

Teknillinen korkeakoulu
Maanmittausosasto
Geoinformatiikan ja paikannustekniikan laboratorio

Hanne Rantala

Satelliittipaikannuksen ja paikkatietojärjestelmien hyödyntäminen liikenteen matka-aikatiedon tuottamisessa

Diplomityö

Espoo, 28. elokuuta 2007

Valvoja:	Professori Ari Jolma
Ohjaaja:	DI Tuomo Eloranta

TEKNILLINEN KORKEAKOULU DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ**Tekijä:** Hanne Rantala**Työn nimi:** Satelliittipaikannuksen ja paikkatietojärjestelmien hyödyntäminen liikenteen matka-aikatiedon tuottamisessa**Päivämäärä:** 28.8.2007**Sivumäärä:** 92**Osasto:** Maanmittausosasto**Professuuri:** Geoinformaatio- ja paikannustekniikka**Pääaine:** Kiinteistötalous ja -arviointi**Valvoja:** Professori Ari Jolma**Ohjaaja:** DI Tuomo Eloranta

Tässä työssä on pyritty selvittämään anturiajoneuvo- eli ns. floating car -dataan perustuvan menetelmän soveltuvuutta liikennetiedon, erityisesti liikenteen matka-aikatiedon tuottamiseen. Selvitys perustuu aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja aikaisempiin tutkimuksiin sekä Oulun seudulta anturiajoneuvomenetelmän avulla kerätyn datan analysointiin.

Aikaisempien tutkimusten pohjalta on kartoitettu anturiajoneuvomenetelmien hyviä ja huonoja puolia sekä pyritty kuvaamaan, miten nämä ominaisuudet näkyvät Oulussa käytössä olevassa mallissa. Oulun mallin etuna on laskentatavan huomattava yksinkertaistuminen ja yksityisyydensuojaan liittyvien kysymysten poisjäänti. Heikkouksina voidaan puolestaan nähdä tarkkuuden väheneminen ja siirtyminen jatkuvasta datankeruusta lähemmäs pistemäistä tiedonkeruumenetelmää.

Työssä on kuvattu Suomen liikenteellisiä erityispiirteitä sekä kerrottu suomalaisista liikenneneruuhkista. Näiden kuvausten valossa on pohdittu anturiajoneuvomenetelmän soveltuvuutta tiedonkeruumenetelmäksi suomalaisissa liikenneolosuhteissa. Jotta anturiajoneuvomenetelmällä saataisiin luotettavia tuloksia, havaintoja on oltava riittävän suuri määrä. Suomessa erityisenä haasteena järjestelmän laajamittaiselle toteutukselle voidaan pitää suhteellisen vähäistä ajoneuvokantaa, joka kuitenkin jakautuu maantieteellisesti melko laajalle alueelle.

Työssä on lisäksi tarkasteltu kerätyn tiedon jatkokäyttöä; sen jakelua sekä jalostamista käyttäjän kannalta mahdollisimman hyödylliseksi liikenneinformaatioksi. Liikennetiedon dynaamisen luonteen vuoksi parhaat edellytykset tiedon välittämiseksi tarjoutuvat uusien digitaalisten medioiden kautta. Työssä on perehdytty tarkemmin yhteen tällaiseen digitaaliseen tiedonvälityskanavaan, internetiin, ja tarkemmin liikenteen sujuvuutta kuvaaviin web-karttoihin. Kirjallisuuden perusteella on koottu yhteen tiedon visualisoinnin periaatteita ja sovellettu niitä liikennetiedon esittämiseen sekä internet-sivustojen karttoihin. Tarkemmin on kuvattu ja analysoitu kolmen suomalaisen internetsivuston sujuvuuskarttoja sekä esitetty tiedon visualisoinnin ja karttojen selkeyden parantamiseen tähtääviä kehitysehdotuksia.

Avainsanat: anturiajoneuvo, floating car -data, FCD, matka-aikatieto, liikennetieto, liikenneinformaatio**Kieli:** suomi, englanninkielinen tiivistelmä

Author: Hanne Rantala

Name of the thesis: Use of Satellite Positioning and Geographic Information Systems in the Production of Travel Time Data

Date: 28.8.2007

Number of pages: 92

Department: Department of Surveying

Professorship: Geoinformation and Positioning Technology

Major subject: Real Estate Economics and Valuation

Supervisor: Professor Ari Jolma

Instructor: M.Sc. (Tech.) Tuomo Eloranta

The purpose of this thesis is to find out the suitability of a method based on probe vehicle data or so called floating car data in the production of travel time data. The study is based on relevant literature and former researches as well as on an analysis of a data collected from the Oulu region with probe vehicle data technique.

On the basis of former researches, the strengths and weaknesses of the probe vehicle techniques have been listed and analysed especially in context of the Oulu model. The main strengths of the model used in Oulu are a significant simplification of the computation procedure and the absence of questions related to privacy protection. As weaknesses can, on the other side, be seen the loss of accuracy and moving from continuous data collection closer to point data collection method.

The special characteristics of Finnish traffic system and traffic congestions in Finland have been described in the study. On the basis of these descriptions, the suitability of probe vehicle method for data collection in Finnish circumstances has been considered. In order to get reliable results with probe vehicle method, the amount of observed vehicles has to be sufficient. In Finland as a particular challenge for the large-scale implementation of the system can be considered the relatively small numbers of vehicles and their distribution on a geographically quite large area.

The further processing of the data; its distribution and processing into valuable and useful user information, is also considered in the study. Because of the dynamic nature of traffic data, the best possibilities to provide traffic related information are offered via new, digital mediums. In this work it has been examined one digital channel; internet, and more precisely web maps. On the basis of literature, the essentials of visualisation have been summed up and applied into visualisation of traffic information and web maps. More precise analysis has been done on three traffic flow maps situated on Finnish web sites. Some proposals aiming to improve the visualisation of information and the readability of the maps have been made.

Keywords: probe vehicle, floating car data, FCD, travel time data, traffic data, traffic information

Language: Finnish, English abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

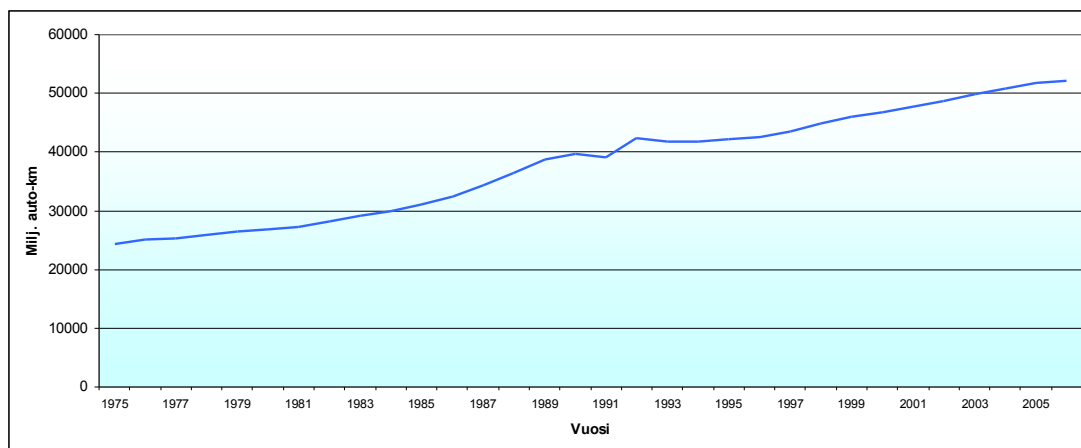
JOHDANTO.....	1
1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA.....	1
1.2 TUTKIMUSONGELMA JA -RAJAUKSET.....	2
1.3 TUTKIMUSAIINEISTO JA -MENETELMÄT.....	3
1.3.1 Aikaisemmat tutkimukset.....	4
1.3.2 OLLI.....	4
1.4 TUTKIMUKSEN RAKENNE.....	5
2 SATELLIITTIPAIKANNUS JA GIS LIIKENNETUTKIMUKSISSA.....	7
2.1 SATELLIITTIPAIKANNUS.....	7
2.1.1 GPS.....	8
2.1.2 GLONASS.....	11
2.1.3 GALILEO.....	12
2.2 LIIKENNE-GIS.....	13
2.2.1 DYNAAMINEN SEGMENTOINTI.....	17
3 PAIKANNUSHAVAINTOJEN SIIRTÄMINEN KARTALLE.....	20
3.1 POHJAKARTAN VALINTA.....	20
3.1.1 MITTAKAAVA.....	21
3.1.2 PROJEKTIO.....	21
3.1.3 DATUM.....	24
3.1.4 KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ.....	25
3.2 GPS-TIEDON KERÄÄMINEN.....	26
3.3 TIEDON TARKASTELU JA TASOITTAMINEN.....	27
3.4 HAVAINTOJEN SOVITTAMINEN KARTALLE.....	27
4 LIIKENNETIETO.....	29
4.1 MATKA-AJAN, LIIKENTEEN SUJUVUUDEN JA RUUHKAUTUMISEN KÄSITTEET.....	29
4.2 MATKA-AIKATIEDON HYÖDYNTÄMINEN.....	33
4.3 KANNATTAAKO MATKA-AIKATIETOA KERÄTÄ?.....	36
5 FLOATING CAR DATA.....	42
5.1 TAKSI-FCD.....	44
5.2 KANSAINVÄLISIÄ ESIMERKKEJÄ FCD-MENETELMÄN KÄYTÖSTÄ MATKA-AIKATIEDON HANKINNASSA.....	45
5.2.1 ISO-BRITANNIA.....	45
5.2.2 SAKSA.....	45
5.2.3 RANSKA.....	47
5.2.4 JAPANI.....	47
5.2.5 SINGAPORE.....	48

5.3 FCD-MENETELMÄN EDUT JA HAITAT.....	48
5.3.1 PAIKANNUKSEEN LIITTYVÄT OIKEUDELLISET KYSYMYKSET.....	50
6 MATKA-AIKATIEDON LASKENTA.....	52
6.1 MATKA-AIKATIEDON LASKENTATAPA	52
6.1.1 SUOMEN LIIKENTEELLISIÄ ERITYISPIIRTEITÄ	52
6.1.2 SUOMALAISET LIIKENNERUUHKAT.....	52
6.2 PERINTEINEN MATKA-AJAN LASKENTAMALLI.....	53
6.3 OULUSSA KÄYTÖSSÄ OLEVA LIIKENTEEN SUJUVUUSTIEDON LASKENTAMALLI	56
6.4 ERILAISTEN MATKA-AJAN LASKENTAMALLIEN TULOSTEN VERTAILUA.....	57
7 LIIKENNETILATIEDON JAKELU JA VISUALISOINTI.....	63
7.1 VÄRITYS.....	68
7.2 SUJUVUUSTIEDON VISUALISOINTIIN LIITTYVIÄ ONGELMIA JA KEHITYSEHDOTUKSIA.....	70
7.2.1 ESITETTÄVÄN TIEDON MÄÄRÄ.....	70
7.2.2 TIEDON LUOKITTELU.....	71
7.2.3 VÄRITYS.....	71
7.2.4 SYMBOLIT.....	73
7.2.5 TAUSTAKARTTA JA SOMMITTELU.....	74
7.2.6 LEGENDA.....	75
8 JOHTOPÄÄTÖKSET.....	77
9 YHTEENVETO	81
10 LÄHTEET.....	83

Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Yhdyskunta- ja liikennesuunnittelu on 1960-luvulta lähtien perustunut autoliikenteelle (Siltala 2006). Sama trendi näyttäisi jatkuvan tulevaisuudessakin, sillä Suomen teillä liikkuvien ajoneuvojen ja niillä ajettujen kilometrien määrä kasvaa vuosi vuodelta (kuva 1 ja kuva 9, s. 30).



Kuva 1. Liikennesuorituksen kasvu Suomessa vuosina 1975–2006 (*Liikennesuorite autotyypit-täin...2007*, Tiehallinto 2007).

Kasvava liikenne johtaa yleensä melko suoraviivaisesti myös liikenteeseen liittyvien ongelmien kasvuun. Ruuhkautumisen aiheuttamia ongelmia ovat muun muassa saasteiden määrän lisääntyminen, onnettomuusriskin kasvaminen ja liikenteessä kulutetun ajan pidentyminen (ks. esim. Bouchier 2004:1, Tong 2004:1, Yang 2005:1).

Perinteisesti ruuhkautumiseen liittyviä ongelmia on yritetty ratkaista esimerkiksi lisäämällä teiden kapasiteettia lisäkaistojen avulla, kannustamalla ihmisiä valitsemaan muita liikennemuotoja autoliikenteen sijaan tai asettamalla teille erilaisia ruuhkamaksuja. Tieverkon fyysinen laajentaminen on mahdollista vain tiettyyn rajaan saakka. Niinpä monissa kaupungeissa ruuhkautumisen aiheuttamien kustannusten vähentämiskeinona on kokeiltu liikenneinformaation tarjoamista. Tutkimusten mukaan liikenneinformaatio voi lisätä tieverkon välityskykyä keskimäärin 5–15 prosentilla (mm. Malchow ym. 1995, Khattak ym. 1996, Gühnemann ym. 2004).

Useimmat liikennetietopalvelut hyötyisivät eniten alueellisesta ja mahdollisimman reaaliaikaisesta liikenteen sujuvuuteen ja matka-aikaan liittyvästä informaatiosta (Tong 2004:2). Nykyisin yleisesti käytössä olevat liikennetiedonkeruumenetelmät

tuottavat kuitenkin lähinnä pistemäistä tietoa ilman alueellista kattavuutta ja mahdollisuutta reaaliaikaisuuteen. Satelliittipaikannuksen avulla on mahdollista saada laajoilta alueilta jatkuvasti tietoa. Erilaisten siviilikäyttöisten GPS-sovellusten, esimerkiksi ajoneuvonavigaattoreiden, lisääntyessä, myös liikennetutkimuksen parissa on viime vuosina kiinnostuttu satelliittipaikannuksen hyödyntämisestä liikenteeseen liittyvän tiedon, erityisesti matka-aikatiedon, keräämisessä.

Pelkkä tiedon kerääminen ei riitä taistelussa ruuhkautumista ja siitä aiheutuvia ongelmia vastaan. Kerätty tieto on pystyttävä välittämään hyödylliseksi informaatioksi ja jalostetussa muodossa sitä tarvitseville. Tyypillisin matka-aikatiedon käyttäjäryhmä lienee autoilijat. Heille erityisen tärkeää on, että tieto saavuttaa heidät silloin, kun he pystyvät vielä tekemään liikenteen sujuvuuteen vaikuttavia päätöksiä, esimerkiksi valitsemaan toisen reitin. Tiedonvälityksen on siis oltava mahdollisimman reaaliaikaista ja informaation melko pitkälle räätälöityä. Perinteiset painetut mediat soveltuvat huonosti koko ajan muuttuvan tiedon esittämiseen. Dynaamisen liikennetiedon välittämisessä on näin ollen hyödynnettävä uusia digitaalisia ja mobiileja tiedonvälityskanavia, joihin liittyvät käytännöt ovat vasta muodostumassa.

1.2 Tutkimusongelma ja -rajaukset

Työn keskeisin tutkimusongelma on *miten FCD-menetelmällä kerätty data saadaan jalostettua havainnolliseksi liikenneinformaatioksi*. Erityisesti pyritään löytämään vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

- i) *mitkä ovat FCD-menetelmän edut ja haitat liikenteen sujuvuus- ja matka-aikatiedon keräämisessä,*
- ii) *miten suomalaisen liikenneympäristön erityispiirteet (pitkät välimatkat, alhainen väestötiheys) vaikuttavat tiedon keräämiseen FCD-menetelmän avulla,*
- iii) *soveltuuko Oulussa käytetty floating car -tietoon perustuva malli liikennetiedon keräämiseen,*
- iv) *miten kerättyä tietoa tulisi jalostaa, jotta se olisi mahdollisimman hyödyllistä käyttäjien näkökulmasta.*

Työssä pyritään siis arvioimaan FCD-menetelmän ja Oulussa käytössä olevan mallin soveltuvuutta liikennetiedon hankintaan sekä selvittämään ja luomaan toimintamallia

siitä, miten jo kerättyä anturiajoneuvodataa voidaan parhaiten hyödyntää ajantasaisen liikenneinformaation tuottamisessa suomalaisen liikenneympäristön erityispiirteet huomioon ottaen.

Anturiajoneuvo- ja FCD-järjestelmään kuuluviksi katsotaan lähteestä riippuen melko erilaisia ratkaisuja. Tässä työssä FCD-menetelmällä tarkoitettu ratkaisu kuvataan tarkemmin työn myöhemmässä vaiheessa, mutta lyhyesti määriteltynä työssä keskitytään sellaisiin FCD-sovelluksiin, joissa paikannus perustuu ajoneuvojen sisäisiin GPS-vastaanottimiin. Esimerkiksi matkapuhelinpaikannukseen perustuvat menetelmät jäävät näin ollen tutkimuksen ulkopuolelle.

Oulu valikoitui tapaustutkimuksen kohteeksi useasta syystä. Oulu tunnetaan innovatiivisena ja teknologiamyönteisenä kaupunkina. OLLI-projektin ansiosta sitä voidaan pitää Suomessa edelläkävijänä myös älykkääseen liikenteeseen liittyvissä kysymyksissä. Lisäksi Oulun Aluetaksin kanssa tehty sopimus FCD-tiedon keräämisestä tarjosi mielenkiintoisen mahdollisuuden päästä tarkastelemaan tiedon hankkimista ja jallostamista sekä projektin etenemistä käytännössä.

1.3 Tutkimusaineisto ja -menetelmät

Tämä työ koostuu kirjallisuuskatsauksesta, Oulussa käytössä olevan anturiajoneuvomenetelmään perustuvan liikenteen sujuvuusmallin testaamisesta sekä suomalaisten, verkossa sijaitsevien sujuvuustietokarttojen analysoinnista.

Mallin testaaminen on selkeästi kvantitatiivista tutkimusta (ks. esim. Rantanen 2007). Analyysin tavoitteena on ollut mallin testaaminen, matemaattisten yhteyksien löytäminen muuttujien välillä sekä havaintojoukon kuvaaminen mahdollisimman selkeästi. Kvantitatiivinen tutkimus perustuu numeerisen tiedon keräämiseen ja aineiston analysointiin tilastomatematiikan keinoin.

Sujuvuustietokarttojen analysointiosiossa tarkoituksena on ollut esitellä ja kehittää olemassa olevia karttoja kirjallisuuden ja aiheeseen liittyvän aikaisemman tutkimuksen pohjalta. Analysoidut kartat ovat peräisin kolmelta suomalaiselta internetsivustolta (www.oulunliikenne.fi, www.tiehallinto.fi, www.kauppalehti.fi). Pääpiirteissään ne muistuttavat toisiaan ja kehitysehdotukset voidaan yleistää kaikkia mainituilta sivuilta löytyviä liikenteen sujuvuuskarttoja koskeviksi.

1.3.1 Aikaisemmat tutkimukset

Tämän työn tutkimusaihe on luonteeltaan melko laaja ja monitahoinen, mikä näkyy myös kirjallisuusluettelossa. Floating car data, satelliittipaikannus ja GIS-sovellukset ovat aiheeseen liittyvien artikkeleiden runsaudesta päätellen olleet viime aikoina suosittuja tutkimusaiheita muun muassa liikenne- ja geoinformatiikan alan tutkijoiden keskuudessa. Suomessa VTT ja siellä etenkin tutkija Satu Innamaa ovat olleet mukana useissa alaan liittyvissä tutkimuksissa. Ulkomailla alan tutkimuksen kärkimaita ovat Saksa, Yhdysvallat ja kehittyneet Aasian valtiot kuten Japani ja Singapore. Saksassa aihetta on tutkittu paljon etenkin lentotekniikan ja avaruusalun tutkimuskeskuksessa DLR:ssä (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*). Yhdysvalloissa tutkimus on keskittynyt yliopistoihin, kun taas Aasiasta löytyi useita lähinnä kaupalliseen käyttöön tehtyjä aiheeseen liittyviä selvityksiä. Perusteellisena johdatuksena ja kertauksena liikenne-GIS:iin toimi Harvey J. Millerin ja Shih-Lung Shawn teos *Geographic Information Systems for Transportation*, jonka vaikutuksiin oli lähes mahdotonta olla törmäämättä lähdeaineiston hankinnan ja siihen perehtymisen yhteydessä.

Kokonaan omanlaisensa aihealue on liikennetiedon välittäminen ja tiedon visualisointi kartografian keinoin. Ihmisten kiinnostusta liikenteeseen liittyvään informaation on tutkinut paljon esimerkiksi yhdysvaltalaisen Pohjois-Carolinan yliopiston professori Asad Khattak, jonka artikkeleita on käytetty tässä työssä lähdeaineistona. Työssä on hyödynnetty visualisoinnin ja kartografian perusteoksia muun muassa sellaisilta alan asiantuntijoilta kuin Mark Monmonier, Menno-Jan Kraak ja Terry A. Slocum. Erityisen hyödylliseksi työssä osoittautui Kraakin yhdessä Allan Brownin kanssa toimittama kirja *Web Cartography*.

1.3.2 OLLI

Oulun seudun liikennetieto- eli niin sanottu OLLI-projekti sai alkunsa Liikenne- ja viestintäministeriön vuosina 2004–2007 käynnissä olleen ajantasaisen liikenneinformaation (AINO) tutkimus- ja kehittämisohjelman yhteydessä. AINO-ohjelman puitteissa valmistuneessa Oulun seudun liikennetieto, OLLI -selvityksessä (Kuvaja ym. 2006) tavoitteena oli luoda Oulun seudulle kaikki kulkumuodot kattava liikenteen hallinta- ja palvelukeskus. OLLI-palvelun olisi määrä palvella Oulun seudulla liikkuvia tiedottamalla liikkumiseen liittyvistä asioista, kuten kelistä, liikennehäiriöistä,

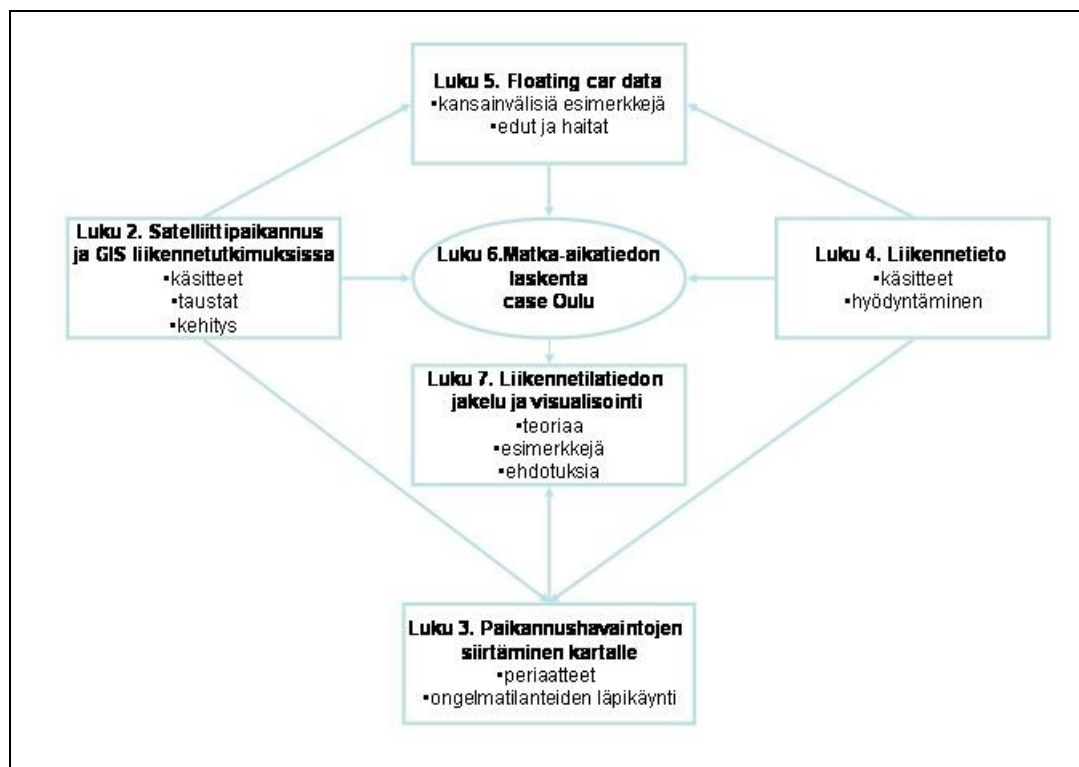
joukkoliikenteen ja taksien palveluista sekä pysäköinnistä. Jotta informaatio saavut-
taisi mahdollisimman suuren joukon liikkujia kotona, työpaikoilla ja matkan varrella,
tiedonvälityksen täytyy olla monikanavaista. Esimerkiksi internetiä, radiota, matka-
puhelimia ja digi-tv:tä suunniteltiin informaation jakelukanaviksi (AINO 2007, Elo-
ranta 2007).

Selvityksen jatkotyönä päätettiin käynnistää pilotti käytännön kuluttajatarpeiden, pal-
velun vaikutusten sekä uusien teknisten ja kaupallisten toteutusmallien selvittämisek-
si. OLLI-palvelukokonaisuus lanseerattiin 8. tammikuuta 2007 palveluportaali-
ssa, joka löytyy internetistä osoitteesta www.ouluunliikenne.fi. Palvelut on jaoteltu autolii-
kenteen, kevyen liikenteen ja julkisen liikenteen palveluihin sekä muihin palveluihin
(Eloranta 2007, *Kaupunkien ja kuntien liikennetieto* 2007, Oulun liikenne 2007).

OLLI-projektiin liittyen Oulun Aluetaksi Oy:n kanssa on tehty sopimus taksin no-
peus- ja sijaintitietojen käytöstä liikenteen sujuvuuden mallintamiseen. Anturiajoneu-
vodataa takseista on ollut saatavissa huhtikuusta 2007 lähtien.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tämän työn rakenne on kuvattu kaaviomuodossa kuvassa 2.



Kuva 2. Työn rakenne.

Luvussa 2 hahmotetaan satelliittipaikannuksen ja paikkatietojärjestelmien roolia liikennetutkimuksessa. Luvun tarkoituksena on avata satelliittipaikannuksen ja liikenne-GIS:n käsitteitä sekä kertoa niiden liikenteeseen liittyvistä sovelluksista.

Luvussa 3 kerrotaan, mitä seikkoja pitää ottaa huomioon, kun GPS-havaintoja siirretään paikkatieto-ohjelmistoon. Samalla käydään läpi kartografian peruskäsitteitä sekä yleisiä ongelmatilanteita, joihin saatetaan törmätä, kun GPS-havaintoja sovitetaan karttapohjalle.

Luvun 4 otsikko on Liikennetieto. Siinä selvennetään erilaisten liikennetiedon alalajien ja muiden aiheeseen liittyvien käsitteiden merkityksiä. Luvussa kerrotaan, miten liikennetietoa voidaan hyödyntää ja selvitetään aikaisempien tutkimusten pohjalta, minkälaisesta liikenteeseen liittyvästä informaatiosta tielläliikkijat ovat kiinnostuneita.

Luvussa 5 perehdytään floating car -dataan. Käsitteiden avaamisen jälkeen luodaan katsaus ulkomailla käytössä oleviin anturiajoneuvojärjestelmiin sekä kootaan yhteen floating car -datan hyviä ja huonoja puolia. Kappaleen lopuksi tarkastellaan lyhyesti paikannukseen liittyviä oikeudellisia kysymyksiä.

Tämän työn tapaustutkimuksen kohteena olevaa Oulun liikenteen sujuvuusmallia käsitellään luvussa 6. Suomalaisten liikenteen erityispiirteiden käsittelyn jälkeen esitellään Oulun malli ja verrataan sen avulla saatuja mittaustuloksia kiinteiden LAM-pisteiden tuottamiin tuloksiin.

Luku 7, Liikennetilatiedon jakelu ja visualisointi, palaa jälleen liikenteeseen liittyvän informaation välitykseen. Luvussa pohditaan erilaisten tiedonvälitysmenetelmien soveltuvuutta liikenneinformaation välittämiseen ja perehdytään tarkemmin liikennetilatiedon visualisointiin internet-karttojen yhteydessä.

Luvussa 8 esitetään johtopäätöksiä ja ehdotuksia jatkotutkimuksen aiheiksi.

2 Satelliittipaikannus ja GIS liikennetutkimuksissa

2.1 Satelliittipaikannus

Satelliittipaikannustekniikka perustuu maata kiertävien paikannussatelliittien lähettämien ratatieto- ja aikamerkkisignaalien vastaanottoon. Vastaanottimen sijainti laskeaan satelliittien etäisyyksien perusteella (mm. Poutanen 2007:7). Satelliittipaikannuksella on lukuisia sovelluskohteita useilla eri aloilla maanviljelyksestä geodesiaan. Yhdeksi suurimmista paikannusjärjestelmien hyödyntäjistä on kuitenkin noussut liikennesektori. Jo nykyään paikannusta ja navigointijärjestelmiä käytetään varsin yleisesti kaikilla liikenteen osa-alueilla; tieliikenteessä, julkisessa liikenteessä, meri- ja sisävesiliikenteessä, lentoliikenteessä sekä eri liikennemuotojen yhdistelmissä. Tulevaisuudessa teknologian kehittymisen uskotaan lisäksi luovan uusia hyödyntämismahdollisuuksia (*Transport Telematics* 2004:9–10).

Yhdysvaltalaisella GPS:llä on tällä hetkellä lähes monopoliasema satelliittipaikannusmenetelmien joukossa. Sen rinnalle on kuitenkin pyrkimässä muitakin menetelmiä kuten eurooppalainen GALILEO tai venäläinen GLONASS. Yhteinen nimitys näille kaikille on GNSS eli *Global Navigation Satellite System* (Poutanen 2007:7). Termiä GPS käytetään kuitenkin arkikielessä varsin paljon satelliittipaikannusta kuvaavana yleisnimityksenä.

Rainio (2003:9) erottelee satelliittipaikannuksessa seuraavat menetelmät:

- o Gps-paikannus (GPS, *Global Positioning System*)
- o Differentiaalinen gps (DGPS, *Differential GPS*)
- o Reaaliaikainen kinemaattinen gps (RTK GPS, *Real Time Kinematic GPS*)
- o Gps-pseudoliittipaikannus
- o Avustettu gps-paikannus (AGPS, *Assisted Global Positioning System*)

Jatkossa tässä työssä keskitytään Yhdysvaltojen puolustushallinnon isännöimään GPS-järjestelmään ja Galileo- ja GLONASS-järjestelmät esitellään lyhyesti. Vaikka eri järjestelmien välillä onkin joitakin eroja, niiden toimintaperiaatteet ovat pääpiirteiltään hyvin samankaltaiset. Näin ollen mikä pätee GPS:ään, pätee pääsääntöisesti

myös muihin järjestelmiin. Taulukkoon 1 on koottu joitakin mainitun kolmen satelliittipaikannusjärjestelmän ominaisuuksia.

Taulukko 1. Satelliittipaikannusjärjestelmien ominaisuuksia (Kuittinen 2006).

