



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden korkeakoulu

Noora Salonen

Liikenneverkkojen välityskyvyn parantaminen älyliikenteen keinoin

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 06.02.2012

Valvoja: Professori Tapio Luttinen

Ohjaaja: Kari Karessuo

AALTO-YLIOPISTO TEKNIIKAN KORKEAKOULUT PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Noora Salonen			
Työn nimi: Liikenneverkkojen välityskyvyn parantaminen älyliikenteen keinoin			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka			
Professori: Liikenne- ja tietekniikka		Koodi: Yhd-71	
Työn valvoja: Professori Tapio Luttinen			
Työn ohjaaja: Kari Karessuo			
<p>Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten liikenneverkkojen välityskykyä voidaan tehostaa älyliikenteen avulla. Tutkimuksen painopisteenä olivat tieliikenteeseen soveltuvat keinot, mutta myös rautatieliikenteeseen, meriliikenteeseen ja koko liikennejärjestelmään vaikuttavia keinoja on esitelty.</p> <p>Työn taustalla on tieliikenteen ja rautatieliikenteen välityskyvyn riittämättömyys etenkin pääkaupunkiseudulla. Ruuhkat ovat pääkaupunkiseudun pääväylillä säännöllisiä ja häiriön sattuessa väylät ruuhkautuvat myös ruuhka-ajan ulkopuolella. Välityskykyongelmia esiintyy myös muualla Suomessa ja liikenteen kasvun myötä ongelmat tulevat yleistymään. Meriliikenteessä välityskyky on pääosin riittävää ja ongelmia ilmenee lähinnä satamissa. Meriliikenteessä onkin olennaisempaa koko kuljetusketjun toimivuus kuin yksittäisen väylän välityskyky.</p> <p>Tutkimustulosten mukaan paras keino parantaa tieliikenteen välityskykyä on häiriönhallinnan kehittäminen. Kaupunkiliikenteessä välityskykyä voidaan häiriönhallinnan lisäksi parantaa ottamalla käyttöön alueelliset älykkäät liikennevalot ja optimoimalla jo olemassa olevat liikennevalot nykyisten liikenneolojen mukaisiksi. Muita hyviä keinoja ovat liikennetiedotus ja reittiopastus. Maanteillä ja kaupunkien isoilla väylillä hyviä välityskykyä parantavia keinoja ovat vaihtuvat nopeusrajoitukset sekä liikenteen tiedotus ja reittiopastus. Vaihtuvat nopeusrajoitukset soveltuvat hyvin erilaisille tieverkoille, mutta suurin hyöty saadaan ruuhkaisilla korkealuokkaisilla väylillä. Muita välityskykyä parantavia keinoja ovat ramppiohjaus, leveän pientareen käyttö ja vaihtuvasuuntaiset kaistat.</p> <p>Rautatieliikenteessä älyliikenteen tuoma merkittävin muutos tulee olemaan tietokoneavusteisen päätöksenteon hyödyntäminen liikenteenohjaajien apuna. Osan tehtävistä siirryttyä tietokoneelle voi liikenteen ohjaaja keskittyä liikenteen sujuvuuden kannalta tärkeimpiin tehtäviin. Myös kulunvalvontajärjestelmien kehittyminen tulee lisäämään välityskykyä. Meriliikenteessä keskeisiä tavoitteita on tiedon välittämisen tehostaminen kuljetusketjun toiminnan parantamiseksi.</p> <p>Tulevaisuudessa liikenteen välityskykyongelmien ratkaisuna voi olla teknologian kehittyminen ja liikenteen muuttuminen yhä autonomisemmaksi. Ajamisen hallinnan ja havainnoinnin siirtyessä yhä enemmän kuljettajalta tietokoneelle inhimillisten virheiden määrä vähenee, jolloin myös liikenteen häiriöt vähenevät. Ajoneuvojen älykkyyden kehittyessä voidaan tieliikenteen välityskykyä nostaa esimerkiksi lyhentämällä ajoneuvojen turvavälejä.</p>			
Päivämäärä: 6.2.2012		Kieli: suomi	Sivumäärä: 126
Avainsanat: älyliikenne, välityskyky, kapasiteetti, tieliikenne, rautatieliikenne, meriliikenne			

AALTO UNIVERSITY SCHOOLS OF TECHNOLOGY PO Box 12100, FI-00076 AALTO http://www.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Noora Salonen			
Title: Improving capacity of transportation networks using means of the intelligent transportation system			
School: School of Engineering			
Department: Civil and Environmental Engineering			
Professorship: Transportation and highway engineering		Code: Yhd-71	
Supervisor: Professor Tapio Luttinen			
Instructor(s): Kari Karessuo			
<p>The purpose of this study was to find how transportation networks capacity can be improved using means of the intelligent transportation system in Finland. The focal area of the study was road traffic but means of the railway traffic and the marine traffic has also been presented.</p> <p>The background of the study is that there is lack of capacity in main roads and in railways especially in Helsinki metropolitan area. Capacity problems occur also elsewhere in Finland and in the future problems will increase. The marine transport has usually enough capacity and problems occur mainly in harbors. In the marine transport the functionality of transport chains is more essential.</p> <p>According to the results of the study the best way to improve the capacity of roads is incident management. In urban areas the capacity can be also make better using intelligent traffic lights and optimizing existing traffic lights with the current traffic conditions. Other efficient means are traffic information and the route guidance. In suburban roads the most effective ways to improve the capacity are incident management, variable speed limits, traffic information and route guidance. Other means are ramp metering, variable directional lanes and hard shuolde running.</p> <p>The most significant changes in railway transport caused be ITS may be that the computer-aided decision-making become more general. Some of the tasks of transport operator can be transferred to computers and operators can focus on more important tasks. Also the development of the train control system will increase railway capacity. Key objective in marine traffic is to intensify the transmission of information to improve the functioning of the transport chains.</p> <p>In the future the solution for the traffic capacity problems can be the developments of vehicle technology. When management of driving shifts from a driver to a computer, human errors will reduce and thereby traffic incident will decrease. Vehicle intelligence evolves to increase the capacity of road, for example by decreasing the vehicle's safe following distance.</p>			
Date: 6.2.2012		Language: finnish	Number of pages: 126
Keywords: intelligent transportation system, capacity			

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Liikennevirastolle. Työn valvojana on toiminut professori Tapio Luttinen Aalto yliopiston insinööritieteiden korkeakoulusta. Työn ohjasi Kari Karessuo Liikenneviraston Liikennejärjestelmätoimialalta.

Haluan kiittää Tiina Tuurnalaa mielenkiintoisesta ja haastavasta aiheesta sekä tuesta työn aikana. Kiitos kuuluu myös ohjaajalleni Kari Karessuolle, joka on antanut korvaamattomia neuvoja sekä uusia näkökulmia työhöni. Haluan myös kiittää Anne Herneojaa, Tommi Arolaa ja Risto Kulmalaa arvokkaista neuvoista työn aikana sekä kaikkia Liikennejärjestelmätoimialan ihania työntekijöitä virkistävästä keskusteluista. Kiitän myös työni valvojaa professori Tapio Luttista hyvistä kommentteista.

Kiitokset kuuluvat myös kaikille niille, jotka antoivat haastattelun, auttoivat lähtöaineiston keräämisessä tai auttoivat muuten työn valmistumisessa.

Lisäksi haluan kiittää vanhempiani, siskoani ja ystäviäni kannustuksesta kaikkien opintovuosien aikana. Suurin kiitos kuuluu Tuomakselle kärsivällisyydestä ja jatkuvasta tuesta välillä hyvinkin turhauttavan kirjoitusprosessin aikana. Lopuksi haluan kiittää TeSaa unohtumattomista saunahetkistä!

Espoo 6.2.2012

Noora Salonen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo	5
1 Johdanto	8
1.1 Tausta	8
1.2 Tavoitteet ja rajaus	10
1.3 Tutkimusmenetelmät	11
2 Välityskyky ja liikenteen ominaisuudet	13
2.1 Yleistä.....	13
2.2 Tieliikenne.....	13
2.2.1 Ominaispiirteet.....	13
2.2.2 Välityskyky	14
2.2.3 Ruuhka	17
2.2.4 Häiriöt	19
2.2.5 Tieverkon välityskyvyn riittävyys.....	20
2.3 Raideliikenne.....	23
2.3.1 Ominaispiirteet.....	23
2.3.2 Välityskyky	24
2.3.3 Häiriöt	27
2.3.4 Raideliikenteen välityskyvyn tilanne	29
2.4 Meriliikenne	31
2.4.1 Ominaispiirteet.....	31
2.4.2 Välityskyky	31
2.4.3 Häiriöt	34
2.4.4 Meriliikenteen kapasiteetin tilanne	34
3 Älyliikenne.....	36
3.1 Käsitteet.....	36
3.2 Älyliikenteen nykytilanne	37
3.3 Tietoisuus liikennejärjestelmän tilasta	41
4 Liikennejärjestelmän käytön tehostaminen.....	44

5	Tieliikenteen välityskyvyn parantaminen	48
5.1	Yleistä.....	48
5.2	Kysyntää ja välityskykyä jakavat keinot	51
5.2.1	Yleistä	51
5.2.2	Reittiopastus ja liikennetiedotus	51
5.2.3	Pysäköinnin ohjaus	53
5.2.4	Kaistaohjaus	54
5.2.5	Liikennevalot	57
5.3	Nopeutta säätelevät ja liikennevirtaa homogenisoivat keinot	58
5.3.1	Vaihtuvat nopeusrajoitukset.....	59
5.3.2	Automaattinen nopeusvalvonta.....	61
5.3.3	Ramppiohjaus.....	62
5.3.4	Ajoneuvoteknologiset järjestelmät.....	63
5.4	Häiriönhallinta.....	69
5.5	Aktiivinen liikenteen operointi.....	72
5.6	Älyliikenteen keinojen arviointi ja yhteenveto.....	74
5.6.1	Yleistä	74
5.6.2	Keinojen vaikuttavuus.....	75
5.6.3	Suomeen soveltuvat keinot	78
5.6.4	Tulevaisuuden keinot	80
6	Rautatieliikenteen välityskyvyn parantaminen	83
6.1	Yleistä.....	83
6.2	Nykyiset liikenteenohjausjärjestelmät.....	84
6.3	Liikenteen sujuvoittaminen	88
6.3.1	Radio-ohjattujen rataosien lähtölupamenettelyn automatisointi.....	88
6.3.2	Liikkuva suojaväli.....	89
6.3.3	ERTMS	89
6.4	Kysynnän jakaminen tasaisemmin verkolle	91
6.4.1	Aikataulusuunnittelu	91
6.4.2	Ratakapasiteetin peruminen	92
6.5	Häiriönhallinta.....	92
6.5.1	Häiriötilanteiden ehkäiseminen.....	92
6.5.2	Junankuljettajien tilannetietoisuuden parantaminen	93

6.5.3	Uudelleenaikataulutus, päätöksenteon tukijärjestelmät ja reaaliaikainen liikenteenohjaus	94
6.6	Yhteenveto.....	96
7	Meriliikenteen kapasiteetin tehostaminen.....	98
7.1	Yleistä.....	98
7.2	Liikenteen ohjaus.....	98
7.2.1	Alusliikennepalvelu eli VTS	98
7.2.2	GOFREP	100
7.2.3	Alusliikenteen ohjaus- ja informaatiopalvelut	100
7.2.4	Elektroniset merikartat	101
7.2.5	Joustava kulkusyvyyskäytäntö	101
7.3	Satamapalvelut	102
7.3.1	Sähköinen tieto.....	102
7.3.2	PortNet	103
7.3.3	Muita järjestelmiä.....	104
7.4	Häiriönhallinta.....	104
7.5	Kuljetusketjun tehostaminen älyliikenteen avulla.....	105
7.6	Yhteenveto.....	107
8	Yhteenveto ja päätelmät.....	109
8.1	Yhteenveto.....	109
8.2	Päätelmät	111
8.3	Tutkimuksen luotettavuuden analysointi.....	113
8.4	Jatkotutkimuskohteet.....	114
	Lähdeluettelo.....	116
	Liiteluettelo	

1 Johdanto

1.1 Tausta

Liikennepolitiikka elää vahvaa muutoksen aikaa. Liikennepolitiikka laajentaa aikaisempaa näkökulmaa väylämuodoista koko liikennejärjestelmään ja liikenteen tietoinfrastruktuuriin. Liikennettä tulee ajatella kokonaisuutena, jossa eri liikennemuodot yhdessä muodostavat toimivia matkaketjuja. Perusajatuksena on käyttää kulloinkin turvallisinta, tehokkainta ja ympäristöystävällisintä kulkutapaa. Perinteinen liikennepolitiikka korostaa väylien rakentamishankkeita, kun taas uusi liikennepolitiikka kääntää huomion väylistä asiakkaisiin ja palveluihin. (Kulmala ja Schirokoff 2009)

Hyvinvoiva Suomi tarvitsee toimivat liikenneyhteydet, joilla liikkuminen ja kuljettaminen on turvallista ja liikennejärjestelmä on ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti kestävä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2007). Liikenteen tavoitetilana on, että matkat ja kuljetukset toimivat hyvin tukien ihmisten hyvää arkea, elinkeinoelämän kilpailukykyä ja alueiden vetovoimaa. Päämääränä on hyvä liikenteen palvelutaso. (Ratahallintokeskus 2006, Tiehallinto 2008a)

Liikenteen palvelutason saavuttaminen ja ylläpitäminen on hankalaa ja edessä on useita haasteita. Pääteiden liikennemäärien arvioidaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä keskimäärin 35 prosenttia. Pääkaupunkiseudulla ja muilla vilkkaimmilla alueilla kasvu voi olla jopa 50 %. Toisaalta muuttotappioalueilla liikennemäärät voivat vähentyä yli 10 prosenttia. Keskeisenä haasteena on varmistaa vilkkaiden teiden ja liikennesolmujen toimivuus ja turvallisuus, mutta toisaalta ylläpitää vähäliikenteinen tiestö riittävän hyvässä kunnossa. (Tiehallinto 2008a)

Tieliikenteen palvelutason lisäksi haasteena on ylläpitää ja kehittää sekä raide- että meriliikennettä ja liikennejärjestelmää kokonaisuutena. Ilmastonmuutos vaatii joukkoliikenteen käytön kasvattamista. Tämän vuoksi raideliikenteestä pitäisi saada yhä houkuttelevampi vaihtoehto yksityisautoilulle. Raideliikenteen käyttäjämäärä kasvaa joukkoliikenteen kasvun myötä, jonka myötä raideliikenteen sujuvuus ja toimivuus tulisi turvata. Yli 80 % Suomen tuonti- ja vientikuljetuksista hoidetaan meriliikenteellä, joten meriliikenteen toimintaedellytysten ylläpitäminen on tärkeää Suomen kilpailukyvyyn säilyttämiseksi. (Ratahallintokeskus 2006, Tiehallinto 2008a)

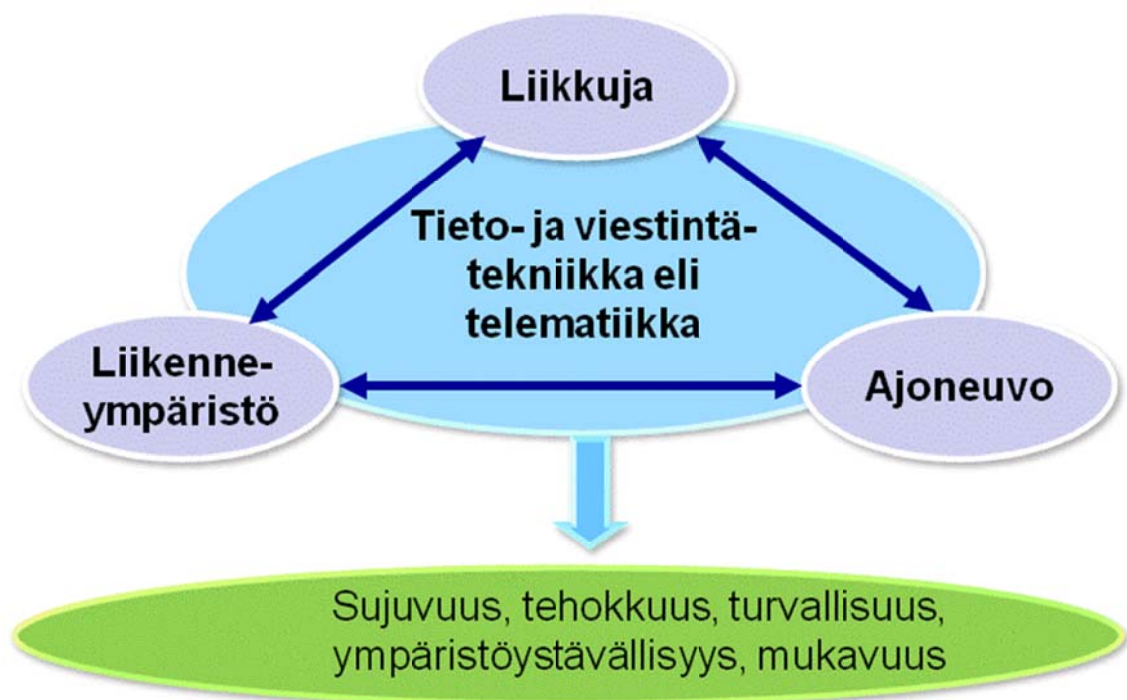
Liikenteen kehityksen yhtenä haasteena on julkisen rahoituksen niukkuus. Liikennemäärät kasvavat tulevaisuudessa, mutta julkisen sektorin väylien ylläpitämiseen ja kehittämiseen varattu rahamäärä ei lisäännä, vaan voi jopa vähentyä. Julkisen sektorin on parannettava tuottavuutta. Tämän takia väylien välityskyvyn parantaminen ei voi enää perustua vain uusien väylien ja ratojen rakentamiseen. Olemassa olevia väyliä tulee käyttää tehokkaammin ja liikennepolitiikalla tulee pyrkiä vaikuttamaan käyttäjien liikkumistapaan. Älyliikenne on yksi keino taistella tulevaisuuden haasteita vastaan. Esimerkiksi välityskykyä voidaan parantaa erilaisin älyliikenteen keinoin, rakentamatta uusi väyliä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009)

Älyliikenne on tieto- ja viestintäteknikan soveltamista liikennejärjestelmässä sekä ihmisten ja tavaroiden liikkumisessa. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009) Älyliikenteessä tärkeänä osana on informaation hyödyntäminen sekä älykkyyden siirtäminen laitteisiin. Älyliikenteen tavoitteena on, että liikenne toimii mahdollisimman hyvin huomi-

oiden muun muassa sujuvuuden, turvallisuuden, energian kulutuksen, päästöt, taloudellisuuden ja palvelutason. Sen avulla voidaan lisätä liikenteen tuottavuutta sekä vähentää liikenteen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä ja osaltaan hillitä ilmastonmuutosta. Älyliikenne on keino saavuttaa liikenteelle asetettuja tavoitteita, eikä älyliikenne tule pitää itseisarvona.

Älyliikenne on tullut osaksi liikennepolitiikkaa. Vuoden 2009 loppupuolella valmistui selvitysmiehen ehdotus kansalliseksi älyliikenteen strategiaksi ja 15.4.2010 Valtioneuvosto teki periaatepäätöksen kansallisesta älyliikenteen strategiasta. Vastaavanlaisia periaatepäätöksiä on tehty myös muissa maissa. Euroopan unioni antoi 26.8.2010 ensimmäisen direktiivin älykkäistä liikennejärjestelmistä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010c, Valtioneuvosto 2010) Älyliikenne näkyy vahvasti myös Liikenne- ja viestintäministeriön vuonna 2010 julkaisemassa tulevaisuuskatsauksessa. Katsauksen mukaan älyliikenteellä tulee olemaan merkittävä rooli esimerkiksi parannettaessa liikenteen tuottavuutta ja turvallisuutta. (Pursiainen ja Jalasto 2010)

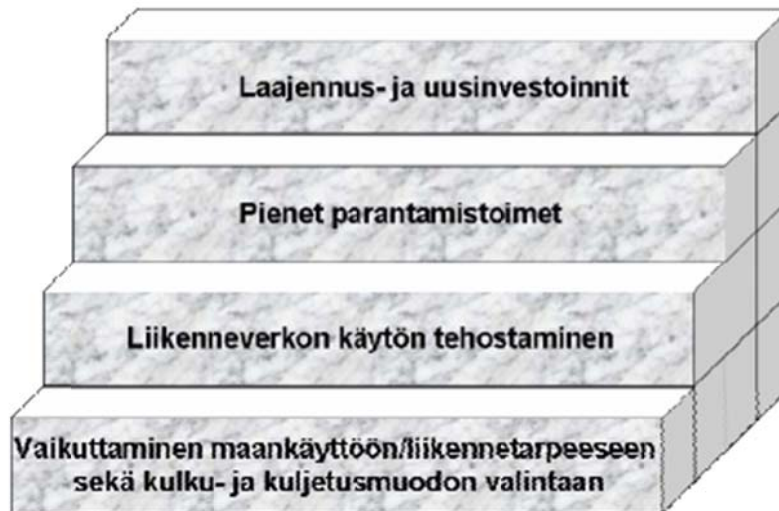
Älyliikenteen soveltaminen liikenteessä etenee nopeasti. Elektroniikan osuus on jo yli kolmasosa auton arvosta. Älyliikenteen myötä tien, ajoneuvon, ihmisen ja liikenteen keskinäinen suhde ja roolit muuttuvat. Kuljettaja, ajoneuvo ja liikenneympäristö kommunikoivat jatkuvasti keskenään. Vuorovaikutussuhteita on kuvattu kuvassa 1 (Kulmala 2010). Tulevaisuudessa tieympäristön ja ajoneuvon kommunikoinnin määrä kasvaa ja ihmisen rooli ja vastuu pienenee älyliikenteen kehittyessä. Merkittävimmät vaikutukset liikenteeseen tullaan saavuttamaan juuri ajoneuvosovellusten kautta, mitkä säätelevät ja avustavat kuljettajan toimintaa. Suuret muutokset tapahtuvat kuitenkin hitaasti ja ensin yleistyvät esimerkiksi ajantasainen liikennetiedotus älypuhelimiin. (Tiehallinto 2008a)



Kuva 1. Kuljettajan, ajoneuvon ja liikenneympäristön suhde (Kulmala 2010).

Älyliikenteen käyttöä liikennejärjestelmässä tukee myös vahvasti yleistynyt neliporrasmalli. Neliporrasmallissa liikenneongelmia ratkaistaessa tarkastellaan ensin, voidaanko ongelma hoitaa liikenteen kysyntään vaikuttamalla (kuva 2). Tämän jälkeen tutkitaan

mahdollisuudet tehostaa väyliä, ja vasta pienten parantamiskeinojen käytön jälkeen tarkastellaan uusia väylähankkeita. Neliporrasmallin mukaisesti liikennepolitiikan painopiste siirtyy väylien rakentamisesta älyliikenteen keinoihin ja muihin kevyempiin ratkaisuihin. Älyliikenteen keinot sijoittuvat neliporrasmallin alimmille askelmille. (Tiehallinto 2009c, Liikenne- ja viestintäministeriö 2007)



Kuva 2. Neliporrasmalli (Älykkyyteen liikenteessä).

Liikenne- ja viestintäministeriö on asettanut Liikenneviraston vuoden 2010 yhdeksi tavoitteeksi, että Liikennevirasto ryhtyy toteuttamaan kansallista älyliikenteen strategiaa. Yhtenä osana strategian toteuttamista tulee Liikenneviraston arvioida liikenneverkkojen välityskyvyn tehomahdollisuudet älyliikenteen avulla. Tämä työn tarkoituksena on vastata osaltaan liikenne- ja viestintäministeriön Liikennevirastolle asettamaan tavoitteeseen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010b.)

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Tämän työn tavoitteena on kartoittaa Suomeen sopivia älyliikenteen keinoja, joilla liikenneverkkojen liikenteen välityskykyä voidaan hyödyntää tehokkaammin. Älyliikenteen keinoja tarkastellaan vain yleisellä tasolla, eikä työssä syvennytä tarkemmin mihinkään yksittäiseen keinoon. Tavoitteena on kartoittaa mahdollisimman laajasti kaikki välityskykyä tehostavat ratkaisut ja poimia vaihtoehtojen joukosta Suomeen parhaiten sopivat keinot. Työssä yritetään myös löytää yhteneväisyyksiä tie-, raide-, ja meriliikenteen välityskyvyn tehostamisessa ja pohtia voidaanko toisaalla käytettyjä keinoja hyödyntää myös toisessa liikennemuodossa.

Työssä etsitään vastausta kolmeen kysymykseen:

- Onko Suomen liikenneverkolla välityskykyongelmia?
- Mistä välityskykyongelmat johtuvat?
- Miten liikenneverkkojen välityskykyä voidaan hyödyntää paremmin älyliikenteen keinoin?

Viimeinen kysymys on varsinainen tutkimuskysymys. Muut kysymykset ovat apuna tutkimusongelman saavuttamisessa.

Työssä käsitellään kolmea liikennemuotoa: tie-, rata- ja meriliikennettä. Ilmaliikenne on työstä rajattu pois. Työssä keskitytään pääasiassa tieliikenteeseen soveltuvien älyliikenteen keinojen tutkimiseen ja vaikutusten arviointiin. Raide- ja meriliikenteen keinot ja vaikutukset kuvataan vain karkeasti, koska näillä aloilla on välityskyvyn tehostamista tutkittu tieliikennettä enemmän. Meriliikenteessä välityskykyongelmat ovat myös selvästi harvinaisempia kuin tie- ja rataliikenteessä. Yksittäisten väylien lisäksi työssä tarkastellaan myös liikennekäytävien ja -verkkojen välityskykyä tehostavia keinoja. Työhön on valittu vain sellaisia tieliikenteeseen soveltuvia älyliikenteen keinoja, joiden vaikuttavuutta välityskykyyn on tutkittu, joita jo käytetään Suomessa tai joiden käyttöönotto Suomessa voisi olla mahdollista.

Tässä työssä esitellään välityskykyä parantavat tärkeimmät keinot. Tarkemmassa analyysivaiheessa on työstä rajattu pois suurin osa kysynnän hallinnan ratkaisuksista, kuten liikkumisen ohjauksen ja hinnoittelun keinovalikoima. Pääpiirteissä työssä oletetaan, että kysyntä on annettu eli ajoneuvojen määrään koko verkolla ei pyritä vaikuttamaan. Mukana on kuitenkin keinoja, joiden avulla ajoneuvoja voidaan ohjata käyttämään toista vähemmän ruuhkautunutta reittiä. Välityskyvyn parantamisen vaikutusta kysyntään ei arvioida. Työssä esitetyillä ratkaisuilla ei pyritä vaikuttamaan ajoneuvossa olevien matkustajien määrään tai joukko- tai kevyen liikenteen kilpailukykyyn parantamiseen.

Tähän työhön on ensisijaisesti valittu keinoja, jotka ovat jo käytössä tai jotka voivat tulla käyttöön seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tämän lisäksi mukana on muutamia tulevaisuuden visioita, jotka voivat toteutua mahdollisesta vasta kymmenien vuosien päästä, jos ollenkaan. Ajoneuvotekniikan tulevaisuuden mahdollisuuksia nostetaan työssä esille jokaisen keinon yhteydessä. Niiden vaikuttavuutta välityskyvyn parantamiseksi ei ole tarkemmin tutkittu ja ajoneuvotekniikan vaikutuksia onkin arvioitu vain karkeasti.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä käytetään tutkimusmenetelminä kirjallisuusselvitystä, asiantuntijahaastatteluita ja kahta asiantuntijatyöpajaa. Kirjallisuusselvityksen avulla esitellään välityskyvyn peruskäsitteet ja välityskykyyn vaikuttavat tekijät. Tämän lisäksi tavoitteena on esitellä aiheeseen liittyvää olemassa olevaa tutkimusta sekä älyliikenteen keinoja ja vaikutuksia, joita on jo tutkittu tai kokeiltu Suomessa tai muualla maailmassa. Kirjallisuusselvityksen avulla etsitään myös uusia keinoja, joilla välityskykyä voitaisiin tehostaa.

Työn yhdeksi tutkimusmenetelmäksi valittiin asiantuntijahaastattelut, koska haastatteluiden avulla voidaan saada pieneltä asiantuntijajoukolta paljon ja monipuolisesti ajankohtaista tietoa. Aiheesta on tehty hyvin rajallinen määrä tutkimusta Suomessa tai Suomessa vastaavissa olosuhteissa. Asiantuntijahaastatteluisa saadaan juuri Suomeen kohdennettua tietoa. Haastattelut sopivat tutkimusmenetelmäksi myös sen takia, että tutkimuksen aihe oli hyvin laaja, ja aiheen oletettiin tuottavan vastauksia hyvin monitahoisesti. Haastatteluiden tarkoituksena oli syventää kirjallisuustutkimuksessa saatuja tietoja ja hahmottaa erilaisten älyliikenteen keinojen tärkeyttä suhteessa toisiinsa. Haastatteluiden avulla syvennettiin myös kirjallisuusselvityksen antamaa tietoa älyliikenteen ja välityskyvyn nykytilanteesta Suomessa.

Tutkimushaastattelut voidaan jakaa eri ryhmiin sen mukaan kuinka strukturoitu haastattelu on. Lomakehaastattelussa kysymysten muoto ja esittämisjärjestys on etukäteen täysin määrätty, kun taas avoimessa haastattelussa edetään sen mukaan miten asiat tulevat vastaan keskustelun kuluessa. Tässä työssä menetelmäksi valittiin teemahaastattelu, joka on avoimen haastattelun ja lomakehaastattelun välimuoto. Teemahaastattelussa aihealueet ovat tiedossa, mutta kysymysten tarkka muoto ja järjestys tarkentuvat haastattelun kuluessa. Teemahaastattelu valittiin haastattelumuodoksi, koska aihe on hyvin laaja, mutta vastauksia haluttiin vain tietyistä osista älyliikenteen kenttää. Lomakehaastattelu ei olisi mahdollistanut tarpeeksi laaja-alaista tiedon keruuta ja olisi toisaalta rajoittanut haastateltavien mahdollisuutta uusiin visioihin. Avoin haastattelu olisi ollut vaikea toteuttaa laajan aihepiirin takia. (Hirsjärvi et al 2009)

Tutkimuksessa haastateltiin 9 henkilöä (liite 1). Haastateltavat valittiin Tiina Tuurnalan, Miika Mäkitalon ja Kari Karessuon ehdotusten pohjalta kattaen mahdollisimman laaja-alaisesti koko älyliikenteen alan. Haastattelut tehtiin kesäkuun ja joulukuun 2010 välisenä aikana.

Haastattelujen kysymykset mietittiin tapauskohtaisesti. Liitteessä 2 on haastatteluissa käytettyjä niin kutsuttuja teemakysymyksiä, joiden pohjalta haastattelu vietiin eteenpäin. Tämän lisäksi jokaiselle haastateltavalle oli tehty omia tarkentavia kysymyksiä. Haastattelut eivät olleet sidottuja valmiisiin kysymyksiin, vaan tilanteen mukaan kysymyksistä voitiin poiketa ja keskusteltiin myös kysymysten ulkopuolisista teemoista.

Haastatteluiden lisäksi järjestettiin kaksi pienimuotoista asiantuntijatyöpajaa. Ensimmäinen työpaja järjestettiin 30.11.2010. Ensimmäisessä työpajassa pohdittiin kuljetusketjun ongelmia sekä sitä, miten älyliikenteen keinoilla voidaan parantaa koko kuljetusketjun toimintaa. Työpajaan osallistui yksi tieliikenteen asiantuntija, yksi meriliikenteen asiantuntija ja kaksi tavaraliikenteen asiantuntijaa. Työpajan tuloksena hahmoteltiin karkeasti kuljetusketjun ongelmia ja haasteita. Tämän lisäksi tunnistettiin älyliikenteen keinoja, joilla ongelmia voitaisiin vähentää. Työpajassa käytyä keskustelua on hyödynnetty luvussa 7.5. Työpajan osallistujat on koottu liitteeseen 1.

Toinen työpaja järjestettiin 2.11.2010. Työpajassa pohdittiin älyliikenteen keinojen soveltuvuutta etenkin kaupunkiseuduille. Työpajassa asiantuntijat myös arvottivat älyliikenteen keinot suhteessa toisiinsa. Asiantuntijoiden arviot ovat vaikuttaneet tämän työn tieliikenne-osien tuloksiin. Työryhmätyöskentelyjen tarkoituksena oli myös löytää eri liikennemuotojen väliltä synergioita tehostaa välityskykyä. Työpajassa pohdittiin myös, olisiko mahdollista hyödyntää eri liikennemuotojen käyttämiä keinoja tai ideoita myös toisissa liikennemuodoissa. Työpajaan osallistui kolme tieliikenteen älyliikenneasiantuntijaa. Osallistujien tiedot ovat liitteessä 1.

2 Välitiskyky ja liikenteen ominaisuudet

2.1 Yleistä

Tie-, rata- ja meriliikenteellä on hyvin paljon yhtenäisiä piirteitä, mutta myös uniikkeja ominaisuuksia. Nämä ominaispiirteet määrittävät minkälaisiin matkoihin ja kuljetuksiin kukin liikennemuoto soveltuu parhaiten. Ominaispiirteet vaikuttavat myös siihen, minkälaiset tekijät vaikuttavat välitiskykyyn ja minkälaisilla keinoilla välitiskykyä voidaan tehostaa.

Välitiskyky voidaan määritellä yhtenäisesti sekä tie-, rata- että meriliikenteessä. Välitiskyvyllä tarkoitetaan suurinta liikennemäärää (ajon/h), joka vallitsevissa olosuhteissa voi ohittaa tietyn kohdan. (Luttiinen et al. 2005) Vaikka kaikissa liikennemuodoissa välitiskyvyn idea on sama, käytetään eri liikennemuodoissa samasta asiasta erilaisia termejä. Esimerkiksi rautatieliikenteessä välitiskyvystä käytetään useammin termiä ratakapasiteetti ja tieliikenteessä puhutaan usein kapasiteetista.

Meriliikenteessä ei ole käytössä välitiskykyä kuvaavaa termiä, koska tie- ja rautatieliikenteen tapaisia välitiskykyongelmia ei esiinny. Tällaiselle termistölle ei täten ole tarvetta. Meriliikenteessä puhutaan perinteisesti kapasiteetista, mutta tällöin tarkoitetaan yleensä aluksen tai sataman lastikapasiteettia.

Välitiskyky kertoo liikennevälineiden määrän, jotka voivat ohittaa tietyn pisteen tietyllä aikavälillä. Se ei huomioi, kuinka paljon matkustajia ajoneuvoissa kulkee tai kuinka paljon tavaraa väylillä ja raiteilla liikkuu. Tämän vuoksi välitiskykyä yksinään tarkastelemalla saadaan tietää vain kuinka monta ajoneuvoa väylällä voi liikkua samanaikaisesti. Tällöin osa liikenteen tehostamisen potentiaalista jää tunnistamatta. Tällaisen kapean näkemyksen sijaan olisi järkevämpää tarkastella liikenteen suoritetta eli kuinka monta tonni- tai henkilökilometriä liikenneväylällä voidaan kuljettaa. Tällainen tarkastelu mahdollistaisi eri liikennemuotojen tarkoituksenmukaisemman vertailun ja näkökulman laajentamisen koko liikennejärjestelmän toiminnan tehostamiseen.

Liikenteen suorituskyvyn parantamiseksi ei riitä yksittäisten väylien käytön tehostaminen. Mukaan on otettava väistämättä erilaiset kysynnän hallinnan ja liikkumisen ohjauksen keinot. Niitä on tässä tarkasteltu vain pääpiirteittäin.

2.2 Tieliikenne

2.2.1 Ominaispiirteet

Tieliikenne on Suomen yleisin liikennemuoto sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Tieliikenteen osuus on 93 % henkilöliikenteestä ja 68 % tavaraliikenteestä, ja tieliikenne palveleekin päivittäin lähes kaikkia kansalaisia. (Liikennevirasto 2010f)

Tieliikenne eroaa monilla tavoin rautatie- ja meriliikenteestä. Tieverkko on erittäin kattava muiden liikennemuotojen verkkoihin verrattuna. Tiestöä on Suomessa noin 450 000 kilometriä, kun esimerkiksi rataverkkoa on vain noin 9 000 kilometriä. Tiestön voidaan ajatella olevan Suomen liikenneverkon hiussuonet. (Liikennevirasto 2010f)

Tieliikenne on vain vähän säädeltyä muihin liikennemuotoihin verrattuna. Yksittäisiä liikkujia on tieliikenteessä niin paljon, että jokaisen yksittäisen liikkujan valvominen ja

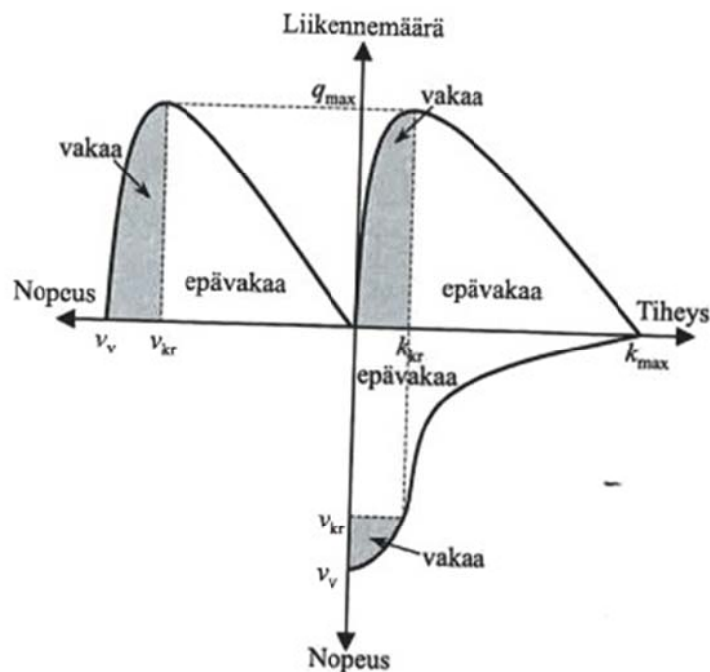
ohjaaminen on tällä hetkellä mahdotonta. Tieverkolla liikkuu hyvin erilaisia kuljettajia, jotka ovat kyllä suorittaneet ajokortin, mutta muita pätevyysvaatimuksia ei ole. Ainoastaan ammattikuljettajilla valvonta on tiukempaa. Tämän vuoksi kuljettajien taidot ja kokemus vaihtelevat paljon, ja tiestöllä liikkuu samanaikaisesti monenlaisia kuljettajia.

Yksittäisten ajoneuvojen suuri määrä ja kuljettajien heterogeenisyys ovat osittaisena syynä myös siihen, että tieliikenteessä sattuu rautatie- ja meriliikenteeseen verrattuna merkittävästi enemmän onnettomuuksia. Tieliikenteen onnettomuuksissa kuoli 270 ihmistä vuonna 2010. Onnettomuuksista noin 90 %:n arvellaan aiheutuvan inhimillisestä tekijästä tai kuljettajan väärästä toiminnasta. (Liikennevirasto 2010f)

Tiellä liikkuu hyvin erilaisia ja erikokoisia ajoneuvoja. Tiellä voi kulkea peräkkäin esimerkiksi moottoripyöriä ja raskaasti kuormattuja moduulirekkoja. Raide- ja meriliikenteeseen verrattuna kuljetusyksiköt ovat kuitenkin pienempiä, eikä tiellä voida kuljettaa yhtä suuria massoja kerrallaan. Ajoneuvot liikkuvat myös lähempänä toisiaan kuin muissa liikennemuodoissa.

2.2.2 Välityskyky

Tien välityskyvyllä (ajon/h) tarkoitetaan suurinta liikennemäärää, jotka vallitsevissa tie-, liikenne-, sää- ja keliolosuhteissa voi ohittaa tietyn tiekohdan aikayksikössä. (HCM 2000, Luttinen et al. 2005) Kuvassa 3 liikennevirran käyttäytyminen esitetään usean funktion avulla. Tien välityskyky voidaan määrittellä liikennevirran peruskuvaana avulla, joka on liikennemäärän ja liikennetiheyden funktio. Kuvasta 3 nähdään, että liikennemäärä kasvaa liikennetiheyden kasvaessa kriittiseen tiheyteen asti, jonka jälkeen liikennemäärä alkaa laskea. Tämä kriittinen tiheys vastaa väylän teoreettista välityskykyä. (HCM 2000, Luttinen et al. 2005)



Kuva 3. Liikennevirran kuvaajat (Luttinen et al. 2005)

Välityskyky voidaan määritellä myös liikennemäärän ja nopeuden välisestä suhteesta. Kuvassa 3 nähdään, että liikennemäärän kasvaessa myös nopeus voi kasvaa tiettyyn rajaan asti. Tämän jälkeen sekä liikennemäärä alkaa laskea. Liikennemäärä on suurin kriittisen nopeuden v_{kr} kohdalla, ennen kuin liikennemäärä alkaa laskea. (HCM 2000, Luttinen et al. 2005)

Kuten liikennemäärä-nopeus -kuvaajasta todettiin, liikennemäärä on suurimmallaan nopeuden saavuttaessa kriittisen pisteensä, minkä jälkeen liikennemäärä romahtaa. Et-sittäessä keinoja välityskyvyn parantamiseksi, tärkeintä on ensisijaisesti ylläpitää sopiva nopeus väylällä ja välttää nopeuden alenemista kriittisen nopeuden alapuolelle eli estää ruuhkautuminen. Välityskyvyn palautuminen normaaliin liikenteen pysähtymisen jälkeen kestää kauemmin kuin ruuhkan syntyminen. Tärkeämpää kuin suurimman mahdollisen liikennemäärän saavuttaminen on ylläpitää liikennemäärä, joka ei ole herkkä ruuhkautumiselle, mutta kuitenkin riittävän hyvä liikenteen tarpeisiin. Ruuhkautumista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.2.3. (HCM 2000, Luttinen et al. 2005)

Väylän välityskykyyn vaikuttaa useat erilaiset tekijät. Highway Capacity Manual (2000) jakaa tekijät tien, liikenteen ja ohjauksen vaikutuksiin. Myös älyliikenteellä voidaan vaikuttaa välityskykyyn, mutta nämä keinot ovat osa esimerkiksi liikenteen ohjauksen tekijöitä. (HCM 2000)

Perustekijät:

- Sää
- Tien kunto
- Ihminen

Tiehen liittyviä välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat (riippuen tietypistä):

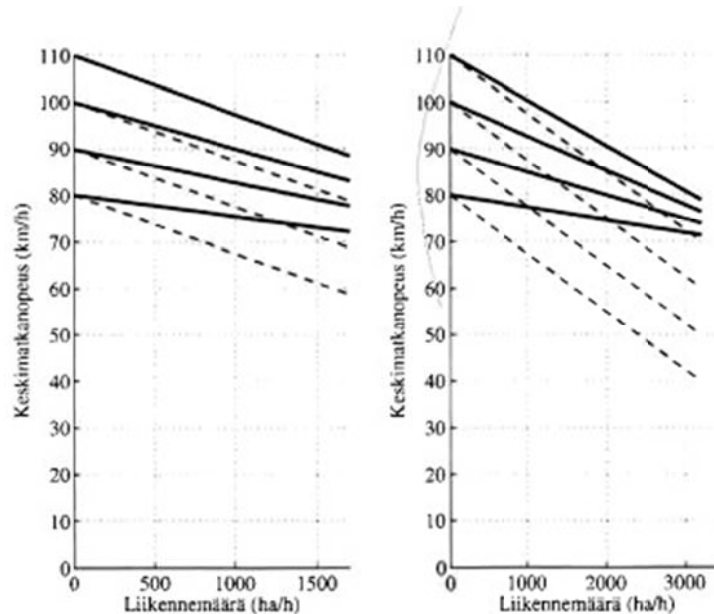
- Kaistojen määrä
- Tien luokka
- Kaistan leveys
- Pientareiden leveys ja tien sivussa oleva tila
- Mitoitusnopeus
- Pituus- ja sivukaltevuus
- Erkanemiskaista(t) liittymissä
- Liikenteeseen liittyvät tekijät:
- Ajoneuvojen tyyppijakauma
- Suunta- ja kaistajakauma

Liikenteen ohjaukseen liittyvät tekijät:

- Liikennevalot
- Pysähtymis- ja kieltomerkit
- Kadunvarsipysäköinti
- Kääntymisen kieltäminen ja yksisuuntaiset tiet

- Kaistankäytön ohjaaminen

Välityskyvyn arvo vaihtelee maittain samanlaisia teitä verrattaessa. Ero voidaan huomata esimerkiksi keskimatkanopeus-liikennemäärä -kuvaajasta (kuva 4). Kuvaajassa katkoviivalla on esitetty HCM 2000:n arvot ja tummalla viivalla on esitetty Suomen olosuhteisiin korjatut arvot. Kuten kuvaajasta nähdään, Suomessa nopeus ei alene yhtä paljon suhteessa liikennemäärään kun HCM 2000:ssa. Ero voidaan selittää esimerkiksi erilaisella liikennekäyttötymisellä tai raskaiden ajoneuvojen heikommalla moottoriteholla. (HCM 2000, Luttinen et al. 2005)



Kuva 4. Henkilöautojen keskimatkanopeus liikennemäärän funktiona perustilanteessa kaksikaistaisilla teillä. Vasemmanpuoleisessa kuvaajassa liikenne on yhdensuuntaista ja oikealla tasaisesti jakautunut molemmille kulkusuunnille. (Luttinen 2001)

Toinen huomioitava asia välityskykyä käsiteltäessä on, että liikennemäärissä ja nopeuksissa tapahtuu jatkuvaa satunnaista vaihtelua. Tämän vuoksi suureiden tarkastelu esimerkiksi tunnin välein ei ole missään nimessä riittävää, vaan välityskykyä tulisi mitata vähintään 15 minuutin välein. Suuria vaihteluita voi esiintyä jo muutaman minuutin välein. (HCM 2000, Luttinen et al.2005)

Yksittäisten väyläosuuksien välityskyvyn tarkastelun lisäksi on hyvä tarkastella myös liikennekäytävien ja liikenneverkkojen välityskykyä. HCM 2000 mukaan liikennekäytävien ja verkon välityskyvyn määrittäminen vaatii, että alue, jolla välityskykyä lasketaan, on suljettu ja alueelle tulevat ja sieltä lähtevät liikennevirrat tiedetään. Välityskyky saadaan laskemalla ensin jokaisen yksittäisen liikenneverkon osan, kuten tien, liittymän ja rampin, välityskyky alueella. Näiden perusteella voidaan määrittellä liikennekäytävän ja koko alueen välityskyky. (HCM 2000)

Liikennekäytävien ja -verkkojen välityskyky voidaan määrittellä myös alueen heikoimman kohdan eli pullonkaulan välityskyvyn mukaan. Yksi hidas kohta liikenneverkossa vaikuttaa nopeasti koko verkon sujuvuuteen. Etenkin liikennekäytävillä pullonkaulakohdilla on suuri merkitys, sillä ainoastaan yksi liittymä, jonka liikennemäärä ylittää

pääväylän välityskyvyn, voi ruuhkauttaa väylän monien kilometrien matkalta. (HCM 2000)

2.2.3 Ruuhka

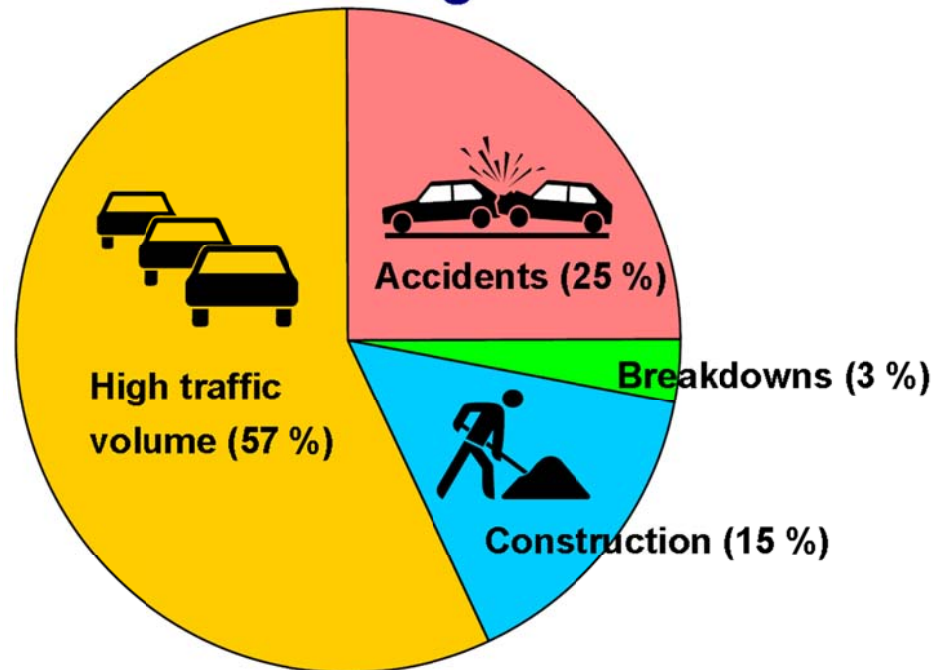
Ruuhka tarkoittaa, että väylän välittämä liikennemäärä jää pienemmäksi kuin sille pyrkivä liikenne eli liikenteen kysyntä. (Luttinen et al. 2005)

Liikenne ruuhkautuu, kun liikennetiheys ylittää kriittisen arvon. Toisin sanoen ruuhka syntyy, kun kysyntä ylittää tien välityskyvyn liian monen autoilijan tehdessä matkansa samanaikaisesti samoja reittejä pitkin. Väylän välityskyky on tällöin riittämätön. Ruuhkan voi aiheuttaa erilaiset olosuhteet: (Luttinen et al. 2005)

- Tielle tulee enemmän liikennettä kuin se kykenee välittämään eli liikenteen kysyntä ylittää väylän välityskyvyn.
- Onnettomuus tai muu häiriö kuten huono sää, yleisötilaisuus tai tietyö alentaa välityskyvyn liikennemäärää alhaisemmaksi.
- Hidas ajoneuvo tai muu syy alentaa liikennevirran nopeuden liikennetiheyden edellyttämää nopeutta alhaisemmaksi.

Sparman (2007) on arvioinut ruuhkan syitä Alankomaissa (kuva 5). Sparmannin mukaan 57 % ruuhkista aiheutuu liikenteen ylikysynnästä tiellä, 25 % onnettomuuksista, 15 % tietöistä ja loput muista häiriöistä. Käytännössä noin puolet ruuhkista aiheutuu tien ylikysynnästä ja toinen puoli erilaisista häiriöistä. Yhdysvalloissa on vastaavasti laskettu, että 50–60 % kaikista ruuhkista aiheutuu onnettomuuksista. (Day 2004) Häiriöiden suuri osuus on hyvä huomioida, kun pohditaan eri keinoja ruuhkien vähentämiseksi.

Sources of Congestion



Kuva 5. Ruuhkan syyt Alankomaissa. (Sparmann 2007)

Ruuhkalle ei ole olemassa tieteellisesti hyväksyttyä määritelmää. Ruuhkan kokeminen on aina suhteellista ja siihen vaikuttavat tie- ja liikenneolosuhteiden lisäksi tienkäyttäjien kokemukset ja odotukset. Yleisesti ruuhkalla tarkoitetaan autoilijan mielestä haitallisen suurta liikenteen hidastumista eli autoilijan tavoitenopeuden ja todellisen nopeuden eroa. Se minkälainen hidastuminen koetaan ruuhkaksi, riippuu myös autoilijan sijainnista. (Luttinen et al. 2005)

Ruuhkan syntymistä voidaan havainnollistaa liikennevirtateorian peruskuvaaajien avulla. Ruuhkautuminen laskee nopeuksia äkillisesti, ja liikennemäärä jää tällöin alhaisemmaksi kuin vakaassa tilanteessa. Välityskyvyn palautuminen takaisin normaaliin tasoon ruuhkan jälkeen kestää pitkään. Kuten edellisessä luvussa todettiin, on välityskykyä parantavia keinoja pohdittaessa etsittävä ensisijaisesti keinoja, joilla voidaan välttää ruuhkautuminen. Kun liikenteen kysyntä kasvaa ja korkea kysyntätaso kestää pitkään, ruuhkautumisen todennäköisyys lisääntyy. (Luttinen et al. 2005)

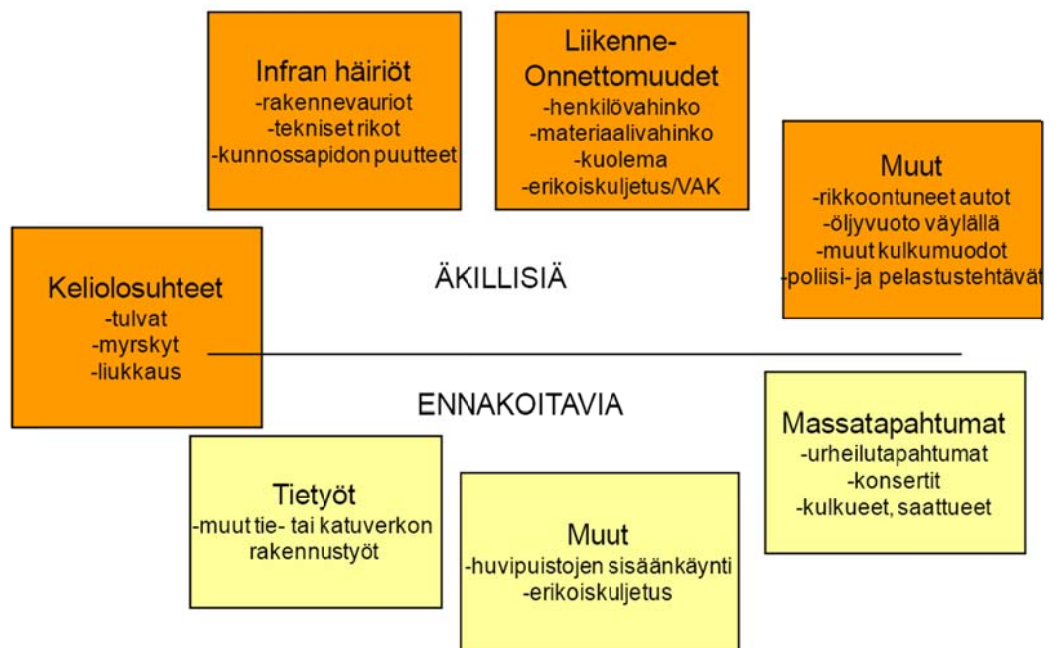
Ruuhkautumista mitataan aikaan tai liikennemääriin perustuvilla mittareilla. Suositeltavaa olisi käyttää aikaa perustuvaa mittausta, sillä matka-ajan kasvu kertoo suoraan käyttäjien kokeman haitan kasvamisesta. Kuitenkin matka-ajoista on saatavilla mittauksia liikennemäärämittauksia selvästi huonommin, minkä vuoksi liikennemäärämittauksia käytetään usein ruuhkien arviointiin. Tällöin liikennemäärää verrataan olemassa olevaan välityskykyyn ruuhkautumisen mittaamiseksi. Myös liikennetiheyttä voidaan käyttää ruuhkan mittarina, jos muita tunnuslukuja ei ole saatavilla. (Kalliokoski 2003)

Liikennevirastossa ruuhkan mittarina käytetään matka-ajan mittaajärjestelmän tuottamaa vuosikeskiarvoa suurten kaupunkiseutujen tieverkolla. Tieosuutta pidetään ajoittain ruuhkautuneena, kun maanantai-torstai päivien huipputunnin matka-ajan mediaani-

en keskiarvo on yli 5 % tieosan koko kuukauden matka-aikojen mediaania suurempi. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010b)

2.2.4 Häiriöt

Häiriö määritellään poikkeukselliseksi tapahtumaksi, joka vähentää liikenteen välityskykyä. Häiriöt voivat olla ennakoitavissa tai tapahtua yllättäen. Ennakoitavissa olevia tapahtumia ovat esimerkiksi tietyt tai massatapahtumat. Äkillisiä yllättäviä häiriöitä ovat esimerkiksi liikenneonnettomuudet tai tien rakenneauriot. Liikenteen erilaisia häiriötekijöitä on esitelty kuvassa 6. (Salkonen ja Rauhamäki 2008)



Kuva 6. Tieliikenteen häiriötekijöitä. (Salkonen ja Rauhamäki 2008)

Liikenteen häiriöiden yleisimpiä seurauksia ovat liikenneverkon ruuhkautuminen, välityskyvyn lasku, viivytyksen kasvaminen ja onnettomuusriskin kohoaminen. Arvioidaan, että tieliikenteen ruuhkista Suomessa 70 prosenttia aiheutuu häiriötilanteista, kun suuret yleisötapahtumat lasketaan mukaan. (Kulmala ja Schirokoff 2009) Alankomaalaisen tutkimuksen mukaan yli 20 prosenttia pääteiden viivytyksistä johtuu häiriöistä ja ilman häiriönhallintalaitteita viivytykset olisivat jo nyt 50 % suurempia. (Kulmala ja Schirokoff 2009) Häiriötilanteeseen liittyvän sekundaaristen onnettomuuksien osuudeksi on arvioitu 10–20 prosenttia kaikista onnettomuuksista (Day 2004.)

Häiriön kesto on verrannollinen sen aiheuttamiin vaikutuksiin liikenneverkolla. Mitä pidempään häiriö kestää, sitä enemmän ja laajemmin se häiritsee liikennettä. Häiriön vaikutusten laajuuteen verkolla vaikuttaa myös väylän ja ympäröivän alueen liikennemäärä, vaihtoehtoinen reitti sekä häiriön luonne. Erityisen ongelmallista on, että häiriön jälkeen välityskyvyn palautuminen normaaliksi kestää kauan, pääsääntöisesti sitä kauemmin mitä kauemmin häiriökin on kestänyt. (Salkonen ja Rauhamäki 2008)

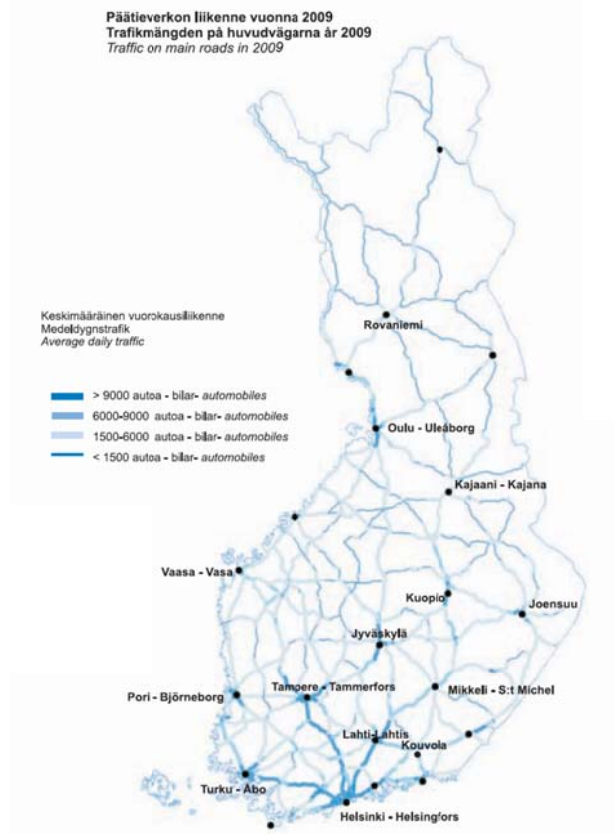
Häiriöiden kestot vaihtelevat häiriöstä ja häiriön laajuudesta riippuen muutamien minuuttien häiriöistä useisiin tunteihin. Esimerkiksi Uudellamaalla onnettomuusilanteet

kestävät yleisimmin puolesta tunnista tuntiin, mutta yli viisi tuntiakin kestäviä tilanteita sattuu kuukausittain. (Tiehallinto 2006a) Ennakoitavissa olevat häiriöt, kuten tietyömaat, voivat ruuhkauttaa liikennettä säännöllisesti useiden tuntien ajaksi, jopa useiden vuosien aikana. Näihin häiriöihin voidaan kuitenkin varautua ennalta toisin kuin äkillisiin häiriöihin.

