 44 (ajon/km) keskiviikkona 3.2.2021 klo 8–9 välisenä aikana ja tarkastelupäivien keskiarvotiheys oli 32 (ajon/km). Taulukko 2 esittää tarkasteluajankohdan tuloksista saadut tunnusluvut menosuunnittain.

Taulukko 2. Tarkasteluajankohdan tunnusluvut.

Suunta 1 (Turku)				Suunta 2 (Helsinki)			
helmikuu 2021				helmikuu 2021			
Tunti	Ruuhkatuntien liikennemäärä (ajon/h)	Tunnin nopeuden ka (km/h)	Tunnin tiheyden ka (ajon/km)	Tunti	Ruuhkatuntien liikennemäärä (ajon/h)	Tunnin nopeuden ka (km/h)	Tunnin tiheyden ka (ajon/km)
15-16	3 543	81,1	43,7	6-7	2 367	85,5	27,7
16-17	3 456	75,7	45,7	7-8	3 252	80,1	40,6
17-18	2 662	79,5	33,5	8-9	3 048	83,2	36,6
15-16	3 633	82,4	44,1	6-7	2 228	72,9	30,6
16-17	3 623	80,4	45,1	7-8	3 153	71,3	44,2
17-18	2 868	80,7	35,5	8-9	3 121	75,5	41,3
15-16	3 689	90,1	40,9	6-7	2 351	85,8	27,4
16-17	3 675	88,1	41,7	7-8	3 068	85,3	36,0
17-18	2 776	86,9	31,9	8-9	2 933	88,3	33,2
15-16	3 875	91,4	42,4	6-7	2 136	91,0	23,5
16-17	3 404	91,5	37,2	7-8	2 883	87,0	33,1
17-18	2 808	90,2	31,1	8-9	2 771	89,7	30,9
15-16	3 593	94,3	38,1	6-7	2 370	89,8	26,4
16-17	3 399	91,2	37,3	7-8	3 081	87,6	35,2
17-18	2 731	90,9	30,0	8-9	2 962	91,1	32,5
15-16	3 746	93,8	39,9	6-7	2 432	91,2	26,7
16-17	3 602	90,9	39,6	7-8	3 156	87,7	36,0
17-18	2 688	90,7	29,6	8-9	3 022	90,6	33,4
15-16	3 703	95,7	38,7	6-7	2 369	92,8	25,5
16-17	3 582	93,6	38,3	7-8	3 042	90,7	33,5
17-18	2 887	92,3	31,3	8-9	3 029	91,3	33,2
15-16	3 817	94,2	40,5	6-7	2 296	92,4	24,8
16-17	3 640	93,9	38,8	7-8	3 071	89,8	34,2
17-18	2 245	94,2	23,8	8-9	2 955	91,3	32,4
15-16	3 802	96,1	39,6	6-7	2 139	93,3	22,9
16-17	3 560	93,0	38,3	7-8	2 839	90,3	31,4
17-18	2 857	91,3	31,3	8-9	2 840	90,6	31,3
15-16	3 670	97,0	37,8	6-7	2 426	91,3	26,6
16-17	3 636	95,8	38,0	7-8	3 191	92,2	34,6
17-18	2 729	94,9	28,8	8-9	2 995	91,4	32,8
<b>Yht.</b>	<b>99 899</b>	<b>90</b>	<b>37</b>	<b>Yht.</b>	<b>83 526</b>	<b>88</b>	<b>32</b>