	GPS	GLONASS	GALILEO
Satelliittien lukumäärä	21 + 3	21 + 3	27 + 3
Ratatasoja	6	3	3
Satelliitin elinikä, vuotta	10	3 - 10	12
Taajuuksien lukumäärä	3	½ satelliittia	4
Koodien lukumäärä	1/satelliitti/palvelu	1/taajuus/palvelu	1/satelliitti/palvelu
Ratakorkeus	20 120 km	19 100 km	23 616 km
Radan inkлинаatio, astetta	55	64,8	56
Käytön luonne	Sotilas- ja siviilikäyttö	Sotilas- ja siviilikäyttö	Julkisesti hallinnoitu palvelu
Järjestelmän ennakoitu valmistuminen	Valmis	Vuonna 2010	Vuonna 2011
Käytetty aika	UTC ¹ /GPS time	?	UTC/GST ²
Koordinaattijärjestelmä	ITRF ³ /WGS84	ITRF/?	ITRF/GTRF ⁴
Maa-asemaverkko	WAAS	tekeillä	EGNOS

2.1.1 GPS

GPS (*Global Positioning System*) tai virallisemmalta nimeltään NAVSTAR GPS (*NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System*) on kaikkialla maapallolla 24 tuntia vuorokaudessa toimiva, satelliitteihin perustuva järjestelmä, jonka avulla voidaan määrittää paikka, suunta, nopeus ja tarkka aika. GPS-järjestelmän kehityksestä on vastannut Yhdysvaltain puolustusministeriö (DoD, *Department of Defense*) ja alun perin se olikin tarkoitettu sotilaskäyttöön. Siviilimaailmassa GPS:ää on käytetty hieman yli 20 vuotta ja nykyisin markkinoilla on paljon GPS-tekniologiaa hyödyntäviä, muun muassa retkeily-, veneily-, purjehdus-, ilmailu- ja ajoneuvonavigointiin tarkoitettuja kaupallisia sovelluksia. GPS:ää hyödynnetään myös useissa ammatillisissa ja tutkimustehtävissä. (Poutanen 1998:11–12, Turner ym. 1998:53, NCHRP Synthesis 301 2002:3, Simojoki 2002:13–14)

¹ UTC = Universal Time Coordinated

² GST = Galileo System Time

³ ITRF = International Terrestrial Reference Frame

⁴ GTRF = Galileo Terrestrial Reference Frame

GPS-satelliitteja on 24 ja ne kiertävät maata reilun 20 000 kilometrin (20 120 km) korkeudessa. Satelliiteista on joka hetkellä näkyvissä vähintään kuusi ja enintään 12. Jatkuvaan kolmiulotteiseen paikannukseen tarvitaan vähintään neljä satelliittia. Käyttäjän GPS-vastaanotin havaitsee satelliittien lähettämät signaalit ja laskee niiden avulla oman paikkansa. Useat GPS-vastaanottimet pystyvät seuraamaan kaikkia näkyvissä olevia satelliitteja. (Poutanen 1998:11, Turner ym. 1998:53)

GPS-satelliitit lähettävät kantoaaltoa kahdella taajuudella, L1 (1575.42 MHz, aallonpituus 19 cm) ja L2 (1227.6 MHz, 24 cm). Kantoaaltoihin on moduloitu navigoinnissa käytettävät koodit, joista käytetään nimitystä C/A- ja P-koodi. Näistä epätarkempi C/A-koodi on julkinen ja käytössä siviilisovelluksissa, tarkempi P-koodi sen sijaan on yksinomaan sotilaskäytössä. C/A-koodia käyttävien navigointivastaanotinten paikannustarkkuus on muutaman metrin–noin kymmenen metrin luokkaa, P-koodia käyttävillä tarkkuus on noin metrin tasolla. P-koodi on moduloitu sekä L1- että L2-taajuuteen, C/A-koodi sitä vastoin vain L1:een. Samalla kun GPS-satelliitteja modernisoidaan ja uusia satelliitteja lähetetään kiertoradalle, kantoaaltojen taajuuksiin ja koodeihin tehdään tarkkuutta parantavia muutoksia. C/A-koodi lisätään myös L2-taajuuteen, jonka lähetysteho kasvatetaan. L1- ja L2-taajuuksiin on tulossa uusi sotilaskäyttöön tarkoitettu M-koodi ja lisäksi L1- ja L2-taajuuksien rinnalle tulee kolmas siviilikäyttöön tarkoitettu taajuus, L5 (1176.45 MHz). Uusien signaalien on suunniteltu saavuttavan täyden palvelutason vuoden 2010 jälkeen. Signaalien käyttöä kaavaillaan maksuttomaksi. (Rainio 2007:9, 12, Poutanen 2007:21)

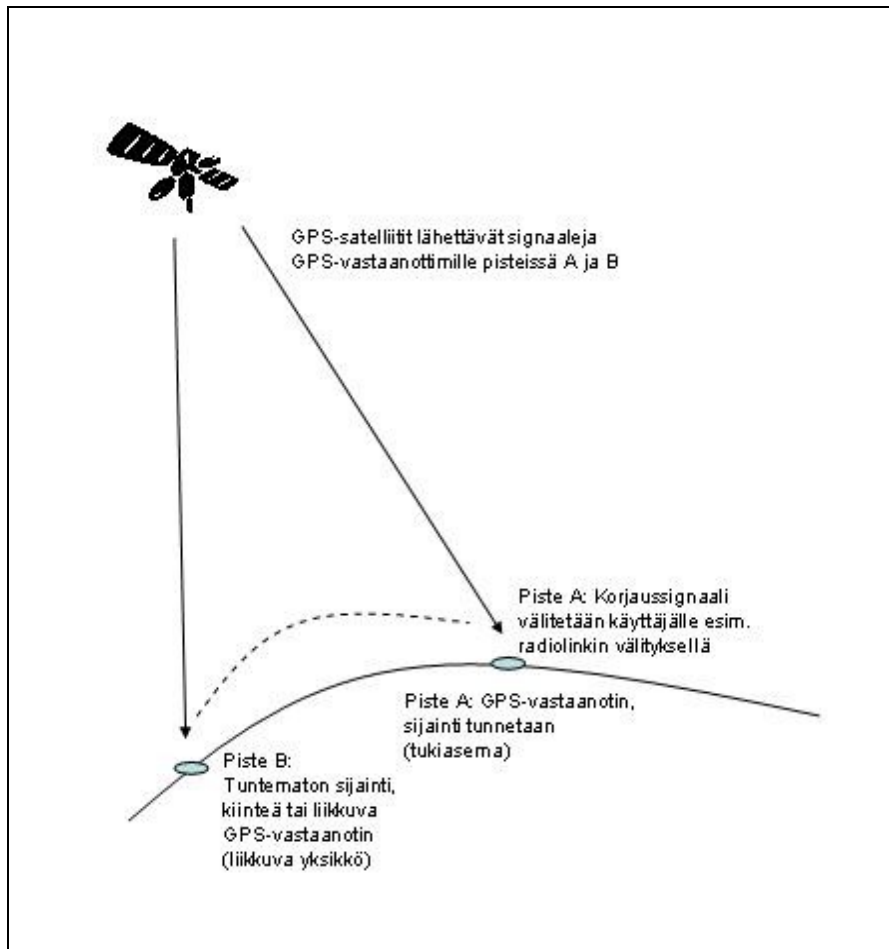
Merkittävä satelliittipaikannuksen tarkkuuteen liittyvä muutos oli vuonna 2000 tehty päätös, jonka mukaan Yhdysvaltojen puolustusvoimat lopetti siviilikäyttöön tarkoitettun GPS-signaalin tarkoituksellisen huonontamisen (*selective availability*, SA). SA vaikutti lähinnä navigointisovelluksiin ja differentiaaliseen GPS:ään. SA:n vaikutuksesta satelliittien lähettämiin rata- ja kellovirhetietoihin generoitiin pienehkö pseudo-satunnainen virhe, joka heikensi paikannustarkkuutta muutaman kymmenen metrin tasolle. Sotilaskäyttöä varten rakennetut vastaanottimet pystyivät poistamaan virheen. (Rainio 2003:9, Poutanen 2007:21)

Siviilimaailmassa paikannuksen tarkkuutta on voitu parantaa suhteellisen eli differentiaalisen paikannuksen (DGPS) avulla välittämällä reaaliaikaisesti paikallisten mittausasemien tuottamaa korjaustietoa (kuva 3). DGPS:n avulla voidaan eliminoida

etenkin ilmakehän aiheuttamia virheitä. Vastaanottimen mittaamaa paikkaa ja sen todellista sijaintia verrataan jatkuvasti toisiinsa ja tieto mittauksen virheestä lähetetään reaaliaikaisesti radiolinkin välityksellä toiselle vastaanottimelle. Tämä tekee omaan sijaintilukemaansa vastaavan korjauksen, jolloin paikannustarkkuudessa päästään hyvissä olosuhteissa metrin tasolle. Korjaustietojen välityksessä käytetään muun muassa yleisradiotaajuuksia (Suomessa Digitan maksullinen Fokus-palvelu) tai merenkulun radiotaajuuksia, jotka ovat tyypillisesti eri maiden merenkululaitosten maksuttomia palveluita. Laajemmille alueille korjaustiedot voidaan lähettää myös maanpinnan suhteen paikallaan olevien satelliittien kautta. Tällaisia järjestelmiä ovat esimerkiksi:

- o Yhdysvalloissa WAAS (*Wide Area Augmentation System*)
- o Japanissa MSAS (*Multi-functional Transport Satellite-based Augmentation System*)
- o Euroopassa EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*)

(Poutanen 1998:11–12, 202–204, Rainio 2003:10, Poutanen 2007:21–22).



Kuva 3. GPS-signaalin reaaliaikainen differentiaalikorjaus (Poutanen 1998:202, NCHRP Synthesis 301 2002:17).

2.1.2 GLONASS

GLONASS:n (*GLOBAL NAVIGATION Satellite System*) kehitystyö aloitettiin entisessä Neuvostoliitossa vuonna 1982. GLONASS-järjestelmä muistuttaa tavoitteiltaan ja toteutukseltaan hyvin paljon GPS:ää. GPS:n tavoin myös GLONASS on tarkoitettu alun perin sotilaskäyttöön. Järjestelmään kuuluu 24 satelliittia. Ne kiertävät maata kolmella ratatasolla, joiden inkliinaatio on 64,8 astetta. Tästä johtuen GLONASS:n ratageometria on napa-alueilla hieman parempi kuin GPS:ssä. (Ilmonen 2006, Poutanen 2007:22)

GLONASS-satelliitit ovat aikaisemmin olleet GPS-satelliitteja lyhytikäisempiä. 1980-luvun alussa avaruuteen lähetettyjen ensimmäisten GLONASS-satelliittien käyttöikä oli vain yhdestä kahteen vuotta. Viime vuosina laukaistut GLONASS-M-satelliitit ovat kuitenkin pidempi-ikäisiä. Ne voivat lentää kiertoradallaan noin seitse-

män vuotta. Tulevaisuuden uutta teknologiaa käyttävät GLONASS-K-satelliitit on suunniteltu kestämaan jopa 12 vuotta (Ilmonen 2006, Poutanen 2007:23).

GLONASS:n paikannustarkkuus on yhdellä vastaanottimella alle kymmenen metriä. Toistaiseksi suurin este käytölle on ollut satelliittien vähäinen määrä. Satelliittien lisääntyminen parantaa paikannusmahdollisuuksia sellaisissa olosuhteissa, joissa GPS-satelliitteja ei näy riittävästi. Koska GLONASS-satelliittien seuranta-asemia on vain entisen Neuvostoliiton alueella, satelliittien itsensä lähettämät ratatiedot ovat tarkkuudeltaan heikompia kuin GPS-satelliittien lähettämät tiedot. (Ilmonen 2006, Poutanen 2007:25–26)

Venäjän hallitus on järjestänyt GLONASS:n rahoituksen vuoteen 2011 saakka (Ilmonen 2006). Järjestelmän piti alun perin olla toiminnassa vuonna 2008, mutta viimeaikaisten suunnitelmien mukaan käyttöönottoa aikaistetaan kahdella vuodella ja toiminnan pitäisi alkaa jo tämän vuoden aikana (Schönberg 2007).

2.1.3 Galileo

Galileo-paikannusjärjestelmä on Euroopan komission ja Euroopan Avaruusjärjestö ESA:n yhteishanke. EU on halunnut oman paikannusjärjestelmän ennen kaikkea vähentääkseen tämänhetkistä riippuvuutta yhdysvaltalaisesta GPS-järjestelmästä. GPS:stä ja venäläisestä GLONASS:sta poiketen Galileo on siviilipaikannusjärjestelmä, eli siviiliviranomaisten hallinnoima ja siviilikäyttöön suunniteltu. Osa Galileon signaaleista on vapaasti kaikkien saatavilla. Paikannustarkkuus tässä avoimessa palvelussa on 5–20 metriä. Galileo sisältää myös kaupallisia ja viranomaisille, erityisesti pelastuspalvelulle, tarkoitettuja toimintoja. Kaupallisessa palvelussa on korjaussignaalin avulla saavutettavissa 0,1–1 metrin paikannustarkkuus. Viranomaiskäyttöön rajoitetussa palvelussa paikannustarkkuus on puolestaan 1–6 metriä. Valmistuttuaan Galileon on tarkoitus sisältää kolmekymmentä satelliittia, joista 27 on jatkuvasti toiminnassa ja kolme avaruudessa rikkoutumisen varalta. Kiertoratojen inkliinaatio eli kaltevuus päiväntasaajan suhteen on 56 astetta ja korkeus 23 616 kilometriä Maan pinnasta. Tällaisilla ratajärjestelyillä satelliitit kattavat koko asutun maapallon pinnan. (Rainio 2003:12, Poutanen 2007:26–30, Tuohinen 2007)

Galileon ja GPS-järjestelmän yhteiskäyttö on melko ongelmaton. Niille varatut taajuuudet ovat hyvin lähellä toisiaan ja tulevaisuudessa vastaanottimet voivat hyödyntää molempien järjestelmien satelliitteja. Satelliittien näkyvyys paranee lukumäärän kas-

vaessa ja satelliittipaikannuksen toimintakyky on näin ollen parempi muun muassa kaupunkiympäristöissä (Rainio 2003:12, Poutanen 2007:27).

Alun perin Galileon suunniteltiin olevan toimintakunnossa vuonna 2008. Projekti on kuitenkin viivästynyt alkuperäisestä aikataulusta, muun muassa projektin rahoituksessa ilmenneiden ongelmien vuoksi. Tätä työtä kirjoitettaessa Galileon tulevaisuus on epävarma. Järjestelmän odotetaan olevan toiminnassa ja kaikkien 30 satelliitin kiertoradallaan aikaisintaan 2010-luvun alkupuolella. Toistaiseksi vasta yksi Galileo-satelliitti on lähetetty avaruuteen (Mannila 2007, Poutanen 2007:28, Tuohinen 2007).

2.2 Liikenne-GIS

Geoinformatiikan liikennetutkimuksen tueksi suunnitellut sovellukset (niin sanottu GIS-T eli *geographic information systems for transportation*) olivat kiinnostuksen kohteina jo geoinformatiikan kehityksen alkuaikoina 1960-luvulla. Laajemmin geoinformatiikkaa alettiin kuitenkin hyödyntää liikennetutkimuksessa ja liikenteen hallinnassa vasta 1980-luvun lopulla. Tärkeänä liikenne-GIS:n käyttöönottoa edesauttaneena tekijänä pidetään liikennealalla 1980-luvulla voimistunutta tarvetta entistä tehokkaampien ja monipuolisempien tiedon varastointi-, käsittely- ja analyysimenetelmien kehittämiseksi. Liikennetutkimuksessa käytetään tavallisesti runsaasti erilaisia malleja ja analyysitapoja. Analysoitava data on tyypillisesti lähtöisin useista eri lähteistä ja lisäksi valtaosa liikennetutkimuksessa hyödynnettävästä tiedosta on luonteeltaan maantieteellistä, eli sisältää koordinaatti- tai muun paikannustiedon. Paikkatietotekniikka on osoittautunut ylivoimaisesti parhaaksi menetelmäksi juuri tällaisen eri lähteistä peräisin olevan maantieteellisen tiedon esittämisessä, sillä se mahdollistaa eri tietolajien esittämisen samanaikaisesti, kerroksina kartalla (Goodchild 2000, Thill 2000, Miller & Shaw 2001, TCRP Synthesis 55 2004:5).

Miller & Shaw (2001:3) määrittelevät GIS-T:n laitteiston, ohjelmiston, tiedon, ihmisten, organisaatioiden ja institutionaalisten järjestelyjen muodostamaksi kokonaisuudeksi, jonka tehtävänä on kerätä, varastoida, analysoida ja välittää eteenpäin tietyn tyyppistä informaatiota maapallosta. Tällä tietyn tyyppisellä informaatiolla tarkoitetaan liikennejärjestelmiä ja maantieteellisiä alueita, joihin liikennejärjestelmät vaikuttavat.

Goodchildin (2000) mukaan liikenne-GIS:n kehitystä voidaan tarkastella kolmessa jaksossa tai kolmesta näkökulmasta käsin. Näkökulmat ovat kartta, navigointi ja käyttäytyminen.

Karttanäkökulmassa liikennejärjestelmää pidetään staattisena ja lineaarisena, eli viivamaisista kohteista koostuvana. Liikenne ja erilaiset liikenneverkostot näyttävät samalta kuin jos niitä katsottaisiin ylhäältä käsin. Tällainen tarkastelutapa on yksinkertainen ja mahdollistaa paikan ilmoittamisen yksiulotteisesti ainoastaan yhtä arvoa käyttäen. Yksiulotteista paikannusta käytetään yhteiskunnissa yleisesti esimerkiksi katuosoitteissa. Tämä koetaan helpommaksi kuin sijainnin ilmoittaminen kaksi- tai kolmiulotteisessa järjestelmässä kuten koordinaattiparin avulla. Yksinkertaisuuden varjopuolena karttanäkökulmassa on kuitenkin useita puutteita, liittyen ennen kaikkea sen staattiseen luonteeseen sekä siihen, että todellisuuden ilmiöiden esittäminen rajoittuu yhteen ulottuvuuteen. Ilmiöstä, esimerkiksi tiestä, kartalle saadaan mallinnettua vain yksi piirre, joka on tyypillisesti keskikohta tai, tien kyseessä ollessa, keskilinja. (Goodchild 2000)

Navigointinäkökulman tukeminen on etenkin älykkään liikenteen näkökulmasta tärkeää. Sitä tarvitaan muun muassa reittisuunnittelun tueksi. Tehokas navigointi edellyttää huomattavasti suurempia informaatiomääriä kuin mitä karttanäkökulman avulla voidaan tarjota. Tarpeellisia tietolajeja ovat esimerkiksi ruuhkautumisaste, matkanopeus sekä väliaikaiset liikennehäiriöt ja -rajoitukset. Tällaista tietoa ei ole mahdollista havaita tarkastelemalla liikennejärjestelmää karttanäkökulman tavoin yläpuolelta käsin, vaan erilaiset maanpinnalla tapahtuvat mittaukset ovat välttämättömiä. Zito ym. (1995) toteavat, että yhdistämällä GPS:n avulla kerätty liikennetieto, kuten ajonopeus tai ajoneuvon kulkusuunta GIS-ympäristöön, voidaan ajoneuvoja tarkkailla tehokkaasti. Maantieteellisten osatekijöiden hyödyntäminen tiedostoissa ja tulosten visualisointi kartan avulla luo parhaimmillaan selkeän kuvan liikennetilanteesta kaikilla liikenneverkkoon kuuluvilla teillä. Navigointinäkökulman ongelmana on, että ihmiset ja ajoneuvot eivät todellisuudessa ole sidottuja liikenneverkostoon, vaan liikkuminen on mahdollista ja sitä tapahtuu myös vakiintuneiden reittien ulkopuolella (Goodchild 2000).

Käyttäytymisnäkökulma pyrkii pääsemään eroon kartta- ja navigointinäkökulmiin liittyvästä staattisuudesta ja tarkastelemaan liikennettä dynaamisena järjestelmänä.

Nimensä mukaisesti käyttäytymisnäkökulma keskittyy erillisten liikenteessä liikkuvien objektien (ajoneuvot, ihmiset, junat, veneet) liikkumiskäyttäytymisen tutkimiseen sekä liikenneverkoston sisällä että sen ulkopuolella. Käyttäytymisnäkökulman soveltaminen geoinformatiikassa vaatii kokonaan uudenlaisten esitystapojen kehittämistä. Goodchild (2000) toteaa, että tähänastiset GIS-T -sovellukset ovat perustuneet lähinnä karttanäkökulman ja jossain määrin myös navigointinäkökulman soveltamiseen. Tämä heijastaa hänen mukaansa koko GIS-ohjelmistoteollisuuden taipumusta tiedon staattiseen esittämiseen dynaamisen mallinnuksen sijaan. Myös Thill (2000) on sitä mieltä, etteivät varsinkaan ajantasaisen paikkatiedon varastointi-, hankinta-, käsittely- ja analysointimenetelmät ole vielä niin kehittyneellä tasolla kuin yhteiskunnan tarpeet edellyttäisivät.

Yleisin liikennetietojen alueelliseen esittämiseen käytettävä GIS-tietomalli on viivoihin (*arc*) ja solmuihin (*node*) perustuva verkostotietomalli (Thill 2000). Paikkatietotekniikan sanasto (2006) määrittelee viivan *jatkuvaksi interpoloiduksi yhteydeksi kahden tai useamman pisteen välillä*. Solmu tai solmupiste puolestaan on *piste, joka on kahden tai useamman viivan topologinen liitoskohta tai viivan päätepiste* (Kuva 4). Verkostotietomalli tukee sekä vaativia että yksinkertaisia verkostanalyyssejä ja mahdollistaa näin ollen liikennevirta- ja liiketutkimusten tekemisen. Useissa tapauksissa verkostomalli onkin riittävä liikennetiedon esittämisen väline (Thill 2000). Liikennejärjestelmien yhteydessä on syytä liittää verkostotietomalleihin suunnan käsite, sillä liikennejärjestelmät sisältävät tyypillisesti tärkeitä liikennevirran suuntaan liittyviä ominaisuuksia (esimerkiksi yksisuuntaiset kadut tai matka-aikojen erot eri matkustussuuntiin vuorokaudenajasta riippuen) (Miller & Shaw 2001:55).



Kuva 4. Esimerkki viivojen ja solmujen muodostamasta kokonaisuudesta. Kuvassa Oulun keskustan katuverkkoa.

Miller & Shaw (2001:55–62) toteavat, että verkostotietomallien suuresta suosiosta huolimatta niihin liittyy myös joitakin selviä heikkouksia. Ongelmia aiheuttaa muun muassa verkostomallien yksitasoisuus. Esimerkiksi sellaisten liikennejärjestelmiin olennaisesti kuuluvien elementtien kuten ali- tai ylikulkujen esittäminen on verkostomalleja käyttäen vaikeaa. Toinen perinteiseen verkostomalliin liittyvä ongelma on oletus viivaelementtien homogeenisuudesta, eli siitä, että viivaelementin ominaisuudet eivät muuttuisi sen alku- ja päätepisteen välillä. Tämä ei kuitenkaan monessakaan tapauksessa pidä paikkaansa, vaan esimerkiksi liikennevirran tilassa ja siten matka-ajassa voi esiintyä huomattavaa segmentin sisäistä vaihtelua. Ongelmaan voidaan pyrkiä vaikuttamaan lyhentämällä yksittäisten viivaelementtien pituutta, jolloin on todennäköisempää, että ominaisuudet eivät muutu elementin sisällä. Thill (2000) ehdottaa ratkaisuksi muuttujien arvon vaihteluun lineaarista referointia (*linear referencing*). Tällä tarkoitetaan sitä, että muuttujia tarkastellaan alueellisina (lineaarisi-
na), verkostossa tapahtuvina ilmiöinä. Muuttujien arvoissa tapahtuvat muutokset voidaan liittää yksittäisiin sijaintipaikkoihin, jotka ilmaistaan suhteellisina sijainteina verkostoon kuuluvien lineaaristen ilmiöiden avulla. Lineaarista referoinnista kerrotaan tarkemmin alaluvussa 2.2.1 Dynaaminen segmentointi.

Kolmas ongelma aiheutuu siitä, että yhteen fyysiseen liikenne-elementtiin liittyy usein monia erilaisia ominaisuustietoja. Ongelmia saattaa syntyä, kun monimutkaisia suhteita tie-elementtien ja niiden ominaisuustietojen välillä yritetään hallita suhteellisen yksinkertaisen verkostotietomallin avulla (Miller & Shaw 2001:61–62).

Verkostomallien tarkastelunäkökulmaa onkin usein tarpeen laajentaa. Monimutkaisten liikennejärjestelmien todellista rakennetta voidaan jäljitellä paremmin laajentamalla verkostomalleja tasosta poikkeavien mallien, suuntaan liittyvien viitetaulukoiden tai objektisuuntautuneen tarkastelunäkökulman avulla. Objektisuuntautunut tarkastelunäkökulma mahdollistaa yksittäisten ajoratojen tarkastelun erillisinä elementteinä (Miller & Shaw 2000, Thill 2000).

2.2.1 Dynaaminen segmentointi

Dynaaminen segmentointi ja lineaarinen referointi ovat suoria käännöksiä englannin kielestä. Molemmat tarkoittavat samaa asiaa, eli ne ovat epäsuoria tapoja ilmoittaa tapahtuman tai kohteen sijainti verkostossa. Viivan varrella olevan kohde voi olla viivamainen tai pistemäinen. Se paikannetaan jostakin tunnetusta lähtöpisteestä käsin mitatun etäisyyden perusteella. Dynaamista segmentointia käytetään yleisesti liikennetiedon mallintamisessa, sillä esimerkiksi liikennehäiriön sijainti on helpompi ja selkeämpi ilmaista tietä pitkin mitatun yhden parametrin avulla kuin kahden parametrin, kuten koordinaattiparin, kautta. Lisäksi liikenteeseen liittyvien tapahtumien voi suurella todennäköisyydellä olettaa sijaitsevan tieverkolla. (Miller & Shaw 2001, Noronha & Church 2002, Tokola & Kalliovirta 2003:67, Tong 2004, Digiroad tietolajien kuvaus 2007)

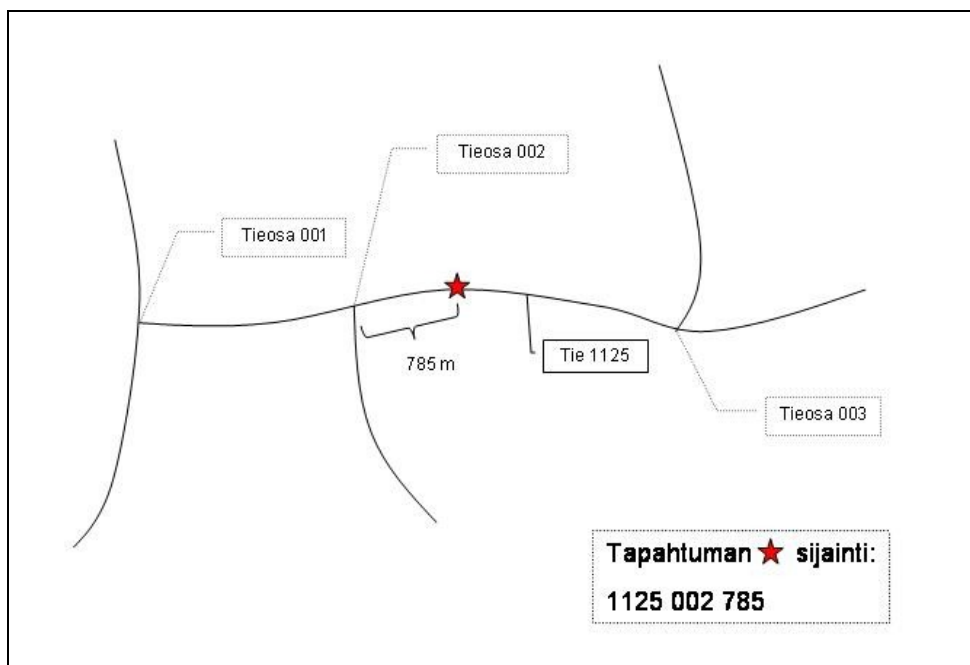
Dynaaminen segmentointi ei onnistu ilman lineaarista viitekehystä, josta englannin kielessä käytetään usein nimitystä *linear referencing system* eli *LRS*. Tyypillisesti lineaarinen viitekehys muodostuu kolmesta osatekijästä; (i) liikenneverkostosta, (ii) referenssimenetelmästä ja (iii) datumista. Liikenneverkko muodostuu viivoja, viivan osia ja solmupisteitä sisältävästä topologisesta verkostosta. Referenssimenetelmä määrittelee, miten kohteen sijainti verkostossa mitataan sekä minkälaisia reittejä ja mittayksiköitä mittauksessa käytetään. Datumilla puolestaan tarkoitetaan sellaisia verkoston kohteita (”ankkuripisteitä”), joiden täsmällinen sijainti tiedetään ennakolta tehtyjen mittausten perusteella. Datum yhdistää lineaarisen viitekehysten todellisuus-

teen ja mahdollistaa muun muassa useiden verkostojen käyttämisen samanaikaisesti. (Miller & Shaw 2001:62, Tong 2004:31–32)

Paikannuksessa käytettävät referenssimenetelmät erotellaan usein kolmeen tyyppiin; (i) tien nimeen ja osoitteeseen, (ii) kontrolliosuuksiin sekä (iii) linkkeihin ja solmupisteisiin perustuviin järjestelmiin. (Miller & Shaw 2001:62–64, Tong 2004:32)

Tien nimeen ja osoitteeseen perustuvan referenssijärjestelmän muodostavat tien nimeä ja tieosoitteen määräytymistä koskevat sopimukset ja standardit sekä mitatut tarkistuspisteet. Tienimeen ja -osoitteeseen perustuvan järjestelmän heikkoutena on, että ajan myötä tehtävät, tien geometriaan vaikuttavat muutokset (esimerkiksi teiden suoristamiset) heikentävät järjestelmän luotettavuutta ja vaikeuttavat tapahtumarekisterin ylläpitoa. (Miller & Shaw 2001:62–64)

Suomessa Tiehallinto ylläpitää yleisten teiden osalta tierekisteriä. Tierekisterin osoitejärjestelmän avulla voidaan määrittää rekisteritietojen (esim. liikenneonnettomuuksien tai tieverkon hoitotoimenpiteiden) sijainti yhden metrin tarkkuudella sekä tietokannassa että maastossa. Tieosoite koostuu neljästä tunnistetiedosta, jotka ovat tien numero, tieosan numero, ajoradan numero ja etäisyys tieosan alusta (kuva 5) (Raekallio 2002:2).



