



DigiTraffic - Liikenteen mallinnus- ja palvelujärjestelmä Esiselvitys



**DigiTraffic -
Liikenteen mallinnus- ja palvelujärjestelmä**

Esiselvitys

ISBN 951-723-891-6
FITS-julkaisu 30/2004
Helsinki 2004

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) Iisakki Kosonen / Teknillinen korkeakoulu, Liikenne-laboratorio Risto Kulmala, Raine Hautala / Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		Julkaisun laji	
		Toimeksiantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	
		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi DigiTraffic - Liikenteen mallinnus- ja palvelujärjestelmä, esiselvitys			
<p>Tiivistelmä</p> <p>DigiTraffic on Teknillisen korkeakoulun alulle panema tutkimushanke, joka liittyy liikenteen mallinnukseen ja liikennetelematiikan palveluihin. Ensimmäisenä tavoitteena on tuottaa ensistä parempia liikennetelematiikan palveluja liikenteen mallinnusta hyväksi käyttäen. Toissijainen tavoite on yleisesti edistää liikenteen mallinnuksen kehittämistä käyttäen hyväksi liikennetelematiikan tarjoamia uusia välineitä.</p> <p>DigiTraffic käsitteenä on kokonaisvaltainen liikenteen mallinnusjärjestelmä, joka yhdistää erityyppisistä järjestelmistä saatavia liikenteen mittaustietoja. Mallinnusjärjestelmä on ns. tilaestimaattori, joka luo kokonaisvaltaisen mallin liikennetilanteesta yhdistämällä mittaustiedot liikenteen yleisiin lainalaisuuksiin ja kuvaukseen tarkasteltavan kohteesta. Liikennetilannemallin avulla voidaan laskea mitä erilaisimpia tunnuslukuja ja ennusteita liikenteen sujuvuudesta, palvelutasosta, turvallisuudesta, taloudellisuudesta ja ympäristövaikutuksista.</p> <p>DigiTrafficin tunnusluvut säilytetään avoimessa tietokantajärjestelmässä eli eräänlaisessa liikenteen tietopankissa. Tietopankki sisältää liikennejärjestelmästä yksityiskohtaisen tietomallin, johon liikenteen tunnusluvut kytketään. Tietomalliin integroidaan myös erilaisia laskentamalleja kuten mm. simulointia, neuroverkkoja ja sumeaa logiikkaa, joiden avulla raakadataa jalostetaan liikenteen tunnusluvuiksi ja palveluiksi. Kokonaisuutena kyseessä on eräänlainen liikenteen tietotehdas, jonka varaan voidaan perustaa liikennetelematiikan palveluja sekä edistää kokonaisvaltaista liikenteen ohjausta ja hallintaa.</p> <p>DigiTraffic-tutkimushanke koostuu kolmesta perusosasta, joita ovat esiselvitys, laboratoriotutkimukset ja pilottihankkeet. Tässä esiselvitysraportissa mm. määritellään DigiTraffic-konseptia ja selvitetään tutkimushankkeen tavoitteita. DigiTrafficia tarkastellaan myös teknisenä järjestelmänä, jonka rakennetta, toimintaa ja toteuttavuutta selvitetään yleisellä tasolla. Pilottitoteutukset ja laboratoriotutkimukset ovat myös osa DigiTraffic-tutkimusohjelmaa, mutta eivät kuulu esiselvitysprojektin piiriin, vaikkakin raportissa viitataan useisiin DigiTrafficiin kuuluvien projektien tuloksiin.</p> <p>Teknillinen korkeakoulu on tehnyt tätä esiselvitysraporttia yhteistyössä VTT:n rakennus- ja ympäristötekniikan osaston kanssa. Esiselvitysprojektin aikana on myös käyty lukuisia keskusteluja liikennetelematiikan eri osapuolten välillä. DigiTraffic-työpaja järjestettiin vuosina 2002-2003 kolme kertaa. Tässä raportissa kootaan yhteen eri osapuolten näkemyksiä DigiTraffic-järjestelmän kehittämisestä.</p>			
Avainsanat (asiasanat) Liikenteen mallinnus, liikennetelematiikka, liikenteen palvelut			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero FITS-julkaisuja 30/2004		ISSN	ISBN ISBN 951-723-891-6
Kokonaissivumäärä 109	Kieli suomi	Hinta	Luottamuksellisuus julkinen
Jakaja VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		Kustantaja Liikenne- ja viestintäministeriö	

Authors (from body, name, chairman and secretary of the body) Isakki Kosonen / Helsinki University of Technology, Transportation Engineering Risto Kulmala, Raine Hautala / Technical Research Center of Finland, Building and Transport		Type of publication	
		Assigned by Ministry of Transport and Communications	
		Date when body appointed	
Name of the publication DigiTraffic - On-line Traffic Modeling for Telematic Services, Feasibility Study			
Abstract <p>DigiTraffic is a research program initiated by the Helsinki University of Technology and it is related to traffic modeling and transport telematics. The main goal is to improve the services in transport telematic by using traffic modeling. A secondary objective is to develop traffic modeling in general by means of transport telematics.</p> <p>DigiTraffic is a concept is a modeling system, which gathers on-line traffic data (samples) from multiple sources and by using various techniques. The modeling system is a so called state estimator, which provides a comprehensive model of the traffic situation by combining the measurement data with general traffic behaviour and with the properties of the monitored site. With appropriate traffic situation model, it is possible to compute all kind of traffic indicators representing the traffic fluency and safety as well as economical and environmental aspects.</p> <p>The DigiTraffic indicators are kept in an open database system, i.e. in a sort of data bank of traffic information. The data bank involves a detailed data model of the traffic system, in which all traffic indicators are attached with. Various computational models are also integrated into the data model including simulation, neural network and fuzzy logics by which the raw measurement data is refined into traffic indicators and services. As a whole the question is about data factory of the traffic system, which provides basis for telematic services and for improving traffic management and control.</p> <p>The whole DigiTraffic-program is composed of the feasibility study, laboratory research and pilot systems. In this feasibility study the concept of DigiTraffic is defined, the goals of the project are clarified and the feasibility of the system is assessed. The structure and functioning of the system is outlined in general level. In this feasibility study the results of recent or ongoing DigiTraffic-projects are referred. These projects are not part of feasibility study project, but part of the actual DigiTraffic-research program.</p> <p>This feasibility study report has been written in co-operation with the Technical research center of Finland. Several meetings and discussions between related parties were held during the feasibility study. Three workshops were organized during 2002-2003 for discussion about DigiTraffic issues. The DigiTraffic-project has been granted European Community financial support in the field of Trans-European Networks - Transport.</p>			
Keywords			
Miscellaneous			
Serial name and number FITS publications 30/2004		ISSN	ISBN ISBN 951-723-891-6
Pages, total 109	Language Finnish	Price	Confidence status Public
Distributed by VTT Building and Transport		Published by Ministry of Transport and Communications	

ESIPUHE

DigiTraffic-hankkeen taustalla on ollut pitkäaikainen tutkimustyö liikenteen mallinnuksen ja liikennetelematiikan saralla sekä toisaalta ajankohtainen tarve tuottaa uusia liikenteen palveluja. Esiselvityksen tavoitteena on ollut selkiyttää DigiTraffic-konseptia sekä kartoittaa laskennallisen mallinnuksen tarjoamia mahdollisuuksia liikennetelematiikan järjestelmissä ja palveluissa.

Selvityksen tilaajana on ollut liikenne- ja viestintäministeriö. DigiTraffic-esiselvitys on tehty Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorion toimesta yhteistyössä VTT:n rakennus- ja yhdyskuntatekniikan kanssa. Selvityksen ovat kirjoittaneet TkT Iisakki Kosonen TKK:lta sekä TkT Risto Kulmala ja DI Raine Hautala VTT:ltä. Raportin ovat tarkastaneet TkT Tapio Luttinen ja DI Matti Kokkinen.

Sekä esiselvitystyötä että DigiTraffic-hankkeen varsinaisesta toteutusta ovat tukeneet Liikenne- ja viestintäministeriön lisäksi mm. Tiehallinto, Tieliikelaitos sekä Tampereen kaupunki.

Selvityksen tekemiseen on saatu Euroopan unionin liikenteen perusrakenteen kehittämiseen tarkoitettua TEN-T (Trans-European Networks-Transport) -rahoitusta.

Espoossa, helmikuussa 2004

Iisakki Kosonen

SISÄLTÖ

ESIPUHE	5
1 JOHDANTO	9
1.1 Liikenteen seurannan ja hallinnan haasteet	2
1.2 DigiTraffic-hankkeen tavoitteet	11
1.3 Esiselvityksen tavoitteet ja laajuus	11
1.4 DigiTraffic-hankkeen taustaa	12
2 DIGITRAFFIC-PERUSPERIAATTEET	15
2.1 Liikennetelematiikka ja DigiTraffic	15
2.2 Liikenteen mallinnukseen perustuva palvelujärjestelmä	18
3 LIIKENNEVERKON TILAN MALLINTAMINEN	23
3.1 Liikenneverkon tilan arviointi anturitietojen perusteella	23
3.11 Anturitietojen käsittely	23
3.12 Liikenteen sijoittelu analyttisten mallien avulla	24
3.13 Liikenteen sijoittelu simulointimalleilla	25
3.14 Liikenteen sijoittelu tietämystekniikan ja peliteorian avulla	26
3.15 Mallien vertailu	26
3.2 Liikenneverkon tilan ennustaminen	27
3.21 Sijoittelu ja simulointi	28
3.22 Kalman-suodatus	29
3.33 Neuroverkot ja sumea päättely	31
3.34 Muita neuroverkkomalleja	31
3.3 Linkkikohtaisen liikennetilanteen ajantasainen arviointi	32
4 SIMULOINTI	34
4.1 DigiTraffic ja simulointi	34
4.2 Ajantasainen liikennetilanteen mallinnus	37
4.21 Ajantasaisen simulointimallin kehittäminen	37
4.22 Ajantasainen simulointi liikennetietopalvelujen tuottamisessa	40
4.23 Ajantasainen simulointi liikennevalojen ohjauksessa	41
4.24 Soluautomaatti liikennetilanteen mallinnuksessa	43
4.3 Simulointi liikennetilanteen ennustamisessa	44
4.4 Ajantasainen simulointi vaikutusten arvioinnissa	46
4.5 Mallinnusmenetelmien arviointi simuloidulla liikenteellä	47
4.6 Simulointimallinnuksen automatisointi	49

5	TIEDONKERUU	52
5.1	Järjestelmät	52
5.2	Tiedonsiirto ja rajapinnat	56
5.3	Muut edellytykset	60
6	TIEDON HALLINTA JA TIETOMALLIT	61
6.1	Mittausaineiston hallinta	62
6.2	Liikennejärjestelmän tietomalli	63
6.3	Liikennetilanteen ja tunnuslukujen esittäminen	67
6.4	Liikenteen ajantasaisen tietokantamallin suunnittelu	69
7	PALVELUT JA SOVELLUKSET	72
7.1	Tiedonkeruu- ja hallintajärjestelmät	73
7.2	Liikenteen tiedotus	74
7.3	Liikenteen ohjaus	75
7.4	Kysynnän hallinta	77
7.5	Kaluston ja kuljetusten hallinta	77
7.6	Häiriönhallinta	78
7.7	Kuljettajan tukijärjestelmät	78
7.8	Valvontajärjestelmät	78
7.9	Yhteenveto DigiTraffic:n hyödyntämisestä liikenteen palveluissa	78
8	PÄÄTELMÄT	81
9	JATKOTOIMET	84
9.1	Tutkimusyhteistyö	84
9.2	Pilottihankkeet	84
9.3	DigiTraffic-tutkimuslaboratorio	86
9.4	DigiTraffic-järjestelmän varsinainen toteutus	88
10	LÄHTEET	90
	LIITTEET	96

1 JOHDANTO

1.1 Liikenteen seurannan ja hallinnan haasteet

Tieliikenteen ongelmat ovat kasvamassa koko ajan myös Suomessa asutuksen ja työpaikkojen yhä enemmän keskittyessä suuriin taajamiin. Kansantaloudelliset menetykset koostuvat mm. menetetyistä työ/vapaa-ajasta, yleisen palvelutason laskusta, sekä ympäristöhaitoista ja turvallisuusongelmista. Liikenteen ruuhkautumisen ongelmia korostaa se, että liikenteessä kysyntä vaihtelee voimakkaasti tarjonnan pysyessä melko vakiona. Kysynnän tasaisempaa jakautumista ajallisesti ja paikallisesti sekä eri kulkumuodoille voidaan tukea tekemällä liikennejärjestelmä käyttäjilleen mahdollisimman läpinäkyväksi. Mahdollisuuksia tähän tarjoavat kehittyneet mallinujärjestelmät yhdessä tieto- ja viestintäteknikan kanssa.

Tieto- ja viestintäteknikan menetelmiä soveltamalla liikenteestä voidaan kerätä riittävä määrä näyttöä, joista erilaisten laskentamenetelmien avulla voidaan tuottaa ajantasainen liikennetilannemalli sekä lyhyen aikavälin ennustemalleja. Liikennemalli tekee liikennejärjestelmästä läpinäkyvän, koska vallitseva liikennetilanne voidaan esittää suu- ralle joukolla käyttäjiä erilaisten päätelaitteiden kautta.

Mm. pääkaupunkiseudun liikenteen seurantajärjestelmää aiotaan voimakkaasti kehittää lähivuosina. Tässä yhteydessä olisi hyvä ottaa huomioon eri liikennemuodot ja organisaatorajat ylittävä liikenteen mallinujärjestelmän kehittäminen. Liikenteen kokonaisuuden tulisi yhdistää yksityisautoilun, joukkoliikenteen ja tavaraliikenteen tiedot yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Liikennepalvelujen loppukäyttäjän ja asiakkaan ei ole aihetta miettiä sitä, mikä organisaatio vastaa kunkin tiedon keräämisestä ja tuottamisesta. Käyttäjälle koko liikennemallin ja siihen perustuvien palveluiden tulisi näyttäytyä yhtenäisenä johdonmukaisena kokonaisuutena, jota on mahdollisimman helppo käyttää.

Rautatie- meri- ja ilmaliikenteessä eräänlainen DigiTraffic-ajattelu eli ajantasainen liikenteen seuranta ja liikennetilanteiden mallinnus ovat yleensä välttämätön osa toimintaa jo pelkästään turvallisuussyistä. Tieliikenteen osalta tilanne on toisenlainen ja heterogeenisempi. Vain pieni osa tieliikenteestä kuuluu jonkinlaisen kaluston seurannan piiriin ja suurimmasta osasta saadaan tietoa muilla mittausmenetelmillä kuten esim. ilmaisilaitteilla.

Kaupunkien joukkoliikenteessä on erilaisten matkustajainformaatio-palvelujen tuottaminen vaatii ajantasaista kaluston seuranta. Myös taksiliikenne kuuluu tilausjärjestelmänsä vuoksi ajantasaisen seurannan piiriin. Julkisen liikenteen osalta on siis jo olemassa edellytyksiä DigiTraffic-järjestelmälle.

Tavarankuljetusliikenteen seurannassa yrityksillä on käytössään erilaisia paikannusjärjestelmiä. Yritysten seurantajärjestelmät tuottavat liikennetietoa lähinnä kuljetuskalus-

ton osalta, mutta tietoja ei käytetä hyväksi yleisessä liikenteen seurannassa eikä liikennetilanteiden ajantasaisessa mallinnuksessa. Raskaan kaluston seuranta on myös oleellinen osa DigiTraffic-mallinnuskonseptia, mutta varsinainen tavaraliikenne jää hankkeen ulkopuolelle.

Yleisesti ottaen suuntaus on se, että yhä suurempaa osaa yksittäisistä tiellä liikkuvista ajoneuvoista voidaan seurata. Tämä pätee erityisesti julkiseen liikenteeseen ja yritysten kalustoon. Yksityisautojen kohdalla tilanne sen sijaan on toisenlainen. Yksityisajoneuvoista saadaan tietoa lähinnä mittausasemien kohdalla, mutta ajoneuvoja ei voida seurata. Tilanne tosin tulee mitä todennäköisimmin muuttumaan, eli tulevaisuudessa kasvava osa myös yksityisautoista siirtynee jonkinlaisen anonyymisti toteutetun ajantasaisen seurannan piiriin.

Suurin ongelma liikenteen seurannassa ja mallinnuksessa on ajantasaisen liikennetiedon hajanaisuus ja puutteellisuus. Järjestelmät ovat suljettuja ja keräävät tietoa vain tiettyä tarkoitusta varten. Esimerkiksi liikennevalo-järjestelmistä ei helposti saada ajantasaista mittaustietoa liikenteestä. Vaikka ilmaisimia on usein runsaasti, niitä käytetään vain valo-ohjaustoimintoihin. Toinen keskeinen ongelma on että varsinaisia liikenteen mittausasemia (mm. LAM) on vielä toistaiseksi melko vähän ja niistä ei vielä yleensä saada tietoa ajantasaisesti. Suunnitelmat mittauspisteverkon laajentamiseksi ja tiedon keruun ajantasaistamiseksi ovat kuitenkin jo olemassa (*Tiehallinto 2002*).

Liikenteestä saadaan mittaustietoja poikkileikkauksittain (ilmaisimet) ja pitkittäissuunnassa (paikannus, matka-aikamittaukset). DigiTraffic-mallinnusjärjestelmän tarkoituksena on yhdistää eri tyyppiset mittaustiedot kokonaisuudeksi. Liikennemallin on oltava riittävän ”älykäs”, jotta se pystyy estimoimaan ja yleistämään liikennetilannetta mitausten välillä. Laskennallinen malli mm. estimoii liikennetilannetta mittausasemien ja mittaustietojen välillä.

Liikennejärjestelmästä puuttuu selkeä tietoinfrastruktuuri. Teiden, katujen ja rakennusten suunnittelussa tietomallit ovat jo yleisesti käytössä olevia menetelmiä. Tietomallit ovat tätä päivää myös kaupunkisuunnittelussa ja yhdyskuntasuunnittelussa. Suurimmista kaupungeista on jo olemassa varsin yksityiskohtaisia 3D-tietomalleja, joilla yhdyskuntarakennetta voidaan visualisoida. Myös DIGIROAD tuo tie- ja katuverkon esittämiseen yhtenäisen tietomallin. Toistaiseksi näistä tietomalleista puuttuu kuitenkin dynaaminen aspekti, jonka avulla malleissa voitaisiin esittää liikennetilanteita ja liikenteen tunnuslukuja sekä niiden muutoksia ja ennusteita.

1.2 DigiTraffic -hankkeen tavoitteet

DigiTraffic viittaa sanana digitaaliseen liikenteeseen eli liikennettä esittävään malliin. DigiTraffic-hanke pitää sisällään kolme eri asiaa, joihin sanalla DigiTraffic voidaan tässä raportissa viitata:

DigiTraffic-konsepti on käsitelmä siitä miten mallintamista sovelletaan liikenteen hallinnan ja liikennetelematiikan ongelmiin.

DigiTraffic-tutkimusohjelma Teknillisen korkeakoulun vetämä tutkimushanke, johon liittyy useita eri liikenteen mallinnukseen, ohjaukseen ja telematiikkaan liittyviä projekteja.

DigiTraffic-järjestelmä viittaa tekniseen toteutukseen, jossa on sovellettu DigiTraffic-konseptia.

Tämän esiselvityksen tavoitteena on mm. selventää DigiTraffic-konseptia, antaa yleiskuva DigiTraffic-tutkimusohjelmasta ja luoda suuntaviivoja DigiTraffic-järjestelmän toteuttamiselle.

DigiTraffic-tutkimusohjelman tavoitteena on suorittaa tutkimusta, joka edistää DigiTraffic-järjestelmän toteuttamista. Tutkimuksellisenä tavoitteena on myös kehittää liikenteen mallinnusta käyttäen hyväksi liikennetelematiikan keinoja. Teknillisen korkeakoulun tavoitteena on ennen kaikkea tutkimus, eikä varsinaisen DigiTraffic-järjestelmän toteuttaminen. Tutkimuksen piiriin kuuluvat mm. esiselvitys, laboratoriotutkimukset ja pilottijärjestelmät.

DigiTraffic-järjestelmän tavoitteena on tuottaa entistä parempia liikennetelematiikan palveluja erilaisia mallinnusmenetelmiä hyväksi käyttäen. DigiTraffic-järjestelmän ajatuksena on yhdistää eri tyyppistä mittaustietoa yhtenäiseksi mallinnusjärjestelmäksi, joka luo pohjan liikennetelematiikan palveluille.

1.3 Esiselvityksen tavoitteet ja laajuus

Liikennemallin kehittäminen ja siihen liittyvä tutkimus vaatii laaja-alaista yhteistyötä eri osapuolten kesken. Tämän vuoksi työ aloitetaan esiselvityksellä, jossa aluksi kartoitetaan liikennemallinnuksen nykytilaa ja siihen liittyviä ongelmia. Esiselvitystyössä haastatellaan liikennetelematiikan eri osapuolia sekä selvitetään, mitä tarpeita ja odotuksia liittyy liikenteen seurannan ja hallinnan kehittämiseen ja mitä ratkaisuja liikenteen mallinnus voi tarjota.

Esiselvityksessä kehitellään eteenpäin DigiTraffic-peruskonseptia ja ajatusmallia. Ensimmäisessä esiselvitystyössä hahmotellaan tieto- ja laskentamalleja liikennetilanteiden esittämiseen ja liikenteen tunnuslukujen tuottamiseen. Laskenta- ja simulointimenetelmien käyttöä mittaustietojen täydentämiseksi ja tunnuslukujen muodostamiseksi tutkitaan teoreettisesti ja simulointikokein. Mallien automaattista optimointia ja kalibrointia käsitellään myös hieman.

Tiedonkeruu- ja seurantajärjestelmistä saatavan tiedon integroimista DigiTraffic-malliin selvitetään nykyisiä ja tulevaisuuden mittausmenetelmiä ajatellen. DigiTraffic-mallijärjestelmä pyritään suunnittelemaan eri mittausmenetelmistä riippumattomaksi.

Tekniseltä kannalta esiselvitystyössä suunnitellaan järjestelmään tarvittavia peruskomponentteja, toiminnallisia kokonaisuuksia ja niiden välisiä yhteyksiä. Samalla arvioidaan mitä vaatimuksia järjestelmän toteuttaminen käytännössä asettaa mm. mittausinfrastruktuurille.

DigiTraffic-liikennemalliin perustuvia palveluita ja sovelluksia kartoitetaan sekä arvioidaan palvelujen hyödyllisyyttä ja tarpeellisuutta käyttäjille. Yksi keskeinen sovellus on liikenteen ohjaus ja sen parantaminen DigiTraffic-mallinnusjärjestelmään perustuen. Liikennetelematiikkapalvelujen ansaintalogiikkaan ja asiakkaiden maksuhalukkuuteen ei erityisesti paneuduta tässä selvityksessä.

1.4 DigiTraffic-hankkeen taustaa

DigiTraffic-hankkeen ja esiselvityksen painopiste on liikenteen digitaalisessa mallintamisessa. DigiTraffic-hanke perustuu sen taustalla olevaan pitkäaikaiseen tutkimustyöhön, josta suurin osa on tehty ja tehdään TKK:lla, mutta DigiTraffic-sateenvarjon alle kuuluu tutkimushankkeita myös TKK:n ulkopuolelta (*kuva 1.*). Esiselvityksessä viitataan mm. seuraaviin tutkimusprojekteihin, jotka ovat osa DigiTraffic-hanketta.

- Alueellinen liikennevalo-ohjaus sumealla logiikalla (*Nevala & Kosonen 2004*)
- Liikenteen mittauksen ja mallinnuksen systematiikka (*Hämäläinen 2003*)
- Liikenteen ajantasaisen paikkatietomallin suunnittelu (*Arjamaa 2003*)
- Linkkikohtaisen liikennetilanteen ajantasainen arviointi (*Mattila 2003*)
- Neuroverkkotutkimukset VTT:llä (*Innanaa 2002*)
- Liikennevalojen simulointi ajantasaisella liikennetiedolla (*Jokinen 2003*)
- Automaattiset kalibrointiprosessit (*Aalto 2001, Remy & Chabredier 2002*)
- Liikennetilanteiden visualisointi (*Laitinen et al 2004*)

TKK:lla on pitkäkö perinne liikenteen simuloinnin ja valo-ohjauksen tutkimus- ja kehitystyöstä. DigiTraffic-esiselvityksessä pyritään hyödyntämään useissa eri tutkimusprojekteissa saatuja kokemuksia. HUTSIM-simulaattorin kehitystyössä on perehdytty liikennekäyttötymisen mallintamiseen sekä liikennejärjestelmän ja liikennetilanteiden tietomallien kehittämiseen (*Kosonen 1999*).

DigiTrafficin periaatteita on kokeiltu HUTSIM:lla ns. on-line simuloinnissa, jossa simulaattoria on ajetaan reaaliajassa ja malliin syötetään ajantasaisesti liikennetietoja (*Kosonen & Bargiela 2000*). TKK:n sumeaan logiikkaan perustuva liikennevalojen ohjausjärjestelmä (FUSICO) edustaa DigiTraffic-maailmaa pienehkössä mittakaavassa. FUSICO-valo-ohjauksessa HUTSIM toimii liikennetilannemallina ja sumea-valo ohjaus on malliin pohjautuva palvelu/sovellutus.

DigiTraffic siis mahdollistaa entistä älykkäämmän liikennevalo-ohjauksen, joka perustuu liikennetilanteiden ajantasaiseen mallintamiseen. Ensimmäisessä vaiheessa tutkittiin liikennevalojen erillisohjausta sumealla logiikalla (*Niittymäki 2002*). Parhaillaan on menossa toinen vaihe, jossa kehitetään alueellista liikennevalo-ohjausta sumealla logiikalla (*Nevala & Kosonen 2003*). Simulointitutkimusten jälkeen siirrytään kolmanteen vaiheeseen, mikä on pilottijärjestelmän toteuttaminen Tampereelle.