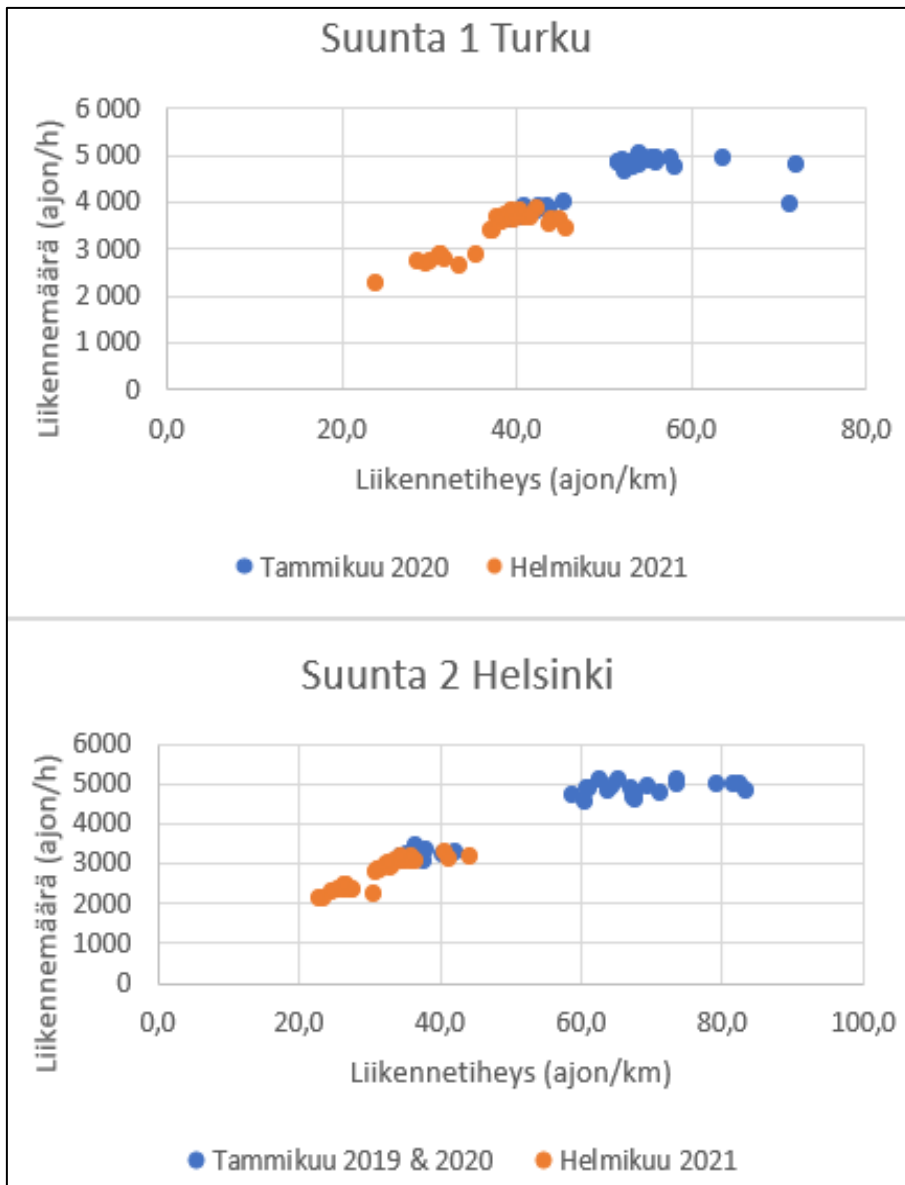
Aineistosta kerätyistä tunnusluvuista tuotettiin pistekuvaajia, joissa verrataan ennentilannetta tarkasteltavaan ajanjaksoon. Kuvaajissa esitetään kolmen liikennevirran perussuureen eli liikennetiheyden, liikennemäärän ja keskinopeuden riippuvaisuuksia toisistaan. Kuvaajissa esiintyvät arvot muodostuvat suoraan taulukossa 2 esitetyistä arvoista ja ruuhkatunneista.

Kuva 2 havainnollistaa liikennetiheyden ja liikennemäärän riippuvaisuutta.

Vertailuajankohdan liikennetiheyden arvot ovat huomattavasti vuoden 2021 helmikuun tiheyksiä suurempia molemmissa menosuunnissa. Tuntiliikennemäärät ovat vertailuajankohtana myös korkeammalla tasolla kuin tarkasteltavana helmikuuna.

Tarkasteltavana ajankohtana, jolloin liikennetiheydet ovat pienempiä ja liikennemäärät alhaisempia, molempien menosuuntien kuvaajista on nähtävillä, että pistejoukko on yhteneväinen ja tasaisesti nouseva. Vertailtavan ajankohdan pistejoukoista on nähtävillä enemmän epävakaata aluetta ja hajontaa liikennetiheyksien ja liikennemäärien saavuttaessa korkeampia lukemia. Liikenteen tiheys sai suurimman arvonsa 83 (ajon/km) Helsingin menosuunnassa tuntiliikennemäärän ollessa 4830 ajoneuvoa. Pienin tiheyden arvo 23 (ajon/km) kirjautettiin Helsingin menosuunnassa vuoden 2021 helmikuussa tuntiliikennemäärän ollessa 2139 ajoneuvoa.

Kuva 2. Liikennetiheyden ja liikennemäärän riippuvuus.