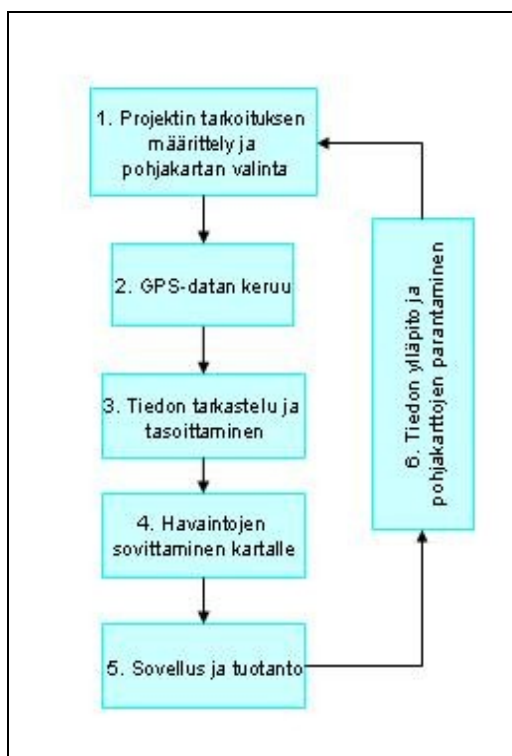
Kuva 5. Tieosoitteen määräytyminen (Raekallio 2002:2)

Kontrolliosuuksilla tarkoitetaan sellaisia liikenneverkon osia (segmenttejä), joista jokaisella kiinnostuksen kohteena oleva ominaisuustieto on yhtenäinen. Kontrolliosuuksiin perustuvassa järjestelmässä referensseinä käytetään tyypillisesti etäisyyksiin perustuvia mittapisteitä, eli kontrolliosuudet alkavat ja päättyvät tietyissä mittapisteissä. (Miller & Shaw 2001:64)

Linkkeihin ja solmupisteisiin perustuva referenssijärjestelmä edustaa suoraan liikennejärjestelmän topologiaa. Topologialla tarkoitetaan tässä yhteydessä liikenneverkon muodostamia yhteyksiä (Miller & Shaw 2001:64). Keskeistä on erityisesti verkon osien virheetön liittyminen toisiinsa solmupisteissä eli tyypillisesti risteyskohdissa (Tokola & Kalliovirta 2003:70). Linkkeihin ja solmupisteisiin perustuvan järjestelmän etuna on, että lineaarisissa ominaisuuksissa tapahtuvat muutokset kuten teiden oikaisut eivät vaikuta järjestelmän muihin osiin. Heikkoutena puolestaan on tapahtumien sijaintien tunnistaminen ja tiedon välittäminen eteenpäin. Jotta sijainnit voidaan tunnistaa maastossa, tarvitaan periaatteessa kartta, jossa solmupisteet on esitetty (Miller & Shaw 2001:64).

3 Paikannushavaintojen siirtäminen kartalle

Prosessi, jossa GPS-havainnot liitetään paikkatietoympäristöön ja esitetään kartalla, voidaan jakaa eri vaiheisiin esimerkiksi kuvassa 6 esitetyllä tavalla (NCHRP Synthesis 301 2002:5).



Kuva 6. GPS-havaintojen liittäminen paikkatietojärjestelmään (NCHRP Synthesis 301 2002:5).

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään projektin tarkoitus ja tavoitteet. Tavoitteiden tarkka ja täsmällinen määrittely on tärkeää jo yleisesti tunnustettujen hyvien projektikäytäntöjen valossa. Lisäksi tavoiteltu lopputulos vaikuttaa sopivan pohjakartan ja GPS-tiedon keräämisessä käytettävien menetelmien valintaan, sillä sen pohjalta määritellään vaadittava alueellinen tarkkuus ja tiedonkeruupisteiden tiheys. (NCHRP Synthesis 301 2002:7, Thompson 2003:7–8).

3.1 Pohjakartan valinta

Pohjakartan valinnan yhteydessä määritellään kartan (1) mittakaava, (2) projektio, (3) datum ja (4) koordinaattijärjestelmä (Miller & Shaw 2001:86, NCHRP Synthesis 301 2002:8, Thompson 2003:8). Seuraavaksi kerrotaan lyhyesti, mitä nämä kartografiset käsitteet tarkoittavat.

3.1.1 Mittakaava

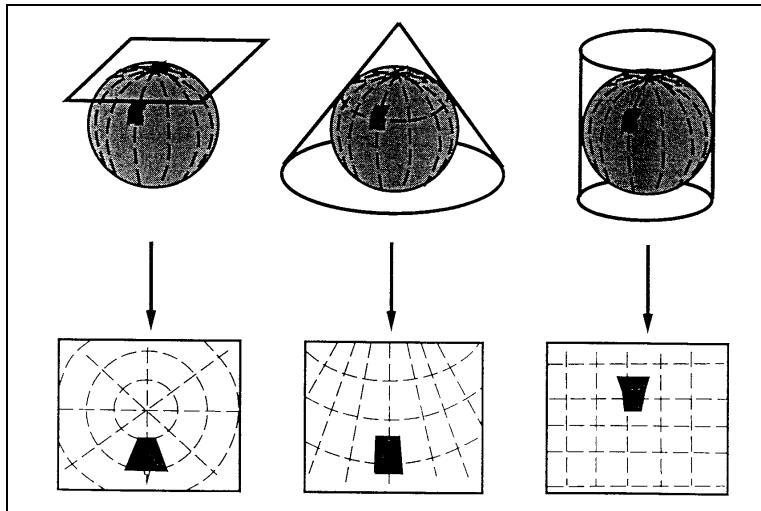
Mittakaavalla osoitetaan karttaetäisyyden suhde maastossa mitattuun etäisyyteen. Esimerkiksi 1:20 000-mittakaavaisessa kartassa 1 cm kartalla vastaa 20 000 senttimetriä eli 200 metriä maastossa. Digitaalista karttaa voidaan helposti zoomata eri mittakaavaa vastaavaksi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei mittakaavalla olisi merkitystä paikkatietojärjestelmissä, sillä tosiasiaissa GIS-tietokannan resoluutio ja paikannustarkkuus ovat suoraan riippuvaisia tietokannan luomisessa käytetyn taustakartan mittakaavasta (Miller & Shaw 2001:93, NCHRP Synthesis 301 2002:8, Thompson 2003:8).

Karttoja voidaan erotella mittakaavan perusteella suuri- ja pienimittakaavaisiin. Suurimittakaavaisina pidetään karttoja, joiden mittakaava on suurempi kuin 1:50 000. Tätä pienempimittakaavaiset kartat voidaan luokitella pienimittakaavaisiksi. Mitä suurempimittakaavaisesta kartasta on kyse, sitä yksityiskohtaisempaa informaatiota sen avulla voidaan esittää ja sitä tarkempia mittauksia kartalta voidaan tehdä. Kartan mittakaavan kasvattaminen edellyttää toisaalta myös suurempaa tarkkuutta ja virheiden karsimista. (Miller & Shaw 2001:93, NCHRP Synthesis 301 2002:8, Thompson 2003:8)

3.1.2 Projektio

Karttaprojektio on matemaattinen muunnos, jota tarvitaan, kun kolmiulotteinen maanpinta halutaan esittää kaksiulotteisena karttatasona. Erilaisia projektioita on olemassa useita. Yhteistä niille on, että ne kaikki sisältävät jonkin verran virhettä, sillä maapallon pintaa ei voida koskaan oikaista täysin tarkasti tasolle. Projektioihin sisältyvä virhe on sitä suurempi, mitä suurempi osa maapallon pinnasta yritetään kuvata samanaikaisesti karttalehdelle. (Poutanen 1998:248, Tokola ym. 2000:11, Miller & Shaw 2001:88, NCHRP Synthesis 301 2002:8, Thompson 2003:8)

Projektiot voidaan jaotella taso-, lieriö- ja kartioprojektioihin sen perusteella, minkälaiselle pinnalle projisointi tehdään (kuva 7). Yksinkertaisinta on tehdä projisointi suoraan tasolle. Tällöin tangenttitaso asetetaan haluttuun pinnan pisteeseen, jolle ellipsoidin pisteet projisoidaan. Tällaisesta **tasoprojektioista** käytetään myös nimitystä atsimutaalinen projektio. (Poutanen 1998:248, Tokola ym. 2000:12)



Kuva 7. Taso-, kartio- ja lieriöprojektiio (Tuominen 2000).

Lieriöprojektioidissa maapallon pinta projisoidaan palloa sivuavalle tai leikkaavalle lieriölle. Sivuvavassa projektiossa lieriö sivuaa maapalloa yhden leveyspiirin kohdalla, leikkaavassa projektiossa puolestaan kahden. Jos lieriö sivuaa ellipsoidia ekvaatorilla, kyseessä on normaaliasentoinen lieriöprojektiio. Asettamalla lieriö sivuamaan jotakin meridiaania, syntyy poikittainen tai vaaka-asentoinen lieriöprojektiio, muissa tapauksissa puhutaan vinosta lieriöprojektiosta. Lieriöprojektiio on käytetyin projektio-tyyppi ja monet kansalliset koordinaatistot perustuvatkin sen muunnelmiin. (Poutanen 1998:249, Tokola ym. 2000:12–13)

Kolmas tyyppi helposti tasokartaksi muuttuvista pinnoista on kartio. Normaaliasentoinen **kartioprojektiio** saadaan, kun kartio asetetaan siten, että sen kärki on pyörähdysakselilla. Kartio joko sivuaa ellipsoidia paralleeliympyrää pitkin tai leikkaa ellipsoidin kahta paralleeliympyrää pitkin. (Poutanen 1998:249)

Sekalaisiin projektioihin kuuluvat esimerkiksi sellaiset projisoimattomat kartat, jotka eivät kuulu mihinkään edellä mainituista luokituksista. Projisoimattomissa kartoissa pituus- ja leveyspiirit esitetään yksinkertaisen suorakulmaisen koordinaatiston avulla. Niissä mittakaava, pinta-ala, etäisyys ja muoto vääristyvät. Suurimmat virheet kasaantuvat napojen läheisyyteen. (Tokola ym. 2000:12)

Projisointitavan lisäksi projektioita voidaan luokitella sen perusteella, miten ne säilyttävät tietyt alkuperäisen kolmiulotteisen maailman ominaisuudet muuttumattomina. *Konformiset* eli *oikeamuotoiset projektiot* säilyttävät alkuperäisten ominaisuuksien kulmat sekä pienten projisoitavien kuvioiden muodot. Yksi tavallisimmin käyte-

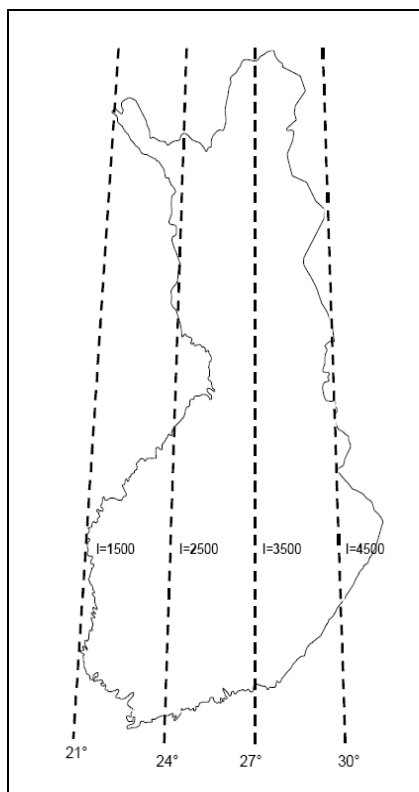
tyistä projektioista, vuonna 1569 esitetty Mercatorin projektio, on esimerkki konformisesta lieriöprojektioista. (Poutanen 1998:249–252, Tokola ym. 2000:12, Miller & Shaw 2001:88)

Pintatarkka tai *oikea-alainen projektio* säilyttää kuvioden pinta-alojen suhteet. Niiden muoto, kulmat ja skaala sen sijaan eivät säily alkuperäisinä. Lambertin pintatarkka projektio on esimerkki suhteellisen usein käytetystä pintatarkasta projektioista. Projektiot, joissa yhdestä tai kahdesta pisteestä käsin mitatut välimatkat siirtyvät oikein, ovat *viivatarkkoja* eli *oikeapituisia*. Yksi esimerkki tällaisesta projektioista on viivatarkka kartioprojektio. Projektiota nimitetään *oikeakulmaiseksi* eli *kulmatarkaksi*, mikäli karttakohteiden kulmat avautuvat oikein missä tahansa suunnassa, toisin sanoen kuvioden muodot vastaavat kuvioita maastossa. Atsimutaalisissa tasoprojektioissa pisteiden väliset suunnat säilyvät ainoastaan projektiokeskuksesta katsottuna. (Poutanen 1998:249, Tokola ym. 2000:12, Miller & Shaw 2001:88)

Mercatorin projektion lisäksi varsin yleisesti käytettyjä lieriöprojektioita ovat UTM-projektio (*Universal Transverse Mercator*) sekä Gauss-Krügerin projektio, jotka kumpikin ovat muunnoksia Mercatorin projektioista. UTM-projektio on maapalloa sivuva poikittainen lieriöprojektiio, jonka Yhdysvaltain armeija otti käyttöön 1940-luvulla. UTM-järjestelmässä maapallo on jaettu pituuspiirien suunnassa kuuteenkymmeneen kuuden asteen levyiseen kaistaan leveyspiirien 84 asetta eteläistä leveyttä–84 astetta pohjoista leveyttä välillä. Maapallon kaarevuudesta johtuvan vääristymän vähentämiseksi UTM-projektiossa käytetään korjauskerrointa, jonka arvo on noin 0,9996, toisin sanoen kaikkia koordinaatteja pienennetään mainitussa suhteessa. UTM-projektiota käytetään muun muassa Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. (Poutanen 1998:252–253, Tokola ym. 2000:13, Miller & Shaw 2001:8993)

Gauss-Krügerin projektio on UTM-projektion tavoin poikittaisasentoinen muunnos Mercatorin projektioista. Siinä lieriö sivuaa maapalloa yhtä meridiaania pitkin. Sivuamismeridiaani ja ekvaattori kuvautuvat kartalla suorina ja muut meridiaanit kaarevina. Gauss-Krügerin projektio on kulmatarkka ja sivuamismeridiaanin lähellä myös miltei oikea-alainen. Keskimeridiaanista etäännyttäessä mittakaava kuitenkin suurenee. Gauss-Krügerin projektio on suomalaisesta näkökulmasta merkittävä, sillä sitä käytetään Suomen kartastojärjestelmän perustana. Kartastojärjestelmässä Suomi kuvataan neljän kolmen asteen levyisen kaistan avulla. Kaistojen sivuamismeridiaanit

ovat 21, 24, 27 ja 30 astetta (kuva 8). (Poutanen 1998:252–253, Tokola ym. 200:13–15)



Kuva 8. Gauss-Krüger -projektion kaistojen keskimeridiaanit Suomen peruskoordinaatistossa (Tokola ym. 2000:15)

3.1.3 Datum

Datum tarkoittaa geodeettista vertausjärjestelmää. Sitä käytetään apuna määrittäessä maapallon kokoa ja muotoa sekä koordinaattijärjestelmän alkuperää ja orientaatiota. Eri valtiot ja organisaatiot käyttävät koordinaattijärjestelmien perustana hieman erilaisia datumeja. Kansainvälisestikin yleisesti käytetty ja tunnettu datum on World Geodetic System 1984 eli WGS84, jota käytetään esimerkiksi satelliittipaikannuksessa. (Poutanen 1998:56–57, Tokola ym. 2000:11, Miller & Shaw 2001:86–88, NCHRP Synthesis 301 2002:10–12)

Maapallon pinnan kuvaus vaihtelee eri datumeissa käytettävästä referenssiellipsoidista riippuen. Ellipsoidin määrittämisessä käytetään kahta parametria; päiväntasaajaa vasten kohtisuorassa olevaa sädettä (*equatorial radius*) ja maapallon litistymistä kuvaavaa kerrointa (*flattening*). Lisäksi määritellään niin sanotun sidospisteen (*tiepoint*) avulla, miten ellipsoidin määräämä muoto kytkeytyy todelliseen maan pintaan.

Datumin parametrien perusteella kartalle saadaan päiväntasaajaan ja nollameridiaaniin sidotut koordinaattiviivat. (Poutanen 1998:56–57, Tokola ym. 2000:11)

3.1.4 Koordinaattijärjestelmä

Koordinaattien avulla ilmoitetaan tietyn pisteen sijainti maapallolla. Koordinaatistot voidaan jakaa kahteen päätyyppiin; maantieteellisiin koordinaatistoihin ja tasokoordinaatistoihin. Maantieteelliset koordinaatit ilmaistaan pallokoordinaatteina astemuodossa. Yleisimmin käytetty maantieteellinen koordinaatisto perustuu leveys-, pituus- ja korkeuskoordinaatteihin. Nollaympyränä on leveyskoordinaattien kohdalla ekvaattori ja pituuskoordinaatiston osalta Greenwichin nollameridiaani. Maantieteellisten koordinaattien avulla saadaan siis kulmamitoissa mitattu etäisyys päiväntasaajasta ja nollameridiaanista. Pisteen korkeuskoordinaatit määritellään sen kohtisuorana etäisyytenä referenssiellipsoidiin. (Poutanen 1998, Tokola ym. 2000:14, Miller & Shaw 2001:89–93)

Tasokoordinaatistot ovat kaksiulotteisia. Pisteen sijainti ilmoitetaan etäisyyksinä tunnetuista lähtöpisteistä. Etäisyydet puolestaan mitataan toisiinsa nähden kohtisuorassa olevien akselien suunnassa. Suomessa valtakunnallisina tasokoordinaatistoina käytetään kartastokoordinaattijärjestelmän (KKJ) mukaista peruskoordinaatistoa ja yhtenäiskoordinaatistoa (YKJ). Kuten edellä on todettu, kartastokoordinaatisto perustuu Gauss-Krügerin projektioon. X-koordinaatit ilmoittavat pohjois-eteläsuunnassa etäisyyden päiväntasaajasta ja Y-koordinaatit itä-länsisuunnassa etäisyyden kaistan keskimeridiaanista. Itäkoordinaatin arvona käytetään Suomessa kullakin neljällä kaistalla lukua 500 km, jonka eteen lisätään kaistaa kuvaava luku 1, 2, 3 tai 4. Näin menettellään, jottei tarvitsisi käyttää negatiivisia koordinaatteja. (Poutanen 1998, Tokola ym. 2000:14–15)

Yhtenäiskoordinaatistossa koko Suomi on projisoitu kolmoskaistalle, jonka keskimeridiaani on 27 astetta itäistä pituutta ja itäkoordinaatin arvo 3500 km. Kolmannen kaistan koordinaatit ovat näin ollen samat perus- ja yhtenäiskoordinaatistoissa. Muiden kaistojen kohdalla koordinaatit on sen sijaan muunnettava laskien koordinaatistosta toiseen, eikä eri projektiokaistojen arvoja voi suoraan yhdistää. (Tokola ym. 2000:14–15).

3.2 GPS-tiedon kerääminen

GPS-järjestelmässä vastaanottimen sijainti määritellään pituus-, leveys- ja korkeuskoordinaatteina (X, Y, Z). GPS-laite vastaanottaa satelliittien lähettämän signaalin ja laskee signaaleiden kulkuajan perusteella sijaintinsa. Varsinaisesti paikantaminen tapahtuu signaalin kulkuajasta lasketun pseudoetäisyyden avulla. Satelliitista lähetetty signaali sisältää binäärikoodin. GPS-vastaanotin tuottaa samaisen koodin samaan aikaan oman kellonsa perusteella. Vertaamalla koodien vaihe-eroa saadaan selville aika, joka koodilta on kulunut matkaan satelliitista vastaanottimeen. Vastaanottimen pseudoetäisyys satelliittiin nähden puolestaan saadaan kertomalla kyseinen aika valon nopeudella. Todellinen etäisyys saadaan, kun pseudoetäisyyteen lisätään vastaanottimen kellovirheestä johtuva etäisyyskomponentti. (NCHRP Synthesis 301 2002:16, Hyttinen & Huhtinen 2003).

Wolf ym. (1999, NCHRP Synthesis 301 2002:19 mukaan) toteavat, että etenkin liikkuvan GPS-datan keruussa on otettava huomioon kolme seikkaa. Ensinnäkin GPS-satelliittien alueellisella kokoonpanolla ja satelliittien lukumäärällä on huomattava merkitys tiedon kattavuuteen sekä tarkkuuteen. Jos satelliittien sijainnista kertova PDOP-arvo on alle 4.0, se soveltuu liikkuvan GPS-tiedon keräämiseen.

Toiseksi, kuten edellä on todettu, jatkuva kolmiulotteinen paikannus edellyttää, että satelliitti on koko ajan yhteydessä vähintään neljään satelliittiin. Yhteyden katkeamisen jälkeen uuden yhteyden muodostamiseen kuluu 2–3 sekuntia. On mahdollista, että tänä aikana datapisteitä häviää. Signaalin ollessa poikki anturiajoneuvo saattaa olla esimerkiksi kääntymässä, vaihtamassa ajokaistaa tai pysähdyksissä liikennevaloissa. Kaikki tällaiset tilanteet saattavat vaatia tietojen täydentämistä myöhemmässä vaiheessa. (NCHRP Synthesis 301 2002:19)

Kolmas asia, johon on syytä kiinnittää huomiota, on monitieheijastuminen ja sen välttäminen (NCHRP Synthesis 301 2002:19). Monitieheijastumisella tarkoitetaan signaalin heijastumista antennin lähistöllä olevista heijastavista elementeistä, esimerkiksi vedestä tai ikkunalasista. Tällöin vastaanotin havaitsee suoraan satelliitista tulevan signaalin asemasta heijastuneen ja viivästyneen signaalin, mikä aiheuttaa luonnollisesti virhettä mittaustuloksiin (Hyttinen & Huhtinen 2003).

3.3 Tiedon tarkastelu ja tasoittaminen

Datan läpikäynti ja aineiston tasoittaminen on tärkeää laadunvalvonnan kannalta. Tässä yhteydessä tunnistetaan puutteellinen ja virheellinen data ja selvitetään, kuinka hyvin GPS-pisteet asettuvat taustakartalle paikkatietojärjestelmässä. Aineiston läpikäynnin tehtävänä on varmistaa, että aineisto on käyttökelpoista, tasoittaminen puolestaan varmistaa, että aineisto on hyödyllistä. NCHRP Synthesis 301:ssä (2002:23–25) tunnistetaan neljä erilaista tiedon tasoitusmenetelmää; (1) ylimääräisen ja tarpeetoman datan poistaminen, (2) päällekkäisen datan poistaminen, (3) epätarkan datan korvaaminen sekä (4) puuttuvan datan lisääminen. Käytettiin aineiston tasoittamisessa mitä tekniikkaa tahansa, on tärkeää, että koko aineistoon pätevät samat periaatteet.

Esimerkki automatisoidusta tasoitusmenetelmästä on ”tartuntaetäisyyden” (*snap distance*) hyödyntäminen. Tartuntaetäisyys perustuu algoritmiin, joka siirtää pisteen tai joukon pisteitä osaksi lähimpää viereistä piste- tai viivaelementtiä perustuen maksimietäisyyteen elementtien välillä (NCHRP Synthesis 301 2002:26). Esimerkki tartuntaetäisyyden käytöstä tässä työssä on kappaleessa 6.2.

3.4 Havaintojen sovittaminen kartalle

Sovitettaessa GPS-havaintoja taustakartalle paikkatietojärjestelmässä, saatetaan törmätä klassiseen ongelmaan; havaintopisteet ja taustakartta eivät olekaan yhteensopivia. Ongelmaan on olemassa neljä potentiaalista syytä:

1. Epätarkat GPS-havainnot eivät täsmää tarkan paikkatietojärjestelmän taustakartan kanssa.
2. Tarkat GPS-havainnot eivät sovi yhteen epätarkan taustakartan kanssa.
3. Paikkatietojärjestelmän taustakartta ei sisällä kaikkia ominaisuustietoja, jotka olisivat tarpeen GPS-havaintojen sovittamisessa kartalle.
4. Paikkatietojärjestelmän sisältämän taustakartan mittakaava on liian pieni, jotta GPS-havaintoja olisi mahdollista erotella toisistaan.

(NCHRP Synthesis 301 2002:26)

Havaintojen sovittamiseksi kartalle on olemassa useita menetelmiä. Keskeisin ero menetelmien välillä on, tehdäänkö muutoksia taustakarttaan vai havaintopisteisiin. Nykyisillä paikkatieto-ohjelmilla havaintojen sovittaminen kartalle on suhteellisen helppo tehdä. Digitaalisen taustakartan siirtäminen saattaa kuitenkin helposti heiken-

tää kokonaistarkkuutta, joten tietty määrä varovaisuutta on hyväksi. Tärkeintä onkin valita menetelmä, jota käyttämällä saadaan tarkimmat tulokset vähimmällä työmäärällä ja säilytetään aineiston yhtenäisyys. (NCHRP Sythesis 301 2002:26–29)

4 Liikennetieto

4.1 Matka-ajan, liikenteen sujuvuuden ja ruuhkautumisen käsitteet

Matka-ajalla (T_L) tarkoitetaan aikaa (T), joka vaaditaan siirtymiseen kahden pisteen välillä, alkupisteestä loppupisteeseen, tietyllä reitillä (L).

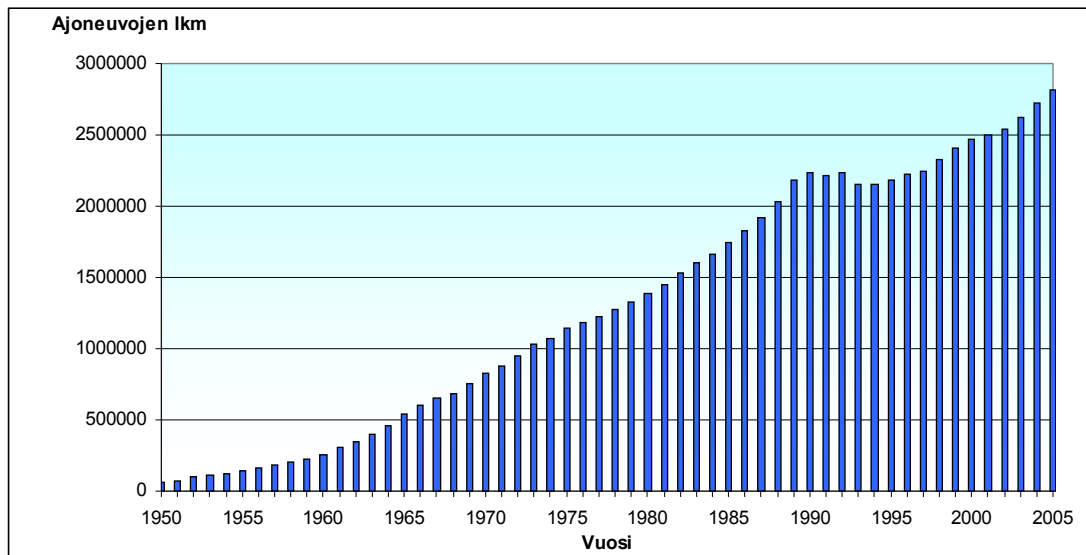
Yksinkertaisuutensa, helpon ymmärrettävyytensä ja monien potentiaalisten soveltamismahdollisuuksiensa vuoksi matka-aika on keskeinen mitattava suure liikenteessä ja laajan yleisön käytössä. Kulkureittiä suunniteltaessa matkaan kuluva aika on tärkein valintakriteeri sekä yksityisten ihmisten että kaupallisten toimijoiden osalta. (mm. Turner ym. 1998:1, Quiroga 2000, Lorkowski ym. 2005, Byon ym. 2006)

Kuljetun matkan keskinopeus ($\bar{v}$) saadaan jakamalla kuljettu etäisyys (Δx) matkaan käytetyllä ajalla (Δt).

$$(1) \quad \bar{v} = \Delta x / \Delta t$$

Liikenne on ruuhkautunut silloin, kun liikenteen määrä ylittää liikenneverkon välityskyvyn. Ruuhkautumisen taso vaihtelee ajanhetken mukaan ja on pahimmillaan päivittäisten aamun ja iltapäivän työmatkahuippujen aikaan. Teollisuusmaissa voimakkaasti kasvaneet henkilöautojen, julkisen liikenteen sekä kaupallisten ajoneuvojen volyymit ovat johtaneet siihen, että etenkin kaupunkialueilla tieverkon kapasiteetti ei riitä sujuvan liikenteen takaamiseksi. (Hoyle & Knowles 2000)

Kuvasta 9 nähdään, että ajoneuvojen määrä on kasvanut 1990-luvun alun lamavuosia lukuun ottamatta myös Suomessa tasaisesti vuosi vuodelta. Vuonna 2005 maan tieverkkoa kuormitti lähes neljäkymmentäkertainen määrä autoja verrattuna 50 vuoden takaiseen aikaan (StatFin 2007).



Kuva 9. Ajoneuvojen lukumäärän kehitys Suomessa vuosina 1951–2005 (StatFin 2007).

Laskennallisesti viive (d) määritellään minimi- (vapaan liikennevirran aikaisen, eli nopeusrajoituksia vastaavan) matka-ajan (T_0) ylittävänä, reitin kulkemiseen kuluva-
na aikana.

$$(2) \quad d = T - T_L$$

Viiveen kasvaessa keskinopeus pienenee. Viive ei ole käyttökelpoinen käsite vertail-
taessa liikenteen sujuvuutta eri tieosilla tai reiteillä, sillä viiveaika riippuu esimerkik-
si reitin pituudesta ja geometriasta.

Usein viivettä parempi käsite on ruuhkautumisindeksi (CI). Tämä dimensioton muut-
tuja voidaan määritellä jakamalla kokonaisviive ($T - T_0$) vapaan liikennevirran mat-
ka-ajalla (T_0).

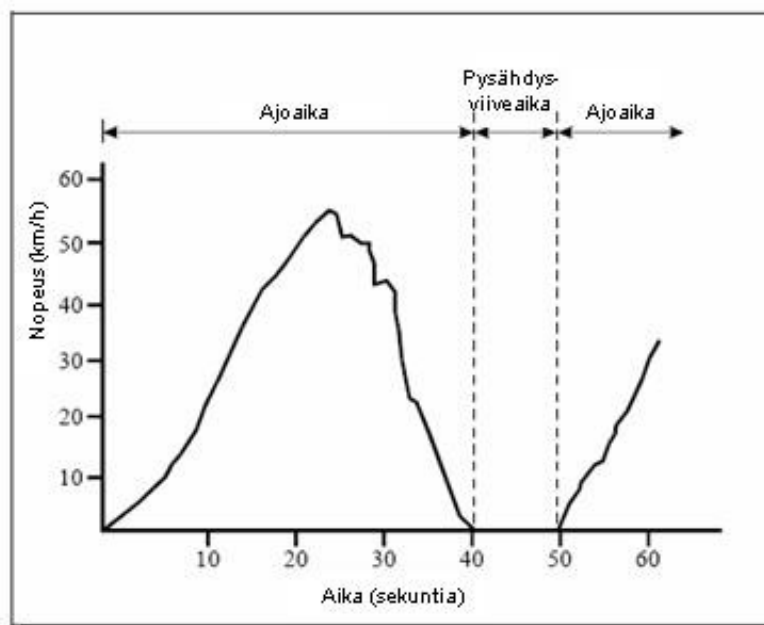
$$(3) \quad CI = (T - T_0) / T_0$$

CI :n arvon ollessa nolla, todellinen matka-aika on yhtä suuri kuin vapaan liikenne-
virran matka-aika. Jos sen sijaan arvo on yksi, todellinen matka-aika on kaksi kertaa
niin suuri kuin vapaan liikennevirran matka-aika ja järjestelmän viiveaika on 50 pro-
senttia kokonaismatka-ajasta.