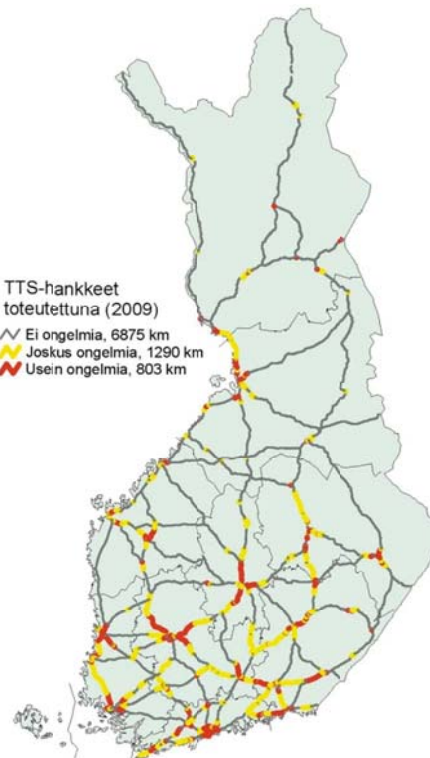
2.2.5 Tieverkon välityskyvyn riittävyys

Suomen tieverkon välityskyky on yleisesti riittävä paikallisia poikkeuksia lukuun ottamatta. Ongelmia esiintyy lähinnä vilkkaammilla tieosuuksilla taajamien läheisyydessä, väylien pullonkaulakohdissa ja isoimmista kaupungeista. Säännölliset arkiruuhkat näillä ruuhkaisimmilla teillä aiheutuvat pääsääntöisesti työmatkaliikenteestä. Muulla tieverkolla ruuhkaa esiintyy yleensä vain viikonloppuisin. (Liikennevirasto 2010f)

Liikenne keskittyy Suomessa Etelä-Suomen pääteille, joissa välityskykyongelmat ovat myös yleisimpiä. Uudenmaan ELY-keskuksen alueella olevien maanteiden liikennesuorite on lähes 35 % koko maan liikennesuoritteesta. (Liikennevirasto 2010f) Kuvasta 7 nähdään tarkemmin, että suurimmat liikennemäärät ovat Helsingin seudulla ja Helsingistä lähtevillä pääteillä sekä suurimmilla kaupunkiseuduilla. Tieverkon ruuhkatilanne - kuvasta (kuva 8) näemme vastaavasti, että välityskykyongelmat keskittyvät samoille pääteille, joissa liikennemäärät ovat suurimpia.



Kuva 7. Päätieverkon liikenne vuonna 2009. (Liikennevirasto 2010f)

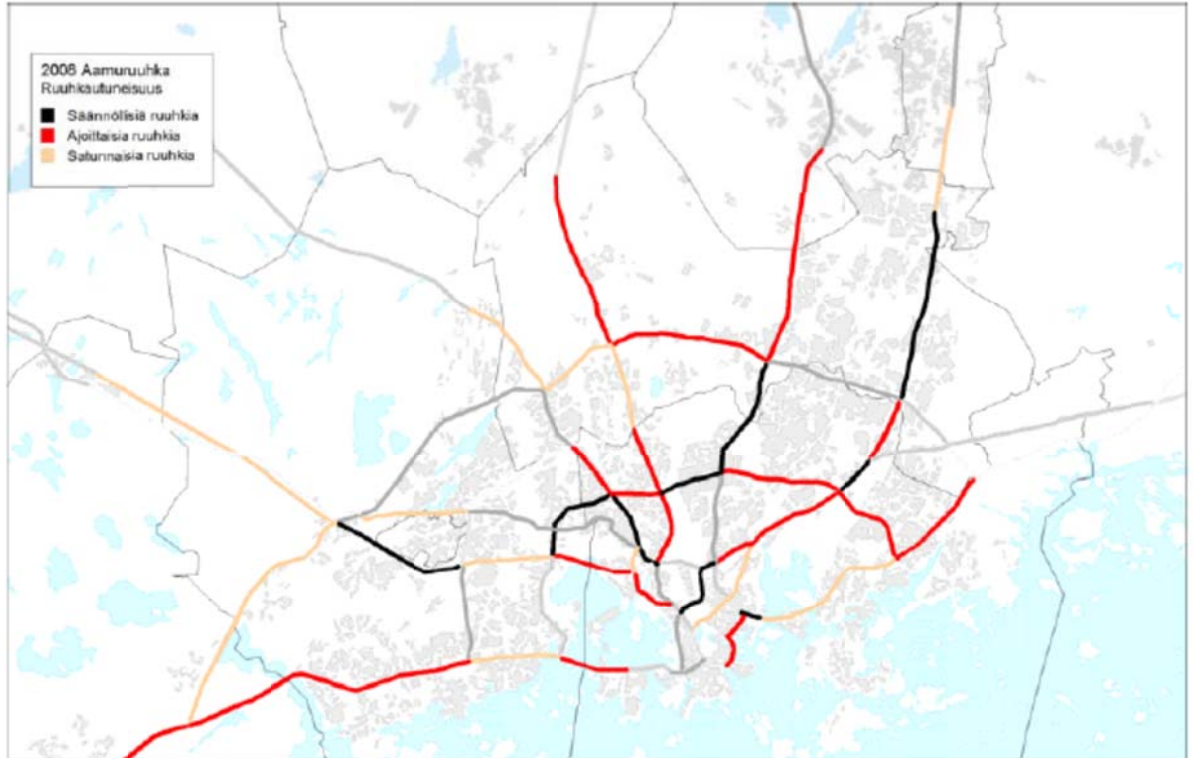


Kuva 8. Tieverkon ruuhkatilanne, kun TTS-hankkeet 2009 on toteutettu. (Tiehallinto 2006b)

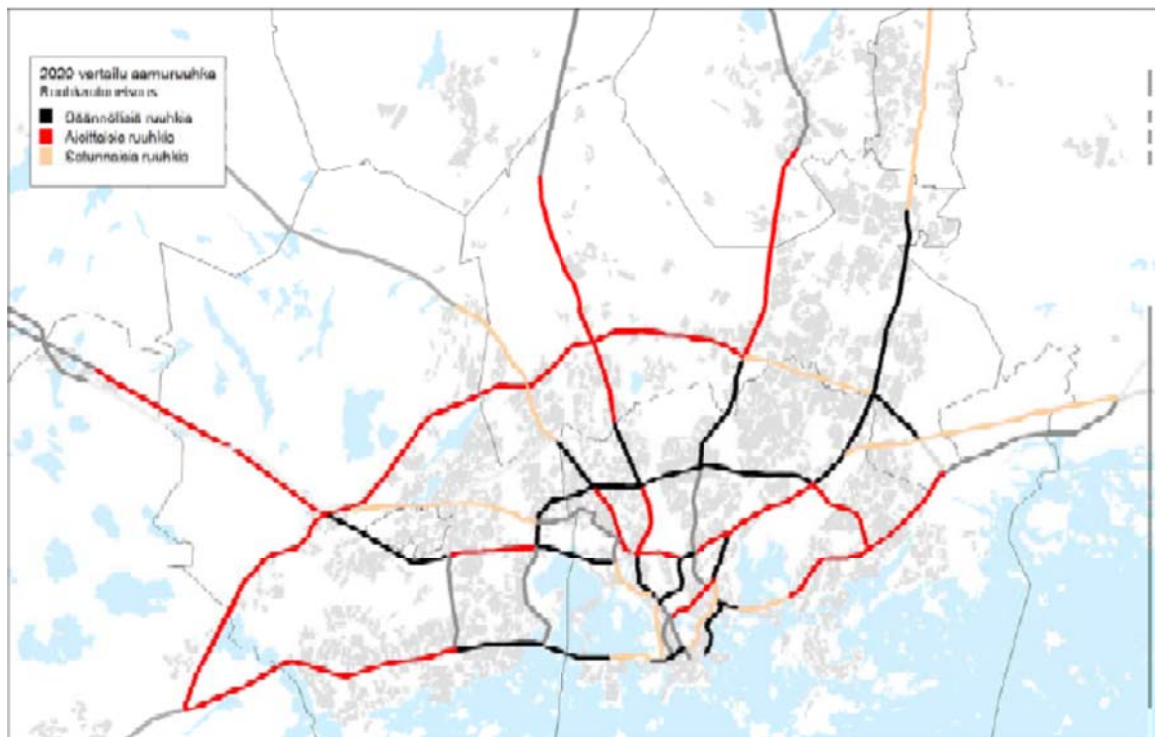
Liikennevirasto on vuonna 2010 arvioinut, että ruuhkautuneita pääteitä on tällä hetkellä enintään 200 kilometriä. Tämän lisäksi säännöllisiä ruuhkia esiintyy kaupunkien hallinnoimilla teillä ja kaduilla. Kattavaa tietoa sekä Liikenneviraston että kaupunkien hallinnoimien väylien ruuhkatilanteesta ei ole saatavilla. (Liikennevirasto 2010g)

Helsingin seutu on tällä hetkellä ruuhkaisinta aluetta Suomessa. Välipirtti et al. (2011) ovat tarkastelleet Helsingin seudun ruuhkatilannetta vuonna 2008 (kuva 9). Kuvasta 9 nähdään, että säännöllisiä tai ajoittaisia ruuhkia esiintyy kehäteillä sekä Helsingin sisääntuloväylillä. Säännöllisesti ruuhkautuvilla tieosilla liikenne matelee tai seisahtelee lähes joka arkipäivä ainakin keväisin ja syksyisin. Ajoittaisesti ruuhkautuvilla osilla suurempia ongelmia esiintyy loppukeväästä ja alkusyksyllä tai hankalissa sääoloissa. Helsingin kantakaupungissa ruuhkia on säännöllisestä, mutta ne eivät ole pahentuneet viime vuosikymmeninä.

Vuoteen 2020 mennessä ruuhkaisten väylien määrän arvioidaan kasvavan huomattavasti. Kuvassa 10 on arvioitu ruuhkien määrää vuonna 2020. Kuvasta nähdään, että vuonna 2020 kaikilla sisääntuloväylillä esiintyy vähintään ajoittaisia ruuhkia ja yhä laajemmalla verkolla ruuhkat ovat säännöllisiä. Myös kehäteiden ruuhkautuminen on selvästi lisääntynyt.



Kuva 9. Helsingin seudun pääväylien laskennalle ruuhkautuminen vuonna 2008. (Välipirtti et al 2009)



Kuva 10. Helsingin seudun ruuhkautumisarvio vuodelle 2017 aamuruuhkassa. (Välipirtti et al 2011)

Suomessa säännöllisiä ruuhkia on edelleen vain muutaman tunnin ajan vuorokaudessa. Suomessa ruuhkatunnit ovat noin kello 6.30–8.30 ja 15–17. Kaikkea olemassa olevaa välityskykyä ei siis hyödynnetä etenäkään yöaikaan. Useilla pääväylien rinnakkaisilla teillä on myös tilaa, vaikka itse pääväylä olisi hyvinkin ruuhkautunut.

Myös ruuhka-ajan ulkopuolella välityskyvyn riittävyys on yhä useammin koetuksella. Tämä aiheutuu liikennemäärien kasvun ohella häiriöiden lisääntymisestä tieverkolla. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla on jatkuvasti työn alla useita isoja tietyömaita, jotka alentavat tieverkon välityskykyä ja aiheuttavat hetkellisiä ruuhkia myös ruuhka-ajan ulkopuolella.

Tulevaisuudessa välityskykyongelmien ennustetaan pahenevan liikennemäärien kasvaessa. Tieliikenteen ennustetaan kasvavan kokonaisuudessaan noin 8 prosenttia vuosien 2009–2013 aikana (Tiehallinto 2009c). Vuoteen 2030 mennessä arvioidaan pääteiden liikennemäärien olevan jo keskimäärin 35 prosenttia suurempia kuin nykyään, ja pääkaupunkiseudulla ja muilla vilkkaimmilla alueilla kasvua voi olla jopa 50 %. (Tiehallinto 2008). Jos tieverkko pysyy samanlaisena, eikä muita välityskykyä parantavia keinoja oteta käyttöön, tulee ruuhkasta arkipäivää yhä suuremmassa osassa Suomen tieverkkoa.

2.3 Raideliikenne

2.3.1 Ominaispiirteet

Rautatieliikennejärjestelmällä on monia ominaisuuksia, jotka tekevät siitä erilaisen muihin kulkumuotoihin verrattuna. Nämä ominaisuudet toisaalta asettavat suuria haasteita liikkumiselle, mutta toisaalta tekevät rautatieliikenteestä turvallisen ja ympäristöystävällisen liikkumismuodon. (Liikennevirasto 2010e)

Rautatieliikenteen näkyvin ero muihin liikennemuotoihin verrattuna on sen sidonnaisuus raiteisiin. Rautatieliikenne on sidottu kiskoihin, joka mahdollistaa suurien massojen kuljettamisen pienellä energiamäärällä, pienen kitkan ja suuren lujuuden ansiosta. Raiteet mahdollistavat myös suuret nopeudet. Toisaalta nämä ominaisuudet aiheuttavat myös sen, että junien jarrutusmatkat ovat pitkiä, jopa yli kilometrin. Tämän vuoksi turvavälien tulee olla pitkät, ja raideverkolle mahtuukin suhteessa huomattavasti vähemmän liikennettä kuin esimerkiksi tieverkolle. (Liikennevirasto 2010e)

Raiteet määrittelevät myös minne junat voivat kulkea. Tämän takia vaihtoehtoisia reittejä tai ohitusmahdollisuuksia ei ole samalla tavoin kuin teillä tai merialueilla. Suomessa asia korostuu entisestään, koska 90 prosenttia Suomen rataverkosta on yksiraiteista. Ohitusmahdollisuuksien ja vaihtoehtoisten reittien puuttuessa voi pienikin häiriö rataverkolla jumiuttaa rautatieliikenteen laajalta alueelta eli häiriön kerrannaisvaikutukset voivat olla suuria. (Liikennevirasto 2010e)

Rautatieliikenteessä erityisen keskeistä on turvallisuus. Turvallisuuden varmistamiseksi liikennettä ohjataan tarkasti ja samalle raideosuudelle voidaan ohjata vain yksi juna kerrallaan. Liikenteen ohjaus ja kontrollointi tapahtuu lukuisin teknisin järjestelmin. Yksi liikennejärjestelmän ominaispiirteistä onkin teknisyyks, joka lisää rautatieliikenteen häiriöherkkyyttä erilaisissa poikkeustilanteissa. (Liikennevirasto 2010e)

Rautatieliikenteelle on ominaista myös, että kaikki liikenne on etukäteen tarkasti suunniteltua ja aikataulutettua. Aikataulutettu liikenne lisää osaltaan rautatieliikenteen turvallisuutta, mutta toisaalta myös haasteita poikkeustilanteissa. Poikkeustilanteiden aihe-

uttamat muutokset vaativat uusien suunnitelmien laatimista. Tämän lisäksi kaikki rautatieliikenne on luvanvaraista toisin kuin tieliikenteessä. (Liikennevirasto 2010e)

2.3.2 Välityskyky

Rautatielain mukaan ratakapasiteetilla tarkoitetaan rataverkon ominaisuuksista johtuvaa aikaan sidottua rautatiereitin junaliikenteen välityskykyä. Ratakapasiteetti kuvaa sitä, kuinka monen junan on mahdollista liikennöidä rautatiereitillä tietyinä ajanjaksona. Ratakapasiteettia voidaan mitata joko liikenteenvälityskyvyn tai maksimisuoritteiden avulla. Ratakapasiteetin määritelmä on moniulotteinen, eikä sille ole olemassa yksiselitteistä määrittelyä. Se riippuu esimerkiksi raiteistosta, kalustosta ja operoinnista. (Abril ym. 2008)

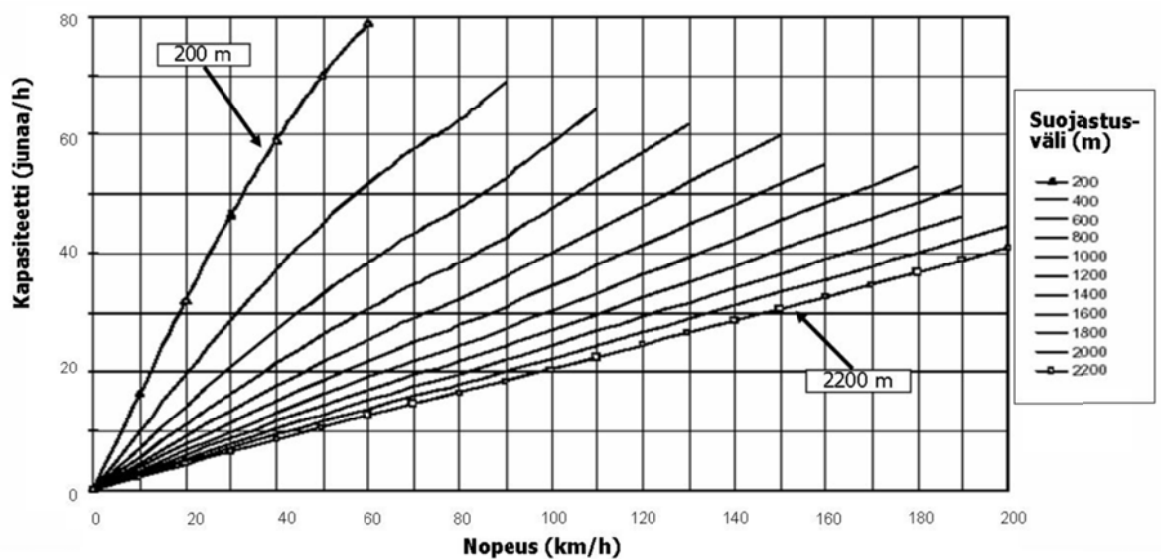
Liikenteen välityskyky ilmaisee rataosan läpäisykyvyn junaa aikayksikköä kohden ja ei siis huomioi kuljetettavien henkilöiden tai tavaroiden määrää. Maksimisuoritteessa nämä huomioidaan, ja sen mittayksikkönä käytetään tonni- tai henkilökilometriä aikayksikköä kohden. Liikenteenvälityskyky ja maksimisuorite vastaavat määritelmässään tieliikenteen välityskykyä ja suoritetta. Tässä työssä tarkastelun kohteeksi on valittu välityskyky. (Mäkitalo 2000)

Välityskykyyn vaikuttavat tekijät

Välityskykyyn vaikuttavat useat itsenäiset tekijät, joiden yhteisvaikutuksesta ja käytettävistä välityskyky riippuu. Infrastruktuurin osalta suurin yksittäinen välityskykyyn vaikuttava tekijä on raiteiden lukumäärä. Jokainen lisäraide parantaa välityskykyä, mutta välityskyvyn määrä ei kuitenkaan kasva samassa suhteessa raiteiden lukumäärän kanssa. Kaksiraiteisen radan välityskyky on yli kaksi kertaa suurempi kuin yksiraiteisen. (Kosonen 2009)

Ratageometria vaikuttaa myös välityskykyyn. Jyrkät ja pitkät nousut vaikuttavat junien nousukykyyn, jolloin junien kulku hidastuu merkittävästi. Hitaat nousut aiheuttavat ongelmia erityisesti vilkkaan henkilöliikenteen sekaliikenneadoilla. Jyrkät alamäet vastaavasti pidentävät junan jarrutusmatkaa. Pituuskaltevuuden on todettu vaikuttavan välityskykyyn ainoastaan silloin, kun käytettävän vetokaluston teho ei täytä radan ja junapainon edellytyksiä. Vaakageometria vaikuttaa myös välityskykyyn, koska kaarresäteen suuruus määrittää yksistään rataosan suurimman sallitun nopeuden. Kallistuvakorilliset junat pystyvät ajamaan kaarteen nopeammin kuin perinteiset junat. (Kosonen 2009)

Välityskykyä voidaan parantaa myös lisäämättä raiteita tai vaikuttamatta raiteiden ominaisuuksiin. Turvalaitteet määrittelevät yleensä miten lähellä junat voivat kulkea toisiinsa nähden. Suojastamattomalla osuudella voi kulkea vain yksi juna kerrallaan yhdellä liikennepaikkavälillä. Liikennepaikkavälin pituus vaihtelee 5-150 kilometriin. Suojastetulla osuudella liikennepaikkaväli voidaan jakaa opastimilla useaan suojaväliin. Peräkkäin ajavien junien välissä on oltava yksi tyhjä opastinväli. Täten kulunvalvontajärjestelmää kehittämällä tai suojavälejä lyhentämällä voidaan rataosuuden välityskykyä parantaa. Suojavälin vaikutusta välityskykyyn on esitelty kuvassa 11. Välityskyky paranee sitä enemmän mitä enemmän suojavälin pituus lyhenee. (Kosonen 2009, Pahl 2002)



Kuva 11. Suojavälin vaikutus välityskykyyn. (Grimm 2005, Pitkänen)

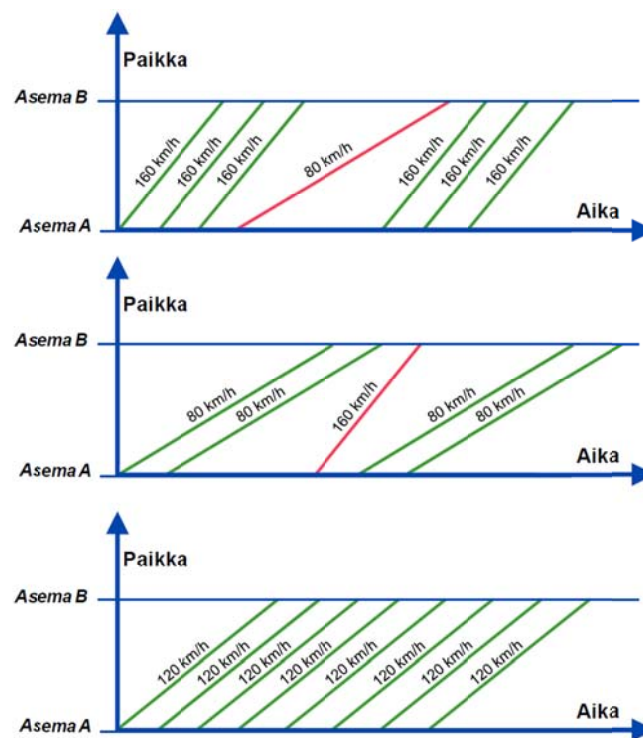
Liikennepaikkojen määrä ja ominaisuudet vaikuttavat paljon välityskykyyn. Raiteiden määrä määrittää liikennepaikkaa yhdenaikaisesti käytettävien junien maksimimäärän. Tällä on merkitystä erityisesti yksiraiteisilla rataosilla. Rataosan välityskyky voidaan määritellä useiden teorioiden mukaan kriittisen kohtauspaikkavälin perusteella. Kriittiseksi kohtauspaikaksi kutsutaan kahden peräkkäisen kohtauspaikan väliä, jossa junien keskimääräinen ajoaika on kaikkein pisin. Tästä johtuen paras välityskyky syntyy, kun kohtauspaikat sijoitetaan siten, että junien ajoajat jokaisella rataosan välillä ovat lähes yhtä suuret. Myös liikennepaikkojen sisääntulo ja lähtöjen sujuvuus vaikuttavat välityskykyyn.

Raide- ja laituripituudet määrittävät linjaosuuksien suurimmat sallitut junapituudet. Kaksiraiteisen henkilöliikennetien välityskyky voidaan lähes kaksinkertaistaa kaksinkertaistamalla laituriraiteiden määrä pysähdyspaikoilla. (Kosonen 2009, Mäkitalo 2000, Mäkelä 2002)

Myös tavoiteltava liikenteen laatu ja rakenne vaikuttaa välityskykyyn. Moninaista kysyntää varten tulee tarjota erilaisia yhteyksiä ja eritasoisia kuljetuskonsepteja sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Tämän takia raiteilla liikkuu hyvin paljon erilaista kalustoa. Osalla raiteista liikenne on myös pelkästään yhdensuuntaista, jolloin välityskyky on parempi kuin rataosilla, joissa on myös vastakkaisa liikennettä. Osa rataverkosta on myös enemmän käytössä kuin toiset. Tästä syystä välityskyky ei ole koskaan yksiselit-

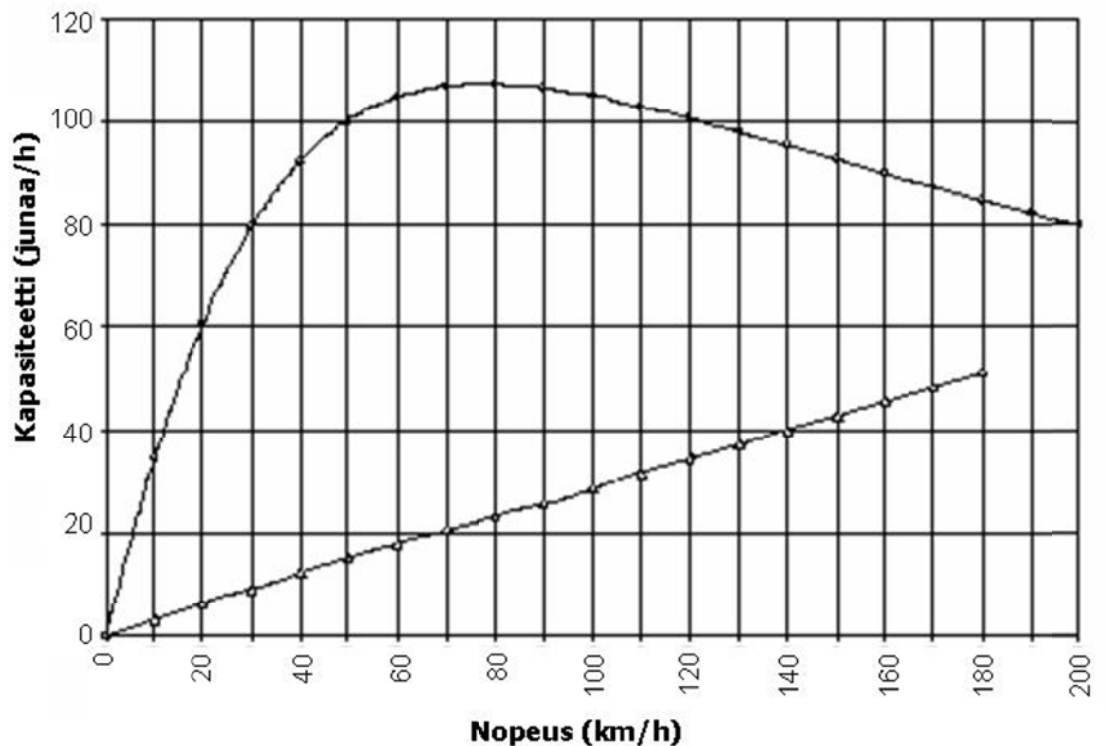
teisesti määriteltävissä. Liikenteen laatuun vaikutetaan suunnittelun ja operoinnin kautta. Liian kireä aikataulu aiheuttaa häiriöherkkyyttä, mutta toisaalta liian löysä aikataulu ei kannusta tehokkaaseen operointiin. Optimia näiden kahden välillä on hankala löytää. (Kosonen 2009, Mäkitalo 2000)

Kalustorakenne radalla vaikuttaa itsessään paljon välityskykyyn. Rataverkolla liikennöi junia, joiden nopeudet ja pysähdyskäyttäytyminen vaihtelee. Tämän alentaa rataosan välityskykyä. Erityisesti junien kiihdytysominaisuudet vaikuttavat välityskykyyn. Samanopeuksisia junia voidaan ajaa huomattavasti tiheämmin kuin erinopeuksisia junia. Teoriassa maksimivälityskyky saavutetaan, kun radan liikenne on täysin homogeenista (Viegras et al 2003). Muuta liikennettä selvästi hitaampi tai nopeampi juna varaa rataverkkoa käyttöönsä muita junia enemmän. (kuva 12). Suomessa samaa rataverkkoa käyttää huomattavan erinopeuksiset junat lähi-, kauko- ja tavaraliikenteessä. (Liikennevirasto 2010 e)



Kuva 12. Yksittäinen hitaampi (ylin kuva) tai nopeampi (keskimmäinen kuva) juna varaa rataosuuden muita junia kauemmin. Jos kaikki junat ovat yhtä nopeita, voidaan niitä liikennöidä hyvin tiheästi (alin kuva). (Liikennevirasto 2010 b)

Banverket on tutkinut simulointitutkimuksessa ajonopeuden vaikutusta välityskykyyn. Tutkimuksessa saatu välityskyvyn ja ajonopeuden välinen yhteys on esitetty kuvassa 13. Kuvasta näemme, että rataosilla, joissa on kiinteäsuojavälinen suojustus, välityskyky on suoraan verrannollinen ajonopeuteen. Vaihtuvavälisellä suojustuksella välityskykykäyrä on kaareva ja saavuttaa maksimiarvonsa, kun junien ajonopeus on noin 80 km/h.



Kuva 13. Välityskyvyn ja ajonopeuden välinen yhteys. Ylempi käyrä on vaihtuvasuojavälinen suojastus, alempi kiinteäsuojavälinen suojastus. (Grimm 2005, Pitkänen 2006)

Aikataulurakenteella on myös suuri vaikutus välityskykyyn. Kuten aiemmin todettiin, samannopeuksinen liikenne rataverkolla parantaa välityskykyä. Aikataulurakenteen avulla voidaan välityskykyä parantaa ryhmittelemällä samanlaisia junia kulkemaan peräkkäin. Matkustajan kannalta junien lähekkäin sijoittelu ei kuitenkaan ole toivottua, koska matkustajat haluaisivat tarjonnan jakautuvan aikaan nähden tasaisesti. (Mäkelä 2002, Pitkänen 2006)

Muita välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat esimerkiksi mahdolliset liikenteen rajoitukset. Tällaisia ovat esimerkiksi raskaiden junien tärinäalueiden nopeusrajoitukset. Myös kunnossapitotöistä aiheutuu liikenteelle häiriöitä, jotka alentavat välityskykyä. (Kosonen 2009)

2.3.3 Häiriöt

Häiriöt vaikuttavat olennaisesti rautatieliikenteen välityskykyyn. Koska rautatieliikenne on täysin aikataulutettua liikennettä, ei välityskykyongelmia oikeastaan pitäisi esiintyä. Liikenne aikataulutetaan rataverkolle siten, että se sinne teoriassa mahtuu. Eri asia on sitten se, riittääkö tarjolla oleva välityskyky vastaamaan henkilö- ja tavaraliikenteen kysyntää. Välityskykyongelmat aiheutuvat, kun häiriön vuoksi suunniteltua aikataulua ei ole mahdollista toteuttaa ja liikenne pitää järjestellä uudelleen.

Rautatieliikenteen häiriöt voidaan jakaa ennakoitavuuden mukaan äkillisiin ja ennalta tiedettävissä oleviin häiriöihin sekä suunniteltuihin poikkeamiin. Syiden perusteella

rautatieliikenteen häiriöt voidaan luokitella seuraavasti: (Liikenne- ja viestintäministeriö 2004)

- säästä ja kelistä johtuvat häiriöt
 - pakkanen (junakaluston toimintahäiriöt)
 - lumi (vaihteiden tukkeutuminen)
 - ukkonen (ylijännite- ja sähkölaitteiden ongelmat)
 - kaatuneet puut
- kalustosta johtuvat häiriöt
- rataverkosta ja sen laitteista ja järjestelmistä johtuvat häiriöt
 - kisko- ja vaihdeviat
 - sähköradan viat
 - turvalaitteiden viat
- Onnettomuuksista ja ratatöistä aiheutuvat häiriöt.

Eri häiriötekijöiden yleisyyttä voidaan karkeasti arvioida tutkimalla henkilöliikenteen myöhästymisiä aiheuttaneita syitä (kuva 14). Kuvassa 14 myöhästymisminuutit on suhteutettu keskimääräiseen keston per tapaus, jolloin pääsääntöisesti suuria myöhästymisiä aiheuttaneet syyt saavat myös suuremman arvon. Kuvasta nähdään, että suurimmat myöhästymiset aiheuttaa turva- ja viestintälaitteet 27 %. Muuten myöhästymiset jakaantuivat melko tasaisesti muiden syiden kesken. Sään ja kelin aiheuttamat häiriöt eivät näy kuvaajassa suoraan, mutta esimerkiksi turva- ja viestintälaitteiden aiheuttamat myöhästymiset aiheutuvat isolta osalta juuri sään ja kelin aiheuttamista laitevioista. (Laurinaho et al. 2008)



Kuva 14. Henkilöliikenteen myöhästymiset syyryhmittäin vuonna 2008. (Laurinaho et al. 2008)

Vuonna 2006 oikoradan käyttöönoton myötä ”uuden juna-ajan” tuoma tiukempi aika- taulurakenne ja lisääntynyt junien määrä ovat lisänneet vikojen vaikuttavuutta liikenteeseen Suomessa. Nykyään viat vaikuttavat yhä herkimmin liikenteeseen eikä myöhästymisiä ole mahdollista juurikaan kuroa kiinni. Myös eniten myöhästymisiä aiheuttaneiden turva- ja viestintälaitteiden vikojen määrä on kasvanut koko ajan vuoden 2006 jälkeen. (Laurinaho et al. 2008)

Suurimmat ongelmat rataverkolla syntyvät häiriöiden aiheuttamista sekundaarisista vaikutuksista. Yhden junan myöhästymisen aiheuttaa helposti myöhästymisiä myös muille junille, ja häiriön vaikutukset kertautuvat helposti. Eri häiriöiden kestot vaihtelevat myös suuresti. Mitä pitempään häiriö kestää, sitä laajemmalle rataverkkoa sekundääriset vaikutukset leviävät. (Liikennevirasto 2010c)

Suomen rataverkko on erityisen herkkä häiriöiden laajoille sekundäärisille vaikutuksille, koska suurin osa Suomen rataverkosta on yksiraiteista. Yksiraiteiset rataosat pahentavat häiriöiden vaikutuksia, koska muun liikenteen on odotettava häiriön aiheuttajan poistamista tai kierrettävä häiriöosuus muulla reitillä ennen liikenteen palautumista normaalisti. Kiertäminen ei yleensä onnistu kuin marginaalisissa tapauksissa, joten käytännössä junaliikenne pysähtyy häiriön ajaksi. Palautuminen häiriöstä saattaa kestää hyvinkin kauan.

Häiriöiden yleisyyteen vaikuttaa ratakapasiteetin käyttöaste. Ratakapasiteetin käyttöaste tarkoittaa ajallisesti sitä osuutta, jonka rataosa on varattu liikenteen käyttöön. Ratakapasiteetin käyttöaste on siis toteutunut liikennemäärä suhteessa kapasiteettiin. Kapasiteetin käyttöaste riippuu tarkasteltavasta ajanjaksosta ja huipputunnin käyttöaste on vuorokauden keskimääräistä käyttöastetta suurempi. Häiriöiden todennäköisyys kasvaa sitä suuremmaksi mitä suurempi käyttöaste on. Kuormituksen ja ratakapasiteetin kasvaessa myöhästymiset lisääntyvät. Käytännössä tällöin yksi myöhästynyt juna myöhästyttää todennäköisemmin myös muita junia. (Mäkitalo 2000, Mäkelä et al. 2002)

Sekaliikenne radan sopivana käyttöasteena pidetään 40–60 %. Tällöin yksittäisen häiriön vaikutukset koko liikenteeseen ovat pienet eli kuormitus ja laatu ovat tasapainossa. Optimaalisena käyttöasteena pidetään yleensä 60 % ja maksimina 80 %. Jos kapasiteetin käyttöaste on lähellä 100 %, liikenteeseen aiheutuu todennäköisesti täsmällisyysongelmia. Tällöin junien väliset marginaalit ovat tiukat ja yhden junan pienikin viivästyminen häiritsee muuta liikennettä hyvin paljon. (Mäkitalo 2000, Mäkelä et al. 2002)

2.3.4 Raideliikenteen välityskyvyn tilanne

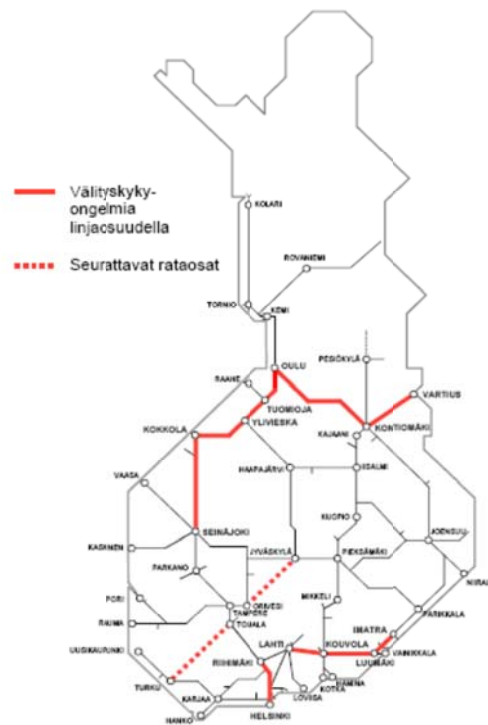
Rautatieliikenteen osuus on 5 % koko maan henkilöliikenteestä ja 26 % koko maan tavaraliikenteen suoritteesta. Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta koko rataverkko on aktiivisessa käytössä. Noin puolet rataverkosta on sähköistetty ja 90 prosenttia rataverkosta on yksiraiteista. (Ratahallintokeskus 2008)

Vilkkaimmilla rataosilla on jo nykypäivänä laajoja välityskykyongelmia, ja Suomen rataverkon käyttöaste on useilla alueilla hyvin korkea. Valtaosin yksiraiteinen rataverkko aiheuttaa vilkkaasti liikennöidyille osille pullonkauloja, joissa etenkin tavaraliikenne joutuu odottamaan vapaata kulkuaikaa kohtuuttoman pitkään. Junamäärien lisääminen kysyntää vastaavaksi ei ole enää mahdollista.

Yksiraiteisten rataosien suuri määrä aiheuttaa myös viiveiden ketjuuntumista. Harvan rataverkoston takia vaihtoehtoisia reittejä ei ole käytössä, jolloin pullonkaulojen vähen-

täminen edellyttää rataosien kehittämistä tai muita liikenteen sujuvuutta parantavia toimenpiteitä. (Liikennevirasto 2010b, Ratahallintokeskus 2008)

Suomen rataverkon pahimmat pullonkaulat on kartoitettu syksyllä 2006. Kriittisimmät rataosat ovat erityisesti työmatkaliikenteen kuormittama Helsinki-Riihimäki, kuljetusreitti Vartiuksesta Oulun kautta Kokkolaan ja tavaraliikenteen runkoyhteys Lahti-Luumäki-Imatra. Myös muilla rataosilla esiintyy ajoittain välityskykyongelmia. Pääradalla Helsinki-Riihimäki on jo nyt niin paljon liikennettä, että jo yhden junan myöhästyminen aiheuttaa heijastusvaikutuksia. Ongelmaa pahentaa se, että rataosalla liikennöidään sekä kauko- että lähiliikenteen junia ja myös tavarajunia. Välityskyvyltään kriittisimmät rataosat on esitetty kuvassa 15. (Liikennevirasto 2010e, Ratahallintokeskus 2008)



Kuva 15. Välityskyvyltään kriittiset rataosat. (Liikennevirasto 2010b)

Helsingin päärautatieasema ratapihoineen on yksi merkittävimmistä pullonkauloista Suomessa. Helsingin ratapihan käyttöaste on äärirajoilla, ja se näkyy selvästi häiriöherkkyytenä. Vähänkään isommat häiriöt kertaantuvat ratapihalla sotkien raiteiden suunnitellun käytön ja heijastuvat takaisin rataverkolle. (Liikennevirasto 2010e, Ratahallintokeskus 2008)

Välityskyvyn lisäksi useilla rataosilla ja -pihoilla on kantavuusongelmia. Vain 7 % Suomen rataverkosta on suurimmassa kantavuusluokassa (25 tonnia), vaikka tavaraliikenne vaatisi mahdollisuuden yhä raskaammille kuljetuksille. (Ratahallintokeskus 2008)

Tulevaisuutta ajatellen on tärkeää ennakoida liikenteen kasvua ja tulevia pullonkauloja. Henkilökaukoliikenteen on arvioitu kasvavan 2-5 %, lähiliikenteen 2-6 % ja tavaraliikenteen 1-3 % vuosien 2010–2013 aikana. Tulevaisuudessa rautateiden merkitys kasvaa erityisesti suurten kaupunkien lähiliikenteessä, kaupunkien välisessä nopeassa liiken-

teessä sekä teollisuuden raskaissa kuljetuksissa ja yhdistetyissä kuljetuksissa. Ilmastonmuutoksen torjunta edellyttää joukkoliikenteen käytön lisäämistä, joka heijastuu rautatieliikenteen kasvuna. Liikenteen kasvuille asettaa rajoitteita kuitenkin rataverkon välityskyky. (Ratahallintokeskus 2008)

2.4 Meriliikenne

2.4.1 Ominaispiirteet

Meriliikenne eroaa suuresti sekä tie- että raideliikenteestä. Meriliikenteelle ominaista on vapaa liikkuminen merialueilla. Merellä ei ole tie- ja rautatieliikenteen tavoin tarkoin rajattuja väyliä, ja ulkomerellä voi vapaasti liikkua missä vain. Suomessa liikkumista rajoittaa kuitenkin saaristo, jossa turvallinen liikkuminen vaatii merkatuilla väylillä kulkemista.

Meriliikenteessä mittakaava on myös paljon suurempi kuin esimerkiksi tieliikenteessä. Merellä kulkevat alukset voivat kuljettaa tuhansia autoja kyydissään tai vaihtoehtoisesti esimerkiksi junan vaunuja. Mittakaavaero ei ainoastaan koske alusten suurta kokoa, vaan myös alusten ohjaamiseen tai pysäyttämiseen tarvitaan paljon tilaa ja aikaa. Kuten rautatieliikenteessä myös meriliikenteessä pysähtymismatkat voivat olla jopa kilometrin pituisia ja kääntyminen voi kestää kymmeniä minutteja. Meriliikenteessä ennakoiminen onkin erittäin tärkeää, jotta liikkuminen merellä olisi turvallista.

Säädökset rajoittavat merkittävästi meriliikenteen toimintaa. Meriliikenteen säädökset ovat pääosin kansainvälisesti yhteisiä ja niitä noudatetaan kaikilla maailman merialueilla. Meriliikenteen harjoittaminen on luvanvaraista kuten myös rautatieliikenne. Merelle liikkuvia aluksia valvotaan tarkasti, ja lähes kaikkien alusten tulee ilmoittautua saapuaan Suomen alueelle ja samalla ilmoittaa tuleva reittinsä.

2.4.2 Välityskyky

Meriliikenne poikkeaa monilta osin muista liikennemuodoista. Merellä ongelmana on harvoin, että väylillä olisi niin paljon aluksia, että aluksien kulku tämän takia hidastuisi eli väylän välityskyky ei olisi riittävä. Tämän vuoksi meriliikenteessä ei ole tarvetta välityskyky-käsitteelle. Kapasiteetti taas käsitetään yleensä kuljetus- tai lastikapasiteettina. Meriliikenteen kuljetuskapasiteettiin vaikuttaa väylien syvyys sekä alusliikenteen sujuvuus.

Ruuhkalla tarkoitetaan meriliikenteessä sitä, että alus joutuu hidastamaan kulkua suuresta liikennemäärästä johtuen tai odottamaan pääsyä esimerkiksi kapealle väylälle. Meriliikenteen mittakaavaerosta johtuen jo muutama alus voi aiheuttaa ruuhkan kapeilla väylillä tai odottaessa pääsyä satamaan.

Meriliikenteen sujuvuuteen vaikuttavat pääasiassa säästä ja kelistä johtuvat viivytykset sekä luotsi-, jäänmurto ja satamapalveluiden saatavuus. Yleisimpiä alusten myöhästymisiä aiheuttavia tekijöitä ovat vaikeat sääolosuhteet. Kovan vastatuulen takia alus voi jäädä aikataulustaan lähes vuorokauden. Kova tuuli vaikeuttaa myös luotsien pääsyä alukseen ja voi pahimmassa tapauksessa estää kokonaan luotsauksen. Pakkasella kova tuuli aiheuttaa myös konttien ja alusten jäätymistä, ja niiden sulattaminen viivästyttää aluksen lähtöä satamasta. (Merenkululaitos 2008a)

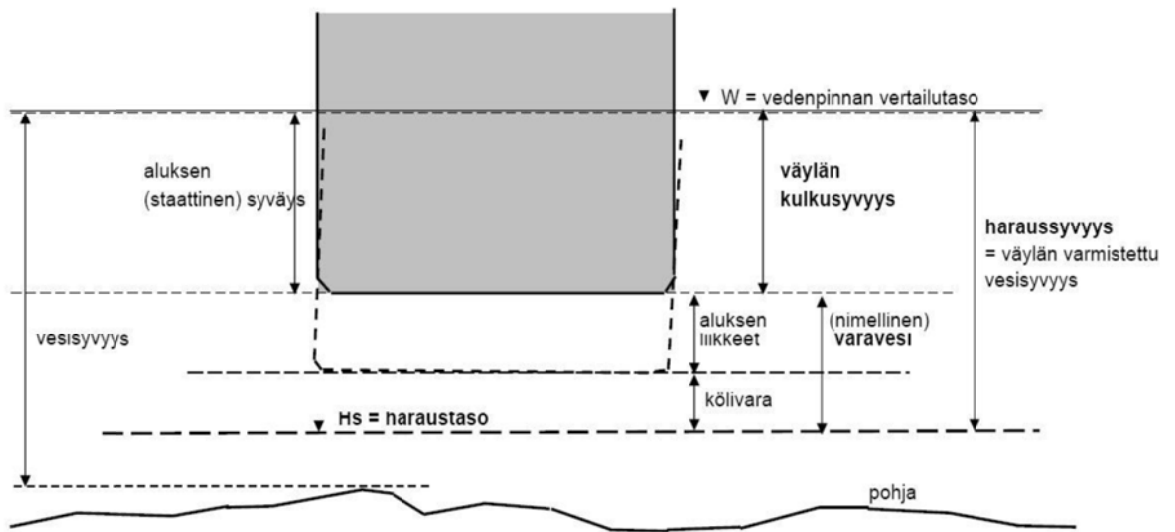
Jääpeite hidastaa talvella alusten etenemistä. Normaalista jääpeitteestä aiheutuvat viivästyksset ovat yleensä vähäisiä ja leuto talvi on sujuvuuden kannalta usein pahempi vaihtoehto kuin avoin meri ja tuuli. Jäänmurtoavun saamisen kestäminen on talvella syynä alusten viivytyksiin. Jäänmurtoapua joutuu yleensä odottamaan muutamia tunteja. Talvella viivytyksiä aiheutuu myös, jos aluksia pitää ohjata rannikkoväylillä. Tällöin alusten ajo- ja luotsausmatka kasvaa merkittävästi. Rannikkoväylät ovat useimmiten satamien suoria tuloväyliä kapeampia, jolloin alusten lastikapasiteettia ei voida välttämättä hyödyntää täysimääräisesti. Tämän lisäksi on hyvä huomata, että alukset kulkevat myös hyvissä olosuhteissa usein myöhässä. Osasyynä tähän ovat kireät aikataulut. Säästä riippumattomia syitä ovat muun muassa alusten tekniset viat ja häiriöt satamien lastinkäsittelyssä. (Merenkulkulaitos 2008a)

Meriliikenteen sujuvuuteen vaikuttaa myös luotsi- ja satamapalveluiden saatavuus. Luotsauksen avulla voidaan varmistaa sujuva ja turvallinen liikkuminen vesillä. Luotsauksen tarve lisääntyy etenkin talvina, jolloin joudutaan käyttämään rannikkoväyliä. Tällöin luotsien määrä ei aina ole riittävä ja alukset joutuvat odottamaan luotsausta. Alukset voivat joutua odottamaan myös satamapalveluita, joko sataman edustalla tai itse satamassa. (Merenkulkulaitos 2008a)

Meriliikenteen kuljetuskapasiteettiin vaikuttaa olennaisesti väylien mitoitus ja linjaus. Tärkein väylän mitoittava tekijä on aluksen syväys, joka pitkälti määrää aluksen muut mitat ja lastikoon. Väylän kapasiteetti määräytyy siis pääosin syväyksen mukaan. Väylän syventämisen hyödyt perustuvat lähes kokonaan syvemmän väylän mahdollistamaan aluskoon kasvattamiseen. Tällöin kuljetukset voidaan hoitaa vähemmällä aluskäynneillä. Suomessa väylien kapeus ei pääsääntöisesti aiheuta kapasiteettiongelmia, koska näiden väylien liikennetiheys on yleisesti hyvin pieni. Myös väylien puutteellinen mitoitus tai merkintä on hyvin harvoin syynä alusliikenteen viivytyksiin (Merenkulkulaitos 2008a)

Väylien kapasiteettiin vaikuttaa myös kulkusyvyyskäytäntö. Väylän syvyyskäsitteet on esitelty kuvassa 16 (Merenkulkulaitos 2005). Väylien varavesi on mitoitettu niin, että mitoitusaluksen kokoiset alukset voivat liikennöidä väylällä lähes kaikissa olosuhteissa, myös voimakkaalla sivutuulella. Sivutuulella sorron välttämiseksi on käytettävä kohtuullisen suurta nopeutta, mikä lisää aluksen nopeuspainumaa. Olosuhteet ovat kuitenkin yleensä paremmat, jolloin alus voi ajaa väyläosuuden pienemmällä nopeudella. Tällöin myös nopeuspainuma on pienempi. (Merenkulkulaitos 2008a)

VÄYLÄÄN LIITTYVÄT SYVYYSKÄSITTEET (Periaatepiirros)



Kuva 16. Väylien syvyyksikäsitteet. (Merenkulkulaitos 2005)

Muita sujuvuuteen ja turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat liikenteen ohjaus ja telematiikka. Liikenteen ohjauksen palveluja ovat esimerkiksi alusliikennepalvelu (VTS) ja Suomenlahden liikenteen alusten pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä (GOFREP). Liikenteen ohjauspalveluiden avulla voidaan avoveden aikaan varmistaa ahtaiden väylien ja vaikeiden risteysten sujuva liikenne jaksottamalla tai sulkemalla väylä kohtaavalta liikenteeltä. Talviaikaan ohjauspalveluita hyödynnetään tiedonkulun välityksessä jäänmurtajien, viranomaisten ja alusten välillä. Tällä tavoin voidaan häiriöitä ennakoida paremmin, ja häiriöt tulevat tietoon heti, jolloin niiden vaikutukset muuhun liikenteeseen voidaan minimoida. (Merenkulkulaitos 2008a)

Meriliikenteen telematiikan järjestelmistä tärkein alusliikenteen sujuvuuden näkökulmasta on automaattinen alusten tunnistusjärjestelmä (AIS). Sen avulla kuljetusketjun osapuolet tietävät, missä alus liikkuu ja milloin se odotettavasti saapuu esimerkiksi satamaan. Tällöin voidaan muu liikenne jaksottaa siten, ettei aluksen tarvitse esimerkiksi odottaa satamaan pääsyä. Viiveet voidaan näin minimoida. AIS:n avulla voidaan myös tiedottaa aluskohtaisesti esimerkiksi sää- ja vedenkorkeustiedoista. (Merenkulkulaitos 2008a)

Merikartoituksen vaikutukset alusliikenteen sujuvuuteen tulevat pääosin välillisesti väylänpidon ja meriliikenteen ohjauksen kautta. Luotettavien ja riittävän tarkkojen merikartoitustietojen avulla voidaan suunnitella sujuvia ja tehokkaita väyliä sekä ne mahdollistavat sujuvan alusliikenteen ohjauksen. Merikartoitus toteuttaa myös tärkeimpien kuljetusreittien merenmittaukset. Varsinaisten väyläalueiden lisäksi merenmittauksella pyritään mittaamaan väistämis-, odotus- ja suoja-alueita, joita alukset voivat käyttää esimerkiksi vaikeissa jääolosuhteissa tai poikkeustilanteissa. Näitä alueita ovat esimerkiksi väistöalueet, jolloin aluksen ei tarvitse turhaan odotella kapeissa paikoissa vastaan tulevaa liikennettä. (Merenkulkulaitos 2008a)

2.4.3 Häiriöt

Meriliikenteen sujuvuuteen vaikuttaa olennaisesti erilaiset häiriöt. Meriliikenteen häiriöt voidaan jakaa ennakoitavuuden perusteella äkillisiin sekä ennalta tiedettävissä oleviin häiriöihin ja suunniteltuihin poikkeamiin.

Meriliikenteen erilaisia häiriöitä ovat: (Hautala ym. 2004)

- olosuhteista johtuvat häiriöt, kuten sää, jää, meriveden korkeus ja tuuli
- aluksista johtuvat häiriöt, kuten aluksesta, kuljettajasta, lastista tai matkustajasta johtuvat häiriöt
- jäänmurron- ja luotsauspalveluista johtuvat häiriöt, kuten ajoittaiset resurssi-puutteet
- väyläverkosta ja sen turvalaitteista ja järjestelmistä johtuvat häiriöt, kuten väylän ruoppaustyöt tai viat isoissa järjestelmissä (VTS, GOFREP)
- onnettomuuksista johtuvat häiriöt
- häiriöt satamassa, esim. häiriöt liittyvissä kuljetuksissa.

Meriliikenteeseen aiheutuu häiriöitä useimmin olosuhteiden muutoksista, kuten sään tai jääolosuhteiden muuttuessa epäsuotuisaksi. Talvella viiveitä aiheutuu etenkin jäänmurtovun odottamisesta ja yleensäkin vaikeasta jäätilanteesta. Onnettomuudet ja muut vakavat häiriöt ovat harvinaisia. (Hautala ym. 2004)

Meriliikenteessä häiriöt aiheuttavat ensisijaisesti turvallisuus- ja ympäristöuhkan. Alusten pysähtymismatkat ja kääntösaiteet ovat niin pitkiä, ettei nopeita väistöliikkeitä tai jarrutuksia voida tehdä. Tämän takia häiriöt pyritään huomaamaan hyvin nopeasti, jotta tieto häiriöstä voidaan välittää ympäröivälle liikenteelle. Meriliikenteen kansainväliset säännöt velvoittavat alukset ilmoittamaan aluksella esiintyvistä ongelmista välittömästi VTS:lle. (Merenkululaitos 2008a)

Häiriö vaikuttaa myös meriliikenteen sujuvuuteen. Häiriön sattuminen kapealla väylällä saattaa pysäyttää koko liikenteen. Kuitenkin leveämmälläkin väylällä sattuva häiriö voi muuttaa ja pidentää alusten reittejä ja aiheuttaa viivytyksiä. (Merenkululaitos 2008a)

Meriliikenteen häiriöt vaikuttavat myös satamien toimintaan. Mikäli alusten saapumisajoissa on odottamattomien viivästysten takia paljon hajontaa, toiminnan ennustettavuus heikkenee ja sataman tehokkuus laskee. Alusten saapumisten ja lähdön viivästymiset voivat myös ruuhkauttaa sataman. Satamassa tapahtuvan häiriön takia alukset voivat joutua olemaan satamassa pidempään tai odottamaan pääsyä satamaan. (Merenkululaitos 2008a)

2.4.4 Meriliikenteen kapasiteetin tilanne

Meriliikenteestä suurin osuus on tavaraliikennettä. Koko Suomen tavaraliikenteen suoritteesta meriliikenteen osuus on 6 prosenttia (Merenkululaitos 2009). Tonneissa mitattuna osuus on huomattavasti suurempi. Tuonti- ja vientikuljetuksista meriliikenteen osuus on yli 80 % tonneina mitattuna (Tullihallitus 2009). Koko Suomen henkilöliikenteestä meriliikenteen osuus on vain alle prosentin (Merenkululaitos 2009).

Meriliikenteessä ei esiinny yleensä välityskykyongelmia Suomessa. Ruuhkaa saattaa ajoittain syntyä kapeisiin väyliin tai satamien edustalle. Tulevaisuudessa Suomenlahden

liikenteen kasvaessa voi Suomenlahden pitkittäisliikenteen ja Helsinki-Tallinna -välin poikittaisliikenteen risteyskohta muodostua ruuhkaiseksi. (Mylly 2010)

Myös meriliikenteessä kapasiteetin tarve vaihtelee. Tämä näkyy lähinnä satamissa, joissa ilmenee kysyntäpiikkejä, kun satamaan saapuu useita aluksia kerralla. Ruuhkaa syntyy yleensä aamulla, kun alukset saapuvat satamiin, ja illalla, kun alukset lähtevät satamista. (Mylly 2010)

Meriliikenteen kuljetuskapasiteettiin vaikuttaa paljon väylien syväys. Suomessa ei ole suurena ongelmana, että väylät olisivat liian matalia nykypäivän tarpeisiin. Tulevaisuudessa alusten koon ja nopeuden kasvaessa voi syvennystarpeita tulla joillakin väylillä. Olemassa olevaa syväästä voidaan tulevaisuudessa myös mahdollisesti käyttää tehokkaammin hyväksi. (Mylly 2010)

Jäänmurto- ja luotsipalveluiden saatavuus vaikuttaa meriliikenteen sujuvuuteen. Jäänmurtoavustuksen keskimääräinen odotusaika ei saisi ylittää keskimäärin neljää tuntia. Vuosien 2000–2007 keskimääräisten odotusarvojen keskiarvo oli 3,8 tuntia. Odotusajat vaihtelivat merialueittain ja vuosittain 1,8 tunnista 13 tuntiin. (Merenkulkulaitos 2008) Luotsipalveluiden odotusaika vuonna 2009 oli lähes aina merialueilla enintään kaksi tuntia ja Saimaan alueella enintään kuusi tuntia. (Luotsausliikelaitos 2009)

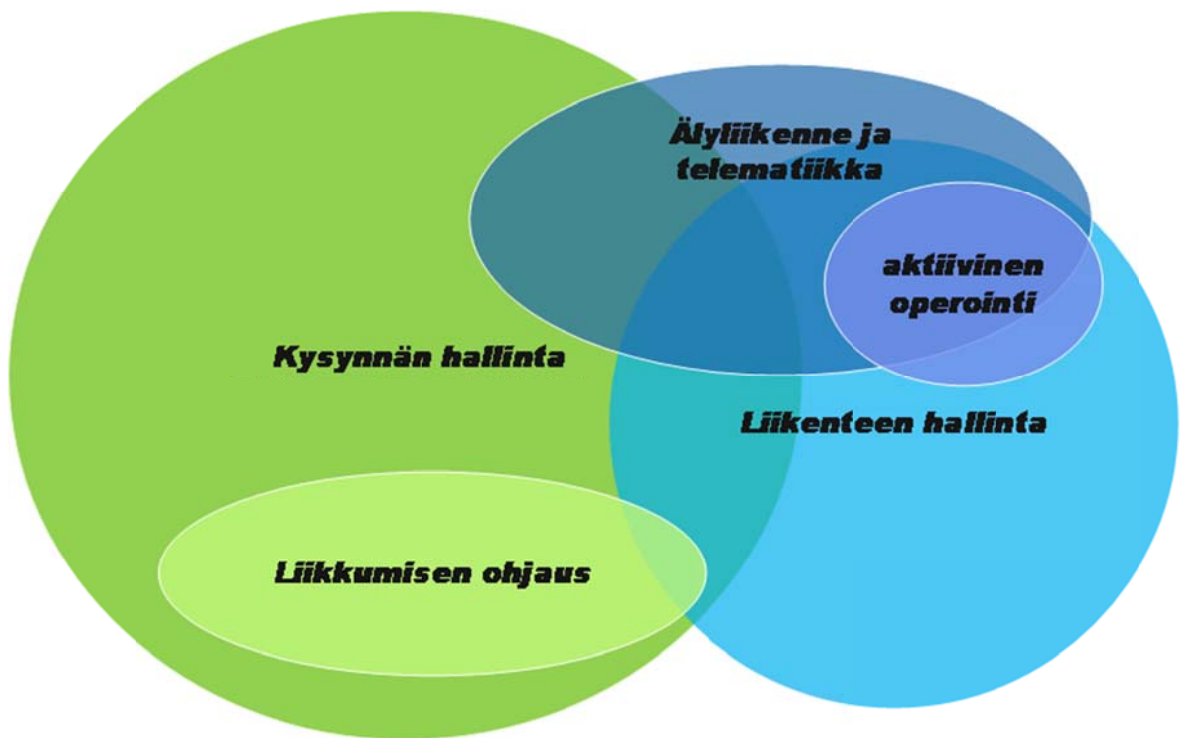
Euroopan maiden väliset merikuljetukset ovat ainoa liikennemuoto, joka kasvaa yhtä nopeasti kuin tieliikenne. Merikuljetusten odotetaan kasvavan Suomessa 1,5 kertaiseksi vuoteen 2030 mennessä. Konttiliikenteen määrän odotetaan kasvavan nykyisestä kaksinkertaiseksi. (Merenkulkulaitos 2009) Merikuljetusten kasvaessa syntyy yhä useammin ruuhkia kapeille väylille ja satamien edustoille. Myös jäänmurto-, luotsi- ja satamapalveluiden kysyntä kasvaa kuljetuskertojen lisääntyessä.