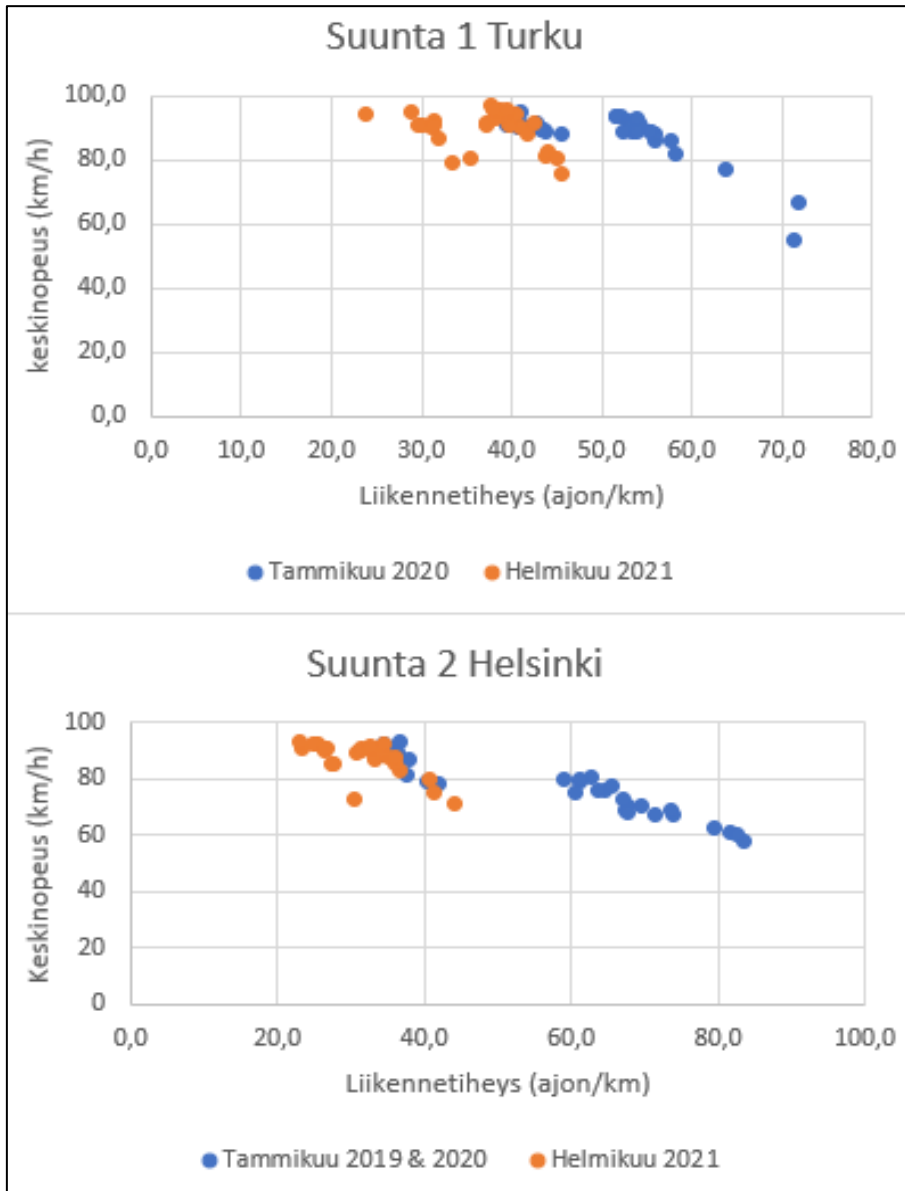


Kuva 3 havainnollistaa liikennetiheyden ja keskinopeuden välistä riippuvaisuutta.

Molemmissa menosuunnissa vertailuajankohdan keskinopeuksien pistejoukoissa esiintyy jyrkempää laskua liikennetiheyden noustessa kuin aiempina vuosina. Vertailtavana ajankohtana keskinopeuksissa on enemmän vaihtelua kuin vuoden 2021 helmikuun ajankohtana. Vuoden 2021 helmikuun keskinopeudet pysyttelevät 71 km/h ja 97 km/h välillä, kun taas vertailtavina tammikuun ruuhkapäivinä keskinopeudet vaihtelevat 55 km/h ja 94 km/h välillä. Liikenteen tiheys sai suurimman arvonsa 83 (ajon/km) Helsingin menosuunnassa vuoden 2020 tammikuussa liikennevirran keskinopeuden ollessa 58 km/h.

Pienin tiheyden arvo 23 (ajon/km) havainnoitiin Helsingin menosuunnassa liikenteen tuntikeskinopeuden ollessa 93 km/h.