Insinöörit ja suunnittelijat ovat hyödyntäneet matka-aika- ja viivetutkimuksia 1920-
luvulta lähtien liikenne- ja tieteknisissä tutkimuksissaan sekä määritellesään liiken-
neinfrastruktuurin tilaa ja suunnitellessaan siihen parannuksia. Työmatkalaiset tar-

kastelevat päivittäiseen työmatkaan kuluvaan aikaan miettiessään kodin ja työpaikan sopivaa sijaintia ja mediassa matka-ajasta raportoidaan jatkuvasti muun muassa tiedotettaessa ruuhkista ja liikennehäiriöiden aiheuttamista viivästyksistä tyypilliseen matka-aikaan (mm. Turner ym. 1998:1, Tong ym. 2006).

Matka-aika koostuu kahdesta osasta: *ajoajasta*, eli ajasta jolloin liikenne on liikkeessä ja *pysähdysviiveajasta* eli ajasta jolloin liikenne on pysähdyksissä, tai liikkuu hyvin hitaasti, yleisesti rajana pidetään alle 8 kilometrin tuntivauhtia. Kuvassa 10 on havainnollistettu ajoajan ja pysähdysviiveajan käsitteitä. (Turner ym. 1998:5)



Kuva 10. Ajoaika ja pysähdysviiveaika (muokattu Turner ym. 1998:5 perusteella).

Pysähdysajan osuutta matka-ajasta eri reiteillä ja tieosilla voidaan vertailla. Osuus (*PST*) määritellään pysähdysajan (T_s) suhteena matkaan kuluneeseen kokonaisaikaan (T).

$$(4) \quad PST = T_s / T$$

Pysähdysajan osuus on hyödyllinen indikaattori, sillä se mittaa aikaa, joka kuluu tiellä tai tieosalla jonottamiseen.

Kaksi yleisintä tapaa mitata matka-aikaa ovat: 1) mitataan aika, joka kuluu liikkumiseen kahden pisteen välillä, tai 2) arvioidaan reitin matka-aika sen yksittäisessä pisteessä mitatun nopeuden perusteella. Jälkimmäisessä tapauksessa pisteessä mitatun

nopeuden oletetaan pysyvän vakiona ja edustavan keskimääräistä ajonopeutta koko mitattavalle reitille. Menetelmä soveltuu suhteellisen lyhyiden, keskimäärin alle kilometrin pituisten, tienosien matka-ajan määrittämiseen. (Turner ym.1998:6, Thompson 2003:4–6)

Tieverkon keskimääräinen matka-aika lasketaan yksittäisten matka-aikojen perusteella. Laskemisessa hyödynnetään yleisesti tilastomatematiikkaa ja tietokoneohjelmia. Näin laskettu keskimääräinen matka-aika on parhaimmillaankin vain hyvä arvio liikenteen tilasta (Turner ym. 1998:6). Arvion tarkkuuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa valitsemalla matka-ajan mittaamisessa käytetyt menetelmät huolellisesti ja tarkoituksenmukaisesti.

Liikenneanalyysissä matka-aikatiedon lähteenä käytetään tavallisesti joko suoraan todellisissa liikenneolosuhteissa kerättyä tai mitattua dataa tai vaihtoehtoisesti erilaisten tietokonesimulointien avulla mallinnettua dataa. Myös edellä mainittujen menetelmien yhdistelmät ovat mahdollisia. Käytetty tiedonkeruu- ja datankäsittelymenetelmä riippuu viime kädessä aina kulloinkin kyseessä olevan tutkimuksen tarpeista ja rajoitteista kuten käytettävissä olevasta budjetista, henkilökunnasta ja välineistöstä. (Turner ym. 1998:9)

Sujuvuustiedolla tarkoitetaan tietoja vallitsevasta liikennetilanteesta (Mattila 2004:8). Liikennetilajaetaan usein luokkiin, esimerkiksi Tiehallinto käyttää viisiportaista liikennetilaluokitusta (taulukko 2). Liikennetilaluokka määritellään mitatun keskinopeuden ja vapaan liikennevirran keskinopeuden välisenä suhteena (Kähkönen & Innamaa 2006:24).

Taulukko 2. Liikennetilaluokitus (Kähkönen & Innamaa 2006:24).

Liikennetilanneluokitus	Mitatun keskinopeuden ja vapaan virran keskinopeuden suhde
1 – Liikenne sujuva	> 0.90
2 – Liikenne jonoutunut	0.75–0.90
3 – Liikenne hidasta	0.25–0.75
4 – Liikenne pysähtelee	0.10–0.25
5 – Liikenne seisoo	< 0.10

Matka-aikatiedon hyödyntämistä käsitellään tässä työssä tarkemmin seuraavassa luvussa 4.2. Voidaan kuitenkin todeta, että liikenteen määrän kasvun myötä myös liikenteeseen liittyvät ongelmat ovat lisääntyneet. Tieliikenteen ruuhkautuminen aiheuttaa kustannuksia sekä ympäristöongelmien ja onnettomuusriskien kasvaessa että matkustamisessa menetetyn ajan muodossa (mm. Bouchier 2004:1, Yang 2005:1, Tong ym. 2006). Ajantasainen matka-aikatieto mahdollistaa reittisuunnittelun ja matkaan lähdön ajankohdan valinnan entistä tarkemmin, mikä puolestaan lyhentää matka-aikoja, vähentää liikenteen ruuhkautumista sekä parantaa matkustusmukavuutta. Elinkeinoelämälle matka- ja kuljetusaikojen ennustettavuuden paraneminen merkitsee selkeitä kustannussäästöjä tavarankuljetusten ja -toimitusten tehostuessa (Kähkönen & Innamaa 2006).

4.2 Matka-aikatiedon hyödyntäminen

Ennen matka-aikatiedon keräämisprosessin aloittamista on syytä pysähtyä hetkiseksi miettimään kerättävän tiedon tulevaa käyttöä ja käyttäjiä. Matka-aikatiedon käyttäjät ovat tärkeä huomioon otettava tekijä, sillä he saattavat vaikuttaa sekä keräysprosessiin että etenkin tiedon esitystapaan. Taulukossa 3 on esitetty erilaisia matka-aikatiedon käyttömuotoja sekä käyttäjiä. Käyttäjät on jaoteltu kahteen ryhmään sen perusteella, käyttävätkö he matka-aikatietoa pääosin teknisiin vai ei-teknisiin tarkoituksiin (Turner ym. 1998:23–24).

Taulukko 3. Matka-aikatiedon käyttö ja käyttäjät (Turner ym. 1998:24).

Matka-aikatiedon käyttö	Pääkäyttäjät	
	Teknisiä	Ei-teknisiä
Suunnittelu		
Liikennepolitiikan ja -ohjelmien kehittäminen		✓
Tarvetutkimusten/-arviointien suorittaminen	✓	✓
Liikenteen parantamistoimenpiteiden arvottaminen ja priorisointi rahoitusta varten	✓	✓
Liikenteen kehittämisstrategioiden arviointi	✓	
Ilmanlaatumallien tarkistaminen	✓	
Liikennetarvemallien ja -ennusteiden tarkistaminen	✓	
Tienkäyttökustannusten laskeminen ja taloudellinen analysointi	✓	
Toiminnot		
Historiallisen matka-aikatietokannan kehittäminen	✓	
Liikennemallinnus (liikenne, päästöt, polttoaineen kulutus)	✓	
Reaaliaikainen tieverkon liikenteen kontrollointi	✓	
Reittiopastus ja -navigointi	✓	✓
Matkustajainformaatio		✓
Onnettomuuksien havainnointi	✓	
Arviointi		
Ruuhkanhallintajärjestelmä/toiminnan mittaus	✓	
Ruuhkautumismallien esittäminen/valvonta (esiintyminen, laajuus, kesto, luotettavuus)	✓	
Ruuhkautuneiden kohtien ja pullonkaulojen tunnistus	✓	✓
Vaikuttavuuden ja parannusten hyötyjen mittaus	✓	✓
Liikenneongelmista ja -ratkaisusta tiedottaminen		✓
Tutkimus- ja kehitystyö	✓	

Turnerin ym. (1998:23–24) mukaan matka-aikatiedon käyttö voidaan siis jakaa kolmeen pääryhmään; suunnitteluun, erilaisiin toimintoihin ja arviointiin. Suunnittelun tueksi tietoa matka-ajoista tarvitsevat esimerkiksi erilaiset viranomaiset ja konsultit. Viranomaisista ainakin liikenne- ja viestintäministeriö, Tiehallinto, poliisi ja kuntien

liikenne- ja maankäytön suunnitteluhenkilöstö hyötyvät mahdollisimman totuudenmukaisista matka-aikamittausten tuloksista (Kähkönen & Innamaa 2006:18).

Matka-aikatiedon käyttö toiminnoissa tarkoittaa yleisesti ottaen matka-aikatiedon hyödyntämistä jonkin toisen palvelun tai tuotteen osana tai matka-aikatiedon kehittämistä tuotteeksi. Esimerkkejä tuotteista, joissa muun tietoaaineiston ohessa hyödynnetään matka-aikatietoa, ovat muun muassa erilaiset liikenteen mallinnusohjelmat, ajoneuvopäätteisiin ja matkapuhelimiin liikennetietoa tuottavat palvelut sekä navigointi- ja reitinopastusjärjestelmät. Historiallinen matka-aikatietokanta taas on esimerkki matka-aikatiedon tuotteistamisesta sellaisenaan. Etenkin kaupalliset palveluntarjoajat hyödyntävät matka-aikatietoa edellä määritellyillä tavoilla.

Arviointi-otsikon alle Turner ym. (1998:23–24) sijoittavat muun muassa matka-aikatiedon käytön erilaisissa toiminnan ja menetelmien vaikuttavuuden ja onnistumisen mittauksissa, liikennetiedotuksen sekä yleisesti tutkimus- ja kehitystyön. Media, etenkin radiokanavat, on merkittävä liikennetiedon välittäjä. Liikenneturva puolestaan tarkkailee ylinopeustietoja, joita se tarvitsee muodostaessaan kuvaa liikenneturvallisuuden kehityksestä ja arvioidessaan toteutuneiden liikenneturvallisuustoimenpiteiden vaikutuksia. Toteutettujen toimenpiteiden arviointi sekä tutkimus- ja kehitystoiminta on toki tärkeää muillekin tahoille kuten viranomaisille ja suunnittelijoille (Kähkönen & Innamaa 2006:16–19).

Tyypillistä siis on, että kerran kerättyä matka-aikadataa hyödynnetään hyvin erilaisissa käyttötarkoituksissa. Mikäli matka-aikatietoa on tarkoitus käyttää useampaan kuin yhteen tarkoitukseen, tiedonkeruun pitää tapahtua sen käyttötarkoituksen mukaisesti, joka vaatii tarkinta ja yksityiskohtaisinta aineistoa. Tämän jälkeen dataa voidaan yleistää ja yhdistellä, mikäli muut tutkimustarpeet niin edellyttävät (Turner ym. 1998:23).

Innamaa ym. (2005) erottavat toisistaan ajantasaisen anturiajoneuvotiedon ja historiatiedon. Ajantasainen tieto jaotellaan edelleen neljään ryhmään; sujuvuustietoon, häiriötietoon, reittitietoon ja matka-aikaennusteisiin.

Liikennehäiriö voidaan määritellä poikkeukselliseksi tai ennalta arvaamattomaksi, liikennettä haittaavaksi liikennetilanteeksi. Esimerkiksi liikenneonnettomuudet ovat liikennehäiriöitä (Mattila 2004:8).

Reittitietoa hyödynnetään yleensä nopeimman reitin laskemiseksi lähtö- ja määräpaikan välille. Perinteisesti reittitiedon laskemisessa on käytetty staattiseen tietokantaan koottuja keskinopeuksia (Innamaa ym. 2005:38). Gühnemann ym. (2004) ovat kuitenkin osoittaneet, että keskinopeuksien ja todellisten nopeuksien välillä saattaa tietyillä tienosilla olla huomattavan suuri ero. Parempaan tarkkuuteen päästäisiin, mikäli digitaalisen kartan muuttujina käytettäisiin staattisten arvojen sijaan anturiajoneuvodatan perusteella määriteltyjä ajantasaisia arvoja tai jos arvot valittaisiin historia-tietokannasta ajankohdan perusteella.

Matka-aikaa on pyritty ennustamaan ja arvioimaan useita erilaisia tekniikoita hyödyntäen. Ennustemenetelmät voidaan jakaa neljään luokkaan; historiadataa ja tilastotietoa käyttävät menetelmät, neuroverkkoja ja/tai sumeaa logiikkaa mallinnuksessa hyödyntävät tekoälymenetelmät, simulointi- ja sijoittelumenetelmät sekä Kalman-suodattimeen perustuvat mallit. Lisäksi on olemassa malleja, joissa on yhdistetty useita eri menetelmiä (Lyhyen ajan ennusteet liikennetiedotuksen osana 2001:5, 19).

Puhtaasti historiadataan perustuvat menetelmät on helppo ottaa käyttöön ja niillä saadaan nopeasti ennustuksia. Ongelmana on, että ne eivät pysty reagoimaan liikennetilanteessa tapahtuviin yllättäviin muutoksiin. Simulointi- ja sijoittelumenetelmät soveltuvat erityisesti kaupunkialueille, joissa verkkonäkökulman ja kuljettajan reitinvalinnan huomioiminen on tärkeää, kun valittavana on useita reittivaihtoehtoja. Tekoälymenetelmät osaavat ennustaa liikennetilannetta muuttuvissakin olosuhteissa, mikäli mallin muuttujien valinnassa ja opettamisessa on onnistuttu (Lyhyen ajan ennusteet liikennetiedotuksen osana 2001).

Anturiajoneuvoilla kerätystä matka-aikatiedosta muodostettuja historiatietokantoja hyödynnetään moneen tarkoitukseen. Historiatiedosta voidaan johtaa lähtöpaikka-määräpaikka- ja reitinvalintatietoa, kerätä ajosuoritetietoa esimerkiksi tietullijärjestelmiä varten tai matka-aikatietoa hyödynnettäväksi ruuhkaisuustutkimuksissa. Anturiajoneuvoja on käytetty hyväksi myös säätietoa, liikennekäyttäytymistä sekä polttoaineen kulutusta tutkittaessa ja niiden avulla on kerätty tietoa digitaalisia karttoja varten (Innamaa ym. 2005:50–54).

4.3 Kannattaako matka-aikatietoa kerätä?

Miller & Shaw (2001:307) toteavat, että aikaisempien kokemusten perusteella kuluttajille ei ole aina osattu tuottaa sellaista liikenneinformaatiota, jota he todellisu-

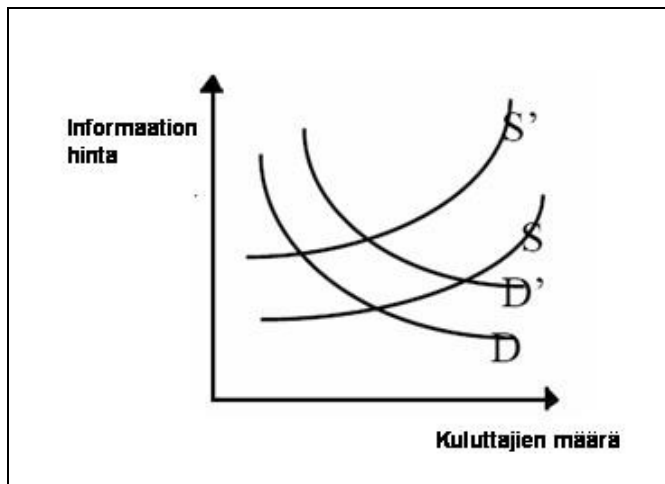
nessa tarvitsevat ja josta he ovat kiinnostuneita. Koska matka-aikatiedon keruuprosessi, toteutettiin se millä tavalla tahansa, aiheuttaa aina kustannuksia ja vaatii resursseja, on syytä miettiä myös, millaisia konkreettisia etuja matka-aikatiedon saatavuus aiheuttaa ja ovatko saavutetut edut kustannuksiin nähden merkittäviä. Lisäksi kannattaa pohtia, kokevatko ihmiset ylipäättään matka-aikatiedon niin tärkeäksi informaatiksi, että he ovat valmiita maksamaan siitä.

Jatkuvaa ruuhkautumista on pidetty yhtenä vakavimmista ongelmista liikennepolitiikassa jo useiden vuosikymmenten ajan. Ongelmaa on pyritty lieventämään muun muassa lisäämällä teiden kapasiteettia lisäkaistojen avulla, kannustamalla ihmisiä valitsemaan autoliikenteen sijaan muita liikennemuotoja sekä asettamalla erilaisia ruuhkamaksuja. Toimenpiteiden vaikutusta on yleensä arvioitu kustannus-hyötyanalyysillä, jossa liikenteen käyttäjälle koitunut hyöty on ilmaistu toimenpiteen vaikutuksesta vähentyneen matka-ajan muodossa. Tieverkon fyysinen laajentaminen on mahdollista vain tiettyyn rajaan saakka. Tästä johtuen monissa kaupungeissa ensisijaiseksi ruuhkautumisen aiheuttamien kustannusten vähentämiskeinoksi onkin valittu liikenneinformaation tarjoaminen. Tutkimusten mukaan liikenneinformaatio voi lisätä tieverkon välityskykyä keskimäärin 5–15 prosentilla (mm. Malchow ym. 1995, Khattak ym. 1996, Gühnemann ym. 2004).

Liikenneinformaatio poikkeaa useimmista muista hyödykkeistä. Ensinnäkin liikenneinformaation kuljetuskustannukset ovat olemattomat. Toisin kuin kiinteät tuotteet, informaatio ei edellytä kuljetusta ostopaikalle. Toiseksi liikenneinformaation tuottama hyöty on kääntäen verrannollinen suhteessa informaation vastaanottavien ihmisten määrään johtuen liikenteen volyymin kasvusta vaihtoehtoisella reitillä. Mitä suurempi on informaation vastaanottavien henkilöiden määrä, sitä todennäköisempää on, että liikenne toisella reitillä lisääntyy. Liikenneinformaatiolla on myös julkishyödykkeen piirteitä, sillä se voi aiheuttaa hyötyjä muillekin kuin suoraan informaatiota vastaanottaville asiakkaille. Esimerkiksi ruuhkaisilta teiltä pois kääntyvät ajoneuvot voivat vähentää huomattavasti muiden ajoneuvojen matka-aikaa (Malchow ym. 1995).

Kuvassa 11 on kuvattu liikenneinformaation kysyntää ja tarjontaa informaation tason vaihtuessa. Käyrä D kuvaa tietyntasaisen informaation kysyntää ja kuluttajien maksuhalukkuutta ja käyrä S informaation keräämisen aiheuttamia kustannuksia. Kuluttajien määrän lisääntyessä maksuhalukkuus vähenee ja toisaalta informaation hankki-

miskustannukset nousevat. Informaation optimaalinen hinta muodostuu käyrien leikkauspisteessä. Käyrät D' ja S' puolestaan kuvaavat tilannetta, jossa tarjottavan informaation laatu on korkeampi. Tällöin kuluttajat ovat valmiimpia maksamaan informaatiosta enemmän, mutta toisaalta myös sen keräämiskustannukset nousevat. Optimaalinen hinta on joka tapauksessa korkeampi kuin alempitasoisella informaatiolla (Malchow ym. 1995).



Kuva 11. Eritasoisien informaation kysyntä (D, D') ja tarjonta (S, S') (Malchow ym. 1996:5).

Ettema & Timmermans (2006) ovat tutkineet matka-aikatiedon epävarmuuden aiheuttamia kustannuksia ja matka-aikainformaatiosta saatavia hyötyjä yksittäisen matkustajan kannalta. He toteavat, että matka-ajan lyhentymisen lisäksi etuna voidaan nähdä matka-aikaan liittyvän epävarmuuden väheneminen. Toistuvat ruuhkat aiheuttavat paitsi matka-ajan pidentymistä, myös suurempaa päivittäistä vaihtelua, eli epävarmuuden kasvua, matkustusajoissa. Matka-aikaan liittyvän epävarmuuden vuoksi matkustajat joutuvat lisäämään matkustukseen käytettyyn aikaan turvamarginaalin, jotta he voivat luottaa siihen, että saapuvat tietyllä varmuudella ajoissa perille.

Epävarmuutta matka-ajassa voidaan vähentää paitsi vaikuttamalla suoraan ruuhkautumiseen ja siitä seuraavaan vaihteluun matkustusajoissa, myös tarjoamalla tienkäyttäjille yksityiskohtaista informaatiota liikenteen tilasta. Tämä mahdollistaa paremman varautumisen jo ennakolta mahdollisiin viivästyksiin, mikä puolestaan rajaa tarvittavan turvamarginaalin suuruutta (Ettema & Timmermans 2006).

Etteman & Timmermansin (2006) tutkimuksen empiirisen osion perusteella todetaan, että matka-aikaan liittyvän epävarmuuden aiheuttamat aikataulutuskustannukset

muodostavat jopa 30–40 prosenttia kaikista matkakustannuksista. Näin ollen liikenteen sujuvuuden parantumisella saavutettavia etuja mitattaessa pitäisi vähentyneen matkustukseen käytetyn ajan lisäksi huomioida pienentyneet aikataulutuskustannukset.

Myös väärä arvio matka-ajasta aiheuttaa kustannuksia. Merkittävin vaikutus on silloin, kun matka-ajan vaihtelu arvioidaan kohtalaisen paljon todellista suuremmaksi, sillä se johtaa tarpeettoman suuren turvamarginaalin ylläpitämiseen ja liian aikaisen määränpäähän saapumisen aiheuttamien kustannusten nousuun. Tutkimuksen mukaan liikenteen tilasta kertovan informaation tarjoaminen matkustajille voi vähentää epävarmuudesta aiheutuvia aikataulutuskustannuksia huomattavasti. Informaation laatu tai näkemykset laadusta vaikuttavat vain vähän saatavaan hyötyyn, kunhan tiedon paikkansapitävyudessa saavutetaan tietty minimitaso (Ettema & Timmerman 2006). Informaation laadun kasvaessa myös sen keräämisestä aiheutuneet kustannukset kasvavat, yleensä vieläpä nopeammin kuin laadun paranemisesta aiheutuvat kustannussäästöt (Malchow ym. 1995:11). Suurin tarjotun liikenneinformaation hyötyihin liittyvä epävarmuustekijä aiheutuu eroista matkustajien tietämyksessä suhteessa sellaisiin säännönmukaisesti liikenteeseen vaikuttaviin ilmiöihin kuten säätilaan tai viikonpäivän mukaan vaihtelevaan liikennemäärään. Mitä paremmin matkustajat ovat tietoisia näistä säännönmukaisuuksista, sitä vähemmän he hyötyvät tarjotusta liikenneinformaatiosta (Ettema & Timmerman 2006).

Viauroux (2007) tutki ruuhkautumisen aiheuttamia rakenteellisia kustannuksia sekä matkustajien halukkuutta maksaa matkustusajassa saavutetuista säästöistä. Tutkimuksen mukaan matkustajat ovat valmiita maksamaan keskimäärin 0,73 euroa vähentääkseen matkustusaikaa yhdellä minuutilla ruuhka-aikana. Ruuhka-ajan ulkopuolella vastaava arvo oli 0,25 euroa.

Khattak ym. (2003) ovat tutkineet matkustajien halukkuutta maksaa liikenneinformaatiosta, jonka tarkoituksena on parantaa matkan sujuvuutta. Tutkimuksensa johtopäätöksenä he toteavat, että ainakin jotkut aktiiviset tiedonhakijat ovat valmiita maksamaan matkustajille ja tielläliikkujille tarjotusta informaatiosta. Erityisesti asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöidystä informaatiosta ollaan valmiita maksamaan ja tällainen tieto myös koetaan tarpeelliseksi. Maksuhalukkuuteen vaikuttavat positiivisesti myös matkan pituus, tarjotun informaation liittyminen työmatkaan sekä yksityi-

sauton käyttö. Toistuvasti pitkiä matkoja ajavat henkilöt ovat keskimäärin halukkaampia hyödyntämään liikenneinformaatiota ja muuttamaan reittiään tai matkustusajankohtaansa (Malchow ym. 1995:13)

Killi & Samstad (2002) selvittivät tutkimuksessaan omalla autolla työmatkaa kulkevien arvostuksia liikenneinformaatiota kohtaan. He toteavat, että liikenneinformaatio ei ole kovin hyödyllistä, mikäli matkustajilla ei ole mahdollisuutta muuttaa joko käyttämäänsä liikennemuotoa, reittiä, matkaan lähdön ajankohtaa tai matkustuspäätöstä. Noin puolet tutkimukseen osallistuneista henkilöistä oli valmis maksamaan vähentyneestä matkustusajasta, vähentyneestä vaihtelusta määränpäähen saapumisen ajankohdassa tai paremmasta autoilijoille tarjotusta informaatiosta. Liikenneinformaatio koettiin tärkeäksi paitsi sen vuoksi, että se mahdollistaa muutokset liikennekäyttäytymisessä, myös siksi, että tällöin mahdollisesta myöhästymisestä voidaan ilmoittaa etukäteen muille, esimerkiksi kollegoille tai työnantajalle.

Denant-Boèmont & Petiot (2003) puolestaan ovat pyrkineet selvittämään liikenneinformaation arvoa tielläliikkuville sekä informaatiosta seuraavaa päätöksentekoprosessia kokeellisen tutkimuksen avulla. Khattakin ym. (2003) sekä Killin & Samstadin (2002) tavoin hekin toteavat tutkimuksensa johtopäätöksenä, että tielläliikkujien maksuhalukkuus lisääntyy informaation ollessa yksityiskohtaisempaa ja tarkempaa. Informaatiosta ollaan valmiita maksamaan, mikäli reitin valinnasta koituvan hyödyn vaihtelu on suhteellisen pientä. Tutkijat päätyivät samantapaisiin tuloksiin kuin Ettema & Timmerman (2006) siinä, että informaatiota tarjottaessa olisi hyvä erotella toisistaan erityyppisiä kuljettajaryhmiä. Kokemattomat kuljettajat muuttavat liikennekäyttäytymistään tarjotun informaation johdosta todennäköisemmin kuin kokeneet kuljettajat ja useimmat ihmiset ovat valmiimpia muuttamaan matkaan lähdön ajankohtaa ennemmin kuin matkustusreittiä (Malchow 1996, Denant-Boèmont & Petiot 2003).

Liikenneinformaatiosta saatavaa hyötyä rajoittava tekijä liittyy kuljettajien rajalliseen kykyyn käsitellä vastaanotettua informaatiota sekä ihmisten tietynlaiseen käsitykseen saatavilla olevista vaihtoehtoista. Usein kuljettajat esimerkiksi valitsevat pidemmän reitin, koska he käyttävät sitä useammin ja ovat tottuneet siihen (Malchow ym. 1995).

Tutkimusten perusteella näyttäisi siis siltä, että matka-aikatiedosta aiheutuu selviä, rahassa mitattavia kustannussäästöjä sekä matkustusaikaan kuluvan ajan säästymisen muodossa, että epävarmuuden ja aikataulutuskustannusten pienentyessä. Ainakin osa tielläliikkujista on myös valmis maksamaan tarjotusta liikenneinformaatiosta, ainakin mikäli maksu ei ole kovin suuri, informaatio on kohtalaisen laadukasta ja tarjottu tieto on räätälöity kuljettajan omien tarpeiden mukaiseksi.

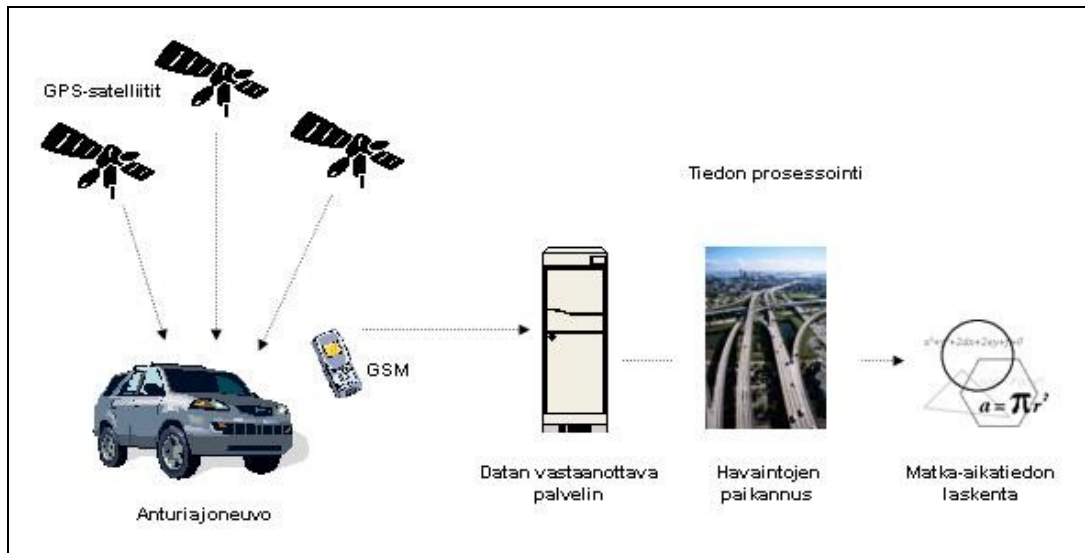
Aikaisemmin (taulukko 3, kappale 4.2) on lueteltu suuri joukko erilaisia käyttötarkoituksia matka-aikatiedolle. Tässä kappaleessa on käsitelty matka-aikatiedon aiheuttamia hyötyjä ja kustannussäästöjä sekä maksuhalukkuutta ainoastaan kuljettajien kannalta. Heidän lisäksi on kuitenkin olemassa suuri joukko muita tahoja, joille matka-aikatiedon muodossa tarjottava informaatio on hyödyllistä. Yhteiskunnallisten hyötyjen lisäksi vaikuttaa siltä, että matka-aikatiedon kerääminen voi olla myös taloudellisesti kannattavaa, eli siitä saatavat hyödyt saattavat muodostua suuremmiksi kuin tiedon keräämisen aiheuttamat kustannukset. Tähän vaikuttavat luonnollisesti valittu tiedonkeruumenetelmä sekä kohderyhmät, joille matka-aikatietoa tarjotaan.

5 Floating Car Data

Kirjainlyhenne FCD tulee englanninkielien sanoista **Floating Car Data** ja tarkoittaa siis suoraan suomennettuna tietoa, joka on kerätty kellovissa autoista. Tästä FCD:ssä onkin oikeastaan kyse, sillä menetelmässä kerätään tietoa liikenteen tilasta liikennevirrassa liikkuvien anturiajoneuvojen avulla. Anturiajoneuvojen oletetaan kulkevan liikennevirran mukana ja kuvaavan sen liikettä joessa kelluvan korkin tavoin. Muita FCD-menetelmästä käytettäviä nimityksiä ovat muun muassa anturiajoneuvomenetelmä (*probe vehicle technique*) ja FVD-menetelmä (*Floating Vehicle Data*) (mm. Turner ym. 1998, Bishop 2004, Gühnemann ym. 2004, Brakatsoulas ym. 2005, Innamaa ym. 2005, Kähkönen & Innamaa 2006).