3 Älyliikenne

3.1 Käsitteet

Älyliikenteellä tarkoitetaan tietojenkäsittely- ja tietoliikennejärjestelmien ja -palveluiden soveltamista liikenteeseen ja liikenneinfrastruktuuriin. (NVF 2011) Älyliikenteestä käytetään myös termiä älykäs liikenne. Ennen 2000-lukua älyliikennettä kutsuttiin ensin liikenteen hallinnaksi ja myöhemmin liikenteen telematiikaksi. Nämä termit eivät ole enää synonyymeja. Liikenteen telematiikalla tarkoitetaan joukkoa älyliikenteen toteuttamiseksi sovellettavia tietojenkäsittely- ja tietoliikennetekniikoita. (Kosonen 2010, NVF 2011)

Älyliikenteeseen liittyy läheisesti paljon käsitteitä. Näiden käsitteiden määrittely vaihtelee liikennemuodoista ja tahoista riippuen, ja käsitteet ovat osittain päällekkäisiäkin. Käsitteiden suhteita toisiinsa on hahmoteltu kuvassa 17.



Kysynnän hallinnalla vaikutetaan liikkumistarpeeseen ja päätöksiin matkan tai kuljetusten määränpäästä, ajankohdasta, kulkutavasta tai reitistä. Kysynnän hallinnan keinoja ovat esimerkiksi tienkäyttömaksut, pääsyn tai pysäköinnin säätely, liikennetiedottaminen sekä joukkoliikenteen, kävelyn ja pyöräilyn suosiminen. (Kulmala 2010)

Liikkumisen ohjauksen avulla pyritään edistämään kestävästä liikkumisesta kannustamalla viisaisiin liikkumisvalintoihin pehmeiden keinojen avulla. Keinoja ovat muun muassa ympäristöystävällisten liikkumistapojen markkinointi ja neuvonta, liikkumisen suunnittelu ja liikkumisen palveluiden koordinointi ja kehittäminen. (Motiva 2010)

Kysynnän hallinnan lisäksi älyliikenteeseen liittyy myös liikenteen hallinnan. Liikenteen hallinnan tavoitteena on parantaa liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta, vähentää liikenteen päästöjä sekä käyttää väylän välityskykyä tehokkaammin. Liikenteen hallinnan keinoilla vaikutetaan kulkutavan, reitin, matkan tai kuljetuksen ajankohdan valintaan. Keinoja ovat esimerkiksi liikenteen tiedotus, ohjaus, valvonta ja häiriönhallinta sekä kaluston ja kuljetusten hallinta. Vaikka liikenteen hallintaan kuuluu myös kysynnän hallinnan elementtejä, ei liikenteen hallintaan sisälly kaikki kysynnän hallinnan keinot. (Liikennevirasto 2010d)

Liikenteen hallintaa toteutetaan yhä enemmän aktiivisella liikenneverkon operoinnilla. Aktiivisen liikenneverkon operoinnin tavoitteena on liikkumisen ja kuljettamisen ennakoitavuus ja luotettavuus kaikissa oloissa. Operoinnilla minimoidaan häiriöiden vaikutukset ja ennalta estetään häiriöiden syntyminen. Operoinnin työkaluina on liikenteen ajantasainen ohjaus, tiedotus ja häiriönhallinta. Liikenneverkon ja liikenteen hallinnan palveluiden ajantasaisesta operoinnista Suomessa vastaa Liikenneviraston tieliikennekeskus. (Liikennevirasto 2010d)

Älyliikenne tarjoaa keinoja kysynnän ja liikenteen hallintaan. Kuvassa 12 älyliikenteen lohko onkin sijoitettu sekä kysynnän hallinnan että liikenteen hallinnan kanssa limittäin. Osa älyliikenteen ratkaisuksista ei palvele kuitenkaan suoraan kysynnän eikä liikenteen hallinnan tarpeita. Tällaiset ratkaisut voivat esimerkiksi edistää kuljettajan turvallisuutta.

3.2 Älyliikenteen nykytilanne

Älyliikenne on vakiinnuttanut asemansa osana liikennetekniikkaa ja liikennepolitiikkaa. Vakiintuneita tai kokeiluvaiheessa olevia ratkaisuja on käytössä runsaasti niin tie-, meri- kuin rautatieliikenteessä.

Tieliikenteessä jo vakiintuneita ja Suomessa käytössä olevia älyliikenteen sovelluksia ovat esimerkiksi liikennevalojen joukkoliikenne-etuudet, liikenteen ja kelin seuranta- ja tiedotusjärjestelmät, tunnelien ohjaus- ja valvontajärjestelmät, häiriönhallinta, reititopastus ja joukkoliikenteen informaatiopalvelut. Käytössä on myös useita kuljettajatuojärjestelmiä ja muita ajoneuvoteknologian sovelluksia kuten kaistanvahti, navigaattori ja vakionopeudensäädin. Teknologia on olemassa myös esimerkiksi älykkäitä maksujärjestelmiä varten. (Kulmala ja Schirokoff 2010)

Meriliikenteessä älyliikenteen käyttö on monilla osa-alueilla kaikkein pisimmällä tie- ja rautatieliikenteeseen verrattuna. Meriliikenteen ohjaus tapahtuu kokonaan älyliikenteen järjestelmillä, ja suurin osa aluksista on varustettu elektronisilla kartoilla ja AIS-lähettimillä. Liikenteenohjauskeskukset voivat seurata jokaisen yksittäisen aluksen liikumista reaaliaikaisesti. Lentokoneiden tavoin aluksissa on mahdollisuus automaattiseen ohjaukseen. Uusina älyliikenteen sovelluksina ovat esimerkiksi älykkäät merimerkit, jotka osaavat itse ilmoittaa, kun esimerkiksi viitan lamppu on palanut tai merimerkki on siirtynyt pois paikaltaan.

Rautatieliikenteessä älyliikenteen sovelluksia käytetään yhä enemmän. Meriliikenteen tavoin rautatieliikenteen ohjaus tapahtuu älyliikenteen sovellusten avulla, ja junien reaaliaikainen seuranta GPS-tiedon avulla yleistyy Suomessakin. Älyliikenteen sovelluksia hyödynnetään myös rautatieliikenteen suunnittelussa.

Älyliikenteen käyttöä on edistetty viime aikoina voimakkaasti sekä Suomessa että muualla maailmassa. Euroopan unioni on aktiivisesti tukenut ja kehittänyt älyliikennettä osana liikennepolitiikkaa. Viime vuosina Euroopan unionin komissio on huolestunut erityisesti tieliikenteen älyliikenteen toteutusten hitaudesta ja hajanaisuudesta. Komissio julkaisikin vuoden 2008 lopussa älyliikenteen toimintaohjelman (ITS Action Plan). Toimintaohjelmalla komissio pyrkii nopeuttamaan ja harmonisoimaan älykkään liikenteen palvelujen toteuttamista ja varmistamaan, että palvelut toimivat myös valtioiden rajojen yli. (Euroopan yhteisöjen komissio 2008a)

Vuoden 2010 elokuussa astui voimaan älykkään liikenteen toimintaohjelmaan liittyvä direktiivi, joka tähtää yleiseurooppalaiseen älyliikenteen toteuttamiseen tieliikenteessä. Direktiivi velvoittaa jäsenmaita noudattamaan komission laatimia määräyksiä valittuja palveluja toteuttaessa. Uudet määräykset edellyttävät, että vuoteen 2013 mennessä käyttöön otettavat älyliikenteen palvelut ovat yhteensopivia nykyisten kansallisten järjestelmien kanssa. Palveluita ovat: (Euroopan yhteisöjen komissio 2008b)

- EU:n laajuiset eri kulkutavat kattavat matkatietopalvelut (2013 kuluessa)
- EU:n laajuiset ajantasaiset liikennetietopalvelut (2014 kuluessa)
- Käyttäjille ilmainen, liikenneturvallisuuden kannalta olennainen liikennetiedotus (2012)
- EU:n laajuinen hätäviestintäjärjestelmä eCall (2012)
- Kuorma-autojen turvallisten pysäköintialueiden tiedotus- ja varauspalvelut (2012).

Suomi panostaa EU:n tavoin älyliikenteeseen. Vuonna 2009 valmistui selvitysmiehen ehdotus älyliikenteen strategiaksi ja 15.4.2010 valtioneuvosto teki periaatepäätöksen kansallisesti älyliikenteen strategiasta. Strategiassa määritetään tavoitteet vuodelle 2020: (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009)

- Väylänpidon ja liikennejärjestelmän tuottavuus kasvaa kymmenen prosenttia yleistä kehitystä enemmän
- Tieliikenteessä säästyy 50 ihmishenkeä vuodessa
- Kasvihuonepäästöjä on leikattu merkittävästi
- Logistiikkakustannuksissa on lähennytty kilpailijamaita
- Ruuhkautumisen aikaviiveissä 20 prosentin vähennys
- Joukko- ja kevyen liikenteen markkinaosuus kasvaa 20 prosenttia
- Suomi on viiden parhaan joukossa älyliikenteen käytössä
- Asiakkaat ovat tyytyväisiä matkansa sujuvuuteen ja informaatioon matkan ja kuljetuksen kaikissa vaiheissa.

Tavoitteiden toteuttamista tuetaan toteuttamalla kahdeksan kärkihanketta, joihin panostetaan erityisesti tulevien vuosien aikana. Kärkihankkeet on jaoteltu kansallisen älyliikenteen strategian painopisteiden alle: (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009)

1) Paremmat ja ympäristölle ystävällisemmät palvelut

Joukkoliikenteen palvelut

Liikenteen hallinta ja ohjaus

2) Turvallisempi liikenne

Tieliikenteen automaattivalvonta
Ajoneuvojen turvajärjestelmät

3) Sujuvampi liikenne

Toimintamallit onnettomuuksissa ja häiriötilanteissa
Maksujärjestelmien kokeilut

4) Tehokkaampi logistiikka

Kuljetusten sähköiset toimintamallit

5) Kehittyneet älyliikenteen markkinat

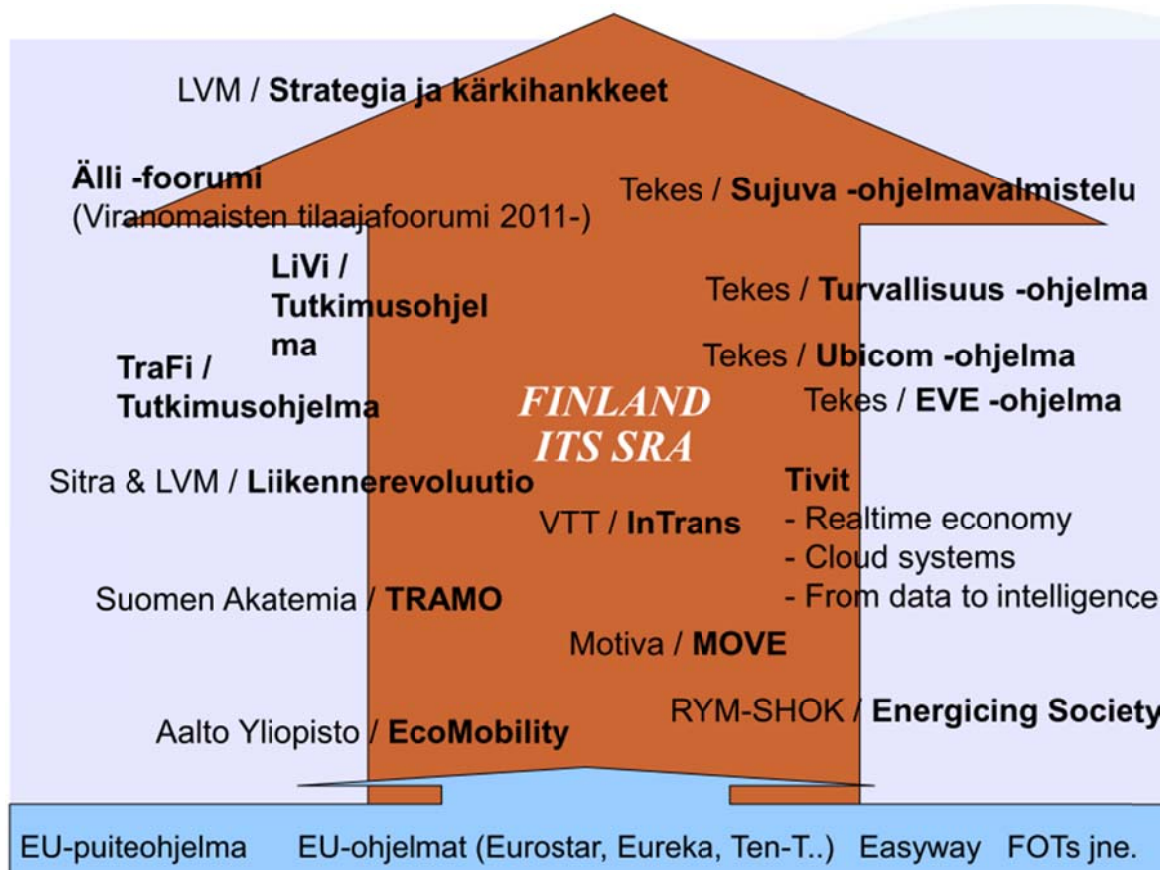
Julkisen tiedon käyttö

6) Liikennejärjestelmän suunnittelun uudistus

Kärkihankkeiden joukossa on myös välityskykyä parantavia hankkeita kuten tieliikenteen automaattivalvonnan lisääminen sekä onnettomuus- ja häiriötilanteiden toimintamallien kehittäminen. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009)

Älyliikenteen strategian seuranta ja ohjausta varten hallitus asetti myös kansallinen älyliikenteen neuvottelukunnan. Neuvottelukunta aloitti toimintansa 2010 tammikuussa ja jatkaa toimintaansa vuoden 2012 loppuun. Neuvottelukunnan tehtävänä on myös seurata ja ohjata älyliikenteen toimeenpanosuunnitelman toteutumista ja huolehtia tarvittaessa sen päivittämisestä. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2010c)

Älyliikenteen kehittymistä tuetaan myös erilaisten tutkimusten, ohjelmien, yhteisöjen ja verkostojen kautta. Älyliikenteen eri ohjelmia, toimijoita ja verkostoja on esitelty kuvassa 18. Kuvasta nähdään, että älyliikenteen palveluita kehitetään laajalla toimijakentällä. Mukana on sekä yksityisiä yrityksiä, julkisia tutkimuslaitoksia että erilaisia verkostoja.



Kuva 18. Älyliikenteen toimijoita ja ohjelmia. (Yli-Siurunen 2011)

Suomessa merkittävä älyliikenteen verkosto on ITS-Finland ry., joka on suomalainen älyliikenteen kehittämisen yhteistyöfoorumi. ITS-Finland kokoaa yhteen alan yritykset, tutkimusyksiköt, yhdistykset ja julkishallinnon yksiköt. ITS-Finland ry. on perustettu edistämään alan tunnettavuutta ja sovellusten kehittämistä. Yhdistys toimii avoimena verkostona, joka tarjoaa yhteistyöfoorumin hallinnon, tutkimuksen ja yritysten osallistumiselle kehitysohjelmaan.

Älyliikenteen tutkimusta edistetään eri ohjelmien avulla. Erilaisia kehittämisohjelmia ovat esimerkiksi (osa jo päättyneitä):

- ÄLLI; älykkään liikenteen kehittämisohjelma (2007–2010)
- AINO, ajantasaisen liikenneinformaation tutkimus- ja kehittämisohjelma (2004–2007)
- FITS; Liikennetelematiikan rakenteiden- ja palveluiden t&k-ohjelma (2001–2004)

Euroopan unionilla on käynnissä useita omia älyliikenteen ohjelmia. Suomi on mukana useassa EU:n ohjelmassa esimerkiksi Easywayssa.

Näiden lisäksi älyliikenteen osaamista kehitetään Suomessa kahden strategisen huippuosaamisen keskittymän (SHOK) avulla. RYM Oy on vuonna 2009 perustettu rakennetun ympäristön SHOK-yhtiö, jossa on omistajina tällä hetkellä 56 yritystä, julkisyhteisöä ja yliopistoa. Tivit Oy on puolestaan vuonna 2008 perustettu tieto- ja viestintäteollisuuden SHOK-yhtiö, jossa on 46 omistajaa. SHOK:t toteuttavat laajoja tutkimus-

hankkeita, joihin yksittäisillä toimijoilla ei olisi varaa. Niiden tarkoituksena on luoda uutta maailmanluokan osaamista sekä nopeuttaa innovaatioiden pääsyä markkinoille.

3.3 Tietoisuus liikennejärjestelmän tilasta

Älyliikenteen palveluiden edellytyksenä on ajantasainen ja laadukas liikennetieto. Liikennetieto kuvaa väylien liikennettä sekä tilastollisina tunnuslukuina että ajantasaisena liikennetietona. Liikennejärjestelmän tilannekuva ilmaisee sekä tämänhetkisen että lyhyen aikavälin (15 min -2 h) ennustetun liikennejärjestelmän tilan. Tilalla tarkoitetaan esimerkiksi liikenteen häiriöitä, sujuvuutta, keliä ja matka-aikoja. Tilannekuvaan liittyy myös pysyvä tai hitaasti muuttuva tieto liikennejärjestelmästä ja sen ominaisuuksista kuten tiedot väylien geometriasta ja nopeusrajoituksista. Tilannekuvan laatu vaikuttaa merkittävästi sitä hyödyntävien palveluiden vaikuttavuuteen. (Liikennevirasto 2010d)

Ajantasainen ja laadukas liikennejärjestelmän tilannekuva on liikenteen hallinnan palveluiden edellytys. Tilannekuvaa hyödynnetään esimerkiksi muuttuvassa reittiopastuksessa, matkustajien ajantasaisessa informaatiossa ja etenkin häiriönhallinnassa. Sen avulla voidaan liikenneverkosta havaita esimerkiksi pullonkaulakohteita, joita ei liikenteestä muuten huomata. Tilannekuvan merkitys kasvaa tulevaisuudessa, koska suurin osa tulevaisuuden älyliikenteen keinoista tarvitsee toimiakseen tarkkaa reaaliaikaista tietoa liikenteestä. (Liikennevirasto 2010d)

Liikennejärjestelmän tilannekuva muodostetaan erikseen tie-, rata- ja meriliikenteessä. Liikennemuotojen tilannekuvat eroavat toisistaan, koska verkon laajuus ja yksiköiden määrä vaihtelevat liikennemuodoittain. Meri- ja rautatieliikenteessä liikenneyksiköitä on huomattavasti vähemmän kuin tieliikenteessä, joten yksittäisten kohteiden seuraaminen on tällöin mahdollista. Rautateillä liikenne kulkee tarkasti rajattuja reittejä pitkin.

Tieliikenteessä ei seurata jokaisen ajoneuvon liikkumista verkolla, vaan tarkastellaan lähinnä pääteiden liikennettä kokonaisuudessaan. Tilannekuva muodostetaan erilaisten mittausasemien tietojen avulla. Liikenteen automaattiset mittausasemat (LAM) laskevat mittausaseman ohittavien ajoneuvojen määrän, luokittelevat ajoneuvot viiteen luokkaan ja mittaavat ajoneuvojen ajonopeuden. Mittausasemia on runsaat 400 kappaletta ympäri Suomea lähinnä pääteillä. Vuodesta 2008 alkaen liikenteen mittausta täydennettiin matka-aikoja mittaavalla järjestelmällä. Rekisteritunnusten tunnistamiseen perustuvan järjestelmän avulla kerätään tietoa matka-ajoista ja sujuvuudesta 3200 tiekilometriltä. Tämän lisäksi tieverkolla on kelikameroita, liikenteen seuranta-asemia ja tiesääasemia. (Kulmala ja Schirokoff 2009, Liikennevirasto 2010d)

Matkaviestimien yleistymisen on mahdollistanut ajantasaisen liikennetiedon ja matka-aikatiedon keräämisen sekä matkapuhelinverkon että suoraan paikantavien matkapuhelimien avulla. Myös autonavigointilaitteita voidaan yhtälailla käyttää liikennetiedon keräämiseen. Matkapuhelimien ja navigaattoreiden avulla saadaan automaattisia mittauspisteitä reaaliaikaisempaa ja paikallisempaa tietoa ajoneuvojen liikkeistä ja liikenteen sujuvuudesta. Tieto käsitellään siten, että tietoa tuottavat laitteet, esimerkiksi matkapuhelimet, säilyvät anonyymeina. (Rainio 2010)

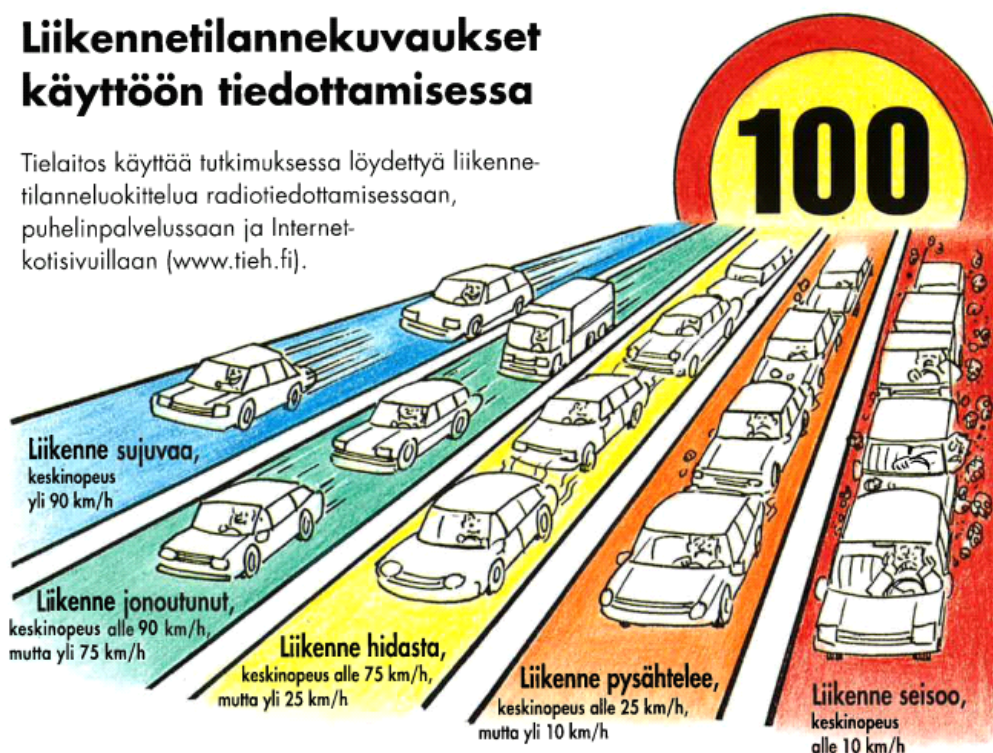
TomTom on HDTraffic palvelunsa yhteydessä sopinut teleoperaattoreiden kanssa liikennetiedon keräämisestä palvelun avulla. Kerätty liikennetieto esimerkiksi liikenteen häiriöistä välitetään eteenpäin muille palvelun käyttäjille. Vastaavasti Yhdysvalloissa sekä monissa Euroopan maissa taksien päätelaitteet on valjastettu liikennetiedon keruu-

seen. Suomessa matkapuhelinverkkojen tarjoamaa liikennetietoa ei kuitenkaan vielä hyödynnetä. (Rainio 2010)

Liikennetiedon tarjoamiseksi Liikennevirasto ylläpitää Digitraffic-palvelua. Palvelu sisältää tietoa matka-ajoista, liikennemääristä ja nopeuksista, säästä ja kelistä sekä mahdollisista liikenteen häiriöistä. Digitraffic-palvelu on tarkoitettu lisäarvopalvelujen tarjoajille, eikä se ole julkisesti käytettävissä. (Rainio 2010)

Tielläliikkuville ajantasaista liikennetietoa tarjotaan esimerkiksi tienvarressa olevilla vaihtuvilla opasteilla, internetissä, radiossa sekä matkapuhelimien ja navigaattoreiden kautta. (Kulmala & Schirokoff 2009, Liikennevirasto 2010b) Suomessa liikenteen sujuvuustietoa tarjoaa kuluttajille Mediamobile nordic sekä pienimuotoisemmin lähinnä Tampereen seudulla Infotripla Oy.

Tieliikenteen tilannekuvaukset ovat yleiseurooppalaisia. Yhdenmukaiset kuvaukset selkiyttävät liikenteen tiedotusta Suomessa ja edistävät tiedonvaihtoa eri maiden välillä. Sujuvuustieto on luokiteltu kaikissa Euroopan maissa samalla tavalla. Se on jaettu viiteen eri ryhmään, liikenteen keskinopeuden muutosten perusteella ja sujuvuus esitetään värikoodein (kuva 19) (Tielaitos esite)

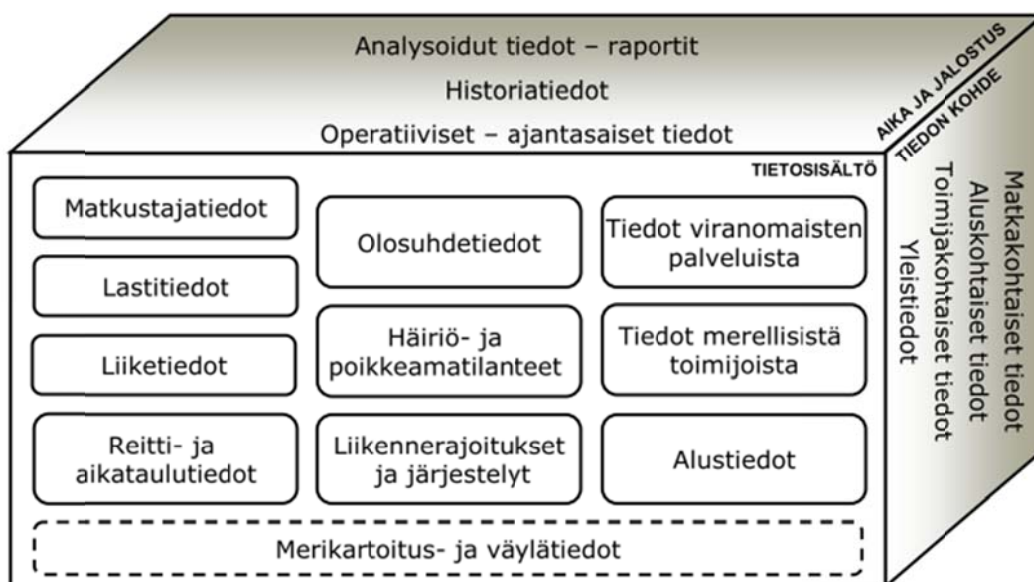


Kuva 19. Tieliikenteen yleiseurooppalaiset tilannekuvaukset.

Meriliikenteen liikennetieto on tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa kuin tieliikenteessä. Tietoa kerätään yksittäisten alusten liikkeistä ja tieto kerätään sijantitietoa välittävistä radiosignaaleista. Kaikkien yli 300 rekisteritonnin kauppa-alusten on kuuluttava auto-maattiseen alusten tunnistusjärjestelmään (AIS). Tämän järjestelmän avulla aluksista ja niiden liikkeistä saadaan tarkkaa tietoa reaaliajassa ja laajalta alueelta. Liiketiedoista voidaan havaita jo pienetkin nopeuden muutokset jokaisen aluksen kohdalla erikseen.

(Raurio 2010) Meriliikenteen tilannekuva löytyy muun muassa osoitteesta www.marinetraffic.com.

Liiketietojen lisäksi aluksista on saatavissa tiedot esimerkiksi lastista, reitistä ja aluksesta. Pelkistetty kokonaiskuva meriliikenteen laajoista tietoaaineistoista on esitetty kuvassa 20. Meriliikenteessä tilannekuva hyödynnetään erityisesti parantamaan meriliikenteen turvallisuutta ja ehkäisemään ympäristöonnettomuuksia. (Liikennevirasto 2010b)



Kuva 20. Meriliikenteen tietoaaineistojen pelkistetty kokonaiskuva. (Liikennevirasto 2010b)

Rautatieliikenteessä liikennetiedot ovat saatavilla jokaisen yksittäisen junan liikkumisesta. Junien sijainti paikannetaan rautateiden turvalaitejärjestelmän avulla ja tarkkuudella. Tämä tarkoittaa, että junien sijaintia ei tiedetä koko ajan tarkalleen, vaan sijaintitieto on saatavilla suojaväleittäin. Suojavälien pituus vaihtelee reilusta kilometristä useiden kymmenien kilometrien pituuteen. Sijaintitietoa voidaan tarkentaa junien satelliittipaikannuksen avulla ja järjestelmä on tulossa muutaman vuoden sisällä käyttöön Suomessakin. Satelliittipaikannus voisi toimia samalla turvalaitejärjestelmästä riippumattomana liikenteen ohjauksen varajärjestelmänä. Satelliittipaikannuksesta saatujen tietojen avulla matkustajille saataisiin myös aikaisempaa tarkempaa tietoa esimerkiksi junien myöhästymisistä. Sijaintiedon jatkuvan välittämisen ongelmana ovat kuitenkin verkkojen katvealueet. (Rainio 2010)

Tie-, rautatie ja meriliikenteestä kerätään jo nykyään merkittävä määrä erilaista tietoa. Tehokkaimmin tietoa käytetään tällä hetkellä meriliikenteessä, mutta myös tie- ja rautatieliikenteessä liikennetiedon käyttö laajenee koko ajan. Tulevaisuudessa liikennejärjestelmän tilannetietoa on tarkoitus hyödyntää yhä tarkemmin ja monipuolisemmin sekä yhdistää eri liikennemuotojen tiedot. Liikennevirastolla on jo olemassa karkea pilotti tietojen yhdistämistä, mutta pilotointia on tarkoitus laajentaa. Koko liikennejärjestelmän laajuiselle tietokannalle etsitään käyttökohteita.

4 Liikennejärjestelmän käytön tehostaminen

Eri liikennemuotojen yksittäisten väylien välityskyvyn tehostaminen ei ratkaise välityskykyongelmaa kuin aina tietyllä alueella. Suurempien vaikutusten saamiseksi tuleekin ongelmaa ja ratkaisuja tarkastella koko liikennejärjestelmän tasolla. Tässä luvussa hahmotellaan karkea kokonaiskuva, millä kaikilla keinoilla voidaan välityskykyyn vaikuttaa liikennemuodoista riippumatta ja tehostaa koko liikennejärjestelmän käyttöä.

Liikennejärjestelmä voidaan määritellä monella eri tavalla. Prokkola et al. (2005) määrittelee liikennejärjestelmän koostuvan liikenneinfrastruktuurista, matkustajista ja kuljettavista tavaroista sekä liikennevälineistä. Tiehallinto (2008b) on toisaalta määritellyt, että liikennejärjestelmä on kokonaisuus, joka muodostuu eri kulkutapoja palvelevasta liikenneinfrastruktuurista, liikennepalveluista ja niitä käyttävästä liikenteestä. Myös monia muita määritelmiä on olemassa. Eri määritelmien suurimpana erona on niiden laajuus. Osassa määritelmissä ihmisen ajatellaan olevan osa liikennejärjestelmää ja osassa ei.

Liikennejärjestelmän eri osia on hahmoteltu kuvassa 21. Kuvassa liikennejärjestelmään kuuluu liikenneinfrastruktuuri, eri liikennemuodot, tavara- ja huoltoliikenne sekä esimerkiksi pysäköinti. Tämän lisäksi liikennejärjestelmään voidaan laskea mukaan liikennettä käyttävät ihmiset sekä esimerkiksi rahoitus ja maankäyttö.



Kuva 21. Liikennejärjestelmään kuuluvat osat.

Liikennejärjestelmän käyttöä voidaan tehostaa hyvin erilaisin keinoin. Olennaista on, että eri liikennemuodot toimivat tehokkaasti yhdessä. Matka- ja kuljetusketjujen tulee toimia saumattomasti liikennemuodoista toiseen ja kullekin tilanteelle sopivimman liikennemuodon käytön on oltava mahdollista, helppoa ja mahdollisimman houkuttelevaa. Solmupisteiden toimivuus on avainasemassa, kun halutaan tehostaa koko liikennejärjestelmän toimintaa.

Liikennejärjestelmää tehostavat toimenpiteet on jaoteltu tässä työssä liikenteen määrän vähentämiseen, kysynnän jakamiseen tasaisemmin sekä käyttöasteen parantamiseen. Näiden lisäksi liikennejärjestelmään vaikuttaa myös yksittäisen kulkumuodon välityskyvyn parantaminen, mitä on käsitelty tarkemmin seuraavissa luvuissa. On kuitenkin

vaikea arvioida, miten yhden kulkumuodon välityskyvyn paraneminen vaikuttaa koko liikennejärjestelmän välityskykyyn. Esimerkiksi miten raideliikenteen välityskyvyn ja tarjonnan parantuminen vaikuttaa saman liikennekäytävän tieliikenteen määrään. Voidaan myös kyseenalaistaa, onko tieliikenteen välityskykyä tarpeen parantaa, jos vieressä kulkevalla radalla on vielä rutkasti välityskykyä jäljellä sekä henkilö- että tavaraliikenteen tarpeisiin.

Liikennejärjestelmän välityskykyongelmia voidaan ratkaista tehokkaimmin vähentämällä liikenteen määrää eli liikenteen kysyntää. Liikenteen kysyntään voidaan vaikuttaa minimoimalla liikkumistarpeita sekä rajoittamalla liikkumista. Yhdyskuntasuunnittelulla ja etätyötä lisäämällä voidaan vähentää liikkumistarpeita. Toimintojen sijoittelu käyttäjien kannalta optimaalisella tavalla pienentää liikennesuoritetta, kun kaikki tarvittavat perustoiminnot sijaitsevat lähellä ja ovat helposti saavutettavissa. Välimatkojen tulisi olla tarpeeksi lyhyitä, jotta kulkeminen onnistuu kävellen tai pyörällä. Maankäytön ja liikennejärjestelmän suunnittelua tulisikin tehdä yhdessä, jottei toimintojen sijoittelulla aiheuteta turhaa liikkumistarvetta.

Liikkumistarvetta voidaan vähentää myös etätyötä ja -neuvotteluita lisäämällä sekä mahdollistamalla sähköinen asiointi. (Kivari et al 2006) Älyliikennettä voidaan hyödyntää esimerkiksi käyttämällä mallintamista apuna suunniteltaessa maankäyttöä.

Liikenteen määrään vaikutetaan myös lakien, säännösten ja muiden rajoitteiden avulla. Ääritapauksessa voidaan esimerkiksi kieltää ajoneuvojen käyttö vuoropäivin, kuten Kiinan isoissa kaupungeissa on jo tehty. Kevyempiä ratkaisuja on esimerkiksi yksityisautoilun kieltäminen joissain kaupunginosissa tai esimerkiksi raskaan liikenteen kieltäminen ruuhka-aikoina tai yksittäisillä alueilla.

Liikenteen kysyntää voidaan vähentää myös liikenteen hinnoittelun avulla. Liikenteen maksut ja verot voivat kohdistua esimerkiksi kulkuneuvon omistamiseen, käyttöön tai esimerkiksi pysäköintiin. Näiden avulla pyritään vähentämään liikkumista ja toisaalta ohjataan ihmisiä ja tavaroita käyttämään muita vaihtoehtoja liikkumisessa. Maksuja ja veroja peritään sekä tie-, rautatie- että meriliikenteessä ja sekä henkilö- että tavaraliikenteeltä.

Liikenteen hinnoittelun avulla voidaan myös tasoittaa liikenneverkon kysyntää. Hinnoittelemalla tietyt liikenneverkon osat tai ajankohdat kalliimmaksi, saadaan osa liikenteestä käyttämään toista reittiä, välttämään kalliimpia ajankohtia tai vaihtamaan autoilusta joukkoliikenteen käyttöön. Parhaiten tunnettuna esimerkkinä ovat erilaiset tienkäyttömaksut. Tienkäyttömaksuja ovat esimerkiksi ruuhkamaksut, vinjettimaksut, moottoritie-, tunneli- ja siltamaksut. (ruuhkamaksu.fi 2011) Älyliikenteen sovelluksia hyödynnetään erilaisten tienkäyttömaksujen keräämisessä ja älyliikenne mahdollistaa koko hinnoittelun muuttamisen matkaperusteiseksi. Tienkäyttömaksun lisäksi ovat olemassa ratamaksut, joiden avulla on mahdollisuus samalla tavoin hinnoitella eri ajankohdat ja rataosat, ja pyrkiä tällä tavoin tasoittamaan rautatieliikenteen kysynnän huippuja. Myös meriliikenteessä kerätään väylämaksuja.

Parantamalla kulkuneuvojen käyttöastetta voidaan osaltaan vähentää liikenteen määrää. Suuressa osassa tieliikenteessä kulkevista yksityisajoneuvoista ei ole kyydissä kuin kuljettaja ja junatkin ovat täynnä vain ruuhka-aikoina. Käyttöastetta voidaan parantaa esimerkiksi kannustamalla kimppakyyteihin tai edistämällä joukkoliikenteen kilpailukykyä. Myös liikenteen hinnoittelun avulla voidaan käyttöastetta nostaa.

Liikkumisen ohjauksen avulla voidaan vaikuttaa liikenteen kysyntään sekä kulkutavan ja reitin valintaan. Liikkumisen ohjauksen avulla yritetään löytää eri liikkumisryhmille parhaat sosiaalisesti, ekologisesti ja taloudellisesti kestävä tavat liikkua. Käytännössä tämä tarkoittaa, että kannustetaan ihmisiä valitsemaan kestävä kulkutapa ja tuodaan erilaiset liikkumismahdollisuudet ihmisten tietoisuuteen. (Kiiskilä ym. 2002) Liikkumisen ohjaus on pehmeiden keinojen käyttöä, kuten kestävästä liikkumismuodoista tiedottamista ja mainostamista. (Motiva 2010)

Kestävästä liikkumisesta voidaan edistää parantamalla joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen kilpailukykyä. Joukkoliikenteen tukeminen ja joukkoliikennevälineiden sujuvuuden edistäminen liikenteessä parantaa joukkoliikenteen kilpailukykyä. Joukkoliikenteen etuuksia ovat esimerkiksi joukkoliikennekaistat, -väylät ja -kadut, liittymien kaistajärjestelyt, joukkoliikenteen liikennevaloetuet ja etuajo-oikeus pysäkiltä lähdettäessä. Joukkoliikenteen käyttämisestä voidaan lisätä myös parantamalla liikenteestä tiedottamista sekä luomalla käyttäjille toimivia yksilöllisiä palveluja. Tällaisia ovat esimerkiksi jokaiselle käyttäjällä sopivaksi muokattavat reittioppaan palvelut kuten omatlahdot.fi

Kevyen liikenteen kilpailukykyä voidaan parantaa monilla erilaisilla keinoilla: (Kalenjoja et al. 2004)

- liikennepoliittinen ohjaus
- kävelyä ja pyöräilyä suosiva maankäyttö ja yhdyskuntarakenne
- toimivat ja hyväkuntoiset kevyen liikenteen väylät
- kevyen liikenteen liikenneturvallisuuden parantaminen
- kevyen liikenteen terveyst- ja ympäristöhyödyistä tiedottaminen
- kevyen liikenteen huomioiminen osana matkaketjua
- työmatkakävelyn ja -pyöräilyn edistäminen.

Kevyen liikenteen käyttöä voidaan edistää myös erilaisilla älyliikenteen ratkaisulla. Kevyen liikenteen käyttäjillä yleistyy autoilijoiden tavoin navigaattoreiden käyttö. Mukana kulkeva reittiopas helpottaa lyhyimmän tai vaikkapa tasaisimmin reitin valintaa. Reittipalveluihin voidaan kytkeä myös julkisen liikenteen aikataulut, pyöräpysäköintipalvelut ja maksupalvelut. Pyöräilyä voidaan edistää myös esimerkiksi pyöräilijöiden liikennevaloetuuksien avulla.

Liikennejärjestelmän käytön tehostaminen on monen tekijän summa. Kuten aiemmin todettiin, käyttöä voidaan tehostaa vähentämällä liikenteen määrää, jakamalla kysyntää tasaisemmin sekä parantamalla kulkuvälineiden käyttöastetta. Joukko- ja kevyen liikenteen tukemisella voidaan vaikuttaa näihin kaikkiin. Tärkeää on myös liikennesuunnittelun sitominen jo varhaisessa vaiheessa osaksi yhdyskuntasuunnittelua, jolloin ei tehdä ratkaisuja, jotka turhaan lisäävät liikkumistarvetta.

Tulevaisuudessa tavoitteena on koko liikennejärjestelmän älykkyys. Älykäs liikennejärjestelmä kattaa palveluketjun osat tiedon keruusta, käsittelystä ja jakelusta matkan suunnitteluun ja matkan aikaisiin tietopalveluihin. Älykkään liikennejärjestelmän keskeisiä vaatimuksia on ajantasaisuus, luotettavuus ja helppokäyttöisyys. Älykäs liikennejärjestelmä tarjoaa informaatiota kuljettajille, liikkujille ja liikennejärjestelmän operoijille. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2009)

Älykäs liikennejärjestelmä mahdollistaa liikkujien ohjaamisen yhä tehokkaammin. Jo kehitteillä on esimerkiksi kaikki kulkumuodot sisältävä reittiopas, jossa olisi mukana joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen lisäksi esimerkiksi kimppakyydit ja taksit. Palvelu toimisi reaaliaikaisena ja huomioisi liikenteen häiriötilanteet ja ennakoisi ruuhkien syntymisen.

5 Tieliikenteen välityskyvyn parantaminen

5.1 Yleistä

Tieverkolla esiintyy laajimmat välityskykyongelmat Suomessa. Noin 200 kilometrillä tieverkosta ei välityskykyä ole riittävästi tarjolla ja muillakin osuuksilla on ajoittaisia ongelmia. Välityskykyä voidaan lisätä rakentamalla uusi väyliä tai esimerkiksi lisäämällä olemassa oleville väylille uusia kaistoja ja ramppeja. Uuden tieinfrastruktuurin rakentaminen on kuitenkin kallista eikä välityskykyongelmiin voida tulevaisuudessakaan vastata vain uutta tieinfrastruktuuria rakentamalla. Tiiviisti rakennetuille alueille ei aina edes mahdu kysyntää vastaavaa määrää väyliä.

Välityskykyongelmia voidaan vähentää monilla muillakin tavoin kuin uusia väyliä rakentamalla. Välityskykyä lisääviä tai välityskyvyn käyttöä tehostavia toimenpiteitä ei tarvitse tehdä, jos liikenteen määrää saadaan vähennettyä. Liikenteen määrän vähentäminen on kuitenkin hankalaa, jos ei haluta rajoittaa tai hinnoitella liikennettä nykyistä tiukemmin. Tässä luvussa liikenteen määrän vähentämiseen tähtäviä keinoja ei käsitellä.

Tieliikenteen ruuhkat aiheutuvat yleensä tieverkon yksittäisistä pullonkaulakohtista ja tieverkolla sattuneista häiriöistä. Poistamalla pullonkaulakohteita sekä vähentämällä häiriöitä voidaankin ratkaista suurin osa ruuhkista. Välityskykyä voidaan tehostaa lisäksi säatelemällä liikenteen nopeustasoa, tasaamalla liikennevirtaa ja jakamalla kysyntää tasaisemmin koko vuorokauden ajalle ja koko liikenneverkolle.

Jokela ja Lehtomaa (2009) ovat keränneet pieniä toimenpiteitä, joilla voidaan parantaa sujuvuutta kaupunkien pääväylillä. Älyliikenteen keinot on tutkimuksessa rajattu pääosin pois. Toimenpiteitä ovat:

- Linkkijärjestelyt
 - lisäkaistat kaista- ja piennarkavennuksilla
 - vaihtuvasuuntainen kaista
 - monimatkustaja-ajoneuvokaista
- Tasoliittymäjärjestelyt
 - kiertoliittymä
 - kaistojen lisääminen pääsuunnalle valo-ohjatun liittymän kohdalla
 - liittymän kanavointi
 - ryhmittymiskaistojen jatkaminen
 - Valo-ohjatun liittymän vapaa oikea
 - liittymän porrastaminen
 - liikennevalojen ajoitusten päivittäminen
- Eritasoliittymäjärjestelyt
 - eritasoliittymän täydentäminen lisärampilla

- ramppiohjaus
- erkanemiskaistojen jatkaminen
- Liikenerajoitteet
 - raskaan liikenteen rajoitukset
 - hitaan liikenteen rajoitukset
 - kääntymiskiellot liittymissä

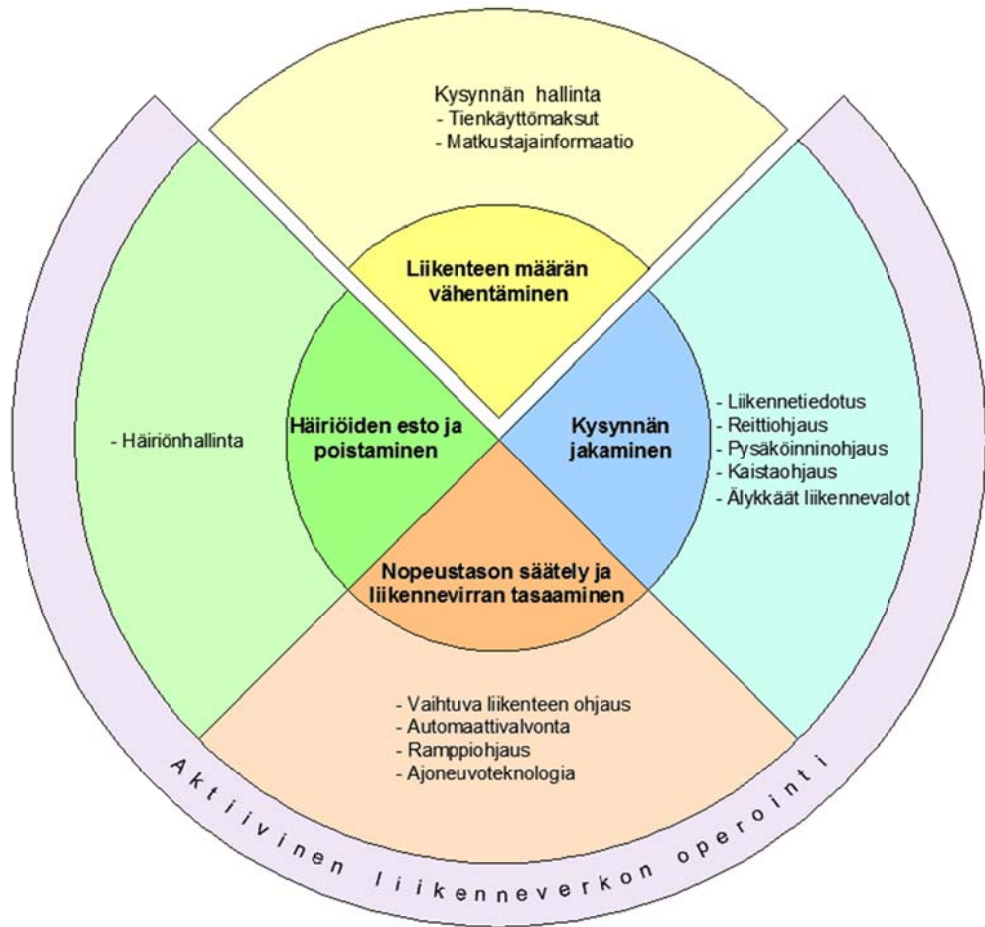
Suuri osa Jokelan ja Lehtomaan keräämistä toimenpiteistä vaativat jonkinlaisia muutoksia jo olemassa olevaan tieinfrastruktuuriin. Ainoastaan liikenerajoitteilla, linkkijärjestelyillä sekä ramppiohjauksella ja liikennevalojen ajoitusten päivittämisellä voidaan liikenteen sujuvuutta parantaa ilman infrastruktuurin tehtäviä muutoksia. Näistä keinoista ramppiohjaus ja liikennevalojen päivittäminen ovat älyliikenteen keinoja.

Jokelan ja Lehtomaan tutkimuksesta huomaamme, ettei liikenteen sujuvuuden parantamiseksi ja välityskyvyn tehostamiseksi ole käytössä kovin paljon keinoja, jos mukaan ei lasketa uuden väylän rakentamista ja parantamista. Älyliikenteen ratkaisuille voidaan keinovalikoimaa laajentaa. Tässä luvussa on tarkasteltu tieliikenteen välityskykyä tehostavia älyliikenteen keinoja.

Keinojen valitseminen, ryhmittely ja vertailu

Tässä työssä tarkasteluun on valittu älyliikenteen keinoja, joiden vaikuttavuutta tieliikenteen välityskykyyn on tutkittu, ja joita jo käytetään Suomessa tai joiden käyttöön ottaminen Suomessa voisi olla mahdollista. Kysynnän hallinnan keinoista mukaan on valittu vain kysynnän jakaminen tasaisemmin tieverkolle. Valitut tieliikenteen keinot eivät myöskään vaikuta ensisijaisesti kulkumuotojakaumaan tai kulkumuotojen käyttöasteeseen.

Älyliikenteen keinot voidaan ryhmitellä usealla tavalla. Tässä työssä ryhmittelyksi on valittu keinon vaikutusmekanismi eli millä tavoin kyseinen keino vähentää tieliikenteen välityskyky- tai sujuvuusongelmia. Ongelmia voidaan vähentää estämällä tai poistamalla häiriöitä, jakamalla kysyntää tasaisemmin koko tieverkolle sekä säätelemällä liikenteen nopeustasoa. Ryhmittely on esitelty kuvassa 22. Kuvassa on mukana myös liikenteen määrän vähentäminen, koska liikennemäärää vähentämällä voidaan vähentää ruuhkautumista ja ylläpitää tien välityskyky riittävän korkealla tasolla. Liikennemäärään vaikuttavia keinoja ei käsitellä tässä tarkemmin.



Kuva 22. Älyliikenteen keinot tieliikenteen välityskyvyn parantamiseksi.

Älyliikenteen eri keinojen vertailu on haastavaa. Tutkimukset ovat tehty erilaisissa oloissa ja eri maissa liikenneolosuhteet, liikennekäyttäytyminen ja esimerkiksi sää- ja keliolosuhteet ovat vaihtelevat. Eri tutkimuksissa tulokseksi saadaan hyvin erilaisia muuttujia kuten matka-aikojen, välityskyvyn tai jonoutumisen muutoksia, vaikka tutkittava asia sinällään olisikin sama. Tämä hankaloittaa entisestään tutkimusten vertailua keskenään. Työssä esitellyt tutkimukset keinojen vaikutuksista eivät olekaan täysin vertailukelpoisia keskenään, vaan niissä on huomioitava esimerkiksi missä maassa ja minikälaisellä väylällä tutkimus on toteutettu.

Tutkimuksissa saatujen keinojen vaikutusarvioiden pohjalta ei voida suoraan arvioida kyseisen keinoon vaikuttavuutta Suomessa. Suomen olosuhteet ja liikennekäyttäytyminen on erilaista verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan, ja myös vaikuttavuus on erilaista. Parhaiten voidaan hyödyntää tutkimuksia, jotka on tehty melko samankokoisessa ja -tapaisessa maassa kuin Suomi. Tällaisia maita ovat erityisesti Ruotsi ja muut Pohjoismaat sekä osittain Uusi-Seelanti. Pohdittaessa eri keinojen soveltuvuutta Suomeen tulisi tutkimusten liikenteelliset olosuhteet selvittää tarkasti. On myös huomioitava, että eri keinot vaikuttavat eri tavalla esimerkiksi taajamissa ja pääväylillä.

Piilokysyntä

Välityskyvyn lisääminen voi aiheuttaa niin kutsutun piilokysynnän syntymistä liikenneverkolle. Vapautunut välityskyky siis täyttyy uudestaan piilokysynnän ja uuden kysynnän vuoksi. Tätä kutsutaan myös Mohring efektiksi. Kun tarjonta lisääntyy eli ruuhkat vähenevät, myös liikenteen kysyntä kasvaa. (Mohring)

5.2 Kysyntää ja välityskykyä jakavat keinot

5.2.1 Yleistä

Liikenteen kysyntä ei jakaudu tasaisesti ajallisesti, alueittain tai edes yksittäisillä väylillä. Suomessa vain pienellä osalla väylistä välityskyky ei riitä kysynnän tarpeisiin ja ongelmat ajoittuvat pääsääntöisesti ruuhka-aikoihin. Epätasaisen kysynnän vuoksi voidaan liikenneverkkojen välityskykyä käyttää tehokkaammin ohjaamalla ajoneuvot tasaisemmin eri väylille sekä hyödyntämällä liikkumisessa kaikki vuorokauden tunnit. Kysyntää voidaan jakaa myös eri kulkumuotojen kesken, mitä ei käsitellä tarkemmin tässä työssä. Vaihtoehtoisesti voidaan välityskyvyn tarjontaa ohjata sinne, missä kysyntää on kulloinkin.

Kysynnän jakautuminen tasaisemmin liikenneverkolle ei ole täysin ongelmatonta. Liikenteen haitat kuten melu- ja pakokaasupäästöt saattavat lisääntyä pienemmillä väylillä ja alueilla, joilla liikenne ei ole toivottua. Välityskyvyn jakaminen uudella tavalla saattaa taas aiheuttaa osalle liikenteestä pidempiä viivytyksiä kuin aikaisemmin.

Tässä luvussa on esitelty osa niistä älyliikenteen keinoista, joiden avulla voidaan jakaa kysyntää ja välityskykyä tasaisemmin ja tarkoituksenmukaisemmin. Työssä tarkastellaan kysyntää jakavista keinoista reittiopastusta ja liikennetiedotusta sekä pysäköinnin ohjausta. Välityskykyä jakavia keinoja ovat liikennevalot ja kaistaopastus. Kaistaopastukseen kuuluu esimerkiksi vaihtuvasuuntaiset kaistat sekä leveän pientareen käyttö.

5.2.2 Reittiopastus ja liikennetiedotus

Vaihtuva reittiopastus ja liikennetiedotus ovat tehokkaita keinoja jakaa kysyntää tasaisemmin liikenneverkolle ja käyttää hyväksi koko liikenneverkon välityskyky. Reittiopastus ja liikennetiedotus tarvitsevat laadukasta reaaliaikaista liikennetietoa toimiakseen. Reaaliaikaista liikennetietoa on käsitelty enemmän luvussa 3.3.

Liikennetiedotuksen avulla yritetään vaikuttaa tienkäyttäjien liikennekäyttäytymiseen ja kulkumuodon, reitin ja matka-ajankohdan valintaan. Liikennekäyttäytymiseen voidaan vaikuttaa keli- ja häiriötiedotuksen avulla. Tällöin pyritään ensisijaisesti nostamaan kuljettajan valmiustasoa ja laskemaan nopeuksia. Reitin sekä matkan ajankohdan valintaan voidaan vaikuttaa tiedottamalla liikenteen häiriöistä. (Rämä et al 2003)

Liikennetiedotuksen ohella tienkäyttäjien reittivalintoihin voidaan vaikuttaa reittiopastuksella. Liikenteen vaihtuvan reittiopastuksen avulla kuljettajia ohjataan valitsemaan kuhunkin liikenne ja sääolosuhteisiin parhaiten sopiva reitti. Vaihtuva reittiopastusjärjestelmä voidaan toteuttaa tien varsiin asennettujen vaihtuvien opastetaulujen tai ajoneuvotekniikan avulla kuten navigaattoreilla tai älypuhelimilla. Olemassa on reittiopastusjärjestelmiä, jotka osaavat ennustaa reaaliaikaisen liikennetiedon avulla väylän kuormituksen ja ohjata osan ajoneuvoista käyttämään toista reittiä silloin, kun välitys-

kyky on ylittymässä. Jakamalla kysyntää ennakoivasti eri reiteille ja ajankohtiin, voidaan ruuhkia välttää tehokkaasti.

Liikennetiedotuksen ja reittiopastuksen vaikuttavuudesta on vain vähän tutkimuksia, joiden tulokset olisivat luotettavia. Useimmissa tutkimuksissa muiden tekijöiden vaikutusta reitin vaihtamiseen ei ole pystytty sulkemaan pois tutkimusten lopputuloksista. Eri maissa tehtyjen kyselytutkimusten mukaan reittiä vaihtaisi 10–60 % vastaajista. (Highways agency 2008c, Manelius 2010) Todellisuudessa liikennetiedotuksen johdosta reittiä vaihtoi tutkimuksesta riippuen 3-20 % (Chatterjee ja McDonald 2004, Highways agency 2008c, Sermpis et al 2007). Yhdysvalloissa ovat liikennetiedotuksen avulla viivytykset vähentyneet 13–23 prosenttia (New York State Department of Transportation 2005).

Liikennetiedotuksen ja reittiopastuksen ongelmana on, etteivät kuljettajat käytä tarjottua tietoa kattavasti hyväksi, eikä annettuja ohjeita noudateta. Kilpeläisen ja Summalan (2002) tekemän tutkimuksen mukaan kelitiedotus vaikuttaa matkapäättöksiin vain 5,7 prosentilla kuljettajista ja ajotavat muuttuvat vasta, kun omat havainnot kelistä osoittavat kelin olevan huono. Alankomaissa tehdyssä tutkimuksissa tienvarsitiedotukseen reagoi 8-10 % kuljettajista (Middelham 2006).

Reitin vaihtamiseen vaikuttavat useat tekijät. Tuntemattomalle reitille siirtymisen on todettu olevan sitä suurempaa mitä ruuhkautuneempi liikenneverkko on. Pitkät viivytykset lisäävät halukkuutta vaihtaa reittiä. Epäily vaihtoehdoisen reitin nopeudesta on myös yksi syy olla vaihtamatta vaihtoehdoiselle reitille Onnettomuuksista ja tietöistä tiedottaminen saa autoilijat kaikkein helpoimmin vaihtamaan reittiä. On myös huomattu, että mitä tarkempaa tieto esimerkiksi häiriöistä on, sitä helpommin autoilijat vaihtavat reittiä. (Chatterjee et al 2002, Manelius 2010).

Suomessa on käytössä erilaisia liikenteen tiedotuspalveluita. Liikennetietoa välitetään reaaliaikaisesti tällä hetkellä ainakin säästä, kelistä, liikennetilanteesta, tietöistä, liikenteen häiriöistä sekä vaihtoehdoisista kulkutavoista. Liikennesäästä, häiriöistä ja matkaajoista kerätään automaattisesti tietoa pääteiltä. Tietoja julkaistaan esimerkiksi internetissä, ja ne on mahdollista saada yksityisten palveluntuottajien kautta myös puhelimeen tai navigaattoriin. Muiden teiden häiriötiedot kerätään ilmoitusten perusteella. Käytössä on myös matka-aikatiedotusta vaihtuvien opastein esimerkiksi Kehä III:lla sekä reitinohjaus- ja informaatiojärjestelmä Tampereen seudulla. Nämä palvelut ovat kuitenkin marginaalisia ja käytössä vain yksittäisissä kohteissa lähinnä kokeiluluontoisesti. (Raunio 2010, Liikenne- ja viestintäministeriö 2010a)

Suomessa tulisi hyödyntää tehokkaammin liikennetiedotusta ja reittiopastusta, jolloin niiden käyttökin voisi yleistyä. Liikenteen häiriötiedotteiden tulisi olla saatavilla internetistä helposti ymmärrettävässä muodossa. Samalla internetsivulla autoilijalle pitäisi tarjota vaihtoehdoista reittiä ja kulkuvälinettä, jolla kyseisen häiriöalueen voisi kiertää. Autoilijalle voitaisiin myös ehdottaa myöhempää ajankohtaa, jolloin häiriö tai ruuhka olisi jo ohitse.