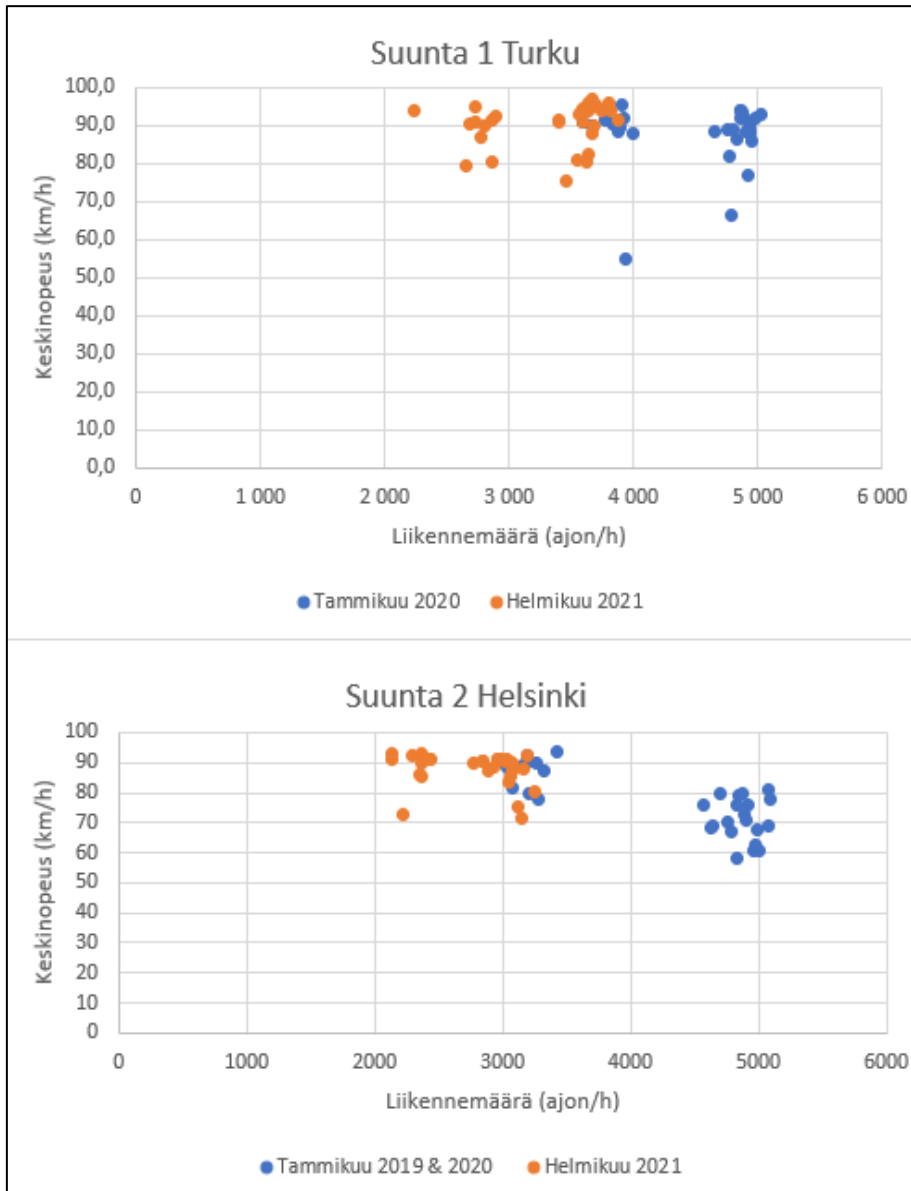
Kuva 3. Liikennetiheyden ja keskinopeuden riippuvuus.



Kuva 4 havainnollistaa liikennemäärän ja keskinopeuden välistä riippuvaisuutta. Liikennevirta on vakaimmillaan 80–90 km/h nopeuksilla ja liikennevirran epävakautta esiintyy alemmilla nopeuksilla. Havaintoaineiston alhaisimman keskinopeusarvon sai Turun menosuunnan vuoden 2020 tammikuun laskentapiste, jolloin liikennevirran keskinopeus iltapäivän ruuhkatunnilla klo 16–17 välisellä ajalla laski 55,2 km/h liikennemäärän ollessa

3941 ajoneuvoa. Liikennevirran keskinopeus on ollut korkeimmillaan 97 km/h vuoden 2021 helmikuussa Turun menosuunnassa 3670 ajoneuvon tuntiliikennemäärällä.