TKK:n liikennelaboratorio ja fysiikan laboratorio ovat yhteistyössä tehneet DigiTraffic-hankkeeseen liittyvää väitöskirjatutkimusta (*Hämäläinen 2003*), jossa selvitetään liikenteen mittauksen ja mallinnuksen problematiikka. Liikennetilanteiden mallinnus tapahtuu soluautomaatti-algoritmillä. Tutkimuksessa käytetään simuloitua liikennettä ja siihen perustuvaa mittaustietoa ja vertailuaineistoa.

Jotta erilaisia liikenteen palveluja voitaisiin tuottaa, on DigiTraffic-mallit ja niiden tuottamat tunnusluvut voitava esittää yleiskäyttöisessä tietokannassa tai paikkatietojärjestelmässä. Tämän vuoksi TKK:lla tehdään tutkimusta yleiskäyttöisen tietokantamallin kehittämiseksi sekä liikenteen nykytilan että ennusteiden esittämiseen (*Arjamaa 2003*).

DigiTraffic-hankkeessa selvitetään erilaisia vaihtoehtoja liikennetilanteiden mallintamiseen. LILI-projektissa on tutkittu linkkikohtaista liikennetilanteiden mallintamista lähinnä ilmaisintietoihin perustuen. Simuloidulla liikenteellä tutkittiin mm. liikennevirtamalleja ja neuroverkkoja, joiden tuloksia verrattiin ns. triviaalimalliin sekä simulaattorin tuottamaan vertailuaineistoon (*Mattila 2003*).

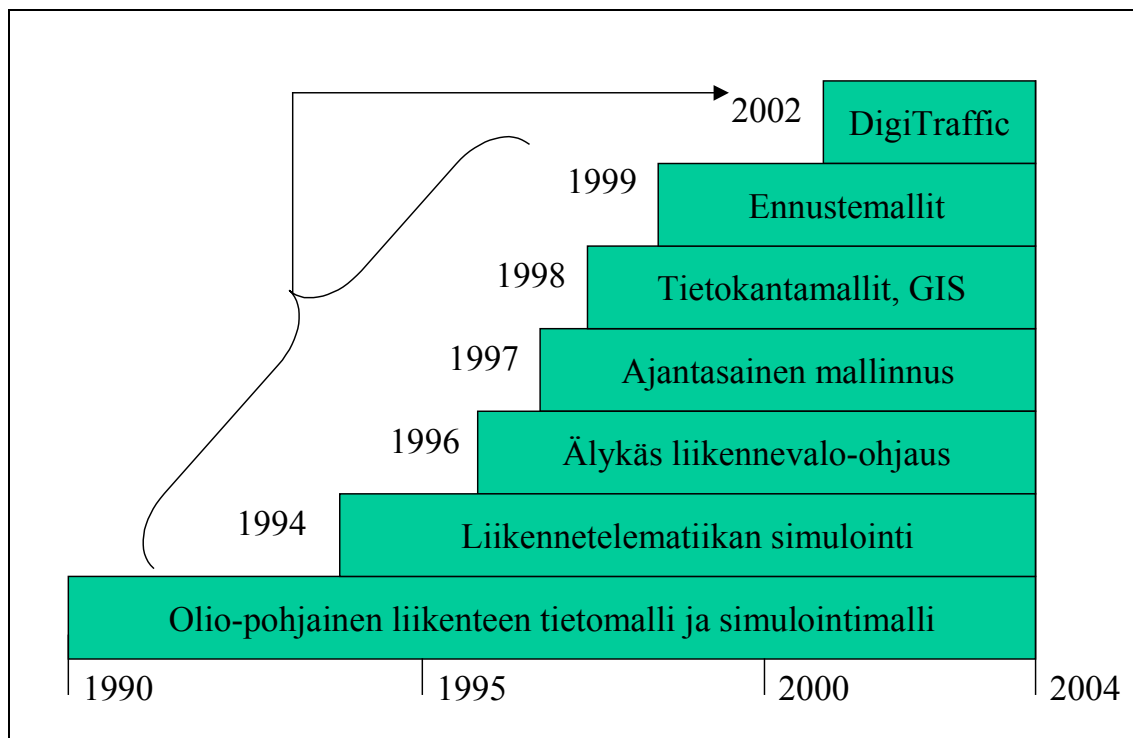
Matka-aikojen estimointia päätieverkolla neuroverkkomenetelmien avulla tehtiin aluksi TKK:lla ja nyttemmin VTT:llä. Neuroverkkojen avulla voidaan tuottaa mm. lyhyen aikavälin ennusteita matka-ajan kehittymisestä jollain tiejaksolla (*Innamaa & Pursula 2002*). Myös neuroverkkojen avulla tapahtuva liikenteen mallinnus ja ennustaminen kuuluvat DigiTraffic-hankkeen piiriin.

DigiTraffic-hankkeen yksi tavoite on mallinnusjärjestelmien kehittäminen liikennetelematiikan avulla. Käynnissä olevassa tutkimuksessa selvitetään on-line mittaustiedon käyttämistä liikennevalo-ohjattujen risteysten simuloinnissa. Samalla toteutetaan kokesimulaattoreiden ja liikennesimulaattorin ajantasaisen yhdistäminen (Jokinen 2003). Tutkimuksessa rakennetaan pilottijärjestelmä, jonka testialue sijaitsee Tuusulassa.

DigiTraffic-hankkeeseen liittyvät on-line yhteydet liikenteen mittausjärjestelmiin mahdollistavat vähitellen täysin automaattiset prosessit liikenteen mallinnuksessa. TKK:lla on mm. yhdessä KTH:n (Kungliga Tekniska Högskolan) ja Ecole Navalen (Ranska) kanssa kehitetty automaattisia kalibrointimenetelmiä simulointimallien kalibroimiseen (Aalto 2001, Remy & Chabredier 2002). Vähitellen voidaan kehittää itsekalibroituvia ja oppivia simulointi- ja mallinnusjärjestelmiä.

Liikennetilanteiden visualisointiin tarvitaan myös malleja. Visualisoinnissa käytetään lähinnä kolmiulotteisia malleja, jotka sisältävät liikennejärjestelmän lisäksi myös muun kaupunki-infrastruktuurin kuvauksen ja tietomallin. DigiTraffic-hankkeen osana TKK:lla kehitetään liikenteen ja liikennetilanteiden esittämistä digitaalisissa kaupunkimalleissa (Laitinen et al 2003).

Edellä mainittujen DigiTraffic-sateenvarjon alle kuuluvien tutkimusprojektien toteutus ei kuulu DigiTraffic-esiselvityksen piiriin, mutta ne ovat keskeinen osa käynnissä olevaa DigiTraffic-hankkeen toteutusta.

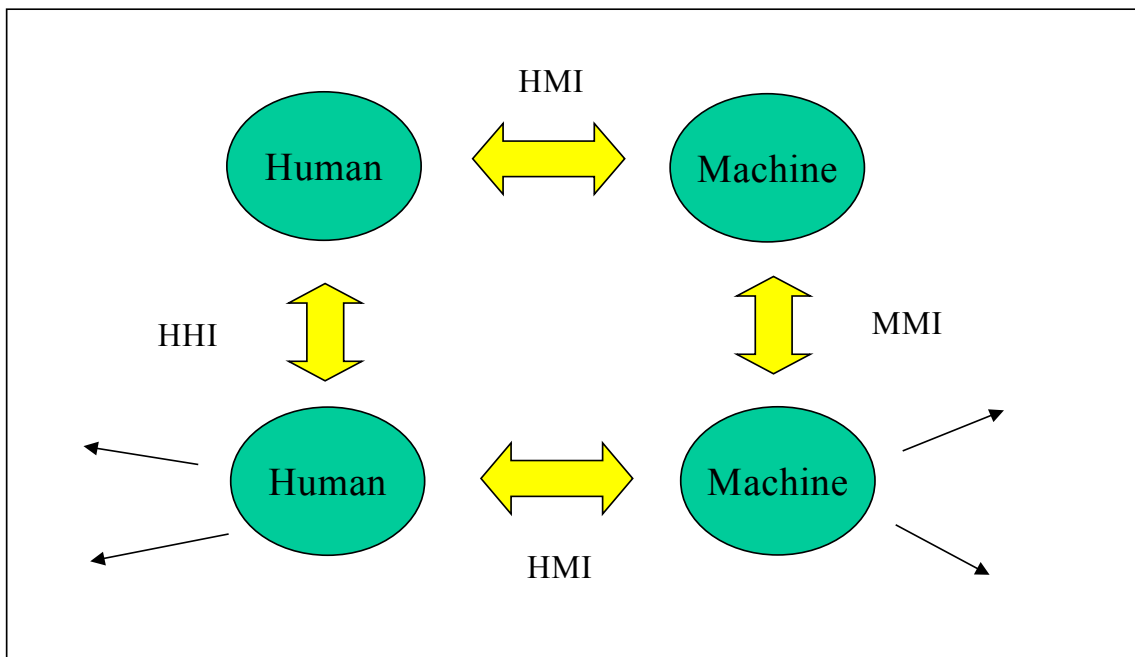


Kuva 1. DigiTraffic-hankkeen taustalla olevaa tutkimustyötä.

2 DIGITRAFFIC-PERUSPERIAATTEET

2.1 Liikennetelematiikka ja DigiTraffic

Tätä nykyä sekä tietotekniikka että tietoyhteiskunta synnyttävät uusia tutkimus- ja tuotekehitysaloja kuten mm. bioinformatiikka ja geoinformatiikka. Myös liikenteen, liikumisen, liikuteltavuuden, matkustamisen ja kuljetuksen alueella voidaan nähdä eri tieteen ja tekniikan alojen yhdistymistä eräänlaiseksi informaatiotieteeksi tai lyhyemmin informatiikaksi. Liikennetelematiikalla tarkoitetaan tieto- ja viestintätekniikan soveltamista liikenteen järjestelmiin ja prosesseihin eli se voidaan nähdä yhtenä välineenä, jolla liikenteen informaation prosesseja toteutetaan. Liikenteen mallinnus- ja analysointijärjestelmien kytkeminen liikennetelematiikkaan tuottaa laajemman kokonaisuuden, jota voitaisiin kutsua informatiikaksi. Informatiikan käsitteeseen kuuluu myös ihminen, joka on osana tietovirroissa ja vuorovaikutuksessa ympäristön ja teknologian kanssa (Kuva 2).

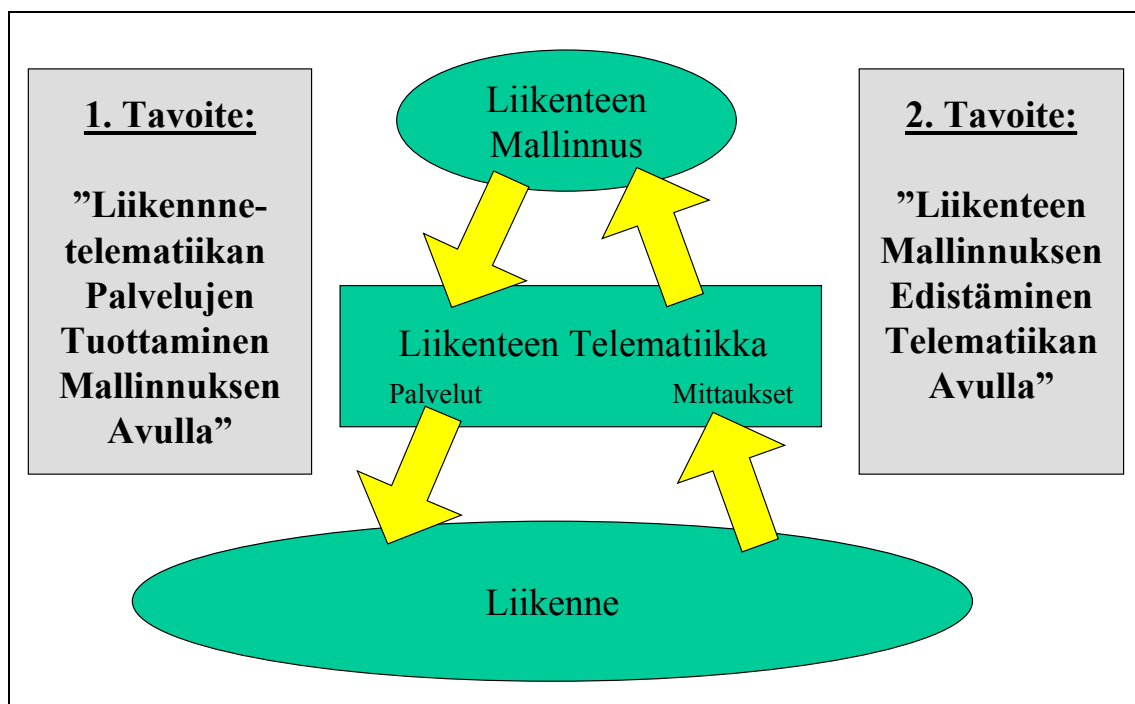


Kuva 2. Liikenteen informatiikka – Liikkuvan tietoyhteiskunnan tietovirrat

Informatiikka voidaan tiivistää mm. ongelmaan ”oikeaa tietoa, oikeassa paikassa, oikeaan aikaan”. Tätä tavoitetta voidaan toteuttaa telematiikan keinoin. Yhä suurempi osa informaatioyhteiskunnasta on liikkeessä (ihmiset, koneet, ajoneuvot, päätelaitteet, mittauslaitteet) eli ollaan siirtymässä ns. mobiiliin tietoyhteiskuntaan. Tällöin liikennetekniikka ja liikennetelematiikka kytkeytyvät yhä selvemmin tietoyhteiskunnan kehitykseen ja lopputulosta voidaan kutsua esim. liikenteen informatiikaksi. Liikenneinformatiikka voidaan ajatella tietoyhteiskunnan ”liikkuvaksi osaksi”, jota toteutetaan liikennetelematiikan keinoin (Kosonen 2003).

Kuva 2. esittää tietoyhteiskunnan toimijoita (ihmiset ja laitteet) sekä näiden välisiä suhteita (human-machine interface, machine-machine interface ja human-human interface). Informatiikka pyrkii tutkimaan tietovirtojen ja vuorovaikutusten kokonaisuutta. Liikenteen informatiikassa tai ”mobiili-informatiikassa” osa toimijoista on liikkeessä, jolloin tarvitaan lisäksi tietoa mm. sijainnista, liiketilasta ja liikennetilanteesta. DigiTraffic-hankkeen tavoitteena on koota yhteen liikenteen tietovirtoja, jalostaa hyödyllistä informaatiota ja tuottaa tietovirtoja liikkujien tarpeisiin.

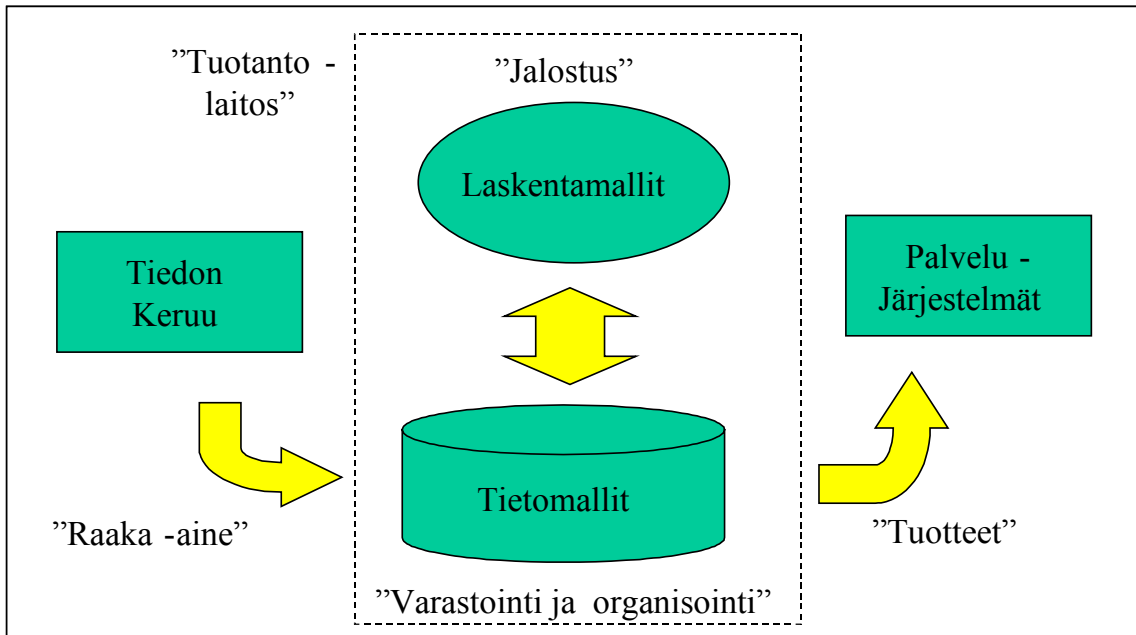
DigiTraffic hankkeen perustavoite tai ”motto” voidaan tiivistää kahdeksi päälinjaksi (kuva 3). Ensimmäinen ja päätavoite on kehittää liikennetelematiikan palveluita käyttäen hyväksi digitaalista liikennejärjestelmän mallinnusta. Toinen perustavoite on edistää liikenteen mallinnusta telematiikan avulla. Ensimmäinen perustavoite palvelee operatiivista toimintaa, kuten liikenteen ajantasaisia palveluita ja liikenteen hallintaa. Toinen perustavoite taas palvelee lähinnä liikenteen suunnittelua sekä myös tutkimusta tuottamalla luotettavampia ja helpokäyttöisempiä mallinnusjärjestelmiä.



Kuva 3. DigiTraffic-hankkeen perustavoitteet

Liikenteen informatiikka voidaan nähdä myös eräänlaisena tiedon logistiikkana (kuva 4). Aluksi tarvitaan ”raaka-ainetta” kuten mittausdataa. Raaka-ainetta käsitellään ”DigiTraffic-tuotantolaitoksessa”, jossa tietoa käsitellään. Käsitely jakaantuu toisaalta tiedon jalostukseen ja tiedon organisointiin. Jalostuksessa käytetään laskentamalleja, joiden avulla raaka-datasta tuotetaan jalostuneempaa informaatiota kuten erilaisia tunnuslukuja. Tiedon organisointiin taas käytetään tietomalleja ja tietokantoja, joiden avulla tieto voidaan jaotella sopiviin ”pakkauskokoihin” ja se voidaan löytää oikeasta ”hylly-

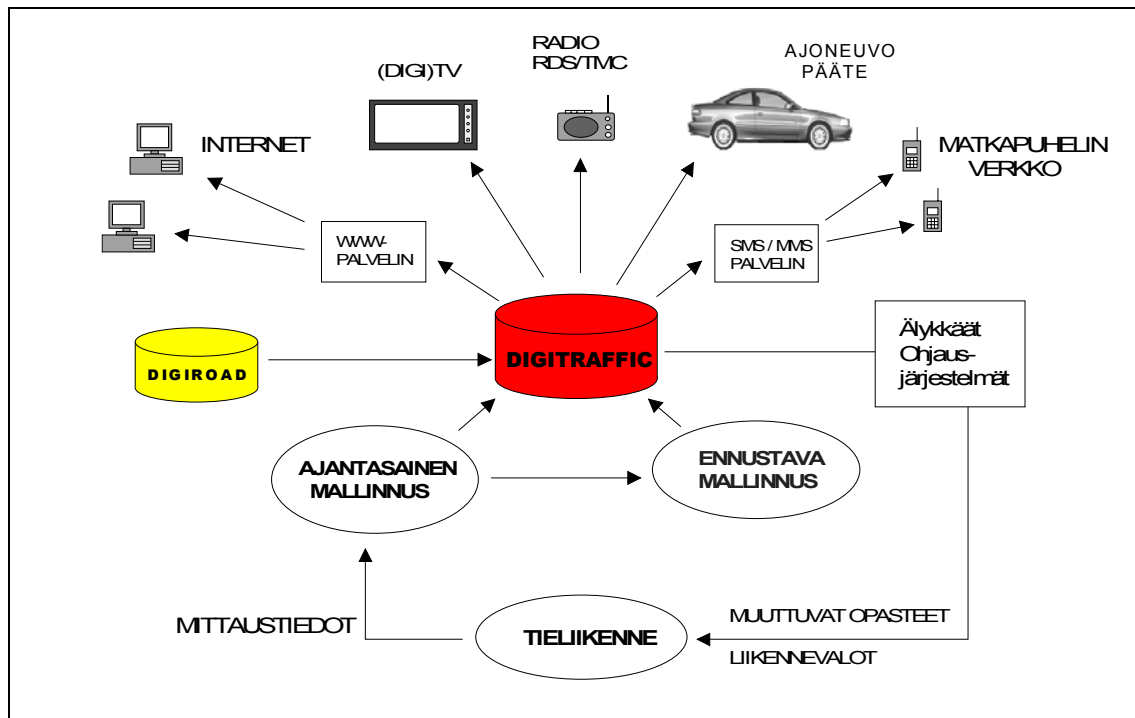
tä”. DigiTraffic-järjestelmässä ja sen konseptissa on kyse liikenneinformaation ”tuotantolaitoksesta”, joka laskentamallien ja tietomallien avulla tuottaa ja organisoii liikenteen tunnuslukuja. Tuotteiden jakelun käyttäjille hoitavat erilaiset palvelujärjestelmät.



Kuva 4. Tiedon "logistiikka"

DigiTraffic-”tuotantolaitos” eli palvelujärjestelmä perustuu siis liikenteen ja liikennejärjestelmän mallinnukseen. Kuvassa 5 tuotantolaitos-malli on sovellettu liikenteen palvelujärjestelmäksi eli DigiTraffic-järjestelmäksi. Raaka-dataa saadaan liikenteen mittausjärjestelmistä. Laskentamallit prosessoivat mittausdataa liikennetilannetiedoksi ja liikenteen tunnusluvuiksi. Tulostiedot tallennetaan ja organisoidaan DigiTraffic-tietokantaan. Tietokannan varaan voidaan rakentaa erilaisia liikennetelemaattisia palveluja, jotka tarvitsevat tietoa liikennetilanteesta tai sen ennusteesta.

DigiTraffic:n keskeisenä ajatuksena on tuottaa pysyviä liikennejärjestelmän tietorakenteita liikennetelematiikan tarpeisiin. Vain suhteellisen pysyvien tietorakenteiden eli tiedon infrastruktuurin varaan kannattaa muiden osapuolien rakentaa erilaisia palveluja tai liittää järjestelmään muita osia kuten laskentamalleja tai tiedonkeruujärjestelmiä. Katu- ja tieverkon kuvauksen osalta tiedon infrastruktuuria edustaa mm. DIGIROAD-hanke. DigiTraffic-hankkeessa on tavoitteena tuottaa vastaava tietomalli liikenteestä. DigiTraffic-malli sisältää kuvauksen tie- ja katuverkosta, joka on mahdollisuuksien mukaan yhteensopiva DIGIROAD:n kanssa, mutta tarvittaessa yksityiskohtaisempi. DigiTraffic sisältää ajan suhteen muuttuvaa tietoa liikennetilanteista ja erilaisista liikenteen tunnusluvuista. DigiTraffic:n ei tarvitse olla valtakunnallinen hanke, vaan se kannattanee toteuttaa lähinnä liikenteellisesti vaativimmissa kohteissa.

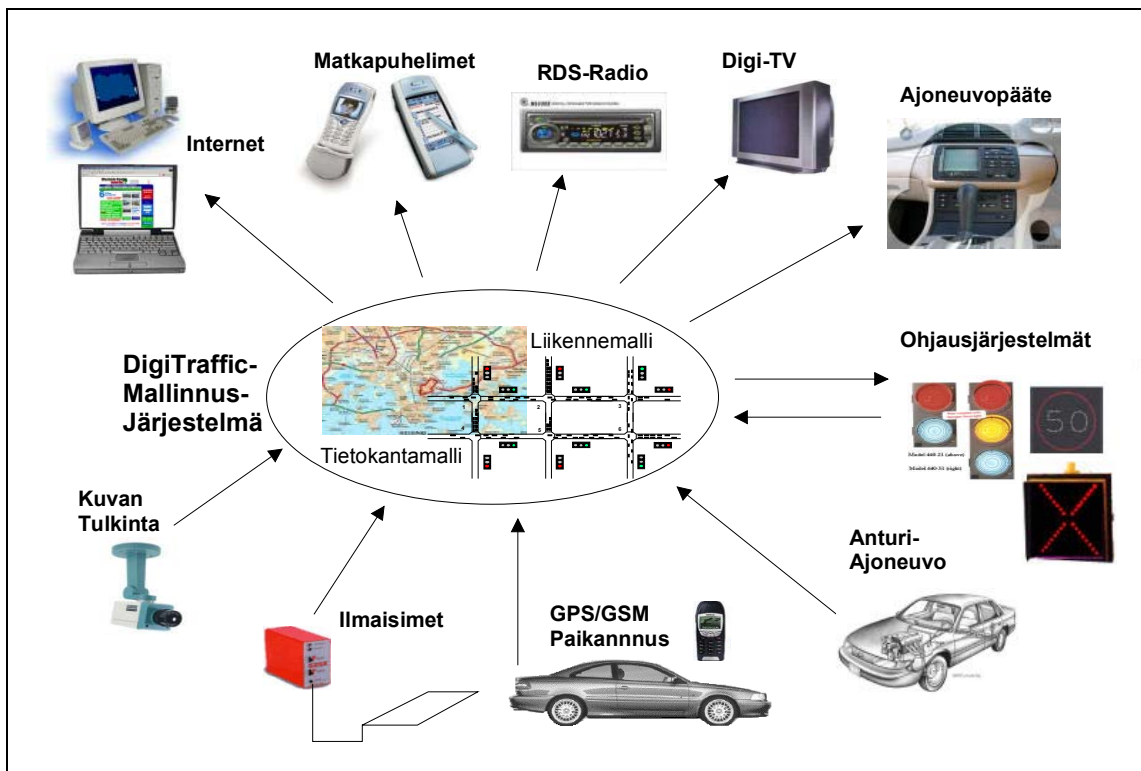


Kuva 5. DigiTraffic - Informaatiopalvelujen tuotantolaitos

2.2 Liikenteen mallinnukseen perustuva palvelujärjestelmä

Liikenteen hallinnan ja palvelujen tuottamisen perusedellytys on ajantasainen kokonaiskuva liikenteestä viranomaisten, yritysten ja tielläliikkujien käyttöön. Tällaisen ”läpinäkyvän” liikennejärjestelmän toteuttamiseen tarvitaan uuden teknologian suomia mahdollisuuksia. Ensinnäkin voidaan hyödyntää uudenlaista mittausteknologiaa sekä luoda kattavampi mittaussverkosto. Lisäksi voidaan käyttää kehittyneitä menetelmiä mittaustiedon käsittelyyn ja jalostamiseen kokonaiskuvan luomiseksi liikenteen tilasta ja sen ennusteesta.