Tulevina vuosina liikenteen tiedotuksen ja reittiopastuksen määrä tulee kasvamaan. Reaaliaikaisen tiedotuksen avulla pyritään yhä laajemmin vähentämään häiriöiden vaikutuksia. Tiedotus siirtyy tienvarsilta, radiosta ja internetistä yhä enemmän jokaisen henkilökohtaiseen älypuhelimeen tai navigaattoriin. Liikenteen tiedotus ja reittiopastus muuttuukin yhä henkilökohtaisemmaksi. Mahdollisuuksien mukaan käyttäjä voisi itse vaikuttaa siihen, minkälaista tietoa hän liikenteestä saa, ja tiedotteet voitaisiin kohdentaa

tarkemmin esimerkiksi vain häiriöalueella liikkuvilla. Kehittyvän tekniikan avulla voidaan myös reittiopastuksessa tarkemmin huomioida alueet, joille kysynnän ei haluta siirtyvän.

Ajoneuvoteknologian ja kooperatiivisten järjestelmien kehittyminen mahdollistaa tulevaisuudessa tiedotuksen ja reittiopastuksen hyödyntämisen yksittäisen ajoneuvon ohjauksessa. Ruuhkautumassa olevalla väylällä voitaisiin esimerkiksi joka kolmannelle ajoneuvolle antaa ohjeet vaihtaa seuraavasta liittymästä rinnakkaiselle väylälle, kun muut ajoneuvot saisivat ohjeet jatkaa samalla väylällä. Kun kolmannes ajoneuvoista siirtyisi käyttämään vaihtoehtoista reittiä, ei ruuhkaa ehtisi syntyä. Näin voitaisiin hyödyntää tehokkaasti koko alueella tarjolla oleva välityskyky. (Kulmala 2010a)

Reittien optimointi ja varaaminen

Liikenteen kysyntä kasvaa merkittävästi myös tulevaisuudessa. Jos halutaan säilyttää edes kohtuullinen liikenteen välityskyky, joudutaan kysyntää jakamaan nykyistä selvästi tehokkaammin. Yhtenä keinoja voisi olla reitinvarausjärjestelmä, joka on jo käytössä lentoliikenteessä. Ajoneuvon kuljettajan tulisi varata etukäteen liikenteestä tila eli "slotti" sekä ajamiseen että pysäköintiin. Ajoneuvo tarkastaisi ennen lähtöä, että sillä on lupa siirtyä liikenneverkkoon. Jos slottia ei ole saatavilla, järjestelmä ehdottaisi automaattisesti muita vaihtoehtoisia liikkumismuotoja tai vaihtoehtoista lähtöaikaa. Slottijärjestelmä olisi siis eräänlainen autoilun matkalippu. (Kosonen 2010)

Slotin varaamisen lisäksi järjestelmään voitaisiin integroida dynaaminen reittiopastus. Slotin varaamisen yhteydessä järjestelmä varaisi myös alustavan matkareitin. Järjestelmä voisi optimoida reittiä matkan kuluessa, jos reitille sattuu esimerkiksi häiriöitä. Reitinopastuksen ja varaamisen ansiosta järjestelmä pystyisi takaamaan liikkujalle tietyn matka-ajan määränpäähän, koska koko liikennejärjestelmässä olevien ajoneuvojen määrä ja matkojen määränpää on tiedossa. Tällainen koko liikennejärjestelmän optimoinnin toteutuminen vaatisi, että yksilöllisestä reittioptimoinnista ja slottijärjestelmästä pitäisi tulla kaikille velvoittavaa. Kun koko liikennejärjestelmää optimoitaisiin samanaikaisesti, voitaisiin välityskyky hyödyntää optimaalisesti. Ongelmaksi voi muodostua se, että kokonaisen liikennejärjestelmän reaaliaikainen optimointi voi olla vielä liian monimutkaista ja hidasta nykypäivän tekniikalla. (Kosonen 2010)

Reitinvaraamisjärjestelmän avulla voidaan tehokkaasti hallita koko liikennejärjestelmää. Kysyntää rajoittamalla ja reittien optimaalisella ja kattavalla käytöllä voidaan ruuhkat poistaa kokonaan. Ongelmana on kuitenkin hyväksyttävyys. Reitinvaraamisjärjestelmä tarkoittaa sitä, että kuljettajalla ei enää ole oikeutta määrätä itse reitistä ja kuljettaja tarvitsisi jopa lähtöluvan. Kuljettajien voi olla vaikea luopua oikeudestaan määrätä itse siitä, koska saa käyttää autoa tai mitä reittiä saa ajaa määränpäähän. (Kosonen 2010)

5.2.3 Pysäköinnin ohjaus

Pysäköinnillä on merkittävä rooli kaupunkien liikenteessä. Arvioidaan, että 10–40 prosenttia kaupunkien liikenteestä aiheutuu parkkipaikkaa etsivistä ajoneuvoista. Toimivalla pysäköinnin ohjauksella voidaan vähentää turhaa liikennettä kaupungeissa ja ohjata liikennettä tasaisemmin kaikille väylille. Pysäköinnin ohjauksen avulla voidaan myös vähentää pysäköintilaitosten jonoja ja käyttää pysäköintipaikkoja tehokkaammin. Li-

tyntäpysäköinnillä ja sen ohjauksella voidaan tehdä joukkoliikenteestä houkuttelevampi vaihtoehto keskustoihin matkustettaessa. (Vägverket 2009b)

Dynaamisen pysäköinnin ohjauksen perustana on reaaliaikainen tieto vapaista pysäköintipaikoista. Tämä tieto välitetään ajoneuvon kuljettajille joko vaihtuvilla opasteilla esimerkiksi kaupunkien sisään tuloväylillä tai suoraan navigaattoriin. Pysäköintitiedon lisäksi kuljettaja voidaan samalla ohjata käyttämään parasta mahdollista reittiä, jolloin esimerkiksi pullonkaulakohtien liikennettä voidaan ohjata vaihtoehtoiselle reitille. (Vägverket 2009b)

Suomessa pysäköinninohjausjärjestelmiä on käytössä useissa isoissa ja keskikokoisissa kaupungeissa kuten Helsingissä, Jyväskylässä, Oulussa ja Tampereella. Pysäköinnin ohjaus on rajoittunut pysäköintilaitosten paikkatietojen informoimiseen, eikä tietoa vapaista paikoista ole tarjolla esimerkiksi internetissä vaan ainoastaan kadunvarsilla. (Oulun kaupunki 2007)

Jatkossa pysäköinnin ohjaukseen olisi hyvä saada mukaan kadunvarsipysäköinti. Vapaisten kadunvarsipaikkojen etsiminen aiheuttaa keskustoissa lisää liikennettä. Ongelmana on kuitenkin vielä tekniikan kehittymättömyys. Tietojen kerääminen siitä, onko paikka vapaa vai ei, on ollut vaikea toteuttaa. Paikkojen havainnointiin on kokeiltu esimerkiksi kameroita, jotka ovat kuitenkin raskaita toteuttaa laajoille alueille. Tulevaisuudessa järjestelmä voitaisiin toteuttaa myös esimerkiksi satelliittipaikannuksen ja autoissa olevien navigaattoreiden avulla. Kun kaikissa ajoneuvoissa olisi jokin navigaattorin tapainen laite ja pysäköintipaikat olisivat ohjausjärjestelmän tiedossa, voisi järjestelmä seurata paikkojen tilaa. Tällä tavoin saataisiin kaikista pysäköintipaikkojen varausasteista reaaliaikaista tietoa.

Tulevaisuudessa pysäköinnin ohjausta voitaisiin laajentaa kattamaan pysäköintipaikan varaaminen etukäteen. Navigaattori voisi varata pysäköintipaikan määränpäästä automaattisesti koko kaupungin kattavan pysäköintipalvelun avulla. Määränpäässä ei tarvitsisi enää etsiä vapaata paikkaa, ja turha pysäköintipaikkaa etsivä liikenne vähenisi.

Pysäköinnin ohjausta voidaan hyödyntää myös liityntäpysäköinnissä. Kertomalla ajoneuvonkuljettajille vapaana olevien liityntäpysäköintipaikkojen määrän, voidaan heitä ohjata vaihtamaan kulkumuotoa esimerkiksi junaan ennen keskustaan saapumista. Samalla voidaan myös näyttää keskustan pysäköintipaikkojen tilanne, jolloin paikkojen ollessa täynnä, voi autoilija valita liityntäpysäköinnin. (Vägverket 2009b)

5.2.4 Kaistaohjaus

Kaistaohjausta käytetään monikaistaisilla teillä laajasti ympäri maailman. Kaistaohjauksella voidaan häiriön sattuessa sulkea yksi tai useampia kaista tien yläpuolella olevilla vaihtuvilla kaistaopasteilla. Kaistaopasteet kertovat liikkujille kaistan olevan suljettu riittävän ajoissa, jotta ajoneuvot ehtivät sujuvasti siirtyä vapaana oleville kaistoille, eikä päättyvän kaistan loppu näin ruuhkaudu. Ennakointi kaistanvaihdossa lisää myös liikenteen turvallisuutta.

Kaistaopasteiden avulla kaistoja voidaan sulkea työntekijän tarvitsematta laittaa kaistalle sulkumerkkejä. Kaistaopasteita käytetään usein yhdessä muiden vaihtuvien opasteiden ja vaihtuvien nopeusrajoitusten kanssa. (Vägverket 2009b) Seuraavaksi on esitelty leveään pientareen käyttöä sekä vaihtuvasuuntaiset kaistat. Kummassakin keinoissa hyödynnetään kaistaopastusta.

Leveän pientareen käyttö

Väylän välityskykyä voidaan parantaa käyttämällä pientareita lisäkaistoina ruuhka-aikoina. Välityskyky kasvaa lähes samassa suhteessa kaistojen lukumäärän mukaan eikä suuria lisäinvestointeja tieverkolla tarvita. Useimmiten pientareita ei ole kuitenkaan tarkoitettu ajokäyttöön, jonka vuoksi pientareiden käyttöä täytyy rajoittaa vain ruuhka-aikoihin. (Highways agency 2010)

Leveiden pientareiden käyttöä hallitaan kaistaopasteiden avulla. Kaistan yläpuolella olevat opasteet kertovat, onko piennar käytössä vai ei. Vaihtuvien opasteiden avulla pientareita voidaan myös helposti sulkea ja avata liikenteen tarpeen mukaan. Usein kaistaopasteiden lisäksi käytössä on liikenteen tiedotukseen tarkoitettuja vaihtuvia opasteita, vaihtuvia nopeusrajoituksia sekä häiriön ja ruuhkan havaitsemisjärjestelmä, jonka tietojen avulla kaistoja hallitaan. (Vägverket 2009b)

Useissa Euroopan maissa on tutkittu leveän pientareen käytön vaikutuksia. Ranskassa tehdyn tutkimuksen mukaan pientareen käyttö paransi selvästi väylän välityskykyä 7-16 % (Cohen 2004). Alankomaissa tehdyssä tutkimuksessa leveän pientareen käyttö paransi moottoritien välityskykyä 7-22 prosenttia ja vähensi matka-aikoja 1-3 min/km. Ongelmana on pientareen rakenteen väsyminen liikennekuorman takia, jolloin pientare voidaan joutua uusimaan tavallista aikaisemmin. (Oberberger 2007)

Leveiden pientareiden käyttö soveltuu erityisesti moottoriteille tai muille vilkasliikenteisille isoille väylille sekä joillekin kaupunkien pääväylille. Väylän välityskyvyn tulisi olla ruuhka-aikoina selvästi alentunut, jotta pientareen käytölle on tarvetta. Suuri hyöty lisäkaistasta saavutetaan liittymien jälkeisellä sekoittumisalueella. Piennar voidaan jättää myös hätäajoneuvojen käyttöön tai häiriön takia pysähtyneen ajoneuvon väliaikaiseksi pysäköintitilaksi. (Vägverket 2009b)

Suomessa piennarta on käytetty joukkoliikennekaistana Länsiväylällä 1980-luvulla aamuruuhkan aikaan. Kokemukset joukkoliikennepientareesta olivat hyviä. (Jokela ja Lehtomaa 2009) Kaikkien ajoneuvojen käytössä ei pientareita ole kokeiltu.

Leveän pientareen käyttöä voisi Suomessa kokeilla laajemminkin, jos sopivia väyliä kokeilulle löytyisi. Tarpeeksi leveitä pientareita on vain harvoilla väylillä, joten kohteiden löytäminen on haasteellista. Sopivia kohteita voisi löytyä, jos viereisiä kaistoja samalla kavennettaisiin ja tila otettaisiin lisäkaistan käyttöön. Leveät pientareet vaativat vähintään nelikaistaisen tien, mutta Suomessa on vain muutamia vähintään nelikaistaisia erittäin ruuhkautuneita väyliä. Pääkaupunkiseudun kehäteille leveät pientareet voisivat soveltua, vaikka lyhyet liittymävälit tuovat tällöin oman haasteensa suunnitteluun. Kaiken kaikkiaan sopivien kohteiden löytäminen Suomesta on hyvin vaikeaa. Suomessa pientareita ei ole mitoitettu kestävänsä säännöllistä liikennettä, mikä myös rajoittaa niiden käyttöä.

Vaihtuvasuuntaiset kaistat

Monilla tieosuuksilla liikennemäärät ovat selkeästi suurempia ruuhkasuuntaan kuin ruuhkasuuntaa vastaan. Aamu- ja iltapäiväruuhkan ruuhkasuunnat ovat myös yleensä vastakkaiset. Tämän vuoksi koko tien välityskyky on käytössä vain osittain, kun vain kulloisenkin ruuhkasuunnan kaistoilla liikennemäärät lähentelevät maksimia.

Vaihtuvasuuntaiset kaistat ovat yksi mahdollisuus lisätä välityskykyä ruuhkasuunnalle lisäämättä ylikapasiteettia ruuhkasuuntaa vastaan. Vaihtuvasuuntainen kaista palvelee liikennettä aina siihen suuntaan, johon kulloinkin on tarvetta. Järjestelmä optimoi liikenteen kulkua sopeuttamalla kaistojen määrän ja suunnan liikennemäärän mukaiseksi. (Jokela ja Lehtomaa 2009)

Yleensä vaihtuvasuuntaiset kaistat toteutetaan fyysisin estein. Tällöin suuntien välinen puomi vaihdetaan koneellisesti kaistan toiselle puolelle kaksi kertaa vuorokaudessa. Vaihtuvasuuntainen kaista voidaan toteuttaa myös vaihtuvin kaistaopastein, jolloin fyysisiä esteitä ei tarvita. Liikenteen muutoksiin voidaan tällöin vastata melko nopeasti ja kaistoja voidaan hyödyntää esimerkiksi yleisötilaisuuksien jälkeen. Vaihtuvia opasteita käytettäessä tarvitaan alueelta reaaliaikaista liikennetietoa. Alueen liikennetietoa kerätään silmukoiden, kameroiden ja ajoneuvojen kautta ja lähetetään liikennekeskukseen käsiteltäväksi. Reaaliaikaisen liikennetiedon ja vanhojen toteutumien perusteella hallitaan vaihtuvasuuntaisia kaistoja. Aluetta on myös voitava valvoa kameroilla, jotta kaistan suunnan vaihtaminen voidaan toteuttaa turvallisesti. (Wohlson ja Lambert 2004, 2006a, 2006b)

Vaihtuvasuuntaiset kaistat toimivat monikaistaisilla kaupunkiteillä tai moottoriteillä. Ne soveltuvat tieosuuksille, joissa liikennemäärä vaihtelee selvästi suunnittain ajankohdan mukaan, ja tieosuuksilla on tarvetta lisätä välityskykyä. Tieosuudella ei tulisi olla liittymiä, koska liittymien muokkaaminen vaihtuvasuuntaiseksi on vaikeaa, vaikkakin mahdollista. Kumpaakin suuntaan tulisi olla vaihtuvasuuntaisen kaistan lisäksi vähintään kaksi kaistaa, jotta välityskyky riittää myös ei-ruuhkasuuntaan. Vaihtuvasuuntaisen kaistojen nopeusrajoitus voi olla korkeintaan 60 km/h. (Kulmala et al 2008; Wohlson ja Lambert 2004, 2006a, 2006b, Jokela ja Lehtomaa 2009)

Vaihtuvasuuntaisista kaistoista on hyviä kokemuksia esimerkiksi Alankomaista, Ruotsista ja Yhdysvalloista. Matka-aikojen on tutkittu pienentyneen jopa 16–40 %, liikennemäärien on arvioitu kasvavan 3–7 % ja välityskyky on parantunut enintään 5 prosenttia. (Wohlson et Lambert 2006a, Minnesota Department of Transportation. 2001) Toisaalta Kulmala et al. (2008) huomasivat tutkimuksessaan vain hyvin pientä matka-ajan parantumista vaihtuvasuuntaisilla kaistoilla.

Sujuvampi liikenne pääväylällä tuo liikennettä pois huonoimmilta teiltä pääväylälle ja vähentää näin liikenteen haittoja muualla. Vaihtuvasuuntaisten kaistojen huonona puoleena on turvallisuuden heikentyminen. Kohtaamisonnettomuudet saattavat kasvaa, jos vaihtuvasuuntaista kaistaa ei ole toteutettu fyysisin estein. Suurin osa tielläliikkujista käyttää tietä kuitenkin päivittäin ja tottuu muutoksiin nopeasti. (Wohlson et Lambert 2006a) Vaihtuvasuuntainen kaista on myös kallis ratkaisu, koska kaistan lisäksi esimerkiksi portaaleja tarvitaan noin 200–300 metrin välein, ja ylläpidosta aiheutuu kustannuksia. (Jokela ja Lehtomaa 2009)

Vaihtuvasuuntaisten kaistojen turvallisuutta voidaan parantaa vaihtuvan ohjauksen avulla sekä vaihtuvilla nopeusrajoituksilla. Nopeutta voidaan tällöin laskea, kun kaistan suuntaan vaihdetaan. Tieto kaistan suunnan muuttumisesta voidaan lähettää myös lähialueella liikkuville kuljettajille navigaattorin avulla, ennen kuin he saapuvat tielle. Tulevaisuudessa kaistoista voitaisiin neuvoa suoraan ajoneuvoa, joka ei antaisi ajoneuvon siirtyä väärään suuntaan menevällä kaistalle. (Kulmala et al 2008)

Suomessa vaihtuvasuuntaisia kaistoja ei ole käytössä. Niiden käyttöönottoa rajoittavat suuret kustannukset suhteessa saavutettuihin hyötyihin. Myös sopivien kohteiden löy-

täminen on haastavaa, koska tieosuudella tulisi olla selvää tarvetta lisätä välityskykyä, mutta osuudella ei saisi olla liittymiä. Tällaisia jatkuvasti ruuhkautuvia tieosuuksia ei Suomesta juuri löydy.

5.2.5 Liikennevalot

Liikennevalot ovat maailman käytetyin älyliikenteen ratkaisu. Liikennevalo-ohjauksen tarkoituksena on parantaa liittymän turvallisuutta ja edistää sivusuuntien mahdollisuuksia liittyä liikennevirtaan. Liikennevalot kuitenkin lisäävät ajoneuvojen ja jalankulkijoiden viivytyksiä liikennemäärien ollessa pieniä. Myös liittymän välityskyky laskee jonkin verran suoja-aikojen ja pitkien jalankulkijavihreiden vuoksi. Toisaalta liikennevalojen uudelleen optimoinnilla ja älykkäillä liikennevaloilla voidaan liikenteen välityskykyä parantaa merkittävästi joissakin kohteissa pääsuunnan välityskykyä parantamalla. (Tiehallinto 2005b)

Liikennevalo-ohjelmat voivat olla erillisohjattuja, yhteenkytkettyjä tai liikenteeseen sopeutuvia yhteenkytkettyjä tai alueellisia ohjelmia. Erillisohjaus tarkoittaa liittymän liikennevalojen itsenäistä toimintaa, joka ei ole riippuvainen muiden liikennevalojen toiminnasta. Yhteenkytkentä tarkoittaa kahden tai useamman lähekkäisen liittymän ohjaukskoneen toiminnan synkronointia keskenään. Yhteenkytkentä mahdollistaa väylän yhtenäisen valo-ohjauksen siten, että liikenne voi tietyllä nopeudella liittymien läpi mahdollisimman vähin pysähdyksin. (Tiehallinto 2005b)

Varsinaisesti älykkäitä liikennevaloja ovat liikennetilanteeseen sopeutuvat ohjausjärjestelmät. Reaaliaikaisen liikennetiedon ja aikaisemman liikennetiedon avulla liikennevalojen toiminta optimoidaan niin, että se vähentää liikennevalojen aiheuttamia viivytyksiä ja ruuhkia. Älykkäiden valojen toiminta vaihtelee koko ajan vallitsevan liikenteen mukaan. Liikennevalojärjestelmä myös pyrkii ennustamaan liikenteen kysynnän aikaisemman liikennetiedon avulla ja optimoimaan vihreiden pituudet ennustetun kysynnän mukaan. Liikennevalojärjestelmät voivat olla myös itseoppivia järjestelmiä. Itseoppivat järjestelmät tarkastelevat ratkaisuilla saatuja aikaisempia viivytyksiä, ja tämän perusteella yrittävät parantaa toimintaa tehokkaammaksi.

Nykyään liikennevalojärjestelmiin pyritään yhdistämään mahdollisimman suuri osa alueen liikennevaloista, jolloin voidaan optimoida koko alueen liikennevalot ja saavuttaa paras mahdollinen hyöty. Tunnettuja alueellisia optimoivia liikennevalo-ohjelmia ovat esimerkiksi SCOOT (The Split, Cycle, Offset, Optimization Technique) ja SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System).

Liikennevalojen vaikutuksia matka-aikaan, ruuhkaan ja viivytyksiin on tutkittu runsaasti eri puolilla maailmaa. Missourissa älykkäiden liikennevalojen avulla matka-ajat lyhenivät 0-39 % ja ruuhkat vähenivät jopa 90 %. (Hutton et al. 2010.) Tokiossa, Japanissa liikennevalo-ohjausta parannettiin huomioimalla optimoinnissa kahden edellisen kieroksen data. Liikennevalojen toimintaa optimoimalla ruuhka vähentyi 21,8 prosenttia ja matka-aika lyheni lähes 20 prosenttia. Myös keskinopeudet kasvoivat 10 prosenttia. (Masuda et al. 2005)

Miyazakissa, Japanissa käytössä on hieman erilainen liikennevalojen ohjaustapa. Tämä liikennevalojärjestelmä ennustaa ajoneuvon saapumisajankohdan analysoimalla liikennetietoa eri liittymistä. Tämän perusteella arvioidaan liikenteen kysyntä kussakin liittymässä ja optimoidaan liikennevalot kysynnän perusteella. Älykäs liikennevalojärjestelmä lyhensi matka-aikaa keskimäärin 20–30 prosenttia. (Miyagi 2008)

Viivytyksiä voidaan vähentää myös optimoimalla vanhojen liikennevaloliittymien ohjelmia. Ruotsalaisen simulointitutkimuksen mukaan yhteenkytkettyjen liikennevalojen ohjausta hienosäätämällä voidaan viivytyksiä vähentää jopa 19 %. (Kronborg 2008) Välityskykyä voidaan parantaa myös yksinkertaisesti sovittamalla nopeusrajoitus niin, että vihreä aalto toteutuu parhaiten. Esimerkiksi nopeusrajoituksen laskeminen 60 km/h:ssa 50 km/h:ssa voi parantaa vihreän aallon toteutumista, ja koko tiejakson välityskyvyä tehostuu. Vanhojen liikennevalojen optimointi on usein halpa ratkaisu parantaa kaupunkien liikenteen sujuvuutta, lyhentää joukkoliikenteen matka-aikoja ja vähentää päästöjä.

Suomessa ei ole tällä hetkellä käytössä yhtään alueellista älykästä liikennevalojärjestelmää. Tampereella on kokeiltu alueellista SCATS-järjestelmää. Maailmalla älykkäitä liikennevaloja on käytössä runsaasti. Esimerkiksi Yhdysvalloissa oli käytössä älykkäät liikennevalot yli 30 kaupungissa vuonna 2007.

Suomessa kaupunkiseuduilla kannattaisi rohkeammin ottaa käyttöön älykkäitä liikennevalojärjestelmiä. Aluksi älykkäitä liikennevaloja voitaisiin kokeilla jollakin pienemmällä kaupunkiseudulla, ja kokemuksia hyödyntää isojen seutujen liikennevalojen uusimisessa. Kaikilla kaupunkiseuduilla kannattaisi myös tarkistaa olemassa olevien liikennevalojen ohjelmoinnit. Usein ohjelmoinnit eivät enää vastaa nykypäivän liikennemääriä. Liikennevalot tulisi ohjelmoida uudestaan myös aina, kun liikennevaloliittymään tai liittymän lähellä tehdään muutoksia, jotka vaikuttavat liikenteeseen.

Tulevaisuudessa liikennevaloissa voidaan hyödyntää ajoneuvojen, infrastruktuurin ja liikenteen ohjauksen keskinäistä kommunikointia. Liikenteen ohjausjärjestelmä voisi esimerkiksi koota liikkuvat ajoneuvot tiiviiksi paketeiksi, ja pakettien kulkeminen pyritäisiin optimoimaan mahdollisimman sujuvaksi. Liikennevalot säätelisivät vihreää valoa pakettien saapumisen ja paketissa olevien ajoneuvojen määrän mukaan. Järjestelmä säätelisi risteävien suuntien ajoneuvopakettien saapumista nopeuksien avulla siten, että paketit saapuisivat liittymään eriaikaisesti joutumatta lainkaan pysähtymään. Tällä tavoin välttäisi liikenteen pysähtymisen aiheuttamista turhista viiveistä. Ohjauksessa ei tarvittaisi välttämättä joukkoliikenne-etuuksia, koska ohjauksessa voitaisiin priorisoida ajoneuvopaketteja henkilötiheys per kaistakilometrin mukaan. (Kosonen 2010)

5.3 Nopeutta säätelevät ja liikennevirtaa homogenisoivat keinot

Tieliikenteen välityskykyä voidaan parantaa liikenteen nopeutta säätelemällä ja nopeuseroja tasaamalla sekä liikennevirtaa homogenisoimalla. Kuten luvussa 2.2. todettiin, ensisijaisen tärkeää on ylläpitää sopiva välityskyky, joka on riittävä liikenteen tarpeisiin, mutta ei ole liian herkkä ruuhkautumisella. Tällä tavoin voidaan parantaa tien välityskykyä ja välttää ruuhkia. Kun vältetään välityskyvyn romahtaminen, säilyy välityskyky kokonaisuudessaan parempana.

Välityskykyä voidaan muuttaa liikennevirran nopeutta säätelemällä. Liikennevirran nopeuden nostaminen parantaa välityskykyä tiettyyn rajaan asti, mutta kasvattaa häiriöherkkyyttä. Nopeuden laskeminen parantaa liikenteen turvallisuutta ja vähentää häiriöitä aiheuttavia onnettomuuksia. Nopeuden säätely myös useimmiten tasoittaa heterogeenista liikennevirtaa.

Liikennevirran homogenisointiin tähtäävät järjestelmät pyrkivät vähentämään ajoneuvojen nopeuksien hajontaa kaistalla sekä kaistojen välillä. Lisäksi järjestelmät pyrkivät vähentämään lyhyiden aikavälien määrää liikennevirrassa. Järjestelmän tavoitteena on myös ehkäistä tai myöhentää shokkiaallon syntymistä ja vähentää peräänajojen riskiä. Pää tavoitteena ei siis yleensä ole keskinopeuden alentaminen. (Albania 2010)

Sujuvampi pääväylän liikenne houkuttelee käyttäjiä pois huonommin liikenteen haittoja kestävilte teiltä. Ongelmana voi olla, että sujuvampi liikenneverkko aiheuttaa aikaisemmin mainitun piilokysynnän realisoitumista. Liikennevirran nopeuden kasvaminen heikentää myös liikenneturvallisuuuua.

Tässä luvussa esitellään älyliikenteen keinoja, joiden avulla liikennevirran nopeutta voidaan säädellä ja homogenisoida liikennevirtaa. Keinoiksi on valittu vaihtuvat nopeusrajoitukset, automaattinen nopeusvalvonta, ramppiohjaus ja ajoneuvoteknologian palvelut.

5.3.1 Vaihtuvat nopeusrajoitukset

Vaihtuvilla nopeusrajoituksilla tarkoitetaan yleensä tienvarsiin sijoitettuja sähköisiä nopeusrajoitustauluja, joissa nopeusrajoitusta voidaan vaihtaa tarpeen mukaan. Rajoituksen perusteena ovat säännöllisesti toistuvat paikalliset tekijät kuten koulu- ja työmatkat tai ajoittain vaikuttavat tekijät kuten sää, keli ja liikennetilanne. Vaihtuvia nopeusrajoituksia käytetään pääasiassa vilkasliikenteisillä pääväylillä sekä yksittäisiä tauluja esimerkiksi koulujen lähellä. (Tiehallinto 2009d)

Vaihtuvia nopeusrajoitusjärjestelmiä voidaan ohjata useilla eri tavoin. Ohjauksessa käytetään yleensä ajantasaista sää-, keli-, liikennemäärä- ja nopeustietoa tai vaihtoehtoisesti pelkästään sää- ja kelitietoa. Myös aikaisemman liikenteen vaihteluista kerätyn tiedon käyttö on mahdollista. Kehittyneimmät järjestelmät osaavat ennustaa liikenteen kehityksen aikaisemman tiedon avulla ja valita sopivan nopeusrajoituksen jo etukäteen, jolloin ruuhkautumista voidaan tehokkaimmin estää. (Tiehallinto 2009d)

Vaihtuvilla nopeusrajoituksilla voidaan parantaa liikenteen sujuvuutta ja vähentää välityskyongelmia. Vaihtuvien nopeusrajoitusten avulla voidaan ennaltaehkäistä liikenteen ruuhkautuminen ja shokkiaallon nopeusrajoituksia säätelämällä. Liikenteen ruuhkautuessa myös liikenteen välityskyky laskee. Vaihtuvia nopeusrajoituksia voidaan käyttää myös purkamaan shokkiaaltoja. Tällaisessa tapauksessa vaihtuvilla nopeusrajoituksia käytetään hidastamaan ruuhkautuneen pullonkaulaan alkuosan liikennevirtaa ja vähentämään näin liikenteen kysyntää. (Albania 2010)

Ruotsissa ja Iso-Britanniassa tehdyissä tutkimuksissa liikennetilanneohjatuilla vaihtuvilla nopeusrajoitusjärjestelmillä matka-ajat pienenevät 5-15 prosenttia liikennetilanteesta riippuen. Ylinopeutta ajavien osuus väheni jopa 5 %. Myös muissa maissa tehdyissä tutkimuksissa vaikutukset ovat olleet samansuuntaisia. Liikennetilanneohjatut järjestelmät ovat parantaneet sujuvuutta enemmän kuin kelitilanneohjatut vaihtuvat nopeusrajoitukset. (Vägverket 2008b, Higways Agency 2007a)

Vaihtuvilla nopeusrajoituksilla saavutetaan myös turvallisuushyötyjä, kun nopeusrajoituksia voidaan laskea sää-, keli- ja liikennetilanteen mukaan. Schirokoff et al (2005) tekemän tutkimuksen mukaan vaihtuvat nopeusrajoitusjärjestelmät näyttävät vähentävän henkilövahinkoja 10 %, vaikka järjestelmällä saavutetaan myös selviä aikahyötyjä. Samassa tutkimuksessa huomattiin, että vaihtuvien nopeusrajoitusten vaikutus keskinopeuteen oli samaa suuruusluokkaa kuin kiinteiden rajoitusten vaikutukset. Vaihtuvien

nopeusrajoitusten hyöty syntyy niiden helposta muutettavuudesta. Vaihtuvilla opasteilla sää-, keli- ja liikennetilanteiden muutoksiin voidaan reagoida reaaliaikaisesti, eikä vain muutaman kerran vuodessa kuten kiinteillä opasteilla.

Vaihtuvien nopeusrajoitusten toimivuutta voidaan parantaa yhdistämällä vaihtuviin nopeusrajoituksiin tiedotus- ja varoitusopasteita. Tiedotus- ja varoitusopasteiden avulla tienkäyttäjille voidaan esittää alennetun nopeusrajoituksen perusteet sekä varoittaa heitä huonosta kelistä. Vaikutuksia voidaan tehostaa myös valvomalla nopeusrajoituksia automaattivalvonnan avulla. Valvontakameroiden ja vaihtuvien nopeusrajoitusten yhteistoiminnan ideana on muuttaa valvontakameran raja-arvoa vaihtuvan nopeusrajoituksen muutosten mukaan. Yhteiskäytöllä saadaan suurempi vaikutus ajonopeuksiin kuin kummallakaan järjestelmällä yksin. Päällekkäisillä järjestelmillä voidaan saavuttaa huomattavia turvallisuushyötyjä etenkin niillä osilla, joilla vaihtuvien nopeusrajoitusten käyttö on perusteltua vaihtuvien sää-, keli- ja liikenneolosuhteiden vuoksi. (Schirokoff et al. 2005)

Suuret rakentamis- ja käyttökustannukset hidastavat vaihtuvien nopeusrajoitusten yleistyistä. Kustannukset vaihtelevat paljon esimerkiksi tiejakson luonteesta riippuen tai rakennetaanko vaihtuvat nopeusrajoitukset tien rakentamisen yhteydessä vai jo olemassa olevalle tiejaksolle. Myös laitteiden ylläpitokustannukset ovat olleet varsin korkeat, 10–30 % investointikustannuksista kun käyttöajaksi oletetaan kymmenen vuotta. Vaihtuvien nopeusrajoitusten ongelmana on myös laitteiden lyhyt kesto. Vaihtuvien opasteiden teknistaloudellinen käyttöikä on jonkin verran yli 10 vuotta. Tämän jälkeen vikatiheys alkaa tyypillisesti kasvaa ja opasteet kannattaa uusida. (Tiehallinto 2009d, Schirokoff et al. 2005)

Suomessa on tällä hetkellä käytössä vaihtuvia ohjausjärjestelmiä 420 kilometrillä. 350 kilometrillä ohjaukseen vaikuttaa sekä sää, keli että liikennetieto ja lopuissa käytetään järjestelmän ohjauksessa vain sää- ja kelitietoa. (Kulmala ja Schirokoff 2009). Nopeusrajoitukset ja järjestelmään mahdollisesti kuuluvat varoitusmerkit toimivat automaattisesti tai ehdottavasti, mutta tarvittaessa järjestelmiä voidaan ohjata myös käsin. Järjestelmiä valvotaan ja ohjataan tieliikennekeskuksista. (Schirokoff et al. 2005)

Schirokoff et al (2005) tekemän tutkimuksen mukaan vaihtuvia nopeusrajoitusjärjestelmiä kannattaisi rakentaa Suomessa lisää vilkasliikenteisille tieosuuksille. Käytettäviin rajoituksiin tulisi vaikuttaa sekä sää, keli että liikennetilanne. Ohjauksen tulisi perustua automaattiseen, tarkkaan ja luotettavaan seurantaan sekä olosuhteiden luokitteluun.

Vaihtuvat nopeusrajoitukset ovat toimiva nykypäivän keino parantaa liikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta ja tehostaa väylän välityskykyä. Suomessa vaihtuvia nopeusrajoituksia kannattaisi rakentaa lisää vilkasliikenteisille tieosuuksille, jossa niiden hyödyt ovat kustannuksia suuremmat. Vaihtuvia nopeusrajoituksia kannattaisi hyödyntää myös tietyömailla, jossa nopeusrajoitusta joudutaan laskemaan selvästi, jotta tietyömaalla työskentely olisi turvallista. Tällaisissa kohteissa työpäivän päättyessä voitaisiin nostaa nopeusrajoitusta vaihtuvilla nopeusrajoituksilla silloin, kun siitä ei ole muuta haittaa työmaalle. Tällä tavoin alennettuakin nopeusrajoitusta noudatettaisiin paremmin, kun alemman nopeusrajoituksen syy olisi heti nähtävissä.

Tulevaisuudessa tienvarsitelematiikka, vaihtuvat nopeusrajoitukset mukaan lukien, tulee siirtymään yhä enemmän ajoneuvoihin sisälle, esimerkiksi navigaattoreihin. Tienvarsiopeasteista luopuminen vaatii, että kaikista ajoneuvoista löytyy tarvittavat laitteet ja tekniikkaa on riittävän luotettavaa. Laitteiden yleistyminen kaikkiin ajoneuvoihin ei

kuitenkaan tapahdu hetkessä, jonka vuoksi tienvarsien vaihtuvia nopeusrajoitusjärjestelmiä on edelleen järkevää rakentaa ja ylläpitää, kunnes tarvittava ajoneuvotekniikka on yleistynyt riittävästi.

5.3.2 Automaattinen nopeusvalvonta

Automaattisella liikenteenvalvonnalla valvotaan nopeusrajoitusten, liikennevalojen ja bussikaistamerkintöjen noudattamista. Automaattinen nopeusvalvonta on näistä selvästi yleisintä, ja se voidaan toteuttaa joko kiinteällä tai liikkuvalla kameravalvonnalla. Automaattinen nopeusvalvonta voidaan yhdistää vaihtuviin nopeusrajoituksiin, ja sitä voidaan käyttää myös tietyömailla hillitsemässä nopeuksia.

Automaattinen nopeusvalvonta vähentää liikennesääntöjen rikkomista ja erityisen vaarallista liikennekäyttäytymistä. Nopeusvalvonnan tarkoitus on ensisijaisesti vähentää ylinopeudella ajamista lisäämällä kiinnijäämisen riskiä ylinopeusrikkomuksissa. Se myös vähentää nopeuksien hajontaa ja onnettomuuksien määrää. Onnettomuuksien määrän väheneminen vähentää ruuhkautumista ja parantaa tällä tavoin liikenteen välityskykyä. Toisaalta pistemäinen nopeusvalvonta saattaa aiheuttaa liikennevirtaan turhia jarrutuksia, kun ajoneuvot hidastavat juuri ennen valotolppaa.

Automaattivalvonnan vaikutuksia on tutkittu erilaisissa kohteissa ympäri maailman. Eniten valvonta vaikuttaa nopeusrajoitukset ylittävien ajoneuvojen osuuteen. Näiden osuus väheni 10–90 prosenttia tutkimuksesta riippuen. Pohjoismaiden ulkopuolella tehdyissä tutkimuksissa ylittävien osuus väheni useissa tutkimuksissa yli 60 prosenttia. Suomessa ja Ruotsissa vaikutukset jäivät alhaisemmaksi. Tuloksiin vaikuttaa paljon ylinopeuksien määrä tutkittavalla tiejaksolla ennen automaattivalvontaa. Ylinopeuksien määrän vähentyminen näkyy myös onnettomuuksien selvänä vähenemisenä. Euroopassa tehtyjen metatutkimuksien mukaan pistemäinen kameravalvonta vähentää onnettomuuksia 20–30 prosenttia. (Gains ym. 2004, Vägverket 2009, Erke ym. 2009, Libby ym. 2008)

Ylinopeuksien vähenemisen lisäksi automaattinen nopeusvalvonta laskee koko tiejakson keskinopeuksia. Keskimäärin nopeudet laskivat eri tutkimuksissa 0,5-15 prosenttia. Suomessa tehdyissä tutkimuksissa keskinopeudet laskivat noin 1-2 prosenttia. Kaikissa tutkimuksissa myös nopeuksien hajonta pieneni selvästi. (Gains ym. 2004, Vägverket 2009a, Erke ym. 2009, Libby ym. 2008)

Yleisimmin käytössä oleva nopeusvalvonta perustuu pistemäiseen kameravalvontaan. Se on käytössä noin 3000 kilometrillä tiestöä Suomessa. Automaattivalvonnan laitteistot kehittyvät kuitenkin koko ajan ja automaattinen nopeusvalvonta siirtyy pikku hiljaa pistemäisestä tienvarsivalvonnasta matka-aikavalvonnan suuntaan. Matka-aikavalvonta tarkoittaa matkanopeusvalvontaa. Käytännössä ajoneuvojen tiettyyn tieosuuteen käyttämä matka-aika lasketaan, ja jos matka-aika on edellyttänyt ylinopeuden ajamista, se rekisteröityy poliisin järjestelmiin. Matka-aikavalvonta on käytössä jo esimerkiksi Iso-Britanniassa ja Itävallassa. (Lähesmaa et al 2002) Suomessa matka-aikavalvontaa on kokeiltu vuonna 2010 valtatiellä 5.

Matka-aikavalvonnan etuna on pistekohtaiseen valvontaan verrattuna, että liikennettä voidaan rauhoittaa pidemmällä tiejaksoilla. Matka-aikavalvontaa on tutkittu useassa maassa, ja vaikutukset ovat olleet yllättävän suuria. Alankomaissa vanhimmilla matka-aikavalvontajaksoilla ylinopeutta ajavien määrä tippui 5-6 prosentista 0,4 prosenttiin. Iso-Britanniassa ylinopeutta ajavien osuus laski parhaimmillaan 30 prosenttia. Verrattu-

na pistemäiseen nopeusvalvontaan matka-aikavalvonta laskee tehokkaammin koko tienjakson nopeuksia ja vähentää onnettomuuksia. (Rajamäki 2008)

Automaattisen nopeudenvälvontän määrä lisääntyy jatkuvasti Suomen tieverkolla. Vaikka nopeusvalvontän ensisijainen tavoite on parantaa liikenneturvallisuutta nopeuksia laskemalla, parantaa se huomattavasti myös tieverkon välityskykyä. Öörnin (2004) tekemässä tutkimuksessa pistemäisen automaattisen nopeusvalvontän hyötykustannussuhteeksi saatiin 4,7–5,5, joka on erittäin hyvä. Automaattisen nopeusvalvontän hyödyt ovatkin niin suuret, että nopeusvalvontän käyttöä kannattaisi laajentaa Suomessa. Erityisestä automaattisesta nopeusvalvontästä on hyötyä yksikaistaisilla vilkasliikenteisillä maanteillä, jossa yksikin häiriö liikenteessä seisahduttaa koko muun liikenteen pitkäksi aikaa.

Tulevaisuudessa automaattivalvonta voi siirtyä tienvarsilta ajoneuvoihin. Jo olemassa oleva ajoneuvotekniikka mahdollistaa sen, että esimerkiksi navigaattori varoittaa nopeusrajoituksen ylityessä. On myös olemassa ajoneuvoteknologian sovellus, älykäs nopeudensäätely, joka estää ylinopeuden ajamisen. Älykästä nopeudensäätelyä on tarkasteltu myöhemmin luvussa 5.3.2. (Kulmala ja Schirokoff 2009)

5.3.3 Ramppiohjaus

Ramppiohjaus on yksi pääväylien liikenteen hallinnan keinoista. Sen avulla säännöstellään päävirtaan liittyvien ajoneuvojen määrää ja aikavälejä rampilla olevilla liikennevaloilla. Ilmaisimilla pääväylältä tunnistetaan sopivat välit rampilta tuleville ajoneuvoille, jotta ne eivät liittyessään häiritse pääväylän liikennevirtaa. Vaihtoehtoisesti ramppiohjaus on mahdollista toteuttaa myös aikaohjatuksi, jolloin ohjaus ei reagoi pääväylän liikennevirran muutoksiin. (Pitkänen et al. 2005).

Ramppiohjauksen tavoitteena on pitää pääväylän liikenne huipputuntien aikana lähellä välityskyvyn maksimiarvoa. Säännöstelemällä päävirtaan liittyvien ajoneuvojen määrää pääväylän liikennevirta tasaantuu, matka-ajat lyhenevät, liikenneturvallisuus paranee ja pakokaasupäästöt vähenevät. Haittapuolena on viivytysten kasvaminen rampeilla, vaikka kokonaisuudessaan liikenteen viivytykset vähenevät. (Pitkänen, Nevala, Laitinen, 2005). Ramppiohjaus saattaa aiheuttaa myös paikallisia ongelmia kuten rampille johtavan väylän ruuhkautumista tai liikenteen lisääntymistä pienemmillä väylillä. Ramppiohjauksen investointikustannukset ovat maltilliset. (Öörni 2005)

Ruuhka-ajan ylikysyntäpiikkiä voidaan mahdollisesti vähentää ramppiohjauksen avulla. Ramppien jonojen vuoksi kuljettajat muuttavat liikkeellelähtöaikojaan. Tällöin ruuhka-aika jakautuu pidemmälle aikavälille ja ruuhka-ajan huipputuntien liikennemäärät voivat vähentyä jopa 15 %. (Haj-Salem ym. 2001., Minnesota Department of Transportation. 2001)

Ramppiohjauksen vaikutusta matka-aikoihin ja välityskykyyn on tutkittu laajasti. Kaikissa tutkimuksissa ramppiohjaus pienensi matka-aikoja, tutkimuksesta riippuen keskimäärin 9-22 %, parhaimmillaan jopa 40 prosenttia. (Highways agency 2007b, 2008b, 2008d; Bielefeld et al. 2007, Minnesota Department of Transportation. 2001). Saksassa pääväylän välityskyvyn arvioitiin kasvaneen ramppiohjauksen avulla noin 5 prosenttia (Bielefeld et al 2007) ja Isossa-Britanniassa välityskyky parani jopa 15 prosenttia. (Marcuson 2009) Ramppiohjauksen hyöty-kustannussuhteeksi on saatu Öörnin (2004) tekemässä tutkimuksessa 4-27 eli ramppiohjaus on tutkituissa tilanteissa kannattava.

Vaikka ramppiohjauksella voidaan tehokkaasti parantaa pääväylän välityskykyä ja sujuvuutta, ovat sen käyttökohteet kuitenkin hyvin rajattuja. Ramppiohjaus soveltuu väylille, jossa alavirrassa kokonaisliikennemäärä on ruuhka-aikoina lähellä väylän välityskykyä. Päävirran liikennemäärän olisi hyvä olla huomattavasti rampin liikennemäärä suurempi, mutta rampin liikennemäärän tulisi olla tarpeeksi suuri, jotta ramppiohjauksesta on hyötyä.

Ramppiohjausta käytetään laajasti etenkin Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Yhdysvalloissa on käytössä nykyään jo yli 2200 ramppiohjausjärjestelmää. (Trupart ja Tepper 2004) Myös Euroopassa ramppiohjausta käytetään paljon etenkin Iso-Britanniassa, Saksassa ja Alankomaissa. Yksittäisiä järjestelmiä on myös esimerkiksi Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Belgiassa. (Jokela ja Lehtomaa 2009)

Laitinen et al (2005) ja Pitkänen et al (2005) tekemissä tutkimuksissa tarkasteltiin ramppiohjauksen soveltumista Suomeen. Tutkimuksissa tuli esille, että sopivia paikkoja ramppiohjaukselle on Suomesta vaikea löytää ramppiohjauksen melko tiukkojen vaatimusten takia. Ramppiohjausta on kuitenkin kokeiltu Suomessa Tampereen läntisen kehätien työmaalla vuonna 2005. Ramppiohjaus järjestettiin aikaohjatusti eli ramppiohjaus ei reagoinut pääväylän liikennevirran muutoksiin. Ramppiohjauksesta saatiin hyviä kokemuksia: päävirran kokonaisvälityskyky nousi huomattavasti ja pääsuunta toimi hyvin. Ongelmaksi muodostui sekundääritielle aiheutunut ruuhka, josta aiheutui viivytyksiä joukkoliikenteelle. (Jokela ja Lehtomaa 2009)

Ramppiohjausta kannattaisi kokeilla Suomessa, jos ramppiohjaukseen soveltuva paikka löydetään. Ulkomaiset tutkimukset osoittavat, että ramppiohjauksella voidaan huomattavasti parantaa liikenteen välityskykyä ja ramppiohjauksen investointikustannukset ovat maltilliset. Ramppiohjauksen hyödyntämistä laajemmin työmaiden yhteydessä kannattaisi selvittää.

5.3.4 Ajoneuvoteknologiset järjestelmät

Tekniikan nopea kehittyminen vaikuttaa voimakkaasti myös liikenteeseen. Ajoneuvot sisältävät yhä enemmän teknologiaa ja uusia laitteita tulee markkinoille tasaiseen tahtiin. Ajoneuvoteknologian kehittyminen mahdollistaa yhä sujuvamman ja turvallisemman liikenteen, mutta tuo toisaalta uusia haasteita päätöksenteon siirtyessä yhä enemmän kuljettajalta tietokoneelle. Etenkin tekniikan toimivuus ja varmuus on tulevaisuudessa yhä tärkeämpää.

Vaikka uudet ajoneuvot sisältävät yhä enemmän teknologiaa, ajoneuvoteknologiaa hyödynnetään liikenteen hallinnassa vasta vähäisessä määrin. Ajoneuvoteknologia ei ole syrjäyttänyt kiinteitä liikenteen opasteita, ajokaistamerkintöjä tai esimerkiksi liikennevaloja, vaikka teknologia tämän jo mahdollistaa. Kehitystä hidastaa se, että uudet ajoneuvoteknologian laitteet löytyvät vain uusista ajoneuvoista ja ajoneuvokannan uusiutuminen kestää vähintään kymmenen vuotta. Vanhempiin ajoneuvoihin on saatavilla erilaisia kannettavia tai myöhemmin asennettavia laitteita, mutta ne eivät ole vielä yleistyneet kaikkiin ajoneuvoihin. Yksikään valtio tai alue ei ole vielä vaatinut, että jokaisessa ajoneuvossa tulisi olla navigaattori tai jokin muu ajoneuvoteknologian laite. (European Commission Information Society and Media 2010)

Seuraavaksi on esitelty erilaisia ajoneuvoteknologian järjestelmiä ja laitteita, joilla tie liikenteen välityskykyä voidaan parantaa liikenteen turvallisuutta parantamalla. Turval-

lisuuden parantaminen vähentää onnettomuuksien määrää ja täten myös liikenteen häiriötä ja ruuhkautumista. Ruuhkassa liikenteen välityskyky alenee.

Älykäs nopeudensäättely

Älykkäät nopeudensäättöjärjestelmät välittävät ajoneuvoihin ajantasaista tietoa nopeusrajoituksista, olosuhteista ja muiden ajoneuvojen nopeuksista. Järjestelmästä riippuen kuljettajaa voidaan opastaa oikeaan nopeuskäyttäytymiseen tai jopa estää ylinopeuden ajaminen. Älykäs nopeudensäättely vähentää ajoneuvojen nopeuksien hajontaa sekä onnettomuuksia.

Älykkäät nopeudensäättöjärjestelmät voidaan jakaa neljään ryhmään järjestelmän vaikutustavan mukaan: (Bishop 2005)

- informoiva järjestelmä
- varoittava järjestelmä
- rekisteröivä järjestelmä
- pakottava järjestelmä

Informoiva järjestelmä kertoo kuljettajalle voimassa olevan nopeusrajoituksen esimerkiksi erillisellä näytöllä. Varoittava järjestelmä taas ilmoittaa kuljettajalle, jos ajonopeus ylittyy sallitun. Pakottava järjestelmä antaa kuljettajan ajaa maksimissaan nopeusrajoitusten mukaisesti. Rekisteröivä järjestelmä tallentaa muistiin auton sijainnin ja ajonopeuden ja antaa jälkikäteen palautetta kuljettajalle hänen ajotavastaan. Tehokkain näistä järjestelmistä on pakottava järjestelmä.

Älykkään nopeudensäättelyn vaikutuksia on tutkittu viime aikoina paljon. Älykäs nopeudensäättely vähentää ylinopeutta ajavien määrää ja vähentää ajoneuvojen nopeuksien hajontaa. Ruotsissa tehdyissä useissa eri tutkimuksissa nopeudet alenivat 1-10 % ylinopeuksien määrästä riippuen. Ylinopeudet vähenivät 7-29 prosenttia. (Stockholms stad 2005, Vägverket 2002.) Järjestelmä myös vähentää liikenneonnettomuuksia ja niistä syntyviä häiriöitä. Suurimmat vaikutukset älykkäällä nopeudensäättelyllä on suurilla nopeuksilla ja kun käytössä on pakottava nopeudensäättöjärjestelmä. Älykäs nopeudensäättely on hyväksytty hyvin käyttäjien keskuudessa. (Vlassenroot et al. 2007, Ministry of Transport 2004, Stockholms stad 2005, Vägverket 2002)

Älykäs nopeudensäättely voisi tulevaisuudessa korvata tienvarsiin sijoitettavat nopeusrajoitukset. Pakottavan järjestelmän avulla voitaisiin kokonaan estää ylinopeuden ajaminen ja toisaalta reagoida sää-, keli- ja liikennemuutoksiin nopeammin, kun tieto nopeusrajoituksen muutoksesta tulisi jokaisella ajoneuvolle erikseen. Ehkäpä tulevaisuudessa nopeusrajoitusta voitaisiin säädellä myös ajoneuvokohtaisesti siten, että järjestelmä ennakoi tulevat liikennetilanteet, esimerkiksi liikennevalot, ja hidastaisi vauhtia niin paljon, ettei ajoneuvon tarvitsisi pysähtyä ollenkaan.

Turvallisuutta parantavat järjestelmät

Suurin osa tällä hetkellä käytössä olevista ajoneuvoteknologian sovelluksista pyrkii parantamaan liikenteen turvallisuutta, joko estämällä onnettomuuksien tapahtuminen tai

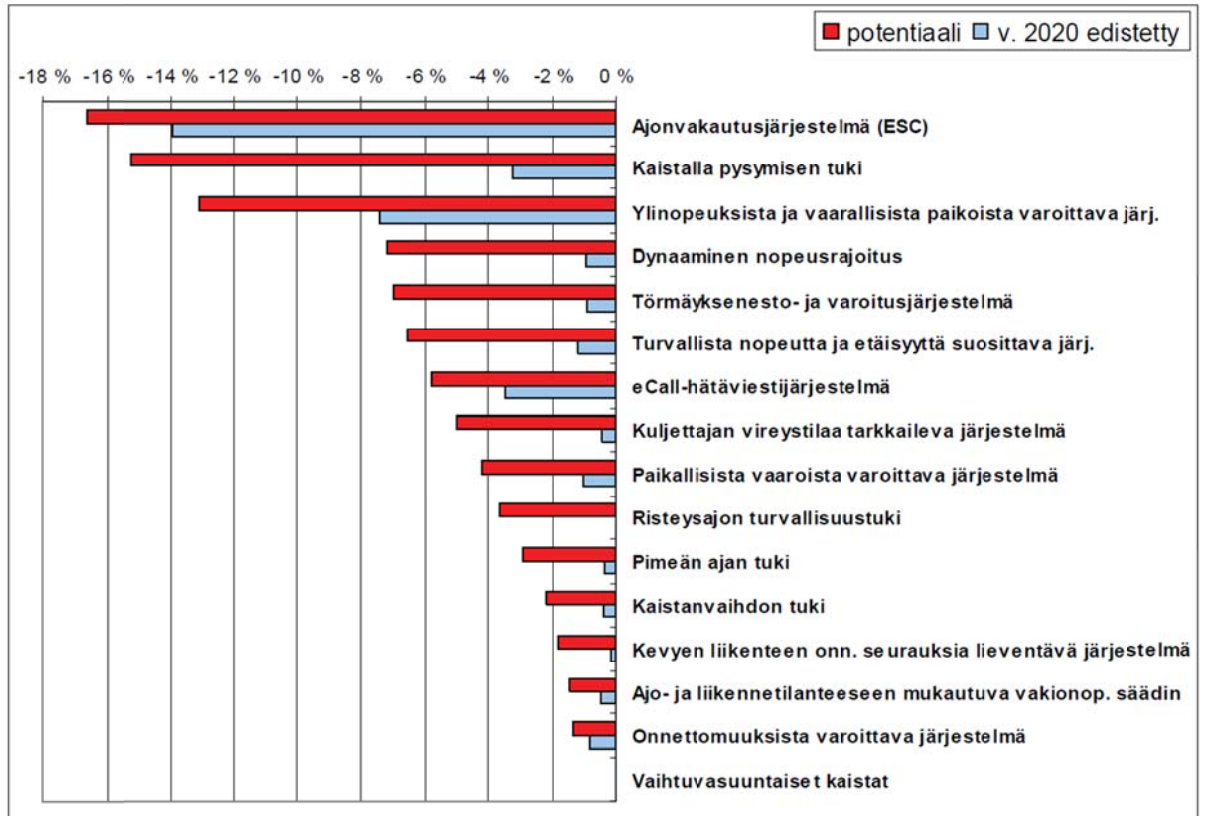
lieventämällä onnettomuuden seurauksia. Turvallisuuden parantamisella on suora vaikutus liikenneverkolla tapahtuvien häiriöiden määrään. Yhdysvalloissa on arvioitu, että 50–60 prosenttia liikenteen häiriöistä johtuu onnettomuuksista. Jos kuljettajan tukitoimintojen avulla onnettomuuksia voidaan vähentää, vähentää se myös liikenteen häiriöiden määrää ja parantaa liikenteen välityskykyä.

Turvallisuutta parantavia kuljettajan tukijärjestelmiä on käytössä runsaasti ja uusia kehitetään jatkuvasti. Jo lähes kaikissa uusissa ajoneuvoissa vakiovarusteina ovat esimerkiksi ABS-jarrut, luistonesto ja ajonvakautusjärjestelmä. Kehitteillä olevat järjestelmät ovat yhä älykkäämpiä. Kehitys on menossa koko ajan enemmän siihen suuntaan, että ajoneuvo ottaa yhä enemmän vastuuta ajamisesta.

Rämä et al. (2008) ovat keränneet ja arvioineet tutkimuksessaan eri kuljettajan tukijärjestelmiä ja niiden turvallisuusvaikutuksia (taulukko 1). Mukana ovat myös vaihtuvasuuntaiset kaistat, joita on käsitelty myöhemmin enemmän. Kuvaajassa 23 on esitelty näiden keinojen potentiaalinen turvallisuusvaikutus, jos kyseessä oleva järjestelmä olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin. Kuvaajasta nähdään myös turvallisuusvaikutus vuonna 2020, jos järjestelmien yleistymistä olisi tuettu. Kuten kuvaajasta 23 nähdään, on kuljettajantukijärjestelmien turvallisuusvaikutus hyvin merkittävä jo yksittäisiä järjestelmiä tarkasteltaessa. Kaikki järjestelmät parantavat turvallisuutta ja parhaimmillaan voidaan saavuttaa lähes 17 % turvallisuusvaikutus. Jos huomioidaan, että ajoneuvoissa on käytössä useampia kuljettajantukijärjestelmiä samaan aikaan, voi summavaikutus olla jopa useita kymmeniä prosentteja. Häiriöiden vähentyminen kymmeniä prosentteja tieverkolla parantaa koko verkon välityskykyä huomattavasti.