Kuva 4. Liikennemäärän ja keskinopeuden riippuvuus.



## 6 Johtopäätökset

Esiselvityksen tavoitteena oli tarkastella uuden liikenteen ohjausjärjestelmän alustavia vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle ennen ja jälkeen järjestelmän käyttöönoton. Alustavia vaikutuksia käsiteltiin yhden mittausaseman tuottaman pistemäisen datan pohjalta sekä liikennevirrassa tapahtuvia muutoksia tarkasteltiin objektiivisten mittareiden avulla. Aineisto

kerättiin sellaiselta tieosuudelta, johon oli rakennettu kaistakohtaisesti vaihtuvat nopeusrajoitusmerkit sekä tiedotusopasteet.

Tuloksista selvisi, että suurilla liikennetiheyksillä liikennemäärien vaihtelu on voimakkaampaa kuin kohtuullisilla tiheyksillä. Liikennevirran kuvaajista ei voitu suoraan todeta molempia menosuuntia koskevaa kriittistä tiheyttä, jonka jälkeen liikennemäärät kääntyisivät laskuun. Turun menosuunnassa vertailtavana ajankohtana voidaan karkeasti kriittisen tiheyden todeta olevan 60 (ajon/km) ja vuoden 2021 helmikuussa 40 (ajon/km). Näillä tiheyden arvoilla liikennemäärät eivät enää jatka kasvua vaan lähtevät laskemaan. Vertailuajankohtana tuntiliikennemäärät ovat huomattavasti tarkasteluajankohtaa koreammalla tasolla ja täten myös liikennetiheydet saavat korkeampia arvoja. Vastaavasti ruuhkatuntien tiheyksien ollessa pienet, myös tuntiliikennemäärät jäävät alhaisiksi.

Liikennetiheyden kasvun katsotaan vaikuttavan liikennevirran keskinopeuksiin alentavasti. Tiheys-nopeus-kuvaajasta voidaan päätellä, että vertailuajankohtana molempien menosuuntien keskinopeuksien pistejoukoissa esiintyy jyrkempää laskua liikennetiheyden noustessa kuin tarkasteltavan vuoden pistejoukoissa. Vertailtavana ajankohtana, jolloin liikennemäärät ovat suurempia, keskinopeuksien hajonta on siis suurempaa kuin vuoden 2021 helmikuun ajankohtana. Tuloksista voidaan karkeasti päätellä, että Turun menosuunnassa kriittistä tiheyttä vastaavan kriittisen keskinopeuden olevan vertailuajankohtana n. 80 km/h ja tarkasteltavana ajankohtana n. 90 km/h. Kriittisen nopeuden jälkeen keksinopeudet kääntyvät laskuun tiheyden kasvun myötä.

Liikennemäärien pysyessä kohtuullisina keskinopeuksissa ei esiinny huomattavaa vaihtelua. Liikennemäärä-nopeus-kuvaaja havainnollistaa keskinopeuksien laskevan liikennemäärien noustessa. Tuloksista selviää, että vertailtavana ajankohtana liikennevirran keskinopeuksissa esiintyy vaihtelua tuntiliikennemäärien noustessa tarkasteltavaa ajankohtaa enemmän. Myös keskinopeuksien lasku on selkeämmin todettavissa suurilla liikennemäärillä. Vertailuajankohdan kriittistä nopeutta vastaavan tuntiliikennemäärän voidaan todeta olevan n. 4 800 ajoneuvoa ja tarkasteltavana ajankohtana noin 3 500 ajoneuvoa. Näissä taitekohdissa keskinopeuksissa havaittiin esiintyvän eniten vaihtelua.

Esiselvityksen suuntaa antavien tuloksien perusteella voidaan todeta liikennevirran perussuureiden väliltä löytyvän korrelaatiota: kun liikennetiheys kasvaa, liikennevirran keskinopeus alkaa laskemaan ja liikennetiheyden nousun myötä myös liikennemäärät kasvavat – aina kriittiseen pisteeseen asti. Tuloksien perusteella näyttäisi siltä, että kun liikennetiheys pysyy kohtuullisella tasolla, eikä ylitä kriittistä pistettä, voidaan nopeusrajoituksia pitää riittävän korkealla ja liikennevirta pysyy vakaana. Monikaistaisilla tieosuuksilla ohittaminen on helpompaa, joten kriittinen tiheys voi saada korkeampia arvoja kuin HCM:n mukainen laskennallinen liikennetiheyden kriittinen arvo 28 ajon/km.