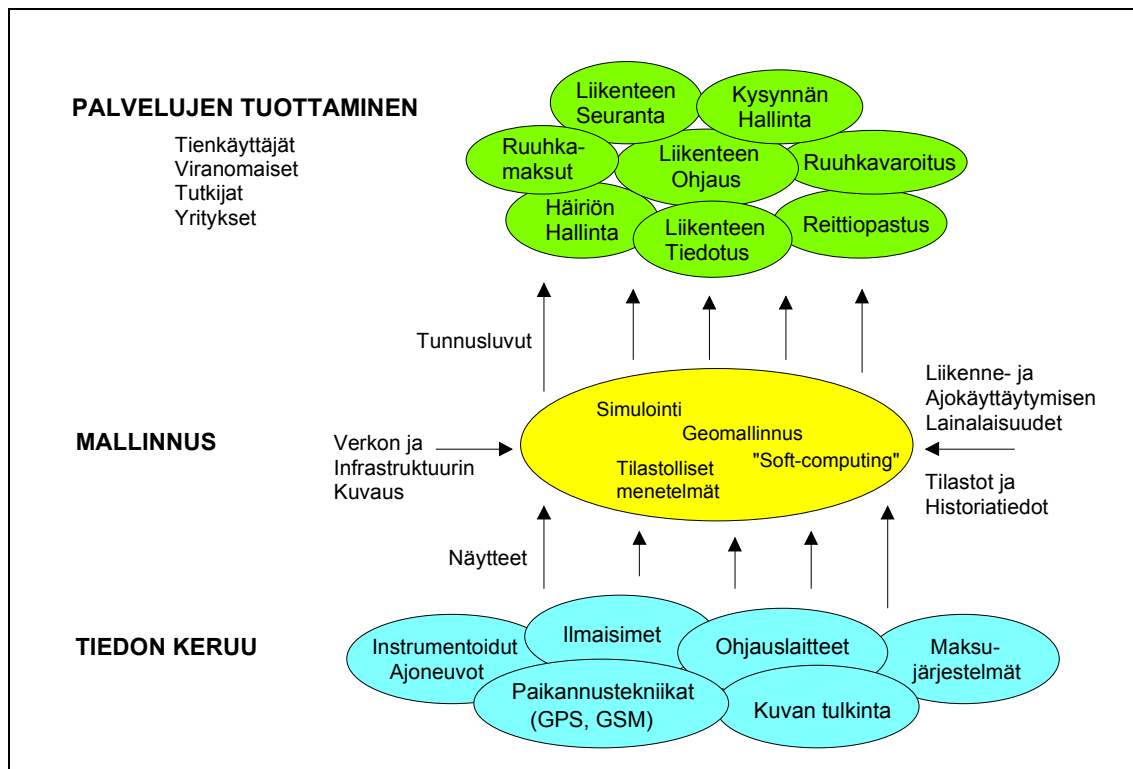
DigiTraffic-hankkeen perusajatuksena on tuottaa laskennallisen kokonaiskuva eli digitaalinen malli liikenteestä. DigiTraffic viittaa siis eräänlaiseen virtuaaliseen liikenteeseen, jonka etuna todelliseen liikenteeseen nähden on se, että liikenteen tunnusluvut on suoraan kyseltävissä tai laskettavissa mallista. Edellytyksenä luotettaville tuloksille on tietenkin se, että malli edustaa todellista liikennettä riittävällä tarkkuudella. Tämän vuoksi tarvitaan pitkäjänteistä tutkimustyötä mallien kehittämiseksi, kalibroimiseksi ja validoimiseksi.



Kuva 6. Mittaustietojen yhdistäminen DigiTraffic-mallinnusjärjestelmässä

Erilaiset mittausjärjestelmät parhaimmillaankin tuottavat vain rajallisen määrän näytteitä mitattavasta järjestelmästä. DIGITRAFFIC:n perusajatuksena on koota yhteen eri mittausjärjestelmistä saatavat näytteet ja liittää ne toiminnallisesti yhteen muun tietämyksen kanssa (kuvat 6 ja 7). Malliin voidaan sisällyttää tiedot liikenneverkosta ja sen rakenteesta (infrastruktuuri), ohjausjärjestelmistä sekä yleisestä liikenne- ja ajokäyttämisestä. Nämä lähtötiedot yhdessä mitattujen näytteiden kanssa, muodostavat toiminnallisen ja laskennallisen mallin, josta käytetään nimitystä DigiTraffic.

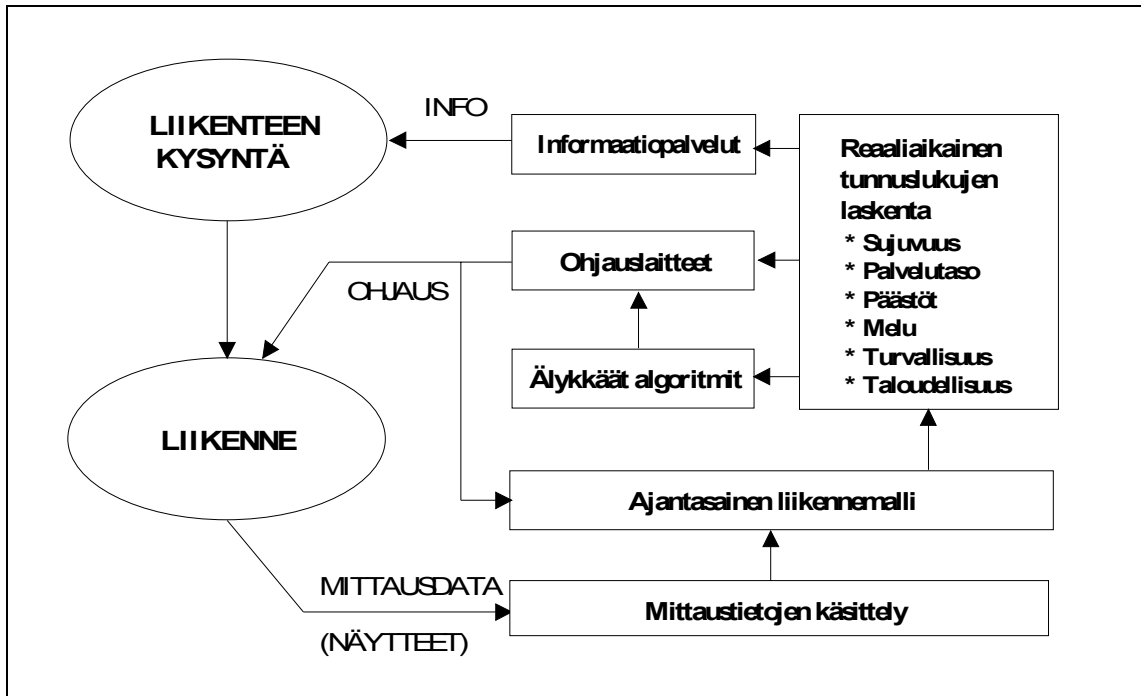
Yhtenäisen liikennemallin pohjalta voidaan laskea tunnuslukuja liikennejärjestelmän kulloisestakin tilasta sekä käyttää niitä erilaisten liikennetelematiikan palvelujen tuottamiseen. Järjestelmän tuottamia tietoja ja palveluja voidaan käyttää mm. tielläliikkujien palvelemiseen, viranomaisten työn helpottamiseen, tutkimustyön tehostamiseen sekä myös kaupallisiin tarkoituksiin.



Kuva 7. DigiTraffic:mittaustietojen yhdistäminen mallijärjestelmässä palvelujen tuottamiseksi

Kun vallitsevasta liikenteestä on olemassa laskennallinen kokonaiskuva eli malli, voidaan siitä reaali-aikaisesti tuottaa liikenteen tunnuslukuja (kuva 8). Tunnusluvut antavat monipuolisesti kuvaa mm. liikenteen sujuvuudesta (matka-ajat, keskinopeudet, jonot, viivytykset, palvelutaso), ympäristövaikutuksista (päästöt, melu) sekä turvallisuuteen ja taloudellisuuteen liittyvistä seikoista. Yhtenäisestä mallista tietoja voidaan laskea pisteittäin, linkeittäin, reiteittäin tai alueittain kulloistenkin tarpeiden mukaan. Tietoja voidaan käyttää toisaalta informaatiopalvelujen tuottamiseen ja toisaalta liikenteen aktiiviseen ohjaamiseen ja opastamiseen.

Palvelujen tuottamiseksi tarvitaan yhtenäinen ja johdonmukainen esitysmuoto liikenteestä ja sen tunnusluvuista. Palvelujen pohjaksi tarvitaan siis riittävän yleiskäyttöinen ja abstrakti tietomalli. Palvelujen tuottajan on tunnettava tietomallin rakenne, mutta tekninen toteutus voidaan tehdä useilla eri tavoilla. Tie- ja katuverkosta on olemassa kansallinen DIGIROAD-tietomalli, jota toteutetaan parhaillaan tietokantajärjestelmäksi (viite). Luontevaa on ottaa DIGIROAD-malli pohjaksi myös liikenteen tietomalliin. DigiTraffic-malli toimisi siis staattisen verkkokuvauksen luontevana jatkeena, kuvaten verkon dynaamisia ominaisuuksia. Tarvittaessa infrastruktuurin kuvausta voidaan tarkentaa mm. kaistojen ja liikenteen ohjauksen osalta. Tietomallin toteutuksessa on tarkoitus mahdollisimman pitkälti soveltaa yleisiä standardeja kuten GDF.



Kuva 8. Ajantasaisen mallin käyttö liikenteen tiedotukseen ja ohjaukseen.

Palvelujärjestelmät siis muodostavat yhteyden tietokantapalvelimiin, joihin koottu liikennetieto voidaan toimittaa eri käyttäjille lukuisia eri kanavia käyttäen. Ajantasaisesti päivittyvän tietokannan tietoja voidaan välittömästi käyttää mm. liikenteen seurantaan ohjauskeskuksissa ja niiden palveluiden tarpeisiin. Keskeisten tunnuslukujen tilaa, kehitystä ja ennusteita voidaan seurata ja käyttää päätöksenteon tukena. Mallin tuottamia tunnuslukujen aikasarjoja voidaan myös käyttää tutkimus-tarkoituksiin esim. seurattaessa liikenteen pitkäaikaista kehitystä ja kausivaihteluita.

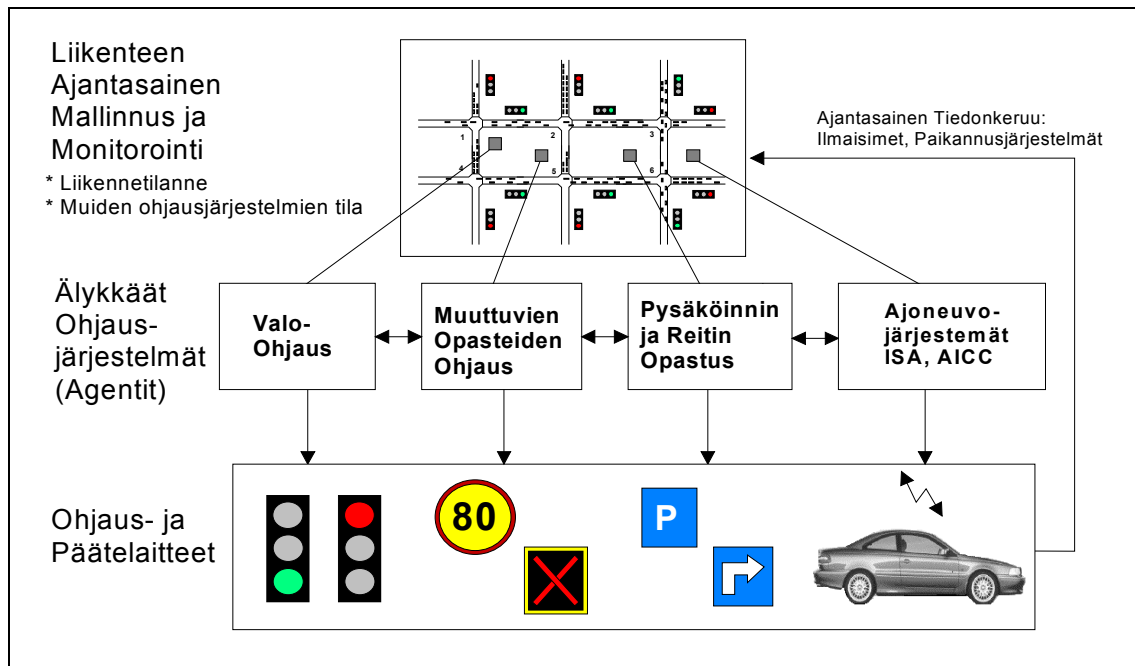
Ajantasaisten tietojen avulla voidaan tuottaa erilaisia liikenteen tiedotuspalveluita. Niiden välityksellä tavalliset tienkäyttäjät voivat käyttää laskennallisen liikennemallin antamia tietoja (esim. matka-aikoja) oman reittinsä, kulkutapansa tai lähtöajankohtansa valitsemiseen.

Laskennallista liikennemallia voidaan myös käyttää myös ennusteiden tekemiseen. Esimerkiksi simulointimalleja voidaan ajaa eteenpäin nopeutetusti, jolloin ne tuottavat arvion liikenteen tunnusluvuista halutulla ajan hetkellä (esim. 15, 30, 60 minuuttia eteenpäin). Ennustamiseen voidaan myös käyttää neuroverkkoa, joka on erityisesti opetettu tätä tarkoitusta varten. Lyhyen aikavälin ennusteet ovat erityisen tärkeitä liikenteen häiriöiden ennakoinnille ja estämiselle sekä liikenteen tiedotuspalveluille.

Koko liikennejärjestelmän tilaa ajantasaisesti kuvaava malli antaa monipuoliset mahdollisuudet älykkään liikenteen hallinnan ja ohjauksen toteuttamiseen (kuva 9). Liikennevalo-ohjaus, muuttuvat opasteet, reitin ja pysäköinnin ohjaus voivat käyttää hyväkseen DigiTraffic-mallin liikennetilannetietoja ja liikenteen tunnuslukuja. Tällaisen mallin varassa voidaan toteuttaa liikennejärjestelmän tilan monitavoitteiseen optimointiin

pyrkiviä ohjausjärjestelmiä. Liikenteen ohjausjärjestelmistä voidaan tehdä itseoppivia, kun ne voivat DigiTraffic-mallien avulla systemaattisesti seurata ohjaustoimenpiteiden vaikutusta pitkällä aikavälillä.

Liikenteen ohjaus on yleensä hajautettua, eli sitä ohjaavat useat eri toimijat (agents) (kuva 2.7). Agentti on itsenäisesti toimiva ja tiettyä älykkyyttä omaava toimija, joka tekee päätöksiä. Päätökset perustuvat agentin algoritmiin (esim. sumea logiikka, neuroverkko tms.), tieto säädettävän systeemin tilasta (ajantasainen liikennemalli) sekä tietoon muiden toimijoiden tilasta tai suunnitelmista. Kokonaisvaltainen ja johdonmukainen liikenteen ohjaus edellyttää siis sitä, että toimijat voivat tarvittaessa "keskustella" tai neuvotella ohjaustoimenpiteistä keskenään (multi-agent control). Jokaisella toimijalla tulisi olla yhteneväinen kuva vallitsevasta liikennetilanteesta sekä toisten toimijoiden tilasta. DigiTraffic-mallinnusjärjestelmän tarkoituksena on tarjota yhtenäinen ja ajantasainen tieto liikennetilanteesta sekä yhteinen rajapinta toisten ohjausjärjestelmien tilan huomioon ottamiseen.



Kuva 9. DigiTraffic älykkään liikenteenohjausjärjestelmän toteuttamisessa (multi-agent control)

3 LIIKENNEVERKON TILAN MALLINTAMINEN

Liikenteen telematiikan ja erityisesti liikenteen hallinnan ajantasaisten palveluiden toteuttaminen vaatii luotettavaa tietoa liikenneverkon tilasta nykyhetkellä ja lähitulevaisuudessa. Tällaisen liikenneverkon tilaa koskevan tiedon tuottamiseksi yksittäisten väyläpoikkileikkauksien laskinten anturien tai verkolla liikkuvien anturiajoneuvojen tiedoista joudutaan käyttämään mallintamista. Mallintamisella on kaksi eri tarkoitusta:

tuottaa arvio koko liikenneverkon kaikkien linkkien ja/tai solmupisteiden tilasta sillä hetkellä, jolloin anturitiedot on kerätty

ennustaa liikenneverkon linkkien ja/tai solmupisteiden tila nykyhetkellä ja mahdollisesti lähitulevaisuudessa

On syytä huomata, että ennusteosa sisältyy myös nykyhetken tilan arviointiin, sillä anturitieto on palvelujen käyttöön tullessaan jo vanhaa tietoa tiedon keruu- ja välitysviipeiden vuoksi (usein minuutteja, melko usein kymmeniä minuutteja).

Alla tarkastellaan kumpaakin mallintamistarkoitusta varten käytettyjä malleja erikseen.

3.1 Liikenneverkon tilan arviointi anturitietojen perusteella

3.11 Anturitietojen käsittely

Peeta ja Anastassopoulos (2002) esittävät Fourier-muunnokseen perustuvan menetelmän poikkeavien anturilukemien havaitsemiseksi liikenteen mittausasemien tuottamista tiedoista. Erillisellä algoritmilla päätellään, onko poikkeava tieto seurausta liikenteen häiriöstä vai onko kyse anturi- tai laskentavirheestä. Virheestä aiheutuvat poikkeamat korvataan myös Fourier-muunnoksen avulla. Menetelmä ei vaadi mitään mallinnusta.

Cortes ym. (2002) ovat mallintaneet matka-aikoja maantieverkolla käyttäen hyväkseen kiinteiden mittauspisteiden antamia tietoja yksinkertaisten keskiarvomallien avulla. Tulokset olivat melko tyydyttäviä ja paranivat, jos samanaikaisesti oli saatavilla matka-aikatietoja verkolla olevilta anturiajoneuvoilta.

Coifman (2001) käyttää silmukatietoja ruuhkatilanteiden havaitsemiseen liikenneverkolla tunnistamalla erityiset induktioprofiilit yksittäisten ajoneuvojen silmukatiedoista. Tietyllä silmukkaparilla tunnistettua profiilia haetaan seuraavalla silmukkaparilla tietysää aikaikkunassa olettaen liikenteen sujuvan vapaissa oloissa. Vastinprofiilin löytyessä lasketaan matka-aika ja päätellään liikennetilanne. Algoritmi toimii melko hyvin, mutta etenkin vilkkaassa liikenteessä oikeiden vastinprofiilien löytäminen on osoittautunut

usein hankalaksi. Tästä huolimatta algoritmi tunnistaa ruuhkan syntymisen luotettavasti. (Coifman 2001).

3.12 Liikenteen sijoittelu analyttisten mallien avulla

Dial (2001) on kehittänyt parametrinen lyhyimmän polun algoritmin dynaamiseen liikenteen sijoitteluun tieverkolle. Algoritmi osoittautui kymmenen kertaa nopeammaksi kuin kaikkien minimipolkupuiden laskeminen kullekin lähtöajankohdalle.

Logi ym. (2002) kuvaavat liikenteen ajantasaista mallintamista ja ennustamista Münchenin alueella. Dynaaminen liikenneverkkomalli DINO päivittää 15 minuutin välein kiinteistä mittauspisteistä ja anturiautoilta saatavien tietojen perusteella liikennetilän kuvauksen verkolla ja laatii lyhyen ajan ennusteet seuraaville 15 minuutin jaksoille. Sijoittelumalli on matemaattinen malli, joka perustuu ajan ja liikennetiheyden mukaan vaihteleviin linkkien toimivuusfunktioihin ja pyrkii dynaamiseen käyttäjäoptimiin. Malli vertaa linkkien mitattuja virtoja arvioituihin ja korjaa matkamatriisiarvioita ns. informaation minimointi –algoritmin avulla. Mallia käytetään liikenteen hallintaan Münchenin alueella tällä hetkellä. (Logi ym. 2002)

Liikenteen ajantasainen sijoittelu vähänkin laajemmalle liikenneverkolla vaatii suurta laskennallista tehokkuutta. Peeta ja Chou (2002) ehdottaa käytettäväksi hybridiratkaisua, jossa laskentatehoa vaativat osat tehtäisiin erikseen omina ajoinaan ja niiden tuloksena saadaan alustava, a priori –ratkaisu liikenteen sijoittelulle. Ratkaisua korjattaisiin ajantasaisesti sen mukaan kun liikenteen kysynnässä tapahtuu odottamattomia muutoksia tai kun verkolla tapahtuu ennakoimattomia häiriöitä. Mallintamisessa käytettiin perinteisiä sijoittelumalleja ja simulointia. (Peeta & Chou 2002)

Boyce ym. (2002) ovat selvittäneet erilaisten analyttisten liikenteen dynaamisten sijoittelumallien toimivuutta ruuhkaisissa katuverkoissa. Analyttiset sijoittelumallit voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: matemaattinen ohjelmointi, optimaalinen ohjausteoria ja vaihtuva eriarvoisuus (Variational Inequality). Matkakustannusfunktioiden epäsymmetrisyys sekä liikennevirran ja matka-ajan välinen aikariippuvainen vaihtelu ovat osoittautuneet matemaattisen ohjelmoinnin käyttöä rajoittaviksi tekijöiksi. Optimaalinen ohjausteoria on myös osoittautunut käytännön sovelluksissa puutteelliseksi. Vaihtuvan eriarvoisuuden menetelmä näyttää tällä hetkellä lupaavimmalta dynaamisen sijoittelun menetelmältä ja Boyce ym. (2002) esittävätkin useita tutkimusehdotuksia menetelmän edelleen kehittämiseksi ja käyttökohteiksi.

Liu ym. (2002) ovat kehittäneet dynaamisen sijoittelumallin vaihtuvan eriarvoisuuden teorian perusteella. Heidän mallinsa olettaa, että liikenteessä liikkujat valitsevat reitin, joka on optimaalinen heidän oman kokemuksensa mukaan. Malli ottaa huomioon liikkujien riskinoton verkon tilan satunnaisvaihteluihin nähden. Ratkaisualgoritmi yhdistää relaksaatiomenetelmän, stokastisen verkon kuormituksen ja peräkkäisten keskiarvojen

menetelmän. Mallia ei ole vielä kokeiltu laajassa liikenneverkossa ajantasaisena soveltuksena. (Liu ym. 2002)

Astarita ym. (2001) on verrannut keskenään kolmen eri matemaattisen sijoittelumenetelmän (virtaperusteisen, solusiirtymäpohjaisen ja tila-aika-jonomallin) toimivuutta koeverkolla sekä verrannut malleja INTEGRATION-simulointimallin tuloksiin. Kaisu-
tanvaihdot osoittautuivat hankaliksi kaikissa neljässä mallissa, joskin eri tavoin.

Sawaya ym. (2001) ovat kehittäneet monivaiheisen stokastisen mallin liikenteen sijoit-
telemiseksi liikenneverkolle ja erilaisten liikenteen ohjausstrategioiden arvioimiseksi. Malli kehittää erilaisia ohjausstrategioita käytettäväksi erilaisissa liikennetilanteissa ver-
kolla ja näin vähentää ajantasaisen laskennan määrää tulevaisuuden tilanteissa. Tavoit-
teena on määrittää koko verkon kannalta optimaalinen liikenteen jakautuminen ja lii-
kenteen ohjauksen keinoin yrittää saada liikenne jakautumaan verkolle optimijakauman
tavoin. Mallinnus perustuu solusiirtymiin. Tulokset ovat olleet lupaavia, mutta jatko-
kehitystä vaaditaan mm. autoilijoiden ohjauksen noudattamisen vaihteluiden ja valo-
ohjauksen dynaamisuuden lisäämisen mahdollistamiseksi. (Sawaya ym. 2001)

He ym. (2002) ehdottavat tilastollisen mallin käyttöä ajantasaisten lähtöpaikka-
määräpaikka-kysyntä- ja reitinvalintaparametrien määrittämiseen uskottavuus- eli like-
lihood-funktioiden avulla. Malli ottaa huomioon kysynnän ja reitinvalinnan satunnais-
vaihtelut ja pystyy tuottamaan parametrit pelkän mittauspistetiedonkin avulla. Paramet-
rien määrittämisessä ajantasaisessa sovelluksessa suositellaan käytettäväksi normaalija-
kaumaan perustuvaa approksimointia tai yleistettyä pienimmän neliösumman menetel-
mää. (He ym. 2002)

3.13 Liikenteen sijoittelu simulointimalleilla

Nathanail (2001) kuvaa Kreikassa rakennettua tieverkon liikenteen ja häiriöiden hallin-
taan tarkoitettua järjestelmää, jolla testataan mm. erilaisten liikenteen hallintasuunni-
telmien vaikuttavuutta. Liikenneverkon tilaa arvioidaan syöttämällä kiinteiden mittaus-
pisteiden tuottamat tiedot AIMSUN-simulointimalliin. Chiu ym. (2001) käyttävät si-
mulointia liikenteen sijoitteluun tieverkolle ja Mahmassani (2002) erilaisten liikenteen
hallinnan keinojen suunnitteluun liikenneverkolle. Abdelkhany ym. (2001) käyttävät
simulointia liikenteen sijoitteluun katuverkolle tutkiakseen linja-autojen valoetuksien
vaikutuksia. He totesivat, että on tärkeätä ottaa eri kulkutavat huomioon sijoittelussa,
jotta kulkutapajakaumaan vaikuttavien toimenpiteiden vaikutukset voidaan selvittää tar-
kemmin.