Taulukko 1. Liikenneturvallisuutta parantavia kuljettajantukijärjestelmiä. (Rämä et al 2008)

Järjestelmän nimi (lyhenne)	Kuvaus toiminnasta (vaikutusarviohanke)
Ajonvakautusjärjestelmä (Electronic stability control, ESC)	Ajonvakautusjärjestelmän tarkoitus on korjata kuljettajan tekemiä ohjausvirheitä ja ehkäistä luisumista aktiivisella jarrujen väliintulolla ja moottorin vääntöä säätelemällä (eIMPACT)
Kaistalla pysymisen tuki (Lane keeping support)	Kaistalla pysymisen tuen aktiivinen ohjausluki auttaa kuljettajaa pitämään ajoneuvon oikealla kaistalla. (eIMPACT)
Ylinopeuksista ja vaarallisista paikoista varoittava järjestelmä (Maps&Adas-projekti)	Järjestelmä varoittaa kuljettajaa nopeusrajoituksen ylittämisestä sekä onnettomuusalttiista paikoista, kuten tiukoista kaarteista ja jyrkistä mutkista. (PReVAL)
Dynaaminen nopeusrajoitus	Järjestelmä antaa nopeussuosituksen, joka ottaa nopeusrajoituksen lisäksi huomioon kelin, tiellä olevat esteet ja ruuhkatilanteet (CODIA)
Törmäyksen esto- ja varoitusjärjestelmässä (Emergency braking)	Järjestelmässä on erilaisia toimintoja, joiden avulla kuljettaja voi välttää törmäyksiä edellä ajavaan. Järjestelmä lieventää sellaisten törmäyksien seurauksia, jota ei voida välttää. Toimintoihin kuuluvat ennakoiva jarrutusavustin, ennakoiva törmäysvaroitus, ennakoiva hätäjarrutusavustin (eIMPACT)
Turvallista nopeutta ja etäisyyttä suosittava järjestelmä (Saspence-projekti)	Järjestelmä antaa kuljettajalle varoituksia tai suosituksia turvallisen nopeuden ja välimatkan pitämiseksi edellä ajavaan. Järjestelmä ottaa huomioon olosuhteita, kuten tiegeometrian (PReVAL)
Automaattinen hätäviestijärjestelmä eCall	Järjestelmä lähettää hätäviestin ja avaa puheyhteyden lähimpään hätäkeskukseen onnettomuuden sattuessa. (eIMPACT)
Kuljettajan vireystilan tarkkailu (Driver drowsiness monitoring and warning)	Kuljettajan vireystilaa tarkkaileva järjestelmä varoittaa kuljettajaa vireystilan heikentyessä. (eIMPACT)
Paikallisista vaaroista varoittava järjestelmä (Wireless local danger warning)	Järjestelmä välittää muihin autoihin dynaamista tietoa havaitsemistaan esteistä, huonosta säästä ja kelistä sekä ruuhkista (CODIA)
Pimeän ajan tuki (Night vision warning)	Auttaa kuljettajaa näkemään ajovalojen valokeilaa pidemmälle ja tarvittaessa myös varoittaa kuljettajaa esteistä ajoradalla. (eIMPACT)
Kaistanvaihdon tuki (Lane change assistant and warning)	Kaistanvaihdon tuki varoittaa lähellä olevista ajoneuvoista (ajoneuvon vieressä tai takana) juuri ennen kaistanvaihtoa. (eIMPACT)
Kevyen liikenteen onnettomuuksien seurauksia lieventävä järjestelmä	Järjestelmä tunnistaa suojattomat tienkäyttäjät ja tarvittaessa varoittaa kuljettajaa ja tekee automaattisen hätäjarrutuksen (ei passiivisen turvallisuuden lisäystä) (eIMPACT)
Koko nopeusalueen kattava ajo- ja liikennetilanteeseen sopeutuva vakionopeuden säädin (ACC FSR)	Järjestelmä pitää ajoneuvon nopeuden kuljettajan määrittämällä tasolla, tai mikäli edellä ajaa hitaampi ajoneuvo, järjestelmä pitää kuljettajan määrittelemän etäisyyden edellä ajavaan ajoneuvoon. (eIMPACT)
Risteysajon turvallisuustuki (Intersection safety)	Järjestelmä tunnistaa muut risteyksessä olevat tai sitä lähestyvät tienkäyttäjät (lyhyellä aikavälillä muut ajoneuvot pidemmällä myös jalankulkijat ja pyöräilijät). Törmäyskurssilla olevat tienkäyttäjät sekä törmäyksen läheisyys määritetään, ja kuljettajaa varoitetaan tilanteesta. Myös punaisesta liikennevalosta varoitetaan tarvittaessa (CODIA)
Onnettomuuksista varoittava järjestelmä	Järjestelmä havaitsee onnettomuuden ja lähettää tietoa ajoneuvon sijainnista välittömässä läheisyydessä sijaitseville muille ajoneuvoille sekä onnettomuuspaikkaa lähestyville. (CODIA)
Vaihtuvasuuntaiset kaistat	Vaihtuvasuuntaiset kaistat toimivat monikaistaisilla kaupunkitieillä tai moottoritieillä. Järjestelmä optimoi liikenteen kulkua sopeuttamalla kaistojen määrän ja suunnan liikennemäärän mukaiseksi. Tieto kerätään silmukoiden, kameroiden ja ajoneuvojen kautta ja lähetetään liikennekeskukseen käsiteltäväksi. (CODIA)



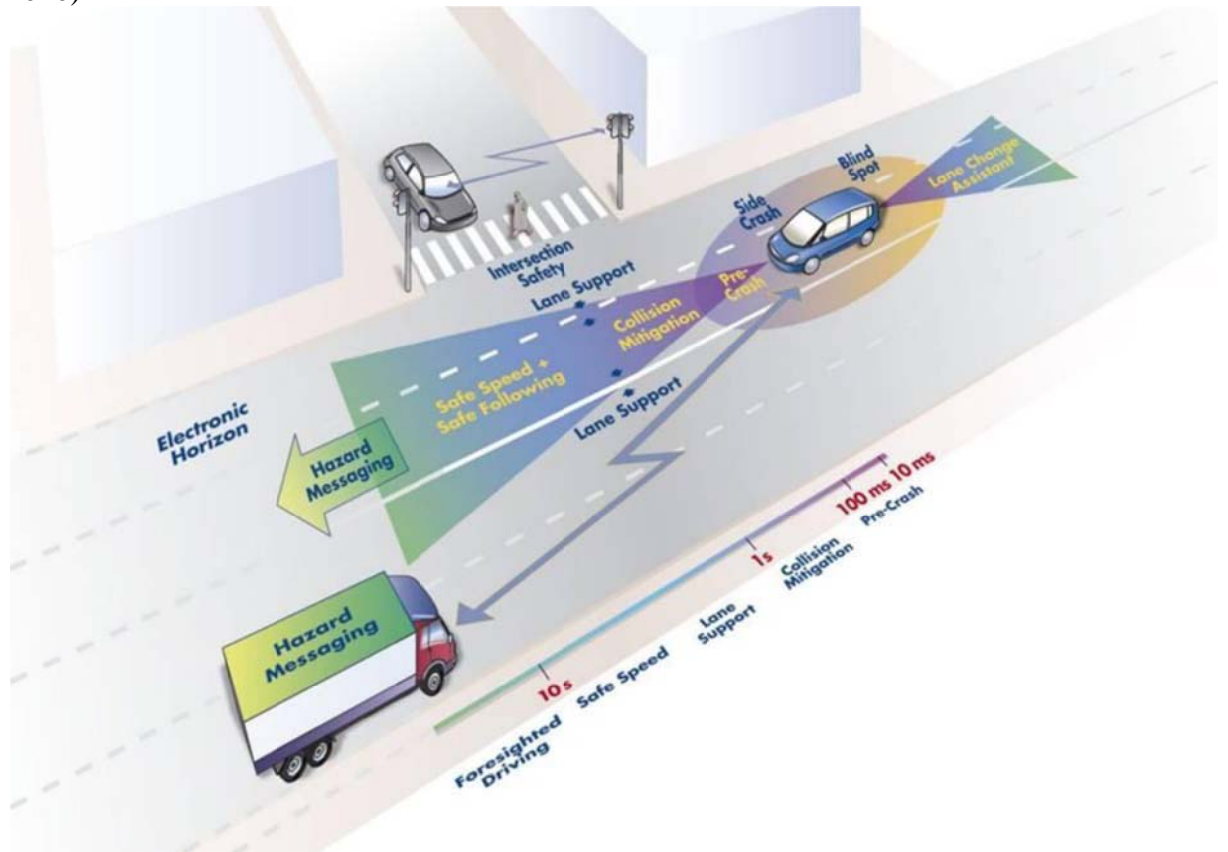
Kuva 23. Eräiden kuljettajantukijärjestelmien odotettu potentiaalinen turvallisuusvaikutus, jos kysessä oleva järjestelmä olisi asennettu kaikkiin ajoneuvoihin sekä turvallisuusvaikutus, jossa on otettu huomioon järjestelmien yleisyys vuonna 2020, mikäli järjestelmien yleistymistä on tuettu. (Rämä et al 2008)

Kooperatiivinen liikenne

Yksittäisiin ajoneuvoihin kehitettävien järjestelmien lisäksi ajoneuvoihin on tulossa kooperatiivisia ratkaisuja. Kooperatiivinen järjestelmä on ajoneuvojen, tukiasemien, keskusyksikön (liikennekeskus) ja palvelukeskusten muodostama kokonaisuus, joka mahdollistaa reaaliaikaisen tiedonvaihdon liikenteessä eri osapuolten välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa ajoneuvojen välistä tiedonvälitystä tai tiedonvälitystä ajoneuvon ja infrastruktuurin kesken. Kooperatiivisin ajamisen ratkaisuja ollaan vasta tutkimassa, mutta ensimmäiset järjestelmät voisivat olla jo käytössä vuonna 2015. (Sukuvaara 2007; Bishop 2005)

Kooperatiiviset järjestelmät perustuvat auton anturitietojen käsittelyyn ja välittämiseen muille tienkäyttäjille. Vastaavasti taustajärjestelmän ja muiden autojen keräämiä tietoja hyödynnetään auton oman tilannekuvan muodostamisessa. (Sukuvaara 2007; Bishop 2005) Kooperatiivisia järjestelmiä voidaan hyödyntää esimerkiksi reittivalintoja tehdessä. Jos muutaman kilometrin edempänä kulkevasta ajoneuvosta saadaan esimerkiksi tieto, että edessä on ruuhkaa, voisivat osa perässä tulevista ajoneuvoista valita vaihtoehdoisen reitin. Tällöin pahempaa ruuhkaa ei synny, ja takaa tulevat ajoneuvot välttävät ruuhkaisen tieosan kokonaan. (European Commission Information Society and Media

2010)



Kuva 24. Koooperatiivinen liikenne (European commission information society and media 2010)

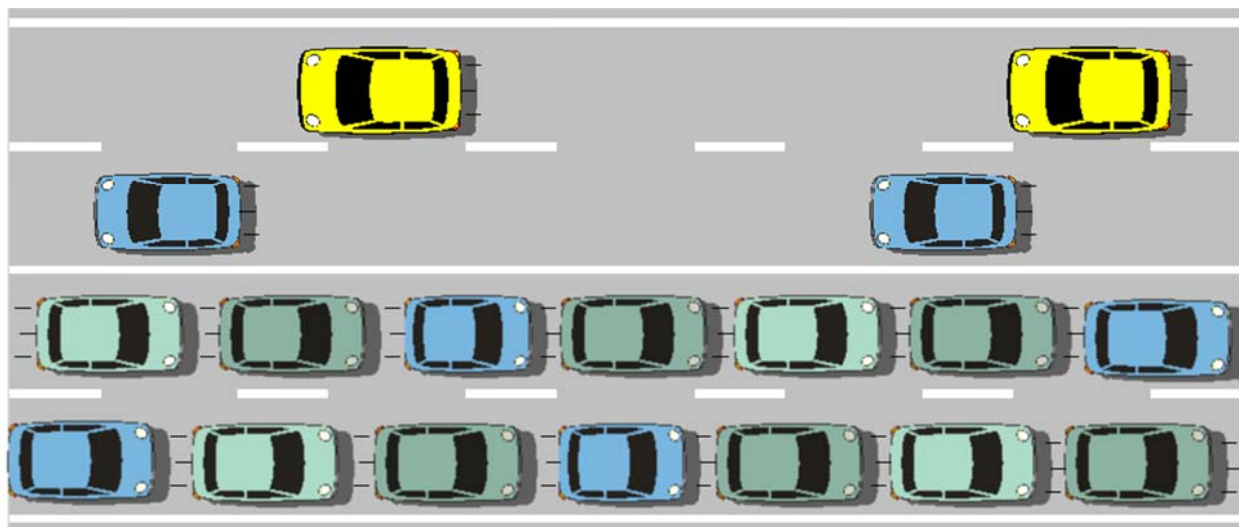
Automaattinen liikennejärjestelmä

Tulevaisuuden liikennejärjestelmä kehittyi yhä autonomisempaan suuntaan. Jo nykyään on uusien ajoneuvojen varusteina lukematon määrä erilaisia kuljettajaa avustavia järjestelmiä navigaattoreista automaattisen hätäjarrutukseen.

Yhä autonomisempien järjestelmien kehittymisen myötä liikennejärjestelmästä voi joku päivä tulla täysin automaattinen. Meri- ja ilmaliikenteessä on automaattinen ohjaus arkipäivää ja esimerkiksi Kööpenhaminan metro toimii jo ilman kuljettajaa. Myös tieliikenteessä on olemassa prototyyppisiä täysin automaattisia ajoneuvoja, jotka pärjäävät liikennejärjestelmässä ilman kuljettajan tai muun ulkopuolisen tahon apua. Esimerkiksi Yhdysvaltain puolustusministeriön järjestämässä DARPA Grand Challenge -kilpailussa on jo usean vuoden ajan päässyt useat täysin automaattiset ajoneuvot maaliin. Kilpailuun voi osallistua automaattisella ajoneuvolla, joka selviytyy itse liikenteessä ja osaa kaikki ajamiseen tarvittavat taidot kuten pysäköinnin. Myös Google on jo rakentanut toimivan automaattisen ajoneuvon, jota se on testannut menestyneesti ympäri Yhdysvaltoja. (Darpa 2010, Google 2010)

Älykkäillä ajoneuvoilla ja täysin autonomisilla ajoneuvoilla voidaan tehostaa liikenneverkon käyttöä huomattavasti. Turvavälejä lyhentämällä turvallisuutta huonontamatta voidaan tien välityskyky saada tehokkaammin käyttöön. Turvavälien pienentäminen parhaimmillaan lähes kaksinkertaistaa tien välityskyvyn ja täysin automaattisen liikenne-

nejärjestelmän avulla voidaan tien välityskyky jopa nelinkertaistaa (kuva 25). (Kulmala 2010b)



Kuva 25. Tien välityskyvyn parantuminen turvavälien pienentyessä. Täysin automaattisen liikennejärjestelmän avulla voidaan tien välityskyky nelinkertaistaa (Kulmala 2010).

Ajoneuvojen autonomisuuden lisääminen tehostaa välityskykyä myös vähentämällä liikenteen häiriöitä. Jos liikenteen häiriöt voidaan poistaa automaattisten ajoneuvojen myötä, voidaan ruuhkia vähentää jopa 50–60 prosenttia. (Kulmala 2010b)

5.4 Häiriönhallinta

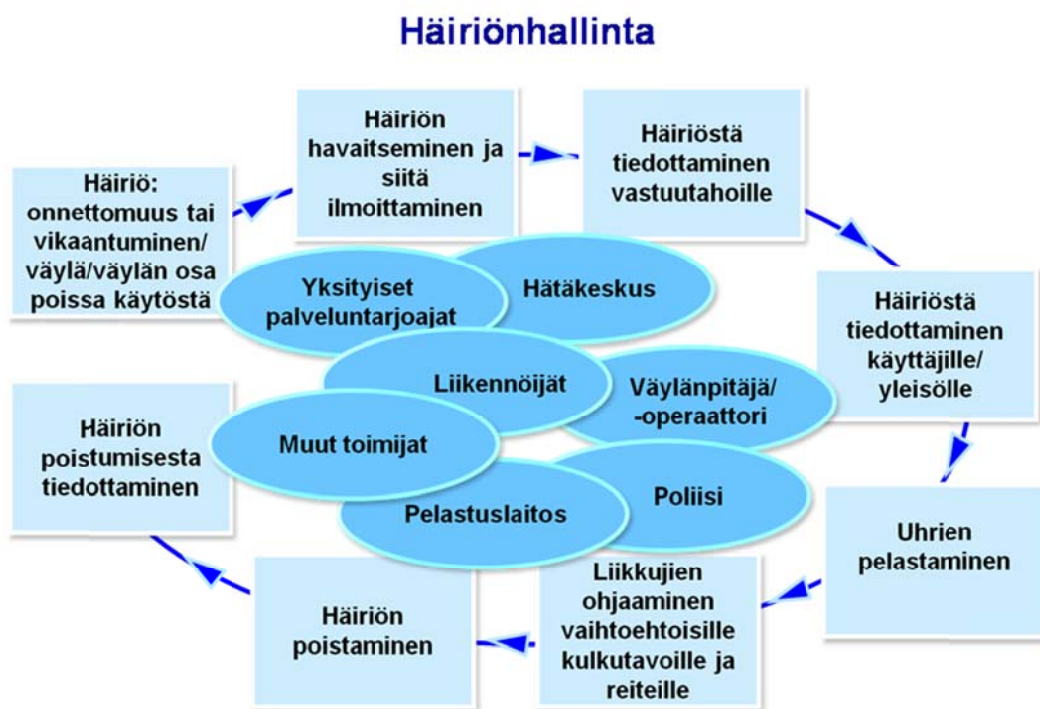
Häiriönhallinnalla tarkoitetaan liikenteessä tapahtuvien odottamattomien ja yllättävien häiriötilanteiden havaitsemista, hoitamista ja poistamista. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi onnettomuudet. Häiriönhallintaan kuuluu myös häiriöiden ennaltaehkäisy. Häiriöitä voidaan ehkäistä lähes kaikilla aikaisemmin esiteltyillä keinoilla esimerkiksi automaattisella nopeusvalvonnalla tai vaihtuvilla ohjausjärjestelmillä. Näillä keinoilla voidaan vähentää myös ennalta tiedettyjen häiriöiden kuten tietyömaiden aiheuttamia ruuhkia.

Liikenteen häiriöiden yleisimpiä seurauksia ovat liikenneverkon ruuhkautuminen, viivytyksen lisääntyminen sekä onnettomuusriskin kohoaminen. Häiriöt lisäävät myös sekundäärisen onnettomuuden riskiä. Häiriöiden vaikutuksia on tarkasteltu enemmän luvussa 2.2.4.

Häiriönhallinnan tavoitteena on kontrolloida häiriötilanteita ja pienentää häiriöiden vaikutuksia sekä nopeuttaa liikenteen palautumista normaaliin tilaan. Sujuvuuden parantamisen lisäksi pyritään minimoimaan henkilövahingot etenkin häiriöiden aiheuttamissa jälkitilanteissa. Häiriöiden syntymisen ja vaikutusten minimoiminen parantaa suoraan liikenneverkon välityskykyä. (Salkonen ja Rauhamäki 2008, Tiehallinto 2009b).

Häiriönhallinnan toimintaketju äkillisissä tilanteista on esitelty kuvassa 26. (Kulmala ja Schirokoff 2010) Ketju on yksinkertaistettu, ja yleensä useat peräkkäiset vaiheet tapahtuvat samanaikaisesti. Häiriönhallinnan koko toimintaketjun on toimittava tehokkaasti, jotta häiriön vaikutukset muulle liikenteelle voitaisiin minimoida. Tehokas häiriönhal-

linta edellyttääkin saumatonta yhteistyötä kaikkien toimijoiden välillä. Ensisijaisen tärkeää on mutkaton tiedonvaihto kaikkien toimijoiden välillä.



Kuva 26. Häiriönhallinnan toimintaketju äkillisissä tilanteissa. (Kulmala ja Schirokoff 2010)

Häiriönhallinnan toimintaketju alkaa onnettomuuden tai muun häiriön jälkeen häiriön havaitsemisella ja siitä ilmoittamalla. Mitä nopeammin häiriö havaitaan, sitä nopeammin häiriö voidaan poistaa paikalta. Nopea havainnointi onkin erityisen tärkeää, kun yritetään minimoida häiriön aiheuttamat vaikutukset liikenteeseen. Alla on listattu keinoja häiriön havaitsemiseen: (Kulmala ja Schirokoff 2010)

- liikkujien yhteydenotot matkapuhelimilla
- valvontakamerat
- automaattiset tunnistusjärjestelmät ja ohjelmistot
- liikennevirran mittauslaitteet
- poliisipartiot
- liikenteen ilmavalvonta
- kuljetusliikkeit/ammattikuljettajat
- liikennekeskukset

Tulevaisuudessa häiriöiden havaitseminen tapahtuu yhä enemmän erilaisia älyliikenteen sovellusten avulla. Käytössä on jo useita erilaisia järjestelmiä, jotka tunnistavat häiriöitä automaattisesti herkästi ruuhkautuvissa kohteissa kuten tunneleissa ja silloilla. Ecall-järjestelmässä ajoneuvot ilmoittavat hätäkeskukselle itse, jos ajoneuvo joutuu onnettomuuteen. Tällä tavoin onnettomuudesta saadaan tieto heti sen tapahduttua. Liikennekes-

kuksen järjestelmät pystyvät automaattisesti yhä tarkemmin huomaamaan häiriöiden syntymisen liikenteen matka-aika tiedoista. Jo pienet muutokset liikennevirrassa saattavat ennakoita ison häiriön syntymistä.

Häiriön havaitsemisen jälkeen seuraava häiriönhallinnan vaihe on häiriöstä tiedottaminen ensin vastuutahoille ja tämän jälkeen käyttäjille. Tiedottaminen on häiriönhallinnan ydin, ja sen avulla voidaan vähentää väylälle saapuvien ajoneuvojen määrää sekä sekundaarionnettomuuksia. Tärkeää on, että tiedotus tapahtuu mahdollisimman nopeasti häiriön havaitsemisen jälkeen ja tiedot ovat reaaliaikaisia ja oikeita. Tiedottaminen on tehokas keino vähentää myös ennalta tiedettyjen häiriöiden kuten tietyömaan vaikutuksia. Tällöin häiriöstä voidaan kertoa usein runsaasti etukäteen ja vaihtoehtoinen reitti voidaan valita heti kotiovelta asti. Tiedottamiseen voidaan käyttää useita erilaisia älyliikenteen keinoja kuten tienvarsien vaihtuvia opasteita, navigaattoreita ja älypuhelimia tai esimerkiksi internetpalveluita. (Salkonen et al. 2009)

Häiriöstä tiedottamisen jälkeen pelastustoimi työskentelee mahdollisen uhrin pelastamiseksi. Varsinaisen pelastustyön rinnalla muun liikenteen häiriöt pyritään minimoimaan ohjaamalla liikenne käyttämään vaihtoehtoisia reittejä. Liikenteen ohjauksessa voidaan hyödyntää samoja älyliikenteen keinoja kuin tiedottamisessakin, esimerkiksi vaihtuvia reittiopasteita, navigaattoreita ja älypuhelimia sekä internetiä. (Salkonen et al. 2009)

Navigointilaitteet ovat tehokas tapa tiedottaa häiriöistä sekä ohjata liikenne vaihtoehtoisille reiteille. Navigointilaitteisiin voidaan helposti lähettää reaaliaikaiset tiedot liikenteen häiriöistä, ja laitteet voivat automaattisesti ehdottaa vaihtoehtoisia reittejä ruuhkautuneen reitin tilalle. Suomessa navigaattoreiden näitä ominaisuuksia ei kuitenkaan juuri hyödynnetä. Navigointilaitteiden käyttöön liittyy myös ongelmia. Laitteiden tarjoama vaihtoehtoinen reitti ei ole aina liikenteellisesti sopivin. Navigaattori voi esimerkiksi ohjata ajoneuvon asutuskeskuksen läpi ja tällä tavoin huonontaa alueen liikenneturvallisuutta. (Salkonen et al. 2009) Vaihtoehtoiset reitit tulisivatkin olla etukäteen viranomaisten kanssa määritelty, jotta epätoivotut liikenteen vaikutukset voitaisiin minimoida.

Viimeiset häiriönhallinnan toimintaketjun vaiheet ovat häiriön poistaminen sekä häiriön poistumisesta tiedottaminen vastuutahoille ja käyttäjille. Liikenteen sujuvuuteen vaikuttaa paljon se, kuinka kauan häiriö kestää. Mitä kauemmin häiriö on tieverkolla, sitä suuremmat liikenteelliset vaikutukset sillä on. Tämän vuoksi on hyvin tärkeää poistaa häiriö tieverkolta mahdollisimman nopeasti, jotta liikenne voi palautua normaaliksi.

Tehokkaalla häiriönhallinnalla voidaan tehokkaasti parantaa väylän välityskykyä häiriön sattuessa. Esimerkiksi amerikkalaisen simulointitutkimuksen mukaan häiriönhallinnan avulla Seattlessa voitaisiin vähentää viivytyksiä 1-7 %, pysähdyksiä 5 % ja pienentää matka-aikojen hajontaa 2,5 % ja parantaa matka-aikojen luotettavuutta 1,2 %, jos alueen liikennetiedotus yhdistettäisiin häiriönhallintajärjestelmiin. Sane (2008) on arvioinut eri häiriönhallintavaihtoehtoja iltaruuhkassa Kehä I:llä tapahtuvan onnettomuuden jälkeen. Hänen arvioidensa mukaan nopeutetulla jälkihoidolla ajoaikaa saataisiin lyhennettyä 18 %, tiedotuksella 23 % ja reittiopastuksella 17 %. Hyödyntämällä kaikkia toimia yhtä aikaa voitaisiin ajoajoissa säästää jopa 49 %. Cohen (2000) tekemän tutkimuksen mukaan tehokkaalla häiriönhallinnalla voidaan myös vähentää häiriöiden kestoja yli 20 prosenttia.

Suomessa häiriönhallintaa on tehostettu kehittämällä yhteisiä toimintatapoja eri vastuutahoille, jotta häiriötilanteessa toimiminen olisi mahdollisimman nopeaa ja sujuvaa. Älyliikenteen keinoja häiriönhallinnassa käytetään kuitenkin hyvin vähän, vaikka niillä

saatavat hyödyt voisivat olla merkittäviäkin. Etenkin häiriöherkillä alueilla tai alueille, jossa häiriöiden vaikutukset ovat suuret, kannattaisi älyliikennettä hyödyntää selvästi enemmän. Myös navigaattoreiden ja älypuhelimien mahdollisuuksia häiriötiedottamisessa tulisi hyödyntää selvästi tehokkaammin.

5.5 Aktiivinen liikenteen operointi

Aktiivisen liikenneverkon operoinnin tavoitteena on liikkumisen ja kuljettamisen ennakoitavuus ja luotettavuus kaikissa olosuhteissa. Keskeistä on häiriöiden vaikutusten minimointi ja ennalta ehkäiseminen. Aktiivisen liikenteen operoinnilla voidaan edesauttaa väylien välistyskyvyn optimaalista käyttöä ja lisätä hetkellisesti välityskykyä tarpeen mukaan esimerkiksi vaihtuvilla nopeusrajoituksilla.

Aktiivisessa liikenteen operoinnissa hyödynnetään useita erilaisia älyliikenteen keinoja, joilla voidaan hallita liikennettä ja ennalta ehkäistä ja poistaa häiriöitä. Usein käytetään liikenteen ohjausta, tiedotusta ja häiriöiden hallintaa. (Liikennevirasto 2010d) Yhdistelemällä eri keinoja saavutetaan suurempi hyöty kuin käyttämällä vain yksittäisiä keinoja toisistaan irrallaan. Parhaimman mahdollisen hyödyn saavuttamiseksi tulisi liikennettä valvoa reaaliaikaisesti, ja liikennetilanteen sekä sää- ja keliolosuhteiden mukaan muokata esimerkiksi nopeusrajoituksia tilanteeseen sopivaksi.

Erilaisten keinojen yhteiskäytön hyötyjä on tutkittu laajasti eri puolilla maailmaa. Iso-Britanniassa eri älyliikenteen työkaluja käytetään aktiivisessa liikenteen hallinnassa. Käytössä on vaihtuvat nopeusrajoitukset, leveän pientare sekä ramppiohjaus. Eri keinojen yhdistämisellä on parannettu huomattavasti väylän välityskykyä. Leveän pientareen ja kaistaohjauksen käyttö paransi välityskykyä 24–25 %. Kaikkien keinojen yhteisvaikutuksen on arvioitu olevan jopa 40–50 prosenttia, vain käyttämällä olemassa oleva tila tehokkaammin. (Marcuson, 2009) Vastaavasti Birminghamin lähellä M42 moottoritieellä parannettiin välityskykyä 7 prosenttia hyödyntämällä vaihtuvia nopeusrajoituksia ja leveitä pientareita. (Sultan ja Meekums ja Brown 2007)

Alankomaissa on käytössä useita älykkäitä liikenteen hallinnan keinoja pääasiassa moottoriteillä. Aktiivisessa liikenteen operoinnissa hyödynnetään kaistaopasteita, leveitä pientareita, ramppiohjausta, liikenteen tiedotusta (ruuhkavaroitusta ja matka-aikatieto) ja tietyömaiden hallintaa. Eri keinojen yhteisellä hyödyntämisellä on vähennetty onnettomuuksia jopa 30 %, parannettu matka-aikaa 20 % ja lisätty välityskykyä väliaikaisesti jopa 25 %. Ruuhkat väylillä ovat selvästi vähentyneet. Väylien vaihtuvat nopeusrajoitukset on otettu myös hyvin vastaan, kunhan nopeuden alentamiseen on koettu olevan jokin järkevä selitys. (Sparmann 2007)

Amsterdamissa, Hollannissa on myös suunnitteilla laajempi integroitu liikenneverkon hallintajärjestelmä. Järjestelmään olisi tarkoitus kuulua muun muassa uudelleenreititys, koordinoitu ramppiohjaus, liikennevalo-ohjelman kehitys ja integroiminen ramppiohjaukseen ja valtateiden ja paikallisteiden välityskyvyn käytön optimointi. (Polderdijk 2011)

Simulointitutkimuksen mukaan Australiassa voitaisiin vähentää viivytyksiä -8,8 %, pyssäyksiä -22 % ja parantaa matka-aikojia 3,3 % hyödyntämällä ramppiohjausta, reititopastusta ja vaihtuvia nopeusrajoituksia yhdessä. Eri keinoja tutkittiin myös erikseen, mutta merkittäviä vaikutuksia saatiin vasta, kun käytössä oli vähintään kaksi edellä mainituista järjestelmistä samaan aikaan. (Dia & Gondwe & Panwai 2006)

Aktiivisesta liikenteen operoinnista ollaan siirtymistä yhä enemmän proaktiiviseen liikennejärjestelmän operointiin. Proaktiivisen liikennejärjestelmän operoinnin tavoitteena on liikenteen maksimaalinen tehokkuus, turvallisuus, toimivuus ja ympäristöystävällisyys. Proaktiiviseen operointiin kuuluu erityisesti aktiivinen häiriötilanteiden hallinta, ennakointi ja estäminen. Liikennekeskuksilla on häiriötilanteiden hallinnassa erityisen tärkeä merkitys. (Tiehallinto 2009e)

Tieliikennekeskus

Liikenneviraston tieliikennekeskukset tuottavat liikenteen hallinnan peruspalvelut Suomessa. Tieliikennekeskuksia on Suomessa tällä hetkellä neljä: Helsingissä, Tampereella, Turussa ja Oulussa.

Tieliikennekeskuksen tehtävänä on vastata aktiivisesta liikenneverkon operoinnista. Se huolehtii liikenteen ajantasaisesta seurannasta ja ohjauksesta, vastaa liikenteen hallinnan tienvarsilaitteiden olosuhteisiin sopivien ohjauksien päivittymisestä sekä häiriötilanteiden hallinnasta. Tämän lisäksi liikennekeskus kerää tietoa tie- ja liikenneolosuhteista tienvarsilaitteilla sekä tienkäyttäjiltä ja muilta yhteistyökumppaneilta. Tämä tieto jalostetaan tienkäyttäjille sopivaksi informaatioksi, jota välitetään esimerkiksi internetissä sekä radiossa. (Laine ja Salonen 2011)

Aktiivisen liikenteen operoinnin lisäksi liikennekeskuksella on tienpidon tukitehtäviä. Tienpidon tukitehtävillä tarkoitetaan viranomaisten ja teinkäyttäjien teiden liikennöintiin liittyvien yhteydenottojen vastaanottamista ja välittämistä moniurakoitsijaympäristössä niin sanotun LIITO-toimintamallin mukaan. Tavoitteena on, että liikennekeskukselle ohjautuvat tienkäyttäjien yhteydenotoista vain ilmoitukset liikenteen ongelmista tai teiden liikennöitävyyspuutteista. (Laine ja Salonen 2011)

Liikennekeskuksella on myös vahva rooli viranomaisyhteistyössä. Tulevaisuuden visio on, että liikennekeskus toimii Liikenneviraston ja kaupunkien sekä mahdollisesti muiden viranomaisten yhteisenä liikennekeskuksena. Jo nykyään yhteistyö on tiivistä. Esimerkiksi Helsingissä toimivaan tieliikennekeskukseen on yhdistetty entisen Tiehallinnon liikennekeskus ja pääkaupunkiseudun kaupunkien liikennevalokeskukset. Tämän integroinnin on todettu tuoneen lisäarvoa liikennekeskuksen toiminnalle, kun resursseja ei tarvita yhtä paljon ja toisaalta laitteistoja ei tarvitse uusia ja päivittää kuin yhdessä paikassa. Koko pääkaupunkiseudun liikenteen hallinnan keskittäminen yhteen paikkaan mahdollistaa myös tehokkaamman häiriönhallinnan sekä esimerkiksi liikennevalojen yhtenäisen hallinnan useita kaupunkeja halkovilla pääteillä. Keskitetyn liikennekeskuksen etuna on myös tehokas toiminta esimerkiksi yleisötilaisuuksissa, jolloin koko alueen liikennettä voidaan hallita kokonaisvaltaisesti. (Laine ja Salonen 2011)

Nykyään tieliikennekeskukset toimivat vielä pitkälti liikenteen valvontakeskuksina, koska tarvittavalla tienvarsitelemaattikalla varustettuja väyliä on vielä melko vähän ja liikennekeskusten laitteistot eivät mahdollista monipuolista ohjausta. Liikennekeskuksessa on liikenteen hallinnan tehtävien ja muiden tienpidon toimintojen hoitoa varten kymmenien tieto- ja ohjausjärjestelmien käyttöliittymät. Liikennekeskusten päivystäjät joutuvatkin seuraamaan yhä suurempaa määrää eri kohteita samanaikaisesti, jonka vuoksi päivystäjien tehtävien vasteajat ovat kasvaneet ja yhä suurempi määrä häiriöistä jää huomaamatta. Koska liikenteen häiriöihin ei ehditä puuttua ajoissa, aiheutuu liikenneverkolle viivytyksiä, jotka olisi voitu välttää tai lievittää oikea-aikaisella häiriönhal-

linnalla. Tavoitteena on, että ongelmat havaitaan ja niihin puututaan mahdollisimman aikaisessa vaiheessa oikeilla keinoilla. Näin välityskyky voidaan säilyttää mahdollisimman hyvällä tasolla. (Oinas et al. 2009)

Tulevaisuudessa liikennekeskusten ongelmia pyritään lievittämään integroidun käyttöliittymän avulla. Nykyisin järjestelmät tuottavat ohjausehdotuksia kukin omiin käyttöliittymiinsä. Integroidun käyttöliittymän avulla, voitaisiin kaikkia tarvittavia ohjausjärjestelmiä hallita yhdestä paikasta, jolloin järjestelmien käyttö nopeutuu ja helpottuu. Järjestelmien integroiminen nopeuttaisi päivystäjien työtä ja vapauttaisi resursseja muuhun päivystystyöhön. Tällöin esimerkiksi liikenneverkolla syntyneisiin häiriöihin voitaisiin reagoida mahdollisimman nopeasti ja minimoida häiriön vaikutus muulle liikenteelle.

5.6 Älyliikenteen keinojen arviointi ja yhteenvedo

5.6.1 Yleistä

Tässä luvussa arvioidaan tieliikenteeseen sopivien älyliikenteen keinojen soveltuvuutta Suomeen sekä kootaan eri keinojen vaikuttavuusarviot vertailua varten. Keinojen arviointi perustuu yllä olevaan kirjallisuusselvitykseen, haastatteluihin sekä työpajojen tuloksiin. Ajoneuvotekniset sovellukset eivät ole mukana keinojen vertailussa, koska niiden vaikutuksia välityskykyyn on vielä vaikea arvioida.

Kullakin älyliikenteen keinolla on oma soveltuvuusalueensa. Osa keinoista sopii vain kaupunkimaisiin oloihin, kun taas toiset soveltuvat paremmin maanteille tai kaupunkien isoille pääväylille. Suurinta osaa keinoista voi kuitenkin käyttää kaikissa edellä mainituissa kohteissa, mutta keinojen vaikuttavuus saattaa vaihdella käyttöpaikasta riippuen.

Taulukossa 2 esitellään erilaisten älyliikenteen keinojen soveltuvuus kaupunkiolosuhteisiin tai maanteille ja kaupunkien pääväylillä. Kaupunkimaisilla olosuhteilla tarkoitetaan kaupunkien katuja, joiden nopeusrajoitus ei ole yli 50 km/h, ja joissa tasoliittymiä on verrattain tiheästi. Kaupunkien pääväylät ovat vuorostaan esimerkiksi kaupunkien kehäteitä tai keskustaan päättyviä suurempia väyliä, joissa ei ole liikennevaloja ja liittymät ovat pääasiassa eritasoliittymiä. Maanteille ja kaupunkien pääväylille soveltuvat lähes poikkeuksetta samat keinot. Kuten taulukosta 2 nähdään, suurin osa tässä työssä mukana olevista keinoista käy sekä kaupunkien hitaampaan liikenteeseen että maanteille ja muille isoille väylille.

Taulukko 2. Kaupunkiin ja maantielle/pääväylille sopivat keinot.

Keinot	Kaupunki	Maantie/pääväylä
Liikennevalojen optimointi	+	(+)
Älykkäät liikennevalot	+	
Ramppiohjaus		+
Pysäköinninohjaus	+	
Matka-aika-/sujuvuustiedotus	+	+
Liikennesääätiedotus		+
Automaattinen nopeusvalvonta	(+)	+
Vaihtuvat nopeusrajoitukset	(+)	+
Vaihtuvasuuntaiset kaistat		+
Leveän pientareen käyttö		+
Häiriönhallinta	+	+

Lähinnä kaupunkeihin sopivia keinoja ovat liikennevalojen optimointi ja älykkäät liikennevalot sekä pysäköinnin ohjaus. Tämän lisäksi välityskykyä voidaan tehostaa kaupungeissa matka-aikatiedotuksella ja reittiopastuksella sekä häiriönhallinnalla. Myös vaihtuvilla nopeusrajoituksilla ja automaattisella nopeusvalvonnalla voidaan tehostaa paikallisesti kaupunkien välityskykyä.

Pääväylien ja maanteiden välityskykyä voidaan tehostaa lähes kaikilla tässä tutkimuksessa mukana olleilla älyliikenteen keinoilla. Liikennevaloja ja pysäköinninohjausta käytetään harvemmin isoilla väylillä.

5.6.2 Keinojen vaikuttavuus

Älyliikenteen keinojen vaikutusta liikenteen sujuvuuteen ja välityskykyyn on tutkittu vaihtelevasti. Esimerkiksi automaattista nopeusvalvontaa ja liikennevaloja on tutkittu laajasti eri puolilla maailmaa, mutta liikenteen tiedotuksesta ja reittiopastuksesta on olemassa vähemmän tutkimuksia. Tähän lukuun on koottu vaikutustuloksia tieliikenteeseen soveltuvista älyliikenteen keinoista, jotta eri keinojen vertailu olisi mahdollista. Tämän työn aikana kerättyjen vaikutustulosten lisäksi tässä luvussa esitellään Kulmalan ja Schirokoffin (2009) Liikenneviraston tieliikenteen hallinnan toimintalinjan taustareporttiin keräämät vaikutustulokset. Näin saadaan kattavampi aineisto eri keinojen vaikuttavuudesta.

Kulmala ja Schirokoff (2009) ovat koonneet ja arvioineet älyliikenteen sovellusten vaikutuksia useiden tutkimusten ja asiantuntija-arvion perusteella. Niiden perusteella he ovat arvioineet keinojen vaikutusta liikenteen ruuhkautumiseen sekä liikenteessä vammautuneiden ja kuolleiden määrään. Taulukkoon 3 on poimittu ne älyliikenteen sovellukset, joita on käsitelty enemmän tässä työssä. Taulukossa olevat arvot ovat primäärisyihin vaikuttavia lukuja. Tämä vuoksi taulukossa ei huomioida, että esimerkiksi vammautuneiden väheneminen tarkoittaa myös häiriöiden vähentymistä liikenteessä, joka taas vähentää ruuhkautumista.

Kulmalan arvion mukaan ainoastaan tienvarren sujuvuustiedotuksen, alueellisen valo-ohjauksen ja häiriönhallinnan on todettu vähentävän ruuhkautumista. Keinoista eniten ruuhkautumista vähentää häiriönhallinta -5...-20 %. Muilla yllämainituilla keinoilla ruuhkautuminen vähenee 1-3 prosenttia. Kulmalan mukaan kaikki keinot alueellista

valo-ohjausta ja häiriöiden hallintaa lukuun ottamatta vähentävät onnettomuuksia. Pienempi onnettomuuksien määrä vähentää liikenteen häiriöitä ja parantaa välityskykyä. Ottaen huomioon sekundaarivaikutukset, kaikkien taulukossa 3 olevien keinojen voidaan olettaa vähentävän ruuhkautumista.

Taulukko 3. Älyliikenteen keinojen vaikuttavuus. (Kulmala ja Schirokoff 2009)

Älyliikenteen sovellus	Kuolleet	Vammautuneet	Ruuhkautuminen
Alueellinen valo-ohjaus	-	-	-3%
Tienvarsitiedotukset	-2...-5 %	-1...-3 %	-1...-3 %
Sujuvuustiedotus	0	0	-1...-3 %
Vaihtuvat nopeusrajoitukset	-	-6...-10 %	-
Häiriöiden hallinta	-	-	-5...-20 %
Nopeuksien automaattivalvonta	-35 %	-34 %	0
Autojen ajovakauden hallinta	-17 %	-7 %	0
Autojen ylinopeusvaroitukset	-9 %	-6 %	-

Tähän työhön on kerätty älyliikenteen vaikuttavuustuloksia eri tutkimuksista. Näiden tulosten tarkoituksena on täydentää Kulmalan tekemää yhteenvetoa sekä keskittyä erityisesti välityskykyyn liittyviin mittareihin. Tulokset on kerätty useista eri tutkimuksista, jotka ovat koottu liitteeseen 3.

Eri tutkimuksista kerätyt vaikuttavuustulokset on esitetty taulukossa 4. Vertailtaviksi suureiksi on valittu välityskyky, matka-aika ja viivytys. Nämä suureet on valittu tarkasteltaviksi, koska matka-ajan parantuminen ja viivytyksen vähentyminen tarkoittavat lähes aina myös liikenteen sujuvuuden parantumista ja ruuhkautumisen vähentymistä. Tien ruuhkautuessa välityskyky alenee. Taulukossa 4 esitetään huonoin ja paras arvo, jolla kyseinen keino vaikuttaa välityskykyyn, matka-aikaan ja/tai viivytyksiin.

Taulukon 4 tuloksista huomaamme, että kaikilla valituilla keinoilla on positiivisia vaikutuksia liikenteen välityskykyyn, matka-aikaan tai viivytyksiin. Eniten tuloksia on saatavilla matka-ajan muutoksista. Automaattisesta nopeusvalvonnasta ei ollut tutkimustuloksia saatavilla tässä työssä tarkasteltavista suureista.

Taulukko 4. Älyliikenteen sovellusten vaikutustutkimusten tuloksia (useita tutkimuksia)

	Välityskyky	Matka-aika	Viivytys	Tutkimusten määrä	Ruuhkautuminen Kulmala (2009)	Vammautuneet (Kulmala 2009)
Sujuvuus/häiriötiedotus/reittiopastus			-13...-23 %	2	-1...-3 %	-1...-3 %
Liikennevalot		0...-39 %**	-19 % *	5	-3 %	-
Vaihtuvat nopeusrajoitukset		-5...-15 %		2		-6...-10 %
Automaattinen nopeusvalvonta					0 %	-34 %
Ramppiohjaus	+5...+15 %	-9...-40 %		5		
Leveän pientareen käyttö	+7...+22 %	-4 %		4		
Vaihtuvasuuntainen kaista	+5 %	-0...-40 %		2		
Häiriönhallinta		-17...-49 %	-1...-7 %	3	-5...-20 %	-

* Liikennevalojen optimointi

** Älykkäät liikennevalot

Vaikuttavuustulosten perusteella matka-ajat paranivat selvästi eniten häiriönhallinnan avulla, keskimäärin 42 %. Älykkäillä liikennevaloilla, ramppiohjauksella ja vaihtuvasuuntaisella kaistalla saavutettiin häiriönhallinnan jälkeen parhaat tulokset noin 20 %.

Muiden keinojen vaikuttavuus jäi selvästi alhaisemmaksi. Automaattisesta nopeusvalvonnasta ei ollut tutkimustuloksia saatavilla.

Välityskykyä oli mitattu vain muutamissa tutkimuksissa. Ramppiohjaus, leveän pientareen käyttö ja vaihtuvasuuntainen kaista paransivat välityskykyä keskimäärin 5-13 prosenttiin. Muista keinoista ei tutkimustuloksia ollut saatavilla.

Reittiopastuksella ja liikennevaloja optimoimalla viivytykset vähentyivät noin 20 prosenttia, mutta häiriönhallinnassa vaikutukset olivat vain vähäiset. Tutkimustulokset olivat saatavilla vain reittiopastuksesta ja tiedotuksesta, liikennevalojen optimoinnista ja häiriönhallinnasta.

Älyliikenteen keinoja on vaikea arvottaa keskenään pelkkien vaikuttavuustulosten perusteella. Vaikutukset vaihtelevat valtavasti mitattavasta suureesta ja tutkimuksesta riippuen. Sekä Kulmalan tekemän tutkimuksen että taulukkoon 4 kerätyistä tuloksista nousee esiin etenkin häiriönhallinta. Häiriönhallinnalla voidaan tehokkaasti vähentää ruuhkautumista ja parantaa matka-aikaa. Muiden keinojen tulokset vaihtelevat suuresti. Keinoja vertailtaessa on myös hyvä huomata, että tiedotuksen ja reittiopastuksen avulla myös liikennemäärä vähentyi paljon 6-40 prosenttia.

Useissa maissa on päätöksenteon tueksi kerätty tietoa älyliikenteen keinojen vaikutuksista ja arvioitu niiden tehokkuutta esimerkiksi parantaa liikenteen sujuvuutta tai lyhentää matka-aikoja. Taulukkoon 4 on koottu sekä Ruotsissa, Yhdysvalloissa että Uudessa-Seelannissa tehdyt arviot siitä, miten hyvin eri keinot parantavat tieliikenteen sujuvuutta. (Vägverket 2009b, James 2006) Taulukossa kolme plussaa tarkoittaa, että sujuvuus on parantanut selvästi ja kaksi plussaa, että sujuvuus on parantunut jonkin verran. Yksi plussa tarkoittaa, että sujuvuus on parantunut vain vähän tai vain harvoissa kohteissa.

Eri maissa tehdyt arviot ovat hyvin samansuuntaisia. Tutkimusten perusteella sujuvuutta voidaan parantaa tehokkaimmin liikennevaloja optimoimalla ja älykkäiden liikennevalojen avulla sekä ramppiohjauksella. Suurimmat erot ovat pysäköinninohjauksen vaikutuksia arvioitaessa. Tämän lisäksi sujuvuus paranee selvästi myös tiedotuksen avulla sekä vaihtuvilla nopeusrajoituksilla. Muissa tapauksissa tuloksia on vain yhdestä tutkimuksesta, vaikuttavuus on ollut vähäistä tai eri maiden tulokset ovat ristiriitaisia.

Taulukko 5. Eri maiden älyliikenteen keinojen arviointi

	Ruotsi Sujuvuus	USA Sujuvuus	Uusi-Seelanti Sujuvuus
Liikennevalojen optimointi	+++	+++	
Älykkäät liikennevalot	+++	+++	+++
Ramppiohjaus		+++	+++
Dynaaminen pysäköinninohjaus	+	++	+++
Matka-aikatiedotus/liikennetiedotus	++	+++	+++
Kelitiedotus		+++	++
Häiriönhallinta			+++
Kaistaohjaus	++		+
Automaattinen nopeusvalvonta	++		+
Vaihtuvasuuntaiset kaistat	+++		
Vaihtuvat nopeusrajoitukset	+++		++
Älykäs nopeudensäätely	+		

5.6.3 Suomeen soveltuvat keinot

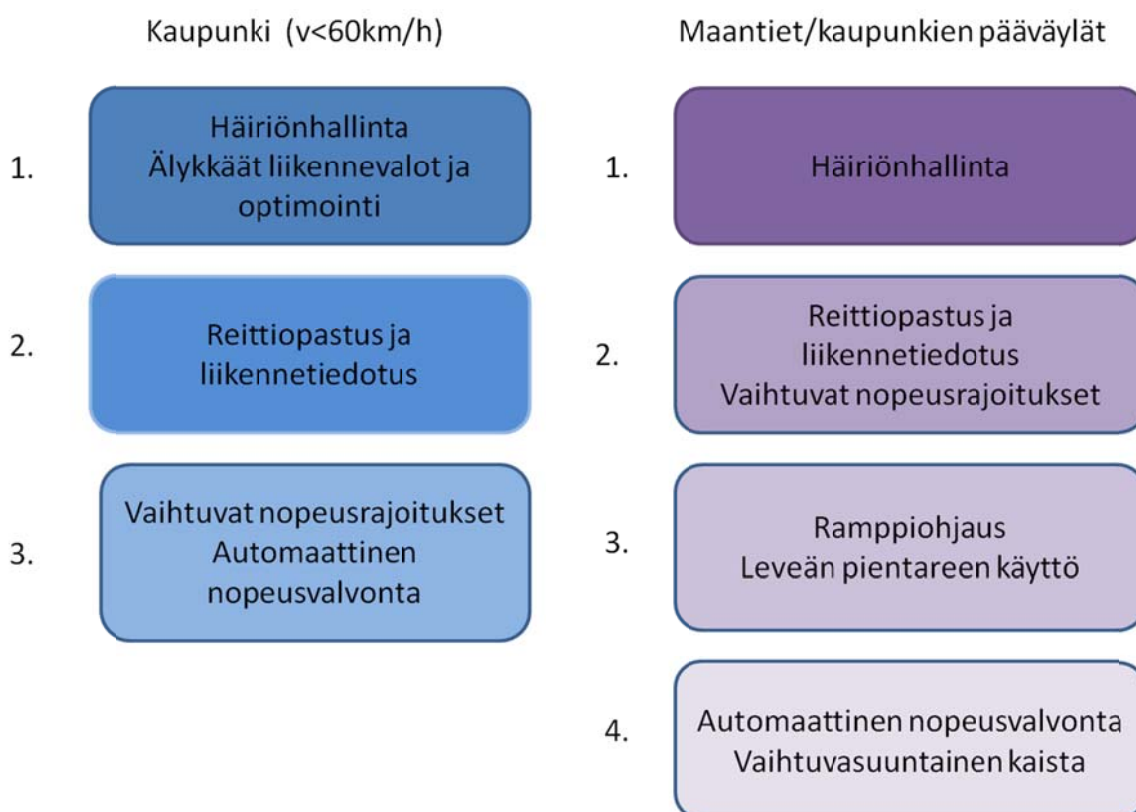
Kaikkia tähän työhön mukaan otettuja älyliikenteen keinoja voidaan käyttää Suomessa. Keinot eivät kuitenkaan välttämättä ole yhtä toimivia kuin esimerkiksi Keski-Euroopan erilaisissa liikenneoloissa. Tiedot älyliikenteen keinot voivat myös sopia paremmin Suomeen, vaikka muissa maissa tehdyissä tutkimuksissa tulokset ovat olleet päinvastaisia. Soveltuvuutta ja vaikuttavuutta suomalaisissa olosuhteissa on vaikea arvioida, koska vain harvoja älyliikenteen keinoja on vielä pilotoitu Suomessa tai edes samantapaisissa olosuhteissa. Paras mahdollinen keino riippuu paljon esimerkiksi tien profiilista, liikennemäärästä, ruuhkaisuudesta sekä sää- ja keliolosuhteista. Suomessa on tutkittu kattavasti lähinnä automaattisen nopeusvalvonnan vaikutuksia, mutta tutkimustuloksia välityskyvyn, matka-ajan tai viivytysten muutoksista ei ole saatavilla.

Tässä luvussa jaotellaan työssä käsitellyt tieliikenteeseen soveltuvat älyliikenteen keinot parhaimmasta huonompaa. Järjestys perustuu tehtyyn kirjallisuustutkimukseen sekä kahteen työpajaan. Keinojen arvottamiseen vaikuttaa myös yllä esiteltyt tutkimustulokset keinojen vaikuttavuudesta sekä Ruotsin, USA:n ja Uuden-Seelannin arviot eri keinojen vaikutuksesta sujuvuuteen. Järjestystä muodostettaessa on kiinnitetty erityisesti huomiota keinon käytettävyyteen Suomessa. On myös huomioitu, kuinka laaja-alaisesti keinoa voidaan hyödyntää tieverkolla. Mukana ei ole ajoneuvoteknologian sovelluksia eikä aktiivista liikenteen operointia. Keinoja arvioitaessa ei ole huomioitu kustannuksia, jos ne eivät ole hyötyihin nähden kohtuuttoman suuria.

Keinojen arvioinnissa on hyödynnetty Liikenneviraston ja VTT:n asiantuntijoille järjestettyä kahta työpajaa. Eri asiantuntijoiden arviota siitä, miten eri älyliikenteen keinot voivat parantaa tieliikenteen välityskykyä ja sujuvuutta vaihtelivat laajasti. Esille nousi kuitenkin, että kaupunkiliikenteessä parhaimmat keinot ovat selkeästi älykkäät liikenne-

valot ja liikennevalojen optimointi sekä häiriönhallinta. Häiriönhallinnan todettiin olevan erittäin tehokas keino ratkaista välityskykyongelmia myös maantiellä ja kaupunkien isoilla väylillä. Muiden keinojen vaikuttavuuden todettiin riippuvan vahvasti esimerkiksi paikasta ja sää-, keli- ja liikenneolosuhteista.

Kuvassa 27 on arvioitu tieliikenteen välityskykyä parantavat älyliikenteen keinot parhaimmasta huonompaan. Kuvaa tarkasteltaessa tulee huomioida, että tarkastelu on tehty hyvin karkeasti. Mukana on myös ruuhkautumisen vähentämisellä välityskykyä parantavat keinot. Keinojen todellinen vaikuttavuus ja toimivuus riippuvat esimerkiksi paikasta, jossa keinoa käytetään. Kuvan alla on lyhyesti perusteltu keinojen järjestys.



Kuva 27. Tieliikenteen välityskykyä parantavat keinot paremmuusjärjestyksessä

Suomen kaupunkiliikenteessä välityskykyä ja liikenteen sujuvuutta voidaan parantaa parhaiten häiriönhallinnalla ja älykkäillä liikennevaloilla sekä jo olemassa olevia liikennevaloja optimoimalla. Kaupunkiliikenteessä häiriöitä sattuu jatkuvasti ja vaikutukset näkyvät laajalti liikenteessä.

Toiseen ryhmään kuuluvat reittiopastus ja liikennetiedotus. Laajalla reittiopastuksella voidaan ruuhkautuvien katujen kuormaa jakaa muille väylille. Toimivalla täsmätiedotuksella voidaan jakaa liikennettä tasaisemmin, ennen kuin reaaliaikaista liikennetietoa käyttävä reittiopastus yleistyy. Tulevaisuudessa etenkin reittiopastuksen merkitys tulee kasvamaan, kun reaaliaikaista liikennetietoa käyttävät navigointipalvelut yleistyvät ajoneuvoissa.

Kolmannessa ryhmässä ovat nopeuden hallinnan keinot eli automaattinen nopeusvalvonta sekä vaihtuvat nopeusrajoitukset. Kaupungissa nopeudet ovat jo valmiiksi mata-

lat, joten nopeuksien laskemisen vaikutukset ole kovin suuret. Sopivilla ruuhkautuvilla osuuksilla voidaan suurtakin hyötyä toki saavuttaa.

Pääväylillä ja maanteilla käytössä on suurempi keinopatteristo. Tämän vuoksi keinot on jaettu neljään ryhmään. Kaupunkiliikenteen tavoin paras älyliikenteen keino välityskyvyn tehostamiseksi on häiriönhallinta. Tähän vaikuttaa erityisesti se, että suuri osa Suomen tieverkosta on vain kaksikaistaista, jolloin häiriöiden sekundääriset vaikutukset ovat suuret. Häiriönhallintaa voidaan soveltaa erilaisena erilaisille tieverkoille, joten se soveltuu kaikille ongelmakohteille.

Toiseen ryhmään kuuluvat reittiopastus ja liikennetiedotus. Suomen päätieverkolla kulkee usein rinnakkain kaksi tietä. Reittiopastuksen avulla voidaan liikenne jakaa tasaisemmin näiden teiden kesken ja parantaa pääväylän välityskykyä. Liikennetiedotuksen avulla voidaan reittivalintoihin vaikuttaa jo matkan alkuvaiheessa ja vähentää väylien ylikuormittumista. Tulevaisuudessa reittiopastuksen ja liikennetiedotuksen mahdollisuudet kasvavat ajoneuvotekniikan kehittyessä ja yleistyessä.

Myös vaihtuvat nopeusrajoitukset ovat hyvä keino päätiestön välityskyvyn parantamiseen, kun niitä käytetään oikein. Nopeusrajoituksia alentamalla voidaan ennalta ehkäistä liikenteen pysähtyminen ruuhka-aikoina. Toisaalta liikenneolosuhteiden, sään ja kelin salliessa voidaan nopeusrajoitusta nostaa tavanomaista korkeammaksi. Vaihtuvia nopeusrajoituksia voidaan käyttää suurella osalla Suomen tieverkosta.

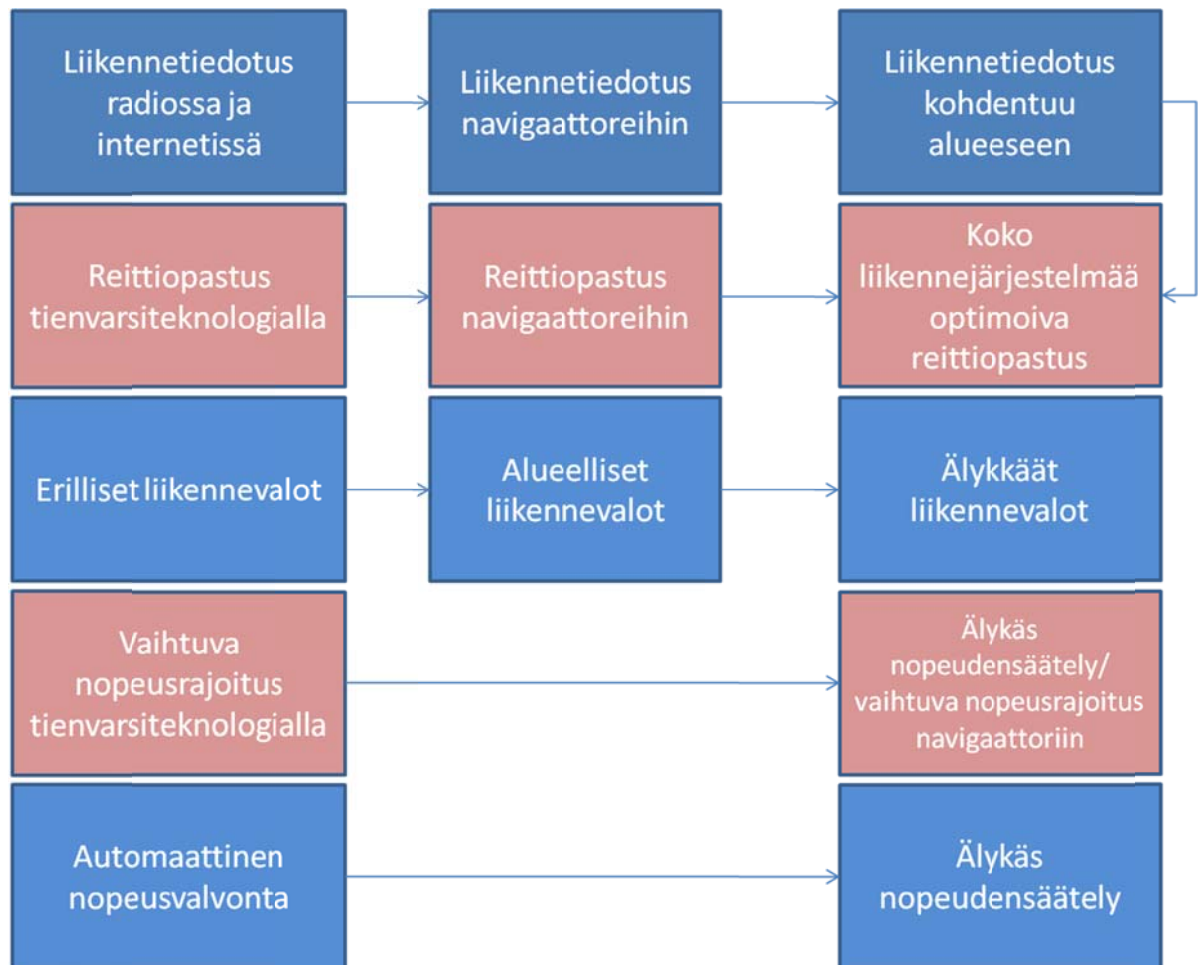
Leveän pientareen käyttö ja ramppiohjaus kuuluvat kolmanteen ryhmään. Vaikka ramppiohjauksella voidaan parantaa huomattavasti pääväylän välityskykyä, on sillä useita ongelmia. Rampilla viivytykset lisääntyvät ja osa liikenteen siirtyy käyttämään vaihtoehtoisia ympäristölle haitallisempia reittejä. Ramppiohjaus soveltuu harvoin kohteisiin Suomessa. Myös leveää pientareta voitaisiin hyödyntää vain muutamissa kohteissa Suomessa. Suurimmassa osassa Suomen tieverkkoa pientareet ovat niin kapeita, ettei niiden hyödyntäminen ole mahdollista. Kehäteille taas tiheä liittymäväli vaikeuttaa pientareiden käyttöä.