Tarkasteltava tieosuus kehä 1:n ja kehä 2:n välissä osoittautui ihanteelliseksi ympäristöksi ohjausjärjestelmän sekä väylän liikennevolyymin osalta. Tuloksissa esitetyt kuvaajat noudattavat osittain Luttisen ym. (2005) esittämiä liikennevirran peruskuvaajien ominaisuuksia, mutta vuoden 2021 helmikuun pienten liikennemäärien ja lyhyen seuranta-ajan takia tuloksia voidaan pitää vain suuntaa antavina. Kerätyn datan perusteella kunnollista vaikutustenarviointia ei voida siis tehdä, koska vertailtavat ajankohdat eivät ole liikennemääriltään samanlaisia.

Vaikka työn tuloksena vaikutustenarviointia ei uuden liikenteenhallintajärjestelmän osalta syntynyt, aikaisemmat tutkimukset antoivat kuitenkin alustavaa näyttöä siitä, että uudella liikenteenhallintajärjestelmällä olisi positiivisia vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle. Esiselvityksessä pystyttiin osoittamaan havainnollistavat menetelmät, joiden avulla pystytään esittämään liikenteen sujuvuudessa tapahtuvia muutoksia. Järjestelmän toimiessa odotetulla tavalla, se pystynee vastaamaan sille asetettuihin yhteiskuntataloudellisiin tavoitteisiin niiden heijastuessa suoraan tienkäyttäjän subjektiivisiin kokemuksiin liikenteen sujuvuudesta.

## **7 Pohdinta**

Esiselvityksessä on tunnistettu liikennevirtaan vaikuttavia tekijöitä sekä esitetty liikennevirran kolmen perussuureen avulla, miten liikenteen sujuvuutta voidaan mitaroida. Kerätyn aineiston tunnuslukujen tarkastelu auttoi ymmärtämään syitä uuden ohjausjärjestelmän rakentamiselle sekä vahvasti käsitystä tarkastelualueen liikenteellisistä ongelmista. Tarkasteluvälillä sijaitseva Friisinmäen LAM-asema antoi kattavasti liikennetietoa

menosuunnittain, joiden pohjalta pystyi analysoimaan kerättyä liikennedatata. Kyseisestä mittauspisteestä ei ilmene esimerkiksi kehäteiden rampeille muodostuvan jonouman tietoja, mutta se antaa riittävän tarkkaa pistemäistä liikennedatata liikennemääristä ja nopeuksista eri laskentajaksoilta. Tarkastelualue ja mittausasema vaikuttaisivat olevan tutkimuskysymyksen kannalta tarkoituksenmukaisia ja tuottavat tarvittavan määrän aineistoa liikenteellisiä vaikutuksia tarkasteltaessa. Esiselvityksessä käytetty objektiivinen tarkastelunäkökulma osoittautui arvioinnin kannalta toimivaksi ja sitä suositellaan käytettäväksi jatkotutkimuksissa. Teoreettisen viitekehyksen pohjalta valittujen kolmen liikennevirran perussuureen avulla näyttäisi pystyvän mittaamaan liikennevirrassa tapahtuvia muutoksia ja arvioimaan vaikutuksia liikenteen sujuvuudelle.

Esiselvityksen teoreettinen viitekehys rakentui pääosin suomalaisten julkaisujen ympärille. Suurin osa työssä käytetyistä suomalaisista julkaisuista ovat julkisten organisaatioiden, kuten esimerkiksi Liikennehallinnon tai Liikenneviraston selvityksiä. Suomessa kaistakohtaisesti muuttuvista nopeusrajoituksista ei ollut aikaisempia tutkimuksia, joten teoriapohja muodostui lähinnä Suomessa käytettyjen vaihtuvia ohjausjärjestelmiä koskevien tutkimuksien hyödyntämisestä. Kaistakohtaisesti muuttuvista nopeusrajoituksista ulkomaisena lähteenä käytettiin Liu:n ja Shi:n tutkimusartikkelia vuodelta 2018. Tutkimusartikkeli on tieteellisesti validi, mutta se ei vastaa tieympäristöltään tässä työssä käytettyä tarkastelukohdetta. Kuten Liu ja Shi tutkimusartikkelissaan, myös Nissan ja Koutopoulos tutkivat vaihtuvaa ohjausjärjestelmää, mutta simulaatio-ohjelmien avulla. Näistä tutkimuksista esille nousseita tuloksia katsotaan suuntaa antavina, koska ne eroavat tutkimusympäristöltään ns. reaaliaikaisesta liikenteestä. Haasteena tutkittaessa reaaliaikaista liikennettä on samanlaisen liikennetilanteen toistettavuus toisessa tutkimuksessa. Liikenteen sujuvuuden käsitettä tässä työssä pohjustettiin sekä suomalaisten julkaisujen sekä amerikkalaisen Highway Capacity Manual -käsikirjan avulla.