Floating car datan tuottamista, käsittelyä ja välittämistä varten on olemassa useita erilaisia menetelmiä (mm. Kerner ym. 2005). Lähteistä riippuen floating car -menetelmällä voidaan myös tarkoittaa toimintatavaltaan hieman erilaisia tiedonhankintatapoja. Esimerkiksi Turner ym. (1998) katsovat anturiajoneuvotekniikkaan kuuluviksi tienvarren opasteisiin perustuvan automaattisen ajoneuvopaikannuksen, automaattisen ajoneuvon tunnistuksen, radionavigoinnin, matkapuhelinpaikannuksen sekä GPS:ään pohjautuvan paikannusjärjestelmän. Tässä työssä keskitytään ajoneuvojen sisäisiin GPS-vastaanottimiin perustuvaa paikannusta hyödyntäviin FCD-sovelluksiin.

Kuvassa 12 esitetään yleisellä tasolla tyypillisen GPS-paikannukseen perustuvan floating car datan hankinta- ja jalostusprosessin rakenne. Anturiajoneuvot on varustettu GPS-vastaanottimin, jotka vastaanottavat GPS-satelliittien signaaleja ja keräävät näin paikkasidonnaista tietoa ajoneuvosta. Reaaliaikainen tieto anturiajoneuvoista välitetään esimerkiksi GSM:n välityksellä tietyin väliajoin keskukseen, jossa raakadata vastaanotetaan, havainnot paikannetaan tietoverkolle ja lopulta data jalostetaan matka-aikatiedoksi (mm. Turner ym. 1998:53, Turksma 2000, Toppen & Wunderlich 2003).



Kuva 12. Floating car -tiedon hankinta- ja jalostusprosessi (muokattu Turksma 2000 perusteella).

Jalostetun matka-aikatiedon eteenpäin välittäminen on oma prosessinsa. Tietoa voidaan välittää esimerkiksi tekstiviestin tai GPRS-yhteyden avulla tai RDS-TMC- tai HTML-muodossa matkapuhelimiin, erilaisiin ajoneuvonavigointisovelluksiin ja internetiin (mm. Lorkowski ym. 2005).

GPRS (*General Packet Radio Service*) on teknologia, joka mahdollistaa nopean tiedonsiirron GSM-verkkoa käyttäen. GPRS-yhteys lähettää tiedot ”tiedostopaketteina” radioaaltoja pitkin GSM-verkossa. Pakettien vaihtamisen yhteydessä tiedot jaetaan moneen eri osaan, jotka lähetetään verkon yli ja kootaan jälleen toisessa päässä (Nokia 2006).

RDS-TMC (Radio Data System Traffic Message Channel) on liikennetiedotuspalvelu, joka välittää ajantasaista liikenneinformaatiota, kuten tietoa tietöistä, liikenneonnettomuuksista, ruuhkista ja ajokelistä kuljettajille, joilla on ajoneuvossaan TMC-ominaisuudella varustettu navigointilaite. RDS-TMC -viesti sisältää tiedon häiriönsyystä ja seurauksista, sijainnista sekä arvioidusta kestosta. Viesti lähetetään Ula-radiotaajuuksilla analogisten radiolähetysten mukana RDS-tekniikalla, jolloin se ei häiritse normaalia radion kuuntelua. Tieto välittyy muutaman sekunnin viiveellä vastaanottimiin, joissa tiedot esitetään vastaanottimen mallista riippuen joko tekstinä, puheena tai karttasymbolina (Tiehallinto 2005).

TMC-palvelu paikannetaan kartalle sijaintikohteina, jotka voivat olla muodoltaan pistemäisiä (esimerkiksi tienristeykset), viivamaisia (kokonaiset tiet tai tien osat) tai aluekohteita (kuten kuntia tai muita hallinnollisia kohteita). Suomessa TMC-verkoston paikantamiseen käytetään yleisesti pisteitä. Tyypillisiä TMC-pisteiden sijaintipaikkoja ovat teiden alku- ja päätepisteet sekä risteykset (TMC Handbook 2003).

5.1 Taksi-FCD

Jotta FCD-menetelmän avulla saataisiin tuotettua luotettavaa tietoa, täytyy havainnoitavia anturiajoneuvoja olla suhteellisen paljon. Tutkimusten perusteella riittäväksi anturiautojen määräksi on arvioitu noin 1–5 prosenttia ja ruuhka-aikaan jopa 12–13 prosenttia ajoneuvokannasta. Hidasteena FCD-menetelmän laajemmalle kaupalliselle käyttöönnotolle on pidetty myös nykyisiä korkeita tiedonsiirtokustannuksia, joita aiheutuu, kun tietoja ajoneuvon sijainnista ja nopeudesta välitetään toistuvasti keskuspalvelimelle (mm. Gühnemann ym. 2000, Innamaa ym. 2005, Lorkowski ym. 2005).

FCD-menetelmässä suositaankin usein suurehkojen ajoneuvojoukkojen varustamista anturiajoneuvoiksi. Esimerkiksi takseja, kuriiri- ja kuljetusajoneuvoja, busseja sekä poliisin ja vartiointiliikkeiden partioautoja on yksityisautojen ohella hyödynnetty floating car -tiedon keräämisessä (ks. esim. Zhang ym. 2005, Byon ym. 2006, Pfoser ym. 2006).

Taksit soveltuvat anturiajoneuvoiksi erityisen hyvin useasta syystä. Ne ovat yhteydessä taksikeskuksiin ja välittävät niihin joka tapauksessa tietoa muun muassa sijainnistaan. Myös tiedonkeruuvälineet, eli GPS-vastaanotin ja ajoneuvotietokone kuuluvat yleensä jo valmiiksi taksien varusteisiin. Näiden synergiaetujen ansiosta FCD-tiedonkeruumenetelmän perustamiskustannukset ovat alhaiset. Taksit kuvaavat hyvin yleistä liikennetilannetta. Niille kertyy ajokilometrejä noin kaksi kertaa niin paljon kuin tavallisille yksityisautoille ja niitä käytetään enimmäkseen kaupunkialueilla (lentokentät mukaan lukien), eli alueilla, joilta liikennetilatiedon kerääminen on kaikkein olennaisinta. (mm. Kühne 2003, Gühnemann ym. 2004, Civitas Trendsetter 2005, Laakso ym. 2005:9, Lorkowski ym. 2005, Quan ym. 2006).

Takseihiin liittyy myös joitakin erityispiirteitä, jotka on huomioitava käytettäessä niitä anturiajoneuvoina. Taksit voivat käyttää erityisiä taksikaistoja, mikä etenkin ruuhka-aikoina vääristää liikenteen tilasta syntyvää kuvaa. Toiseksi taksin paikallaan olo ei välttämättä merkitse, että liikenne kyseisessä kohdassa olisi pysähdyksissä, vaan

taksi saattaa esimerkiksi odottaa asiakasta (mm. Kühne 2003, Innamaa ym. 2005, Laakso ym. 2005, Lorkowski ym. 2005).

5.2 Kansainvälisiä esimerkkejä FCD-menetelmän käytöstä matka-aikatiedon hankinnassa

Tässä kappaleessa kerrotaan lyhyesti, millaisia esimerkkejä anturiajoneuvojärjestelmien tuottaman tiedon kaupallisesta käytöstä maailmalta löytyy.

5.2.1 Iso-Britannia

Isossa-Britanniassa ITIS Holdings on kerännyt kaupalliseen tarkoitukseen kehitetyn FVD-järjestelmän avulla tietoa liikenteestä vuodesta 2000 lähtien. FVD on ITIS Holdingsin rekisteröimä tavaramerkki. FVD-järjestelmässä on mukana noin 50 000 ajoneuvoa, joista saadun nopeus- ja paikkatiedon avulla tuotetaan tietoa liikenteen sujuvuudesta. Järjestelmään kuuluu ITIS Holdingsin kuluttajille suunnatun varastettujen autojen seurantapalvelun, NavTrak:n, käyttäjien lisäksi muun muassa tiepalveluajoneuvoja, takseja, kaukoliikenteen linja-autoja sekä sellaisia kuljetusyritysten ajoneuvoja, joilla on suuri vuotuinen ajosuorite. ITIS Holdings ei tuota itse palveluita lopputäyttäjille, vaan tarjoaa tietoa kumppaneidensa käyttöön ja edelleen jalostettavaksi (Cowan & Gates 2003, Laakso ym. 2005, ITIS Holdings 2007).

Ajoneuvot on varustettu tiedonkeruuyksiköillä, joiden avulla kerätään tietoja ajoneuvon sijainnista (pituus- ja leveysaste koordinaateissa), nopeudesta ja suunnasta sekä päivämäärä-, kellonaika-, ajoneuvon tunniste- ja tyyppitietoja vähintään 60 sekunnin välein. Tiedonsiirtokustannusten minimoimiseksi ajoneuvot lähettävät tietoja FVD-keskusjärjestelmään vain järjestelmän pyynnöstä. FVD-järjestelmä pyrkii tuottamaan voittoa ja niinpä tietoa kerätään ainoastaan niiltä teiltä ja tienosilta, joiden tilasta asiakkaat ovat kiinnostuneita. Vuonna 2003 FVD-järjestelmän piirissä oli jo lähes 50 000 tiekilometriä Britanniassa ja määrä lienee noussut viime vuosien aikana (Cowan & Gates 2003).

5.2.2 Saksa

Saksalainen DDG (Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH) on vuonna 1997 perustettu yksityinen yritys, joka tuottaa liikennetilatietoa Saksan moottoriteiltä yhdistämällä anturiajoneuvodataa sekä tienvarsimittausten tuloksia. Vuodesta 2005 lähtien DDG on ollut T-Mobilen tytäryhtiö. Anturiajoneuvoaineistoa vastaanotetaan noin 40 000 ajoneuvolta Saksan tieverkolla. Ajantasaista liikennetilainformaatiota hyödyntävät

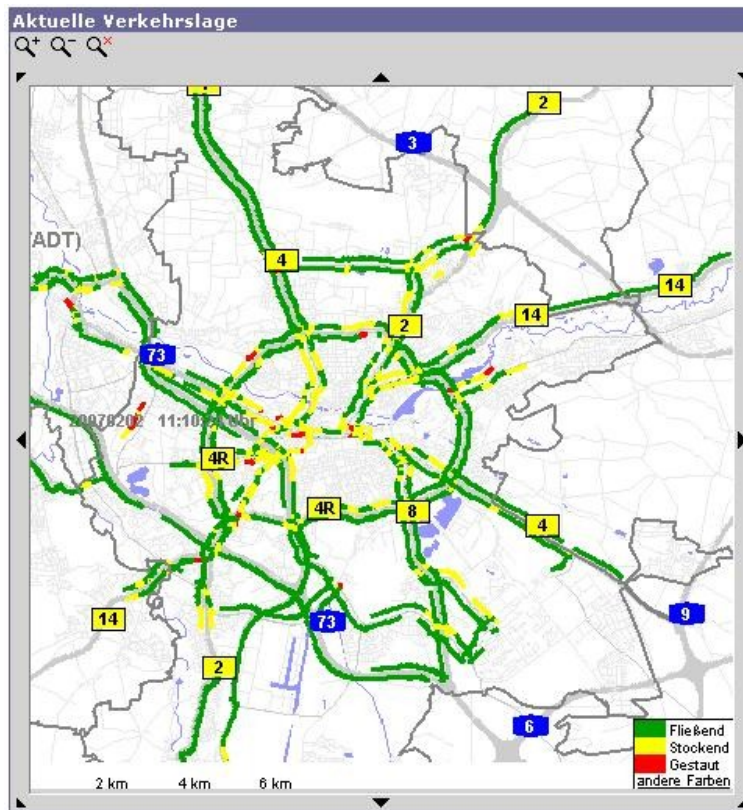
muun muassa autovalmistaja BMW, telematiikkapalvelujen tuottaja ATX sekä T-Mobile omista mobiilipalveluistaan (Fastenrath 1997, Innamaa ym. 2005, DDG 2007).

Saksassa FCD-menetelmää on kehittänyt vuodesta 2001 lähtien myös DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, German Aerospace Center*). DLR:n anturitakseihin perustuva järjestelmä tuottaa ajantasaista liikennetietoa kaupunkiseuduilla. Järjestelmä on käytössä kuudessa Saksan kaupungissa; Hampurissa, Berliinissä, Nürnbergissä, Münchenissä, Stuttgartissa ja Frankfurtissa sekä lisäksi Itävallan pääkaupungissa Wienissä, Alankomaiden pääkaupungissa Amsterdamissa ja kiinalaisessa Ningbon kaupungissa. Tietoa tuottavia anturitakseja on yhteensä noin 8 500. Näistä noin 1 500 on Hampurissa ja noin 2 000 Ningbossa (Innamaa ym. 2005:17, Lorkowski ym. 2005, Schäfer 2005, Cityrouter 2007).

DLR:n järjestelmä hyödyntää useimmissa takseissa jo valmiina olevia paikannus- ja tiedonsiirtojärjestelmiä. Taksit välittävät 10–100 sekunnin välein järjestelmään tietoa, joka sisältää ajoneuvon tunnisteen, ajan, sijaintitiedon sekä tilatiedon, eli tiedon siitä, onko taksi varattu, vapaa vai odottaako se asiakasta (Innamaa ym. 2005:18, Lorkowski ym. 2005, Schäfer 2005).

Anturiajoneuvojärjestelmän tuottamat tiedot analysoidaan keskitetysti DLR:n toimesta. Datan prosessointi aloitetaan suodattamalla pois GPS-paikannuksen epätarkkuudesta aiheutuneet virheelliset mittaukset sekä sellaiset tuloksiin harhaa aiheuttavat tapahtumat kuten taksin asiakkaan odottaminen tai taksikaistalla ajaminen. Tämän jälkeen voidaan selvittää liikennetilanne ja laskea ajoajat tiejaksokohtaisesti (Innamaa ym. 2005:18, Lorkowski ym. 2005).

Ajantasaista liikennetietoa jaetaan käyttäjille internetin välityksellä (kuva 13) sekä mobiililaitteisiin tekstiviestien ja WAP:n kautta. Internetsivujen kautta on lisäksi mahdollista käyttää dynaamista reitinlaskentaa ja ajantasaista liikennetietoa hyödyntävä reitinopastussovellus on saatavana myös kämmentietokoneisiin (Innamaa ym. 2005:18, Lorkowski ym. 2005, Schäfer 2005).



Kuva 13. Liikennetilanne Nürnbergin kaupungissa 2.2.2007 klo 11:10 (Nuernbergverkehr 2007).

5.2.3 Ranska

Mediamobile on vuonna 1996 perustettu France Telecomin ja TDF:n (TéléDiffusion de France) tytäryhtiö, joka kerää, jalostaa ja myy liikenneinformaatiota Ranskassa ja tarkemmin Pariisin alueella (Barbier 2005, Innamaa ym. 2005). Liikennetiedon keräämisessä hyödynnetään ilmaisinsilmukka- ja kameratekniikan lisäksi anturiajoneuvotietoa, jota Pariisin alueella on kerätty vuodesta 1998 lähtien noin 4 000 taksin avulla. Palvelua tarjotaan V-Trafic -nimellä internetissä, kämmentietokoneisiin GPRS-yhteyden kautta ja TMC-palvelua käyttäville autonavigaattorin välityksellä (Barbier 2005, Innamaa ym. 2005:18, Laakso ym. 2005:11).

5.2.4 Japani

Japanilainen Honda lanseerasi syksyllä 2003 ensimmäisenä autonvalmistajana maailmassa oman anturiajoneuvomittauksiin perustuvan liikennetietopalvelun osana autoihin asennettua ajoneuvonavigaattoria. Palvelua tarjotaan Premium members' VICS (*Vehicle Information and Communication System Center*) -nimellä. Vuonna 2005 Honda ilmoitti, että järjestelmään oli ilmoittautunut jo 300 000 Hondan omistajaa ja

uusia jäseniä liittyi mukaan 10 000 henkilön kuukausivauhdilla (Innamaa ym. 2005, Holstrøm 2006).

Palvelun käyttäjä voi itse valita, haluaako lähettää anturiajoneuvotietoa. Mikäli tiedon lähetys on kytketty pois päältä, autoilija ei voi myöskään vastaanottaa anturiajoneuvodatan pohjalta jalostettua liikenneinformaatiota. Tsuge & Arai (2004, Innamaan ym. 2005:19 mukaan) toteavat, että useimmat VICS-palveluun rekisteröityneet käyttäjät sekä lähettävät, että käyttävät anturiajoneuvomittauksia. FCD:aan perustuva liikennetieto näkyy navigaattorin näytöllä eri tavalla kuin puhtaasti kiinteisiin mittauspisteisiin perustuva tieto, joten käyttäjien on helppo erottaa, miten heidän vastaanottamansa laajempi liikennetieto poikkeaa tavanomaisesta informaatiosta (Innamaa ym. 2005:19)

5.2.5 Singapore

Singaporessa matka-aikatiedon tuottamiseen käytetään GPS-vastaanottimilla varustettuja takseja, joita on yli 10 000. Tietoa pääsee käyttämään muun muassa vuonna 2000 lanseeratun One.Motoring -internetportaalin kautta. Sivuilta löytyy esimerkiksi matka-aikalaskuri ja kartta ajantasaisesta liikennetilanteesta (Innamaa ym. 2005:19, NCS 2006, One.Motoring 2007).

5.3 FCD-menetelmän edut ja haitat

Perinteisesti tietoa liikennevirtojen nopeuksista on kerätty tienvarteen pystytettyjen tunnistimien avulla. Ajoneuvo on tunnistettu esimerkiksi rekisterikilven perusteella kahdessa eri pisteessä ja näiden tietojen avulla on laskettu ajoneuvon matkaan käyttämä aika. GPS:ään perustuvassa anturiajoneuvomenetelmässä ajoneuvon sijainnista saatava tieto sitä vastoin ei ole sidottu kiinteisiin mittauspisteisiin, vaan tarkka sijaintitieto on mahdollista saada periaatteessa mistä tahansa pisteestä (Toppen & Wunderlich 2003, Lorkowski ym. 2005, Kähkönen & Innamaa 2006).

Kuten kaikkiin matka-aikadatan keruumenetelmiin, myös anturiajoneuvotekniikkaan liittyy joitakin yleisesti tunnustettuja etuja ja haittoja. Seuraavassa on listattu luettelomaisesti merkittävimpiä erityisesti GPS:ään perustuvaan FCD-menetelmään liittyviä positiivisia ja negatiivisia ominaisuuksia.

Menetelmän etuja:

- ☐ Matka-aikatietoa voidaan kerätä laajalta alueelta.
- ☐ Anturiajoneuvoihin perustuvan matka-ajan keruujärjestelmän perustamis- ja operointikustannukset ovat suhteellisen alhaiset.
- ☐ Tietoa voidaan kerätä molempiin matkustussuuntiin.
- ☐ Tarvitaan suhteellisen vähän datankäsittelytyötä muutettaessa GPS-havaintoja matka-aikatiedoksi.
- ☐ Tietoa voidaan kerätä helposti myös lyhyemmiltä tieosilta.
- ☐ Yksityiskohtaista tietoa saadaan kerättyä jatkuvasti koko tutkittavalta reitiltä.
- ☐ GPS:n käyttö kuluttajasovelluksissa on lisääntynyt ja kasvua on odotettavissa myös tulevaisuudessa.
- ☐ Automatisoitu tiedonkeruuprosessi.
- ☐ Järjestelmä ei ole riippuvainen kiinteästä mittausinfrastruktuurista.

Menetelmän haittoja:

- ☐ Yksittäinen ajoneuvo edustaa koko liikennevirtaa.
- ☐ Päivittäisen vaihtelun mittaaminen on vaikeaa.
- ☐ Jatkuva tiedonkeruu saattaa vaatia huomattavia resursseja.
- ☐ Toimiva järjestelmä edellyttää korkeatasoista tietoteknistä ohjelmointiosaamista.
- ☐ Yksityisyydensuojaan liittyvät kysymykset.
- ☐ GPS-signaalin mahdollinen häviäminen kaupunkialueilla (rakennukset, puut, tunnelit, parkkihallit).
- ☐ Mikäli laitteisto on asennettu jotakin muuta tarkoitusta kuin matka-aikatiedon keräämistä varten, koordinointi järjestelmän asentaneen tahon kanssa on välttämätöntä.

(mm.Turner ym. 1998:54, Toppen & Wunderlich 2003, Lorkowski ym. 2005).

Anturiajoneuvomenetelmä soveltuu parhaiten matka-aikatiedon keräämiseen laajoilta alueilta. Tällöin sen kustannustehokkuusedut perinteisiin tienvarsi-infrastruktuuriin perustuviin mittausmenetelmiin verrattuna tulevat esille kaikkein selvimmin. FCD-menetelmän haittana pidetään sitä, että se yleistää yhden ajoneuvon liikkeen koko liikennevirtaa koskevaksi tiedoksi. Yleistyksestä seuraavia ongelmia voidaan pyrkiä minimoimaan erilaisilla tiedonkäsittelytekniikoilla. Toisaalta sellaista menetelmää, joka pystyisi keräämään tietoa joka ikisestä liikennevirrassa liikkuvasta ajoneuvosta, ei ole onnistuttu kehittämään. Kaikki tällä hetkellä olemassa olevat matka-aikatietoa keräävät tekniikat tallettavat liikennevirran tilatiedot vain osittain (Turner ym. 1998:52, Toppen & Wunderlich 2003).

5.3.1 Paikannukseen liittyvät oikeudelliset kysymykset

Henkilöön liittyvää sijaintitietoa voidaan yleisesti ottaen kerätä kahdella tavalla: joko i) verkkopaikannuksen tai ii) laitepaikannuksen avulla. GPS:ään perustuvassa FCD-menetelmässä on kyse laitepaikannuksen avulla tapahtuvasta sijaintitiedon keräämisestä. Sijaintitieto syntyy käyttäjän päätelaitteelle ja käyttäjä voi periaatteessa itse kontrolloida tiedon jakamista (Simojoki 2002:1–2).

GPS-paikannukseen perustuvassa matka-aikatiedonkeruujärjestelmässä kerätty tieto voidaan yhdistää ajoneuvoon ja sen kuljettajaan. Näin ollen sijaintitieto on liitettävissä tunnistettavissa olevaan henkilöön, jolloin kyseessä on henkilötieto. Henkilötietojen käsittelyssä on noudatettava Henkilötietolakia, joka on yleinen henkilötietojen käsittelyä koskeva laki Suomessa. Sitä sovelletaan silloin, kun ei ole olemassa muuta aihetta koskevaa lainsäädäntöä. (Simojoki 2002:1, Tervo-Pellikka 2002:3, Markkula 2003:16).

Matka-aikatietoa kerätessä ja prosessoitaessa joudutaan siis miettimään erilaisia oikeudellisia näkökohtia. Ensinnäkin ajoneuvon (ja sen sisällä olevien henkilöiden) sijainti on aina arkaluonteista informaatiota, jonka suojaamiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota paikannusmenetelmiä sovellettaessa. Digitaalisessa ympäristössä immateriaalioikeudet monimutkaistuvat. Muun muassa paikkatiedon immateriaalioikeudet sekä lisensseihin ja tiedonkäyttöön liittyvät kysymykset on huomioitava. Lisäksi on varmistettava sopimusoikeudelliset ja vastuukysymykset ennen kuin paikannukseen perustuvaa matka-aikatietoa voidaan kerätä, jatkojalostaa ja hyödyntää muissa palveluissa (Junnilainen 2001:17, Simojoki 2002:14).

Erityisen paljon keskustelua ovat herättäneet paikannuksen avulla kerätyn matka-aikatiedon yksityisyydensuojaan liittyvät kysymykset. Ajoneuvojen kuljettajat ovat olleet huolissaan muun muassa siitä, voidaanko heidän liikennekäyttäytymistään tarkkailla entistä tarkemmin ja yleistyykö liikenneerikkomuksista rankaiseminen jatkuvan valvonnan mahdollisuuden myötä (Turner ym. 1998, Sovocool 2000, Simojoki 2002, Markkula 2003, Schwartz 2003).

Henkilötietojen käsittelyä koskevat yleiset periaatteet on määritelty Henkilötietolain (22.4.21999/523) 2. luvussa. Huolellisuusvelvoitteen mukaan rekisterinpitäjän⁵ tulee käsitellä henkilötietoja laillisesti, noudattaa huolellisuutta ja hyvää tietojenkäsittelytapaa sekä toimia niin, ettei rekisteröidyn yksityisyyden suoja turvaavia perusoikeuksia rajoiteta. Henkilötietojen käsittelyn pitää olla asiallisesti perusteltua rekisterinpitäjän toiminnan kannalta, henkilötietojen käsittelyn tarkoitukset sekä hankinta- ja luovutuskohde tulee määrittää ennakolta, eikä henkilötietoja saa käyttää alkupe- räisten tarkoitusten kanssa yhteensopimattomissa yhteyksissä.

Matka-aikatietoa kerätessä on kyse paikannukseen liittyvästä palvelusta, jossa sijaintitiedon liittäminen henkilöön siten, että henkilö tunnistetaan, ei ole tarpeellista. Henkilöön liitettäviä tietoja käsitellään anonymisti, lähinnä tilastollisena datana. Tehtävän hoitamisen kannalta ei ole tarpeen tietää, kuka paikannettu henkilö on. Henkilötiedon keräämisen yleisten edellytysten (suunnitteluveto, huolellisuusvelvoite, tarpeellisuusvaatimus ja suojaamisvaatimus) on tässäkin tapauksessa täyttyvä, mutta anonymia tietoa on oikeus käyttää ilman paikannettavan henkilön suostumusta. Tietoa voidaan lain mukaan kerätä ja tallettaa sekä käsitellä tilastollisesti ja luovuttaa eteenpäin, kunhan se on tehty anonymiksi, eikä henkilöitä voi tunnistaa datan perusteella (Tervo-Pellikka 2002:7).

Nykyisen lainsäädännön perusteella matka-aikatiedon kerääminen FCD-menetelmän avulla ei näin ollen anna tiedon kerääjälle mahdollisuutta toimittaa eteenpäin sellaista tietoa, jonka perusteella voitaisiin seurata kuljettajien liikennekäyttäytymistä ja esimerkiksi rankaista heitä jälkikäteen liikenneerikkomuksista.

⁵ Rekisterinpitäjällä tarkoitetaan yhtä tai useampaa henkilöä, yhteisöä, laitosta tai säätiötä, jonka käyttöä varten henkilörekisteri perustetaan ja jolla on oikeus määrätä henkilörekisterin käytöstä tai jonka tehtäväksi rekisterinpito on lailla säädetty (Tervo-Pellikka 2002:3).

6 Matka-aikatiedon laskenta

6.1 Matka-aikatiedon laskentatapa

Kappaleessa käsitellään aluksi Suomen liikenteellisiä erityispiirteitä. Vertailukohtana käytetään lähinnä muita Euroopan valtioita. Seuraavaksi kuvataan perinteinen matka-aikatiedon laskentamalli, jossa havaintopisteet ensin liitetään tieverkkoon, minkä jälkeen lasketaan havaintojen aikaleimojen perusteella matka-aika pisteiden välillä. Alaluvussa 6.3 esitellään Oulussa käytettävä matka-ajan laskentamalli. Koko kappaleen 6 lopuksi vertaillaan Oulun mallia ja sen kautta saatuja tuloksia muihin malleihin.

6.1.1 Suomen liikenteellisiä erityispiirteitä

Suomi on eurooppalaisittain tarkasteltuna varsin harvaan asuttu, mutta pinta-alaltaan kuitenkin suhteellisen suuri maa. Teollisuus ja asutus ovat jakautuneet maan kaikkiin osiin ja paljon raskasta tavaraa kuljettavien, esimerkiksi metsä- ja metalliteollisuuden alan, yritysten osuus tuotannon kokonaismäärästä on suuri. Kaupunkikeskukset ja asutus ovat levittäytyneet suhteellisen tasaisesti maan eri osiin. Nämä maantieteelliset, taloudelliset ja demografiset piirteet yhdessä vaikuttavat myös Suomen liikenteellisiin erityisominaisuuksiin. Muihin Euroopan maihin verrattuna liikennemäärät Suomessa ovat suhteellisen pieniä, mutta pitkien välimatkojen vuoksi liikennesuoritetta kertyy kohtalaisen paljon (*Liikenne ja väylät I* 2005:121–122).

Vähäliikenteisen ja laaja-alaisen tieverkon kunnossapitäminen on väylienpitäjille suuri haaste ja edellyttää muun muassa jatkuvaa toiminnan tehostamista (*Liikenne ja väylät I* 2005:122). Vaikka liikenteeseen liittyvät ruuhkaongelmat eivät Suomessa olekaan yhtä vakavia kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa, etenkin pääkaupunkiseudun ja muiden suurimpien kaupunkiseutujen työmatkalaisille liikenteen ruuhkautuminen on valitettavan tuttu ilmiö (Kalliokoski 2003:9).

6.1.2 Suomalaiset liikenneruuhkat

Kalliokoski (2003:24) luokittelee suomalaiset liikenneruuhkat neljään tyyppiin. *Ylikysyntäruuhkiksi* nimitetään pääasiassa kaupunkiseuduilla säännöllisinä arkipäivän aamu- ja iltaruuhkina sekä yhteysväleillä lähinnä kesäviikonloppujen meno- ja paluuliikenteen aikoihin ilmeneviä ruuhkia. Arkipäivän ruuhkien pääasiallinen aiheuttaja on työmatkaliikenne.

Viikonloppuruuhkia esiintyy erityisesti kesäviikonloppuisin meno- ja paluuliikenteen aikoihin. Viikonloppuruuhkat sijaitsevat usein yhteysväleillä eli niin sanotuilla linkeillä (Kalliokoski 2003:24).

Häiriöiden aiheuttamat ruuhkat ovat pääasiallinen sujuvuusongelmien syy suurimmalla osalla Suomen tieverkkoa. Yllättäviin paikallisiin liikenneruuhkiin ovat usein syynä ennalta arvaamattomat häiriöt, esimerkiksi liikenneonnettomuudet, rikkoutuneet liikennevalot, nopeasti huonoksi muuttuneet sääolosuhteet tai esteet ajoradalla. Mikäli tällainen häiriö tapahtuu varsinaiseen ruuhka-aikaan tai juuri sitä ennen, seurauksena saattaa olla täydellinen liikenteen tukkeutuminen (Kalliokoski 2003:25).

Lisäksi *muita, yksittäisiä ruuhkia* voivat aiheuttaa esimerkiksi yleisötapahtumat ja ostoskeskukset, joissa pysäköintipaikkoja etsivät autoilijat ajavat hitaasti ja muuta liikennettä häiritsevästi. Tämä aiheuttaa ruuhkautumista lähiympäristössä (Kalliokoski 2003:25).

6.2 Perinteinen matka-ajan laskentamalli

Työssä käytettiin matka-aikatiedon laskentamenetelmän kehittämiseksi hyväksi pääosin vuonna 2005 matkapuhelinsovelluksella Bluetooth-yhteyden välityksellä kerättyä GPS-dataa. Tieto siirrettiin web-palvelimelle GPRS-yhteyden kautta. Dataa kerättiin yhteensä 1 163 havaintopisteestä lähinnä Oulun eteläpuolisilta tieosuuksilta väleiltä Haapajärvi–Ylivieska–Oulu (tiet 27 ja 86) ja Haapajärvi–Kärsämäki–Oulu (tie 4).