Viimeisessä kategoriassa ovat automaattinen nopeusvalvonta ja vaihtuvasuuntainen kaista. Automaattinen nopeusvalvonta kuuluu viimeiseen ryhmään, koska sen ei ole todettu suoraan parantavan välityskykyä. Vaihtuvasuuntaisen kaistan kustannukset suhteessa hyötyyn ovat olleet heikot useassa tutkimuksessa ja sopivan kohteen löytäminen on Suomessa haastavaa.

5.6.4 Tulevaisuuden keinot

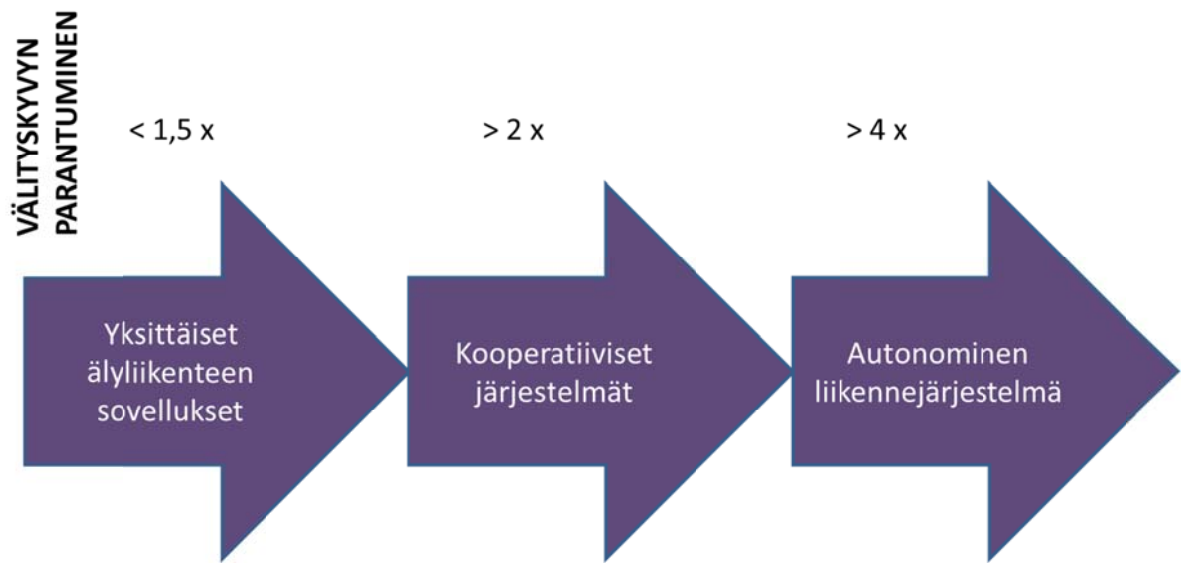
Digitalisoituminen ja tietotekniikan kehitys muuttavat nopeasti liikennetekniikkaa. Ajoneuvotekniikka yleistyy ajoneuvoissa ja älyliikenteen laitteet siirtyvät hiljaksen tienvarsilta osaksi ajoneuvoja.

Kuvassa 28 on esitetty yksinkertaistettuna muutamien tieliikenteen välityskykyyn vaikuttavien älyliikenteen sovellusten kehittyminen. Kaikkia sovelluksia yhdistää tiedon käytön lisääntyminen. Aikaisemmin käytössä oli vain aiemmin kerättyä tietoa, mutta nykyään sovelluksiin on mahdollista sisällyttää liikenteestä reaaliaikaisesti kerättyä tietoa. Osa sovelluksista osaa myös ennustaa liikenteen kehitystä aikaisemman liikennetiedon perusteella.



Kuva 28. Älyliikenteen sovellusten kehittyminen

Älyliikenteen keinojen kehittyminen vaikuttaa myös tieliikenteen välityskykyyn. Reaaliaikaisen liikennetiedon laajempi käyttö, yksilölliset älyliikenteen palvelut ja mahdollisuus optimoida yhä laajempien liikenneverkkojen liikennettä parantaa väistämättä välityskykyä. Kuvassa 29 on kuvattu älyliikenteen kehitystä yksittäisistä älyliikenteen sovelluksista kooperatiivisten järjestelmien kautta täysin automaattiseksi liikennejärjestelmäksi. Välityskyvyn tehostuminen on arvioitu hyvin karkeasti tämän työn pohjalta. Yksittäisten järjestelmien avulla välityskykyä voidaan parantaa noin puolitoista kertaiseksi häiriöiden vähentyessä tai jakamalla kysyntää tasaisemmin. Kooperatiivisten järjestelmien avulla voidaan välityskyky vähintään kaksinkertaistaa, jos oletetaan, että kaikki häiriöt voidaan käytännössä välttää ja koko liikennejärjestelmän liikkuminen voidaan paremmin ennakoida. Kokonaan automaattisella liikennejärjestelmällä välityskyky voidaan vähintään nelinkertaistaa, kun ajoneuvojen turvavälit voidaan minimoida, liikennejärjestelmästä saadaan täysin häiriötön ja yksittäisten ajoneuvojen liikkuminen voidaan optimoida. Todellisuudessa vaikutus voi olla suurempikin.



Kuva 29. Älyliikenteen kehittymisen vaikutus välityskykyyn.

6 Rautatieliikenteen välityskyvyn parantaminen

6.1 Yleistä

Suomen rataverkon välityskyky ei ole riittävä kaikilla Suomen rataosilla. Uusien raiteiden rakentaminen on kuitenkin hyvin kallis ja hidaskäyttöprosessi. Rautatieliikenteen välityskykyä voidaan parantaa myös monilla muilla tavoilla kuin vain uusien raiteiden rakentamalla.

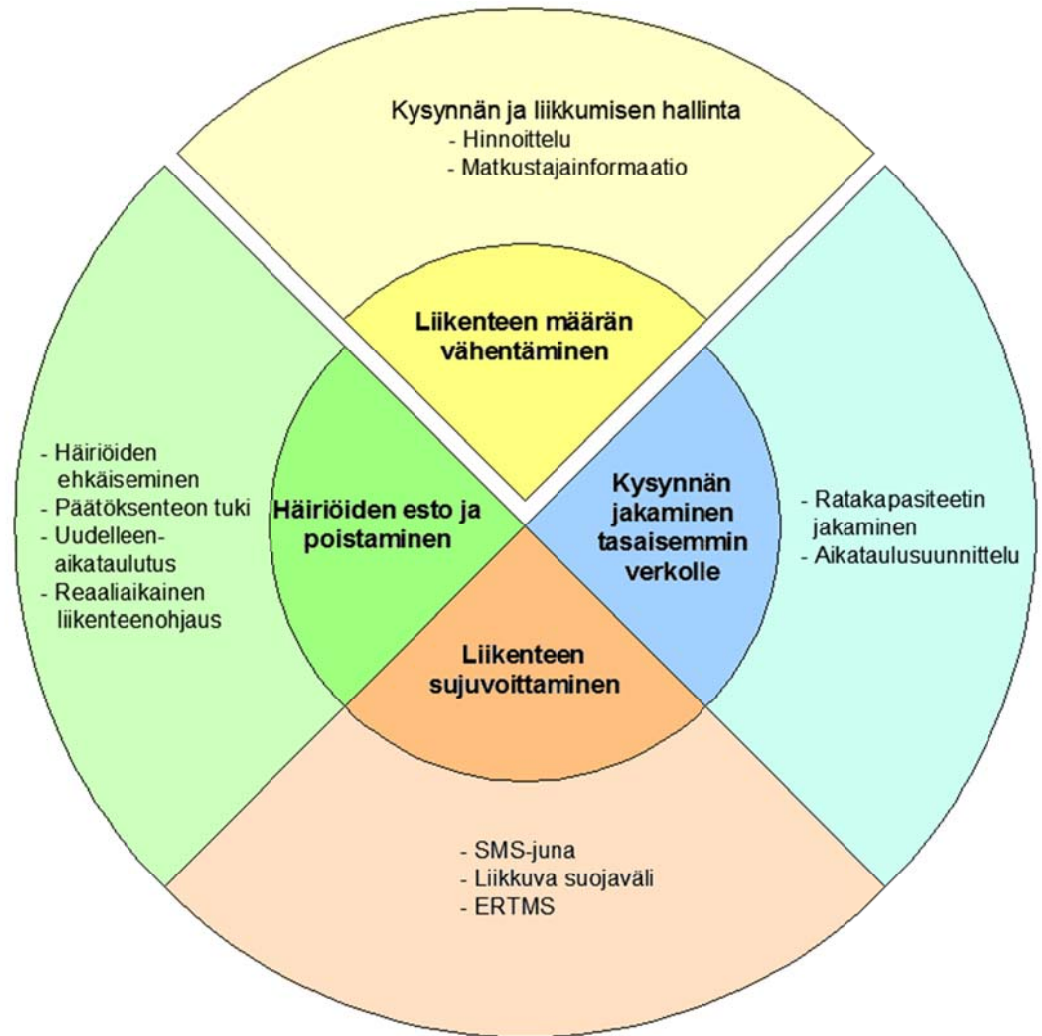
Rautatieliikenteen välityskykyyn vaikuttavia tekijöitä on esitelty kappaleessa 2. Välityskykyä voidaan parantaa esimerkiksi: (Pahl 2002)

- lisäämällä raiteita tai muokkaamalla esimerkiksi ratageometriaa
- poistamalla hitaita rataosuuksia
- muokkaamalla opastinjärjestelyjä
- muokkaamalla aikatauluja tai yhdenmukaistamalla liikennettä rataverkolla

Rautatieliikenteen välityskykyä voidaan tehostaa myös älyliikenteen avulla. Älyliikenteen keinot on jaoteltu samalla tavalla kuin tieliikenteen keinot eli keinon vaikutusmekanismien mukaan. Vaikutusmekanismeja ovat kysynnän jakaminen tasaisemmin, liikenteen sujuvoittaminen, häiriöiden estäminen ja poistaminen ja liikenteen määrän vähentäminen. (Kuva 30)

Liikenteen määrän vähentämiseen vaikuttavat keinot on rajattu tästä luvusta pois. Ratapuolella liikenteen vähentäminen tarkoittaa käytännössä sitä, että junista tehdään pidempiä. Tätä rajoittaa kuitenkin esimerkiksi akselipainot ja veturien tehot. Liikennettä voidaan vähentää myös esimerkiksi hinnoittelun avulla tai matkustajainformaatiota parantamalla. Rautatieliikenteessä liikenteen määrän vähentäminen ei yleensä ole toivottavaa, vaan päinvastoin liikennettä halutaan lisätä mahdollisimman paljon.

Rautatieliikenteen välityskykyä parantavia keinoja esitellään tässä työssä vain hyvin karkeasti, eikä tarkempiin teknisiin yksityiskohtiin paneuduta. Keinojen vaikuttavuutta ei pyritä arvioimaan, jos kansainvälisiä tutkimuksia ei aiheesta ole tehty. Eri keinoja ei arvioida suhteessa toisiinsa tai pyritä etsimään parasta mahdollista keinoa, koska tämä ei ole työn resurssien puitteissa mahdollista. Eri keinojen vaikuttavuudesta on saatavilla selvästi huonommin tietoa, kun tieliikenteen vastaavista keinoista.



Kuva 30. Rautatieliikenteen välityskykyä parantavat älyliikenteen keinot

6.2 Nykyiset liikenteenohjausjärjestelmät

Rautatieliikenteen ohjauksen tehtävänä on ohjata ja valvoa junien kulkua siten, että niillä on mahdollisuus kulkea aikataulujensa mukaisesti, turvallisesti ja tarkoituksenmukaisesti. Tämän lisäksi liikenteenohjauksella pyritään minimoimaan häiriöiden vaikutuksia liikenteelle.

Rautatieliikenteen liikenteenohjaus on monilta osin automatisoitu, ja siinä hyödynnetään useita älykkäitä järjestelmiä. Seuraavaksi on esitelty käytössä olevia pääasiassa rautatieliikenteen liikenteen ohjauksen järjestelmiä. Liikenteen ohjaus vaikuttaa paljon rautatieliikenteen välityskykyyn. Järjestelmät tulee tuntea, jotta ymmärretään niiden kehittämispotentiaali. (Ratahallintokeskus 2006) Erilaisia rautatieliikenteen liikenteenohjausjärjestelmiä on esitelty kuvassa **Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.**

Suojastus ja kauko-ohjaus

Liikenteen ohjauksen järjestelmät vaihtelevat eri maissa, mutta niiden toimintaperiaatteet ovat pääosin samanlaisia. Suojaus ja kauko-ohjaus luovat perusedellytykset liiken-

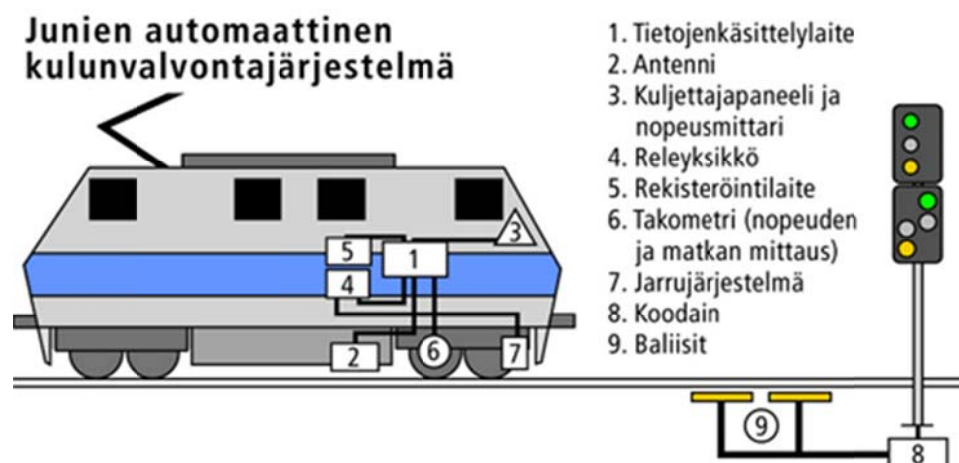
teen ohjaukseen ja valvontaan. Suojastuksen avulla varmistetaan junakulkutieraiteiden vapaana olo. Suojastetulla radalla liikenne on turvattu opastimilla, joilla liikennettä ohjataan suojaväliltä toiselle. Opastimen opasteesta nähdään onko seuraava osuus vapaana vai ei. Vain yksi juna kerrallaan voi saada varmistetun kulkutien tietylle rataosuudelle, joten suojavälien pituus vaikuttaa paljon siihen, kuinka suuri radan välityskyky on. Turhan pitkistä väleistä aiheutuu muulle liikenteelle suuriakin viiveitä. (Ratahallintokeskus 2011)

Kauko-ohjaukselle varmistetaan junan kulkutie reitin alku- ja päätepisteen välillä ja toteutetaan junan kulkutiehen liittyvät toimenpiteet. Kulkutiehen kuuluvat sillä olevat opastimet, vaihteet, raiteensulut ja raideosuudet. Suomen vilkkaimmat rataosat kuuluvat kauko-ohjauksen piiriin ja muita rataosia hallitaan radio-ohjauksella.

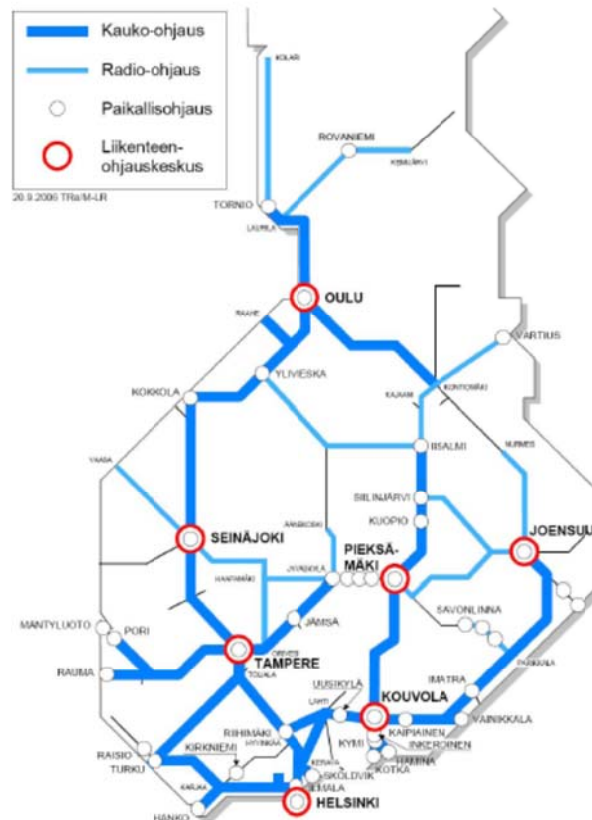
Junien automaattinen kulunvalvonta

Suomessa junien kulkua hallitaan junien automaattisen kulunvalvonnan (JKV) avulla. Järjestelmä varmistaa junan suurimman sallitun nopeuden, opastimien opasteiden ja nopeusrajoitusten noudattamisen, ja tarpeen vaatiessa hidastaa junan nopeutta. Järjestelmä myös kertoo kuljettajalle ennakkotietoa opastimista, nopeusrajoituksista ja vaihteista. Kaikki Suomen tärkeimmät rataosat on varmistettu kuluvalvonnalla. Jos kulunvalvontalaitteita ei ole, junan suurin sallittu nopeus on 120 km/h. (Ratahallintokeskus 2011)

Kulunvalvonnan toteutus vaikuttaa olennaisesti siihen, kuinka tehokkaasti radan välityskykyä voidaan hyödyntää. Lisäämällä rataverkolle junan seurantapisteen määrää saadaan veturilaitteelle ajantasaisempaa opastintietoa edellä olevasta tilanteesta. Näin voidaan välttää turhia jarrutuksia ja hyödyntää olemassa oleva välityskyky mahdollisimman tehokkaasti. (Ratahallintokeskus 2011)



Kuva 31. Junan automaattinen kulunvalvontajärjestelmä (Ratahallintokeskus 2011)



Kuva 32. Suomen rataverkon liikenteen ohjaus vuoden 2006 lopussa (Suvanto ja Mäkitalo 2006)

Liikennekeskukset

Liikennevirasto vastaa liikenteenohjauksesta ja sen järjestämisestä Suomen rataverkolla. Rataverkon liikenteenohjaukseen kuuluu 7 alueellista liikenteenohjauskeskusta ja 20 liikenteenohjauspistettä eri puolilla Suomea sekä Rataliikennekeskus, Infokeskus ja kuljetustenhallintakeskus Helsingissä. Alueellisten ohjauskeskusten työntekijät ovat VR Osakeyhtiön palveluksessa. (Ratahallintokeskus 2009)

Liikenneviraston rataliikennekeskus eli valtakunnallinen liikenteenohjaus koordinoi liikenteen kokonaisuutta. Se valvoo koko rataverkon liikennettä sekä koordinoi tarvittaessa alueellista liikenteenohjausta. Rataliikennekeskus ylläpitää rautatieliikenteen liikennetilannekuvaa, vastaa häiriönhallinnasta koko rataverkolla sekä häiriötilannevies-tinnästä. Myös kiireellisen ratakapasiteetin jakaminen kuuluu rataliikennekeskuksen tehtäviin. Rataliikennekeskus myös päättää poikkeustilanteissa ratatöiden ja liikenteen yhteensovittamisesta sekä hyväksyy poikkeukselliset liikennejärjestelyt. (Ratahallinto-keskus 2009)

Alueellisessa liikenteenohjauksessa hoidetaan kunkin alueen liikenteen operatiivinen ohjaus ja valvonta. Alueohjaus johtaa oman alueensa liikenteenohjauksesta sekä sen tehtäviin kuuluu myös liikenteen suunnittelua, valvontaa, tulevien tilanteiden ennakoimista, toteutumisen seuranta ja raportointia sekä häiriötilanteiden hoitamista. Alueellisen lii-

kenteenohjauksen tehtävänä on myös ilmoittaa rataliikennekeskukselle tietoja, jotka ovat oleellisia liikennetilannekuvan ylläpitämistä varten. (Ratahallintokeskus 2009)

Alueellisten liikenteenohjauskeskusten ja rataliikennekeskuksen lisäksi rautatieliikenteen ohjaukseen osallistuu Infokeskus ja VR:n kuljetushallintakeskus. Infokeskus vastaa matkustajainformaation antamisesta Etelä-Suomessa eli vastuu on siirretty pois liikenteenohjaajilta. Tulevaisuudessa Infokeskuksen toimintaa tullaan mahdollisesti laajentamaan kattamaan koko Suomen rataverkko. VR:n kuljetushallintakeskus puolestaan huolehtii kalustokierrosta ja korvaavista kuljetuksista sekä vastaa häiriötilanteiden hallinnan johtamisesta kuljetusten näkökulmasta. (Ala-Laurinaho et al. 2009)

LIIKE

Vuosien 2010–2012 aikana otetaan vaiheittain käyttöön ratakapasiteetin hallinnan tietojärjestelmä (LIIKE). Rautatieliikenteen avautuminen toi tarpeen tietojärjestelmälle, joka tukee toimintaa monen liikennöitsijän toimintaympäristössä. LIIKE-järjestelmällä voidaan hallita ratakapasiteettia useamman rautatieyrityksen toimintaympäristössä, ja samalla siinä voidaan keskitetyksi hallita useita tietojärjestelmiä. Keskitetty tieto palvelee samanaikaisesti useita käyttäjiä kuten Liikennevirastoa, liikennöitsijöitä, liikenteenohjauksen käyttäjiä sekä esimerkiksi radan rakennuttajia ja urakoitsijoita tai Rautatievirastoa.

LIIKE-järjestelmän toiminnallisuuksia ovat muun muassa: (Liikennevirasto 2010a)

- Säännöllisen liikenteen ratakapasiteetin hakeminen ja jakaminen
- Ratakapasiteetin operatiivinen hallinta
- Integraatiot ulkopuolisiin järjestelmiin

Syksyllä 2010 on otettu käyttöön ensimmäinen vaihe, jolloin LIIKE-järjestelmän kautta hoidetaan säännöllisen ratakapasiteetin jakaminen. Seuraavien vaiheiden aikana otetaan käyttöön muut operatiivisen toiminnan työkalut. (Liikennevirasto 2010a)

JUSE

Suomessa junien kulkua seurataan automaattisen junien kulun seurantajärjestelmän (JUSE) avulla. JUSE kirjaa automaattisesti junan ohitushetken mittausasemalta ja laskee mahdollisen myöhästymisen huomioiden myöhästymiskriteerin. Häiriöt luokitellaan JUSE:ssa 12 pääluokkaan. (Liikennevirasto 2010c)

JUSEa käytetään hyväksi sekä päivittäisessä operatiivisessa liikenteenohjauksessa että liikenteen täsmällisyystilastointien teossa. Liikenteenohjaus voi JUSEn avulla seurata reaaliaikaisesti, mitä liikenteessä tapahtuu. JUSEn avulla poikkeamatieto voidaan välittää automaattisesti kaikille junan kulusta kiinnostuneille liikenteenohjaajille. Junien reaaliaikaista tilannetta voidaan hyödyntää häiriötilanteiden ennaltaehkäisemisessä ja hoitamisessa. (Liikennevirasto 2010c)

6.3 Liikenteen sujuvoittaminen

Raideliikenteen sujuvoittamiseksi on olemassa monia älyliikenteen keinoja. Keinot vaihtelevat teknisten laitteiden parantamisesta ihmisen tietoisuuden parantamiseen. Paikannustekniikan kehittyminen mahdollistaa uusien rautatieliikennettä sujuvoittavien keinojen syntymisen ja vanhojen keinojen kehittymisen. Liikenteen sujuvuuden parantaminen parantaa samalla radan välityskykyä.

Tässä luvussa esiteltävät liikennettä sujuvoittavat keinot ovat radio-ohjattujen rataosien lähtölupamenettelyn automatisointi, liikkuva suojaväli ja Eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmät (ERTMS). Suuri osa näistä keinoista on parannuksia nykyisiin järjestelmiin, jolloin keinojen käyttöönotto on kohtuullisen helppoa täysin uusiin teknisiin ratkaisuihin verrattuna.

Häiriönhallinnan keinot sujuvoittavat myös liikennettä häiriöiden vähentyessä joko välittömästi tai välillisesti. Tässä työssä keinot on jaettu niin, että jos niillä voidaan ensisijaisesti vaikuttaa häiriötilanteiden tehostamiseen, ovat ne osa häiriönhallintaa.

6.3.1 Radio-ohjattujen rataosien lähtölupamenettelyn automatisointi

Radio-ohjattujen rataosien lähtölupamenettelyn automatisointi on yksi jo käytössä olevista hyvin toimivista älyliikenteen keinoista Suomessa. Aikaisemmin lähtöluvan antoi radio-ohjatuilla rataosilla liikenteen ohjaaja yleensä suullisesti puhelimitse. Tämä vei kuitenkin turhaan liikenteen ohjaajien aikaa, ja saattoi myöhästyttää junan lähtöä, jos liikenteen ohjaaja unohti antaa junalle lähtöluvan. (Haapakoski 2010a,b)

Ilmenneisiin ongelmiin löydettiin ratkaisuksi lähtölupamenettelyn automatisointi. Radio-ohjattujen rataosien lähtölupamenettelyä kehitettiin siten, että lähtölupa voidaan lähettää automaattisesti veturinkuljettajan työpuhelimeen. Lähtölupa-automaatti lähettää lähtöluvan tekstiviestinä oikeaan aikaan junaturvallisuusehtojen täytyttyä. Jos luvan lähettäminen ei onnistu, ilmoittaa automaatti siitä liikenteen ohjaajille, jotka voivat tällöin antaa luvan radiolla. (Haapakoski 2010a,b)

Automaattisen lähtöluvan hyötynä on liikenteen ohjaajien työn väheneminen. Liikenteen ohjaajat voivat käyttää rajallista kapasiteettiaan tärkeämpiin tehtäviin kuten liikenteen suunnitteluun. Automaattien avulla liikenteen ohjaajat eivät enää voi unohtaa lähtöluvan antamista, joten tästä johtuvia viiveitä ei synny enää näillä rataosilla. (Haapakoski 2010a,b)

Automaattista lähtölupaa on kokeiltu Suomessa, ja se on tällä hetkellä käytössä muutamilla rataosilla. Kokeilun perusteella automaattista lähtölupamenettelyä pidettiin hyvin onnistuneena. Järjestelmän teknisessä toimivuudessa, käyttäjien toimintavaatimuksissa ja vaikutuksissa junaliikenteen turvallisuuteen ja täsmällisyyteen ei ilmennyt mitään, mikä estäisi lähtölupakäytännön ottamisen tuotantokäyttöön. Aikaisempien poikkeamien avulla tehdyt tarkastelut osoittivat turvallisuuden mahdollisesti jopa parantuneen. Täsmällisyydestä tarkastelut eivät osoittaneet lupakäytännön vaikuttaneen aikataulussa pysymiseen. (Haapakoski 2010a,b)

6.3.2 Liikkuva suojaväli

Suojavälin pituus vaikuttaa paljon radan välityskykyyn. Turhan pitkät suojavälit aiheuttavat muulle liikenteen viiveitä, kun ne joutuvat odottamaan välin vapautumista. Suojavälin pituuden vaikutusta on tarkasteltu tarkemmin luvussa 2.3.

Liikkuvalla suojavälillä tarkoitetaan sitä, ettei suojaväli ole enää kiinteästi määritetty opastein rataverkolle, vaan se muuttuu jatkuvasti junan liikkeen mukana. Käytettäessä liikkuvaa suojaväliä junien liikkeitä valvotaan jatkuvasti ja junat pidetään automaattisesti jarrutukseen tarvittavan etäisyyden päässä toisistaan. (UIC 2010)

Liikkuvan suojavälin hyötynä on, että junat voivat liikennöidä lähempänä toisiaan kuin kiinteillä suojaväleillä. Liikkuvan suojavälin pituuden on oltava riittävä, jotta juna ehtii pysähtyä, jos edellä kulkeva juna pysähtyy. Liikkuva suojaväli parantaakin radan välityskykyä, ja sen odotetaan vähentävän myös raideliikenteen viiveitä. Sen avulla voidaan myös käyttää raideinfrastruktuuria nykyistä tehokkaammin. (UIC 2010) Liikkuvalla suojavälillä voidaan parantaa välityskykyä noin 10 prosenttia tyypillisellä eurooppalaisella kaksiraiteisella rataosalla, jossa on sekalaista liikennettä. (Pachl 2004)

Liikkuvalla suojavälillä saavutetaan paras hyöty silloin, kun junien nopeudet ovat mahdollisimman yhtenäisiä. Liikkuvan suojavälin todellisia hyötyjä epäillään myös samasta syystä, koska liikenteen laatu ja aikataulut vaikuttavat radan välityskykyyn paljon enemmän kuin suojavälien pituudet. Jos suojavälien pituudet ovat jo valmiiksi hyvin lyhyet, ei suuria parannuksia välityskykyyn voida saavuttaa. (Pachl 2004, UIC 2010)

6.3.3 ERTMS

Eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän (ERTMS) tarkoituksena on koko Euroopan yhtenäinen hallintajärjestelmä. Tällä hetkellä Euroopan rautateilla on käytössä yli kaksikymmentä erilaista merkinanto- ja nopeusjärjestelmää. Useat erilaiset järjestelmät ovat este rajan yli kulkevalle liikenteelle ja tällä tavoin kansainvälisen rautatieliikenteen kehittymiselle. Yhteinen eurooppalainen järjestelmä mahdollistaa tehokkaamman ja laajemman kilpailun rautateiden kuljetusmarkkinoilla, sillä rautatieyritys voisi toimia monissa Euroopan maissa samalla kalustolla. (Euroopan yhteisöjen komissio 2005)

ERTMS:n tavoitteena on yhtenäistää eri maiden välillä tai maiden sisällä käytössä oleva liikenteenohjaustekniikka sekä vähentää järjestelmistä johtuvia kustannuksia ja liikenteelle aiheutuvia haittoja. Lisäksi ERTMS:llä pyritään lisäämään raideliikenteen välityskykyä, parantamaan turvallisuutta ja käytettävyyttä sekä alentamaan elinkaarikustannuksia. (Järvinen 2010)

ERTMS:ssä on kaksi osaa: Eurooppalainen liikenteenohjausjärjestelmä (ETCS European Train Control System) ja rautateiden integroitu liikenneviestintäjärjestelmä (GSM-R). ETCS on automaattinen junanvalvontajärjestelmä (ATM), joka korvaa kansalliset vastaavat järjestelmät. Nykyinen junien kulunvalvonta korvataan 2020-luvulla ETCS:llä. ETCS:n avulla voidaan veturinkuljettajalle välittää tietoja sallitusta nopeudesta ja myös valvoa, että tätä nopeutta noudatetaan. (ERTMS 2011)

ERTMS on jaettu kolmeen eri tasoon: Ensimmäinen taso vastaa teknisesti Suomen rautateiden automaattista kulunvalvontaa, mutta se on yhteensopiva muiden eurooppalaisten järjestelmien kanssa. ERTMS:n tasossa 1 tiedonsiirto radanvarsilaitteistosta veturiin tapahtuu yksisuuntaisesti ja pistemäisesti baliiseilla tai vaihtoehtoisesti lähes jatkuvasti

johdinsilmukoilla. Radan varressa on näkyvät opastimet ja veturissa on veturilaite nopeudenvälvontaa varten. (ERTMS 2011)

ERTMS:n toisen tason muutokset liittyvät pääosin tiedonsiirtoon. Tasosta 1 poiketen tiedonsiirto veturiin tapahtuu radioteitse GSM-R -tekniikalla. Radioviestintäjärjestelmä mahdollistaa äänen ja tiedon siirtämisen radan ja veturin välillä. GSM-R käyttää erityisesti rautateille osoitettuja taajuuksia, mutta baliiseja käytetään kuitenkin täydentämään ja varmistamaan siirrettyä tietoa. Suomessa on jo rakennettu valmiiksi GSM-R-verkko, mutta sen ylläpito ja peiton parantaminen vaativat edelleen kehitystä. Tasossa 2 ei tarvita enää radan varren opastimia, ja se tuo jatkuvatoimisen kulunvalvonnan rautateille. ERTMS: toinen taso tuo mukanaan mahdollisuuden suurempaan välityskykyyn. (ERTMS 2011)

Ensimmäisellä ja toisella tasolla junan paikallistamiseen käytetään akselinlaskentaa ja raidevirtapiirejä. Kolmannella tasolla nämä korvataan junan kokonaisuuden valvonnalla ja paikannuslaitteilla. Tämän ansiosta junat voivat kulkea nopeuksista ja muista olosuhteista riippuvan matkan päässä toisistaan, eivätkä kiinteät opastimet enää rajoita tätä. Suojastuksena voidaan käyttää kiinteä, liikkuvaa tai virtuaalista suojastusta. (ERTMS 2011)

ETCS:n kolmannen tason ansiosta voidaan raideliikenteen kapasiteettia parantaa huomattavasti. Kun kulunvalvontajärjestelmä ei ole enää sidottu kiinteisiin opasteisiin, voi rataosille päästää junia tiheämmin ja tällä tavoin parantaa välityskykyä. Junan mukana liikkuva suojaväli mahdollistaa vielä tiheämmän kulun. Välityskyvyn tehostaminen tapahtuu rautatieliikenteessä turvallisuuden ehdoilla, eikä pieniäkään riskejä oteta. Tämän takia ERTMS:n pääsy tasolle 3 voi kestää hyvin kauan. Kaikkien rautatieliikenteen järjestelmien täytyy olla täysin luotettavia, ja niiden rinnalla on oltava vielä erilliset varajärjestelmät. (ERTMS 2011)

Euroopan rautatieteollisuusliiton mukaan voitaisiin ETCS:n avulla lisätä reittien välityskykyä 2-20 % verrattuna olemassa oleviin järjestelmiin. ERTMS:n omien sivujen mukaan välityskyky voi tehostua jopa 40 prosenttia. (ERTMS 2011)

Tällä hetkellä saatavilla on ETCS:n tasojen 1 ja 2 ratkaisut. Suomessa valitaan rataosakohtaisesti, kumpi tasoista valitaan toteutettavaksi. Ratkaisu perustuu kokonaisvaltaiseen arvioon, jossa huomioidaan muun muassa rautatieliikenteen kapasiteettitarve, asetinlaitteiden elinkaarenhallinta ja veturilaitteiden asennustilanne alueella liikennöivässä kalustossa. (Järvinen 2010)

Ensimmäiset ERTMS-rataosuudet tulevat Suomeen arviolta 2019-2025. Kriittinen määrä käytettävästä kalustosta on oltava varustettu ennen rataosuuden varustamista ERTMS-laitteistolla. (Järvinen 2010)

Voi olla, että Suomessa joudutaan siirtymään ERTMS:n kokonaan aiottua aikaisemmin, koska nykyisten JKV-laitteiden elinkaari voi päättyä laitteiden käyttöiän päättymistä aiemmin laitetoimittajista johtuvista syistä.. Toisaalta Suomella ei ole yhtä kiire siirtyä ERTMS:n käyttäjiksi kuin muilla Euroopan mailla, koska rataverkkomme ei ole yhteydessä eurooppalaiseen verkkoon. (Järvinen 2010)

6.4 Kysynnän jakaminen tasaisemmin verkolle

6.4.1 Aikataulusuunnittelu

Käytettävällä aikataululla on suora vaikutus rataosan välityskykyyn. Välityskykyä saadaan lisättyä ryhmittelemällä samanlaisia junia kulkemaan peräkkäin, jolloin välityskyky jää vapaaksi lisäliikennettä ja kunnossapitoa varten. Tällöin junien välille jää myös bufferiaikaa, jolloin yksittäinen häiriö ei vaikuta suoraan muuhun liikenteeseen. Junien ryhmittely peräkkäin ei kuitenkaan yleensä ole matkustajien ja liikennöitsijän toiveiden mukainen järjestely. Älyliikenteellä voidaan aikataulusuunnittelua tehostaa monella tavalla.

Simuloinnilla voidaan ennaltaehkäistä ongelmia ratakapasiteetin jakamisen yhteydessä ja näin välttää häiriöitä. Simuloimalla voidaan tarkastaa yksittäisten junien aikataulut. Aikataulujen tarkastamisella on erittäin tärkeä rooli. Mikäli aikatauluvirheitä ei havaita yksittäisten junien aikataulujen yhteensovittamisvaiheessa, virheet tulevat esille vasta liikenteessä. Jos junat eivät pysy aikataulussaan, myöhästymiset aiheuttavat viivytyksiä eri puolille rataverkkoa. (Musto 2007)

Simuloinnin avulla nähdään myös, että aikatauluvaihtoehdot on esitetty kokonaisuudessaan oikein ja ne toimivat perustilanteessa ilman viivytyksiä. Tämän lisäksi voidaan simuloida häiriötilanteita, jotta tiedetään miten aikataulut toimivat lievissä häiriötilanteissa. Simuloinnin avulla voidaan myös järjestää aikatauluvaihtoehdot liikenteelliseltä kannalta paremmuusjärjestykseen. (Musto 2007)

Simuloinnin avulla voidaan löytää liikenteestä pullonkauloja sekä tehdä kapasiteettitarkasteluja. Simuloinnilla voidaan myös arvioida ennalta tiedossa olevien häiriöiden kuten ratatöiden vaikutusta liikenteeseen. Samalla saadaan tietoa siitä, miten häiriöt leviävät ja millaisia sekundäärisiä vaikutuksia kyseisellä primääri syyllä on. Simuloinnin ongelmana on kuitenkin se, että häiriölähteet on etukäteen valittu, joten tulokset ovat aina jonkin verran epätodellisia. (Musto 2008) Tähän osittainen ratkaisu voisi olla reaaliaikainen simulointi, jolloin simuloitaisiin häiriötilannetta reaaliaikaisesti.

Aikataulusuunnittelun apuna voidaan käyttää tietokoneohjelmia. Tietokoneavusteinen aikataulusuunnittelu käyttää samoja sääntöjä kuin manuaalinen suunnittelu. Ohjelmat eivät vielä tällä hetkellä huomaa kaikkia aikataulutuksen vaatimuksia, etenkin jos kyseessä ovat monimutkaiset ratajärjestelyt. Tämän takia tietokoneavusteinen suunnittelu tarvitsee edelleen rinnalle paljon kokemusta. (Pachl 2002)

Tietokoneavusteisella suunnittelulla voidaan jo nykyään tehostaa aikataulusuunnittelua ja ennaltaehkäistä huonon aikataulun aiheuttamia ongelmia. Ohjelmat osaavat automaattisesti esimerkiksi laskea junien väliin tarvittavat bufferointiajat ja huomata aikataulussa olevia konflikteja. Tietokoneavusteinen suunnittelu vaatii hyvin tarkan tietokannan esimerkiksi infrastruktuurista, käytettävissä olevasta kalustosta, liikenneverkon nopeusrajoituksissa ja liikenteen ohjauksesta, jotta blockiaikoja on mahdollista laskea. Tulevaisuudessa tulee ohjelmia, jotka eivät enää ainoastaan huomaa aikatauluissa olevia konflikteja vaan antavat ehdotuksia, miten konfliktit kannattaisi ratkaista perustuen aikaisempaan tietoon ja toteutuneeseen tietoon. Nämä ovat siis itseoppivia järjestelmiä.

Aikataulusuunnittelijoita voitaisiin opettaa myös tunnistamaan täsmällisyyteen liittyviä ongelmakohtia aikatauluista. Nash ja Ullius (2004) ovat kehittäneet ohjelman, joka analysoi eroja suunnittelun ja toteutuneen aikataulun välillä. Tuloksista suunnittelijoiden on

helppo nähdä, miten tehdyt valinnat ovat vaikuttaneet liikenneverkon välityskykyyn ja häiriöihin ja mitkä kohdat aiheuttavat merkittäviä tai toistuvia ongelmia.

Simuloimalla aikatauluja ja hyödyntämällä tietokoneohjelmia aikataulusuunnittelussa voidaan aikatauluista tehdä toimivampia ja välttää liikenteeseen vaikuttavia virheitä. Vaikka aikataulusuunnittelua avustavat ohjelmat ja simuloiminen ovat tulleet yhä yleisemmäksi, ei niillä vielä voida korvata ihmisen tekemään työtä kokonaisuudessaan. Tarkkoja tietoja näiden keinojen vaikutuksesta liikenteen välityskykyyn ei ole, mutta aikatauluilla voidaan vaikuttaa selvästi liikenteen välityskykyyn. Toimiva aikataulu parantaa liikenteen välityskykyä.

Tulevaisuudessa aikataulusuunnittelu siirtyy yhä enemmän tietokoneiden tehtäväksi. Simuloinnin kehittyessä, voidaan jokainen aikataulu testata jo etukäteen simuloimalla ja valita tällä tavoin paras mahdollinen aikataulu. Reaaliaikaisuus näkyy myös yhä enemmän aikatauluissa, ja häiriötilanteissa aikataulu päivittyy automaattisesti reaaliaikaisen liikennetiedon mukaan. Tällaisia ratkaisuja on esitelty enemmän luvussa 6.5.1.

6.4.2 Ratakapasiteetin peruminen

Liikennöitsijät eivät käytä kaikkea hakemaansa ratakapasiteettia. Tarpeetonta ratakapasiteettia ei kuitenkaan usein peruta ajoissa, koska ratakapasiteetin peruminen on tällä hetkellä melko vaikeaa. Hankala käytäntö ei kannusta perumaan tarpeetonta kapasiteettia ajoissa. Säännöt eivät myöskään vaadi liikennöitsijöitä perumaan varattua kapasiteettia, joita he eivät tarvitse. Liikennöitsijöiden ei tarvitse myöskään maksaa peruuttamattomasta ratakapasiteetistä, jos he eivät ole sitä käyttäneet.

Liikennöitsijöiltä käyttämättä jäänyttä kapasiteettia voitaisiin hyödyntää esimerkiksi ratatöiden tekemiseen. Tämän vuoksi ratakapasiteetin perumista halutaan yksinkertaistaa ja kannustaa kapasiteetin aikaiseen perumiseen. Ratakapasiteetin peruminen helpottuikin selvästi LIIKE-järjestelmän myötä. Tämä tekee kapasiteetin perumisen ajoissa huokuttelevammaksi liikennöitsijöille, ja kaikki vapaana oleva kapasiteetti saadaan tehokkaammin käyttöön.

6.5 Häiriönhallinta

Rautatieliikenteen häiriönhallinnalla tarkoitetaan toimintaa häiriötilanteiden seuraamiseksi ja hoitamiseksi tiedotusta unohtamatta. (Liikennevirasto 2010c)

Rautatieliikenteen häiriönhallinnassa on tiettyjä ominaispiirteitä verrattuna muihin liikennemuotoihin. Rautatieliikenteessä pieninkin häiriön vaikutusalue voi olla hyvin suuri kerrannaisvaikutusten vuoksi. Toisaalta häiriön vaikutus voi kohdistua vain yhteen junaan, jos liikennöintiäika tai paikka on sopiva. Rautatieliikenteessä puuttuu yleensä myös vaihtoehtoinen reitti, joten häiriö radalla pysäyttää yleensä koko radan liikenteen. Rautatieliikenteessä on myös totuttu aikataulujen pitävyyteen minuuttitasolla, kun taas esimerkiksi tieliikenteessä ruuhkista johtuvat viivytykset koetaan normaaliksi. (Levo et al. 2004)

6.5.1 Häiriötilanteiden ehkäiseminen

Häiriönhallinnassa ensisijaisena tavoitteena on ehkäistä häiriötilanteiden syntyminen. Häiriötilanteiden ehkäisemiseksi tulee tapahtuneet häiriöt ja niiden syyt kirjata mahdollisimman tarkasti. Kun on tiedossa minkälaisia häiriöitä tapahtuu ja missä ne tapahtuvat,

voidaan häiriöitä aiheuttaviin syihin puuttua sekä ehkäistä uusien häiriöiden syntyminen. JUSEn avulla häiriöiden syyt kirjautuvat muistiin tai joiden sekundääriset vaikutukset ovat suuret. (Liikennevirasto 2010c)

Häiriönhallinnan kehittämisessä olisi tärkeää analysoida nykyistä tarkemmin mistä häiriöt johtuvat. Tällä hetkellä häiriöiden analysointi ja täsmällisyyden tarkkaileminen antavat melko hyvän kuvan häiriöistä yleisellä tasolla. Tarkemmalla analyysillä pienetkin, mutta merkittävät häiriöiden syyt pystyttäisiin havaitsemaan. Analyysin avulla voitaisiin myös arvioida paremmin häiriöiden sekundäärisiä vaikutuksia. Tunnistamalla häiriöiden syyt, voidaan niihin vaikuttaa ennaltaehkäisevästi ja estää häiriöiden synty tai vähentää häiriöiden vaikutuksia. GPS-laitteiden yleistyessä junissa, voidaan häiriöt myös paikallistaa entistä tarkemmin.

Goverde et al. (2008) esittelevät työkalun, jonka avulla voidaan jälkeenpäin analysoida, mikä ongelma, häiriö tai virhe on aiheuttanut tietyt myöhästymiset. Työkalu pystyy myös reaaliajassa tunnistamaan tulevia konflikteja ja ehdottamaan niillä sellaiset ratkaisut, jolloin kokonaisviiveet ovat mahdollisimman pieniä, mutta jakautuvat tasaisesti. Aikataulusuunnittelijoita ja liikenteen ohjaajia voidaan työkalun avulla kouluttaa tekemään toimivampia aikatauluja tai parempia ratkaisuja liikenteen ohjauksessa. Työkalun avulla voidaan huomata, minkälaiset ratkaisut esimerkiksi aikataulussa ovat aiheuttaneet häiriön, ja välttää tällaisten ratkaisujen tekemistä myöhemmin.

Häiriötilanteiden ennaltaehkäisyssä merkittävässä roolissa on myös aikataulusuunnittelu. Onnistuneella aikataulusuunnittelulla voidaan välttää rautatieliikenteen konfliktit ja muodostaa aikataulut siten, että ne sietävät häiriöitä mahdollisimman hyvin. Aikataulusuunnittelua on tarkasteltu tarkemmin luvussa 6.4.1. Toimivalla uudelleenaikataulutuksella voidaan vastaavasta ehkäistä häiriöiden sekundäärisiä vaikutuksia. (luku 6.5.2.)

LIIKE-järjestelmää voidaan hyödyntää häiriötilanteiden hallinnassa. LIIKE-järjestelmän avulla ratakapasiteetin jakaminen tehostuu, koska järjestelmästä voidaan nähdä kaikki jaettu ratakapasiteetti sekä esimerkiksi liikennetietoja liikennemäärästä, junien kulun toteutumatietoja, tietoa myönnetyn ratakapasiteetin käytöstä sekä liikennesuoritettietoa. Häiriön sattuessa saadaan LIIKE-järjestelmästä tietoa, jonka avulla häiriön laajuutta voidaan ennakoita ja uudelleen järjestellä liikennettä häiriön sattuessa. (Liikennevirasto 2010a)

Häiriötilanteita voitaisiin ehkäistä myös kaluston, vaihteiden ja muiden vastaavien osien automaattisella testausjärjestelmällä. Huomaamalla viat ajoissa, voidaan ne korjata ennen kuin ne aiheuttavat häiriöitä liikenteelle. Esimerkiksi vaihteiden vikaantuminen voidaan huomata etukäteen siitä, että vaihde vaihtuu hitaammin kuin tavallisesti. Järjestelmä huomaisi tämän automaattisesti ja ilmoittaisi mahdollisesti viasta kunnossapidolle. Vastaavasti kalustolla voisi olla automaattisia tarkastuspisteitä, joissa mitattaisiin helposta vikaantuvien laitteiden kunto. (Haapakoski 2010b)

6.5.2 Junankuljettajien tilannetietoisuuden parantaminen

Rautatieliikenteen häiriötilanteita voidaan ennaltaehkäistä junankuljettajien tilannetietoisuutta parantamalla. Päivittäin tapahtuu häiriöitä, jotka vaikutuksia olisi voitu vähentää veturinkuljettajien oikeanlaisella toiminnalla.

Hyvä esimerkki vääränlaisen toiminnan vaikutuksesta on ovivika. Eräs juna joutuu pysähtymään ovivian takia. Veturinkuljettaja lähtee tutkimaan vikaa ilmoittamatta liikenteen ohjaajalle, miksi juna on pysähtynyt. Liikenteen ohjaaja ei saa kuljettajaa kiinni

lähes varttituntiin ja useampi perässä tullut juna joutuu pysähtymään, sillä viereisellä raiteella on koko ajan vastaantulevaa liikennettä. Muutama juna joudutaan myös tämän takia perumaan. (Laurinaho et al. 2009)

Esimerkistä näemme, että vain pieni vika voi vaikuttaa hyvin paljon koko alueen liikenteeseen. Ongelmaa pahensi erityisesti, että veturinkuljettaja ei kertonut ongelmasta liikenteen ohjaukseen, jolloin muuta liikennettä olisi voitu alkaa järjestellä saman tien. Kun tieto ongelmasta ei liikkunut tarpeeksi nopeasti, aiheutui häiriöstä laajoja ongelmia liikenteelle. (Laurinaho et al. 2009)

Samankaltaisia ongelmia esiintyy päivittäin. Kommunikointi liikenteen ohjauksen ja kuljettajien välillä ei toimi aina yhtä tehokkaasti kuin olisi tarkoitus. Veturinkuljettajat eivät myöskään näe itseään osana liikennejärjestelmää, eivätkä ymmärrä ratkaisujensa vaikutuksia muuhun liikenteeseen. Jos veturinkuljettajat olisivat tietoisia ratkaisujensa vaikutuksista, voisivat he toimia tilanteissa paremmalla tavalla. (Haapakoski 2010a,b)

Ratkaisuna voisi olla liikennetilannekuvan välittäminen kuljettajalle veturiin näytölle. Näytöltä kuljettaja näkisi esimerkiksi tulevan liikennetilanteen, tiedot aikataulupoikkeamista ja tarvittavan nopeustiedon. Järjestelmä voisi opastaa kuljettajaa ajotehtävässä esimerkiksi optimoimaan nopeuden ympäröivän liikenteen kannalta optimiksi. Tällöin kuljettaja voisi esimerkiksi hidastaa jo reilusti ennen pullonkaulakohtaa, jolloin junan ei tarvitsisi pysähtyä missään vaiheessa. Tällä voitaisiin lisätä sujuvuutta, kun liikkeellelähtö ei olisi yhtä hidasta kuin pysähtyneellä junalla. Myös tiedonkulkua liikenteenohjauksen ja veturinkuljettajien välillä tulisi parantaa. (Haapakoski 2010a,b)

6.5.3 Uudelleenaikataulutus, päätöksenteon tukijärjestelmät ja reaaliaikainen liikenteenohjaus

Häiriö rautatieverkolla aiheuttaa yleensä suuret muutokset muun liikenteen aikatauluihin. Liikenteenohjaajan kapasiteetti ei millään riitä tällaisissa tapauksissa tekemään aina parasta mahdollista ratkaisua, jolla häiriön vaikutukset voitaisiin minimoida. Liikenteen ohjaaja ei saa myöskään palautetta tekemistään ratkaisuista. Hän ei voi tietää, miten jokin ratkaisu on vaikuttanut kaiken kaikkiaan koko liikenteeseen.

Häiriötilanteiden liikenteen ohjausta on mahdollista tehostaa useilla erilaisilla älyliikenteen keinoilla. Häiriötilanteissa liikenteenohjaajat tekevät useita asioita samanaikaisesti, ja päätökset liikenteen uudelleenjärjestelystä on tehtävä mahdollisimman nopeasti. Tietokoneella ei saavuteta vielä yhtä hyvää ja nopeaa ratkaisua häiriötilanteessa kuin minkä liikenteenohjaaja pystyy tekemään, mutta tietotekniikkaa voitaisiin hyödyntää enemmän liikenteen ohjaajan apuna. Yleisenä periaatteena on, mitä vähemmän manuaalista työtä liikenteen ohjaaja joutuu tekemään, sitä enemmän hän voi keskittyä ohjaamaan liikennettä parhaalla mahdollisella tavalla.

Uudelleenaikataulutuksessa jo olemassa olevaa aikataulua täytyy muuttaa liikenteeseen syntyneen häiriön vuoksi. Tiheästi liikennöidyllä rataverkolla jo pienikin muutos aikatauluissa vaikuttaa suureen määrään junia vierivän kiven tavoin. Pahimmassa tapauksessa osa junista voidaan joutua perumaan tai tehdä aikaisemmasta asemasta matkan päätepiste. Uudelleenaikataulusta voidaan tehostaa tietokoneavusteisella suunnittelulla.

Uudelleen aikataulutuksen tulisi tapahtuma mahdollisimman nopeasti, jotta sekundäärisiä viiveitä ei ehdi syntyä. Uuden aikataulun tulisi minimoida esimerkiksi kokonaisuudessaan viiveet tai optimoida aikataulu jonkin muun muuttujan mukaan maan prioritee-

teista riippuen. Mahdollisesti voitaisiin huomioida esimerkiksi täynnä olevat henkilöjunat ja pyrkiä minimoimaan näiden viiveet.

Uudelleenaikataulutuksen tehostamisesta on tehty useita tutkimuksia. Suurin osa uudelleenaikataulutukseen liittyvistä artikkeleista esittelee erilaisia optimointia varten kehitettyjä algoritmeja tai matemaattisia malleja, joiden avulla voidaan luoda uusi aikataulu ja optimoida liikenne mahdollisimman sujuvaksi. Uudelleenaikataulutuksessa merkittävässä roolissa on liikenteenohjaajan tekemät päätökset. Tämän vuoksi liikenteenohjaajan päätöksenteon tukijärjestelmät linkittyvät vahvasti uudelleenaikataulutukseen ja suurimmassa osassa artikkeleista käsitellään kumpaakin teemaa yhdessä.

Tietokone voi avustaa liikenteenohjaajaa uudelleenaikataulutuksessa monilla tavoin. Ohjelma voi häiriön sattuessa automaattisesti laskea häiriöstä aiheutuvat viiveet liikenteelle ja tehdä liikenteen ohjaajalle uuden aikatauluehdotuksen. Cheng & Yang (2009) ovat kehittäneet päätöksenteon tukityökalua, jossa hyödynnetään liikenteen ohjaajien hyväksi koettuja, häiriötilanteisiin liittyviä toimintatapoja. Tukityökalun tarkoituksena on häiriötilanteessa kertoa liikenteenohjaajalle häiriötilanteen ratkaisuehdotus. Työkalua on pilotoitu Taiwanilaisella rataosuudella. Uudelleenaikataulutushjelmat voi myös optimoida vain tiettyjen junien mahdollisimman viiveettömän kulun raideverkolla, jonka mukaan liikenteen ohjaaja järjesteele muun liikenteen. Tällä tavoin voidaan edesauttaa esimerkiksi Pendolinojen kulkua aikataulussa.

Erittäin tärkeää uudelleen aikataulutuksessa on kommunikointi. Rautatieympäristössä kaikkien osallisten on saatava tieto uudesta aikataulusta. Osallisia ovat esimerkiksi junan operaattorit, infrastruktuurin operaattorit, matkustajat. Kommunikoinnista tulee yhä tärkeämpää mitä useampi toimija rataverkolla on.

Uudelleenaikataulutuksen vaikutuksia on tutkittu vain vähän. Gouweloos ja Barthholomeus (2007) ovat arvioineet uudelleenaikataulutuksen vaikutuksia kokonaistäsmällisyyteen. Tulokset olivat yllättäviä, koska liikenteenohjaajien saama puutteellinen tieto viiveistä vaikutti kokonaistäsmällisyyteen arviolta jopa 4 prosenttia. Jos liikenteen ohjaajien apuna olisi automaattisesti viivetietoa laskeva ja esittävä ohjelmisto, olisi kokonaistäsmällisyyttä voitu parantaa selvästi.

Reaaliaikainen liikenteen ohjaus on pidemmälle viety muoto uudelleenohjauksesta. Järjestelmä valvoo reaaliaikaisesti junien liikkeitä ja ennakoii junien liikkeitä tulevaisuudessa sekä tunnistaa tulevat häiriötilanteet. Häiriötilanteissa järjestelmä avustaa liikenteenohjaajan työtä laskemalla uudet aikatauluun sopivat lähtö- ja saapumisajat, uudelleenjärjestelmällä sekä uudelleenreitittämällä junia sekä muuttamalla junien nopeusprofiileja. Reaaliaikainen liikenteen ohjaus toimii esimerkiksi simuloimalla koko ajan järjestelmää. Tarkoituksena on liikenteen kokonaistilan optimointi. Reaaliaikainen liikenteen ohjaus tarvitsee suunnitellun aikataulun lisäksi reaaliaikaisena tiedon kaikkien junien liikkeistä verkolla. Näiden sekä aiemman toteutumätiedon avulla se pystyy optimoimaan häiriöiden vaikutukset. On kehitetty myös järjestelmiä, jotka ovat itseoppivia. Järjestelmä analysoi toteuman mukaan, miten hyvin ehdotettu ratkaisu toimi juuri tässä tilanteessa ja yrittää ensi kerralla parantaa toimintatapaa. (D'ariano 2008)

D'ariano (2008) on testannut simuloimalla kehittämänsä algoritmeihin perustuvaa reaaliaikaista liikenteenohjaajan päätöksentekoa tukevaa järjestelmää ROMA:a. Tutkimuksessa havaittiin, että ROMA tuottaa häiriötilanteessa ratkaisun, jossa aiheutunut viive on pienempi kuin minkä liikenneohjaaja kykenee saavuttamaan. Toimintaa ei ole kuitenkaan testattu käytännössä.

Järjestelmien kehityksen ongelmana ovat, että rautatieliikenteen järjestelmät ovat kalliita ja uusiutuvat hitaasti. Uudet järjestelmät tulisi voida integroida osaksi uutta järjestelmää. Myös optimointiteho voi olla ongelma. Tietokoneavusteisen suunnittelun ongelmana on se, että tällä hetkellä tulevien tilanteiden simulointi on vielä hyvin raskasta ja vaatii suurta kapasiteettia tietokoneilta sekä kestää liian kauan.

Tulevaisuudessa liikenteenohjaus voisi toimia täysin automaattisesti. Nykyään automaattiradat ovat aina metroja, koska automaatio soveltuu vasta vain muusta liikenteestä kokonaan erotettuun liikenteeseen. Automatisoituja metroja on esimerkiksi Kööpenhaminassa ja Lyonissa. Rautatieliikenteessä automatisoituun liikenteeseen on vielä pitkä matka. Vaikka teknisesti järjestelmät olisivatkin jo olemassa, ovat rautatieliikenteen turvallisuusvaatimukset niin tarkat, ettei tietokone voi vielä ottaa vastuuta koko järjestelmästä.

6.6 Yhteenveto

Rautatieliikenteessä käytetään jo lukuisia erilaisia älyliikenteen järjestelmiä. Välytyskykyä voidaan tehostaa hyödyntämällä yhä paremmin nykyisiä järjestelmiä ja ottamalla käyttöön uusia älyliikenteen keksintöjä. Tähän työhön on kerätty rautatieliikenteen välytyskykyä tehostavia älyliikenteen keinoja, mutta niiden vaikuttavuutta ei ole tutkittu.