Tässä työssä pääasiallisena mittarina käytetty liikennetiheys vaikuttaisi olevan perusteltu kriteeri tarkasteltaessa liikenteen sujuvuutta objektiivisesta näkökulmasta. Sen käyttöä puoltaa usea suomalainen julkaisu sekä amerikkalainen Highway Capacity Manual -käsikirja. Suomessa liikennetiheys on yksi keskeisimmistä mittareista määritettäessä moottoriteiden teknistä palvelutasoa. Tien tekninen palvelutaso kuvastaa tieosuudella vallitsevia liikenneoloja muuttujien avulla, ja palvelutason mittarit ovat puolestaan palveluun liittyvien

tekijöiden, kuten esimerkiksi sujuvuuden, tasoa heijastavia mittauskeinoja. Liikennetiheyden arvojen avulla voidaan esittää tieosuuden palvelutasossa tapahtuvia muutoksia Tiehallinnon palvelutasotaulukon mukaisesti, mutta itse palvelutason määrittäminen ei ole uuden hallintajärjestelmän vaikutustenarvioinnin päämääränä. Vaikutustenarvioinnin luotettavuutta saataisi lisätä useamman mittarin käyttäminen.

Esiselvityksen data-analyysiä varten kerätty aineisto haettiin Väyläviraston analytiikkapalvelusta, joten lähdeaineistoa voidaan pitää luotettavana. Saatuihin tuloksiin on saattanut vaikuttaa sää- ja keliolosuhteet, koska vertailuajankohdat eivät olleet sääolosuhteiltaan samanlaisia. Vertailuajankohta määritettiin ensisijaisesti liikennemäärien perusteella. Luotettavuutta pyrittiin alun perin lisäämään valitsemalla uuden hallintajärjestelmän olosuhdeluokan C liikennemäärää (4800 ajon/h) vastaavat arkipäivät ja toisena valintakriteerinä oli talvikuukausi. Sääolosuhteista aiheutuvaa hajontaa saataisiin vähennettyä vertailtaessa sääolosuhteiltaan samankaltaisia ajanjaksoja.

Esiselvityksessä tarkasteltavat ajanjaksot osoittautuivat lyhyeksi. Jotta voidaan vähentää lyhyen aikajänteen tuomia liikenteellisiä epävarmuustekijöitä, kuten esimerkiksi tietöistä tai juhlapyhistä aiheutuvia vaihteluita, jatkotutkimuksien kannalta suositellaan käytettävän otantaa pidemmältä aikaväliltä. Ajoitus ei ollut esiselvityksen kannalta myöskään optimaalisin. Vertailun tuloksiin vaikutti liikaa tarkasteltavan ajankohdan eli vuoden 2021 helmikuun vähäiset liikennemäärät, eivätkä vertailtavat ajankohdat olleet täten vertailukelpoisia. Vuoden 2020 datan käyttöä vertailuajankohtana ei suositella käytettäväksi Koronavirustilanteesta vaikuttavista tekijöistä johtuen.

Työssä esitetyt kuvaajat havainnollistivat, millä tavoin liikenteen sujuvuudessa tapahtuvia muutoksia voidaan esittää. Aineiston data-analyysin perusteella pisteparvi-kuvaaja näyttäisi toimivan parhaiten liikennevirran perussuureiden välisten riippuvaisuuksien esittämiseen. Lyhyestä seuranta-ajasta johtuen kuvaajissa esiintyvät pistejoukot jäivät suppeiksi, eivätkä niiden muodot heijasta tarvittavalla tarkkuudella liikennevirran suureiden välisiä riippuvaisuuksia. Pidentämällä sekä vertailtavaa että seurattavaa ajankohtaa, saadaan kuvaajiin enemmän pistehavaintoja ja täten kuvaajien avulla pystytään paremmin mallintamaan syntyviä tuloksia ja todentamaan liikennevirrassa tapahtuvia muutoksia. Vaikutuksia suositellaan tutkittavaksi liikennemäärien palaututtua ns. normaalille tasolle.