Wang ym. (2001) ovat kehittäneet makrosimulointiohjelma METANETistä versiot,
joilla voidaan sijoitella liikenne ajantasaisesti monimutkaisellekin moottoritieverkolle.
Sijoittelu tehdään pyrkimällä verkon käyttäjien kannalta optimaaliseen sijoitteluun joko
takaisinkytkennällä tai iteratiivisesti. Yksinkertainen takaisinkytkentämalli tuottaa tyy-

dyttävän sijoittelun kun taas iteratiivinen malli tuottaa tarkan käyttäjäoptimin, mutta vie paljon enemmän laskenta-aikaa.

3.14 Liikenteen sijoittelu tietämystekniikan ja peliteorian avulla

Hawas (2002) on tutkinut liikenteen ajantasaista ohjausta ja sijoittelua liikenneverkolla. Tehokas menetelmä liikenteen ajantasaiseen sijoitteluun ja ohjaukseen voisi perustua sääntöpohjaiseen sumean logiikan sovellukseen. Sumean logiikan sääntöfunktiot muodostetaan menetelmässä neuroverkkojen avulla käyttäen syöttötietoina liikenneverkon tilatietoja menneisyydestä erilaisissa liikenne- ja ohjaustilanteissa. Menetelmää ollaan kehittämässä edelleen ja sen soveltuvuutta suurten verkkojen käsittelyyn ollaan selvittämässä. (Hawas 2002)

Kim (2001) esittää peliteoriaan perustuvaa mallinnusta ajantasaista liikenteen sijoittelua ja ohjausta varten. Pelissä ovat vastapelaajina tieverkon pitäjä ja tienkäyttäjät. Kyseessä on kuitenkin vain teoreettinen tarkastelu.

Sadek ym. (1997) ovat kehittäneet dynaamisen sijoittelumallin, joka perustuu geneettisiin algoritmeihin. Malli osoittautui toimivammaksi kuin epälineaariseen ohjelmointiin perustuvat vertailumallit.

3.15 Mallien vertailu

Ziliaskopoulos ja Peeta (2002) tarkastelevat liikenteen dynaamisen sijoittelun nykytilaa jakaen sijoittelumallit kolmeen analyttiseen päämallityyppiin eli matemaattiseen ohjelmointiin, optimaaliseen ohjausteoriaan ja vaihtuvaan eriarvoisuuteen (Variational Inequality) sekä simulointiin. He toteavat ajantasaisen sijoittelun vaativan laajan liikenneverkon vaatimaa laskennallista tehokkuutta, järjestelmien satunnaisen luonteen vuoksi ratkaisumenetelmien vakavuutta, virheiden sietokykyä, toiminnallista johdonmukaisuutta, mallien validiutta sekä kysynnän arviointi- ja ennustamiskykyä

Kirjoittajien johtopäätös on, että nykyisten mallien suurin yksittäinen puute liittyy juuri kysynnän arviointi- ja ennustamiskykyyn. Kysynnän arvioinnissa ja ennustamisessa yleensä käytetty neliaskelinen mallinnus vaatii matkustajien sosioekonomisia ominaisuuksia eri maantieteellisillä osa-alueilla eikä tuota dynaamisia, ajan suhteen muuttuvia kysyntäarvioita. Kysynnän dynaamisessa arvioinnissa ja ennustamisessa on rohkaisevin tuloksin käytetty mm. Kalman-suodatusta, ”eteenpäin rullaavaa aikahorisonttia”, ajan suhteen elastisia malleja, erillistä lähtöajan ennustemallia yhdistettynä staattiseen kysyntämalliin, simulointia ja stokastisia malleja.

3.2 Liikenneverkon tilan ennustaminen

Tämä alaluku perustuu Innamaan ja Pursulan (2000) tutkimukseen lyhyen aikavälin ennustamisesta. Smith & Demetsky (1997) tekemässä vertailussa tutkittiin kahta uutta liikenteen ennustamismenetelmää, jotka perustuivat neuroverkkoon ja ei-parametriseen regressiomalliin (lähin naapuri -menetelmä), sekä kahta perinteistä mallia, jotka perustuivat aikaisempaan keskiarvoon ja aikasarjoihin. Mallien tavoitteena oli ennustaa liikennemäärä seuraavalle 15 minuutille, kun tunnettiin liikennemäärätiedot viimeiseltä 15 minuutilta. *Taulukossa 1* on esitetty yhteenveto mallien heikkouksista ja vahvuuksista moottoriteliikenteen ennustamisessa.

1. Keskiarvo-, ARIMA-, neuroverkko- ja lähin naapuri -mallin välinen vertailu (Smith & Demetsky 1997).

Malli	Vahvuudet	Heikkoudet
Keskiarvo	Helppo ottaa käyttöön Nopea laskea	Ei kykene vastaamaan odottamattomiin tapahtumiin
ARIMA	Aikasarjasovellus Taustalla vahva teoria	Puuttuvat havainnot tuottavat ongelmia
Neuroverkko	Sopiva monimutkaisten, ei-lineaaristen riippuvaisuuksien kuvaamiseen	Black box -malli Monimutkainen opettamisproseduuri
Lähin naapuri	Ei vaadi oletuksia olemassa olevista riippuvaisuuksista Hahmontunnistussovellukset	Naapureiden löytämisen hankaluus

Smith & Demetsky (1997) vertailivat mallien hyvyttä neljän parametrin avulla: absoluuttisella virheellä, jakaumavirheellä, mallin käyttöönottamisen helppoudella ja mallin siirrettävyydellä. Lähin naapuri-menetelmä osoittautui paremmaksi kuin muut. Toiseksi parhaaksi tuli neuroverkko ja kolmanneksi jäi keskiarvomalli. ARIMA-mallia ei voitu käyttää vajaalla datalla, mutta se voitiin kuitenkin arvioida hieman keskiarvomallia paremmaksi.

Parhaaksi osoittautuneen lähin naapuri -menetelmän tulosten absoluuttinen keskivirhe oli merkittävästi pienempi kuin muiden mallien. Keskiarvomallilla saatiin suurimmat absoluuttiset keskivirheet, vaikkei sillä ollutkaan taipumusta yli- tai aliarvioida en-

nusteitaan vahvasti. ARIMA-mallin absoluuttiset virheet olivat samaa suuruusluokkaa kuin muilla malleilla, mutta se yli- tai aliarvioi ennusteitaan usein huomattavasti. ARIMA-mallia ei kuitenkaan voitu käyttää vajaalla datalla, mikä rajasi sen käyttöä huomattavasti. Neuroverkko osoittautui vertailussa toiseksi parhaaksi. Mallin ongelmana oli kuitenkin huomattava jakaumavirhe, jonka aiheuttaja oli todennäköisesti neuroverkon opetus. Neuroverkon siirrettävyys osoittautui huonoksi. (Smith & Demetsky 1997.)

Smith & Demetsky (1994) tekivät jo aikaisemmin vastaavanlaisen vertailun neuroverkko-, ARIMA- ja keskiarvomallin välillä. Tämän vertailun tulokset olivat hyvin samansuuntaisia. Keskiarvomalli toimi hyvin "tavallisina" päivinä, muttei kyennyt reagoimaan epätavallisiin tilanteisiin, jotka vaikuttivat liikennemääriin. ARIMA-mallin ennuste tuntui laahaavan jatkuvasti yhden tarkastelujakson jäljessä. Malli myös tuntui liioittelevan ennustetta voimakkaasti ylös- tai alaspäin. Neuroverkkomalli selviytyi ennustamisesta tarkasti, erityisesti ruuhkahuipun aikana, eikä ennuste kärsinyt ARIMA-mallin ongelmista.

Lee ym. (1998) ovat tehneet vertailun erilaisten matkanopeuksien lyhyen aikavälin ennustamismenetelmien välillä. He vertasivat usean selittäjän ensimmäisen asteen regressiomallia, ARIMA-mallia, vastavirta-algoritmillä opetettua neuroverkkomallia, jossa oli yksi piilokerros, ja Kalman-suodatinmallia. Heidän tulostensa mukaan neuroverkko- ja Kalman-suodatinmalli tekivät tarkempia ennusteita kuin regressio- tai ARIMA-malli. Kalman-suodatinmalli oli jonkin verran parempi kuin neuroverkko, mutta neuroverkko antoi parempia tuloksia, kun malli siirrettiin alkuperäisestä kohteestaan muualle.

Williams (2001) sovelsi ARIMAX-tyyppistä aikasarjamallia ranskalaisen moottoritieverkon liikenteen lyhyen ajan ennustamiseen. Syöttötietoina olivat edelliset mittaustiedot tarkasteluosuuksilta sekä tiedot osuuksilta ylävirtaan sijaitsevilta liikennemittauspisteistä. Malli ennusti melko hyvin, mutta ongelmalliseksi osoittautui ARIMAXin vaatimus vakioina pysyvistä parametreista, sillä ylä- ja alavirran tietojen välinen korrelaation vaihteli liikennetilanteen mukaan.

3.21 Sijoittelu ja simulointi

Hobeika & Ozbay (1991) ovat kehittäneet simulointi- / liikenteensijoittelumallin, jonka päätarkoitus on testata erilaisia reittiohjausstrategioita, jotta liikenneverkko saataisiin toimimaan parhaalla mahdollisella tavalla. Mallin antamia tuloksia voidaan käyttää matka-aika- ja viivytysennusteina reaaliaikaisissa liikennetietojärjestelmissä.

Malli käyttää iteratiivista prosessia ennustaessaan liikennemääriä ja jonoja sitä mukaa, kun ne muuttuvat. Malli perustuu siihen, että simulointimallin tuloksena saatuja tietoja käytetään hyödyksi liikenteen sijoittelussa, jotta löydetään nopein mahdollinen reitti kullekin lähtöpaikka-määräpaikkaparille verkolla. Menettely toistetaan, kunnes saavutetaan tasapaino. (Hobeika & Ozbay 1991.)

Myös Stephanedes ym. (1990a) ovat käyttäneet liikenteen sijoittelua ja simulointia ennustamiseen. Menetelmä perustuu iteratiiviseen palautesilmukkaan sijoittelu- ja simulointivaiheen välillä. Sijoitteluvaihe jakaa matkat verkolle ja simulointivaihe tuottaa yksityiskohtaista tietoa liikenneverkon toiminnasta. Silmukka lakkaa toimimasta, kun kahdella peräkkäisellä iteroitokierroksella tulokseksi saadut linkkien matka-ajat ovat riittävän lähellä toisiaan.

Stephanedes ym. (1990a) saivat tulokseksi, että useimmissa tapauksissa simulointi-/sijoittelumenetelmän avulla saadut tulokset olivat lähempänä havaittuja tuloksia kuin perinteisillä liikenteen sijoittelumenetelmillä saadut tulokset. Menetelmän moduulirakenne ja simulointivaihe ovat sen vahvuus, koska tutkittua liikenneverkkoa voidaan kuvata sille parhaiten sopivalla simulointi- ja sijoittelumallilla. Mallin antamat tulokset ovat sitä tarkempia mitä sopivammilla komponenteilla estimointia suoritetaan ja mitä tarkempi on lähtöpaikka-määräpaikkamatriisi.

3.22 Kalman-suodatus

Rotterdamin liikenteenseurantajärjestelmää varten on suunniteltu ruuhkan ennustamisjärjestelmä, jonka tavoitteena on ennustaa suunnittain erään tielinkin kokonaisliikennemäärä, ruuhkatilanne ja keskimääräinen matka-aika. Järjestelmän päätavoitteena on tuottaa ennusteita reaaliaikaisesti siten, että ennusteet ovat riittävän tarkkoja ja että järjestelmä kykenee tuottamaan ennusteita kaikissa olosuhteissa (satunnaisessa ruuhkassa, onnettomuuksien ja tietöiden aikana jne.). Järjestelmän on myös kyettävä ottamaan ennusteissaan huomioon dynaamiset liikenteenohjaustoimenpiteet ja niiden vaikutukset. Tehtävään valittiin DYNA-DTMS-malli. Malli on yhdistelmä tilastollisesta liikennemallista ja dynaamisesta sijoittelumallista. (Ben-Akiva ym. 1992.)

Erittäin lyhyen aikavälin (1 - 10 minuuttia) ennusteiden tekemiseen käytettiin tilastollista mallia. Kaksi pääsyötä mallin valitsemiseen olivat sen nopeus ja tulosten tarkkuus tämäntyyppisissä ennusteissa. Näissä erittäin lyhyen aikavälin ennusteissa reitinvalinnalla ei ole suurta merkitystä, minkä takia tilastollisen mallin melko yksinkertainen kuljettajan reitinvalintaproseduuri ei vaikuta tuloksiin. Ennustamiseen valittiin Kalman-suodatin, koska se suodattaa liikennemittaukset reaaliajassa, tuntuu luonnolliselta valinnalta ennusteiden tuottamiseen, on joustava, kalibroi itse itsensä eikä siinä ole stationaarisuusoletuksia ja koska se pitää luonnostaan sisällään häiriöiden havainnoinnin. (Ben-Akiva ym. 1992.)

Kalman-suodattimen perusajatus on siinä, että haluttujen muuttujien arvot ennustetaan aiempaan tutkittavasta järjestelmästä olevaan informaatioon perustuen siihen hetkeen asti, kunnes uusi mittaus on käytettävissä. Kun uusi mittaustulos sitten saadaan käyttöön, muuttujan estimaattia korjataan mittauksen ja ennusteen väliseen erotukseen verrannollisena. (Karvonen ym. 1982.)

Tilastollista menetelmää täydentämään valittiin dynaaminen liikenteensijoittelumalli (DTA), jonka tehtävänä on tehdä pidemmän aikavälin ennusteita. Tällaisissa ennusteissa kuljettajan reitinvalinnalla on suurempi merkitys. DTA:ssa on kuitenkin kaksi haittapuolta: mallit ovat hitaita ja ne tarvitsevat dynaamisen lähtöpaikka-määräpaikkamatriisin lähtötiedoikseen. (Ben-Akiva ym. 1992.)

Lopuksi ennusteet yhdistettiin siten, että saatu ennuste oli mahdollisimman tarkka. Tämä tehtiin laskemalla ennusteista painotettu keskiarvo siten, että painokertoimet vaihtelevat ennustejakson pituuden mukaan ja minimoidaan yhdistetyn ennusteen varianssi. (Ben-Akiva ym. 1992.)

Stephanedes ym. (1990b, Kwon 1991, Stephanedes 1991) kehittivät moottori-tieliikenteen kysynnälle ja jakautumiselle ennustusalgoritmin, joka tunnistaa liikennevirran ominaisuudet reaaliajassa ja jota voidaan käyttää dynaamisessa liikenteenohjauksessa ja ajoneuvojen opastamisessa. Myös heidän mallinsa käyttää liikenteen jakauman ennustamisessa rekursiivista parametrien tunnistamista, joka perustuu laajennettuun Kalman-suodattimeen.

Malli jaettiin kahteen osamalliin. Niistä ensimmäinen ennusti jokaista aikajaksoa kohti rampille saapuvien ajoneuvojen osuuden niistä ajoneuvoista, joiden olisi mahdollista tulla rampille. Toinen osamalli käytti tietokannan tietoja niiden ajoneuvojen määrän ennustamiseen, joiden olisi mahdollista tulla rampille. Mallin parametrejä päivitettiin jatkuvasti laajennetun Kalman-suodattimen avulla käyttämällä ennustemalleja havaintoyhtälöinä. Mallin keskimääräinen liikenteenjakauman ennustevirhe vaihteli välillä 5,4 - 8,8 prosenttia. (Stephanedes ym. 1990b, Kwon 1991, Stephanedes 1991.)

Ashok & Ben-Akiva (1993) ovat kehittäneet periaatteet reaaliaikaiseen aikariippuvaisen lähtöpaikka-määräpaikkamatriisien estimoimiseen ja ennustamiseen. Ongelma on muotoiltu Kalman-suodattimeksi, jossa tilavektori koostuu eroista, joita lähtöpaikka-määräpaikkaparien välisissä liikennemäärissä on edellisiin estimaatteihin verrattuna. Lähtöpaikka-määräpaikkaparien välisten liikennevirran vaihteluiden ennusteita muokataan kunkin aikajakson lopulla saatujen linkkikohtaisten liikennelaskentojen tulosten perusteella. Tässä prosessissa käytetään hyödyksi tietoja verkolla jo olevien ajoneuvojen matka-ajoista ja reitinvalinnasta. Sen lisäksi, että lähtöpaikka-määräpaikkamatriisit generoidaan kulloisellekin nykyhetkelle, mallin avulla voidaan tehdä ennusteita tulevast ja päivittää aikaisempia matriiseja. Lähtöpaikka-määräpaikkamatriisin estimointimoduli päivittää ("suodattaa") sijoitteluestimaatteja vertaamalla linkkien liikennelaskentojen tuloksia estimaattien liikennemäärien kanssa. Tämän jälkeen estimoinnit tehdään seuraaville aikajaksoille ja prosessi jatkuu. (Ashok & Ben-Akiva 1993.)

Ashok & Ben-Akiva (1993) havaitsivat, että suodatettu estimaatti oli huomattavasti lähempänä todellisia arvoja kuin vastaavat tietokannan tietoihin perustuvat estimaatit. Ennusteen laatu heikkeni progressiivisesti ja ennustetuilla estimaateilla oli taipumus konvergoita tietokannan tietoihin perustuvien estimaattien kanssa, kun ennuste aika piteni.

Suodattimen toiminnan testaamiseksi he kokeilivat ennusteprosessia huonon tietokannan omaavalle datalle siten, että tehtiin useampi suodatus. He saivat tulokseksi, ettei suodatettujen estimaattien laatu ole erityisen herkkä tietokannan tietojen laadulle.

3.23 Neuroverkot ja sumea päättely

Matsui & Fujita (1998) ovat kehittäneet neuroverkkoihin ja sumeaan päättelyyn perustuvan matka-ajan ennustamismenetelmän moottoriteiden liikenneinformaatiojärjestelmien käyttöön. Mallissa käytetään ennusteen syötetietoina matka-aikaa ajoneuvon lähtöhetkellä ja tiejaksolla olevien ajoneuvojen lukumäärää.

Malliin tehtiin sumeaa päättelyä varten useita ohjaussääntöjä. Säännöt esitettiin numeerisessa muodossa neuroverkkoja varten. Myös raja-arvot määriteltiin neuroverkon avulla. Jos-osan selkeillä joukoilla oli sumean joukon piirteitä, koska ne korvasivat sumean logiikan jäsenyysfunktion neuroverkolla. Säännön sitten-osa koostui myös neuroverkosta.

3.24 Muita neuroverkkomalleja

Kwon & Stephanedes (1994) rakensivat neuroverkkomallin liikennemäärien ennustamiseen moottoritien poistumisrampeilla 5 minuutin jaksoissa. Ennustemalli rakennettiin kolmikerroksisena vastavirta-algoritmiin perustuvana neuroverkkona. Mallissa oli syöte- ja tulostuskerrosten välissä yksi piilokerros. Mallia rakennettaessa oletettiin, että poistumisrampin liikennemäärä on riippuvainen sekä ylä- että alavirran liikenneolosuhteista. Malli opetettiin sekä tarkastelupäivän että aikaisempien päivien liikennemäärädatalla, jolloin neuroverkko antoi vasteena halutun liikennemäärän. (Kwon & Stephanedes 1994.)

Kwon & Stephanedes (1994) vertasivat neuroverkkomallia olemassa olevaan UTCS-2-malliin, joka on erikseen kalibroitu kiinteäparametrinen, sekä aikaisemmista tiedoista koottua tietokantaa että nykyistä aineistoa käyttävä malli, ja mukautuvaparametriseen malliin, joka ennustaa liikennemäärät Kalman-suodattimen avulla. Jälkimmäinen vertailumalli koostuu kahdesta alamallista: ensimmäinen oli suunniteltu normaaleihin liikenneolosuhteisiin ja se käytti hyväkseen sekä tietokantaa että nykyistä aineistoa, malleista toinen oli suunniteltu poikkeuksellisiin tilanteisiin, joissa tietokannan tietoihin perustuva kysyntämalli erosi huomattavasti tarkasteluhetkellä mitatusta, ja se käytti ainoastaan nykyistä aineistoa. Mallin parametrit oli sovitettu neuroverkon opetusdatan avulla.

Vertailussa mallien tekemille ennusteille laskettiin keskimääräinen absoluuttinen virhe ja keskineliövirhe. UTCS-2-malli oli jokaisessa vertailussa huonoin. Mukautuvaparametrinen malli ja neuroverkkomalli tekivät vuorotellen pienimmät virheet. Neuroverkon keskimääräinen absoluuttinen virhe ja keskineliövirhe olivat kuitenkin hieman pienempiä kuin mukautuvaparametrisella mallilla. (Kwon & Stephanedes 1994.)

Zhang ym. (1997) ovat myös kehittäneet neuroverkkoon perustuvan ennustemallin dynaamisten liikenteenohjausjärjestelmien tarpeisiin. Neuroverkko rakennettiin mallintamaan Papageorgioun laajentamaa Paynen kontinuumimallia. Ennustamiseen käytetty neuroverkko perustui vastavirta-algoritmiin ja se koostui syöte- ja tulostuskerrosten lisäksi kahdesta piilokerroksesta. Mallin syötteet ja vasteet valittiin käytetyn liikennemallin mukaisesti. Syöteinä olivat nopeus tarkasteltavalla tiejaksolla ja sitä edeltävällä tiejaksolla tarkasteluhetkellä, liikennetiheys tarkasteltavalla tiejaksolla ja sitä seuraavalla tiejaksolla tarkasteluhetkellä ja rampille tulevien ajoneuvojen liikennemäärä tarkasteluhetkellä, ja vasteena nopeus tarkasteltavalla tiejaksolla ennustehetkellä.

Mallia opettaessa syötteet annettiin sekä liikenne- että neuroverkkomallille. Mallien antamia vasteita verrattiin ja erotus syötettiin takaisin neuroverkkoon, jolloin verkko korjasi painokertoimia ja kynnsarvoja omien oppimissääntöjensä mukaisesti. Näin neuroverkko oppi mallintamaan liikennettä valitun liikennemallin mukaisesti. Malli opetettiin simuloinnin avulla saadulla datalla. (Zhang ym. 1997.).

3.3 Linkkikohtaisen liikennetilanteen ajantasainen arvointi

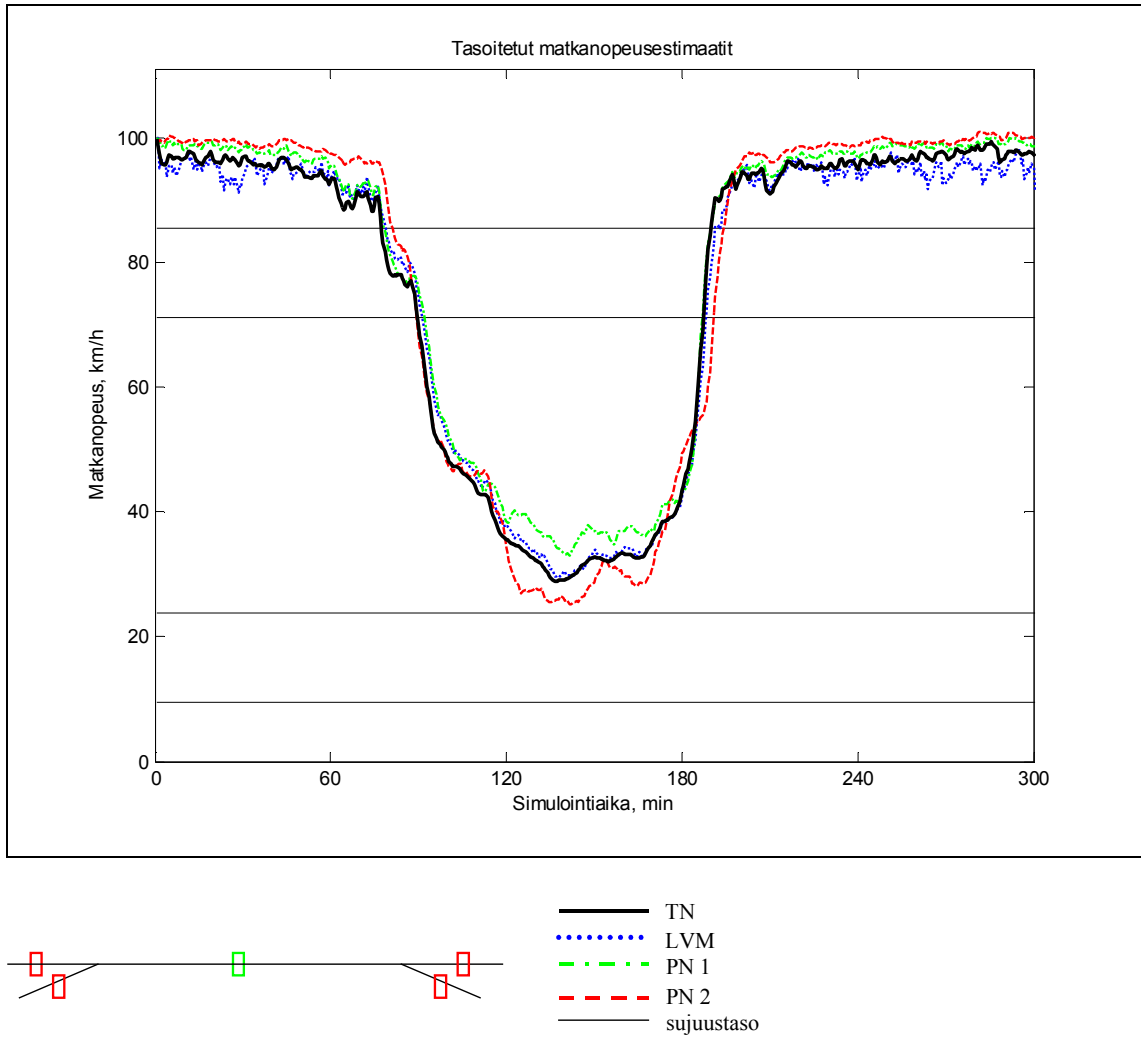
Projekti tehtiin diplomityönä TKK:lla (*Mattila 2004*) osana DigiTraffic-hanketta. Työn tilaajana oli Tiehallinto ja konsulttina Traficon Oy. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, mitä menetelmiä voidaan käyttää liikennetilanteen eli liikenteen sujuvuuden arviointiin, kun lähtötiedon määrä ja laatu vaihtelee. Liikennetilannetta kuvaavaksi suureeksi valittiin matkanopeus.