Pisteet liitettiin tieverkkodataan ArcGIS-ohjelmassa. Tartuntaetäisyytenä (*snap distance*) käytettiin 50 metriä. Toisin sanoen tieverkon keskilinjasta yli 50 metrin etäisyydellä olevia pisteitä ei huomioitu. Datassa ei alun perinkään esiintynyt kovin suuria paikannusepätarkkuuksia, mutta tartuntatoiminnon avulla saatiin karsittua paikannustarkkuudeltaan kaikkein heikoimmat pisteet pois. Kuvassa 14–15 nähdään esimerkki siitä, miten alkuperäisten, koordinaattien perusteella paikannettujen GPS-pisteiden sijainti poikkeaa tieverkon keskilinjaan liitetyistä pisteistä.

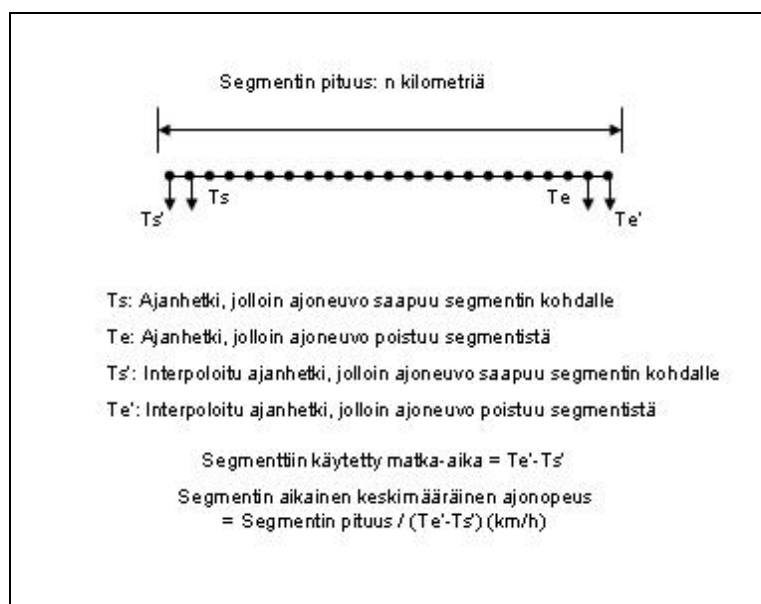


Kuva 14. Esimerkki pistedatasta ennen ja jälkeen tartuntatoiminnon (*snap*)suorittamista.

Tieverkkoaineistona käytettiin Digiroadia. Tiehallinnon kehittämä ja ylläpitämä Digiroad on kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä, joka sisältää teiden ja katujen keskilinjän geometriatiedot sekä olennaisimmat liikkumisen suunnittelua palvelevat ominaisuustiedot (Digiroad 2007). Digiroadin laadunkuvauksessa (2006) todetaan keskilinjageometrian sijainnin keskivirheen olevan 1–3 metriä suurimmassa osassa Suomea. Muutamilla alueilla (Suomenselällä, Kainuussa, Koillismaalla ja Lapissa) sijainnin keskivirhe on alle 12,5 metriä 95 prosentille tiedoista, tarkkuuden odotetaan kuitenkin parantuvan lähivuosina samalle tasolle muun maan kanssa. Korkeussijainti ei usein ole yhtä tarkka ja luotettava kuin tasosijaintitarkkuus, sillä jossakin vaiheessa keskilinjageometrioita on käsitelty kaksikulotteisesti ja tällaisille tieviivoille korkeuskoordinaatit on jälkikäteen interpoloitu korkeusmallista. Korkeusmallin laskennassa ei ole pystytty huomioimaan täydellisesti erilaisia pengerryksiä, leikkauksia ja luiskia, mikä johtaa siihen, että tällaisten kohteiden läheisyydessä sijaitsevien tieviivojen korkeuskoordinaateissa saattaa olla huomattavia virheitä. Yleisesti ottaen Digiroadin sijaintitarkkuutta voidaan kuitenkin pitää varsin tyydyttävänä.

Matka-aikatieto halutaan usein liittää tiettyyn tiesegmenttiin. Tässä työssä tarkasteltavana segmenttinä käytettiin TMC-pisteväliä. Tieverkolle paikannettuja TMC-pisteitä on Suomessa hieman alle 30 000. Pisteiden väliset etäisyydet vaihtelevat muutamasta kymmenestä metristä yli 10 kilometriin. Toisin paikoin pisteitä on siis hyvin tiheässä ja toisaalla taas harvakseltaan. TMC-pisteitä on pyritty asettamaan runsaasti etenkin tiheään asutuille ja vilkasliikenteisille alueille kuten suurten kaupunkien tie- ja katuverkolle.

Kuvassa 15 on havainnollistettu tiesegmenttikohtaisen matka-ajan laskemisessa käytettyä menetelmää. Tarvittavia tietoja ovat kahden peräkkäisen TMC-pisteen välisen tiesegmentin tietä pitkin mitattu pituus sekä ajanhetket, jolloin ajoneuvo on saapunut kyseessä olevan segmentin alueelle ja poistunut sieltä. Koska ensimmäinen ja viimeinen GPS-mittauspiste ei välttämättä osu juuri segmentin alku- ja päätepisteet muodostavien TMC-pisteiden kohdalle, tarkat saapumis- ja poistumisajanhetket interpoloidaan käyttäen hyväksi lähimpien GPS-mittauspisteiden tietoja. Varsinaisen matka-ajan laskemisessa käytetään siis nimenomaan interpoloituja arvoja.



Kuva 15. Tiesegmenttikohtaisen matka-ajan laskentamenetelmä (muokattu Tong 2004: 68 pohjalta).

Edellä mainitulla menetelmällä saatua keskimääräistä ajonopeutta tiesegmentillä voidaan käyttää kyseisen segmentin liikennetilän määrittämiseen. Aiemmin mainitussa (taulukko 2, s.32) Tiehallinnon käyttämässä viisiportaisessa luokituksessa liikenteen tila määritellään sujuvaksi, mikäli mitatun keskinopeuden ja vapaan virran keskinopeuden

peuden välinen suhde on suurempi kuin 0,90 eli mikäli mitattu keskinopeus on yli 90 prosenttia vapaan virran keskinopeudesta. Liikenne katsotaan pysähtyneeksi silloin, kun mitattu keskinopeus on alle 10 prosenttia vapaan virran keskinopeudesta. Liikennevirta luokitellaan vapaaksi silloin, kun siihen kuuluvat ajoneuvot voivat edetä nopeudella, johon muu liikenne ei vaikuta (Kalliokoski 2003). Käytännössä vapaan liikennevirta voi edetä nopeusrajoituksen sallimalla nopeudella.

6.3 Oulussa käytössä oleva liikenteen sujuvuustiedon laskentamalli

Oulun alueella tietoa liikenteen tilasta kerätään FCD-menetelmää hyödyntäen noin kahdensadan Oulun Aluetaksin ajoneuvon avulla. Laskentamenetelmän keventämiseksi ja paikannukseen liittyvien yksityisyydensuojaongelmien välttämiseksi liikennetilanteen mallintamisessa käytetään yksittäisten pisteiden sijaan alueellisia keskinopeuksia. 180 liikenteellisesti kiinnostavan tieosan ympärille on ohjelmoitu 100 m x 250 m -suuruinen virtuaalinen laatikko. Aina siirtyessään tämän laatikon sisäpuolelle ja poistuessaan siitä, taksi lähettää Oulun Aluetaksin taksikeskukseen viestin, joka sisältää tiedon ajoneuvon nopeudesta, suunnasta, kellonajasta, sijaintitiedon koordinaatteina sekä laatikon tunnusteen. Taksikeskus puolestaan lähettää minuutin välein koosteen kaikkien taksien välittämistä tiedoista palvelimelle. Yhden minuutin aikana havainnot kertyy keskimäärin 1–50. Kaikista viiden minuutin aikana saaduista havainnoista lasketaan kullekin laatikolle keskinopeus, joka ilmoitetaan kilometreinä tunnissa. Laatikoiden keskinopeuden oletetaan edustavan puolesta kilometristä muutamahan kilometriin pituisen tieosuuden keskimääräistä nopeutta.

Jotta nopeushavainnoista ei saataisi irrotettua yksityisyydensuojan kannalta arkaluontoista tietoa, esimerkiksi tietoa ylinopeuksista, havainnoille on asetettu maksiminopeus. Suurin mahdollinen nopeustieto, joka tietokantaan tallennetaan, on korkeintaan 10 km/h suurempi kuin tieosalla voimassa oleva nopeusrajoitus.

$$(5) \quad V_{\max} = V_{nr} + 10$$

Näin ollen vaikka kuljettaja ajaisi esimerkiksi 110 kilometrin tuntinopeudella tiellä, jolla on voimassa nopeusrajoitus 80 km/h, tietokantaan nopeudeksi tallentuu 90 kilometriä tunnissa. Tietokannasta ei siis ole mahdollista hakea ja erottaa yli 10 km/h suurempia nopeusrajoituksen ylityksiä.

Liikenteen sujuvuus tieosuuksilla lasketaan keskimääräisen ajonopeuden perusteella. Sujuvuusluokituksessa käytetään Tiehallinnon viisiportaista sujuvuusluokitusta (taulukko 2, s. 32).

6.4 Erilaisten matka-ajan laskentamallien tulosten vertailua

Oulun seudulla liikenteen matka-ajan laskemisessa voidaan FCD-menetelmän lisäksi hyödyntää liikenteen automaattisia mittapisteitä eli LAM-pisteitä. LAM-pisteitä on Suomessa yhteensä noin 350 ja Oulun seudulla kymmenkunta. Liikenteen automaattiset mittapisteet tallentavat induktiivisen silmukan avulla tietoja ohiajavista ajoneuvoista. Kustakin ajoneuvosta saadaan suunta- ja nopeustieto sekä tieto siitä, mihin ajoneuvoluokkaan se kuuluu (Pennanen 2003: 10).

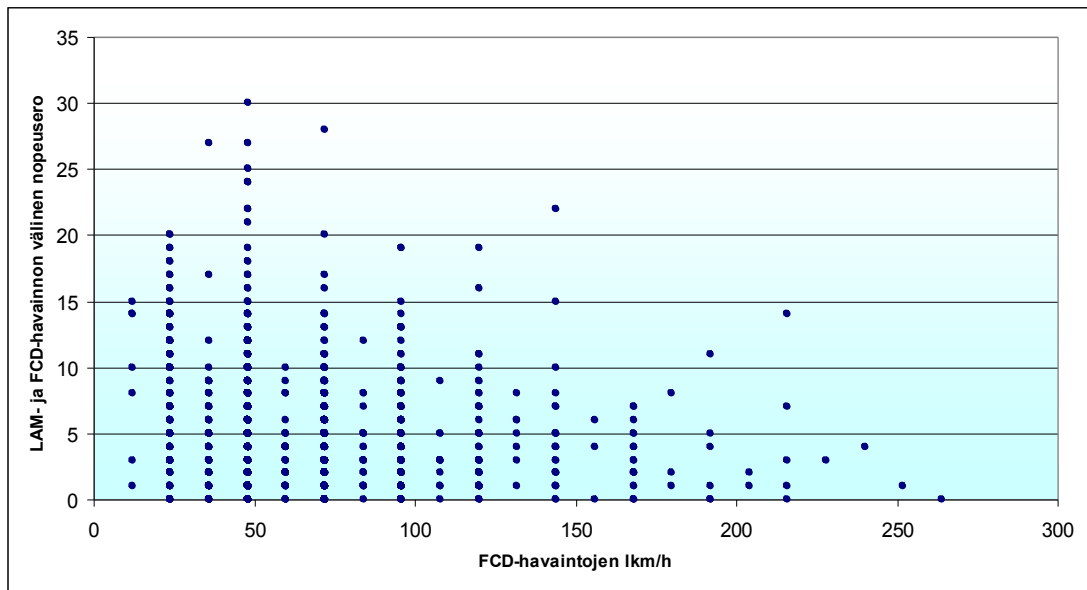
Erilaisten liikenteen matka-ajan laskentamallien vertailua varten Oulun seudun LAM-pisteistä valittiin kolme pistettä, jotka sijaitsevat tieosalla, jolta kerätään tietoa myös FCD-menetelmän avulla. Valitut pisteet sijaitsevat korkeintaan 300 metrin päässä floating car -tiedon keräämiseen käytettävien laatikoiden keskipisteestä. Piste-parien sijainnit on esitetty kuvassa 16.

Olisi ollut mielenkiintoista verrata järjestelmän mittaustuloksia LAM-pistejärjestelmästä saatujen tulosten lisäksi toiseenkin liikenteen sujuvuustiedon mallintamisympäristöön, esimerkiksi edellä selostettuun yksittäisiin GPS-havaintoihin perustuvaan menetelmään. Samalta ajankohdalta ja samoilta tieosuuksilta ei kuitenkaan ollut saatavissa LAM-pistetietojen lisäksi muuta tutkimusaineistoa. Näin ollen kvantitatiivisessa vertailussa vertailuaineistona on käytetty ainoastaan LAM-dataa. Kappaleen lopussa sen sijaan vertaillaan Oulun mallia periaatteellisella tasolla muihinkin menetelmiin.

Lähellä toisiaan sijaitsevien LAM-FCD -pisteparien joukosta valittiin reilun viiden viikon ajalta sellaiset pisteet, joissa mittausajankohdat vastaavat toisiaan. Kussakin pisteparissa LAM- ja FCD-pisteellä tuli siis olla yhden minuutin tarkkuudella ilmaistuna sama mittausajankohta, esimerkiksi 12.5.2007 klo 13:50, jotta ne valikoituivat mukaan vertailuun. Tällaisia havaintopisteitä sisältyi aineistoon 1 912 kappaletta.

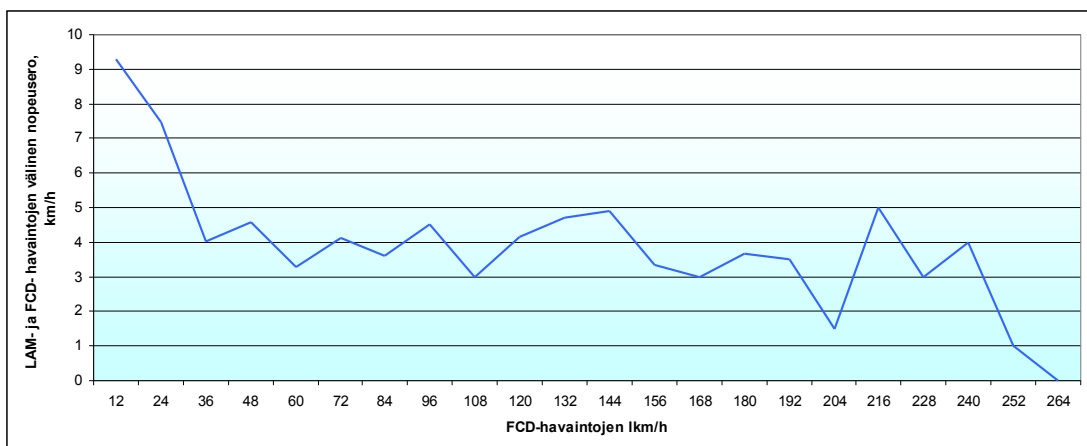
Mitattuja keskinopeuksia voidaan silmämääräisesti vertailla liitteen 1 kuvaajan avulla. Kuvaajan perusteella voidaan todeta, että pääpiirteissään nopeusmittausten tulokset muistuttavat toisiaan. Samansuuntaiset merkittävät ajonopeuksien laskut ja nousut ovat havaittavissa sekä LAM- että FCD-mittauksista. On huomioitava, että havaintojen ei voida odottaakaan olevan täysin toisiaan vastaavia, sillä pisteparin havaintopaikkojen välillä on parhaimmillaankin lähes 90 metriä eroa. Mahdollisesti virheitä saattaa aiheutua myös siitä, että FCD-mittauksista ei tallennu suuruudeltaan yli 10 km/h nopeusrajoituksen ylityksiä.

Yhtenä vertailun tavoitteena oli tutkia, voidaanko aineiston perusteella tehdä johtopäätöksiä havaintojen määrän vaikutuksesta havaintojen luotettavuuteen. Oletuksena oli, että suurempi havaintojen määrä vaikuttaa positiivisesti havaintojen luotettavuuteen. Kuten kuvan 17 kuvaajasta nähdään, aineisto näyttäisi tukevan ainakin jossakin määrin tätä oletusta. Havaintojen määrän kasvaessa ero LAM- ja FCD-mittauksissa havaittujen ajonopeuksien välillä näyttäisi yleisesti ottaen pienenevän. Nopeuseron kohdalla on käytetty LAM- ja FCD-havainnon välisen nopeuseron itseisarvoa, jolloin erotuksen etumerkillä ei ole merkitystä.



Kuva 17. LAM- ja FCD havaintojen välinen nopeusero suhteessa FCD-havaintojen määrään kussakin havaintopisteessä.

Kuvassa 18 on esitetty LAM- ja FCD-havaintopisteissä mitattujen nopeuserojen keskiarvo suhteessa FCD-havaintojen lukumäärään. Kuvaajasta nähdään, että nopeuseron keskiarvo pienenee selvästi havaintojen lukumäärän ollessa vähintään 36 kappaletta tunnissa. Kun havaintoja on vähintään 252 kappaletta tunnissa, ero nopeusmitauksissa on enää 1 km/h.



Kuva 18. LAM- ja FCD-havaintojen välisen nopeuseron keskiarvo suhteessa FCD-havaintojen lukumäärään.

Havainnointijakson (1.5.2007–5.6.2007) aikana liikenne oli valittujen mittauspisteiden kohdalla melko rauhallista. Tästä johtuen dataa, jossa FCD-havaintojen lukumäärä on suuri, kertyi niukasti. Tämän voidaan olettaa vaikuttavan kuvaajassa havaittavaan suurten havaintomäärien kohdalla esiintyvään hajontaan.

Kuvaajien perusteella varovaisena johtopäätöksenä voitaisiin esittää, että FCD-havaintojen lukumäärän ollessa vähintään 13 kappaletta viiden minuutin jakson aikana (joka laskennallisesti tarkoittaa 2,6 havaintoa minuutissa ja 156 havaintoa tunnin aikana), nopeusmittauksista saadut tulokset vastaavat suhteellisen hyvin LAM-pistemittauksien tuloksia. Aineiston pieni koko, mittauspisteiden välinen etäisyys ja havaintojen lukumäärätietojen kohdalla tehdyt pyöristykset estävät kuitenkin täsmällisten havaintomäärien kynnysarvoja koskevien päätelmien tekemisen. Sen sijaan voidaan todeta, että näyttää siltä, että alkuoletuksen mukaisesti havaintojen määrän kasvaessa tarkkuus todella paranee. Samansuuntaiset LAM- ja FCD-mittausten tulokset ja suhteellisen pienet erot nopeusmittauksissa puoltavat lisäksi FCD-mittausten yhteydessä käytetyn laskentatavan käyttökelpoisuutta.

Koska Oulussa käytössä oleva liikenteen sujuvuustiedon laskentamalli on eräänlainen pistemäisen tiedonkeruu- ja anturiajoneuvomenetelmän yhdistelmä, siinä myös yhdistyvät monet menetelmien hyvät, ja toisaalta myös huonot, puolet.

Pistemäisen nopeustiedon etuna on pidetty sen keräämisen ja käsittelyn yksinkertaisuutta (mm. Innamaa 1999, Zhang 2006). Pelkkien LAM-pisteiden avulla ei ole mitattu varsinaisesti matka-aikatietaa, sillä sen laskeminen edellyttäisi ajoneuvon tunnistamista (Kähkönen & Innamaa 2006:14). Oulun malli ratkaisee ainakin osittain tämän ongelman, sillä anturiajoneuvo tunnistetaan kahdessa pisteessä; sen ajaessa sisään virtuaaliseen laatikkoon ja sen poistuessa laatikosta. Toisaalta Oulun mallissa tietyn tieosuuden keskinopeus määritellään kahden kiinteän, ennakkoon määritellyn pisteen välisen keskinopeuden avulla, jolloin menetetään yksi floating car -menetelmän eduista; yksityiskohtaisen tiedon kerääminen jatkuvasti koko tutkittavalta reitiltä. Vaikka tiedonkeruujärjestelmä ei olekaan riippuvainen fyysisestä kiinteästä mittausrakenteesta, se on kuitenkin sidoksissa kiinteisiin virtuaalisiin mittauspisteisiin. Virtuaalisten mittauspisteiden määrää on toki yksinkertaisempi ja edullisempi lisätä kuin asentaa uusia fyysisiä rakenteita maastoon. Virtuaalisten pisteiden sijoittelussa joudutaan kuitenkin miettimään samanlaisia asioita kuin fyysisten LAM-pisteidenkin asentamisessa, esimerkiksi riittävä sijaintitiheys ja keskeisten tieosuuksien valinta vaikuttavat olennaisesti mittaustulosten luotettavuuteen ja käyttökelpoisuuteen. Anturiajoneuvomenetelmän etuihin on liitetty lisäksi se, että tietoa voidaan ke-

rätä helposti myös lyhyemmiltä tieosilta. Tämä etu ollaan vaarassa menettää Oulun mallissa, etenkin mikäli virtuaalisia mittauspisteitä sijoitetaan kovin kauas toisistaan.

Innamaa (1999) toteaa pistenopeuden eroavan yleensä tiejakson matkanopeudesta. Tiejakson nopeustason ollessa yhtenäinen pistenopeudet ovat keskimäärin matkanopeuksia korkeampia. Poikkeuksen muodostaa ainoastaan erikoistilanne, jolloin kaikki ajoneuvot ajavat samaa nopeutta. Virhe aiheutuu siitä, että keskimääräisessä matkanopeudessa painotetaan enemmän hitaasti liikkuvia ajoneuvoja kuin keskimääräisessä pistenopeudessa, sillä painottavana tekijänä on nopeuden sijaan matka-aika. Mikäli tiejaksolla on ruuhkaa, ruuhka ei välttämättä kata koko tiejaksoa tai ulotu pistemittausasemalle, mutta alentaa siitä huolimatta koko tiejakson matkanopeutta. Tästä johtuen ruuhkaisilta tieosuuksilta saadaan usein matkanopeuksia korkeampia pistenopeuden arvoja. Toisaalta pistemittausaseman sijaitessa tiejakson ruuhkaisimmassa kohdassa, pistenopeudet voivat olla matkanopeuksia korkeampia.

Tiedonkäsittelyn yksinkertaistumisen lisäksi Oulun mallin avulla onnistutaan lähes kokonaan kiertämään toinen floating car dataan tyypillisesti liitetty ongelma, eli kysymys yksityisyydensuojasta. Tieosuuden keskinopeus ilmoitetaan viiden minuutin aikana koottujen havaintojen keskinopeutena, eikä järjestelmä talleta yli 10 km/h suurempia nopeusrajoituksen ylityksiä. Jatkuvan valvonnan alaisena olemiseen ja jälkikäteen tapahtuvaan ylinopeudesta rankaisemiseen liittyvät uhkakuvat eivät siis ole muuttuneet todellisiksi järjestelmän käyttöönoton myötä.

Kaikkia anturiajoneuvojärjestelmän heikkouksia Oulun mallin avulla ei kuitenkaan voida välttää. Esimerkiksi GPS-signaalin häviämiseen liittyvät ongelmat tai se tosi-seikka, että yksittäinen ajoneuvo edustaa koko liikennevirtaa, ovat edelleen olemassa.

7 Liikennetilatiedon jakelu ja visualisointi

Sujuvuustieto, niin kuin lähes kaikki liikenteeseen liittyvä informaatio, on luonteeltaan äärimmäisen dynaamista. Tieto liikenteen tilaan vaikuttavista tapahtumista, kuten liikennemuutoksista tai suljetuista tieosuuksista, muuttuu jatkuvasti. Tällaisen dynaamisen tiedon esittäminen perinteisillä paperikartoilla on hankalaa, sillä siinä vaiheessa, kun tieto on valmista jaettavaksi eteenpäin, se on jo vanhentunutta. Sen sijaan internetin kautta reaaliaikaisen tiedon esittäminen on mahdollista. Ajantasaiset liikennetiedot ovat käyttäjän saatavilla aina, kun käytössä on verkkoon kytketty tietokone tai esimerkiksi matkapuhelin, jolla internetselaimen käyttö on mahdollista. Muita internetin etuja ovat riippumattomuus käyttöjärjestelmästä, edullisuus ja mahdollisuus interaktiivisuuteen käyttäjän ja ohjelman välillä. Käyttäjä voi esimerkiksi valita esitettävälle kartalle omalta kannaltaan hyödylliset tietolajit ja tehdä aluerajauksia (Emmer 2001:159).

Suomessa on olemassa joitakin internetsivustoja, joilla esitetään kartalla reaaliaikaisesta tiedosta liikenteen sujuvuudesta. Tässä työssä tarkastellun Oulun seudun (kuva 19) lisäksi liikennetilatietoa on saatavissa myös Tampereelta (<http://www.liikennetampereella.fi/kaikki>) ja Kauppalehden sivustojen (<http://www.kauppalehti.fi/>) (kuva 20) kautta koko maasta. Lisäksi Tiehallinnon internetsivuilla on muutaman minuutin välein päivittyviä karttoja liikenteen sujuvuudesta suurimmilla kaupunkiseuduilla (<http://www.tiehallinto.fi> → Liikenteen tiedotus → Liikennetilanne) (kuva 21).

Kaikissa edellä mainittuihin sivustoihin sisältyvissä kartoissa liikennetilannetiedon visualisoinnin periaatteet ovat samanlaiset. Liikenteen sujuvuus luokitellaan viiteen luokkaan (sujuvaa, jonoutunutta, hidasta, pysähtelee, seisoo) ja sujuvuuden eroja havainnollistetaan kartalla eriväristen nuolisymbolien avulla.

Symbolien merkitykset:

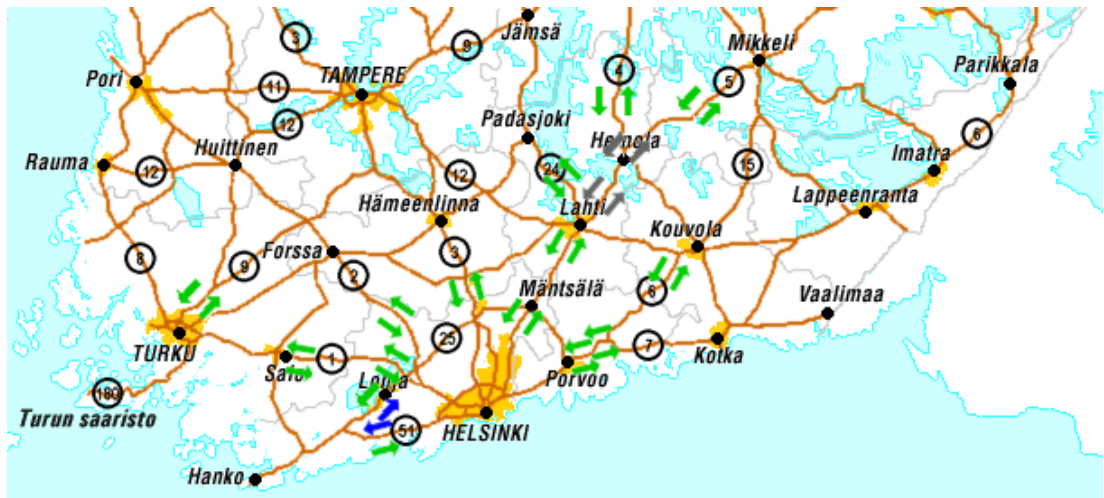
-  Liikenne sujuvaa
-  Liikenne jonoutunut
-  Liikenne hidasta
-  Liikenne pysähtelee
-  Liikenne seisoo
-  Ei ajantasaista mittaustietoa saatavilla



Kuva 19. Liikennetilanne Oulussa 24.5.2007 klo 14:10 (Oulun liikenne 2007).

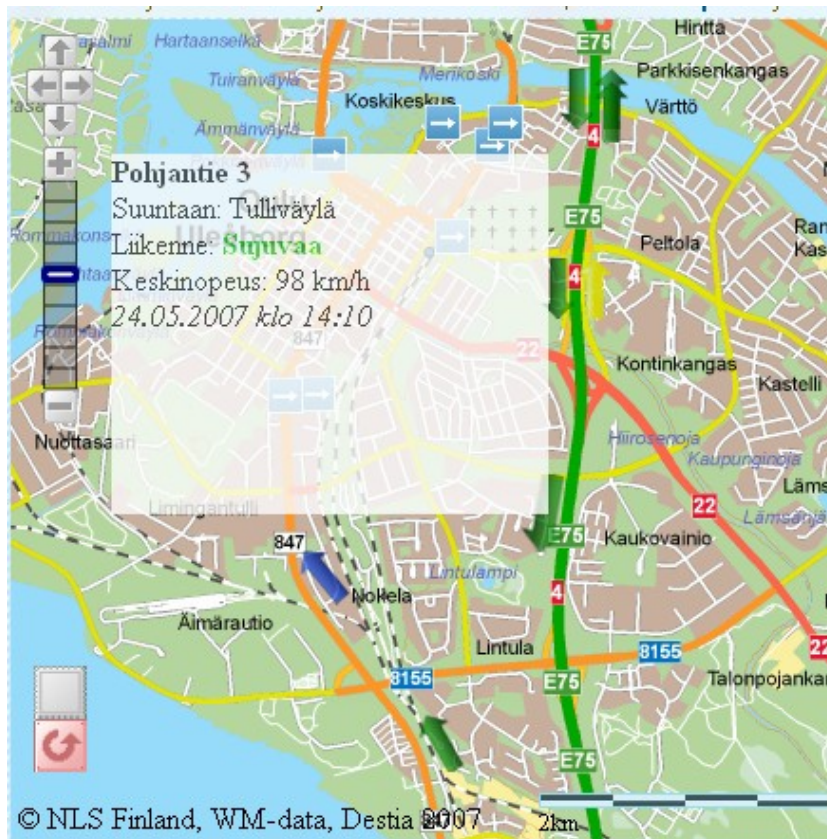


Kuva 20. Liikennetilanne Helsingissä 7.6.2007 klo 14:10 (Kauppalehti 2007).



Kuva 21. Liikennetilanne Etelä-Suomessa 7.6.2007 klo 14:10 (Tiehallinto 2007).

Lisätietoa liikenteen tilasta on tarjolla tekstimuodossa. Esimerkiksi Oulun liikenne-sivustossa tarkempia tietoja liikenteen sujuvuudesta saa viemällä hiiren kartalla sujuvuusnuolen päälle (kuva 22). Aukeavassa tietolaatikossa annetaan tien nimeen, ajosuuntaan, liikennevirran keskinopeuteen sekä mittauksen ajanhetkeen liittyvää lisäinformaatiota.



Kuva 22. Lisätietoja Oulun liikennetilanteesta (Oulun liikenne 2007).

Liikenneolosuhteita koskeva tieto on kuljettajien kannalta hyödyllistä ainoastaan silloin, kun informaatio on ajantasaista. Näin ollen ajan tiedon keruun ja esittämisen välillä täytyy olla hyvin lyhyt, useimmissa tapauksissa korkeintaan muutamia minuutteja (Emmer 2001:163).