## Lähteet

- Fintraffic. (2021). *Liikennetilanne*. Liikennetilannekartta. <https://liikennetilanne.fintraffic.fi/>
- Innamaa, S., Vanhanen, K. & Pursula, M. (2000). *Länsiväylän automaattisen liikenteenohjausjärjestelmän vaikutukset liikennevirtaan. Tielaitoksen selvityksiä 53/2000*. Edita Oy.
- Kallberg, V.-P., Luoma, J., Mäkelä, K., Peltola, H. & Rajamäki, R. (2014). *Ajonopeuden liikenneturvallisuus- ja ympäristövaikutukset*. VTT Technology 197. Verkkojulkaisu. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T197.pdf>
- Khondaker, B. & Kattan, L. (2015). *Variable speed limit: A microscopic analysis in a connected vehicle environment*. Transportation Research Part C 58 (2015), 146–159. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.07.014>
- Liikennevirasto. (2013). *Tieliikenteen vaihtuvan ohjauksen palvelutasot. Liikenneviraston toimintalinjoja 1/2013*. Verkkojulkaisu. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lto\\_2013-01\\_tieliikenteen\\_vaihtuvan\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lto_2013-01_tieliikenteen_vaihtuvan_web.pdf)
- Liikennevirasto. (2014). *Vaihtuvan ohjausjärjestelmän ohjauspolitiikan laadinta. Liikenneviraston ohjeita 19/2014*. Verkkojulkaisu. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2014-19\\_vaihtuvan\\_ohjausjarjestelman\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-19_vaihtuvan_ohjausjarjestelman_web.pdf)
- Liu, M. & Shi, J. (2018). *Exploring the Impact of Differentiated Per-Lane Speed Limits on Traffic Safety of Freeways with Considering the Compliance Rate*. Journal of Advanced Transportation, 11 sivua. <https://doi.org/10.1155/2018/8368294>
- Luoma, S. (1998). *Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen. Tielaitoksen selvityksiä 21/1998*. Oy Edita AB.
- Luttinen, R.T., Pursula, M. & Innamaa, S. (2005). *Liikennevirran ominaisuudet*. Opetusmoniste No. 15. Teknillinen korkeakoulu. Liikennelaboratorio.
- Nevala, R., Niittymäki, J., Rautio, J., Penttinen, M. & Rämä, P. (2003). *Liikenteen palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita. Tiehallinnon esiselvityksiä 42/2003*. Multiprint Oy.
- Niinikoski, M., Laine, T. & Metsäranta, H. (2008). *Tieliikenteen toimivuuden määrittely. tunnusluvut ja mittaaminen. Tiehallinnon selvityksiä 7/2008*. Edita Prima Oy.
- Nissan, A. & Koutsopoulos, H. (2011). *Evaluation of the Impact of Advisory Variable Speed Limits on Motorway Capacity and Level of Service*. Procedia Social and Behavioral Sciences 16, 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.433>

- Ojala, V., Enberg, Å. & Luttinen, T.R. (2007). *Tieliikenteen palvelutason määrittäminen. Katsaus euroopan maiden käytäntöihin. Tiehallinnon selvityksiä 55/2007*. Edita Prima Oy.
- Rämä, P., Schirokoff, A. & Rajamäki, R. (2003). *Muuttuvien nopeusrajoitusjärjestelmien turvallisuus. Tiehallinnon selvityksiä 54/2003*. Edita Prima Oy.
- Schirokoff, A., Rämä, P. & Tuomainen, A. (2005). *Vaihtuvien nopeusrajoitusten laajamittainen käyttö Suomessa. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 89/2005*. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Schirokoff, A. & Vitikka, H. (2001). *Muuttuvat nopeusrajoitukset autoilijoiden kokemina. Haastattelututkimus valtatiellä 9 (E 63) välillä Tampere - Orivesi. Tiehallinnon selvityksiä 50/2001*. Edita Prima Oy.
- Finlex. (2018). *Tieliikennelaki*. Haettu 21.2.2021 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180729>
- TRB. (2000). *Highway Capacity Manual 2000. HCM2000*. Transportation Research Board.
- Vilkkä, H. (2007). *Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet*. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- Väylä. (n.d.). *Vt 1 Kehä III–Munkkivuori, vaihtuvat nopeusrajoitukset*. Haettu 5.2.2021 osoitteesta <https://vayla.fi/vt-1-vaihtuvat-nopeusrajoitukset>