Tulevaisuudessa rautatieliikenteessä hyödynnetään yhä enemmän tietokoneita. Uudenlaiset tietokoneohjelmat mahdollistavat esimerkiksi aikataulujen laatimisen yhä enemmän tietokoneilla. Ohjelmat voivat esimerkiksi huomata aikatauluissa olevia konfliktitilanteita tai mahdollisia kohtia, jotka aiheuttavat herkästi viiveitä. Aikataulusuunnittelu siirtyy mahdollisesti tulevaisuudessa kokonaan tietokoneiden tehtäväksi.

Tietotekniikan hyödyntäminen tulee näkymään myös liikenteen ohjaajien työskentelyssä. Liikenteen ohjaajien päätöksenteon tueksi on kehitelty useita erilaisia ohjelmia, jotka esimerkiksi optimoivat aikatauluja häiriötilanteissa tai laskevat eri vaihtoehtojen viiveitä, joiden perusteella liikenteen ohjaaja voi tehdä kiireessä parempia päätöksiä. Tietotekniikan avulla pyritään myös vähentämään liikenteen ohjaajien tekemää mekaanista työtä mahdollisimman paljon, jotta liikenteen ohjaajien aika jäisi tärkeimpien asioiden päättämiseen. Yksi esimerkiksi mekaanisen työn vähentämisestä on jo olemassa oleva rataosien lähtölupamenettelyn automatisointi.

Uudelleen aikataulutushjelmien ja päätöksenteon tukijärjestelmien lisäksi ohjausjärjestelmät kehittyvät yhä reaaliaikaisempaan suuntaan. Tietokoneiden nopeutuessa ja optimointiohjelmien parantuessa vielä entisestään, voi rautatieliikennettä tulevaisuudessa simuloida reaaliaikaisesti, ja huomata tulossa olemat ongelmakohdat etukäteen. Reaaliaikaisen liikenteenohjauksen avulla voidaan myös häiriötilanteissa toimia optimitavalla. Nykypäivän teknologia ei vielä täysin mahdollista reaaliaikaista liikenteenohjausta laajalla rataverkolla, vaan simulointi on vielä liian hidasta tähän tarkoitukseen. Reaaliaikaista liikenteenohjausta kehitetään kovaa vauhtia ja toimivia järjestelmiä voi olla saatavilla jo muutaman vuoden sisällä.

Rautatieliikenteen välytyskykyä voidaan tehostaa myös kehittämällä turvalaitteita. GPS-teknikka mahdollistaa, että junien liikkeitä voidaan seurata tarkasti ja samalla saadaan myös junien tarkka nopeustieto. Nopeustiedon avulla kulunvalvontajärjestelmää voidaan kehittää älykkäämmäksi ja varata kulkutie vain tarpeelliseksi ajaksi. Junien liike-

tiedon avulla voidaan ennustaa yhä paremmin junien liikkumista ja havaita jo ennakkoon mahdollisia häiriötilanteita.

ERTMS:n käyttöönotto parantaa myös liikenteen välityskykyä. ERMTS:ssä hyödynnetään älyliikenteen uusia tekniikoita, esimerkiksi GSM-R verkkoa tietoliikenneyhteytenä. ERTMS:n suurin hyöty on, että se yhtenäistää eri maiden liikenteenohjaustekniikan. Suurimmat vaikutukset välityskykyyn tulevat kuitenkin vasta tasolla 3, jolloin käyttöön otetaan liikkuva suojaväli. Liikkuva suojaväli mahdollistaa suojavälien lyhentämisen, jolloin junia voi liikkua radalla entistä tiheämpään.

Uusien älyliikenteen järjestelmien yleistymisen rautatieliikenteessä on erittäin hidasta. Rautatieliikenteen tiukat turvallisuusmääräykset vaativat, että uusien keinojen tulee olla riittävän luotettavia ja turvallisia sekä tarkasti testattuja ennen niiden käyttöönottoa. Rautatieliikenteen yhden järjestelmän uusiminen kokonaan on erittäin kallista ja hidasta. Tämän vuoksi uusien järjestelmien tulisi olla mahdollisin helposti muokattavia. Järjestelmiin tulisi pystyä helposti integroimaan uusia moduuleita, jolla niitä voitaisiin pikku hiljaa päivittää tekniikan kehittyessä.

Tulevaisuuden rautatieliikenteen kehittymistä on vaikea arvailla. Uusia ratkaisuja kehitetään huimaa vauhtia, mutta toisaalta vanhoja järjestelmiä uusitaan harvoin. Varmaan kuitenkin on, että kokonaisuudessaan liikenteen hallinnan automaatioaste tulee lisääntymään. Metron tavoin junien ohjaus kehittyy automaattisemmaksi. Voi olla, että rautatieliikennettä saatetaan ohjata täysin virtuaalisesta liikenteen ohjauskeskuksesta, ehkäpä jopa täysin automaattisesti.

7 Meriliikenteen kapasiteetin tehostaminen

7.1 Yleistä

Meriliikenne eroaa suuresti sekä tie- että raideliikenteestä. Vaikka meriliikenteessä on vain hyvin harvoin varsinaisia välityskyöngelmiä, voidaan meriliikenteen sujuvuutta silti parantaa monin keinoin. Meriliikenteen sujuvuuteen vaikuttavat pääasiassa säästä ja kelistä johtuvat viivytykset sekä luotsi-, jäänmurto ja satamapalveluiden saatavuus ja liikenteen ohjaus ja telematiikka. Säästä ja kelistä johtuviin viivytyksiin on vaikeaa vaikuttaa, mutta muihin viivytysten syihin on olemassa erilaisia ratkaisuja.

Meriliikenteen sujuvuutta parantavat keinot on jaettu tässä työssä liikenteen ohjaukseen, satamapalveluihin sekä häiriönhallintaan. Vaikka meriliikenteellä on paljon yhtäläisyyksiä tie- ja raideliikenteen kanssa, ei niissä käytetty keinojen ryhmittely sovellu meriliikenteen keinoihin. Samoja keinoja ovat kuitenkin häiriönhallinta sekä liikenteen ohjaus. Myös satamapalveluissa yhtenä merkittävimmistä tulevaisuuden kehityskohteista oleva sähköinen tiedonsiirto soveltuu yhtä lailla myös tie- ja raideliikenteeseen.

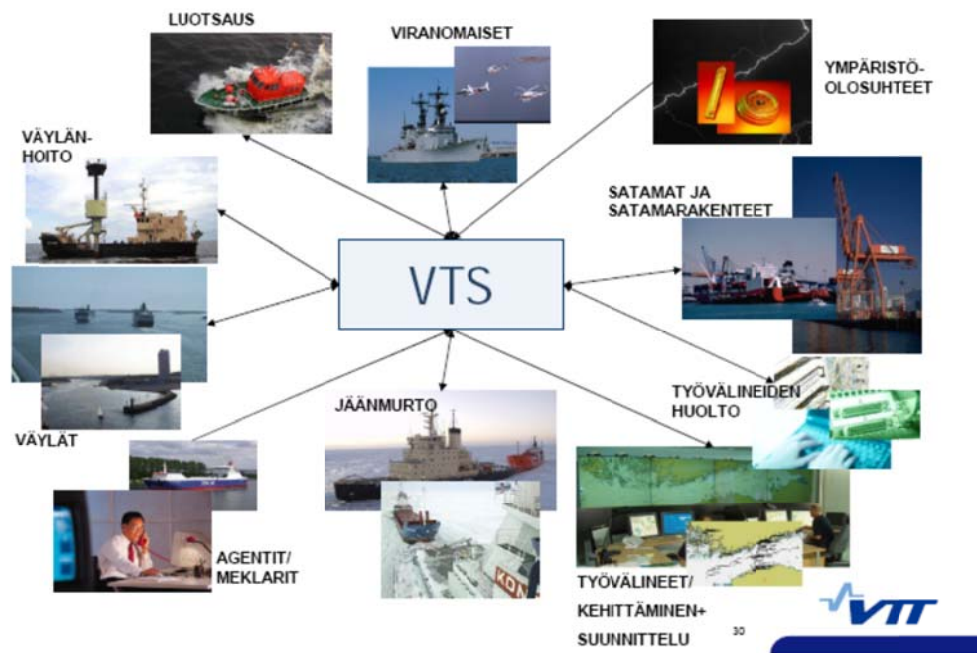
Meriliikenteessä korostuu koko kuljetusketjun toiminta ja tehokkuus. Tämän vuoksi lukuun 7.5. on kerättykoko kuljetusketjuun liittyviä ongelmia sekä älyliikenteen tuomia mahdollisia ratkaisuja tehostaa kuljetusketjua.

7.2 Liikenteen ohjaus

7.2.1 Alusliikennepalvelu eli VTS

VTS eli Vessel Traffic Service tarkoittaa alusliikennepalvelua, jonka tarkoituksena on parantaa merenkulun turvallisuutta, edistää alusliikenteen sujuvuutta ja tehokkuutta sekä ennaltaehkäistä onnettomuuksia. VTS toteuttaa tehtävänsä antamalla kolmea erityyppistä alusliikennepalvelua: tiedonantoja, alusliikenteen järjestelyä sekä navigointiapua. (Sonninen ja Hartonen 2005, Liikennevirasto ja Trafi 2010)

Käytännössä VTS -keskuksissa työskentelevät alusliikenneohjaajat seuraavat vastuualueidensa alusliikennettä ja ylläpitävät samalla reaaliaikaista liikennetilannekuvaa eri järjestelmien antamien tietojen avulla. Aluksille tiedotetaan esimerkiksi alueen liikenteestä, väylien ja turvalaitteiden kunnosta sekä käytettävyydestä ja muista aluksen turvalliseen liikennöintiin vaikuttavista tiedoista (kuva 33). VTS -keskukset voivat myös järjestellä liikennettä esimerkiksi lähtölupa- ja porrasmenetelmien avulla. Yhdellä VTS-alueella voidaan antaa yhtä tai useampaa näistä palveluista. (Sonninen ja Hartonen 2005, Liikennevirasto ja Trafi 2010)



Kuva 33. VTS:n eri yhteistyötahot (Sonninen ja Hartonen 2005)

VTS-palveluiden tuottamiseen käytetään useita työvälineitä, joista merkittävimmät ovat tutkajärjestelmä- ja AIS-järjestelmä sekä VHF-radiojärjestelmä. AIS-järjestelmä on alusten automaattinen paikannus- ja tunnistusjärjestelmä meriliikenteessä. (AIS eli Automatic Ship Identification System). AIS-järjestelmän avulla VTS-keskukset valvovat alusten liikkumista merellä ja alukset saavat tiedon toistensa liikkeistä. VHF-radiojärjestelmän avulla taas VTS-keskukset kommunikoivat alusten kanssa. Alukset voivat keskustella myös toistensa kanssa radion avulla. Alusten kulkemia todellisia reittejä tallennetaan myös tietokantaan. Näitä tietoja käytetään hyväksi esimerkiksi merenmittaus- ja kartoitustoiminnassa. (Sonninen ja Hartonen 2005, Liikennevirasto ja Trafi 2010)

VTS vaikuttaa meriliikenteen sujuvuuteen etenkin kapeilla väylillä sekä satamien edustoilla. Lähtölupa- ja porrasmenetelmien avulla alusliikenneohjaajat voivat päättää missä järjestyksessä alukset kulkevat kapeista paikoissa tai alusten satamaan saapumisjärjestyksen. Ilman VTS:n apua alusten päälliköt sopisivat keskenään, missä järjestyksessä alukset esimerkiksi ohittaisivat kapean väylän osan.

Alusten päälliköillä ei ole VTS:n tavoin yleensä kokonaiskuvaa koko alueen liikenteestä. VTS voikin järjestellä alukset järkevämmiin, jolloin kokonaisviivytykset jäävät mahdollisimman pieneksi. Esimerkiksi kahden aluksen saapuessa samaan satamaan, voi alusten satamaan ajojärjestyksen suunnittelulla vähentyä selvästi toisen aluksen viivytyksiä. Jos esimerkiksi edemmäs jäävä alus joutuu kääntymään ennen laituriin pääsemistä, joutuu taaemmas menevä alus odotelemaan aluksen kääntymistä usein kymmeniä minutteja. Päästettäessä taaimmainen alus ensin satamaan, ei sen tarvitse turhaan odotella. Isommissa satamissa tällaisella järjestelyllä voidaan vähentää alusten odotusaikoja merkittävästi.

Nykyään VTS saa yleensä esimerkiksi luotsilta tiedon, mihin laituriin eri alukset satamassa ovat menossa. Tulevaisuudessa VTS:n ja satamien yhteydenpitoa tulisi tiivistää. He voisivat jakaa tietoa avoimemmin, jolloin tieto laituriin saadaan suoraan.

raan satamalta mahdollisimman ajoissa. Tällöin saapuvat alukset voitaisiin ohjata oikeaan järjestykseen jo reilusti ennen satamaa, jolloin sataman edusta ei turhaan tukkeutuisi satamaan pääsyä odottavista aluksista. (Aaltonen 2010, Mylly 2010)

7.2.2 GOFREP

Suomenlahden alusliikenteen pakollinen ilmoittautumisjärjestelmä GOFREP (Gulf of Finland Mandatory Ship reporting System) aloitti toimintansa vuonna 2004. Järjestelmän toiminnasta vastaavat Suomen, Viron ja Venäjän merenkulkuviranomaiset. Vastaavanlaisia ilmoittautumisjärjestelmiä on käytössä eri puolilla maailmaa, mutta Suomenlahden järjestelmässä erityistä on yhteistyö kolmen valtion kanssa. (Sonninen 2004) Kaikkien yli 300 bruttorekisteritonin suuruisten alusten on ilmoitettava järjestelmään saapuessaan Itämereltä Suomenlahdelle tai lähtiessään Suomenlahden satamista.

GOFREP-järjestelmän tarkoituksena on parantaa meriturvallisuutta, estää onnettomuuksien aiheuttamat öljypäästöt ja lisätä kansallisesti tärkeiden merikuljetusten tehokkuutta. Järjestelmällä vastataan myös kansainvälisiin meriliikenteen vaatimuksiin ja suosituksiin. GOFREP-keskukset vastaanottavat ja välittävät alusliikenteelle tärkeää informaatiota, jonka avulla alukset voivat ennakoida vaaratilanteita. Tärkeää on, että keskusten välittämä informaatio on selkeää ja helposti hyödynnettävää ja tiedonvälitys on koko järjestelmän toiminta-alueella yhtä kattavaa. Keskukset voivat myös jossain määrin valvoa, että alukset huomioivat saamansa tiedot ja ryhtyvät toimenpiteisiin. (Sonninen 2004)

Talviaikana GOFREP:n tärkein tehtävä on tiedottaa Suomenlahdella liikkuvia aluksia suositelluista reiteistä jäissä. Nykyään tiedot siirtyvät aluksille VHF-radiolla joko niiden ilmoittautuessa alueelle tai niiden pyytäessä tietoja. Tulevaisuudessa tulee miettiä mahdollisuutta välittää tietoja jääreiteistä aluksille esimerkiksi sähköisiin merikarttoihin. (Sonninen et al 2004)

GOFREP-järjestelmän ansiosta Suomenlahdella liikkuvat alukset noudattavat paremmin liikenteelle annettuja ohjeita ja määräyksiä. Koska alusten täytyy ilmoittaa reittinsä etukäteen ja VTS valvoo reittisuunnitelman toteuttamista, noudatetaan esimerkiksi reitinjakojärjestelmää täsmällisemmin. Rikkomukset ovat laskeneet 50:stä vuodessa jopa alle kymmeneen. GOFREP pienentää Suomenlahdella myös kahden aluksen yhteentörmäyksen todennäköisyyttä 80 prosenttia. (Aaltonen 2010)

Järjestelmä parantaa alusten liikkeiden ennustettavuutta. Tätä voidaan hyödyntää myös esimerkiksi tavaraliikenteen kuljetusten seurannassa. Tarkka sijaintitieto on osa toimivaa kuljetusketjua. Sijaintitieto tehostaa eri osapuolten resurssien suunnittelemista ja kohdentamista, mahdollistaa kuljetusketjun pullonkaulojen havaitsemisen sekä helpottaa poikkeamatilanteiden hallintaa. (Pulli et al 2009)

7.2.3 Alusliikenteen ohjaus- ja informaatiopalvelut

Alusliikenteen ohjaus- ja informaatiopalvelut (Vessel Traffic Management and Information Systems, VTMISS) kattavat erilaisia palveluja ja toimenpiteitä, joilla pyritään parantamaan meriliikenteen turvallisuutta ja maksimoimaan meriliikenteen tehokkuus.

VTMISS-alueilla kaikkien käytettävien aluspalveluiden tulee olla kytkettyinä toisiinsa. Tällaisia palveluja ovat esimerkiksi VTS. VTMISS:n tavoitteena on parantaa tiedonvaihtoa laivojen ja ympäristössä olevien järjestelmien avulla sekä muiden merenkulkupalveluiden kanssa. Myös tiedonvaihtoa sataman ja logistiikkaverkoston kanssa halutaan pa-

rantaa. Tiedonvaihdon parantuessa koko meriliikenteeseen linkitetyn ketjun tehokkuus ja turvallisuus paranee. Myös häiriöitä voidaan vähentää tiedonvaihtoa parantamalla. (Liikennevirasto ja Trafi 2010)

VTMIS-kehittäminen vaatii jo olemassa olevien laitteiden, palveluiden ja viestintäverkkojen ja -linkkien parantamista. Tämän lisäksi on kehitetty uutta teknologiaa kuten ohjelmistoja satamapalveluiden yhdistämiseksi (PortNet). Tulevaisuudessa tavoitteena on erityisesti parantaa ihmisen ja tietokoneen välistä yhteistyötä. (Liikennevirasto ja Trafi 2010)

7.2.4 Elektroniset merikartat

Elektroninen merikarttajärjestelmä (ECDIS; electronic chart display and information system) on paperikartan korvaava navigointijärjestelmä. Elektroninen merikarttajärjestelmä on integroitu automaattiohjaukseen, tutkaan, GPS:n ja muihin järjestelmiin. Järjestelmä esimerkiksi varoittaa ajoissa, jos alus on lähestymässä vaarallista matalikkoa tai muuta estettä merellä. ECDIS on jo käytössä suurimmalla osalla kauppa- ja matkustaja-aluksia. Sen on todettu parantavan merenkulun turvallisuutta ja vähentävän meriliikenteen häiriöitä. (Liikennevirasto ja Trafi 2010)

ECDIS tulee pakolliseksi kauppa-aluksille 2012 lähtien. Elektronisen navigoinnin edellytyksenä ovat luotettavat syvyystiedot. Järjestelmään kuuluukin elektronisen merikartan päivitykset 10 päivän välein esimerkiksi satelliitin kautta. (Merenkulkulaitos 2008a,b)

Meriliikenteen sujuvuutta voidaan tulevaisuudessa parantaa entisestään yhdistämällä elektroniin merikarttoihin ajantasainen sää ja jäätieto ja kehittää järjestelmää älykkäänpään suuntaan. Gourgoulis ja Yakinthos (2008) ovat kehittäneet ideaa kohti älykäästä reitinopastusta meriliikenteessä. Järjestelmän ideana on tukea reitinvalintaa analysoimalla sää ja reitti-informaation avulla nopein ja turvallisin reitti. Lyhin reitti ei aina ole nopein mahdollinen, jos odotettavissa on esimerkiksi koko matkan ajaksi vastatuulta. Järjestelmään voisi yhdistää myös tiedon eri väylien ruuhkaisuudessa tai jos jokin väylä on suljettu esimerkiksi pahoina jäätalvina. Nykyiselle tekniikalla ja reaaliaikaisella säätiedolla kyseinen järjestelmä on mahdollista toteuttaa.

7.2.5 Joustava kulkusyvyyskäytäntö

Joustava kulkusyvyyskäytäntö ei itsessään ole älyliikenteen keino, mutta käyttää hyödyksi muita älyliikenteen sovelluksia

Joustava kulkusyvyyskäytännön ideana on hyödyntää tehokkaammin väylien syväyksiä ja suurentaa alusten lastikapasiteettia. Sivutuulella sorron välttämiseksi on käytettävä kohtuullisen suurta nopeutta, mikä lisää aluksen nopeuspainumaa. Olosuhteet ovat kuitenkin yleensä paremmat, jolloin alus voi ajaa väyläosuuden pienemmällä nopeudella. Tällöin myös nopeuspainuma on pienempi eli osa väylän syvyydestä jää hyödyntämättä. Joustavalla kulkusyvyyskäytännöllä varaveden käyttämättä jäävä osuus voidaan hyvissä olosuhteissa hyödyntää aluksen lastia suurentamalla. Tällöin myös aluksen kapasiteetti paranee. Tietyillä väylillä voidaankin kulkusyvyyttä tulkita ohjeellisena arvona, josta on mahdollista poiketa aluksen päällikön ja luotsin harkinnan mukaan. (Mylly 2010)

Älyliikenteen sovelluksia käytetään joustavassa kulkusyvyyskäytännössä tiedon tuottamiseen. Joustava kulkusyvyyskäytäntö edellyttää luotettavia ja tarkkoja paikkatietoja väylän pohjanmuodoista sekä vedenkorkeus ja säätietoja. Vedenkorkeustietojen tulisi

olla mahdollisimman reaaliaikaisia, jotta väylän syvyyttä uskalletaan käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Vedenkorkeutta voidaan mitata esimerkiksi merimerkkiin kiinnitettävällä mittarilla, joka lähettää jatkuvasti tietoa korkeuden vaihteluista. Tulevaisuudessa joustavan kulkusyvyuden käyttämistä helpottaa kymmenen päivän välein päivittyvät merikartoitustiedot sekä vedenkorkeus- ja sää tietojen integroiminen elektroniseen navigointijärjestelmään. (Mylly 2010)

7.3 Satamapalvelut

Satamat toimivat jo nykyisellään hyvin tehokkaasti. Satamien kapasiteetin ongelmat aiheutuvat lähinnä rahdin käsittelemisessä esiintyvistä viiveistä sekä turhasta varastoinnista, kun sopivaa kuljetuskapasiteettia ei ole käytössä. Myös konekannan vanhuus aiheuttaa toisinaan ongelmia. Satamat ovat tärkeä tavaraliikenteen solmukohta, minkä tehokkuus heijastuu koko kuljetusketjuun. Tämän vuoksi satamapalveluiden toimivuus on keskeistä koko meriliikenteen sujuvuutta tarkasteltaessa. (Mylly 2010)

7.3.1 Sähköinen tieto

Satamassa toimii suuri määrä eri yrityksiä aina huolitsijoista tulliin. Aluksen saapuessa satamaan, on sen selvitettävä suuri määrä papereita, ennen kuin varsinainen lastin purkaminen voi alkaa. Paperit on selvitettävä jokaiselle toimijalle erikseen, ja tämä vie turhaa aikaa muilta toiminnoilta.

Kuljetustiedon muuttaminen sähköiseksi tehostaa tavarankuljetuksen kapasiteettia. Etuina ovat esimerkiksi tietojen jakaminen, tallennettavuus ja tietojen löytyminen myöhemmin helpommin. Toimivilla ja kattavilla tietojärjestelmillä saadaan oikea tieto oikeaan paikkaan oikeaan aikaan ja voidaan hyödyntää ennakkotietoa toimintojen suunnittelussa. Kuljetusketjun näkökulmasta suurin hyöty on kuljetusprosessin tehostuminen koko ketjun kannalta. Sähköisen kuljetustiedon avulla voidaan resursseja siirtää manuaalisesta paperidokumenttien täyttämisestä muihin tehtäviin ja näin vähentää viiveitä. (Salo et al. 2005)

Yhtenä esimerkkinä kuljetustiedon muuttamisesta sähköiseksi on sähköinen rahtikirja. Sähköinen rahtikirja on käytössä suurilla kuljetusliikkeillä, mutta pienille liikkeille sähköiset ratkaisut eivät ole olleet taloudellisesti järkeviä ottaa käyttöön. Siihen on sisällytetty paperisessa rahtikirjassa olevien tietojen lisäksi myös muita tavaraperille toimitamista helpottavia tietoja kuten sijainti- ja paikkatietoa. Sähköisen rahtikirjan ongelmana on tällä hetkellä esimerkiksi sähköisen allekirjoituksen toteuttamien ja lainsäädännölliset rajoitteet. Sähköinen rahtikirja kannattaa kuitenkin nähdä vain välivaiheena sille, että kaikki toimitustiedot kulkevat automaattisesti eri osapuolten välillä ilman rahtikirjaa. Tällöin voidaan entistään kehittää ja parantaa kuljetusketjun sujuvuutta ja tehokkuutta toimintatapoja muuttamalla. (Salo et al. 2005)

eFreight

eFreight-käsitteellä tarkoitetaan paperitonta, sähköistä tietovirtaa, joka liittyy tavaroiden fyysisen virran paperittomaan tietovirtaan. eFreightin tarkoituksena on luoda järjestelmä, jossa voidaan jäljittää ja seurata rahtia liikennemuodosta toiseen ja automatisoida sisältöön liittyvä tiedon vaihto. Liikennemuodosta riippumaton rahdin tunnistaminen vaatii kuitenkin standardoidut yhteispinnat eri liikennemuotojen välille ja edellyttää

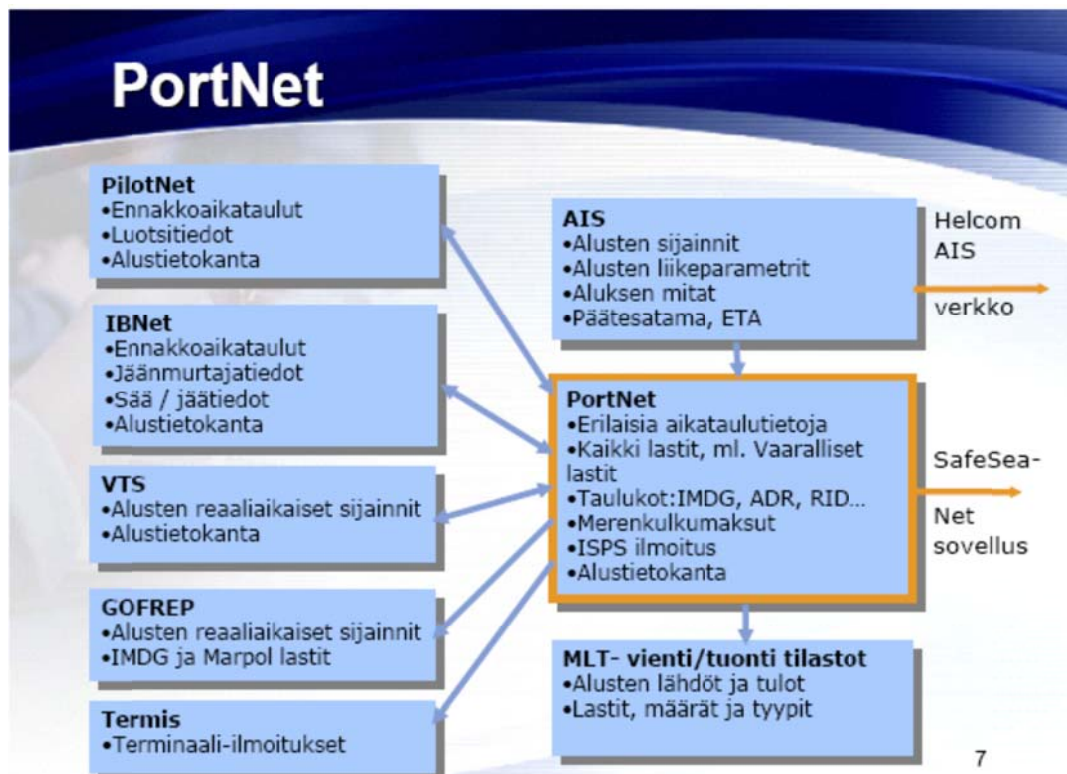
innovatiivisten teknologioiden kuten radiotaajuustunnistuksen (RFID) käyttöä. Järjestelmä perustuu EGNOS/Galileo satelliittipaikannusjärjestelmän sovelluksiin. (Euroopan yhteisöjen komissio 2007)

eMarine on osa eFreight-aloitetta. Sen tarkoituksena on luoda merenkulkuun yhden luukun palvelupisteet, joiden kautta hoidetaan eri hallintojen asiakirjojen hyväksyminen ja valvonta. (Venäläinen & Utriainen 2009)

7.3.2 PortNet

Toimitusketjujen hallinnan merkitys korostuu satamissa, koska satamissa työskentelee lukematon määrä erilaisia toimijoita ja erilaisia prosesseja. Yksittäisillä mailla ja satamilla on käytössään erilaisia toimitusketjun hallintaan käytettäviä työkaluja. Nämä mahdollistavat tavarantoimitukseen liittyvien tietojen keskitetyn tallentamisen ja hyödyntämisen. Ongelmana on kuitenkin yleisesti, ettei tavarantoimitusten seuranta globaalien toimitusketjujen läpi ole mahdollista. Jokaisella maalla tai satamalla on omat järjestelmänsä, johon tiedot tulee syöttää. Eri järjestelmien yhdistäminen globaalisti parantaisikin kuljetusten kapasiteettia ja vähentäisi satamien viiveitä lasti ja alustietojen siirryessä satamasta toiseen maasta riippumatta. (Pulli et al 2009)

Suomessa on käytössä keskitetty tietoportaali PortNet. PortNet on meriliikenteen tietojärjestelmä, joka kattaa sekä satamatoiminnot että alusliikenteen ohjaukseen, valvontaan ja luotsaukseen liittyvät toiminnot. Järjestelmään on kerätty tiedot muun muassa alusten aikatauluista ja lasteista. PortNet on tarkoitettu pääasiassa alusten satamakäynteihin liittyvien tietojen jakamiseen eri toimijoiden kesken kuten aluksen edustajan, Tullin, sataman pitäjän ja merenkulkuviranomaisen. PortNetin avulla jokaisen osapuolen ei tarvitse kirjata tietoa erikseen, vaan aluksen ja lastin tiedot välittyvät kaikille niille toimitsijoille, jotka tietoa tarvitsevat. Tämä nopeuttaa satamatoimintoja ja vapauttaa kapasiteettia muuhun käyttöön. PortNet sisältää tietoa kuitenkin vain Suomen satamiin kohdistuvista aluskäynneistä. (Rautiainen ja Rinta-Keturi 2005)



Kuva 34. PortNet Merenkululaitoksen (nyk. Liikennevirasto) järjestelmä kokonaisuudessa (Rautiainen ja Rinta-Keturi 2005)

7.3.3 Muita järjestelmiä

Satamien toimivuutta voidaan kehittää myös muiden järjestelmien avulla. Yhtenä vaihtoehtona on AIS-järjestelmän tehokkaampi hyödyntäminen. AIS-järjestelmä voisi automaattisesti ilmoittaa satamalle saapuvasta aluksesta, jolloin aluksen palvelutilaukset aktivoituisivat automaattisesti. (Venäläinen & Utriainen 2009). Aluksen saapuessa satamaan kaikki aluksen tarvitsemat palvelut olisivat odottamassa valmiiksi.

Satamien ongelmana on myös jatkokuljetuskapasiteetin optimointi ja synkronointi alusten purkausajankohtaan. Vaikka satamilla on tarkka tieto alusten saapumisajankohdasta, ei tieto aina välity eteenpäin rekoille, joihin alusten lasti puretaan. Alusten purku voi viivästyä sen takia, ettei paikalla ole tarpeeksi rekkoja. Tämä on aiheuttanut sen, että satamien porteilla odottaa usein suuria määriä rekkoja etuajassa, jotta alusten purkaminen viivästy jatkokuljetuskapasiteetin puuttuessa.

Srouf et al. (2003) tutkivat rekka-autojen terminaaliajanvarausjärjestelmän vaikutuksia. Järjestelmän avulla voidaan satamaan varata oikea määrä rekkoja oikeaan aikaan. Samalla voidaan lyhentää rekkojen jonotusaikoja terminaalin portilla ja vapauttaa kapasiteetti muihin kuljetuksiin.

7.4 Häiriönhallinta

Meriliikenteen häiriönhallinnan tarkoituksena on ensisijaisesti parantaa meriliikenteen turvallisuutta sekä vähentää ympäristöonnettomuuksia. Häiriönhallinnalla pyritään ehkäisemään häiriöiden syntymistä ja vähentämään ihmisille, ympäristölle, liikenteelle ja

kuljetuksilla aiheutuvia haittoja. Meriliikenteessä sattunut yksittäinen häiriö aiheuttaa nopeasti ongelmia koko kuljetusketjun toiminnassa. (Hautala et al. 2004)

Meriliikenteen häiriönhallinnassa tulee kiinnittää huomiota erityisesti äkillisten, mutta usein toistuvien häiriöiden ehkäisyyn ja poistamiseen. Tällaisia ovat esimerkiksi vaikea sääolosuhteet tai turvalaiteviat. Suuresta määrästä johtuen ne aiheuttavat haittaa laajalle joukolle eri osapuolia. Sääolosuhteisiin on vaikea vaikuttaa, vaikka sääennusteet, etenkin lyhyen ajan ennusteet, ovat kehittyneet hyvinkin luotettaviksi. Luvussa 7.2.3 esiteltiin sää tietojen yhdistämistä reittiohjausjärjestelmään. Reitti voitaisiin optimoida siten, että vältettäisiin esimerkiksi pahin vastatuuli. (Hautala et al. 2004.)

Häiriönhallinnassa on olennaista häiriön nopea havaitseminen ja häiriötiedon välitys eri toimijoiden kesken. Alukset ilmoittavat havaitsemistaan häiriöistä VTS-keskuksille sekä satamille. Tieto kulkee VHF-radiojärjestelmän avulla. VTS-keskukset välittävät saamansa häiriötiedon alueen muille aluksille sitä muille sitä tarvitseville toimijoille. Satamat saavat aluksilta tiedon uudesta arvioidusta saapumisajasta. Satamat tiedottavat häiriöstä ja aluksen viivästymisestä sataman alueella toimivia yrityksiä ja muita organisaatioita. Sataman ulkopuoliselle kuljetusketjulle tieto siirtyy usein huonosti. (Hautala et al. 2004.)

VTS-keskukset voivat huomata meriliikenteen häiriöitä myös itsenäisesti alusten automaattisen tunnistusjärjestelmän (AIS, Automatic Identification system) avulla. Tunnistusjärjestelmän avulla on mahdollista saada laajalta alueelta reaaliajassa tarkkaa tietoa aluksista ja niiden liikkeistä. Järjestelmä perustuu radiolaitteeseen, joka lähettää automaattisesti ja jatkuvasti alukseen ja sen liiketilaan liittyviä tietoja sekä vastaanottaa muiden alusten lähettämiä tietoja. AIS-tieto on muiden alusten ja meriliikenteen VTS-keskusten käytössä (Rairio 2010, Liikennevirasto ja Trafi 2010.)

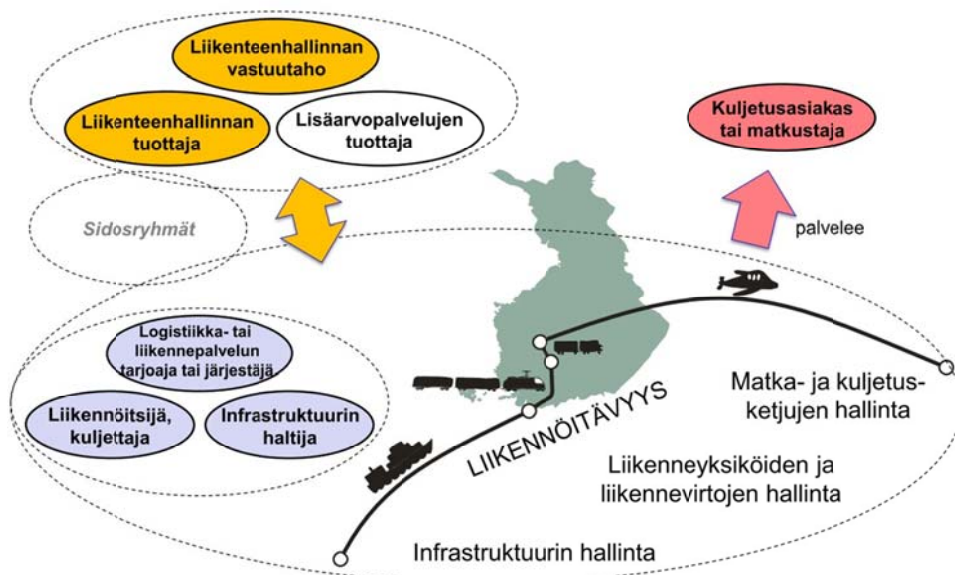
AIS:n avulla voidaan valvoa tehokkaasti alusten liikennettä ja huomata alusten nopeuksissa tapahtuvat epätavalliset poikkeamat. Väylältä poikkeavat tai törmäyskurssilla olevat alukset aiheuttavat automaattisesti VTS-keskuksessa hälytyksen, johon valvova viranomaisen reagoi suunnitellulla tavalla. AIS:n avulla häiriöihin voidaan reagoida mahdollisimman nopeasti ja mahdollisesti estää häiriön tapahtuminen tai vähentää häiriöistä aiheutuvia sekundäärisiä vaikutuksia muulle liikenteelle. (Rairio 2010, Liikennevirasto ja Trafi 2010)

Meriliikenteen häiriönhallinta korostuu kapeissa paikoissa, kuten kapeilla väylillä tai suluissa. Jos alus joutuu pysähtymään keskelle kapeaa väylää, seisahtuu samalla koko väylän liikenne. Avomerellä tai leveillä väylillä tällaisia ongelmia ei ole. Kapeiden kohtien häiriöherkkyyttä on pyritty pienentämään rakentamalla väylillä väistöalueita. Nopea häiriöstä tiedottaminen on erityisen tärkeää kapeissa paikoissa sattuneissa häiriötilanteissa.

7.5 Kuljetusketjun tehostaminen älyliikenteen avulla

Meriliikenteessä varsinaisena ongelmana ei ole välityskyvyn riittäminen. Meriliikenteen asiantuntijoiden haastatteluissa ilmi nousi erityisesti tavaraliikenteen kuljetusketjujen ongelmat ja älyliikenteen mahdollisuus tehostaa kuljetusketjua. Tämän vuoksi kuljetusketjujen tarkastelua osana tätä työtä ei voida kokonaan sivuuttaa ja kuljetusketjun ongelmia ja tehostamista on karkeasti pohdittu tässä luvussa. Luku perustuu haastatteluihin ja asiantuntijatyöpajaan.

Meriliikenteessä esiintyvät liikenteen sujuvuuteen ja kapasiteettiin liittyvät ongelmat ovat usein yleisiä koko kuljetusketjulle. Suurin osa meriliikenteen kuljetuksista on tavaraliikennettä, henkilöliikenteen osuus on hyvin vähäinen. Kuljetusketjun toimivuus vaatii kaikkien liikennemuotojen saumatonta yhteistyötä sekä erityisesti solmukohtien toimivuutta. Tehokkaat kuljetusketjut vaativat, että infrastruktuurin, liikenneyksiköiden ja liikennevirtojen- ja matka- ja kuljetusketjujen hallinta toimii optimaalisesti. Myös eri toimijoiden avoin yhteistyö on tärkeää etenkin kuljetusten solmukohdissa.



Kuva 35. Liikenteen hallinnan osapuolet ja asiakkaat (Paavilainen ja Mäkelä 2011)

Kuljetusketjun tehokkuuteen vaikuttaa ruuhkat. Ruuhkat tieverkolla hidastavat tavarankuljetuksia samalla tavoin kuin henkilöliikennettä. Myös rataverkolla ongelmia aiheuttavat häiriöt sekä välityskyvyn riittävyys. Tavaraliikenteen viivästyminen vaikuttaa koko kuljetusketjuun ja ketjun seuraava vaihe viivästyy yhtä lailla edellisen vaiheen viivästyttä.

Kuljetusketjuja voidaan tehostaa merkittävästi nykyisestä. Kuljetuksia liikkuu paljon puolityhjiillä ajoneuvoilla etenkin tieliikenteessä. Meri- ja rautatieliikenteessä olemassa oleva lastikapasiteetti käytetään tehokkaammin. Raideliikenteessä kalustoa tosin saattaa seisoa toisaalla, vaikka muualta kalustoa puuttuisi.

Suurimpana ongelmana tarkasteltaessa koko kuljetusketjun toimintaa on tiedon vähäinen liikkuminen eri toimijoiden välillä. Isoilla kuljetustoimijoilla on jo laajasti käytössä järjestelmiä, joilla tavarankuljetusta voidaan seurata. Tieto ei kuitenkaan kulje toimijalta toisella. Tietoa ei myös liiku tarpeeksi esimerkiksi rekkojen ja satamien välillä tai satamien ja vts-keskusten välillä. Tiedon liikkuminen on ongelmana etenkin häiriötilanteissa, jos tieto kuljetuksen edellisen vaiheen myöhästymisestä ei kulkeudu koko kuljetusketjun läpi. Tällöin esimerkiksi rekka saattaa joutua odottamaan turhaan useita tunteja aluksen saapumista, jos tietoa viivästyisestä ei ole toimitettu kuljettajille. Ongelmana on myös, että tavaraliikenteen toimijoilla on olemassa lukuisia erilaisia järjestelmiä, jotka eivät mahdollista tiedon siirtämistä järjestelmästä toiseen.

Tulevaisuudessa eri liikennemuotojen liikenteen hallinnan järjestelmät ja niiden tuottama informaatio voidaan yhteensovittaa siten, että koko matka- ja kuljetusketjun osalta on saatavissa samanmuotoista informaatiota samasta paikasta. Liikenteen hallinnan jär-

jestelmät ja tuotettava informaatio on lisäksi sovitettu kansainvälisten määräysten ja ohjeiden mukaiseksi niin, että ne palvelevat myös kansainvälisen liikenteen tarpeita.

Tiedon liikkuminen ei tarkoita, että kaikkien toimijoiden tulisi käyttää samoja järjestelmiä. Realistisempi vaihtoehto olisi luoda järjestelmien välille toimivat rajapinnat. Rajapintojen kautta kuljetettavaa tavaraa koskevan tiedon siirtäminen kulkumuodosta toiseen olisi mahdollista ja mahdollisimman helppoa ja nopeata. Rajapinnan kautta kuljetusliikkeet saisivat tiedon myös esimerkiksi jos kuljetukset muuttuvat tai vaikka satamaan saapuva alus on myöhässä. Kaikkien toimijoiden käyttöön voitaisiin myös perustaa yhteinen tietokanta, josta löytyisi kattavasti kaikki yhteinen tarpeellinen tieto esimerkiksi levähdyspaikoista tai muista palveluista.

Tiedon tehokkaampi liikkuminen eri toimijoiden välillä parantaa myös luottamusta eri toimijoiden kesken. Tämä mahdollistaa kuljetusten yhdistelemisen, kun luottamuspula ei estä yhdistelemistä. Kuljetuksia yhdistämällä voidaan pienentää kustannuksia, kun ei tarvitse liikuttaa tavaraa puoliiksi tyhjiillä rekoilla tai junilla. Älyliikenne mahdollistaa kuljetuksen reaaliaikaisen seurannan, jolloin toinen toimija voi koko ajan seurata missä oma tavara liikkuu.

Tiedon liikkumisen tehostaminen on erityisen tärkeää eri kulkumuotojen solmukohdissa. Esimerkiksi laivan saapussa satamaan ei tieliikennekeskus tällä hetkellä tiedä, kuinka paljon rekkoja on tulossa hakemaan aluksesta tavaraa. Jos rekkojen määrä tiedettäisiin, voitaisiin osa rekoista ohjata käyttämään eri reittiä ja välttää ruuhkautumista. Tieliikennekeskus voisi myös ajoittaa liikennevaloihin vihreän aallon rekkojen poistussa satamasta. Myös maaliikenteen solmukohdissa voisi kuljetusketjua tehostaa tiedonsiirtoa parantamalla.

Tulevaisuudessa kuljetusketjun toimivuutta voitaisiin parantaa myös älykkäällä reitinopastusjärjestelmällä. Tavallisten navigointipalveluiden lisäksi reitinopastusjärjestelmä osaisi ennakoita ruuhka-ajat ja neuvoa kuljettajaa pitämään pakolliset tautot pahimpaan ruuhka-aikaan tai tieverkon häiriöiden aikana.

Kuljetusketjua voidaan tehostaa myös monilla muilla älyliikenteen ratkaisuilla. Esimerkiksi ajoneuvoteknologian kehittyminen parantaa yhtäläillä raskaan liikenteen kuin henkilöliikenteenkin sujuvuutta. Tällä hetkellä yleistymässä ovat erilaiset monipalvelulaitteet, joissa raskaisiin ajoneuvoihin tuodaan erilaisia älyliikenteen palveluita yhden laitteiston kautta. Erilaisia palveluita voivat olla esimerkiksi matkailu- ja navigointipalveluita, vapaan pysäköintipaikan etsimistä ja maksamista, ajantasaisia liikenne- ja keli-tietoja tai sähköinen etäkatsastus. Tulevaisuudessa kuljetusketjua tehostavat palvelut tulevat yleistymään ja eri liikennemuotojen yhteistyö tulee tiivistymään.

7.6 Yhteenveto

Meriliikenteessä on käytössä erilaisia älyliikenteen palveluja. Vaikka varsinaisia välityskyongelmia on meriliikenteessä vain vähän, voi älyliikenteellä parantaa meriliikenteen ja koko kuljetusketjun sujuvuutta ja toimivuutta. Meriliikenteessä oleellista on kuljetusketjun toiminta, eikä niinkään yksittäisen väylän tai aluksen kapasiteetti.

Meriliikenteen sujuvuutta ja turvallisuutta ylläpidetään ja parannetaan liikenteen ohjauksen ja häiriönhallinnan avulla. Liikenteenohjauspalveluiden avulla voidaan valvoa ja ohjeistaa kaikkia merellä liikkuvia aluksia ja välttää tällä tavoin häiriöitä. Liikenteenohjauksen avulla voidaan alusten liikkumista myös optimoida. Esimerkiksi lähtölupa- ja

porrasmenetelmien avulla alusliikenneohjaajat voivat päättää missä järjestyksessä alukset kulkevat kapeista paikoissa tai saapuvat satamaan. Ilman liikenteen ohjausta alukset sopivat järjestelystä keskenään. Liikenteen ohjauksessa olennaista on reaaliaikaisen tiedon saanti sekä alusten ja liikenteenohjauskeskuksen hyvä vuorovaikutus. Muita sujuvuutta parantavia keinoja ovat esimerkiksi elektroniset merikartat ja joustava kulusyvyyskäytäntö.

Satamat ovat tärkeä tavaraliikenteen solmukohta, jonka tehokkuus heijastuu koko kuljetusketjuun. Satamat toimivat jo nykyisellään tehokkaasti, mutta ongelmat aiheutuvat lähinnä rahdin käsittelemisessä esiintyvistä viiveistä sekä turhasta varastoinnista, kun sopivaa kuljetuskapasiteettia ei ole käytössä. Satamien välityskykyä voidaan parantaa parhaiten sähköisen kuljetustiedon avulla. Kun satamien paperityöt voidaan kokonaisuudessaan siirtää sähköiseksi, nopeutuu aika aluksen saapumisesta lastin purkamiseen. Myös sataman resursseja voidaan siirtää manuaalisesti paperidokumenttien täyttämisestä muihin tehtäviin.

Suomessa on jo käytössä keskitetty meriliikenteen tietoportaalit PortNet. PortNet kattaa sekä satamatoiminnot että alusliikenteen ohjaukseen, valvontaan ja luotsaukseen liittyvät toiminnot. PortNetin avulla jokaisen osapuolen ei tarvitse kirjata tietoja erikseen, vaan aluksen ja lastin tiedot välittyvät kaikille niille toimijoille, jotka tietoa tarvitsevat. Tämä nopeuttaa satamatoimintoja ja vapauttaa kapasiteettia muuhun käyttöön.

Sähköisen tiedon kehittäminen tulee väistämättä tehostamaan koko kuljetusketjua. Sähköinen tieto mahdollistaa tiedon tehokkaan jakamisen, tallennettavuuden ja tietojen löytymisen myöhemmin helpommin. Toimivilla ja kattavilla tietojärjestelmillä saadaan oikea tieto oikeaan paikkaan oikeaan aikaan ja voidaan hyödyntää ennakkotietoa toimintojen suunnittelussa. Sähköinen tieto mahdollistaa myös vahvan luottamuksen syntymisen eri toimijoiden välille. Kun tavarantoimittajat voivat reaaliaikaisesti seurata oman tavaransa liikkeitä, voivat he herkimmin antaa tavaransa toisen toimijan kuljetettavaksi. Reaaliaikainen seuranta mahdollistaa myös häiriöiden herkemmän havaitsemisen kuljetusketjussa, jolloin ketjun seuraavia toimijoita voidaan ajoissa varoittaa viiveestä.

8 Yhteenveto ja päätelmät

8.1 Yhteenveto

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää miten liikenneverkkojen välityskykyä voidaan tehostaa älyliikenteen avulla. Tutkimuksen painopisteenä olivat tieliikenteeseen soveltuvat keinot, mutta myös rautatieliikenteeseen, meriliikenteeseen ja koko liikennejärjestelmään vaikuttavia keinoja on esitelty. Tutkimuksen tavoitteena oli myös pohtia, miten eri kulkumuotojen välityskyky-käsitteet eroavat toisistaan ja voisiko välityskykyä tehostavia keinoja hyödyntää kulkumuodosta toiseen.

Tutkimuksessa etsittiin vastaus seuraaviin kysymyksiin, joista viimeinen on varsinainen tutkimuskysymys:

- Onko Suomen liikenneverkolla välityskykyongelmia?
- Mistä välityskykyongelmat johtuvat?
- Miten liikenneverkkojen välityskykyä voidaan hyödyntää paremmin älyliikenteen keinoin?

Työn taustalla on tieliikenteen ja rautatieliikenteen välityskyvyn riittämättömyys etenkin pääkaupunkiseudulla. Ruuhkat ovat pääkaupunkiseudun pääväylillä säännöllisiä ja häiriön sattuessa väylät ruuhkautuvat myös ruuhka-ajan ulkopuolella. Välityskykyongelmia esiintyy myös muualla Suomessa ja liikenteen kasvun myötä ongelmat tulevat yleistymään. Meriliikenteessä välityskyky on pääosin riittävää ja ongelmia ilmenee lähinnä satamissa. Meriliikenteessä onkin olennaisempaa koko kuljetusketjun toimivuus kuin yksittäisen väylän välityskyky.

Meriliikenteen eroavaisuus näkyy myös termeissä. Kirjallisuusselvityksessä tuli ilmi, että välityskykytermit tarkoittavat kaikissa liikennemuodoissa samaa asiaa, mutta meriliikenteessä termiä ei juuri käytetä. Meriliikenteessä olennaisempaa on kuljetus- ja lastikapasiteetti. Tieliikenteessä ja rautatieliikenteessä välityskykytermi on aktiivisessa käytössä.

Välityskykyongelmia on aikaisemmin ratkaistu pääasiassa uusia teitä ja ratoja rakentamalla sekä olemassa olevia väyliä parantamalla. Painopiste on kuitenkin siirtymässä yhä enemmän neliporrasperiaatteen mukaisesti siihen, että ensin ongelmiin etsitään ratkaisuja kysynnän ohjaamisen avulla sekä pienillä investoinneilla. Uusien väylien rakentaminen on vasta viimeinen keino ratkaista ongelmia. Älyliikenteen keinot ovat uusiin väylähankkeisiin verrattuna pieniä mutta kustannustehokkaita parantamiskeinoja.

Tutkimuksessa nousi esille, että paras keino ratkaista liikenteen välityskykyongelmat olisi liikenteen kysynnän vähentäminen ja liikkujien kulkutapojen muuttaminen koko liikennejärjestelmän mittakaavassa. Vaikutettaessa vain yksittäisen alueen tai liikennemuodon kysyntää, ongelmat yleensä vain siirtyvät muualle. Liikennejärjestelmätasolla liikenteen sujuvuutta voidaan parantaa esimerkiksi vaikuttamalla liikenteen kysyntään, kulkutapajakaumaan ja ajoneuvojen käyttöasteeseen. Liikennejärjestelmätason keinoja ovat esimerkiksi maankäytön tiivistäminen, liikenteen hinnoittelu, joukko- ja kävelyn ja pyöräilyn kilpailukyvyyn parantaminen ja esimerkiksi kimpakkyytien käyttöön kannustaminen.

Tieliikenteen välityskykyä parantavia keinoja tarkasteltiin vaikuttavuustutkimusten, asiantuntijahaastatteluiden ja muissa maissa tehtyjen arviointien perusteella. Keinojen vertailu osoittautui erittäin haastavaksi, koska välityskykyä mittaavia vaikutustutkimuksia on tehty hyvin vähän ja suomalaisissa oloissa tehtyjä tutkimuksia on vain kourallinen. Myös asiantuntijoiden arviot älyliikenteen keinojen paremmuudesta sekä sopivuudesta Suomeen vaihtelivat hyvin paljon, mikä kertoo arvioinnin vaikeudesta. Tämän vuoksi keinojen soveltuvuutta Suomeen painotettiin.

Tutkimustulosten mukaan paras tapa parantaa tieliikenteen välityskykyä on häiriönhallinnan kehittäminen. Tieliikenteen ruuhkista arviolta noin puolet aiheutuu liikenteen häiriöistä. Ruuhkat alentavat tieliikenteen välityskykyä. Häiriönhallintaa voidaan hyödyntää lähes koko tieverkolla ja häiriönhallinnassa voidaan hyödyntää aina kullekin alueelle parhaiten sopivia keinoja. Häiriönhallinta vaatii vielä runsaasti kehittämistä ja eri toimijoiden yhteistyötä ja tiedonvaihtoa häiriötilanteissa tulee edelleen parantaa.

Kaupunkiliikenteessä tieliikenteen välityskykyä voidaan häiriönhallinnan lisäksi parantaa ottamalla käyttöön alueelliset älykkäät liikennevalot ja optimoimalla jo olemassa olevat liikennevalot nykyisten liikenneolojen mukaisiksi. Myös liikennetiedotuksella ja reittiopastuksella voidaan vähentää ruuhkia hyödyntämällä koko liikenneverkko tehokkaammin. Tiedotuksen ja reittiopastuksen merkitys korostuu tulevaisuudessa, kun navigaattoreiden reittivalintoihin saadaan paremmin mukaan reaaliaikainen liikennetieto.

Maanteillä ja kaupunkien isoilla väylillä hyviä välityskykyä parantavia keinoja ovat vaihtuvat nopeusrajoitukset sekä liikenteen tiedotus ja reittiopastus. Vaihtuvien nopeusrajoitukset harmonisoivat liikennevirtaa ja vähentävät liikenteen häiriöitä. Vaihtuvat nopeusrajoitukset soveltuvat hyvin erilaisille tieverkoille, mutta suurin hyöty saadaan ruuhkaisilla korkealuokkaisilla väylillä. Myös liikennetiedotusta ja reittiopastusta voidaan hyödyntää lähes kaikkialla. Niiden käyttö tulee laajenemaan, kun navigaattoreiden käyttö ajoneuvoissa yleistyy. Muita välityskykyä parantavia keinoja ovat ramppiohjaus, leveän pientareen käyttö ja vaihtuvasuuntaiset kaistat.

Tulevaisuudessa tieliikenteen välityskykyongelmien ratkaisuna saattaa olla ajoneuvo-tekniikan kehittyminen ja tieliikenteen siirtyminen kooperatiivisen liikenteen kautta yhä autonomisemmaksi liikenteeksi. Ajamisen hallinnan ja havainnoinnin siirtyessä yhä enemmän kuljettajalta tietokoneelle inhimillisten virheiden määrä vähenee, jolloin myös liikenteen häiriöt vähenevät. Ajoneuvojen älykkyyden kehittyessä voidaan tieliikenteen välityskykyä nostaa myös esimerkiksi lyhentämällä ajoneuvojen turvavälejä.

Tutkimuksessa etsittiin keinoja myös rautatieliikenteen ja meriliikenteen välityskyvyn parantamiseksi. Sekä rautatieliikenteessä että meriliikenteessä on jo käytössä useita älyliikenteen ratkaisuja. Rautatieliikenteen älyliikenteen keinoja ovat esimerkiksi liikenteen ohjausjärjestelmät ja automaattinen junan lähtökäsky. Meriliikenteessä älyliikennettä hyödynnetään esimerkiksi liikenteen ohjauksessa ja satamapalveluissa.

Rautatieliikenteessä älyliikenteen tuoma merkittävin muutos tulee olemaan tietokoneavusteisen päätöksenteon tuleminen liikenteenohjaajien avuksi. Tietokone voi avustaa liikenteen ohjaajaa esimerkiksi laskemalla junien viiveitä häiriötilanteissa tai ehdottamalla uutta aikataulua. Tietokoneella ei vielä pystytä kokonaan korvaamaan liikenteen ohjaajaa, mutta liikenteen ohjaajan työkuormaa voidaan päätöksentekoa avustavien ohjelmien avulla helpottaa. Osan tehtävistä siirryttyä tietokoneelle, voi liikenteen ohjaaja keskittyä liikenteen sujuvuuden kannalta tärkeimpiin tehtäviin. Tulevaisuuden yhtenä

haasteena tulee olemaan, miten tietokonetta voidaan hyödyntää optimaalisesti ja mitkä asiat kannattaa jättää ihmisen päätettäväksi.

Älyliikenteen yleistyminen rautatieliikenteessä tulee näkymään myös aikataulusuunnittelun kehittymisessä sekä junien turvavälien lyhenemisenä. Aikataulusuunnittelussa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää yhä suuremmassa määrin tietotekniikkaa. Uusilla ohjelmilla voidaan havaita aikatauluista esimerkiksi potentiaalisia häiriökohtia tai luoda jo valmiiksi suunnitelmia häiriötilanteiden varalle. Rautatieliikenteen välityskykyä voidaan parantaa myös esimerkiksi junan kulunvalvontajärjestelmän kehittämällä tulevaisuudessa vaikka liikkuvilla suojavaileilla.

Tutkimuksessa huomattiin, että meriliikenteen sujuvuutta älyliikenteen keinoin voidaan parantaa tehostamalla liikenteen ohjausta ja häiriöhallintaa sekä parantamalla satamapalveluiden sujuvuutta. Meriliikenteessä suurin osa liikenteestä on tavaraliikennettä. Välityskyvyn tehostamista merkittävämpää olisi kehittää kuljetusketjujen toimivuutta. Tavaraliikenteessä keskeistä on tiedon tehokas välittäminen siten, että kuljetusketjuja voidaan optimoida paremmin. Myös solmupisteiden merkitys tulee kasvamaan tulevaisuudessa.

Työn yhtenä tavoitteena oli löytää yhteneväisyyksiä tie-, raide- ja meriliikenteen välityskykyä parantavissa keinoissa sekä tutkia välityskyky-käsitteen eroja eri liikennemuodoissa. Vaikka itse välityskyvyn määritelmä pätee kaikille näille liikennemuodoille, välityskykyä tehostavat ratkaisut ovat hyvin yksilöllisiä. Liikennemuotojen ominaispiirteet ovat niin erilaiset, että tarkempien yksittäisten keinojen hyödyntäminen toisessa liikennemuodossa on vaikeata. Potentiaalisia kehityskohteita on eri liikennemuotojen solmukohdat, jossa esimerkiksi yhteisellä informaatiojärjestelmällä voidaan tehostaa koko matkaketjua. Myös liikennekeskuksia yhteisesti kehittämällä voidaan saavuttaa suuria hyötyjä.

8.2 Päätelmät

Liikenteen välityskyvyn parantaminen nousee yhä tärkeämmäksi tavoitteeksi tulevaisuudessa, jos liikennemäärät jatkavat kasvua ennustetun mukaisesti. Pelkillä infrastruktuurihankkeilla ei pystyvä vastaamaan kasvavien liikennemäärien tuomiin haasteisiin. Tämän vuoksi älyliikenteen erilaiset ratkaisut tulevat olemaan yhä vahvemmin osana liikennejärjestelmää.