Liikenteen seurannan perustan muodostavat induktiosilmukkailmaiset, jotka tuottavat tietoa liikennemäärästä, pistenopeudesta, ajoneuvotyypistä ja ilmaisimen varausasteesta. Pistetietojen lisäksi liikennetilanteen arvioinnissa voidaan käyttää tietoa mm. matka-ajoista.

Tutkimus suoritettiin laboratorio-olosuhteissa simuloitulla liikenteellä. Simuloituun tiejaksoon asetettiin kutakin koeasetelmaa vastaavat ilmaisinjärjestelyt. Ilmaisintieto vietiin mallinnohjelmaan, joka estimoii linkin matka-aikaa. Myös simulaattorissa toteutunut matka-aika mitattiin, jolloin mallien (esim. liikennevirtamalli) tuloksia voitiin verrata toteutuneeseen matka-aikaan. Simulointitutkimuksessa käytettiin Hutsim-mikrosimulointiohjelmaa.

Simulointitutkimukseen valittiin neljä eri menetelmää. Pelkkää pistenopeutta käyttäviä menetelmiä oli kaksi, joista ensimmäinen perustui linkin keskellä mitattuun ja toinen linkin päissä mitattuihin pistenopeuksiin. Lisäksi tarkasteltiin yksinkertaista jatkuvuusyhtälöön ja liikennevirran perusyhtälöön perustuvaa liikennevirtamallia ja radiaalikaantafunktio-neuroverkkomalleja, joiden syöteinä käytettiin sekä pistemittaustietoa että matka-aikamittausta.

Liikennevirtamalli tuotti varsin hyviä matkanopeusestimaatteja lähes kaikissa tilanteissa, mutta on erittäin herkkä ilmaisinvirheille. Ilmaisinvirheiden vaikutuksen poistamiseksi kokeiltiin kahta eri tekniikkaa. Neuroverkkomallit estimoivat liikennetilanteen hyvin, kun opetus on onnistunut ja syötteet valittu hyvin. Pistenopeusmallit pärjäsivät hyvin silloin, kun liikennetilanne linkillä oli homogeeninen. Kaikkien menetelmien oli vaikeinta estimoida matkanopeutta tilanteissa, joissa linkillä oli häiriö.



Kuva 10. Matkanopeusestimaatit iltaruuhkan aikana (Mattila 2004) liikennevirtamallilla (LVM) ja pistenopeuksilla (PN1-2).

4 SIMULOINTI

4.1 DigiTraffic ja simulointi

DigiTraffic-hanke liittyy nimensä mukaisesti liikennejärjestelmän digitalisoitumiseen sekä laskennallisten (digitaalisten) mallien kehittämiseen. DigiTraffic-mallinnuskonseptiin kuuluvat toisaalta tietomallit ja toisaalta laskentamallit. Simulointi on yksi keskeinen tapa mallintaa liikennetilanteita, koska se sitoo yhteen tieto- ja laskentamallit. DigiTraffic-mallinnuskonsepti ei kuitenkaan ole rajattu simulointiin vaan DigiTraffic-hankkeessa tutkitaan ja kartoitetaan myös muita mallinnusmenetelmiä kuten mm. liikennevirtamalleja, Kalman-suodatusta, sumeaa logiikkaa ja neuroverkkoja jne.

Simulointi on varsin laaja käsite, joka usein liitetään suppeasti vain tietokone-ohjelmiin. Simulointia voidaan kuitenkin suorittaa ainakin mentaalisesti, fyysisesti tai tietokoneen avulla. Tietokone soveltuu simulointiin lähinnä yleiskäyttöisyytensä vuoksi, mutta esim. pelastusharjoituksissa simulointi tapahtuu fyysisesti. Simulointi on yleisesti ottaen kognitiivinen prosessi. Esimerkiksi lapsi leikkiessään simuloi ympäristöään ja kehittää siten itselleen malleja todellisuudesta. Sama pätee yleisemminkin eli simulointi on prosessi, jonka avulla kehitetään parempaa käsitystä (mallia) todellisuudesta, kuten esimerkiksi liikenteestä.

Simulointi kytkeytyy myös DigiTraffic-hankkeeseen usealla eri tavalla, joita tässä luvussa pyritään käymään läpi:

- 1) Ajantasaisena tai ennustavana mallina (yksi vaihtoehto muiden joukossa)
- 2) Tutkimusmenetelmänä (simuloidun mittaustiedon käyttö)
- 3) Tiedon infrastruktuuriin liittyvänä elementtinä (yhtenäiset tietomallit)

DigiTraffic-hankkeen kaksisuuntainen tavoite pätee myös simulointimallinnukseen. Ensisijainen tavoite on tuottaa lisäarvoa liikenteen palveluihin yhdistämällä liikenteen mallintaminen liikennetelematiikkaan (tiedonkeruu ja -jakelu). Toissijainen tavoite liittyy siihen, että liikenteen suunnittelun ja tutkimuksen simulointimalleja tulisi kytkeä kiinteämmin muuhun tietoyhteiskunnan kehittymiseen lisäämällä mallien käytettävyyttä, yhteensopivuutta, luotettavuutta jne.

Simulointimallissa yhdistyvät sekä tietomallit että laskentamallit. Simulointi on siis ns. rakenteellinen malli, joka sisältää kuvauksen mallinnettavasta kohteesta toisin kuin esim. neuroverkot tai sumea logiikka, jotka ovat ns. universaaleja approksimaattoreita. Simulaattorin tietomalli on suhteellisen staattinen ja kuvaa simuloitavan liikennejärjestelmän rakenteen ja sen eri osien väliset yhteydet. Laskentamallit kytkeytyvät tietomallin objekteihin ja säätelevät mm. ajoneuvojen liikkumista simulointimallissa.

Simuloinnissa on aina mukana aika-ulottuvuus. Yleisesti ottaen simulaattori on tapahtumageneraattori, jossa tapahtumat tuotetaan ajan funktiona. Kello on laite, joka tuottaa

riippumattomia vertailutapahtumia, joihin nähden muut tapahtumat asettuvat. Myös simuloinnissa aika on vain tapahtumien järjestystä, eikä simuloituihin tapahtumiin sinänsä vaikuta se, miten nopeasti simulaattorin kello käy.

Keskeisin simulointisovellus DigiTraffic:ssa on ajantasainen liikennetilanteen mallinnus (*Taulukko II, 1*). Liikenteestä saatavat mittaustiedot syötetään on-line simulointimalliin, jota ajetaan normaalisti reaaliajassa. Ajantasaista simulointimallia käytetään ns. tilaestimaattorina luomaan kokonaiskuvaa vallitsevasta liikennetilanteesta. Simulointimallin tehtävä on täyttää mittaustiedoissa olevat aukot eli interpoloida mittausten välisiin jäävä aika ja tila. Simulointimalli siis esittää sekä liikennetilanteet että niiden muutokset. Mallista voidaan laskea erilaisia liikenteen tunnuslukuja eli jalostaa tietoa ja tuottaa lisäarvoa erilaisille palveluille. Liikennetilanteet ja tunnusluvut voidaan esittää tietokantana, johon voidaan kohdistaa erilaisia kyselyjä. Ajantasaisen DigiTraffic-mallin tuottamia tietoja voidaan käyttää sekä liikenteen palvelujen tuottamiseen että älykkäämmän liikenteen ohjauksen kehittämiseen.

DigiTraffic-mallinnusjärjestelmällä pyritään myös tarkempaan liikennetilanteiden ennustamiseen. Ennustavalla simuloinnilla (*Taulukko II, 2*) esitetään liikenteen nykytilanteen sijasta arviota sen tulevasta tilanteesta. Edellytyksenä on että nykyhetken liikennetilanne tunnetaan riittävän hyvin. Jos nykyhetken arvio on tuotettu ajantasaisella simuloinnilla, voidaan ennuste tuottaa käynnistämällä ohjelmasta uusi kopio, joka alkaa liikenteen nykytilanteesta. Simulaatiota ajetaan nopeutetusti eteenpäin, jolloin voidaan tuottaa ennuste tulevasta tilanteesta. Tarvittaessa voidaan myös tehdä useita ennustesimulointeja eri lähtöoletuksilla mm. valo-ohjauksen ja saapuvan liikenteen suhteen. Liikennetilanteiden ennustaminen sisältää monia lähtöoletuksia, joten sitä voidaan luotettavasti tehdä vain melko lyhyelle aikavälille (max. 1h).

DigiTraffic-hankkeen yhtenä tavoitteena on yleisesti edistää liikennejärjestelmän yhtenäistä digitaalista mallintamista. Siksi myös simuloinnin perinteinen käyttö ja simulointimallien kehittäminen kuuluvat laajasti ottaen DigiTraffic-sateenvarjohankkeen alle. Tavanomainen simuloinnin käytötapa on vaikutusten arviointi (impact assessment) (*Taulukko II, 3*). Tällöin simuloinnin avulla arvioidaan erilaisten tekijöiden/muutosten vaikutuksia liikennejärjestelmässä. Vaikutusten arvioinnissa simulointi on käytännössä off-line tyyppistä, jota pyritään ajamaan maksiminopeudella eikä reaaliajassa. Tyypillisiä simulointisovelluksia ovat mm. kehittyneet valo-ohjausjärjestelmät, pääväylien ohjausjärjestelmät, automaattinen nopeuden/aikavälin säätö, reittiopastus jne. Vaikutusten arviointi on tärkeä osa telematiikkajärjestelmien kehittämisessä, koska kyseessä voivat olla suuret investoinnit. Simulointi on hyvä keino tutkia eri telematiikkajärjestelmien vaikutuksia jo etukäteen, koska voidaan säästää kalliita maastomittauksia.

Liikennetelematiikan mallien ja palvelujen kehittämisessä tärkeää on käytettävien menetelmien toimivuus ja luotettavuus. Kun liikenteestä saatavasta ilmaisintiedosta pyritään jalostamaan liikenteen tunnuslukuja on ongelmana usein se miten varmistetaan lu-

kujen oikeellisuudesta. Yleensä tarvitaan kalliita maastomittauksia ja silloinkaan ei yleensä voida kattaa kaikkia liikennetilanteita. Menetelmiä voidaan tutkia myös simuloitulla liikenteellä (*Taulukko II, 4*). Tällöin todellinen liikenne korvataan riittävän tarkalla simulointimallilla, johon voidaan kohdistaa samanlaisia mittauksia kuin maastossa. Itse tutkittava menetelmä voi olla mikä tahansa algoritmi, joka tuottaa liikenteen tunnuslukuja. Menetelmä laskee simuloituista mittauksista tunnuslukuja, joita verrataan simulaattorin antamiin vertailuarvoihin. Tällä tavoin voidaan simuloitun liikenteen avulla systemaattisesti arvioida eri mittaus- ja laskentamenetelmien toimivuutta.

Simulointimalleja perinteisesti käytetään liikenteen suunnittelun ja tutkimuksen tarpeisiin. Ongelmat yleensä liittyvät simuloinnissa tarvittavien lähtötietojen hankkimisen työläyteen sekä simulointimallin toiminnan kalibroimiseen. Automatisoidussa simuloinnissa (*Taulukko II, 5*) perusajatuksena on hyödyntää liikennetelematiikkaa simulointimallien käytettävyyden ja luotettavuuden parantamiseen. Tarvittavat lähtötiedot eli mm. liikenneverkon, valo-ohjauksen ja liikennemäärien kuvaukset voitaisiin hankkia tietokantakyselyinä, sen sijaan että tiedot syötetään käsityönä. Ajantasaiset tietoliikenneyhteydet mittausjärjestelmiin mahdollistaisivat sen, että simulointimallien kalibrointi- prosesseja voitaisiin ajaa automatisoidusti.

Taulukko II: Simulointimenetelmien käyttö liikennetelematiikan sovelluksissa ja tutkimuksessa

No	Simuloinnin käyttötapa	Ensisijainen käyttötarkoitus	Sovelluksia
1.	Ajantasainen liikennetilanteen mallinnus	Liikenteen palvelut	Liikenteen tiedotus, ohjaus ja hallinta
2.	Liikennetilanteen ennustaminen	Liikenteen palvelut	Liikenteen tiedotus, ohjaus ja hallinta
3.	Vaikutusten arviointi	Suunnittelu ja tutkimus	Valo-ohjauksen, reittiopastuksen ym. toiminnan arvioiminen
4.	Menetelmien arviointi	Suunnittelu ja tutkimus	Simuloidun liikenteen käyttö mallin- nusmenetelmien arvioinnissa
5.	Automatisoitu simulointi	Tutkimus ja palvelut	Automatisoitu verkon kuvaus ja pa- rametrien säätö

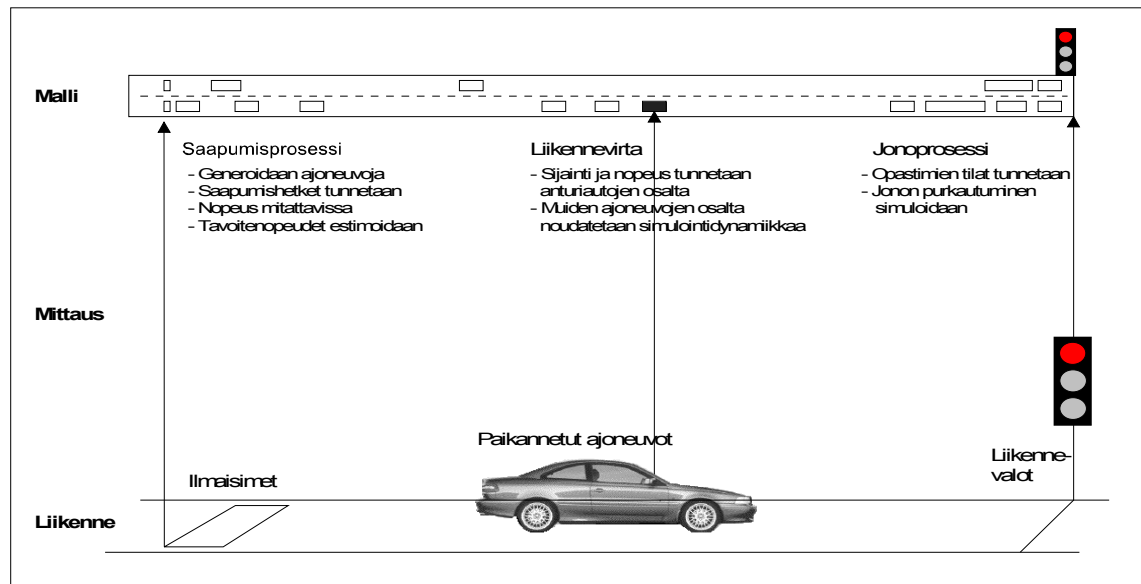
4.2 Ajantasainen liikennetilanteen mallinnus

4.21 Ajantasaisen simulointimallin kehittäminen

Optimaalisen simulointimallin valitseminen tai kehittäminen on vaikeaa, koska kriteerit ovat keskenään ristiriitaisia. Ajantasaisessa simuloinnissa malli ei saa olla laskennallisesti liian raskas ja monimutkainen. Silti mallin on oltava riittävän realistinen, jotta sen on mahdollista tuottaa liikenteen oleelliset ilmiöt. Mallin ei välttämättä tarvitse olla erityisen karkea esim. ajan, paikan tai nopeuden suhteen, koska tämä ei välttämättä oleellisesti lisää nopeutta. Tärkeämpää on että mallin säädettävyys on yksinkertaista ja perustuu muutamaankin avainparametriin.

Ajantasaista simulointimallia on voitava kalibroida myös käytön aikana ja siksi parametrijohdistelmien määrän täytyy olla mahdollisimman pieni. Tärkeimpiä parametreja ovat mm. tavoitenopeustaso, seuranta aikaväli, ominaisvälityskyky ja kaistanvaihtoherkkyys. Keskiarvojen lisäksi merkitystä on tietenkin myös suureiden hajonnalla. Mallin perusparametreja täytyy voida säätää ajan ja paikan mukaan. Esimerkiksi ominaisvälityskyky vaihtelee erityisesti paikan mukaan, mutta voi riippua jonkin verran myös vuorokauden ajasta.

Simulointimallin perustan muodostaa linkkitason tarkastelu (kuva 10). Tarkasteltavan tie/katujaksolle tuleva liikennemäärä on tunnettava ajan funktiona. Tämä tieto saadaan lähinnä ilmaisimista, joiden tulisi olla kaistakohtaisia. Ilmaisimparilla saadaan myös ajoneuvon nopeus ja pituus sekä mahdollisesti ajoneuvon tyyppi.



Kuva 10. Ajantasaisen simuloinnin periaate linkkitasolla

Ajoneuvot siis generoidaan linkin alkuun ilmaisintietojen perusteella. Ajoneuvojen liikuminen linkillä perustuu liikennevirran lainalaisuuksiin, jotka on mallinnettu simu-

lontiohjelmassa. Jos saapuvan liikenteen aikavälit ovat pieniä, autot joutuvat lähelle toisiaan jolloin nopeus laskee ja liikenne ruuhkautuu. Ruuhkautumisen voi aiheuttaa myös välityskyvyn laskeminen jossain kohtaa linkkiä. Häiriö liikennevirrassa tyypillisesti aiheuttaa tilapäisen välityskyvyn alenemisen, jolloin simulointimalli tuottaa häiriötä vastaavan ruuhkan muodostumisen. Simulointi mallintaa myös ruuhkan purkautumisen ja siihen kuluvan ajan häiriön jälkeen.

Katuympäristössä liikennevalot muodostavat pysyvän ”häiriön”, jonka synnyttämä ”ruuhka” on yleensä normaalia jonon muodostusta. Kun vihreän valon osuus on liian pieni suhteessa liikennemäärään, alkaa jonon pituus vähitellen kasvaa ja syntyy varsinainen ruuhka. Kun valojen ajoitus tunnetaan voidaan jononmuodostus mallintaa simuloimalla.

Linkkitason mallinnus toimii simuloimalla varsin hyvin. Jononmuodostus, matka-aika ja ruuhkautuminen mallintuvat oikein mikäli saapuva ja poistuva liikennemäärä tunnetaan riittävällä tarkkuudella. Liikennevaloympäristössä lähtötiedot ovat helpoimmin saatavissa, koska ilmaisimia yleensä on riittävästi ja poistuva liikennemäärä saadaan liikennevalojen toiminnasta. Päätieympäristössä ruuhkan muodostus yleensä johtuu joko pelkästään korkeasta kysynnästä tai sitten sen lisäksi ulkoisesta häiriöstä. Häiriön syntymistä ei voida ennustaa, mutta kun häiriö on tunnistettu voidaan arvioida sen parametreja (häiriön aiheuttama välityskyvyn lasku ja sen arvioitu kesto). Parametrit voidaan syöttää tiedot simulointimalliin, joka laskee seuraukset.

Linkkitason mallinnus siis perustuu liikennevirran perusominaisuuksiin ja siten hallitaan melko hyvin. Verkkotasolla tulee vastaan uusia kysymyksiä. Kun ajoneuvo saapuu liittymään ei sen poistumissuuntaa tunneta, koska siihen ei ole olemassa sopivaa mitausmenetelmää. Keskiarvoihin perustuen voidaan kuitenkin laskea todennäköisyys kullekin kääntymissuunnalle. Yksittäisen ajoneuvon kääntymissuunta pitää siis arpoa, jolloin seuraavan linkin saapumisprosessiin voi kertyä virhettä. Pitkällä aikavälillä virheet kumuloituvat, mikä johtaa mallin esittämän liikennetilanteen vääristymiseen.

Verkkotason simuloinnin kannalta ei kuitenkaan ole tärkeää mikä yksittäinen auto kääntyi mihinkin suuntaan, vaan se että kullekin linkille saapuu oikea määrä liikennettä. Siksi parempi ratkaisu on mitata saapumisprosessi kunkin linkin alussa. Tämä ei aiheuta lisäilmaisimien tarvetta, koska myös kääntymissuunta todennäköisyyksien arvioimiseen tarvitaan ilmaisimet linkkien alussa.

Jokaisen linkin alussa autot siis ”generoidaan uudelleen” ilmaisimien havaintojen mukaisesti. Tällöin linkkien ajoneuvotiheyteen ei pääse kertymään virhettä samalla tavoin kuin jos pelkästään arvottaisiin autojen kääntymissuuntia. Koska risteysalueen simulointi ei verkkotason tarkastelun kannalta ole kovin oleellista, voidaan risteysaluetta käsitellä ”mustana laatikkona”, johon vain saapuu ja josta lähtee ajoneuvoja.

Ajantasaisen simuloinnin kannalta linkin alussa olevat kaistakohtaiset ilmaisimet ovat ensiarvoisen tärkeitä. Mikäli linkkiväli on pitkä (yli 500m) voi olla tarpeen lisätä ilmaisinpiste myös esim. linkin puoliväliin. Mittauspiste voidaan ajatella verkossa ”nollaliittymäksi”, jolla on yksi tulosuunta ja yksi poistumissuunta ilman mitään ohjausta. Myös tässä ”liittymässä” saapumisprosessi toteutetaan uudestaan. Ajoneuvot, joiden simuloitu saapumisaika esim. puolimatkan ilmaisimelle on merkittävästi virheellinen poistetaan ja generoidaan uudelleen.

Linkin lopussa ilmaisimet eivät ole simuloinnin kannalta yhtä tärkeitä. Ongelmana kuitenkin on se, että Suomessa liikennevalo-ohjauksen tarvitsemat ilmaisimet sijaitsevat pääosin linkin lopussa eli risteyksestä katsottuna saapuvan liikenteen puolella. Tämä liittyy vallalla olevaan valo-ohjausperiaatteeseen, jossa tarvitaan suuri määrä ilmaisimia ja ilmaisilogiikkaa tuottamaan vihreän valon pidennykset. Risteyksestä poistuvan linkin puolella eli linkin alussa ei usein ole ilmaisimia lainkaan.

Liikennevalo-ohjatussa ympäristössä ilmaisimien lisääminen poistuvan linkin puolelle ei liene merkittävä kustannuskysymys, koska kojeisiin on helppo lisätä uusia ilmaisimia vapaisiin kanaviin. Päätieympäristössä kustannus voi olla korkeampi, mutta tuskin nykytekniikalla mikään kohtuuton.

Liikennevaloympäristössä linkin lopussa olevia ilmaisia voidaan käyttää liikennemallin tarkkuuden ja laadun parantamiseen. Pysäytysviivalla olevia läsnäolo ilmaisimia voidaan käyttää ilmoittamaan milloin jonoa ei ole. Tällöin simulointimallin jonopituus nollataan ja mahdollinen virhe poistuu. Linkin lopussa on tärkeää tietää vihreän valon kesto ja ominaisvälityskyky. Simuloidun purkautumisliikennemäärän tarkkuutta voidaan lisätä, jos tätä varten on sopiva (lyhyt) ilmainen lähellä pysäytysviivaa. Linkin lopussa olevilla kääntymiskaistojen ilmaisilla saadaan tietoa kääntymissuuntien todennäköisyyksistä.

Ajantasaisen simuloinnin toteuttamiseen ei siis välttämättä tarvita kovin suurta määrää ilmaisimia kun verrataan siihen miten paljon ilmaisia tarvitaan valo-ohjaustoimintojen toteuttamiseen. Painopiste ilmaisimien sijoittelussa on kuitenkin toinen ja tämä olisi hyvä ottaa huomioon uusia ilmaisinasennuksia tehtäessä.

Mikrosimulointimalleissa liikenne jakaantuu yleensä joko kysyntämatriisin mukaan (kuten HUTSIM) tai risteyskohtaisten kääntymissuuntajakaumien mukaan. Kysyntätietojen hankkiminen varsinkin suurelle verkolle on vaikeaa erityisesti kun kysyntämatriisi on aikariippuvainen. Ajantasaisen mikrosimulointimallin tuottamiseen verkkotasolla ei kuitenkaan välttämättä tarvita kysyntämatriisia, koska mallinnetaan vain verkon tilaa, eikä sitä liikenteen kysyntää, joka tilan on aiheuttanut. Myöskään risteyskohtaisia kääntymissuuntajakaumia ei välttämättä tarvitse tuntea, jos ilmaisintieto on saatavissa kunkin linkin alusta.