Kartat ovat kommunikaatioväline, joten on tärkeää, että ne suunnitellaan käyttäjien tarpeita vastaaviksi. Etenkin seuraavat neljä kysymystä on syytä ottaa huomioon käyttäjätarpeiden tarkastelun yhteydessä:

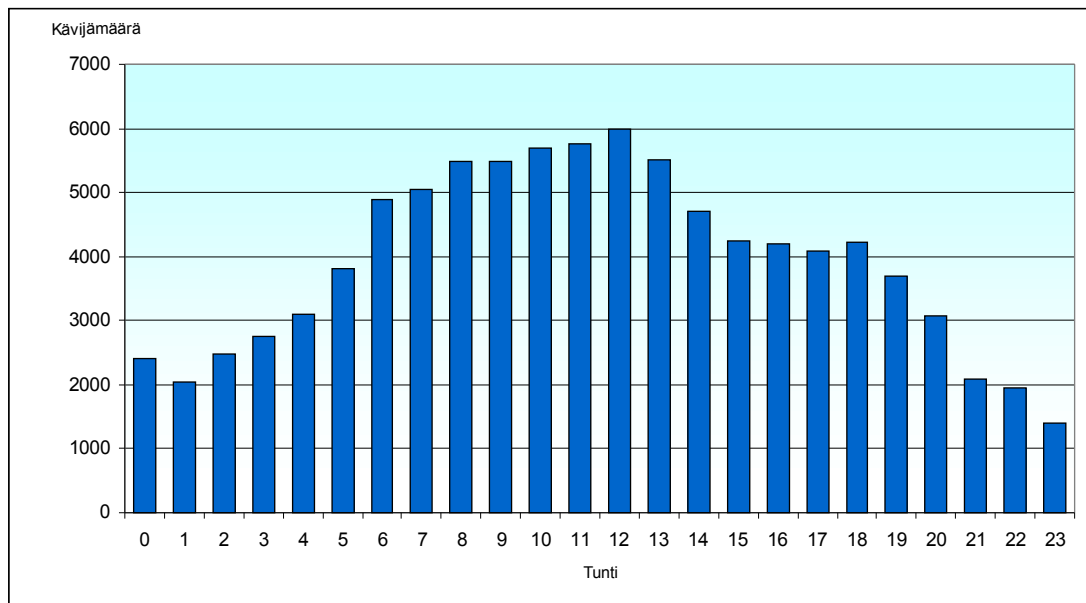
- i) Minkä tyyppistä informaatiota halutaan?
- ii) Missä käyttäjä haluaa vastaanottaa informaatiota?
- iii) Milloin käyttäjä haluaa vastaanottaa informaatiota?
- iv) Miten informaatio pitäisi esittää?

Toivottu informaatio riippuu käyttäjästä. Käyttäjiä voidaan jaotella erilaisiin ryhmiin muun muassa matkan tarkoituksen perusteella. Työmatkalaisella on erilaiset odotukset liikenneinformaation sisällön suhteen kuin vapaa-ajallaan matkustavalla tai ammattikuljettajalla (mm. Emmer 2001:165–166, Rämä ym. 2003:10).

Nowakowski ym. (1999) analysoivat kahden yhdysvaltalaisen liikenneinformaatiota tarjoavan internetsivun käyttäjiä. He jakoivat sivuston käyttäjät IP-osoitteiden perusteella kuuteen käyttäjäryhmään; 1) yksityiset käyttäjät, 2) valkokaulusyritysten työntekijät, 3) yliopistohenkilökunta ja -opiskelijat, 4) tuotantoyritykset, 5) kuljetus- ja kuriiriyritykset sekä 6) muut liikenneinformaation tarjoajat.

Yhdysvaltalaistutkimuksessa todettiin, että vierailijamäärät liikenneinformaatiota tarjoavilla internetsivustoilla olivat suurimmillaan iltapäiväruuhkan aikaan (kello 15:00–19:00). Aamuruuhkan aikaan samanlaista piikkiä kävijöiden lukumäärissä ei ollut havaittavissa. Nowakowski ym. (1999) arvelevat tämän johtuvan paitsi siitä, että joillakin käyttäjillä ei välttämättä ole internetyhteyttä kodeissaan, myös siitä, että koneen käynnistäminen ja tietojen etsiminen saattaa olla liian aikaa vievää kiireisinä aamun tunteina.

Suomalaisten liikennetietosivustojen kävijätilastojen tarkkailu antaa hieman toisenlaisen kuvan siitä, mihin vuorokaudenaikaan liikenneinformaatio on kaikkein kysytyintä. Esimerkiksi Oulun seudun liikennetietosivustoilla eniten kävijöitä näyttäisi olevan aamupäivisin klo 10:00–13:00 välillä (kuva 23). Iltapäivän ruuhkaiset tunnit eivät sen sijaan erotu kävijätilastoissa. On kuitenkin huomioitava, että tutkimuksissa käytetyt tarkasteluajanjaksot ovat varsin erilaiset, eivätkä siis ole keskenään vertailukelpoiset. Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa käytettävissä oli tilastotietoja useiden vuosien ajalta, kun taas Oulun seudun liikennetieto -sivusto on ollut virallisesti toiminnassa vasta helmikuun 2007 alusta.



Kuva 23. Keskimääräiset kävijämäärät tunneittain Oulun seudun liikennetieto -sivustolla (tarkasteluajanjakso 31.12.2006–25.6.2007).

Kuten aikaisemmin on tullut ilmi, liikenneinformaatio on hyödyllistä ainoastaan silloin, kun se on ajantasaista. Ajantasaisin informaatio puolestaan voidaan välittää käyttäjälle pääasiassa ajon aikana. Tutkimuksissa on kuitenkin käynyt ilmi, että käyttäjät ovat kiinnostuneita vastaanottamaan informaatiota myös muulloin. Ajantasainen tieto liikenneoloista koetaan hyödylliseksi esimerkiksi suunniteltaessa matkaa kotona tai työpaikalla sekä matkan aikana tauko- ja pysähdyspaikoilla kuten huoltoasemilla tai liikennevaloissa odoteltaessa (Emmer 2001:166).

Tarjottavan liikenneinformaation tarkoituksena on käyttäjän kannalta ensisijaisesti helpottaa parhaan mahdollisen reitin valintaa. Informaatio ajantasaisista liikenneolosuhteista voidaan välittää loppukäyttäjälle esimerkiksi tekstin, ääniviestin tai graafisen esityksen, kuten kartan, muodossa. Tiedon esittämistapaan vaikuttavat ennen kaikkea käyttäjän tarpeet sekä olosuhteet, lähinnä ajankohta ja sijainti, joissa tietoa vastaanotetaan ja käytetään. Koska sekä käyttäjän tarpeet että käyttöolosuhteet voivat olla hyvinkin erilaiset, on tärkeää, että vaihtelu huomioidaan myös tiedon esittämistavoissa (Emmer 2001:166).

7.1 Väritys

Kuten Monmonier (1996:163) toteaa, karttojen väritys on suo, johon on helppo upota. Onnistuneiden värivalintojen avulla voidaan lisätä kartan luettavuutta ja visuaalis-

ta näytävyyttä. Ongelmaksi saattaa kuitenkin muodostua värien monimutkainen maailma. Sitä tuntemattoman on helppo tehdä kartan selkeyteen ja tulkintaan viime kädessä negatiivisesti vaikuttavia ratkaisuja.

Tässä työssä tarkastelluissa, suomalaisissa, liikenteen sujuvuutta kuvaavissa kartoissa väritys on ilmeisesti saanut lähtökohtansa spektraalijärjestelmästä (ks. sivu 63 sujuvuusnuolten väritys), joka perustuu elektromagneettiseen spektriin (Slocum ym. 2005:254) (kuva 24).



Kuva 24. Elektromagneettinen spektri.

Spektraalijärjestelmän järjestystä on sujuvuustietonuolten kohdalla spektrin toisessa päässä kuitenkin hieman muutettu. Kaikkein sujuvinta liikennettä kuvataan vihreällä nuolella ja vihreästä edetään sinisen kautta keltaiseen, oranssiin ja lopulta ruuhkautumisen vuoksi pysähdyksissä olevaa liikennettä kuvaavaan punaiseen. Todellisessa spektraalivärijärjestelmässähän järjestys olisi sinisestä vihreään ja siitä edelleen keltaisen ja oranssin kautta punaiseen, kuten kuvasta 24 nähdään.

Perinteisesti kartografit eivät ole olleet kovin innokkaita spektraalijärjestelmän kannattajia. Syy tähän on ollut lähinnä se, että keltainen on lähtökohtaisesti vaalea väri ja saattaa näyttää yhteen sopimattomalta muihin spektraalijärjestelmän tummiin väriin nähden. Joidenkin tutkimusten perusteella spektraalijärjestelmä saattaa kuitenkin olla käyttökelpoinen. Erityisesti tarpeeksi tummia ja kirkkaita värisävyjä käytettäessä kartan tulkittavuus on osoittautunut melko hyväksi (Slocum ym. 2005:254–257). Monmonier (1995:167–168) muistuttaa kuitenkin, että spektrin värit eivät ihmismielessä asetu mihinkään tiettyyn loogiseen järjestykseen, joten värin muuttuminen kokonaan toiseksi kuvaa yleensä huonosti intensiteetin muutosta.

Kuten todettu, sujuvuustietonuolten väritys ei kuitenkaan noudata täysin spektraalijärjestelmää. Vihreän ja sinisen nuolen järjestys aiheuttaa sen, että valitut värit ovat käytännössä täysin satunnaiset. Vaikka kartankäyttö saattaa joissakin tapauksissa helpottaa, kun intensiteetin muutosta kuvaavat värit ovat täysin satunnaiset ja toisistaan suuresti poikkeavat, yleisesti ottaen kaikkein suositeltavinta on käyttää intensiteetin

muutoksen kuvaamisessa jollakin tavalla järjestäytyneitä värijärjestelmiä. Tehokaimmaksi on osoittautunut järjestelmä, joka yhdistää värin kirkkauden ja värisävyn muutoksen (kuva 25).



Kuva 25. Esimerkki värisävyn ja kirkkauden muutoksen yhdistävästä värijärjestelmästä.

7.2 Sujuvuustiedon visualisointiin liittyviä ongelmia ja kehitysehdotuksia

7.2.1 Esitettävän tiedon määrä

Ongelma: Tiedon määrä lisää kartan informaatioarvoa, mutta liiallinen informaatio voi tehdä kartasta epäselvän ja sekavan.

Internetin etuja ovat sen reaaliaikaisuus ja käytön interaktiivisuus. Sekä Emmer (2001) että Nowakowski ym. (1999) painottavat, että mikäli internetiä halutaan hyödyntää tulevaisuudessa enemmän liikennetiedon välittämiskanavana, tiedonvälityksessä pitäisi tukea erityisesti näitä verkon ainutlaatuisia ominaisuuksia. Tyypillisesti liikenneinformaatiota internetistä hakeva henkilö odottaa saavansa nopealla vilkaisulla joko ennen matkaa tai matkan aikana käsityksen liikenteen tilasta. Käyttäjän ei pitäisi joutua klikkaamaan läpi useita valikkoja ennen kuin hän pääsee käsiksi hakemansa informaation. Näin ollen tiedon määrän pitäisi olla rajoitettu niin, että kaikki tarpeellinen informaatio on saatavilla samalla sivulla ja omaksuttavissa yhdellä vilkaisulla.

Aina suuri informaation määrä ei ole pelkästään positiivinen asia. Liiallinen tiedonrunsas saattaa päinvastoin tehdä karttanäkymästä sotkuisen ja vaikeuttaa sen tulkitsemista. Ratkaisuksi informaatiotulvaan mm. Nowakowski ym. (1999) ehdottavat valinnaisuuden lisäämistä. Koska kaikki käyttäjät eivät todennäköisesti ole kiinnostuneita jokaisesta informaation palasesta, olisi suotavaa liittää karttoihin valikko, josta käyttäjä saisi esimerkiksi hiiren klikkauksella valittua itseään kiinnostavat tietolajit. Joillekin suomalaisille liikenneinformaationsivustoille tällainen toiminnallisuus jo sisältyykin.

7.2.2 Tiedon luokittelu

Ongelma: Käytetty luokittelumenetelmä on asiantuntijalähtöinen, eikä välttämättä palvele tavallista käyttäjää parhaalla mahdollisella tavalla.

Kartalla esitettävän tiedon luokittelua varten on olemassa useita menetelmiä, eikä luokkien määrällekkään ole olemassa yleispäteviä rajoituksia. Ennen päätöstä luokkien lukumäärästä ja luokittelumenetelmästä on kuitenkin syytä miettiä, mikä on kartan todennäköisin arvo käyttäjälle. Haetaanko siitä mahdollisimman yksityiskohtaista tietoa, vai onko kartan tarkoituksena vain antaa yleiskuva esitettävästä ilmiöstä.

Liikenteen sujuvuuden luokittelussa on kaikilla tässä työssä tarkastelluilla suomalaisilla liikenneinformaatiota tarjoavilla internetsivustoilla käytetty Tiehallinnon viisiportaista luokitusta (taulukko 2, sivu 32). Lisäksi omaksi luokakseen on toisinaan laskettu kohteet, joilta ei ole saatavissa ajantasaista mittaustietoa.

Ihmisen lyhytkestoisen muistin kapasiteetti riittää käsittelemään tietoa, joka on jaettu maksimissaan viiteen–yhdeksään luokkaan. Näin ollen viisi (plus yksi) luokkaa ei sinänsä aiheuta ongelmia informaation tulkinnalle. Kannattanee kuitenkin miettiä, mitä lisäarvoa käyttäjä saa siitä, että hän tietää liikenteen olevan jonoutunutta (75–90 prosenttia vapaan virran keskinopeudesta) tai hidasta (25–75 prosenttia vapaan virran keskinopeudesta). Ruuhkan määrittely ei ole yksiselitteistä. Monikaan tavallinen autoilija ei välttämättä osaa erottaa prosentuaalisiin laskelmiin perustuvia eroja liikenteen sujuvuudessa eikä ymmärrä ammattilaisten käyttämiä käsitteitä samalla tavalla.

Käyttäjän kannalta riittävä tarkkuuden taso saavutettaisiin luultavasti jo luokittelemalla sujuvuustieto kolmeen luokkaan; esimerkiksi i) liikenne seisoo (< 0.10), ii) liikenne on ruuhkautunutta ($0.10\text{--}0.90$) tai iii) liikenne on sujuvaa (> 0.90). Suluissa on ehdotus raja-arvoiksi vapaan virran keskinopeuteen verrattaessa. Nowakowski ym. (1999:68) suosittelevat lisäksi erottelemaan omiksi luokikseen tieosuudet, joita ei seurata, joilta ei ole (väliaikaisesti) saatavissa tietoa tai joilla on käynnissä tietyö.

7.2.3 Väritys

Ongelma: Järjestystä noudattamattomia väriluokituksia on vaikea tulkita, symbolit sekoittuvat pohjakarttaan vähäisen kontrastin vuoksi.

Väritystä on käsitelty jo luvussa 7.1. Perinteisesti kartografiassa suositellaan käyttämään saman ominaisuuden intensiteetin muutoksen kuvaamiseksi värin kirkkauden vaihtelua. Vaaleat arvot kuvaavat kohteita, joissa ominaisuuden intensiteetti on vä-

häinen ja tummat puolestaan intensiteetiltään voimakkaimpia kohteita (mm. Monmonier 1995, Emmer 2001:167, Kraak & Ormeling 2002, Slocum ym. 2005).

Siitä, tulisiko liikenneilmiöiden kuvaamiseen käyttää yhden värin eri sävyjä vai useita kokonaan erilaisia värejä, löytyy kirjallisuudesta eriäviä mielipiteitä. Nowakowski ym. (1999) ovat sitä mieltä, että informaation esittämisessä olisi hyvä käyttää useita värejä ja nojautua esimerkiksi liikennevaloista tuttuun vihreä–punainen–keltainen-tyyppiseen logiikkaan. Emmer (2001:167) puolestaan toteaa, että mikäli samalla kartalla esitetään useita ominaisuuksia, on suositeltavaa käyttää yhden ominaisuuden intensiteetin vaihtelun kuvaamiseen ainoastaan yhtä väriä. Lukuisat satunnaiset värit kartalla tekevät siitä huonosti tulkittavan.

Wickens & Holland (2000:100–102) tunnistavat kolme eri värien käytöstä saatavaa etua:

1. Eri objektit on helppo huomata ja tunnistaa
2. Objektit voidaan integroida toisiinsa
3. Tarve käyttää muunlaisia visualisointitapoja luokituksen kuvaamiseksi vähenee

Toisaalta Wickens & Holland (2000:100–102) ovat havainneet myös joitakin rajoituksia värien käytölle:

1. Eri värien välillä ei ole järjestynyttä jatkumoa
2. Tiettyihin väreihin saatetaan liittää aiheeseen kuulumattomia stereotypioita
3. Ihmisen kyky arvioida eri värien painoarvoa on heikko
4. Muuhun ympäristöön liittymätön väritys voidaan kokea häiritseväksi ja hämmentäväksi

Monmonier (1995:171) pitää liikennevalovärien käyttöä kartalla tehokkaana väreihin liittyvän voimakkaan assosiaation vuoksi. Koska värien symboliikka on tuttu jokaiselle autoilijalle, niiden käyttö liikenneinformaatiokartoissa on hyvinkin perusteltua. Mikäli liikenteen sujuvuustieto jaettaisiin kohdan 7.2.3 ehdotuksen mukaisesti kolmeen luokkaan nykyisen viisiportaisen luokituksen sijaan, voitaisiin sujuvuustiedon kuvaamisessa käyttää liikennevalovärejä. Vihreä kuvaisi tällöin sujuvaa, keltainen ruuhkautunutta ja punainen lähes kokonaan pysähdyksissä olevaa liikennettä. Vastaa-

vaa luokitusta ja väritystä on käytetty esimerkiksi Saksassa Nürnbergin kaupungin liikennetilannetta kuvaavilla verkkosivuilla (kuva 13 sivu 47).

Toinen väritykseen liittyvä ongelma työssä tarkastelluilla liikennetietokartoilla on huono kontrasti pohjakartan ja varsinaisen esitettävän informaation, eli sujuvuustietosymbolien välillä. Tämänkaltaisen visuaalisen hierarkian huomioimatta jättäminen on hyvin tyypillinen internetkarttoihin liittyvä virhe (Emmer 2001:167–168). Kun sekä pohjakartassa että itse symboleissa on käytetty yhtä kirkkaita, osittain jopa hyvin samankaltaisia, värejä, olennaisen informaation löytäminen kartalta vaikeutuu.

Yleisesti ottaen parhaiten erottuvina pidetään vaalealla pohjalla esitettyjä tummia symboleja. Joissakin valaistusolosuhteissa voidaan käyttää myös vaaleita symboleja tummalla pohjalla (Nowakowski ym. 1999:67). Olennaista kuitenkin on, että jo värityksellä tehdään selväksi, että nimensä mukaisesti taustakartta on vain taustalla ja pääosassa on esitettävä informaatio, eli tässä tapauksessa liikenteen sujuvuustieto.

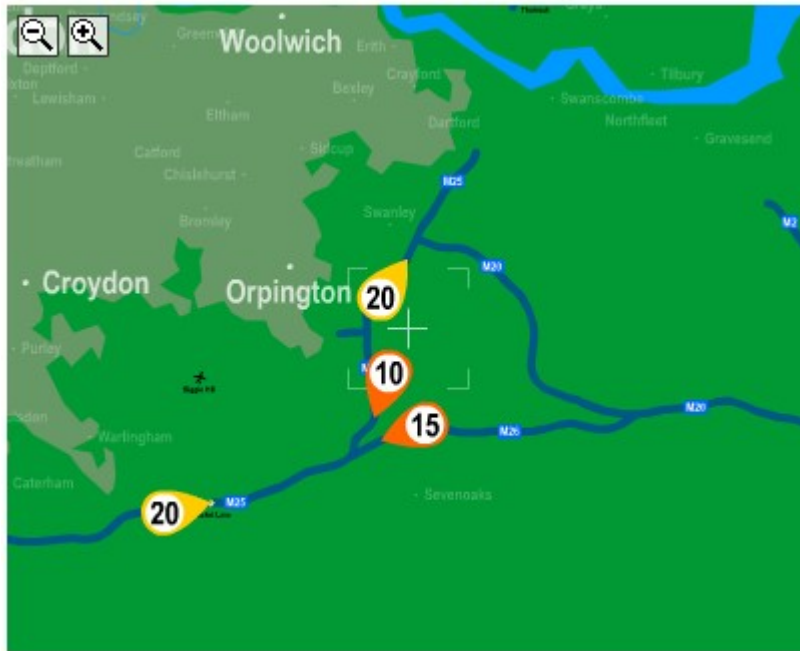
7.2.4 Symbolit

Ongelma: Liikenteen sujuvuutta kuvaavat nuolisymbolit ovat vaarassa sekoittua pohjakartan ja muun informaation joukkoon.

Tyypillisin tapa kuvata liikenteen sujuvuutta on käyttää viivasymboleja (Emmer 2001:163). Yleisesti ottaen suosittu tapa vaikuttaisi olevan koko tarkasteltavan tieosan värjääminen liikenteen sujuvuutta ilmaisevalla värillä. Suomalaisissa sujuvuuskartoissa on sen sijaan käytetty sujuvuuden kuvaamiseen niin ikään viivasymboleiksi luokiteltavia nuolia. Nuolisymbolien käytössä on puolensa; ne kuvaavat selkeästi liikennevirran suuntaa ja ne on helppo sijoittaa juuri sille tienkohdalle, jossa mittaus on tehty. Ongelmana kuitenkin on, että nykyisin käytössä olevalta karttapohjalta sujuvuusnuolet erottuvat varsin heikosti ja näyttävät lisäksi hiukan kömpelöiltä.

Van den Wormin (2001:97–98) ehdottaa, että internetkartoissa liikennevirtaa ja sen suuntaa voitaisiin havainnollistaa esimerkiksi viivasymboleihin liitetyn animaation avulla. Sen sijaan viivoissa käytetyt tekstuurit toimivat web-kartoissa heikosti.

Liikenteen sujuvuutta voidaan visualisoida myös pistesymboleilla. Kuvan 26 brittiläisen Vauxhall yhtiön sivuilta haetussa esimerkissä on kerrottu hidastunut ajonopeus pisteissä, joissa nopeus on alle 25 mailia tunnissa (≈ 40 km/h). Hidastuneen ajonopeuden lisäksi pistesymboleista käy ilmi ruuhkautumisen suunta.



Kuva 26. Esimerkki liikenteen sujuvuuden esittämisestä pistesymbolein (Vauxhall 2007).

Nowakowski ym. (1999:69) suosittelevat käyttämään sellaisia symboleja, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin ilmiötä todellisuudessa.

7.2.5 Taustakartta ja sommittelu

Ongelma: Esitettävä informaatio ei erotu selkeästi väri- ja informaatiokylläiseltä taustakartalta.

Taustakartan tehtävänä on ennen kaikkea tuoda esitettävä informaatio selkeästi esiin sekä auttaa käyttäjää hahmottamaan ilmiön sijainti ja laajuus. Aikaisemmin on jo todettu, että taustakartan olisi syytä olla väriykseltään esitettävää informaatiota vaaleampi. Värivalintojen lisäksi taustakarttaan voi vaalentaa esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmien toimintojen, kuten läpinäkyvyyden lisäämisen, avulla.

Väriyksen lisäksi on syytä miettiä, kuinka paljon informaatiota taustakartan tulisi sisältää. Kartan todennäköisestä käyttötarkoituksesta riippuu, kuinka yksityiskohtaista tietoa taustakartalla on tarpeen esittää.

Web-karttojen olisi hyvä muistuttaa periaatteiltaan mahdollisimman paljon samalle kohdeyleisölle suunnattuja paperikarttoja (Nowakowski ym. 1999:69). Liikenteen sujuvuuden kuvaaminen paperikartoilla ei ole kovin yleistä eikä edes tarkoituksenmukaista tiedon dynaamisen luonteen vuoksi, mutta kartat ylipäänsä ovat useimmille liikkujille tuttu apuväline. Autoilijalle suunnattujen liikenneinformaatiokarttojen

taustalla voitaisiinkin harkita käytettävän tielläliikkujille jo entuudestaan tuttuja kartatyyppisiä.

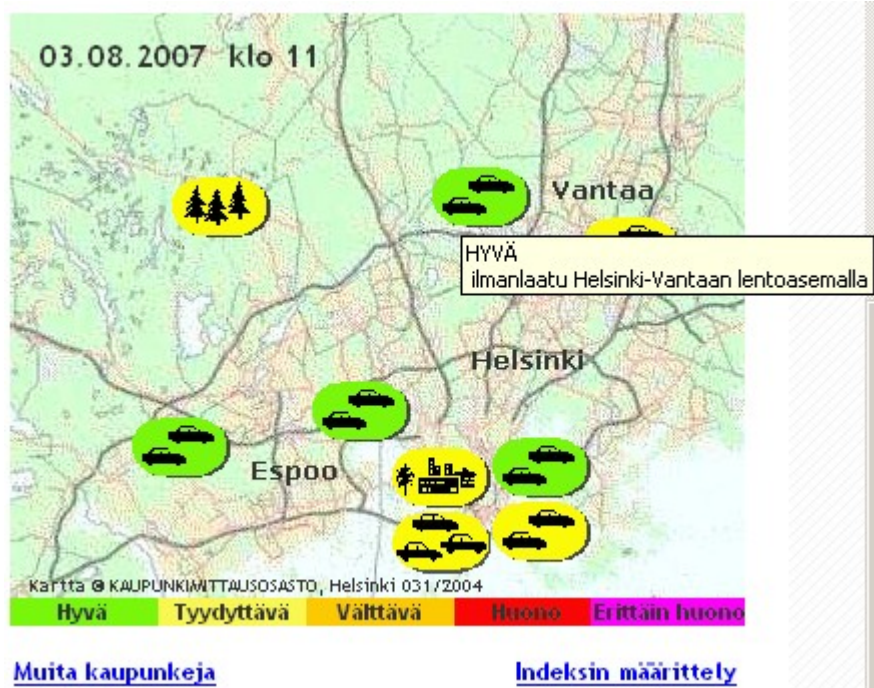
7.2.6 Legenda

Ongelma: Yhtenäinen legenda puuttuu, eikä valittujen värikoodien tulkitseminen onnistu ilman sitä.

Kartan legendassa selitetään kaikki kartan tulkinnan kannalta olennainen informaatio. Itsestään selviä tai esimerkiksi teemakartan teemaan liittymättömiä symboleja ei välttämättä tarvitse sisällyttää legendaan (Slocum ym. 2005:205).

Oulun liikennetieto- sekä Kauppalehden internetsivuilla sujuvuuskartoissa on käytetty pop-up-legendaa. Pop-up-legenda ilmestyy näytölle käyttäjän osoittaessa hiirellä jotakin karttaobjektia (kuva 22, sivu 65). Pop-up-legendan etuna on, että suunnittelijan tehtäväksi ja käyttäjän muistettavaksi jää vähemmän symboleja. Mikäli karttaan liitetään lisäksi normaali legenda, se voidaan pitää hyvin suppeana. Pop-up-legendan huonona puolena on, että kaikki selitystä vaativat symbolit täytyy aktivoida (van den Worm 2001).

Mikäli liikenteen sujuvuuden kuvaamisessa noudatetaan nykyisenkaltaista tapaa, eli luokkia on viisi ja niiden värit ei noudata mitään selkeää järjestystä, olisi suotavaa, että kartta sisältäisi sellaisen legendan, josta on yhdellä silmäyksellä nähtävissä kaikkien symbolien merkitys. Kuvassa 27 on esimerkki kartasta, jossa pop-up-legendan ohella karttaan on liitetty yksinkertainen, värikoodit selittävä legenda. Lisätietoa ilmanlaatuluokituksesta saa kohdasta ”indeksin määrittely”. Samankaltainen menettely voisi olla paikallaan myös sujuvuustietokartassa. Erityisesti jos sujuvuusluokkia on useita, eikä niiden merkitys ole yksiselitteinen, olisi syytä selvittää myös käytetyn luokituksen perusteet.



Kuva 27. YTV:n ilmanlaatukartta (YTV 2007).

8 Johtopäätökset

Innamaa ym. (2005) tutkivat anturiajoneuvoilla saatavan tiedon hyödyntämismahdollisuuksia. Maailmalla on vielä hyvin vähän pysyvästi käytössä järjestelmiä, joilla liikenneinformaatiota kerättäisiin laajoilta alueilta pääasiassa anturiajoneuvojen avulla. Eriasteisia aiheeseen liittyviä kokeiluja on sitä vastoin runsaasti, kuten tämänkin työn luvun 4.2 perusteella käy ilmi.

Anturiajoneuvojärjestelmien kenties suurimpana ongelmana pidetään sitä, että pienhkön ajoneuvomäärän vuoksi yhtä tarkastelu- tai tiejaksoa kohti kertyy vain muutamia havaintoja. Suomessa liikennemäärät ovat suhteellisen pieniä, joten anturiajoneuvojen valinnassa on syytä kiinnittää erityistä huomiota niillä ajettaviin kilometreihin eli liikennesuoritteeseen. Liikenteen häiriöt jäävät FCD-järjestelmän avulla huomaamatta, mikäli yksikään anturiajoneuvo ei kulje häiriön vaikutusalueella. Myös sellaiset häiriöt, joilla ei ole lainkaan, tai on vain vähäinen vaikutus liikennevirran kulkuun, jäävät helposti tunnistamatta (Innamaa ym. 2005:43–44).

Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että anturiajoneuvojärjestelmät ovat erityisen käyttökelpoisia kiinteisiin mittalaitteisiin perustuviin järjestelmiin yhdistettyinä (mm. Innamaa ym. 2005, Kosonen & Pahlman 2005:41). Paitsi että anturiajoneuvojen käyttö vähentää tarvetta kiinteisiin mittalaitteisiin, muun muassa Wang & Nakamura (2003, Innamaan ym. 2005:43 mukaan) ovat tutkimuksissaan todenneet myös mittaustulosten tarkkuuden paranevan yhdistämällä jo pienikin anturiajoneuvoaineisto kiinteillä ilmaisimilla mitattuun aineistoon.

Tässä työssä kuvattu Oulussa käytössä oleva, floating car -dataan perustuva liikenteen sujuvuusmalli osoittautui alustavissa tarkasteluissa varsin samantasoiseksi kiinteisiin LAM-ilmaisimiin perustuvan järjestelmän kanssa. Jatkossa olisi kiinnostavaa tutkia järjestelmän toimivuutta laajemmalla aineistolla. Tässä työssä otoskoko oli hiukan alle 2 000, vertailtavia pisteitä kerättiin kolmesta kohdasta ja vertailuajanjakso oli pituudeltaan hieman yli viisi viikkoa. Tulosten voidaan kuitenkin sanoa olevan suuntaa-antavia ja todeta niiden näin ollen olevan menetelmän jatkokäytön ja -kehityksen kannalta rohkaisevia. Jatkotutkimuksissa vertailuun olisi syytä ottaa mukaan LAM-pisteiden avulla kerätyn aineiston lisäksi jonkin toisen, mieluiten GPS-paikkannukseen ja anturiajoneuvoihin perustuvan, järjestelmän avulla kerättyä aineistoa. Tä-

mänkaltainen vertailu nostaisi oletettavasti esiin mahdollisia Oulussa käytetyn mallin ja muunlaisten floating car -menetelmään perustuvien mallien välisiä eroavaisuuksia. Tutkimusaluetta olisi syytä laajentaa jatkossa myös maantieteellisesti ja tutkia mallin soveltuvuutta niin pääkaupunkiseudun kuin kaupunkiseutujen ulkopuolistenkin tieosuusien erilaisiin liikenteellisiin olosuhteisiin.