Kaikissa kulkumuodoissa tulee jatkossa näkymään yhä vahvemmin häiriönhallinta ja aktiivinen liikenteen operointi. Liikenteen kasvaessa liikennejärjestelmä on yhä herkempi erilaisille häiriöille. Tämän vuoksi häiriönhallinta ja jatkuva aktiivinen liikenteen seuranta korostuu. Vastaisuudessa liikenteen haasteisiin vastataan myös proaktiivisella liikenteen operoinnilla, jolloin tarkoituksena on ennaltaehkäistä häiriöiden syntyminen.

Tieliikenteessä käytetyt välityskykyä tehostavat älyliikenteen keinot ovat edelleen pitkälti tienvarsiteknologiaan painottuneita. Vaihtuvien tienvarsioasteiden on todettu parantavan selvästi sekä tien välityskykyä että turvallisuutta. Niiden rakentamista hidastavat kuitenkin laitteiden suuret investointi- ja käyttökustannukset verrattuna lyhyeen käyttöikänsä. Tulevaisuudessa ajoneuvoteknologia korvaa tienvarsilaitteet. Suuressa osassa ajoneuvoja onkin jo käytössä navigaattori ja samat palvelut löytyvät myös tavallisesta älypuhelimesta.

Tienvarsiteknologian aika ei ole vielä ohi. Tienvarsiteknologialla saavutettava hyöty on niin suuri, että järjestelmiä kannattaa yhä rakentaa ruuhkaisille, häiriöherkille ja turvatomille tieosille. Tienvarsilaitteiden tekniikka kestää nykyiselleen noin kymmenen vuotta, mikä vähintään kuluu laitteiden siirtymisessä tienvarresta autoihin sisälle. Todennäköisesti siirtyminen tienvarsilaitteista ajoneuvoteknologiaan tapahtuu hybridimallin kautta. Hybridimalli tarkoittaa, että käytössä on samanaikaisesti sekä ajoneuvoteknologia että tienvarsiteknologia. Hybridimalli mahdollistaa käyttäjille kivuttoman siirtymisen tienvarsiteknologiasta ajoneuvoteknologiaan.

Tulevaisuudessa siirtyminen yksittäisistä älyliikenteen laitteista kooperatiivisen liikenteen kautta mahdollisesti jopa täysin automatisointiin liikenteeseen voisi teoriassa ratkaista kaikki tämän hetken välityskykyongelmat. Kooperatiivisten palveluiden toteuttaminen pilottialueiden ulkopuolella vaikuttaa tällä hetkellä hitaalta, eivätkä edes liikenteen häiriötiedotteet ole yleistyneet navigaattoreihin. Rohkaisevaa kuitenkin on, että esimerkiksi Google muiden muassa on jo rakentanut toimivan täysin autonomisen ajoneuvon.

Liikenteen välityskyvyn ja sujuvuuden parantamisessa tulee painottumaan jatkossa eri kulkumuotojen yhteistyö. Työssä älyliikenteen keinoja on esitelty yksittäin, mutta todelliset hyödyt saavutetaan kuitenkin vain yhdistämällä eri keinoja sopivasti keskenään. Paras ratkaisu saadaan yleensä yhdistelemällä erilaisia älyliikenteen keinoja muihin liikenneteknisiin ratkaisuihin. On myös muistettava, että eri keinot soveltuvat eri kohteisiin. Keinoja mietittäessä tulisi aina muistaa tarvelähtöinen ajattelu. Älyliikenteen järjestelmien rakentaminen ei saa olla itseisarvo. Useassa tapauksessa ongelmat voisi ratkaista myös jollakin halvemmalla ”tavallisella” keinoilla.

Liikennejärjestelmän kokonaisvaltainen älykkyys puuttuu tällä hetkellä kokonaan. Eri kulkumuotoja, henkilö- ja tavaraliikenne optimoidaan erikseen ottamatta huomioon muita kulkumuotoja. Vielä ei ole olemassa järjestelmiä, jotka optimoisivat liikennejärjestelmää kokonaisuudessaan. Liikennejärjestelmän kehittyminen vaatiikin vielä teknologian kehittymistä. Järjestelmien tulisi kehittyä siihen suuntaan, että luodaan yhteiset standardit, joiden pohjalta uusia järjestelmiä luodaan. Myös lainsäädännön tulee mahdollistaa älyliikenteen uusien palveluiden kehittyminen ja tiedon hyödyntäminen uusissa ratkaisuisissa. Ei tule myöskään unohtaa sitä, että käyttäjien asenteet täytyy pystyä muuttamaan siten, että he luottavat riittävästi uuteen teknologiaan ja uskaltavat kokeilla uusia älyliikenteen palveluita.

Älykkään liikennejärjestelmän luominen vaatii etenkin tiedon hyödyntämistä tehokkaammin liikenteessä. Käyttämällä jo tällä hetkellä kerättyä tietoa tehokkaammin ja järkevämmiin voitaisiin monia liikenteen ongelmia helpottaa. Esimerkiksi liikenteen täsmätiedotuksella matkapuhelimiin voitaisiin yksittäisiä ruuhkatilanteita helpottaa kaupunkiseuduilla. Liikenteestä tulisi saada myös aikaisempaa tarkempaa tietoa. Enää ei riitä vain yksittäisten pisteiden liikennemäärätiedot, vaan tarvetta olisi yhä tarkemmalle matkaketjutiedolle. Tiedon kerääminen on jo nyt mahdollista esimerkiksi navigaattoreiden ja älypuhelimien kautta.

Nykyisellä tekniikalla voidaan taata yksityisyyden suoja tietoa kerätessä ja sitä hyödynnettäessä. Tiedon käyttöä ei tulisi rajoittaa, kunhan käyttäjät tietoisesti luovuttavat omat tietonsa muiden käyttöön ja tietosuoja pidetään riittävän hyvänä. Yhteiskunnan varoilla kerättävien tietojen käytöstä tulisi laatia yhteiset pelisäännöt siitä, kuka tietoja saa käyttää, mihin tarkoitukseen tietoja saa käyttää ja minkälainen korvaus tietojen käytöstä pitää maksaa. Yhteiskunnan keräämät tiedot tulisi olla helposti kaikkien niitä tar-

vitsevien saatavilla, jotta eri toimijoille annetaan todellinen mahdollisuus kehittää uusia älyliikenteen palveluita.

Liikenteen älykkyyden lisääntyminen tuo mukanaan uhkia, joihin on varauduttava järjestelmien yleistyessä. Älyliikenteen kehittyminen tarkoittaa tekniikan lisääntymistä kulkuvälineissä ja päätöksenteon siirtymistä pienin askelin ihmiseltä ajoneuvolle. Suuri haaste on saada tekniikasta riittävän luotettavaa. Tekniset laitteet ovat aina alttiita häiriöille. Mitä enemmän laitteita kulkuvälineissä on, sitä enemmän kulkuvälineessä on häiriölle alttiita osia. Teknologian kehittyminen yhä autonomisempaan suuntaan vaatiikin, että tekniikkaan voidaan luottaa käytännössä sataprosenttisesti. Jos liikenne siirtyisi joskus kokonaan automaattiseksi, tulisi järjestelmien olla moneen kertaan varmennettuja, koska laitteiden häiriöt voivat aiheuttaa pahoja vaaratilanteita. Tämän lisäksi kaikkiin häiriötilanteisiin tulisi varautua ja esimerkiksi mahdollistaa ajoneuvon ohjaus ilman automaattiohjausta.

Digitaalisuuden lisääntyminen tuo haasteita myös yksityisyyden suojan säilyttämiseksi ja tietoturva uhkia. Mitä enemmän älykkäät järjestelmät yleistyvät, sitä enemmän ja tarkempaa tietoa liikenteestä tarvitaan. Tarkempi tieto tuo liikkujien ulottuville paremmat palvelut ja sujuvamman liikenteen. Samalla tietoa saatetaan liikkujan huomaamatta luovuttaa kolmannelle taholle, joka hyödyntää sitä omiin tarpeisiinsa. Nykypäivän tekniikalla yksityisyyden suoja on kuitenkin helppo säilyttää, vaikka omaa liikkumistietoa alettaisiinkin jakaa reaaliaikaisesti. Keräähän kännykkäoperaattorit tietoa jokaisen kännykän liikkumisesta ja käyttäjät ovat tämän hyväksyneet.

Sähköisten järjestelmien yleistymisen vaatii myös luottamuksen kehittämisen eri toimijoiden kesken. Jotta sähköisiä järjestelmiä voidaan hyödyntää optimaalisesti, tulisi kaikkien toimijoiden hyväksyä ne käyttöönsä ja suostua jakamaan tietoja muiden toimijoiden kanssa. Luottamus syntyy vain vuorovaikutuksen ja kokeilujen kautta. Sähköisten järjestelmien yleistymässä on myös olennaista, että rajapinnat eri ohjelmien välillä ovat toimivia ja helppokäyttöisiä. Kuljetusketjun eri järjestelmien tulisi olla yhteensopivia niiltä osin, kun tietoa eri järjestelmien välillä on tarvetta siirtää.

Älyliikenteen yksityiselle sektorille tarkoitettuja palveluita on vielä hyvin vähän. Uusia palveluja kehitellään, mutta ne jäävät valitettavan usein pilottiasteelle. Jos idea selviytyy markkinoille asti, on tekniikka usein jo vanhentunut. Ideoita pitäisikin saada nopeammin ja rohkeammin tuotua markkinoille. Suomen markkinat ovat hyvin pienet, joten tavoitteena tulisi olla kansainväliset markkinat.

8.3 Tutkimuksen luotettavuuden analysointi

Tutkimuksessa älyliikenteen keinoja on arvioitu kirjallisuusselvityksen, asiantuntija-haastatteluiden ja kahden asiantuntijatyöpajan pohjalta. Tieliikenteen keinoja on vertailtu keskenään, mutta rautatieliikenteen ja meriliikenteen keinot on vain esitelty.

Keinojen arvioinnissa on hyödynnetty kattavasti kansainvälisiä aiheesta tehtyjä tutkimuksia sekä kotimaisten asiantuntijoiden tietämystä, jotta tutkimuksen tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Älyliikenteen keinojen vaikutusta tieliikenteen välityskykyyn ei ole yleisesti tutkittu kovin laajasti ja materiaalina oli vain yksittäisiä tutkimuksia. Tämän vuoksi tarkasteluun otettiin myös muita älyliikenteen keinoista tehtyjä tutkimuksia, joissa tarkastelukohteena olivat muutokset joko matka-ajassa, liikenteen sujuvuudessa, viivytyksissä tai liikennemäärissä. Tutkimukset eivät ole tämän takia kaikil-

ta osin vertailukelpoisia keskenään. Muissa maissa tehtyjen tutkimusten tuloksia ei voi myöskään suoraan hyödyntää arvioitaessa keinojen soveltuvuutta Suomeen. Keinojen arviointia on vaikeuttanut myös se, että Suomessa on tehty vain vähän tutkimusta älyliikenteen keinojen vaikutuksesta välityskykyyn.

Työssä on myös arvioitu miten ajoneuvoteknologian kehittyminen ja liikenteen kehittyminen yhä autonomisemmaksi vaikuttaisi tieliikenteen välityskykyyn. Nämä tulokset ovat vain karkeita arvioita ja niihin tulee suhtautua kriittisesti.

Rautatieliikenteessä älyliikenteen keinojen vaikutuksesta rautatieliikenteen välityskykyyn on tehty melko vähän tutkimusta. Välityskykyä yleisesti on kuitenkin tutkittu laajasti. Rautatieliikenteessä suurin osa tutkimuksista on simulointitutkimuksia, koska keinoja on vaikea tutkia todellisessa ympäristössä. Tämän vuoksi tutkimusten tuloksiin tulee aina suhtautua hyvin kriittisesti, koska simulointi ei koskaan täysin vastaa oikeaa liikennetilannetta. Vaikutukset riippuvat vahvasti aina liikenneverkosta. Rautatieliikenteessä ohjausjärjestelmät ovat myös hyvin monimutkaisia, jonka vuoksi tässä työssä ei ole voitu perehtyä keinoihin tarkemmin. Tämän vuoksi myöskään keinojen keskinäistä vertailua ei ole työssä tehty.

Tutkimuksessa tutkittiin kolmea liikennemuotoa, tieliikennettä, rautatieliikennettä ja meriliikennettä. Tämä rajoitti työn laajuutta, mutta toi toisaalta liikennejärjestelmäajattelun vahvemmin osaksi työstä. Eri keinoja olisi voitu valita mukaan enemmän ja keinoihin perehtyä tarkemmin, jos olisi käsitelty vain yhtä liikennemuotoa. Kaikkien kolmen liikennemuodon käsitteleminen toi uusia näkökulmia siihen, miten eri liikennemuodot eroavat toisistaan ja mitä älyliikenteen keinoja voitaisiin hyödyntää liikennemuodoista riippumatta.

Kaikista kolmesta liikennemuodosta haastateltiin kolmea asiantuntijaa. Haastattelemalla lisää ihmisiä olisi voitu saada lisää tuloksia siitä, mitkä älyliikenteen keinot soveltuvat parhaiten Suomeen.

8.4 Jatkotutkimuskohteet

Tutkimuksessa tuli esiin useita eri jatkotutkimuskohteita. Työssä huomattiin, että välityskykyä mittaavia älyliikenteen keinojen vaikutustutkimuksia on tehty hyvin vähän. Etenkin Suomen oloissa olisi tarpeellista tutkia eri järjestelmien todellisia vaikutuksia, jotta eri kohteille osattaisiin paremmin valita sopivat älyliikenteen järjestelmät. Vaikutustutkimuksia tarvitaan päätöksenteon tueksi. Tutkimuksessa kartoitettiin vain yleiselle tasolla mahdollisia välityskykyä tehostavia älyliikenteen keinoja. Tarkempi yksittäisten keinojen arviointi vaatisi tarkemman järjestelmien teknisiin puoliin tutustumisen.

Yhtenä jatkotutkimuskohteena on tarkempi analyysi olemassa olevista kansainvälisistä vaikutustutkimuksista. Tutkimusten joukko on hyvin kirjava ja olisi hyvä selvittää, miten esimerkiksi erilaiset sää- ja keliolosuhteet, liikenneolosuhteet tai ajotavat vaikuttavat tuloksiin. Tulevaisuudessa julkaistuja tutkimusten tuloksia olisi helpompi vertailla Suomen oloihin, kun olosuhteiden vaikutus olisi tiedossa. Tutkimuksista voisi tulla myös ilmi, minkälaiset keinot soveltuvat mihinkin kohteeseen. Myös älyliikenteen keinojen ja tavallisten keinojen yhdistämistä kannattaisi tutkia.

Lentoliikenne on usealla älyliikenteen osa-alueella selkeästi edellä muita liikennemuotoja. Lentoliikenteen teknologiat ja käytännöt kannattaisi benchmarkata ja tutkia voisiko lentoliikenteessä käytössä olevia tekniikoita hyödyntää esimerkiksi rautatieliikenteessä.

Sekä rautatieliikenteessä että lentoliikenteessä turvallisuus on erittäin keskeistä, mutta lentoliikenteen järjestelmät ovat enemmän automatisoituja kuin rautatieliikenteessä.

Tästä tutkimuksesta oli rajattu pois kysynnän hallinnan ja liikkumisen ohjauksen keinot. Näillä keinoilla voidaan parhaiten puuttua liikenteen sujuvuusongelmiin, kun liikennemäärä vähenee. Kysynnän hallinnan ja liikkumisen ohjauksen vaikuttavuutta liikennejärjestelmän käytön tehostamiseksi tulisi tutkia tarkemmin.

Suomessa ollaan parasta aikaa kehittämässä kaikkien liikennemuotojen yhteistä tilannekuvaa. Tässä tutkimuksessa tuli kuitenkin ilmi, että tilannekuvan hyödyntämisestä on tehty vasta muutamia tutkimuksia. Jatkotutkimuskohteena onkin, miten eri liikennemuodot voisivat hyödyntää yhteistä tilannekuvaa ja minkälaisia hyötyjä tällä voitaisiin saavuttaa. Tilannekuvan yhteydessä voisi myös pohtia miten solmukohtien tiedon välittämistä voitaisiin parantaa.

Yksittäisenä kehittämiskohteena tutkimuksessa huomattiin vaihtuvien nopeusrajoitusten käytön kehittäminen. Oikein käytettynä vaihtuvilla nopeusrajoituksilla voidaan tehokkaasti ehkäistä ruuhkatilanteiden syntymistä. Tällä hetkellä suuri osa järjestelmistä ei kuitenkaan toimi optimaalisesta. Vaihtuvia nopeusrajoituksia tulisi kehittää enemmän ennakoivaan suuntaan. Jatkotutkimuksessa voisi kehittää vaihtuvien nopeusrajoitusten logiikkaa hyödyntämään paremmin LAM-tietojen pieniä muutoksia, minkä avulla ruuhkia voitaisiin ennakoida yhä paremmin.

Lähdeluettelo

- Aaltonen, M. 2010. Haastattelu 25.10.2010. Liikennevirasto. Helsinki.
- Abril, M & Berber, F. & Ingoloyyi, L. & Salido, M.A. & Tormos, P. & Lova A. 2008. *An assesment of railway capacity*. Tranportation Research Part E: Logistics and Transportation Revier Volume 44, Issue 5, September 2008. ss. 774-806.
- Airaksinen, N, Kärki, J-L.& Tikannen, M. 2008. *Automaattisen nopeusvalvonnan vaikutustutkimus. Valtatiet 5, 6, ja 9 Savo-Karjalan ja Kaakkois-Suomen tiepiireissä*. Tiehallinto. Kuopio. 118 s. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 29/2008. Verkkojulkaisu.
- Ala-Laurinaho, A., K. Launis, et al. (2009). *Analysis of changing rail traffic control work: disturbance handling as a shared task of a network*. IEA International Ergonomics Association. Beijing, China. August 2009.
- Albania, N. 2010. *Evaluation of Variable Speed Limits: Empirical Evidence and Simulation Analysis of Stockholm's Motorway Control System*. Doctoral Dissertation, Royal institute of Technology. Tukholma, Ruotsi.
- Bielefeldt, C et al. 2007. *European ramp metering project*. European community. IST-2002-23110.
- Bishop, R. 2005. *Intelligent Vehicle Tehnology and Trends*. Norwood, MA: Artec House, INC. S. 344.
- Bretherton, D. & Wood K. & Baker, K. & Radia, B. 2000. Tenth International Conference of Road Transport and Information Control. 4.8.2000-6.8.2000. Ss. 96
- Brown, T. & Clark, I. & Evans, P. & Wee Leon. 2004. New Zealand's Easy Merge Ramp Signal (Ramp Metering) Trial. New Zealand.
- Department of Transport. 2008. *Road transport forecast 2008. Result from the Department for Transport's National Transport Model*. Department of Transport 2008, UK:
- Chatterjee, K. & McDonald, M. 2004. *Effectiveness of Using Variable Message Signs to Disseminate Dynamic Traffic Information: Evidence from Trails in European Cities*. Transport Reviews, Vol. 24, No. 5. Bristol, UK. ss. 559–585.
- Chatterjee, K. & Hounsell, N.B. & Firmin P.E. & Bonsall, P.W. 2002. *Driver response to variable message sign information in London*. Transportation research part C: Emerging technologies 10, ss. 149-169 (21).
- Chen, Y. & Yang, L-A. 2008. *A Fuzzy Petri Nets approach for railway traffic control case of abnormality: Evidence from Taivan railway system*. Expert systems with applications, vol.36 issue 4. SS. 8040-8048.
- Cohen, S. 2004. *Using the Hard Shoulder and Narrowing Lanes to Reduce Traffic Congestion. Some Lessons from an Experiencs on the Paris Motorway Network*. The Institution of Electrical Engineers. IEE, Stevenage.
- Cohen, S. 2000. *A Cost/benefit Analysis of a New Road Incident Management Practice*. Tenth International Conference of Road Transport and Information Control. 4.8.2000-6.8.2000. S. 75 .
- Conolly, C. 2009. *Driver assistance systems aim to halve traffic accidents*. [Verkkoleh-ti]. Vol. 29:1. S. 13-19. [Viitattu 30.8.2010]. Saatavissa:

<http://www.emeraldinsight.com.libproxy.tkk.fi/Insight/viewContentItem.do?contentType=Article&contentId=1768982>. DOI 10.1108/02602280910926715.

D'Ariano, Andrea. 2008. *Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications*. Dissertation. Delft: Delft University of Technology. 240 p. TRAIL Thesis Series T2008/6. ISBN 978-90-5584-100-4.

Darpa. 2010. *Darpa Grand challenge 2007*. <http://www.darpa.mil>. internet-sivut. Viitattu 11.11.2011.

Day, P. 2004. Incidents and Accidents. Traffic Technology International. Dec/2004 – Jan/2005. Ss. 26-28.

Dia, H. & Gondwe, W. & Panwai, S. 2008. *Traffic Impact Assessment of Incident Managements Strategies*. Proceedings of the 11th international transportation system. Peking, Kiina. 12.-15.10.2008. Ss. 441-446.

Dia, H. & Cottman, N. 2006. *Evaluation of arterial incident management system impact using traffic simulation*. Intelligent Transport Systems, IEE Proceedings 153; issue 3. Ss. 242.

Erke A., Goldenbeld C., Vaa T. 2009. *Good practice in the selected key areas: Speeding, drink driving and seat belt wearing: Results from meta-analysis*. PEPPER (Police Enforcement Policy and Programmes on European Roads) Deliverable 9.98 p.

ERTMS. 2010 <http://www.ertms.com>. Internetsivut. Viitattu 19.12.2010.

European Commission Information and Society and Media. 2010. *CVIS Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*. Viitattu 30.8.2010. Saatavilla: <http://www.cvisproject.org/>.

Euroopan yhteisöjen komissio. 2008a. Action Plan for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe. Commission of the European Communities, Communication from the Commission, COM(2008) 886 Final. Brussels, 16.12.2008

Euroopan yhteisöjen komissio. 2008b. *Komission tiedonanto: Toimintasuunnitelma älykkäiden liikennejärjestelmien käyttöönottamiseksi Euroopassa*. KOM(2008) 886 lopullinen. Brysseli, 16.12.2008.

Euroopan yhteisöjen komissio. 2007. *Komission tiedonanto: Tavaraliikenteen logistiikkaa koskeva toimintasuunnitelma {SEK(2007 1320)}{SEK(2007)1321}*. Brysseli, 18.10.2007.

Euroopan yhteisöjen komissio. 2005. *Komission tiedonanto Euroopan parlamentille ja neuvostolle eurooppalaisen rautatieliikenteen merkinantojärjestelmän ERTMS/ETCS käyttöönotosta (SEK(2005) 903)*. Brysseli 4.7.2005.

Gains, A., Heydecker, B., Shrewsbury, J. & Robertson, S. 2004. *The national safety camera programm: Three-year evaluation report*. PA Consulting Group. London, UK. Luettavissa sähköisenä osoitteen taht http://www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_rdsafety/documents/divisionhomepage/030766.hcsp

Google. 2010. *What we are driving at*. The official Google blog. <http://googleblog.blogspot.com/2010/10/what-were-driving-at.html>. Viitattu 11.11.2010.

Gourgoulis, D.E. & Yakinthos, C.G. 2008. *An Intelligent Maritime Workplace using IT technologies*. Third International Conference on Dependability of Computer Systems. 26.–28.6.2008. Szklarska, Poreba. Ss. 383–389. ISBN 978-0-7695-3179-3.

Gouweloos, Rien & Bartholomeus, Maarten. 2007. *An estimate of the punctuality benefits of automatic operational train sequencing*. 4th International Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways, ATMOS 2004, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4359 NCS, p. 295-305. Heidelberg: Springer Verlag. ISSN 0302-9743.

Goverde, Rob M. P. & Daamen, Winnie & Hansen, Ingo A. 2008. Automatic identification of route conflict occurrences and their consequences. [Abstract]. 11th International Conference on Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, COMPRAIL 2008, WIT Transactions on The Built Environment, Vol. 103, p. 473-482. Southampton: WITPress. ISSN 1743-3509.

Grimm, M. 2005. *Simulation as a Method of Analysing the Capacity of a Railway System*. Proceedings of the 1st International Seminar on Railway Operations Modelling and Analysis 8–10.6.2005. Delft, Alankomaat.

Haapakoski, J. 2010a. Haastattelu. Kaivokatu.

Haapakoski, J. 2010b. *Älykkyyden soveltaminen tänään ja huomenna –toiminnan tukena*. RATA 2010. Paviljonki, Jyväskylä. 26.–27.1.2010. Esitelmäkalvot. Saatavissa: http://rhk-fibin.directo.fi/@Bin/841e233298066c492115cf8608689167/1291567584/application/pdf/3449972/Haapakoski%20Juha_%C3%84lykkyyden%20soveltaminen.pdf. Viitattu 5.12.2010.

Haj-Salem, H. & Poirier, P. & Heylliard, J-F. & Peynaud, J-P. 2001. ALINEA: a local Traffic Responsive Strategy for Ramp Metering: Field Results on A6 Motorway in Paris. IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, 2001. Oakland, USA. 25.–29.8.2001. ISBN 0-7803-7194-1.

Hautala, R. & Sonninen, S. & Levo, J. & Lähesmaa, J. 2004. *Meriliikenteen häiriönhallinnan toimintamallin kehittäminen*. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. FITS-julkaisu 47/20004. 120 s. ISBN 952-201-108-8.

HCM. Katso Transportation Research Board.

Helsingin kaupungin kaupunginsuunnitteluvirasto (KSV). 2009. *Liikennemäärät Helsingin pääkatuverkossa. Syyskuu 2009*. Helsingin kaupunki.

Highways agency. 2010. *Hard Shoulder Running*. <http://www.highways.gov.uk/roads/projects/22988.aspx>.

Highways agency. 2008a. *ATM Monitoring and Evaluation, 4-lane Variable Mandatory Speed Limits, 12 Month Report (Primary and Secondary Indicators)*. Highways agency. Bristol, UK.

Highways agency. 2008b. *Integrated Traffic Management at Junction 33 of the M1. Evaluation report*. Highways agency. Iso-Britannia.

Highways agency. 2008c. *Perceptions of Variable Message Sign accuracy: A repeat survey. Birminham*, Highways agency. Iso-Britannia.

- Highways agency.2008d. *Ramp Metering, Operational Assessment*.Highways Agency 2008. Highways agency. Iso-Britannia.
- Highways agency. 2007a. *M25 Controlled Motorways. Summary Report March 2007*. Highways Agency Publications Group. Iso-Britannia.20 s.
- Highways agency. 2007b. *Ramp Metering: Summary Report*. An Executive Agency of the Department for Transport. Highways agency. Iso-Britannia.
- Hirsjärvi, S. & Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. *Tutki ja kirjoita*. Hämeenlinna. ISBN 978-951-31-4836-2.
- Hutton, J. & Bokenkroger, C. & Meyer, M. 2010. *Evaluation of an Adaptive Traffic Signal System: Route 291 in Lee's Summit, Missouri*. Missouri Department of Transportation. Missouri, USA. S.86.
- Indrawan, M. & Licheng, C. & Salim, F. D. & Seng, W. L. 2008.*Road Intersections as Pervasive Computing Environments: Towards a Multiagent Real-Time Collision Warning System*. Teoksessa: Pervasive Computing and Communications, 2008. PerCom 2008.Sixth Annual IEEE International Conference on. Hong Kong. 17-21.3.2008. IEEE Computer Society. S. 621-626. ISBN 978-0-7695-3113-7 (painettu).(DOI 10.1109/PERCOM.2008.72).
- Innamaa, S. & Koskinen, H. & Schirokoff, A. & Tarkiainen, M. 2005. *Anturiajoneuvoilla saatavan tiedon hyödyntäminen*. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. AINO-julkaisuja 13/2005. 75 s.
- Jokela, J. & Lehtomaa, J. 2009. *Liikenteen sujuvuuden parantaminen kaupunkien pääväylillä pienen toimenpitein*. Helsinki. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 35/2009. 66 s.
- Järvinen, L. 2010. *ERTMS. Tekniikka ja nykytilanne*.Rata 2010 –seminaari. Paviljonki, Jyväskylä. 26.-27.1.2010.
- Kalenoja, H. & Mäntynen, J. & Pöllänen, M. 2004. *Jaloin-ohjelman arviointi sekä toimenpidesuosituksia jalankulun ja pyöräilyn edistämiseksi Suomessa*. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 98 s. Verkkojulkaisu. ISSN 1457-7488.
- Kiiskilä, K. & Koskinen, L. & Vähä-Rahka, M. 2002. *Liikkumisen ohjaus ja sen soveltamismahdollisuudet Tampereen seudulla* .Tampere. Tampereen teknillinen korkeakoulu.Tutkimuksia / Tampereen teknillinen korkeakoulu / Liikenne- ja kuljetustekniikka; 46. 105 s. Verkkojulkaisu.
- Kilpeläinen, M. & Summala H. 2002. *Kelitiedon kokeminen ja vaikutukset*.Tiehallinto. Helsinki. Tiehallinnon selvityksiä 59/2002.
- Kivari, M. & Kiiskilä, K. & Heltimo, J. & Rönkä, K. 2006. *Ihmisten liikkumistarpeet*. Helsinki, Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 49/2006.
- Kosonen, I. 2010. *Energia ja informaatio tulevaisuuden liikenteen hallinnassa*.Väylät ja liikenne 2010. Jyväskylä 13.-14.10.2010.
- Kosonen, T. 2009. *Radan välityskyky, siihen vaikuttavat tekijät ja se määrittäminen*. Teknillisen korkeakoulun rautatietekniikan kurssin luentomateriaali. 18.11.2009.
- KSV. Katso. Helsingin kaupungin kaupunginsuunnitteluvirasto.
- Kulmala, R. 2010a. Haastattelu. 4.11.2010. Helsinki

- Kulmala, R. 2010b. *Poistaako älykkyys liikenteen haitat?*. Tekniikan päivät 2010. 15.1.2010. Otaniemi, Espoo.
- Kulmala, R. & Schirokoff, A. 2010. *Tieliikenteen hallinta 2015: Taustaraportti toimintalinjojen laatimiseksi*. Tiehallinto, Helsinki. Tiehallinnon selvityksiä 42/2009. 88 s.
- Kulmala, R. et al. 2008. CODIA Final study report. CODIA deliverable 5.211 s.
- Laine, T. 2004. *Muuttuvan reittiopastuksen arviointi - Vt 4 Lahti-Heinola*. Tiehallinnon selvityksiä 15/2004. Tiehallinto. Helsinki.
- Laine, T. ja Salonen, T. 2011. *Suurten kaupunkiseutujen liikenteenhallintakeskusten alkuvaiheen arviointi*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2011. Liikennevirasto. Helsinki.
- Laitinen, R. & Nevala, R. & Pitkänen, J-P. 2005. *Ramppiohjaus: Yleissuunnitelma*. Helsinki, Tiehallinto.
- Laurinaho, A. & Launis, K. & Lehtelä, J. & Piispanen, P. 2008. *Etelä-Suomen kauko-ohjausjärjestelmän (ESKO) käyttöönotto ja muutokset*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A8/2009.
- Levo, J. & Lähesmaa, J. & Hautala, R. & Pajunen, K. 2004. *Rautatieliikenteen häiriönhallinnan toimintamalli*. FITS-julkaisuja 46/2004. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki.
- Libby T., Srinivasan R., Decina L. Staplin L. (2008). *Safety effects of automated speed enforcement programs. Critical review of international literature*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010a. *Liikenneinformaation vaikutus ajokäyttäytymiseen. Tampereen seudunliikenneinformaatiojärjestelmä*. ÄLLI-julkaisuja 5/2010. 76 s. Tampere. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010b. *Liikenne- ja viestintäalan sekä liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan virastojen ja laitosten tulostavoitteet vuodelle 2010. Tammikuu 2010*. 39 s. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2010c. *Älyliikenteen neuvottelukunta ohjaamaan kansallista strategiaa*. Tiedote 19.1.2010. Saatavissa: <http://www.lvm.fi/web/fi/tiedote/view/1090778>. Viitattu: 20.9.2010.
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2009. *Kansallinen älyliikenteen strategia. Selvitysmiehen ehdotus*. Liikenne- ja viestintäministeriö. Ohjelmia ja strategioita 5/2009. Helsinki
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2007. *Suuret haasteet, uudet linjat*. Liikenne- ja viestintäministeriön ohjelmia ja strategioita 1/2007. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki
- Liikenne- ja viestintäministeriö. 2004. *Rautatieliikenteen häiriönhallinnan toimintamalli*. FITS-julkaisuja 46/2004. Helsinki. 92 s.
- Liikennevirasto 2011.
- Liikennevirasto. 2010a. *LIIKE-järjestelmä*. Haettu: 10.10.2010 Saatavissa: http://rhk-fibin.directo.fi/@Bin/392822608ff94e04390cee122e9a1eea/1301240391/application/pdf/3780343/LIIKE-j%C3%A4rjestelm%C3%A4%20esitys_muokattu.pdf

- Liikennevirasto. 2010b. *Meriliikenteen tietoaaineistojen arkkitehtuurin nykytila. Yhteenvedo ja jatkoehdotus.* 1/2010 Liikenneviraston väylätietoja. Liikennevirasto. Helsinki.
- Liikennevirasto. 2010c. *Rautatieliikenteen täsmällisyys 2009*. Liikennevirasto, Rautatieosasto. Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 9/2010. 48 s.
- Liikennevirasto. 2010d. *Tieliikenteen hallinnan toimintalinjat*. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston toimintalinjoja 1/2010. 18 s. ISBN 978-952-255-021-7.
- Liikennevirasto. 2010e. *Talvi 2009-2010 Suomen rautateillä - tapahtumat ja johtopäätökset*. Liikennevirasto, Helsinki. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 15/2010. 55 s.
- Liikennevirasto. 2010f. *Tietilasto 2009*. Liikenneviraston tilastoja 2/2010. Liikennevirasto, Helsinki. 81 s. ISBN 978-952-255-009-5.
- Liikennevirasto 2010g. Liikenneviraston toiminta- ja taloussuunnitelma 2011-2014. Helsinki.
- Liikennevirasto & Liikenteen turvallisuusvirasto (Trafi). 2010. *Liikenteen ohjauksen internetsivut*.
http://portal.fma.fi/sivu/www/fma_fi/merenkulun_palvelut/liikenteen_ohjaus. Viitattu: 4.10.2010.
- Luotsausliikelaitos. 2009. *Vuosikertomus*. Helsinki.
- Luttinen, R. T. & Pursula, M. & Innamaa, S. 2005. *Liikennevirran ominaisuudet*. Teknillinen korkeakoulu, Liikennetekniikka, Opetusmoniste 15. Teknillinen korkeakoulu. Helsinki.
- Luttinen, R. T. 2001. Capacity and Level of Service on Finnish Two-Lane Highways. Tiehallinnon julkaisut 18/2001. Helsinki: Tiehallinto.
- Lähesmaa, J. & Hautala, R. & Saarinen, K. 2002. *Liikenteen automaattinen kameravalvonta. Esiselvitys*. FITS-julkaisu 5/2002. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 61 s.
- Manelius, L. 2010. *Liikenneinformaation vaikutus ajokäyttäytymiseen. Tampereen seudun liikenneinformaatiojärjestelmä*. Helsinki, Liikennevirasto. ÄLLI-julkaisu 5/2010. 76 s.
- Marcuson, J. 2009. *Motorway ATM efficiencies - hard shoulders, reversible lanes, ramp reversal*. 16th ITS World Congress 2009. 21.–29.9.2009. Stockholm, Sweden.
- Masuda, S. & Yamazaki, K. & Noda, M. & Jinno, M. 2007. *Shortening signal control delay by prediction of traffic demand*.
Merenkululaitos. 2009. Toiminta- ja taloussuunnitelma 2010-2013.
- Merenkululaitos. 2008a. *Alusliikenteen sujuvuus ja taloudellisuus*. Merenkululaitos. Helsinki. 62 s. Merenkululaitoksen julkaisu 2/2008.
- Merenkululaitos. 2008b. *Merikartoitusohjelma 2008-2018*. Merenkululaitoksen julkaisu 5/2008. Verkkojulkaisu. 52 s.
- Merenkululaitos. 2005. *Väylien kulkusyvyysskäytäntö*. Merenkululaitoksen tiedotuslehti 8/12.7.2005. 6 s. Verkkojulkaisu.

- Merenkulkulaitos. 2004. *Meriväylän syvyyden suunnittelu- ja esittämisperiaatteet riskien valossa*. Merenkulkulaitos. Helsinki. Merenkulkulaitoksen julkaisuja 1/2004. Verkkojulkaisu.
- Middelham, F. 2006. *Dynamic traffic management*. Rijkswaterstaat. Alankomaat.
- Millard, M. & MacDonald, M. 2009. *Evaluation of the benefits of active traffic management schemes using microsimulation programming*. European transport conference, 2009.5.10.2009-7.10.2009. Leeuwenhorst Conference Centre. internet. haettu 10.10.2010 <http://www.etcproceedings.org/paper/evaluation-of-the-benefits-of-active-traffic-management-schemes-using-microsim>
- Ministry of Transport, Public Works and Watermanagement & Directoral General of Public Works and Watermanagement & Transport Research Center. 2004. *Intelligent speed adaptation, Results of the Dutch ISA Tilburg trial*. Ministry of Transport. Netherlands.
- Minnesota Department of Transportation. 2001. *Final report: Twin Cities Ramp Meter Evaluation*. Minnesota department of Transportation Pursuant. Minnesota. 179 s.
- Miyagi, H. 2008. *The experiment on intelligent signal control by profile signal control. Profile signal control system to ease the traffic congestion on Oyodogawa area*. Traffic management and control division. Miyazaki, Japan.
- Mohring, H. 1972. *Optimization and Scale Economies in Urban Bus Transportation*, American Economic Review. ss. 591-604.
- Motiva. 2011. *Liikennejärjestelmä ja liikkumisen ohjaus*. http://www.motiva.fi/liikenne/liikennejarjestelma_ja_liikkumisen_ohjaus. Internetsivut. Viitattu: 13.1.2011.
- Musto, M. 2007. *Rautatieliikenteen simuloinnin merkitys ratakapasiteettihakemusten yhteensovittamisessa*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A2/2008. 119 s. Helsinki.
- Mylly, M. 2010. Haastattelu. 15.10.2011. Satamaliitto.
- Mäkelä, T. & Säily, S & Mäntynen, J. 2002. *Rautatieliikenne*. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Tampere. 177 s.
- Mäkitalo, M. 2000. *Ratakapasiteetin perusteet*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja 9/2000. Ratahallintokeskus, Helsinki.
- Nash, Andrew & Ullius, M. 2004. *Optimizing railway timetables with OpenTimeTable*. [Abstract]. Computers in Railways IX, p. 637-646. WIT Press.
- New York State Department of Transportation. 2005. *Region 4 ATMS Local Evaluation Report*.
- NVF. 2011. *ITS terminology for road transport*. Nordiskt vägforum.
- Obenberger, J. T. 2007. *Key findings - 2006 European Scan & Implementation Plan Status Report*. Virginia Transportation conference November 2007. USA.
- O'Brien, A. & McCombs, P. 2007. *Auckland Adaptive Ramp Signalling Project*. ITE Annual Meeting, 2007.5.-8.8.2007. Pittsburg, New Zealand.
- Ogawa, M.J. & Arlow, A.J. & MEekums. R.J. & Self, S. & UNwin, P. 2010. *M42 Active Traffic Management and Evaluation: Results from Hard Shoulder Running up to 60*

- MPH. Road Transport Information and Control Conference and the ITS United Kingdom Members' Conference (RTIC 2010). 25-27.3.2010. Lontoo, Iso-Britannia.
- Oinas, J. & Lähesmaa, J. & Granfelt, A. 2009. *Liikenteen hallinnan integroitu käyttöliittymä. Esiselvitys*. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 44/2009. 69 s.
- Oulun kaupunki. 2007. *Oulun ajantasaisen pysäköinninohjauksen yleissuunnitelma*. Oulun kaupunki. Oulu.
- Paavilainen, J. & Mäkelä, T. 2011. *Liikenteenhallinnan tulevaisuuden rooli ja organisoinnin vaihtoehdot*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 6/2001. Liikennevirasto. Helsinki.
- Pachl, J. 2002. *Railway operation and control*. 239 s. ISBN 0-9719915-1-0.
- Papageorgiou, M. & Kosmatopoulos, E & Papamichail, I. 2008. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No.2047. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C. ss.37–48.
- Pitkänen, J-P. 2006. *Radan välityskyvyn mittaamisen ja tunnuslukujen kehittäminen*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A4/2006. Helsinki. 147 s.
- Pitkänen, J-P. & Nevala, R. & Laitinen, R. 2005. *Ramppiohjaus. Esiselvitys 2004–2005*. Liikenne- ja viestintäministeriö. 39 s. AINO-julkaisuja 11/2005.
- Polderjik, S. 2011. *Traffic management in Amsterdam*. Esitelmä liikennerevoluution opintomatalla 14.6.2011. Amsterdam, Hollanti.
- Poljin. 2010. *Liikkumisen ohjaus*. Internetsivut. Viitattu 15.10.2010. Saatavissa: [http://www.poljin.fi/pyorailyenedistaminen/liikkumisen_ohjaus](http://www.poljin.fi/pyorailyinedistaminen/liikkumisen_ohjaus)
- Prokkala, R. & Luttinen, R.T. & Ristikarton, J. & Velhonoja, P. .2005. *Liikenne ja väylät I*. RIL 165-1. Rakennusinsinöörien liitto (RIL) ry.
- Pulli, H. & Posti, A. & Tapaninen, U. 2009. *TUKKE - Tuoteseuranta satamasidonnaisessa kuljetusketjussa*. Turun yliopiston merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja B 167. Turku
- Pursiainen, H. & Jalasto, P. 2010. *Digitaalinen Suomi, uusi liikennepolitiikka. Liikenne- ja viestintäministeriön tulevaisuuskatsaus puolueille 10.3.2010*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 33/2010. Liikenne- ja viestintäministeriö.
- Rainio, A. 2010. *Paikannus älyliikenteessä. Tilannekatsaus*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 21/2010. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. Verkkojulkaisu.
- Rajamäki, R. 2008. *Valmisteilla oleva matk aikavalvontakokeilu*. (Esitysmateriaali.) Tiehallinnon liikenneturvallisuspäivät 19-20.11.2008. Rovaniemi.
- Ratahallintokeskus 2011. Internetsivut. <http://www.rhk.fi>. Viitattu 15.3.2011.
- Ratahallintokeskus 2009. *Rataliikennekeskukset*. Esite.
- Ratahallintokeskus. 2008. *Ratahallintokeskuksen toiminta- ja taloussuunnitelma 2010–2013*. Ratahallintokeskus. Helsinki. 125 s.
- Ratahallintokeskus. 2006. *Rautatieliikenne 2030. Radanpidon pitkän aikavälin suunnitelma*. Ratahallintokeskus. Helsinki. Ratahallintokeskuksen strategioita ja selvityksiä 2/2006. 62 s. Verkkojulkaisu.

- Rautiainen, P. & Rinta-Keturi, I. 2005. *PortNet 2. Toiminnallinen esiselvitys*. Aino-julkaisuja 3/2005. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 63 s.
- Ristikartano, J. & Seppänen, L-M. & Toiskallio, K. 2008. *Telematiikan vaikutustutkimus valtatie 1 välillä Lohja-Kehä III*. Tiehallinnon julkaisuja 17/2008. Tiehallinto. Helsinki.
- Rämä, P. & Kummala, J. & Schirokoff, A. & Hiljanen, H. 2003. *Tieliikennetiedotus. Esiselvitys*. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. FITS-julkaisuja 21/2003.
- Rämä, P. & Sihvola, N. & Luoma, J. & Koskinen, S. & Aittoniemi, E. & Kulmala, R. 2008. *Ajoneuvojen telemaattisten järjestelmien turvallisuusvaikutukset Suomessa*. Ajoneuvohallintakeskus AKE. Helsinki. Ajoneuvohallintakeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä nro 11/2008.
- Salkonen, R. & Rauhamäki, H. 2008. *Liikenteen häiriönhallinnan keinot Tampereen seudulla*. Tampereen teknillinen yliopisto. Tampere. 65 s. Tampereen teknillinen yliopisto. Tiedonhallinnan ja logistiikan laitos. Liikenne- ja kuljetusjärjestelmät. Tutkimusraportti 73.
- Salo, J. & Granqvist, J. & Ikävalko J. & Permala, A. 2005. *KULTIS - kuljetustietojen sähköistäminen. Sähköinen rahtikirja*. AINO-julkaisuja 7/2005. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 71 s.
- Sermpis D. & Babis, C. & Chorianopoulos, P. 2007. *The impact of VMS on driver's route choice in Athens*. Proceedings of the i2TERN conference, Aalborg. Denmark 21.9.2007.
- Schirokoff, A. & Rämä, P. & Tuomainen, A. 2005. *Vaihtuvien nopeusrajoitusten laajamittainen käyttö Suomessa*. Liikenne- ja viestintäministeriö, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 89/2005. Helsinki. 52 s. ISSN 1795-4045.
- Sonninen, S. 2004. *Suomenlahden alusliikenteen pakollisen ilmoittautumisjärjestelmän käynnistys*. Merenkululaitoksen julkaisuja 8/2004. Merenkululaitos, Helsinki. 87 s.
- Sonninen, S. & Hartonen, S. 2005. *Case VTS – Uuden turvallisuuskriittisen toiminnon ja ammattikunnan muodostaminen*. Human factors and safety II. Saatavilla: <http://www.vtt.fi/liitetiedostot/muut/HFS07Sonninen.pdf>
- Sonninen, S. & Nuutinen, M. & Savioja, P. 2004. *Suomenlahden SRS:n yhteinäisten toimintatapojen jatkokehitys*. Merenkululaitoksen julkaisuja 7/2004. Merenkululaitos, Helsinki.
- Sparmann, J. 2007. *Active Traffic Management Experiences made in Hessen*. Workshop on active traffic management. Seattle, USA. 21.6.2007.
- Stockholms stad. Trafikkontoret. 2005. *ISA i Stockholm*. Transek.
- Sukuvaara, T. 2007. *Carlink - langaton autojen välinen tietoverkko*. Viitattu 30.8.2010. Saatavissa: http://www.its-finland.fi/Sukuvaara_IL070310.pdf.
- Sultan, B. & Meekums, R. & Brown, M. 2007. *The Impact of Active Traffic management on motorway operation*. Highways agency.
- Suvanto, T. & Anttila, S. & Moilanen, P. 2009. *Helsingin seudun ruuhkamaksuselvitys*. Liikenne- ja viestintäministeriö julkaisuja 30/2009. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 128 s.

- Tapio, J & Peltola, H. 2004. *Älykkään nopeudensäätelyn kehitys Suomessa. Yhteenvedo-
raportti*. FITS-julkaisuja 32/2004. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki.
- Tarkiainen, M. 2009. *Älykäs ajoneuvo - nyt ja huomenna*. ITS DAY - Älyliikenne arjes-
sa - laivaseminaari. 21.–22.9.2009. M/s Silja Serenade. ITS Finland ja AuLi.
- Transportation research board. 2000. Highway capacity manual 2000. Yhdysvallat.
- Tiehallinto.
- Tiehallinto 2009a. *Nopeusrajoitukset. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. Tiehallinto. Helsinki.
56 s.
- Tiehallinto. 2009b. *Tiehallinnon pohjoisen yhteistyöalueen telematiikkaselvitys. Toi-
menpideohjelma 2009–2015. Toiminta- ja suunnitelma-asiakirjat*. Tiehallinto. Oulu.
106 s.
- Tiehallinto 2009c. *Toiminta- ja taloussuunnitelma 2009-2013*.
- Tiehallinto. 2009d. *Vaihtuvien opasteiden käyttö. Suunnitteluvaiheen ohjaus*. Tiehallin-
to. Helsinki. 74 s.
- Tiehallinto. 2009e. *Tiehallinnon liikennekeskus. Pääkaupunkiseudun liikenteenhallinta-
keskus. Älykästä liikenteenohjausta 24/7*. ITS Day 6. Älyliikenne arjessa laivaseminaari.
21.-22.9.2009.
- Tiehallinto. 2008a. *Liikenne- ja tieolojen tavoitetila 2030*.
- Tiehallinto. 2008b. *Liikennejärjestelmätyn kehittämisen Tiehallinnossa*. Tiehallinnon
sisäisiä julkaisuja 31/2008. Tiehallinto. Helsinki.
- Tiehallinto. 2007. *Hämeen tiepiirin liikenteen hallinta. Toimenpideohjelma 2007–2015*.
88 s. Tiehallinto. Tampere.
- Tiehallinto. 2006. *Pääkaupunkiseudun pääväylien telematiikka. Toimenpidesuunnitelma
2007–2015*. Tiehallinto. Helsinki.
- Tiehallinto. 2006b. *Tiehallinnon toiminta- ja taloussuunnitelma 2006-2009*. Tiehallinto.
Helsinki.
- Tiehallinto. 2005. *Liikennevalojen suunnittelu (LIVASU). Suunnitteluvaiheen ohjaus*.
216 s. Helsinki.
- Tullihallitus. 2009. *Ulkomaankaupan kuljetukset tammi-joulukuussa 2009*.
http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/ulkomaankauppatilastot/tilastoja/kuljetukset/index.js
p. haettu 6.10.2010.
- UIC. 2010. *Moving block*. Energy efficient technology for Railways. Internetsivu.
[http://www.railway-ener-
gy.org/tfee/index.php?ID=220&TECHNOLOGYID=81&SEL=100&EXPANDALL=3](http://www.railway-ener-
gy.org/tfee/index.php?ID=220&TECHNOLOGYID=81&SEL=100&EXPANDALL=3).
Haettu: 2.11.2010.
- Valtioneuvosto. 2010. *Valtioneuvoston periaatepäätös kansallisesta älyliikenteen stra-
tegiasta*. 15.4.2010.
- Venäläinen, P. & Utriainen, M. 2009. *Suomen merikuljetusten toimintaympäristön muu-
tokset*. Merenkululaitos, Helsinki. Merenkululaitoksen julkaisuja 4/2009. ISSN 1456-
7814. Verkkojulkaisu (29.9.2010).

- Vlassenroot, S. & Broekx, S. & De Mol, J. & Panis, L. & Brijs, T. & Wets, G. 2007. *Driving with intelligent speed adaptation: Final results of the Belgian ISA-trial*. Transportation Research Part A 41. ss. 267–279.
- Vägverket. 2009a. *Effekter på trafiksäkerhet med automatisk trafiksäkerhetskontroll. Trafiksäkerhetskameror etablerade under 2006*. Publikation 2009:9. Verkkojulkaisu. Haettu 26.7.2010.
- Vägverket. 2009b. *The Road to Its*. Publication 2990/114. Swedish road administration. 110 s.
- Vägverket. 2007. *Utvärdering och analys av trafiksäkerhetskameror, Riksväg 50 E länsgräns- Åsbro*.
- Vägverket. 2008a. *Variabel hastighet - en lysande ide, Resultatrapport*. Publikation 2008:77. Vägverket, Borlänge. 96 s.
- Vägverket. 2008b. *Variable hastighet, Trafikstyrd väg - tillämpningsrapport*. Publikation 2008:98. Vägverket, Borlänge. 80 s.
- Vägverket 2002. *LUND-results of the trial ISA*. Publikation 2002:94. Vägverket. Lund.
- Välipirtti, K. L. & Suvanto, T. Moilanen, P. *Helsingin seudun ruuhkamaksuselvitys. Jatkoselvitys*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 5/2011. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 54 s.
- Wohlson, B & Lambert, L. 2004. *Convertible roadways and lanes - A Synthesis of Highway and Practice*. NCHRP Synthesis 340. Transportation Research Board. Washington D.C.
- Wohlson, B. & Lambert, L. 2006a. *Planning and Operational Practices for Reversible Roadways*. ITE Journal 8. Ss. 38-44.
- Wohlson, B. & Lambert, L. 2006b. *Reversible lane Systems: Synthesis of Practice*. Journal of transportation engineering 132:12. Ss. 933-944.
- Yli-Siurunen, K. 2011. *ITS Finland. Toimialan aktiviteetteja ja hankeideoita*. Sujuvan liikenteen palvelut –seminaari. 16.2.2011. Pasila, Helsinki.
- Öörni, R. 2004. *Eräiden joukko- ja tieliikenteen telematiikkasovellusten kannattavuus Suomen oloissa*. Liikenne- ja viestintäministeriö. 115 s. FITS-julkaisuja 35/2004.

Liiteluettelo

- Liite 1 Asiantuntijahaastatteluiden ja työpajojen osallistajat
- Liite 2 Haastatteluiden kysymysrunko
- Liite 3 Vaikutustutkimukset (kirjallisuustutkimus)

Haastattelut ja työpajat

Haastattelut:

<u>Haastateltava</u>	<u>Organisaatio</u>	<u>Paikka ja aika</u>
Pauli Velhonoja	Liikennevirasto	Helsinki 17.6.2010
Kati Westerlund	Liikennevirasto	Helsinki 5.10.2010
Markku Mylly	Satamaliitto	Helsinki 15.10.2010
Jukka-Pekka Pitkänen	Ramboll Oy	Helsinki 20.10.2010
Matti Aaltonen	Liikennevirasto	Helsinki 25.10.2010
Mikko Natunen	Liikennevirasto	Helsinki 26.10.2010
Juha Haapakoski	Liikennevirasto	Helsinki 1.11.2010
Risto Kulmala	VTT	Helsinki 4.11.2010
Iisakki Kosonen	Aalto yliopisto	Helsinki 15.11.2010

Työpajat:

1. työpaja Helsingissä, Pasilassa 30.11.2010. Teemana kuljetusketjujen tehostaminen ja liikennemuotojen yhteistyö

<u>Osallistujat</u>	<u>Organisaatio</u>
Taneli Antikainen	Liikennevirasto
Anne Herneoja	Liikennevirasto
Jarmo Joutsensaari	Liikennevirasto
Timo Välke	Liikennevirasto

2. työpaja Helsingissä, Pasilassa 2.12.2010. Teemana tieliikenteen välityskyvyn tehostaminen

<u>Osallistujat:</u>	<u>Organisaatio</u>
Kari Hiltunen	Liikennevirasto
Kari Karessuo	Liikennevirasto
Risto Kulmala	VTT

HAASTATTELUIDEN KYSYMYSRUNKO

- Onko väylillä tarpeeksi välityskykyä ja missä on suurimmat ongelmat?
- Miten ongelmat kehittyvät tulevaisuudessa?
- Mistä välityskykyongelmat aiheutuvat?
- Miten välityskykyä voidaan tehostaa älyliikenteen keinoin (kysynnän hallinta poislueutuna)?
 - Mitä keinoja on jo nyt tai juuri tulossa?
 - Millä keinolla voidaan tehostaa välityskykyä eniten?
 - Kuinka paljon ja miten eri keinot parantavat välityskykyä?
 - Mitä esteitä eri keinojen toteuttamiseen on?
 - Visioita välityskyvyn tehostamiseksi tulevaisuudessa?

Vaikutustutkimukset

Keino	Maa	Vaikutustapa	Vaikutus	Lähde
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Kreikka	Liikennemäärä vähe	20-40%	Sermpis et al. 2007
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Iso-Britannia	Reitin vaihtaminen	6 %	Highways Agency 2008b
Liikenneinformaatiojärjestelmä/kelitiedotus	Suomi	Ylinopeutta ajavien	-30%	Manelius 2010
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Suomi	Liikennemäärä	-6 %	Manelius 2010
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Yhdysvallat	Viivytykset	-13-23 %	New York State Department of Transportation 2005
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Eurooppa	Reitin vaihtaminen	25 %	Chatterjee ja Macdonals 2004
Liikenneinformaatiojärjestelmä/liikennetieto	Iso-Britannia	Viivytykset	-25 %	Bretherton et al. (2000)
Leveän pientareen käyttö	Ranska	Välityskyky	+16 %	Cohen 2004
Leveän pientareen käyttö	Ranska	Välityskyky	+7 %	Cohen 2004
Leveän pientareen käyttö	Alankomaat	Välityskyky	+7-22 %	Oberberger 2007
Leveän pientareen käyttö	Iso-Britannia	Matka-aika	-4 %	Ogawa et al 2010
Vaihtuvasuuntainen kaista	Yleisesti	Matka-aika	-16-40	Wohlsen ja Lambert 2006a Minnesota Department of Transportation 2001
Vaihtuvasuuntainen kaista	Saksa	Välityskyky	+5 %	Hutton ja Bokenkroger ja Meyer 2010
Liikennevalot, älykkäät	USA	Matka-aika	-0-39 %	Meyer 2010
Liikennevalot, älykkäät	Japani	Ruuhka	-21,8 %	Masuda et al. 2005
Liikennevalot, älykkäät		Matka-aika	- 20 %	Masuda et al. 2005
Liikennevalot, älykkäät	Japani	Matka-aika	-20-30 %	Miyagi 2008
Liikennevalojen optimointi		Matka-aika	-10-30 %	Traffic engineering division 2005
Liikennevalojen optimointi	Ruotsi	Viivytys	-19 %	Kronborg 2008
Vaihtuva nopeusrajoitukset, liikennetilanneohjattu	Ruotsi	Matka-aika	-5-15 %	Vägverket 2008b
Vaihtuva nopeusrajoitukset, liikennetilanneohjattu	Iso-Britannia	Pysähtelevä ajo	-6 %	Highways Agency 2007a
Automaattinen nopeusvalvonta, pistemäinen	Iso-Britannia	Keskinopeus	-15 %	Gains ym. 2004
		Ylinopeutta ajavien osuuden	-71%	Gains ym. 2004
Automaattinen nopeusvalvonta, pistemäinen	Ruotsi	Keskinopeus	-4,3 %	Vägverket 2009
		Ylinopeutta ajavien osuuden	-34, %	Vägverket 2009
Automaattinen nopeusvalvonta, pistemäinen	Suomi	Keskinopeus	-1,5-2,7 %	Airaksinen et al 2008
		Ylinopeutta ajavien osuuden	-30,4-33,4 %	Airaksinen et al 2008
Automaattinen nopeusvalvonta, pistemäinen	Suomi	Keskinopeus	-2,2-3,2%	Räsänen ja Kallberg 2003
		Ylinopeutta ajavien osuuden	-50%	Räsänen ja Kallberg 2003
Automaattinen nopeusvalvonta, pistemäinen	Suomi	Keskinopeus	-0,5-2,0%	Räsänen ja Beilinson 2005
		Ylinopeutta ajavien osuuden	-10-30 %	Räsänen ja Beilinson 2005
Automaattinen nopeusvalvonta, matka-aika	Alankomaat	Ylinopeutta ajavien osuuden	-67-90 %	Rajamäki 2008
Automaattinen nopeusvalvonta, matka-aika	Iso-Britannia	Ylinopeutta ajavien osuuden	-30%	Rajamäki 2008
Ramppiohjaus	Iso-Britannia	Matka-aika	-9-40%	Highways agency 2007b, 2008c, 2008d
Ramppiohjaus	USA	Matka-aika	-22 %	Minnesota Department of Transportation. 2001
Ramppiohjaus	Ranska	Matka-aika	-13 %	Bielefeld et al, 2007
Ramppiohjaus	Saksa	Välityskyky	+5 %	Bielefeld et al, 2007
Ramppiohjaus	Iso-Britannia	Välityskyky	+15 %	Marcuson 2009
Ramppiohjaus	Alankomaat	Välityskyky	0-5 %	Middelham 2006
Häiriönhallinta	Suomi	Matka-aika	-17-49 %	Sane 2008
Häiriönhallinta	Iso-Britannia	Matka-aika	-5-17 %	Dia & Cottman 2006
Häiriönhallinta	Yhdysvallat	Viivytys	1-7 %	???
Aktiivinen liikenteen operointi	Iso-Britannia	Välityskyky	+24-50 %	Marcuson 2009
Aktiivinen liikenteen operointi	Iso-Britannia	Välityskyky	+7 %	Sultan ja Meekums ja Brown 2007
Aktiivinen liikenteen operointi	Alankomaat	Välityskyky	+25 %	Sparmann 2007
		Matka-aika	-20 %	
Aktiivinen liikenteen operointi	Australia	Matka-aika	-3,3 %	Dia & Gondwe & Panwai
Aktiivinen liikenteen operointi	Iso-Britannia	Matka-aika	-8,7-9,8	Highways agency 2008