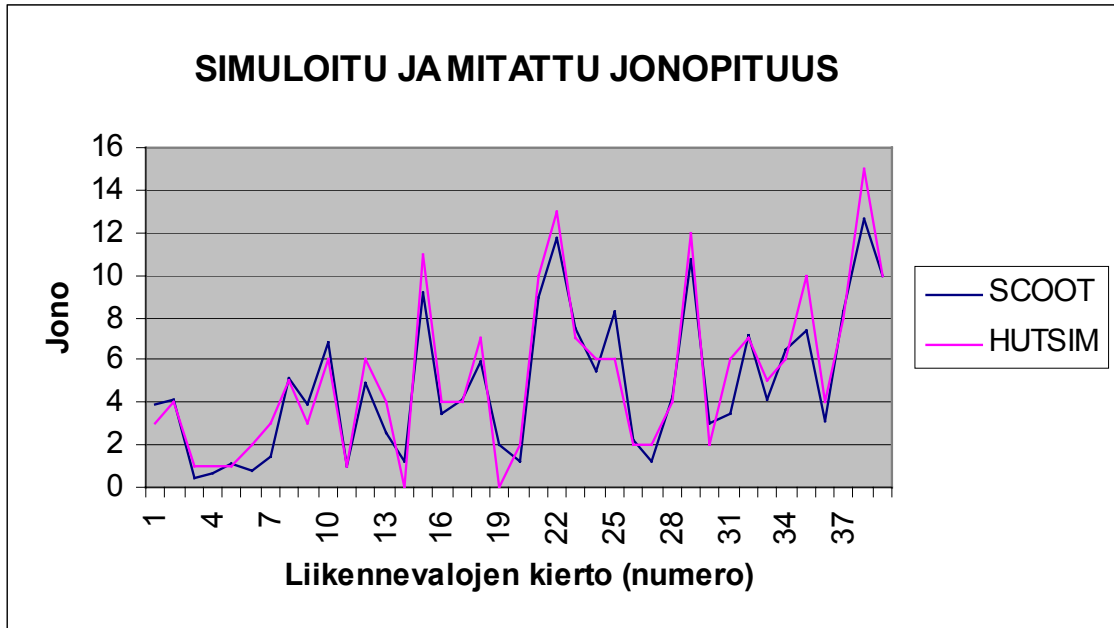
Kun jokaisen linkin toiminta on mallinnettu erikseen, ei verkkomalliin periaatteessa kumuloidu virhettä. Virheet siis pysyvät paikallisina ja liittyvät kunkin yksittäisen linkkimallin mahdolliseen epätarkkuuteen. Mallista voidaan silti laskea/kysellä tunnusluvut myös verkkotasolla. Koska simuloinnissa liikennevirta on mallinnettu yksityiskohtaisesti, voidaan siitä laskea matka-ajan lisäksi mm. viivytyksiä, pysähdyksiä/nopeusmuutoksia, jonopituuksia/jonoprosentteja, ruuhkautumisastetta, päästöjä, kulutusta jne. Verkkotasolla yksi tärkeimmistä kysymyksistä on eri reittivaihtoehtojen vertailu. Kun linkkitasolla tunnetaan kunkin linkin matka-aika tai keskinopeus, voidaan minkä tahansa reitin matka-aika tai keskinopeus selvittää käymällä reitti läpi ja summaamalla matka-ajat. Käytännössä tämä voidaan toteuttaa mm. tietokanta kyselynä tietokannasta, joka sisältää linkkikohtaiset tiedot.

Seuraavassa on esitetty ajantasaiseen simulointiin liittyviä kokeiluja ja tutkimuksia. Useimmat näistä kokeiluista liittyvät HUTSIM-malliin, koska se on TKK:lla kehitettyä ollut saatavissa ja sitä on voitu kehittää tutkimustarpeiden mukaisesti. Tutkimusten tulokset on kuitenkin syytä nähdä laajemmassa yhteydessä, jossa tärkeintä on ollut järjestelmän periaatteiden selvittäminen ja mahdollisten ongelmakohtien paikallistaminen.

4.22 Ajantasainen simulointi liikennetietopalvelun tuottamisessa

Alustavia simulointikokeita on tehty mm. Nottingham-Trent yliopistossa. Simulointimallina toimi tuolloin HUTSIM ja mittausjärjestelmänä SCOOT valo-ohjaus järjestelmä. SCOOT-järjestelmästä saatiin verkkoyhteyden kautta ajantasaisesti tieto opastimien ja ilmaisimien tilasta. Linkille saapuva liikenne saatiin linkin alussa sijaitsevasta ilmaisimesta. Poistuva liikenne taas mallinnettiin tuntemalla opastimien tila ja keskimääräinen purkautumisliikennemäärä. Linkkivälillä tapahtumat, kuten jononmuodostus perustui simulointiin. SCOOT-järjestelmä soveltuu tutkimustarkoituksiin hyvin, koska se tarjoaa mittautustietojen lisäksi myös vertailutietoa. SCOOT-mallin tuottamat tiedot mm. jonopituudesta on kalibroitu kenttämittauksin, joten sen tuottamia vertailuarvoja voidaan pitää luotettavina.

Ajantasaista mikrosimulointia HUTSIM-mallilla kokeiltiin ensin siten, että vain koalueen reunoilta generoitiin malliin autoja. Alueen sisäisten linkkien liikenteen piti syntyä saapuvan liikenteen seurauksena kun tunnetaan kääntymissuuntajakaumat. Näin ei käynyt vaan sisäisten linkkien liikenne alkoi poiketa yhä enemmän todellisesta liikenteestä. Tämä johtui ennen kaikkea satunnaisuudesta, jolla ajoneuvoja arvottiin eri kääntymissuunnille ja siitä ettei hetkellistä kääntymissuuntajakaumaa saatu luotettavasti mitattua. Näin ollen päädyttiin siihen ratkaisuun, että myös sisäisten linkkien liikenne tuotetaan ilmaisimien avulla, jolloin vältetään virheen kumuloitumiselta.



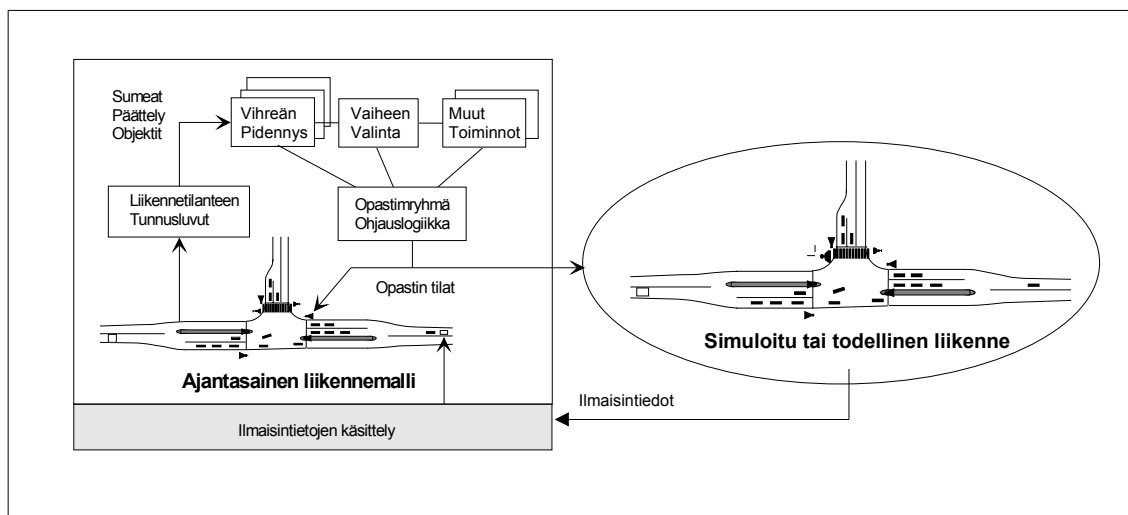
Kuva 11. Ajantasaisen mikrosimuloinnin vertailu kalibroituun SCOOT-malliin (jonopituus)

Linkkimallin toimintaa arvioitiin jonomuodostuksen avulla (kuva 11). HUTSIM-mallin tuottamaa jononpituutta linkillä verrattiin SCOOT:n tuottamaan vertailuarvoon. Mikrosimulointimalli näytti selvästi tuottavan oikeansuuntaisia jononpituuksia. Tulos on tyydyttävä koska se saatiin aikaan HUTSIM:n normaaleilla parametriarvoilla, ilman mitään lisäkalibrointeja. Virhemarginaalissa on hyvä ottaa huomioon että jonokriteerit vaihtelevat mallista toiseen ja että HUTSIM:ssa jono on aina kokonaisluku toisin kuin SCOOT:ssa.

Tutkimusjärjestelmää ei toteutettu laajemmassa mittakaavassa mm. sen vuoksi että Suomessa ei SCOOT-järjestelmää ole käytössä. Tutkimuksesta saatiin kuitenkin arvokasta tietoa siitä miten ajantasainen simulaatio tulisi toteuttaa.

4.23 Ajantasainen simulointi liikennevalojen ohjauksessa

Valo-ohjausjärjestelmä on yksi luonteva tapa kerätä liikennetilanteen mallinnukseen tarvittavaa mittaustietoa. Ohjausjärjestelmän on toimiakseen kerättävä tiedot ilmaisimista. Opastimien tilat luonnollisesti tunnetaan, koska niiden tilaa ohjataan. Suomessa yleisesti käytössä olevat ohjausjärjestelmät eivät kuitenkaan mallinna liikennettä eivätkä siten tuota liikenteen tunnuslukuja kuten esim. Englantilainen SCOOT- ja Italialainen SPOT-järjestelmä. TKK:ssa on kehitetty älykästä liikennevalojen ohjausjärjestelmää, joka mahdollistaa liikenteen tunnuslukujen tuottamisen valo-ohjausjärjestelmän avulla.



Kuva 12. Liikennevalojen ohjaus sumeaa logiikkaa ja DigiTraffic-periaatetta käyttäen

Nykyisissä ohjauskojeissa ilmaisintietoja käytetään ainoastaan vihreän pyyntö- ja pidennys-signaalien tuottamiseen yksinkertaisen ilmaislogiikan avulla. Kehittynyt tai ”älykäs” ohjausjärjestelmä ei voi perustua pelkästään peräkkäisiin ilmaisinpulsseihin, vaan sillä on toimiakseen oltava kokonaiskuva eli malli liikenteestä. DigiTraffic valo-ohjaus perustuu ajantasaiseen liikennetilannemalliin, joka esittää liikenteen kokonaistilanteen päätöksenteon pohjaksi. Samalla luodaan perusta liikenteen tunnuslukujen tuottamiseen ajantasaisesti. TKK:ssa kehitetyssä sumeaa logiikkaa käyttävässä FUSICO-valo-ohjauksessa sovelletaan DigiTraffic-konseptia (kuva 12).

Erillisohjatuissa liittymissä simulointipohjainen ohjaus yhdessä sumean logiikan kanssa on osoittautunut toimivaksi. Liikennemallissa käytetään lähinnä kulkuilmaisimien tietoja ajoneuvojen generointiin. Simulointimallin on tällöin toimittava varsin tarkasti, jottei jonon muodostukseen kerry virhettä.

Alueellinen valo-ohjausjärjestelmä perustuu samoihin periaatteisiin kuin erillisohjaus. Alueellinen ohjauslogiikka laskee tarvitsemansa tiedot suoraan simulointimallista. Kun järjestelmä siirretään laboratorion kentälle, täytyy alueellinen simulointimalli saada toimimaan ilmaisintietojen mukaisesti. Tämän jälkeen alueen tunnusluvut voidaan simuloida ja tallettaa palvelimen tietokantaan, josta erilaiset palvelut voivat hakea tietoja.

FUSICO-ohjauskojetta ei kuitenkaan ole toistaiseksi kehitetty sellaiseksi että se keräisi mallin tunnusluvut systemaattisesti yhteen ja lähettäisi eteenpäin. Tunnuslukujen keräämistä ja jatkokäsittelyä tullaan edelleen kehittämään DigiTraffic-hankeessa.

4.24 Soluautomaatti liikennetilanteen mallinnuksessa

TKK:n fysiikan laboratoriossa tutkitaan soluautomaattimallien sovelluksia erilaisiin ongelmiin. Liikennevirta on osoittautunut soluautomaatilla mallinnettavaksi ilmiöksi ja

tätä varten on käynnistetty tutkimusyhteistyö TKK:n liikennelaboratorion ja fysiikan laboratorion kesken. Tutkimusyhteistyössä selvitetään mittauksen ja mallinnuksen systematiikkaa käyttäen apuna liikenteen mikrosimulointia (HUTSIM) ja soluautomaattimallinnusta (CA). Tutkimus tehdään ainakin alkuvaiheessaan laboratoriokokeina, jossa sovelletaan edellä kuvattua simulointiperiaatetta menetelmien arviointiin.

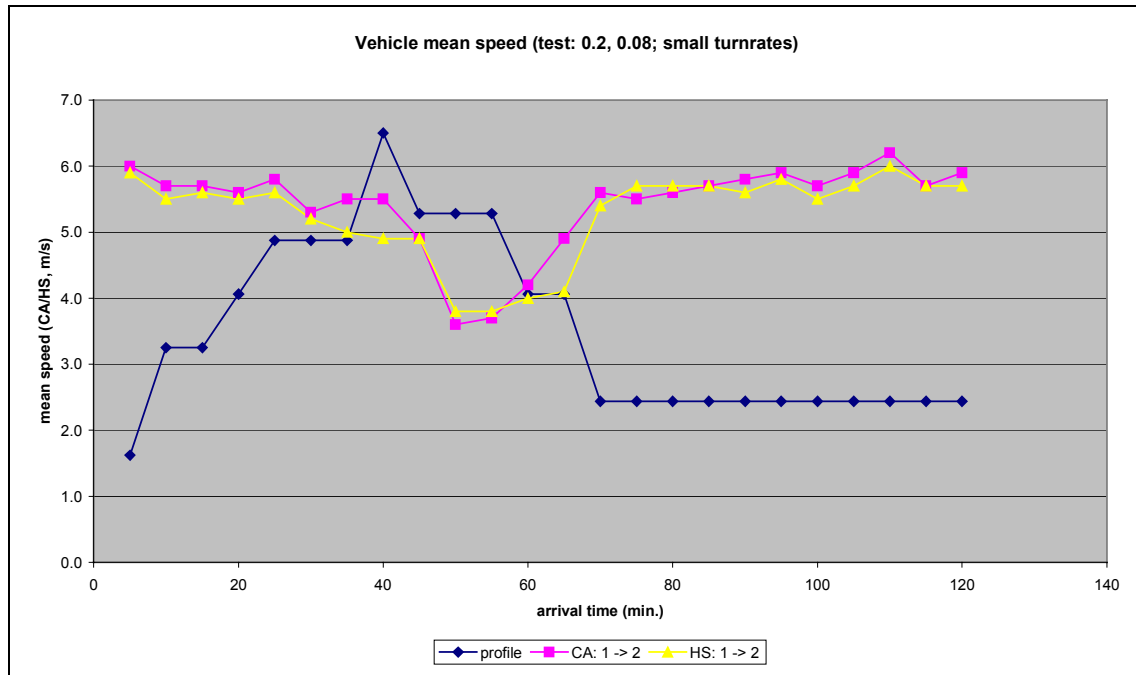
Koejärjestelyssä mikrosimulaattori (HUTSIM) edustaa todellista liikennettä. HUTSIM-malliin sijoitetaan ilmaisimia, jotka mittaavat tiedot kustakin ajoneuvosta tietyssä pisteessä ja lähettävät tiedot eteenpäin. Ilmaisintiedon lisäksi simulointimallista mitataan myös opastimien tilat eli opastimien tilamuutokset lähetetään eteenpäin.

Soluautomaattimalli pyrkii mallintamaan simulaattorissa vallitsevan liikennetilanteen pelkästään mittaustietoihin perustuen. Soluautomaattimalli soveltuu yksinkertaisuutensa vuoksi hyvin ajantasaiseen mallintamiseen. Ilmaisintietojen perusteella malliin generoidaan ajoneuvoja. Ajoneuvot noudattavat liikennevaloja ja soluautomaatin sääntöpohjaista dynamiikkaa. Näin saadaan mallinnettua liikenne ja jonomuodostus kullakin linkillä.

Tavoitteena on tutkia liikenteen mittauksen ja ajantasaisen mallinnuksen problematiikkaa yleisemminkin, vaikka mallinnusmenetelmänä käytetään yksinomaan soluautomaattia. Päähuomien kohteena on se, miten mittaustiedot kootaan yhtenäiseksi malliksi, ja millaisia virheitä tässä yhteydessä syntyy.

Soluautomaattimalli näyttää toimivan melko hyvin kun tunnetaan saapumisprosessi ja palveluprosessi riittävällä tarkkuudella. Eli jos kunkin linkin alussa on kaistakohtaiset ilmaisimet, niin saapuva liikenne tunnetaan. Jos liikennevalojen tilat tunnetaan, voidaan mallintaa myös palveluprosessi riittävällä tarkkuudella. Tällaisella järjestelyllä soluautomaattimalli toimii erittäin hyvin ja se näyttää soveltuvan parhaiten liikennevalo-ohjauksiseen ympäristöön (*kuva 13*).

Suurimmat epävarmuustekijät liittyvät ajoneuvojen kääntymissuuntiin, joita ei voida mitata. Jos linkin alussa ei ole ilmaisimia, on saapuva liikenne estimoitava edellisen risteyksen liikenteestä ottaen huomioon kääntymissuuntien todennäköisyydet. Vaikka itse kääntymissuuntajakauma tunnettaisiin melko hyvin, liittyy yksittäisiin ajoneuvoihin paljon satunnaisuutta, joten kokonaisarvio liikennetilanteesta alkaa vähitellen heikentyä. Tarkempi kuvaus soluautomaattimallien käytöstä liikenteen ajantasaiseen mallinnukseen löytyy tekeillä olevasta väitöskirjasta (*Hämäläinen 2004*).



Kuva 13. Soluautomaatilla mallinnettu liikenne (simuloitu liikenteen mittaus)

4.3 Simulointi liikennetilanteen ennustamisessa

Ajantasainen simulointi näyttää nykytietämyksen valossa toimivalta ratkaisulta liikenteen palveluja ajatellen. Luonnollisesti seuraava askel olisi kokeilla simulointia lyhytaikaisten ennusteiden tekemiseen. Ennustaminen simuloimalla perustuu siihen, että otetaan lähtötilanteeksi vallitseva liikennetilanne, joka voidaan ottaa ajantasaisesta mallista. Käynnistetään (yksi tai useampi) simulointikopio, joka alkaa liikenteen nykytilanteesta. Uutta simulointikopiota ajetaan eteenpäin mahdollisimman suurella nopeudella esimerkiksi 15-60 minuuttia. Mitä nopeammin laskenta tapahtuu, sitä paremmin ennustetta voidaan käyttää. Ennustava simulointi vaatii siis huomattavasti enemmän laskenta-voimaa kuin ajantasainen simulointi.

Liikennetilanteen ennustaminen simuloimalla perustuu siihen, että liikennetilanne esim. puolen tunnin kuluttua oleellisesti riippuu tämänhetkisestä liikennetilanteesta. Tämä riippuvuus on sitä vahvempi, mitä lyhyempi on ennustuksen aikahorisontti.

Jos esimerkiksi liikenne on jo pahasti ruuhkautunut, on selvää että ruuhka jatkuu tietyn ajan, vaikka saapuva liikenne vähenisikin. Ruuhkan kestoa voidaan siis arvioida simuloimalla, kun tunnetaan alkutilanne. Yhtenä epävarmuustekijänä on ennustejakson aikana saapuvan liikenteen määrä, jolle voidaan estimoida jokin todennäköinen arvo. Voidaan myös tehdä kaksi ennustetta: paras ja huonoin mahdollinen tapaus, jolloin ennusteissa annetaan ylä- ja alarajat esim. ruuhkan purkautumisajalle.

Myös ruuhkan alkamisen todennäköisyyttä ja ajankohtaa voidaan yrittää arvioida simuloimalla. Mikäli liikennetilanne on lähellä kapasiteettirajaa, voidaan simuloimalla selvittää missä rajoissa saapuvan liikenteen tulisi pysyä, jotta ruuhkautuminen ei alkaisi. Näistä rajoista voidaan arvioida todennäköisyyttä ruuhkan alkamiselle, jota on vaikeampi ennustaa kuin ruuhkan päättymistä.

Mikäli liikenteessä tapahtuu häiriö ja esimerkiksi yksi kaista poistuu käytöstä, voidaan tapahtuman vaikutusta muuhun liikenteeseen ennustaa simuloimalla. Kun häiriöstä on saatu tieto, se siirretään simulointimalliin ja simulointia ajetaan nopeutetusti eteenpäin.

Ennustejakson aikana saapuva liikenne on siis yksi epävarmuustekijä, jota tosin voidaan melko hyvin ennakoida. Toinen epävarmuustekijä on liikennevalo-ohjaus. Ennustavassa simuloinnissa täytyy olettaa etteivät liikennevalo-ohjauksen parametrit merkittävästi muutu lyhyen ennustejakson aikana. Jos simulointimalli sisältää liikennevalo-ohjauksen yksityiskohtaisen mallin, voidaan simulointia käyttää myös ohjausstrategian valitsemiseen. Ennustesimulointeja voidaan siis tehdä useilla eri ohjausparametreilla joista valitaan paras varsinaiseen liikennevalo-ohjaukseen.

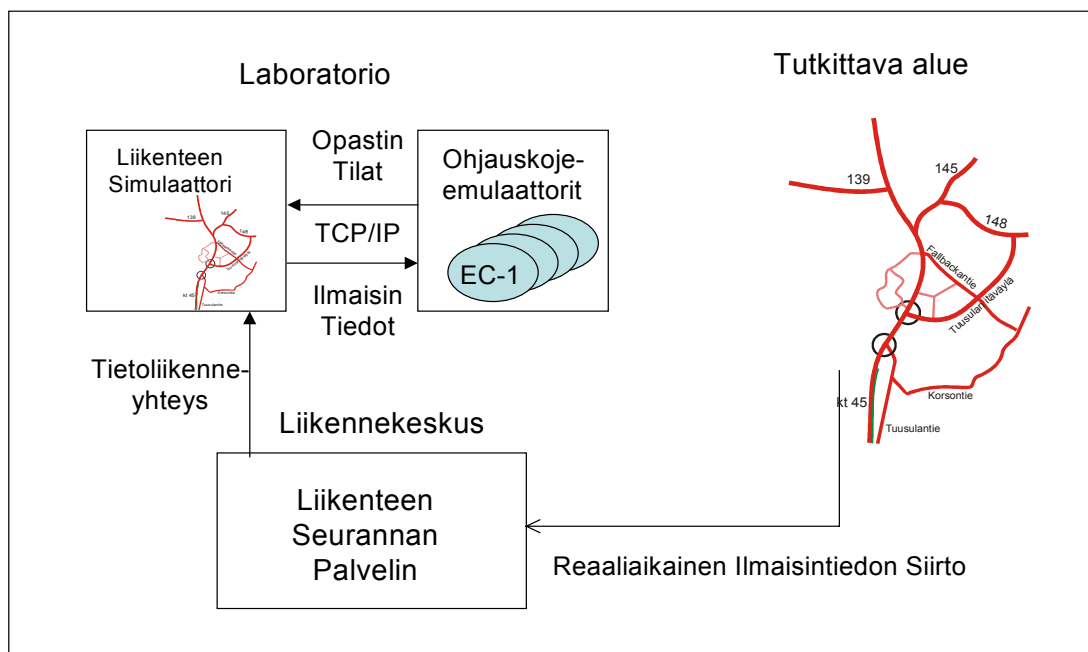
Liikennetilanteiden ennustamisessa ollaan usein kiinnostuneita matka-ajan kehittymisestä. Eräs matka-aikoihin liittyvä ongelma on se, että matka-ajan mittaaminen kestää kauan. Matka-aika saadaan mitattua vasta kun ajoneuvo on kulkenut koko tiejakson läpi. Mittaustietoa ei voida siis sellaisenaan antaa ajantasaisena informaationa tiejaksolle saapuvilla ajoneuvoille. Ratkaisuna on käytetty mm. neuroverkkoa, jonka avulla uusi matka-aika ennustetaan edellisten matka-aikojen perusteella (*Innamaa 2002*). Matka-aika estimaatin luomiseen voitaisiin käyttää myös simulointia. Mikäli tiejaksosta on käytössä ajantasainen simulointimalli, voidaan matka-aika mitata ilman merkittävää viivettä. Simulointimallissa tiejakso voidaan jakaa hyvin lyhyisiin tie-elementteihin, joille saadaan kullekin oma matka-aika estimaatti esim. liukuvana keskiarvona. Koko tiejakson matka-aika estimaatti saadaan summaamalla tiejakson kaikkien tie-elementtien sen hetkiset estimaatit. Samaa mittaustapaa voidaan soveltaa myös ennustavaan simulointiin. Simuloitu mittaustulos kuvaa annetun tiejakson hetkellistä matka-aika tilannetta.

Ajantasaista simulointia on tähän asti tutkittu ja kokeiltu lähinnä liikennevalo-ohjauksisessa katuymäristössä, jossa se näyttää toimivan kohtuullisen hyvin. Sen sijaan ennustavaa simulointia olisi ehkä paras lähteä tutkimaan päätieverkosta käsin. Pääväylän simulointi on yksinkertaisempaa, koska ei ole liikennevaloja ja ”verkko” on yksinkertainen kun tutkitaan yhtä tiejaksoa. Lisäksi pääväylillä, kuten VT4 ja kehä-I, on jo tehty neuroverkkoihin perustuvaa ennustemenetelmien tutkimusta (*Innamaa 2002*), joten voisi olla tutkimuksellisesti mielenkiintoista käyttää samoja aineistoja ja vertailla eri mallinnustapoja. Myöhemmin ennustavaa simulointia voitaisiin kokeilla myös katuverkkoon ja liikennevalo-ohjauksiseen ympäristöön.

4.4 Ajantasainen simulointi vaikutusten arvioinnissa

Simulointimallien peruskäyttötapa on erilaisten vaikutusten arviointi (impact assessment). Vaikutusten arviointi liittyy liikennetelematiikan lisäksi yleisesti liikennejärjestelmän ja sen ohjauksen suunnitteluun. Vaikutusten arviointi on ns. tavanomaista eli off-line-tyyppistä simulointia. Ero off-line ja on-line simuloinnin välillä on kuitenkin vähitellen vähenemään päin. Jatkossa myös liikennesuunnittelun työvälineissä voidaan tarvittaessa käyttää ajantasaisista liikennetietoa (kuva 14).