Innamaan ym. (2005) tutkimuksessa anturiajoneuvosovelluksia pidettiin erityisen sopivana tiedonkeruumenetelmänä suurten kaupunkiseutujen ruuhkissa. Muun tieverkon osalta anturiajoneuvomenetelmät ovat käyttökelpoisia lähinnä erilaisissa häiriösovelluksissa.

Edellä on todettu, että Suomessa pahimmat ruuhkaongelmat liittyvät pääkaupunkiseudun ja muiden suurimpien kaupunkiseutujen työmatkaliikenteeseen. Työmatkaliikenteeseen liittyvien ruuhkahuippujen välttäminen tai edes vähentäminen on vaikeaa. Vaikka ilmiö olisikin matkaan lähtevien tiedossa, ei ruuhkainformaatiosta ole juuriakaan hyötyä, ellei matkustajilla ole mahdollisuutta ja halukkuutta muuttaa joko käyttämäänsä liikennemuotoa, reittiä, matkaan lähdön ajankohtaa tai matkustuspäätöstä. Käytännössä valinnanmahdollisuudet ovat monilla arkipäivän ruuhkahuippujen aikaan työnsä, opiskelujensa tai muun vastaavan menon takia matkustavilla varsin rajalliset.

Suurimmalla osalla Suomen tieverkkoa sujuvuusongelmien syynä ovat kuitenkin häiriöiden aiheuttamat ruuhkat. Tällaisten äkillisten häiriöiden aiheuttamien ruuhkien torjuminen tiedottamisen keinoin on säännöllisen ylikysyntäruuhkan torjuntaa helpompaa. Jos tieto häiriöstä tavoittaa tielläliikkujat riittävän nopeasti, heille jää aikaa tehdä reittiin, matkaan lähdön ajankohtaan ja matkustuspäätökseen liittyviä valintoja. Yllättävissä ruuhkatilanteissa matkustajan kannalta on myös tärkeää, että hän voi varautua ruuhkaan ennakolta ja ilmoittaa esimerkiksi myöhästyvänsä sovitusta tapaamisesta.

Yllättävä, ruuhkaan johtava häiriö voi tapahtua missä tahansa tieverkolla. Pahimmat ongelmat aiheutuvat luonnollisesti vilkasliikenteisimmille tienosille, mutta yksittäisen matkustajan kannalta ennakoimaton matka-ajan pidentyminen kohtuullisestikin liikennöidyillä tieosuuksilla voi aiheuttaa merkittäviä kustannuksia ja ongelmallisia tilanteita. Anturiajoneuvomenetelmän yhtenä etuna on pidetty sitä, että menetelmän avulla saadaan kerättyä tietoa periaatteessa kaikilta tieosuuksilta. Oulussa käytetyn

floating car -dataan perustuvan menetelmän ideana sen sijaan on, että tietoa kerätään tietyiltä, ennakkoon määritellyiltä tieosuuksilta. Kun tietoa ei kerrykään automaattisesti kaikilta tieosuuksilta, joudutaan Oulun mallissa käyttämään harkintaa mittauspaikkojen sijaintia määritettäessä. Floating car -järjestelmästä ei kannata tehdä päällekkäistä järjestelmää kiinteisiin mittauspisteisiin perustuvien ilmaisimien, esimerkiksi LAM-pisteiden, kanssa, sillä tutkimusten mukaan (mm. Innamaa ym. 2005, Kosonen & Pahlman 2005) menetelmistä saadaan suurin hyöty silloin, kun niitä käytetään yhdessä, toisiaan täydentävinä.

Liikenteeseen liittyvä informaatio on, kuten liikenne itsessäänkin, dynaamista, eli alati muuttuvaa. Tällaisen tiedon jakelu on oma haasteellinen tutkimusala. Tässä työssä on tarkasteltu yhtä dynaamisen liikennetiedon jakelukanavaa; internetiä. Muita mahdollisia liikennetiedon välitykseen sopivia kanavia ovat muun muassa matkapuhelimet, julkisissa tiloissa olevat digitaaliset näyttötaulut, televisio, radio ja autojen navigointilaitteet sekä ajoneuvotietokoneet.

Tässä työssä esitettiin kirjallisuuden pohjalta yleisiä tiedon visualisoinnin ja kartografian periaatteita, joita pyrittiin soveltamaan erityisesti internet-karttoihin ja liikenteeseen liittyvään informaatioon. Tarkemman tarkastelun kohteena olivat kolmella suomalaisella web-sivustolla tällä hetkellä käytössä olevat liikenteen sujuvuuskartat. Näissä kartoissa havaittuja puutteita ja niihin liittyviä parannusehdotuksia on lueteltu kappaleessa 7.2 Erityisesti karttojen väriyksessä ja tiedon luokittelussa havaittiin merkittäviä puutteita, joihin puuttumalla karttojen selkeys ja luettavuus paranisi huomattavasti.

Tämän työn tarkoituksena ei ole antaa kattavaa kuvausta liikenteeseen liittyvän tiedon visualisoinnista, vaan ennemminkin kiinnittää huomio tähän vähän tutkittuun, mutta tärkeään ja ajankohtaiseen asiaan. Erilaisissa digitaalisissa medioissa käytettävien karttojen suunnittelun tueksi on olemassa melko vähän tutkittua tietoa, erityisen vähän tietoa on saatavilla nimenomaan liikennetietokartoista. Jatkotutkimuksen arvoinen aihe olisi kaiken liikenteeseen liittyvän tiedon jakelun ja visualisoinnin kehittäminen. Liikenteeseen liittyvää informaatiota esimerkiksi häiriöistä, ruuhkista, matka-ajoista ja ajokelistä on nykyisin suhteellisen helppo kerätä. Parhaimmillaan liikennetieto voi auttaa ehkäisemään liikenneonnettomuuksia, luomaan yhteiskuntataloudellisia hyötyjä ja kustannussäästöjä, parantamaan liikenteen sujuvuutta ja lisäämään

matkustusmukavuutta. Kerätty tieto on kuitenkin hyödytöntä, mikäli sitä ei osata välittää eteenpäin tehokkaasti ja oikeita tiedonvälitystapoja hyödyntäen.

Perinteiset painetut mediat eivät ole paras tapa välittää dynaamista informaatiota. Uudet digitaaliset mediat luovat uusia mahdollisuuksia tiedon jakelulle, mutta toisaalta ne asettavat tiedon toimittajat myös uudenlaisten haasteiden eteen. Samat, painetuissa medioissa hyviksi todetut käytännöt eivät aina toimikaan sähköisissä tiedonvälityskanavissa. Digitaalisten medioiden välillä on lisäksi eroja; se mikä toimii internetissä, ei välttämättä toimikaan matkapuhelimen pienellä näytöllä tai julkisissa tiloissa näkyvillä olevassa digitaalisessa näyttötaulussa.

9 Yhteenveto

Tässä työssä on pyritty selvittämään anturiajoneuvo- eli niin sanottuun floating car -dataan perustuvan menetelmän soveltuvuutta liikennetiedon, erityisesti liikenteen matka-aikatiedon tuottamiseen. Selvitys perustuu aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen ja aikaisempiin tutkimuksiin sekä Oulun seudulta anturiajoneuvomenetelmän avulla kerätyn datan analysointiin.

Aikaisempien tutkimusten pohjalta on kartoitettu anturiajoneuvomenetelmien hyviä ja huonoja puolia sekä pyritty kuvaamaan, miten nämä ominaisuudet näkyvät Oulussa käytössä olevassa mallissa. Oulun mallin etuna on laskentatavan huomattava yksinkertaistuminen ja yksityisyydensuojaan liittyvien kysymysten poisjäänti. Heikkouksina voidaan puolestaan nähdä tarkkuuden väheneminen ja siirtyminen jatkuvas-
ta datankeruusta lähemmäs pistemäistä tiedonkeruumenetelmää.

Työssä on kuvattu Suomen liikenteellisiä erityispiirteitä, jotka aiheutuvat pääasiassa alhaisesta väestöntiheydestä ja pitkistä välimatkoista, sekä kerrottu suomalaisista liikenneneruhkista. Näiden kuvausten valossa on pohdittu anturiajoneuvomenetelmän soveltuvuutta tiedonkeruumenetelmäksi suomalaisissa liikenneolosuhteissa. Jotta anturiajoneuvomenetelmällä saataisiin luotettavia tuloksia, havaintoja on oltava riittävän suuri määrä. Erityisenä haasteena Suomessa on suhteellisen vähäinen ajoneuvokanta, joka kuitenkin jakautuu maantieteellisesti melko laajalle alueelle. Näin ollen anturiajoneuvoiksi on valjastettava joko melko suuri osuus ajoneuvokannasta tai vaihtoehtoisesti valittava sellaisia ajoneuvoja, joilla ajettavat kilometrimäärät ovat tarpeeksi suuria.

Yksi työn tutkimuskysymyksistä liittyi kerätyn tiedon jalostamiseen käyttäjän kannalta mahdollisimman hyödylliseksi liikenneinformaatioksi. Tiedon jalostaminen ja jakelu loppukäyttäjille on niin laaja tutkimusalue, että tämän työn puitteissa oli mahdollista nostaa esiin ainoastaan yksi näkökulma aiheeseen. Liikennetiedon dynaamisen luonteen vuoksi parhaat edellytykset tiedon välittämislle tarjoutuvat uusien digitaalisten medioiden kautta. Työssä on perehdytty tarkemmin yhteen tällaiseen digitaaliseen tiedonvälityskanavaan, internetiin, ja tarkemmin liikenteen sujuvuutta kuvaaviin web-karttoihin. Kirjallisuuden perusteella on koottu yhteen tiedon visualisoinnin periaatteita ja sovellettu niitä liikennetiedon esittämiseen sekä internet-sivus-

tojen karttoihin. Tarkemmin on kuvattu ja analysoitu kolmen suomalaisen internetsivuston sujuvuuskarttoja sekä esitetty tiedon visualisoinnin ja karttojen selkeyden parantamiseen tähtääviä kehitysehdotuksia.

10 Lähteet

- AINO (2007). Ajantasaisen liikenneinformaation tutkimus- ja kehittämisohjelma. Internetsivut <www.aino.info>. 21.8.2007.
- Barbier, Gilles (2005). Extending data collection using FCD – Mediamobile's experience in Paris area. EFCD Deployment Workshop, 19.10.2005, Darmstadt. Sähköisenä: <http://www.gstproject.org/efcd/download/efcd_workshop/MediaMobile_EFCD-Workshop_20051020.pdf>.
- Bishop, Richard (2004). Floating Car Data Projects Worldwide: A Selective Review. Bishop Consulting. ITS America Annual Mtg. 26.4.2004. Sähköisenä: <http://ivsresource.net/archivep/2004/apr/040426_Bishop_FloatingCarProjects.ppt>.
- Bouchier, Shane (2004). Journey Time Estimation Using Route Profiles. Dissertation. University of Dublin. 55 s.
- Byon, Young-Ji, Amer Shalaby & Baher Abdulhai (2006). GISTT: GPS-GIS Integrated System for Travel Time Surveys. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington D.C. January 2006. 16 s.
- Brakatsoulas, Sotiris, Dieter Pfoser & Nectaria Tryfona (2005). Practical Data Management Techniques for Vehicle Tracking Data. *Proceedings of the 21st International Conference on Data Engineering (ICDE 2005)*. 2 s.
- Cityrouter (2007). Internetsivut <<http://www.cityrouter.com/>>. 2.2.2007.
- Civitas Trendsetter (2005). Newsletter No 1/may 2005. 5 s. Sähköisenä: <<http://213.131.156.10/xpo/bilagor/20060102122557.pdf>>.
- Cowan, Ken & Gary Gates (2003). Floating Vehicle Data System – A Smart Move. Conference Smart Moving, ITS International. 8 s. Sähköisenä: <http://www.itisholdings.com/pdf/fvd_smart.pdf>.

- DDG (2007). DDG Gesellschaft für Verkehrsdaten mbH -internetsivut. <<http://www.ddg.de>>. 31.1.2007.
- Denant-Boèmont, L. & R. Petiot (2003). Information value and sequential decision-making in a transport setting: an experimental study. *Transportation Research Part B* 37. S. 365–386.
- Digiroad (2007). Internetsivut <<http://www.digiroad.fi/>>. 10.4.2007
- Digiroad laadunkuvaus, versio 1.2 (2006). Tiehallinto. 17 s.
- Digiroad tietolajien kuvaus, versio 1.3 (2007). Tiehallinto. 56 s.
- Eloranta, Tuomo (2007). *Oulun seudun liikennetieto. Palveluiden toiminnallinen kuvaus*. 16.3.2007
- Emmer, Nicoline N. M. (2001). Web maps and road traffic. Teoksessa Kraak, Menno-Jan & Allan Brown (toim.). *Web Cartography. Developments and Prospects*. Taylor and Francis, London. S. 159–170.
- Ettema, Dick & Harry Timmermans (2006). Costs of travel time uncertainty and benefits of travel time information: Conceptual model and numerical examples. *Transportation Research Part C* 14. S. 335–350.
- Fastenrath, Ulrich (1997). Floating Car Data on a Larger Scale. Proceedings of 4th ITS World Congress. Berlin, Germany. 10 s. Sähköisenä: <<http://www.ddg.de/pdf-dat/ddgfc.pdf>>.
- Goodchild, Michael F. (2000). GIS and Transportation: Status and Challenges. *Geoinformatica* 4(2). S. 127–139.
- Gühnemann, Astrid, Ralf-Peter Schäfer, Kai-Uwe Thiessenhusen & Peter Wagner (2004). Monitoring Traffic and Emissions by Floating Car Data. *Working Paper ITS-WP-04-07*. Institute of Transport Studies. The Australian Key Centre in Transport Management. The University of Sydney and Monash University. 19 s. Sähköisenä: <http://elib.dlr.de/6675/01/its_wp_04-07.pdf>.

Henkilötietolaki (1999). 224.4.1999/523.

Holstrøm, Charlotte (2006). Internationale erfaringer med anvendelse af GPS- eller GS-M-systemet til indsamling af rejsetider fra flåder. Trafikdage på Aalborg Universitet, 28.8.2006. Sähköisenä: <<http://www.trg.dk/td/papers/papers06/Trafikdage-2006-502.pdf>>.

Hoyle, Brian & Richard Knowles (Toim.) (2000). *Modern Transport Geography*. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, Iso-Britannia. 374 s.

Hyttinen, Jani & Markus Huhtinen (2003). GPS ja muut paikannusjärjestelmät. Virtuaali-AMK. Sähköisenä: <<http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/PaikkatietoWWW/paikannus/paikannusjarjestelmat.html>>. 4.11.2003.

Ilmonen, Mikko (2006). GPS ja GLONASS – yhteiskäyttö takaa tehokkaan mittauksen. *Maankäyttö* 1/2006. S. 34–36.

Innamaa, Satu (1999). Automaattiset liikenteenohjaus- ja liikenneinformaatiojärjestelmät. *Tielaitoksen selvityksiä 28/1999*. Tielaitos, Helsinki. 136 s.

Innamaa, Satu, Harri Koskinen, Anna Schirokoff & Mikko Tarkiainen (2005). Anturijoneuvoilla saatavan tiedon hyödyntäminen. *AINO-julkaisu* 13/2005. Helsinki. 75 s.

ITIS Holdings (2007). ITIS Holdingsin internetsivut. <<http://www.itisholdings.com>>. On-line 31.1.2007.

Junnilainen, Tiina (2001). Paikkatietojen käyttöön liittyvät oikeudelliset kysymykset. Teknillisen korkeakoulun maanmittausosastolla tehty diplomityö. 94 s.

Kalliokoski, Ari (2003). Liikenteen hallinnan keinot ja vaikutukset ruuhka-aikoina. Esiselvitys. *Tiehallinnon selvityksiä 16/2003*. 84 s.

Kauppalehti (2007). Internetsivut <<http://www.kauppalehti.fi/>>. 7.6.2007.

Kaupunkien ja kuntien liikennetieto (2007). Destia. Esiteluonnos.

- Kerner, B. S, C. Demir, R.G. Herrwitch, S. L. Klenov, H. Rehborn, M. Aleksić & A. Haug (2005). Traffic State Detection with Floating Car Data in Road Networks. Proceedings of the 8th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 13–16.9.2005. Wien, Itävalta.
- Khattak, A., A. Polydoropoulou & M. Ben-Akiva (1996). Modeling revealed and stated pretrip travel response to advanced traveler information systems. *Transportation research record* 1537. S 46–54.
- Khattak, Asad J., Youngbin Yim & Linda Stalker Prokopy (2003). Willingness to pay for travel information. *Transportation Research Part C* 11. S. 137–159.
- Killi, Marit & Hanne Samstad (2002). Travellers' valuation of traffic information with respect to trips to work. *TØI report* 620/2002. Oslo. 75 s.
- Kosonen, Iisakki & Sauli Pahlman (2005). Ajantasaisen liikennetilamallin tuottaminen floating car -datan avulla. Esiselvitys. *AINO-julkaisuja* 12/2005. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 57 s.
- Kraak, Menno-Jaan & Ferjan Ormeling (2002). *Cartography. Visualization of Geospatial Data*. 2nd Edition. Prentice Hall, Harlow, England. 205 s.
- Kuittinen, Risto (2006). Satelliittipaikannuksen kehitysnäkymiä. Maanmittaustieteiden päivät 2006 – Aina ajankohtainen maanmittausala. *Maanmittaustieteiden Seura ry:n julkaisu n:o* 43. S. 74–78.
- Kühne, Reinhart (2003). Potential of remote sensing for traffic applications. *Intelligent Transportation Systems, 2003. Proceedings*.
- Kuvaja, Kari, Pasi Heikkilä, Sampo Hietanen, Tuomo Eloranta, Riitta Kerola, Mari Sipilä, Ilmari Sikander, Petri Ellmen, Timo Perälä, Juha Raappana, Risto Mäki, Petri Mononen, Tuomo Ojakoski, Tuomo Vesajoki, Olli-Pekka Soini (2006). Oulun seudun liikennetieto, OLLI. *AINO-julkaisuja* 25/2006. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 49 s.
- Kähkönen, Ari & Satu Innamaa (2006). Matka-aikatiedon hankinta. Esiselvitys. Tiehallinto. *Sisäisiä julkaisuja* 2/2006. Edita Prima Oy, Helsinki. 34 s.

- Laakso, Juha, Kimmo, Ylisiurunen, Mika Varjola & Ismo Lehtinen (2005). FCD-menetelmä ajantasaisen liikenneinformaation tuottamisessa, väliraportti (vaihe 1). FCD-INFO. *AINO-julkaisuja 19/2005*. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 35 s.
- Liikenne ja väylät I* (2005). RIL 165-1. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y. Otavan Kirjapaino Oy, Helsinki. 580 s.
- Lorkowski, Stefan, Peter Mieth & Ralf-Peter Schäfer (2005). New ITS applications based on Floating Car Data. Young Researchers Seminar 11–13.5.2005. Haag, Alankomaat.
- Lyhyen ajan ennusteet liikennetiedotuksen osana (2001). *Tiehallinnon selvityksiä 73/2001*. Tiehallinto. Oy Edita Ab, Helsinki. 30 s.
- Malchow, Matthew, Adib Kanafani & Pravin Varaiya (1996). The Economics of Traffic Information: A State-of-the-Art Report. *California PATH Working Paper*. UCB-ITS-PWP-96-16. California PATH Program, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley. 25 s.
- Mannila, Marko (2007). Galileo-satelliitin rakentajilla kiire saada aikaan sopimus. *Digitoday* 9.5.2007. <http://www.digitoday.fi/page.php?page_id=9&news_id=200711241>.
- Markkula, Jouni (2003). Geographic Personal Data, its Privacy Protection and Prospects in a Location-Based Service Environment. *Jyväskylä Studies in Computing 30*. Jyväskylä University Printing House, Jyväskylä. 109 s.
- Mattila, Heli (2004). *Linkkikohtaisen liikennetilanteen ajantasainen arviointi*. Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja ympäristötekniikan osastolla tehty diplomityö. 143 s.
- Miller, Harvey J. & Shih-Lung Shaw (2001). *Geographic Information Systems for Transportation. Principles and Applications*. Spatial Information Systems. Oxford University Press, New York, U.S.A. 458 s.

- Monmonier, Mark (1996). *How to Lie with Maps*. 2nd Edition. The University of Chicago Press, Chicago. 207 s.
- NCHRP Synthesis 301 (2002). *Collecting, Processing and Integrating GPS Data into GIS*. A Synthesis of Highway Practice. National Cooperative Highway Research Program. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A. 64 s.
- NCS (2006). e-Services@ONE.MOTORING. Sähköisenä <<http://www.ncs.com.sg/documents/LTAoneMotor.pdf>>.
- Nokia (2006). Nokia Oyj:n internetsivut. <<http://www.nokia.fi/puhelimet/teknologiat/gprs/>>. On-line 22.12.2006.
- Noronha, Val & Richard L. Church (2002). *Linear Referencing and Other Forms of Location Expression for Transportation*. California Department of Transportation. Testbed Center for Interoperability. Task Order 3021. Final Report. Vehicle Intelligence & Transportation Analysis Laboratory. University of California, Santa Barbara. 25 s.
- Nowakowski, Christopher, John Lenneman, Mark Kojima & Paul Green (1999). The Development of Traffic-Information Web-Site-Design Guidelines. *Technical Report UMTRI-99-30*. The University of Michigan, Transportation Research Institute (UMTRI). Ann Arbor, Michigan, USA. 106 s.
- Nuernbergverkehr (2007). Internetsivut <<http://www.nuernbergverkehr.de/>>. 2.2.2007.
- One.Motoring (2007). Internetsivut <<http://www.onemotoring.com.sg>>. 2.2.2007.
- Oulun liikenne (2007). Internetsivut <<http://www.oulunliikenne.fi/lvtila.php?os=sujuvuus&kieli=fi>>. 24.5.2007.
- Paikkatietotekniikan sanasto (2006). <<http://www.nls.fi/ptk/pyk-kasikirja/sanasto/sanasto.html>>. On-line 17.1.2006.

- Pennanen, Jukka (2003). Liikenteen automaattisten mittapisteiden (LAM) tiedon siirtäminen TETRA teknologian avulla. *Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja* 46/2003. Oy Edita Ab, Helsinki. 20 s.
- Pfoser, Dieter, Nectaria Tryfona & Agnès Voisard (2006). Dynamic Travel Time Maps – Enabling Efficient Navigation. Proceedings of the 18th International Conference on Scientific and Statistical Database Management (SSDBM'06).
- Poutanen, Markku (1998). GPS-paikanmäärittäminen. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa. *Ursan julkaisuja* 63. Karisto Oy, Hämeenlinna. 269 s.
- Poutanen, Markku (2007). *Satelliittipaikannus*. Kirjaluonnos. 197 s. <<http://www.fgi.fi/~mp/tiedostot/gpskirja.pdf>>.
- Rantanen, Pekka (2004). *Kvantitatiivinen metodologia verkossa. Perusteiden kertaus*. Helsingin yliopisto. <<https://www.edu.helsinki.fi/svy/kvanti/index.html>>.
- Quan, Yu, Rong Jian & Liu Xiao-ming (2006). *Floating Vehicle Data Detection System in Beijing*. Intelligent Vehicles Symposium 2006, 13–15.6.2006, Tokio, Japani.
- Quiroga, Cesar A. (2000). Performance measures and data requirements for congestion management systems. *Transportation Research Part C* 8. S. 287–306.
- Raekallio, Matti (2002). Tierekisterin osoitejärjestelmä. Tiehallinto. 15 s.
- Rainio, Antti (2003). Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. *Teknologiakatsaus* 143/2003. TEKES. Tammer-Paino Oy, Tampere. 76 s.
- Rämä, Pirkko, Juuso Kummala, Anna Schirokoff & Harri Hiljanen (2003). Tieliikennetiedotus. Esiselvitys. *FITS-julkaisuja* 21/2003. Liikenne- ja viestintäministeriö. Helsinki. 81 s.
- Schwartz, John (2003). This Car Can Talk. What It Says May Cause Concern. *The New York Times*. Sähköisenä: <<http://www.nytimes.com/2003/12/29/techno->

logy/29car.html?ex=1388120400&en=2f5cd4f9ea97401e&ei=5007&partner=USERLAND>. Julkaistu 29.12.2003.

Schäfer, Ralf-Peter (2005). *Real-time Floating Car Data. A data source generating TMC messages*. TMC Workshop, Beijing, April 5, 2005. Sähköisenä: <http://www.its-europe.org/download/dynasty_documents/workshop%20april%2005/DLR-Schaefer.pdf>.

Schönberg, Kalle (2007). Venäjä kirii Euroopan ohi satelliittipaikannuksessa. Digitoday 21.3.2007.

Siltala, Silja (2006). *Joukkoliikenne verkostokaupungissa*. Esitelmä Elinympäristö ja yhdyskuntasuunnittelu -seminaarissa 14.9.2006, Helsinki.

Simojoki, Samuli (2002). *Positioning technology: Current Regulatory Framework*. NAVI-programme report. Helsinki Institute for Information Technology (HIIT), Helsinki. 98 s.

Slocum, Terry A., Robert B. McMaster, Fritz C. Kessler & Hugh H. Howard (2005). *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. 2nd Edition. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 518 s.

Sovocool, Daniel R. (2000). GPS: Charting New Terrain: Legal Issues Related to GPS-Based Navigation and Location Systems. Sähköisenä: <<http://www.thelen-reid.com/index.cfm?section=articles&function=ViewArticle&articleID=443#009>>. Päivitetty 17.4.2000.

StatFin -tilastopalvelu (2007). <<http://statfin.stat.fi/StatWeb/start.asp?LA=fi&lp=home>>. On-line 29.1.2007.

TCRP Synthesis 55 (2004). *Geographic Information Systems Applications in Transit*. Transportation Research Board, Transit Cooperative Research Program. Washington D.C., U.S.A. 60 s.

- Tervo-Pellikka, Raija (2002). Paikannettujen palveluiden toimintamallit ja yleiset tietosuojaedellytykset. Navi Säädöspuitteet -projektin raportti. Helsinki Institute for Information Technology (HIIT). 43 s.
- Thill, Jean-Claude (2000). Geographic information systems for transportation in perspective. *Transportation Research Part C* 8 (1-6). S. 3–12.
- Thompson, Elisabet (2003). Integrating PDA, GPS and GIS technologies for Mobile Traffic Data Acquisition and Traffic Data Analysis. Master Thesis in Mobile Informatics. IT University of Göteborg. Göteborg. 31 s.
- Tiehallinto (2005). RDS-TMC -palvelun kuvaus ja julkisrahoitteisesta palvelusta luopumisen perustelut. Muistio 30.6.2005, Tiehallinto.
- Tiehallinto (2007). Internetsivut <<http://alk.tiehallinto.fi/alk/frames/liikenne-frame.tml>>. 7.6.2007.
- TMC Handbook (2003). Location Coding Handbook. Version 07 – draft 03. 3.2.2003. TMC Forum.
- Tokola, T., J. Soimasuo, A. Turkia, A. Talkkari, R. Store & J. Uuttera (2000). Metsät paikkatietojärjestelmissä. *Silva Carelica* 33. University of Joensuu. 111 s.
- Tokola, Timo & Kalliovirta Jouni (2003). Paikkatietoanalyysi. *Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja* 34. Helsinki. 185 s.
- Tong, Daoqin (2004). Deriving Transportation Information from GPS Probe Vehicle Data Integrated with a GIS. A Thesis. The Ohio State University. 104 s.
- Tong, Daoqin, Carolyn J. Merry & Benjamin Coifman (2006). Traffic Information Deriving Using GPS Probe Vehicle Data Integrated with GIS. GIS for Transportation Symposium, 27–29.3.2006. Columbus, Ohio, U.S.A.
- Toppen, Alan & Dr. Karl Wunderlich (2003). Travel Time Data Collection for Measurement of Advanced Traveler Information Systems Accuracy. U.S. Department of Transportation. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office. Mitretek Systems. Falls Church, Virginia, U.S.A.

- Transport Telematics. Developments and Success Stories in Germany* (2004). Federal Ministry of Transport, Building and Housing. 90 s.
- Tuohinen, Petteri (2007). Galileo-paikannusjärjestelmälle lisää julkista rahoitusta. *Helsingin Sanomat*, HS.fi. 9.5.2007.
- Tuominen, Sakari (2000). MARV1 Kartanpiirustuskurssi, opetusmoniste. Helsingin yliopisto, maatalous- metsätieteellinen tiedekunta, metsänarvioimistiede.
- Turksma S. (2000). The Various Uses of Floating Car Data. *10th International Conference on Road Transport Information and Control, Conference Publication No. 472*.
- Turner, Shawn M., William L. Eisele, Robert J. Benz & Douglas J. Holdener (1998). *Travel Time Data Collection Handbook*. Federal Highway Administration, Washington DC, U.S.A. 348 s.
- Vauxhall (2007). Internetsivut <<http://www.vauxhall.co.uk/vx/travelandleisure/traffic-net.do?method=loadTrafficNet>>. 6.8.2007.
- Viauroux, Christelle (2007). Structural estimation of congestion costs. *European Economic Review* 51. S. 1–25.
- Wickens, Christopher D. & Justin G. Hollands (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. 3rd Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 573 s.
- Van den Worm, Jeroen (2001). Web map design in practice. Teoksessa Kraak, Menno-Jan & Allan Brown (toim.). *Web Cartography. Developments and Prospects*. Taylor and Francis, London. S. 87–107.
- Yang, Jiann-Shiou (2005). *Duluth Entertainment Convention Center (DECC) Special Events Traffic Flow Study: Phase II Mobility Monitoring and Performance Measure via Dynamic Travel Time Prediction*. Intelligent Transportation Systems Institute, Center for Transportation Studies, University of Minnesota. 45 s. < <http://www.cts.umn.edu/pdf/CTS-05-09.pdf>>. On-line 11.1.2007.

YTV (2007). Internet-sivut <<http://www.ytv.fi/fin/ilmanlaatu>>. 3.8.2007.

Zhang, Wang (2006). *Freeway Travel Time Estimation Based on Spot Speed Measurements*. Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. 114 s.

Zhang, Zhaohui, Changjun Jiang & Yu Fang (2005). Road Situation Modeling and Parallel Algorithm Implementation with FCD Based on Principle Curves. *Proceedings of the Eighth International Conference on High-Performance Computing in Asia-Pacific Region (HPCASIA'05)*.

Zito, R., G. D'Este & M.A.P. Taylor (1995). Global positioning systems in the time domain: How useful a tool for intelligent vehicle-highway systems? *Transportation Research C* 3 (4). S. 193–209.