Liikennetelematiikkaa sovelletaan runsaasti liikenteen ohjaukseen. Erilaisia älykkäitä valo-ohjausjärjestelmiä ja joukkoliikenne-etuksia kehitetään koko ajan. Tällaisten järjestelmien vaikutusten arviointiin simulointi on erittäin hyvä keino, koska etuja ja haittoja voidaan arvioida etukäteen ennen suuria investointikustannuksia ja ilman häiriöitä liikenteelle. Simulointitutkimuksilla voidaan arvioida suuri määrä erilaisia skenaarioita, joista potentiaalisimmat valitaan jatkokehitykseen. Simuloinnissa voidaan valita vapaasti liikennemäärät ja tutkia järjestelmien toiminta kaikissa liikenneolosuhteissa. Eri tyyppisiä ohjausjärjestelmiä, ohjausstrategioita ja ohjausparametreja voidaan arvioida ja vertailla. DigiTraffic-hankkeessa pyritään kehittämään realistista liikennevalojen simulointia mm. kytkemällä ohjauskojeita ja ohjausohjelmistoja simulointijärjestelmiin (kuva 14). Samalla pyritään edistämään ajantasaisen liikennetiedon käyttöä simulointitutkimuksissa (Jokinen 2003).



Kuva 14. Vaikutusten simulointi (impact assessment) ajantasaisella liikennetiedolla ja todennukaisella liikennevalo-ohjauksella (EC-1 ohjauskojesimulaattorit).

Liikennevalo-ohjauksen lisäksi simuloimalla voidaan tutkia muiden muuttuvien opastimien (VMS) vaikutuksia. Lähinnä tulevat kyseeseen moottoriteiden ohjausjärjestelmät

(MCS), joihin kuuluvat mm. ruuhkasta ja häiriöistä varoitus, sekä ohjaustoimenpiteet muuttuvilla nopeusrajoituksilla ja kaistankäyttöopastimilla.

Turvallisuutta ja sujuvuutta liikenteessä voidaan parantaa mm. älykkäällä nopeusrajoituksella (ISA, Intelligent Speed Adaptation)) ja automaattisella ajoneuvoseurannalla (AICC, Automatic Cruising Control)). Simuloimalla voidaan selvittää kunkin järjestelmän toteuttamisasteen (penetration rate) vaikutukset liikenteeseen sekä yhdessä että erikseen.

Simuloimalla voidaan selvittää miten liikennevirtaan vaikuttaa se että osa kuljettajista saa ajantasaista liikennetilannetietoa ja osa ei. Esimerkiksi reittiopastuksella voi olla ennalta arvaamattomia vaikutuksia liikennejärjestelmään, koska kuljettajien reaktioita ei täysin tunneta eikä myöskään esimerkiksi älykkäiden liikennevalo-ohjausjärjestelmien ja reittiopastuksen vuorovaikutuksia.

Liikennetelematiikan avulla tullaan tuottamaan kuljettajille runsaasti palveluja, jotka ovat puhtaasti informatiivisia, eivät siis määräyksiä eivätkä suosituksia. Näiden palvelujen vaikutusten arviointi on kaikkein vaikeinta, koska ihmisten reaktioita annettuun informaatioon ei vielä tunneta kovinkaan hyvin. Informaatiopalvelujen vaikutusten simulointi kytkeytyy vahvasti liikenteen kysynnän simulointiin, mikä toistaiseksi on vielä melko uusi ja kartoittamaton alue.

4.5 Mallinnusmenetelmien arviointi simuloidulla liikenteellä

Liikenteen mittaustieto edustaa aina rajallista määrää näytteitä, joiden perusteella tulisi kyetä muodostamaan arvio mittauksen kohteena olevan systeemin kokonaistilasta (state estimation). Liikennetilanteen arviointiin voidaan soveltaa erilaisia laskentamenetelmiä, joiden kalibrointi, arviointi ja keskinäinen vertailu on käytännössä vaikeaa. Tämä johtuu siitä, että yleensä ei ole käytettävissä tietoa todellisesta liikennetilanteesta, eli mallin toiminnan arvioinnille ei ole perusteita.

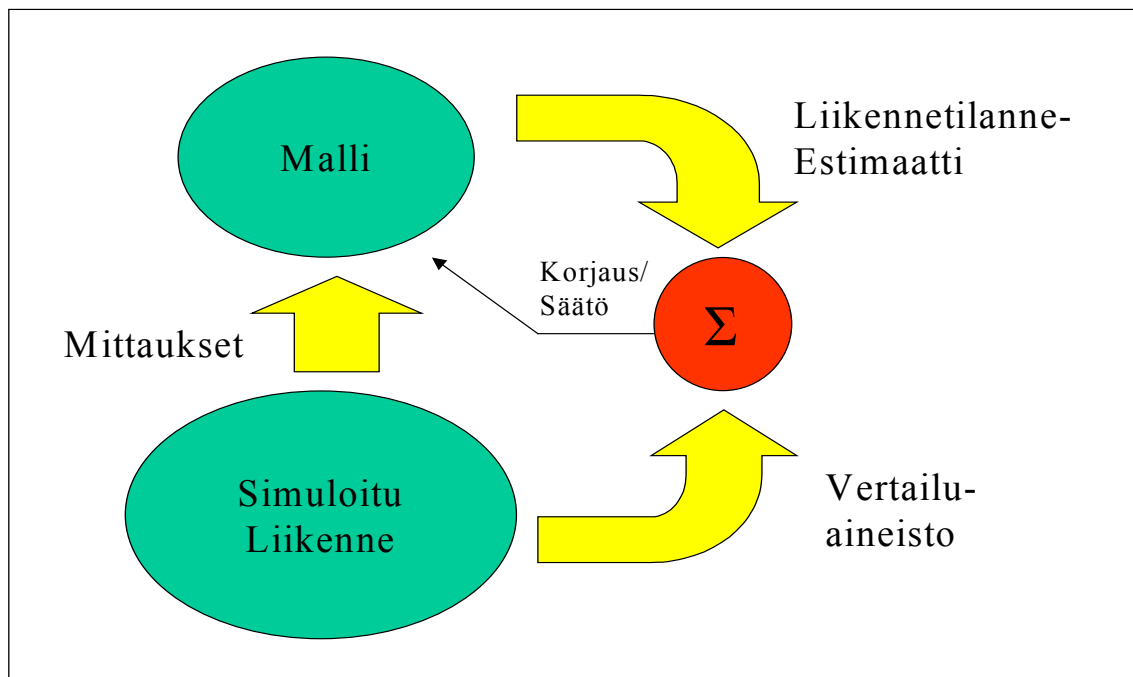
Todellisen liikenteen sijasta mittaukset voidaan kohdistaa liikenteen simulaattoriin (*kuva 15*), jolloin tieto vallitsevasta liikennetilanteesta on helposti saatavissa. Simulaattoria käytettäessä on lähdettävä siitä olettamuksesta että simulaattori on riittävän luotettava eli malli on tarpeeksi yksityiskohtainen ja huolellisesti kalibroitu.

Simulaattorin avulla voidaan erittäin systemaattisesti tutkia mittauksen ja mallinnuksen välistä problematiikkaa, joka perustuu siihen että mittaustietoa on aina saatavilla vain rajallisesti. Mallinnuksen avulla mittaustiedoista pyritään jalostamaan joko liikennetilanteen kokonaiskuva tai tiettyjä liikenteen indikaattoreita. Esimerkiksi ilmaisintiedoista pyritään jalostamaan arvioita matka-ajoista, jononmuodostuksesta jne.

Simulaattorissa voidaan nopeasti vaihtaa erilaisia verkkotopologioita sekä muita liikenne- ja ohjausjärjestelyjä. Tutkimusajoja voidaan tehdä laajasti eri liikennemäärillä ja jakaumilla. Mittauksen systematiikan tutkimiseen kuuluu erityisesti ilmaisinjärjestelyjen vaikutuksen tarkastelu. Eli miten paljon ilmaisimia tarvitaan ja miten ne on sijoitettava riittävän tarkan mallin toteuttamiseksi.

Tavanomaisten ilmaisinjärjestelyjen lisäksi voidaan tarkastella myös muunlaisia mittaustapoja. Ilmaisimet edustavat poikkileikkaus näytteenottoa. Tieto ei siis kata koko ajorataa/reittiä, mutta sen sijaan edustaa koko liikennevirtaa tietyssä kohdassa. Toisen tyyppistä mittausta edustavat liikkuvat mittauspisteet eli ns. anturiajoneuvot. Tällaisen ajoneuvon sijaintia ja nopeutta voidaan mitata tietyin väliajoin ja tieto lähetetään edelleen mittauskeskukseen. Mitattavat suureet ovat näytteitä, koska mittaustieto saadaan vain tietyin väliajoin ja vain osa pieni osa liikennevirrasta on mittaus-autoja.

Koska mitattavana kohteena on simulaattori, voidaan mittauksia suorittaa helposti eri parametreilla. Voidaan suorittaa suuri määrä kokeita, joissa mm. anturi-ajoneuvojen määrää ja näytteenottoväliä muutetaan. Tällaisia kokeita olisi erittäin vaikeaa ja kallista tehdä maastossa. Mittaustiedot syötetään mallintavaan systeemiin eli soluautomaattimalliin. Mallissa anturi-autot seuraavat mittausdataa, mutta mittauksien välillä ne noudattavat normaalia simulointidynamiikkaa. Mallin muut ajoneuvot joutuvat sopeutumaan mittaus-autojen liikkeisiin, jolloin esimerkiksi liikennevirran nopeus asettuu mittausautojen tasolle.



Kuva 15. Menetelmien simulointi

Simuloidulla liikenteellä voidaan siis tutkia useita eri menetelmiä. Meneillään on tutkimus soluauto-maattimallin (CA) soveltamisesta ajantasaiseen liikennetilanteen mal-

linnukseen (*Hämäläinen 2003*). Tutkimus painottuu liikennevalo-ohjauksiseen kaupunkiliikenneympäristöön.

Toisessa tutkimuksessa tutkitaan eri menetelmiä pääväylien linkkikohtaisen liikennetilanteen arvioimiseksi (LILI). Tässä hankkeessa pyritään pistemittauksista yleistämään linkin liikennetilannetta soveltamalla mm. liikennevirtayhtälöitä ja neuroverkkoja (*Mattila 2004*).

Liikennetilannemallina voidaan käyttää myös jotain universaalia approksimaattoria kuten esim. neuroverkkoa (*Innamaa2002*). Simuloidulla liikenteellä neuroverkon painokertoimet voidaan optimoida eli opettaa eri liikennetilanteille. Prosessi voidaan automatisoida siten että simulaattori ajaa suuren määrän ajoja ja käy automaattisesti läpi kaikki liikennetilanteet.

4.6 Simulointimallinnuksen automatisointi

Liikenteen mikrosimulointiin on nykyisin tarjolla useita sekä kaupallisia ohjelmistoja että yliopistojen tutkimusjärjestelmiä. Tietokoneiden laskentatehot ovat kasvaneet siihen mittaan että jopa koko kaupungin kattavia verkkoja voidaan simuloida yksittäisellä toimisto PC:llä.

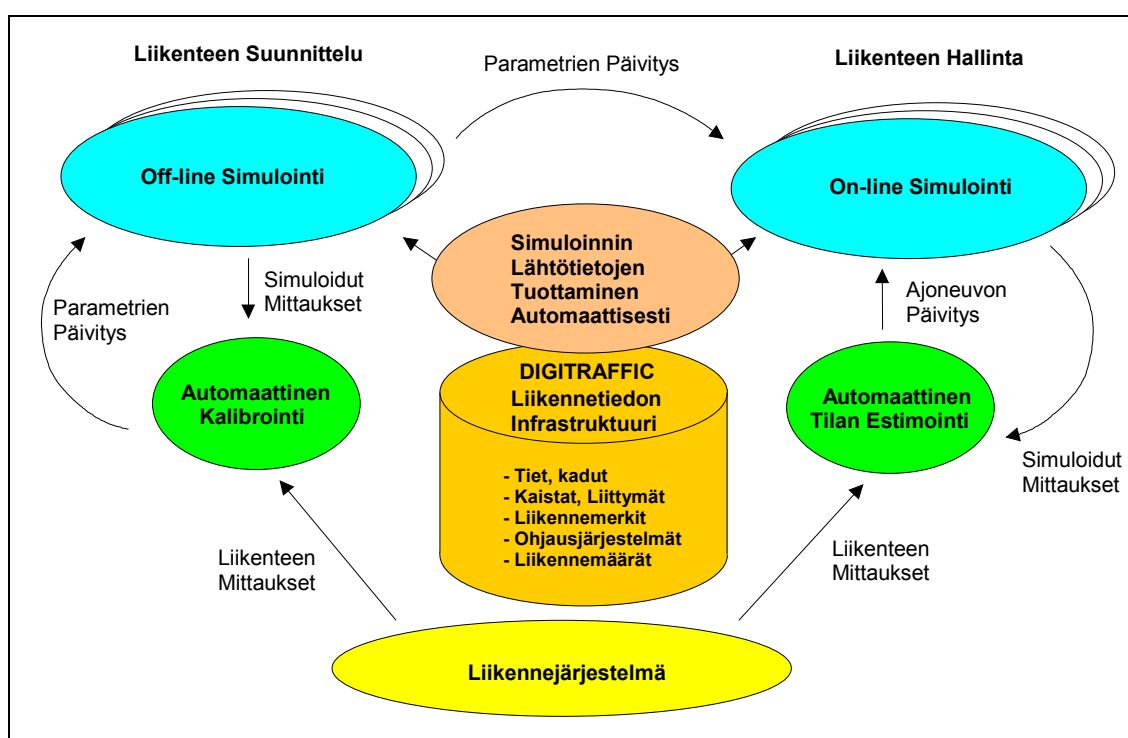
Suurin este mikrosimuloinnin yleistymiselle ei siis enää ole laskentatehon vähyys vaan mallien rakentamiseen, liikennetietojen hankkimiseen ja mallin kalibrointiin liittyvä suuri työmäärä. Ratkaisuna ongelmaan tarvitaan pitemmälle vietyä automatisointia. Tietokonemallit sinänsä ovat olemukseltaan automatisoitua laskentaa, mutta automatisoinnin soveltaminen on jäänyt puolittiehen. Vaikka simulointiajot tapahtuvat automaattisesti, niin toiminnot ennen ja jälkeen ajojen tehdään yhä manuaalisesti.

Mitä tarkempi simulointi, sitä enemmän tarvitaan lähtötietoja. Mikrosimulointimallissa tarvitaan vähintään kaistakohtainen verkon kuvaus, saapuvan liikenteen määrät ja jakaumat, liikennevalojen ajoitukset sekä ajoneuvodynamiikan parametrit. Lisäksi voi tulla tietoa joukkoliikenteestä, jalankulusta jne.

DigiTraffic-hankkeessa on tavoitteena edistää tietomallien yhteensopivuutta siten, että eri simulointimallien lähtötietoja voidaan hakea samoista tietokannoista. Tietokannat olisivat mieluiten avoimia ja julkisia järjestelmiä, joihin käyttäjät voisivat ottaa yhteyden halutessaan tietoja. DigiTraffic-tietokantaan voitaisiin koota aineistoa mm. digitaalisista kartoista, DIGIROAD-järjestelmästä ja virtuaalikaupunkimalleista. Lisäksi tietokanta voisi sisältää perustiedot liikennemääristä ja liikenteen jakaumista. Myös matkustus- ja ajokäyttäytymiseen liittyviä parametreja voitaisiin esittää tietokannassa (*kuva 16*).

DigiTraffic-tietokannassa pidettäviä liikennejärjestelmän perusarvoja voisivat tietenkin käyttää kaikki eri mallinnusmenetelmät. Kukaan malli käyttäisi tietoja soveltuvin osin. Lähtötietojen automaattinen kerääminen vaatii kuitenkin standardeja rajapintoja tietomallien yhteensopivuutta. Tietomalleja käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Kun lähtötietojen keräämisessä päästään pois manuaalisista työvaiheista, voidaan myös itse simulointiajot automatisoida paremmin. Simulointiajot voi automaattisesti käynnistää ohjelma, jolle annetaan jokin tehtävä. Esimerkiksi ohjelma voi ajaa simulointeja etsien jatkuvasti parasta mahdollista parametriyhdistelmää liikennevalo-ohjaukselle. Järjestelmä voisi olla käynnissä aina kun laskentakapasiteettia on käytettävissä. Kyseessä olisi eräänlainen "virtuaalinen tehdas", jonka tuotteina olisivat erilaiset ratkaisuvaihtoehdot annettuihin kysymyksiin tai ongelmiin.



Kuva 16. *Automatisoitu simulointi ja parametrien päivitys*

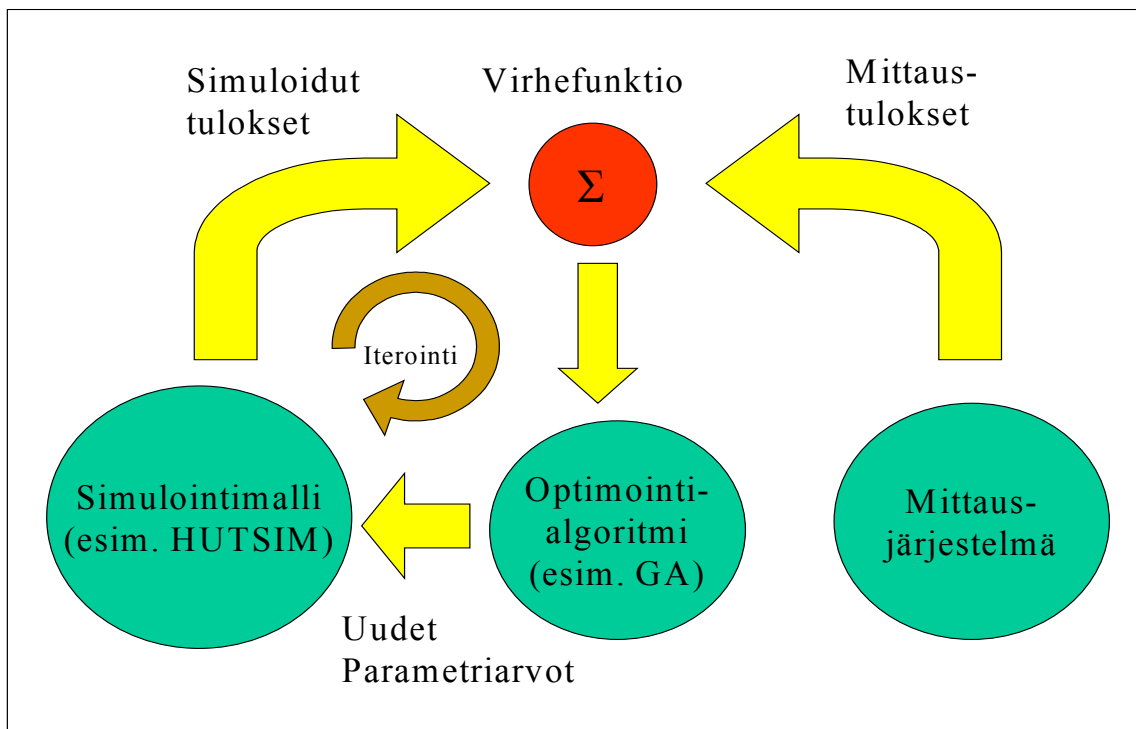
Mikrosimulointi antaa paljon mahdollisuuksia liikenteen tutkimuksessa ja suunnittelussa, mutta tulosten luotettavuuden takaamiseksi malli tulee kalibroida ja validoida kunnonalla. Kalibrointiprosessi on tarvittaessa toistettava kun mallia sovelletaan erilaiseen kohteeseen. Mikrosimulointi yleensä vaatii suuren määrän parametreja, eikä kaikkia voida suoraan mitata. Erilaisten parametriyhdistelmien määrä kasvaa helposti erittäin suureksi.

Tavallisesti mikrosimulointi kalibroidaan suorittamalla kalibrointitutkimus, johon liittyy maastomittauksia ja mittaustietojen analysointia. Menetelmät vaativat yleensä paljon työtä ja työvoimaa. DigiTraffic-hankkeessa tavoitteena on helpottaa mallien kalibrointiin ja validointiin liittyvää työtä. Ajatuksena on että liikenteen ajantasaista mittausjär-

jestelmää ei käytetä ainoastaan välittömään palvelutuotantoon vaan mittaustietojen avulla voidaan myös kalibroida liikenteen suunnittelun mallinnusjärjestelmiä.

TKK:n liikennelaboratoriossa on kehitelty menetelmä (HUTMAT), jossa mikrosimuloinnin parametreja voidaan optimoida automaattisesti (kuva 17). Kyseessä on siis eräänlainen oppiva simulaattori, joka itse kalibroituu annetun mittaustiedon mukaiseksi. Järjestelmä toimii siten, että mittaustiedoista ja simulointituloksista lasketaan virhefunktio, joka kuvaa tulosten välistä poikkeamaa. Tämän tiedon perusteella tuotetaan uusi parametrikombinaatio käyttäen hyväksi mm. geneettistä algoritmia. Iterointia jatketaan kunnes tulos on riittävän hyvä tai ei enää parane merkittävästi.

TKK:lla menetelmää on toistaiseksi sovellettu lähinnä moottoritieympäristön simulointiin. Simulaattorina on HUTSIM ja järjestelmä toimii MatLab-ohjelmassa. Vertailtavina suureina ovat olleet kaistakohtaiset nopeusjakaumat ja aikavälijakaumat sekä kaistajakauma. Virhefunktio lasketaan simuloitujen ja mitattujen jakaumien neliövirheestä. Parametriavaruus on melko suuri eli yhteensä 18 eri parametria. Menetelmästä on alustavasti saatu hyviä kokemuksia ja sitä on tarkoitus kehittää edelleen ja soveltaa myös muihin simulointikohteisiin.



Kuva 17. Automaattinen kalibrointiprosessi

5 TIEDON KERUU

5.1 Järjestelmät

Tässä luvussa tarkastellaan Suomessa nykyään käytettäviä liikenteen ajantasaiseen seurantaan soveltuvia järjestelmiä/laitteita, jotka muodostavat liikenteen seurannan pääkomponentit myös seuraavan viiden vuoden aikana (v. 2003 - 2008) ja jotka soveltuvat teknisesti DigiTrafficin informaatioinfrastruktuurin toteuttamiseen ja tiedon keruuseen. Tiehallinnon seurantajärjestelmien osalta lähteenä on käytetty raporttia "Valtakunnallinen liikenteen seurannan yleissuunnitelma" (Tiehallinnon selvityksiä 58/2003) ja liikennevalojärjestelmien osalta on hyödynnetty Heli Mattilan muistiota (17.3.2003). Lisäksi on haastateltu seuraavia asiantuntijoita:

- Sami Luoma ja Jyri Vilhunen, Tiehallinto (22.4.2003)
- Juhani Bäckström, SCC Viatek Oy (12.5.2003)
- Jari Oinas, Traficon Oy (14.5.2003)
- Kari Sane, Helsingin kaupunki (16.5.2003).

Tieliikenteen ajantasaiseen seurantaan käytetään nykyään pääasiassa seuraavia laitteita/järjestelmiä:

- Tiehallinnon nykyaikaiset LAM-pisteet (DSL-4 mittauslaitteet, silmukkailmaisimet)
- Liikenteen ohjausjärjestelmien pistemittausasemat. Tietojen hyödyntäminen edellyttää tapauskohtaisia toimenpiteitä liikennetietojen siirtämiseksi järjestelmien ulkopuolelle.
- Tieosamittausasemat, joiden toiminta perustuu rekisteritunnusten kuvantulkintatekniikkaan.
- Liikennevalojen ohjausjärjestelmien mittauspisteet
- Pysäköinnin ohjausjärjestelmien mittauspisteet
- Erilaiset satelliittipaikannukseen perustuvat kaluston ja kuljetusten seurantajärjestelmät, kuten Tieliikelaitoksen kunnossapidon ohjaukseen tarkoitetut anturi-ajoneuvot (nyt noin 550 kpl)
- pääkaupunkiseudun taksijärjestelmä
- bussiliikenteen ajantasaiset informaatiojärjestelmät (nykyään: Espoon ELMI, Helsingin HELMI ja Tampereen PARAS).

Pääteiden runkoverkon liikenteen seuranta perustuu Tiehallinnon liikenteen automaattiseen mittausjärjestelmään (LAM). LAM-pisteitä oli syyskuussa 2002 pääteiden runkoverkolla noin 200 kpl (yhteensä noin 280 kpl koko Tiehallinnon tieverkolla). Lisäksi

liikenteen muuttuvissa ohjausjärjestelmissä (nopeusrajoitukset, varoitukset) oli yhteensä noin 50 mittauspistettä. LAM-pisteet tallettavat kaistakohtaisesti kaikista ohituksista seuraavat tiedot: ohitusaika, suunta, kaista, ajoneuvoluokka (7 luokkaa), ajoneuvon pituus ja nopeus. Lisäksi aikavälit voidaan laskea kahden peräkkäisen ajoneuvon ohitusajankohtien ja nopeuksien perusteella. Mittauslaitteen muistiin voidaan tallentaa 212 000 ajoneuvon ohitustiedot.

Nykyisistä LAM-pisteistä noin 60 % (120 kpl DSL-4 laitteistoa) soveltuu ajantasaiseen seurantaan ilman mittauslaitteistojen uusimista, mutta tiedonsiirtomenetelmä joudutaan osassa näissä pisteissä päivittämään liitettäessä ne ajantasaiseen seurantaan. Muissa LAM-pisteissä ajantasainen seuranta edellyttää mittauslaitteistojenkin uusimista. LAM-järjestelmä on alunperin kehitetty ensisijaisesti liikenteen tilastolliseen seurantaan suunnittelun tueksi, minkä takia useimpien pisteiden tiedot siirretään keskusjärjestelmän tietokantaan kerran vuorokaudessa. Nykyään ajantasaiseen seurannan piirissä on noin 70 pistettä. Näiden pisteiden tietojen päivitysväli päivällä on noin 15 minuuttia ja tiedon ajantasaisuus (tuoreus) 5-30 minuuttia. Tiedonsiirto tapahtuu nykyään pääosin modeemin kautta analogista puhelinlinjaa pitkin, mutta joissakin pisteissä on käytetty digitaalista tiedonsiirtoa (ADSL).

Pääteiden runkoverkolla liikenteen pistekohtainen seuranta tulee lähitulevaisuudessaakin perustumaan silmukkapohjaiseen ratkaisuun, vaikka esimerkiksi mikroaaltoilmaisin/-tutka voikin olla varteenotettava vaihtoehto pistetiedon keräämiseen. LAM-pisteiden tiedonkeruun kattavuus on nykyään kaupunkiväylillä noin 30 %, moottoriväylillä 10 % ja muulla runkoverkolla noin 2 %. Vuoteen 2008 mennessä Tiehallinnon ajantasaiseen liikenteen seurantaan soveltuvien LAM-pisteiden kattavuus on kaupunki- ja moottoriväylillä noin 100 % sekä muulla runkoverkolla noin 60 %, jos ajantasaisen automaattisen liikenteen seurantajärjestelmä kehittäminen toteutetaan yleissuunnitelman tavoitetilan mukaisesti (Tiehallinnon selvityksiä 58/2003). Taulukossa III on yhteenveto vuoteen 2008 mennessä todennäköisesti toteutettavista ajantasaisen seurannan olennaisista laitteista/järjestelmistä, niiden tuottamista liikenteen seurantatiedoista sekä ajantasaisen tiedonkeruun kattavuudesta.

Nykyään tiehallinnon pistemittausasemat sekä erilaiset liikenteen ohjausjärjestelmät keräävät jatkuvasti ajoneuvokohtaista tietoa. LAM-pisteet tallentavat jokaisen ajoneuvon tiedostoon ja näin havaintomäärien perusteella kasvava tiedosto lähetetään automaattisesti tai pyynnöstä keskusjärjestelmään nykyään tiheimmillään noin 15 minuutin välein. Tämä kumulatiivinen tallennus on nykyään vallitseva menetelmä, mutta reaaliaikasiirto on käytössä ainakin Kemi - Tornio moottoritiellä. Reaaliaikasiirrossa mittausasema lähettää ajoneuvon ohitustiedon heti ohituksen tapahduttua keruujärjestelmään, joka kerää ohitustiedot ja niistä jalostetaan keskusjärjestelmässä tarvittavat tiedot halutuin välein.

Liikenteen ohjausjärjestelmät hyödyntävät keräämäänsä dataa ensisijaisesti oman toimintansa säätämiseen vallitsevan liikennetilanteen perusteella. Näiden ajoneuvokoh-

taisten pistemittaus tietojen siirtäminen ohjausjärjestelmien ulkopuolelle esimerkiksi DigiTrafficingin käyttöön edellyttäisi tapauskohtaisia muutostoimenpiteitä. Näiden ohjausjärjestelmien liikenteen mittausratkaisut on suunniteltu ensisijaisesti ko. järjestelmien ohjaukseen.

Kaupungeissa liikennevalot on useimmiten liitetty käyttö- ja valvontajärjestelmään. Liikennevalojen ilmaisintiedoista voitaisiin periaatteessa kerätä paljon ajantasaista tietoa myös liikenteen seurannan tarpeisiin (liikennemäärät, aikavälit). Ilmaisintietojen hyödyntäminen on nykyään kuitenkin hankalaa, koska liikennevalojen liikenteen mittaus on suunniteltu liikennevalojen oman toiminnan säätämiseen sekä liikennelaskentaan tilastointia ja suunnittelua varten. Liikennevalojen ohjauskojeet keräävät ja tallentavat ilmaisinkohtaisesti ilmaisujen määrän, joka kaistakohtaisilla lyhyillä silmukkalähtimillä vastaa melko luotettavasti liikennemäärää. Käyttö- ja valvontajärjestelmään kiinteällä yhteydellä liitetty ohjauskoje lähettää liikennemäärätiedot käyttöjärjestelmän tietokantaan nykyään normaalisti 15 minuutin välein. Joillakin kojetyypeillä (mm. Siemens) liikennemäärätiedot voidaan tarvittaessa hakea käyttöjärjestelmän ulkopuolelle minuutinkin välein erillisen modeemin avulla. Silloin kun ohjauskojeessa on käytössä liikenneohjauksinen ohjelmanvalinta, voidaan kojeelta saada 1-15 minuutin jaksoissa liikennemäärien lisäksi ilmaisimen varausasteesta sekä joillakin kojetyypeillä myös aikaväleista.

Liikennevaloista saatavien ajoneuvotietojen rationaalinen hyödyntäminen ajantasaisen liikenteen seurannan tarpeisiin edellyttäisi käytännössä uuden "liikenteen seuranta" -toiminnon liittämistä liikennevalokojeisiin (erilaisten räätälöityjen sovellusten välttämiseksi) sekä laskentailmaisimen lisäämistä poistumissuunnille. Jos liikennevalokojeelta siirrettäisiin liikenteen seurantaan tietoa myös valo-ohjelmien kierrosta ja opastimien tilasta (tarjottava vihreä aika), niin voitaisiin laskea ja ennakoida poistuvan linkin kapasiteettia ja sujuvuutta valo-ohjattujen liittymien välillä.

Pysäköinnin ohjausjärjestelmät ovat nykyään pääosin laitoskohtaisia. Järjestelmät laskevat laitokseen sisään ja ulos menevät ajoneuvot sekä vapaiden paikkojen määrän. Näiden järjestelmien hyödyntäminen DigiTrafficingin tarpeisiin voisi tapahtua esimerkiksi niin, että laitoskohtaisten ohjausjärjestelmien päälle rakennettavat laajemmat pysäköinnin hallintajärjestelmät tuottaisivat ajantasaista tietoa DigiTrafficingiin. Nykyisin pysäköintitiedot ovat saatavissa jälkikäteen, mutta ajantasainen järjestelmä vaatii liityntäpinnan rakentamisen.

Kuvantulkintaan perustuvien järjestelmien etuna on se, että ei tarvita tiehen asetettavia ilmaisimia. Haittapuolena on se, että kuvantulkinta vaatii yleensä paljon laskentatehoa. Kuvantulkintaan perustuvia järjestelmiä ovat mm. matka-ajan mittausasemat, jotka tunnistavat saman ajoneuvon kahdessa eri paikassa rekisteritunnuksen avulla. Järjestelmään vaikuttavat mm. sääolosuhteet, mutta keskimääräinen matka-aika saadaan selville vaikka vain pieni osa ajoneuvoista tunnistetaan. Muita kuvantunnistuksen sovelluksia

ovat mm. automaattinen jonontunnistus. Periaatteessa riittävän korkealle sijoitetulla kameralla ja älykkäällä kuvantunnistuksella voitaisiin selvittää kuvattavan alueen liikennetilanne kokonaisuudessaan.

Taulukko III. DigiTrafficin tiedonkeruun pääkomponentit vuoteen 2008 mennessä.

DigiTrafficin mahdolliset tietolähteet vuoteen 2008 mennessä	Soveltuvuus ajantasaiseen seurantaan			Seurantatiedot					Tiedon tyyppi			Tiedonkeruun kattavuus v. 2003 / 2008				
	Soveltuvat nykyään	Vaatii tapauskohtaisia toimenpiteitä	Soveltuvat 2008 mennessä	Liikennemäärä	Keskinopeus	Aikaväli	Matka-aika	Staattinen		Dynaaminen	Yleiset tiet			Kadut		
								Häiriö	Piste		Tieosa	kaupunkiväylät	mootoriväylät	muu runkoverkko	katuverkko, isot kaupungit	katuverkko, keskisuuret kaupungit
LAMPisteet (120) DSL-4	X			X	X	X	(X)	X			30/100 %	10/100 %	2/60 %			
Ohjausjärjestelmien pisterittausasemat		X		X	X	X	(X)	X			sisältyy LAM-raporttiin					
Kamera- ja kuvantulkintatekniikka (rekisterikilpien tunnistus)	X	X					X	(X)	X		50/60 km	0	50/170 km			
Matkapuhelinpaikannus eri tekniikoin			X		X		X	(X)		X						
Satelliittipaikannukseen perustuvat kaluston ja kuljetusten seurantajärjestelmät			X		X		X	X		X						
Liikenteen valo-ohjausjärjestelmät		X		X		X			X							
Pysäköinnin ohjausjärjestelmät		X		X		X			X							
Automaattivalvontajärjestelmät		X		X	X	X	X	X	X				320/800 km			

Kameratekniikkaan ja kuvantulkintaan perustuvia matka-aikamittausasemia ei todennäköisesti laajenneta merkittävästi nykyisestä, mikäli matkapuhelinpaikannukseen perustuvat menetelmät osoittautuvat käyttökelpoisiksi ja kustannustehokkaammiksi (investointi- ja ylläpitokustannukset). Matkapuhelinpaikannukseen perustuvaa menetelmää on kokeiltu Suomessa kahdessa kohteessa vuonna 2002. Tähänastiset kokemukset ovat olleet hyviä sekä Suomessa että ulkomailla. Menetelmän tarkkuus riippuu tukiasemien sijainnista/tiheydestä. Menetelmän soveltuvuutta erilaisiin liikenneympäristöihin on tarkoitus selvittää lisäkokeiluilla.

Satelliittipaikannukseen perustuvista ajantasaisista kaluston ja kuljetusten seurantajärjestelmistä DigiTrafficin tiedonkeruun kannalta potentiaalisimmat järjestelmät ovat Tieliikelaitoksen kunnossapidon ohjaukseen käytettävät anturiajoneuvot, taksien ohjausjärjestelmät sekä linja-autoliikenteen matkustajainformaatiojärjestelmät. Tieliikelaitoksella on nykyään noin 550 anturiajoneuvoa, jotka lähettävät tietoa normaalilla päivitysvälillä 15 minuutin välein. Takseilla on ainakin pääkaupunkiseudulla käytössä satelliittipaikannukseen perustuva kaluston ohjausjärjestelmä. Bussiliikenteen järjestelmiä on nykyään Espoon ELMI, Helsingin HELMI ja Tampereen PARAS. Vuoteen 2008 mennessä näitä bussiliikenteen järjestelmiä voi tulla lisää 2-3 keskisuureen kaupunkiin. Nykyisissä järjestelmissä bussit paikannetaan 15-30 sekunnin välein ja nämä sijaintitiedot lähetetään ohjauskeskukseen radioverkkoa pitkin.

5.2 Tiedonsiirto ja rajapinnat

Liikennetietojen ajantasaisuuteen ja päivitysväleihin vaikuttavat käyttäjien tarpeista johdettujen vaatimusten lisäksi erityisesti tiedonsiirtomenetelmien ja niiden kustannustehokkuuden kehittyminen. Tiehallinnon yleissuunnitelman (*Tiehallinto 58/2002*) mukaisessa tavoitetilassa pääteiden runkoverkon seurantatiedon ajantasaisuusvaatimukset vuoteen 2008 mennessä ovat taulukon **IV** mukaiset. Pistekohtainen seuranta perustuu LAM-järjestelmään.

Taulukko **IV**. Päätiejaksojen pituus ja seurantapisteen määrä sekä seurantatiedon ajantasaisuus päivällä eri laatuluokissa vuoteen 2008 mennessä (*Tiehallinto 58/2002*)

Laatutaso	Tiejaksojen pituus ja seurantapisteen määrä eri laatutasoissa								Seurantatieto päivällä	
	Kaupunki-seudut		Moottori-Väylät		Muu verkko		Yhteensä		Tiedon tuoreus	Päivitysväli enintään
	km	pisteet	km	Pisteet	km	pisteet	Km	pisteet		
1	330	118	520	146	232	28	1082	292	alle 5 min.	3 min.
2	21	2	87	25	2968	160	3078	187	alle 15 min.	10 min.
3	0	0	0	0	2527	46	2517	46	15-30 min.	20 min.
Yhteensä	351		607		5718		6675	525		

Ajantasaisessa liikenteen seurannassa siirrettävän tiedon ja sen myötä tiedonsiirtokustannusten pitäminen kohtuullisina edellyttää, että mittauspisteen toiminta perustuu reaaliaikasiirtoon tai päivitysvälikohtaisen tallennuksen periaatteeseen. Nykyään mittauspisteen toiminta perustuu kumulatiiviseen tallennukseen ja tiedonsiirto tapahtuu pääasiassa aikavelotusperusteisen analogisen soittoyhteyden kautta. Tämän takia analogisen soittoyhteyden päässä olevien nykyisten LAM-pisteiden toimintatapa joudutaan muuttamaan ja niiden tiedonsiirtoratkaisut päivittämään.

Laajamittaisessa ajantasaisessa seurannassa tiedonsiirron kustannustehokkuus edellyttää, että mittauspisteen liikennetiedot voidaan siirtää keskusjärjestelmään muilla kuin minuuttiveloituksen pohjalta hinnoitelluilla yhteyksillä. Kaupunkiseuduilla tiedonsiirtoon on käytettävissä kiinteitä digitaalisen puhelinverkon kaapeliyhteyksiä (esim. ADSL). Kaupunkiseutujen ulkopuolella kannattaa käyttää nopeaa langatonta tiedonsiirtoa (esim. GPRS). Seurannan vaatima tiedonsiirto kannattaa yhdistää mahdollisuuksien mukaan muiden tienvarsijärjestelmien tiedonsiirtoon investointi- ja käyttökustannusten pienentämiseksi.

Tiedonsiirtomenetelmien ja niiden kustannustehokkuuden kehittyminen on avainasemassa DigiTrafficin kannalta, koska ajoneuvokohtainen ajantasainen on-line tieto on DigiTrafficin tiedonsaannin tavoitetila. Tiedon tuottajien kannalta ajantasaisen liikennetiedon tuottaminen tulisi olla mahdollisimman kustannustehokasta eikä siitä saisi aiheutua merkittäviä lisäkustannuksia. Toisaalta siltä osin kuin mittaustieto tuotetaan joka

tapauksessa, lisäkustannuksia ei juurikaan aiheutune siitä että tiedot on haettavissa myös DigiTraffic-järjestelmään.

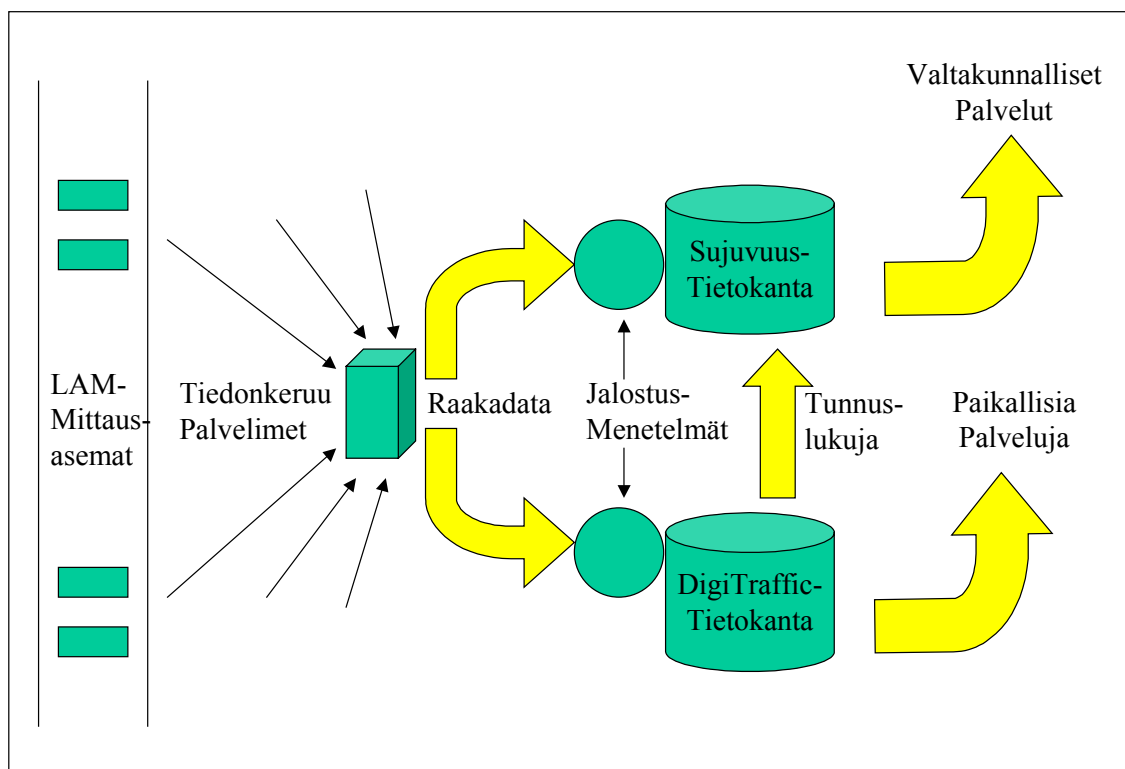
Tiehallinnon määrittämässä seurannan laatutasossa 1 olevien pääväylien mittauspisteet soveltuvat todennäköisesti DigiTrafficin tarpeisiin, jos Tiehallinnon liikenteen seuranta-järjestelmän kehittäminen toteutuu yleissuunnitelman aikataulun mukaisesti. Näiden pisteiden päivitysväli on tavoitetilassa on enintään kolme minuuttia. Tiheämpikin päivitysväli ja reaaliaikasiirto ovat mahdollisia, jos tiedonsiirtomenetelmät ja niiden kustannustehokkuus kehittyvät tarpeeksi nopeasti. Laatutaso 1 kattaa noin 93 % pääteiden runkoverkon kaupunkiseutujen väylistä ja 100 % moottoriväylistä.

TCP/IP mahdollistaa ajantasaisen tiedonsiirron kustannustehokkaasti, koska tällöin samassa tiedonsiirtokanavassa voidaan siirtää monia erilaisia tietopaketteja eri lähettäjiä eri vastaanottajille. IPv6 tarjoaa nykyään käytössä olevaa versiota - IPv4 - laajemman osoitevaruuden ja mobiiliuden tuen, mahdollisuuden tietopakettien tietojärjestyksen priorisointiin sekä myös tietoturvaan liittyviä etuja. (viite)

DigiTrafficin tavoitetilanteessa LAM- ja muut liikennetiedon keruujärjestelmät tuottaisivat ajantasaista ajoneuvokohtaista mittaustietoa yhteisesti sovittujen rajapintojen avulla DigiTrafficin mallinnus-tietokantaan. Mittaustiedolla tarkoitetaan jalostamatonta ajoneuvokohtaista rivitietoa. Tämän tiedon perusteella DigiTraffic mallintaa verkon kokonaisliikennetilannetta ja laskee sen perusteella erilaisia tunnuslukuja sekä voi tuottaa myös lyhyen aikavälin ennusteita tilanteen kehittymisestä.

DigiTraffic-mallinnusjärjestelmän hyväksikäyttö edellyttää että ajantasainen ajoneuvo-kohtainen LAM-mittausdata on saatavissa sellaisenaan ennen jatkojalostusta (*kuva 18*). Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä että ajoneuvokohtaista LAM-dataa säilytetään jonkin aikaa tiedonkeruupalvelimissa ennen tietojen hävittämistä. DigiTraffic-järjestelmä muodostaa yhteyden palvelimeen ja hakee sieltä viimeisimmät mittaustiedot. Raakatiedon säilytysaika voi olla lyhyt (esim. 1 tunti), jolloin säilytettävä tietomäärä pysyy kohtuullisena. Tiedonkeruu-palvelimet voivat olla alueellisia, jolloin kaikkea dataa ei tarvitse keskittää yhteen paikkaan. Ratkaisu ei vaatine lisäinvestointeja, koska raakatietoa on puskuroitava joka tapauksessa tietoliikenteen toiminnan varmistamiseksi.

DigiTraffic voisi olla Tiehallinnon tulevaa liikenteen sujuvuustietokantaa täydentävä järjestelmä. DigiTrafficin avulla voidaan laskea laaja-alaisesti erilaisia tunnuslukuja, jotka kuvaavat sujuvuuden lisäksi myös liikenteen muita ominaisuuksia. DigiTrafficin tuottamia tunnuslukuja voidaan tarpeen mukaan liittää sujuvuus-tietokantaan. Toisaalta DigiTraffic-menetelmiä voitaneen soveltaa myös Tiehallinnon omissa järjestelmissä. DigiTraffic-tietokantoja voitaneen käyttää myös perustietokantana alueellisten ja paikallisten ajantasaisten liikennepalvelujen käyttöön.



Kuva 18. Hahmotelma tiedonkeruun toteuttamiseksi LAM-järjestelmästä.

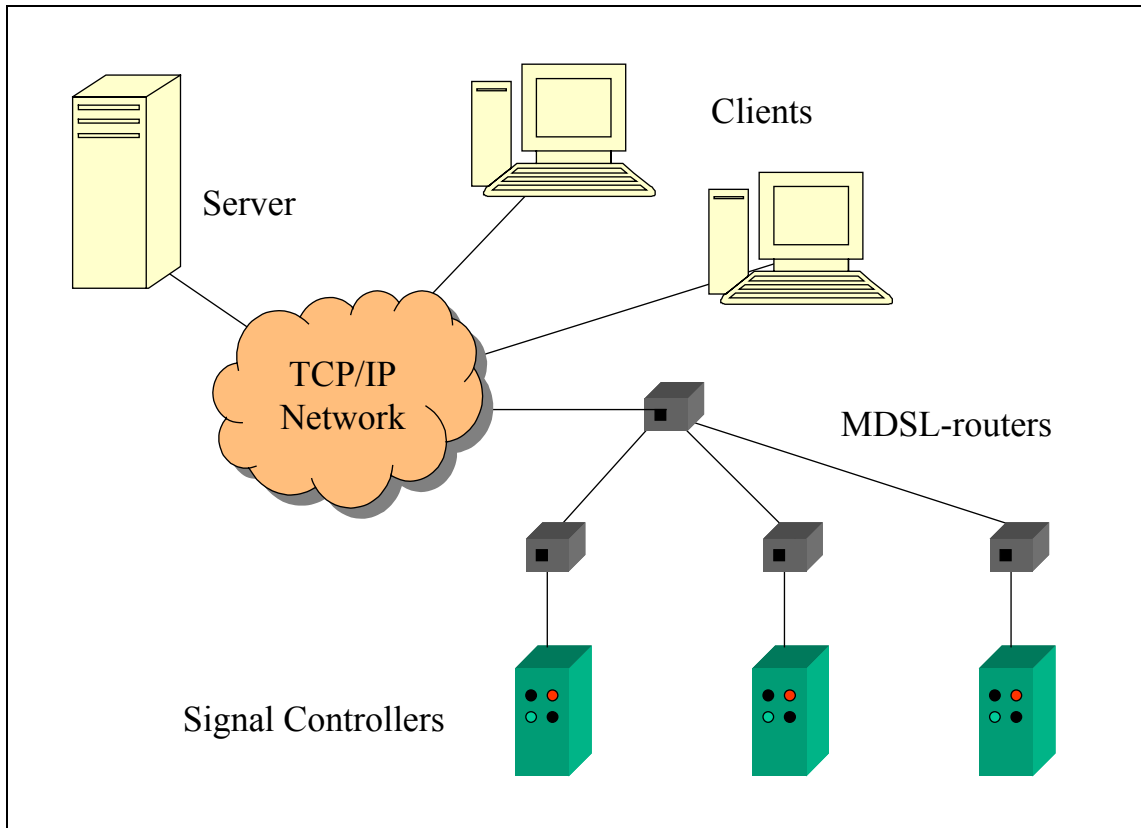
Liikennevalo järjestelmien ajantasaisen liikennetiedon tuottaminen DigiTrafficiin on avainasemassa kaupunkien katuverkkojen mallinnuksen osalta. Toistaiseksi ei katuverkkojen laajamittainen ajantasainen mallinnus liikennevalo järjestelmien tuottamien perusteella ole mahdollista. Sen sijaan paikallisia sovelluksia on mahdollista kehittää hyvin lyhyelläkin aikavälillä. TCP/IP-protokollan käytöllä voidaan ratkaista nykyiset tiedonsiirto-ongelmat liikennevalo järjestelmistä muihin järjestelmiin.

Liikennevalokojien liikennetietojen hyödyntäminen ajantasaiseen liikenteen seurantaan edellyttää myös tiedonsiirto- ja järjestelmien välisten rajapintakysymysten ratkaisemista. Nykyiset valo-ohjausjärjestelmät eivät tarjoa ajantasaiseen liikenteen seurantaan ja mallintamiseen soveltuvaa rajapintaa. Ongelman ratkaiseminen on tältä osin paljolti laitevalmistajien käsissä.

Yksi ratkaisu on kehittää erillinen seurantalaitte, joka asennetaan samaan kojekaappiin liikennevalo-ohjauskojeen kanssa. Seurantalaitte rekisteröi ja tallentaa ilmaisimien ja opastimien tilamuutokset, sekä lähettää tiedot eteenpäin. Tämän tyyppistä ratkaisua kokeillaan mm. DigiTraffic-pilotissa Tampereen koe-alueella. Ohjauskojeeseen liitettävä koje eli eräänlainen "DigiBoxi" huolehtii sekä tiedon keruusta että liikennevalojen ohjaustoiminnoista.

TKK:lla käynnissä olevassa projektissa tutkitaan ja pilotoidaan ajantasaisen tiedonkeruun toteuttamista liikennevalojen ohjausjärjestelmään (Jokinen 2004). Selvityksen mukaan liikennevalovalmistaja PEEK:n järjestelmiin voidaan kytkeä lisälaitte (PowerPC),

joka sisältää mm. LINUX-käyttöjärjestelmän ja MDSL-modeemit. Laitteet voidaan verkottaa toisiinsa ja liittää muihin verkkoihin nopeiden MDSL-yhteyksien avulla. Käynnissä olevassa tutkimuksessa Tuusulan koalueella kolmeen risteyskojeseen kytketään MDSL-reititin (Kuva 19). Reitittimet kytketään verkoksi yhdellä MDSL-reitittimellä, joka kytketään palomuurien kautta yleiseen verkkoon. MDSL-laitteet keräävät ilmaisia ja opastintiedot ohjauskojeilta, muuttavat tiedot avoimeen XML-viestiformaattiin ja lähettävät tiedot eteenpäin. Tiedot voidaan tallentaa palvelimelle tai reitittää suoraan asiakas-sovellukselle.

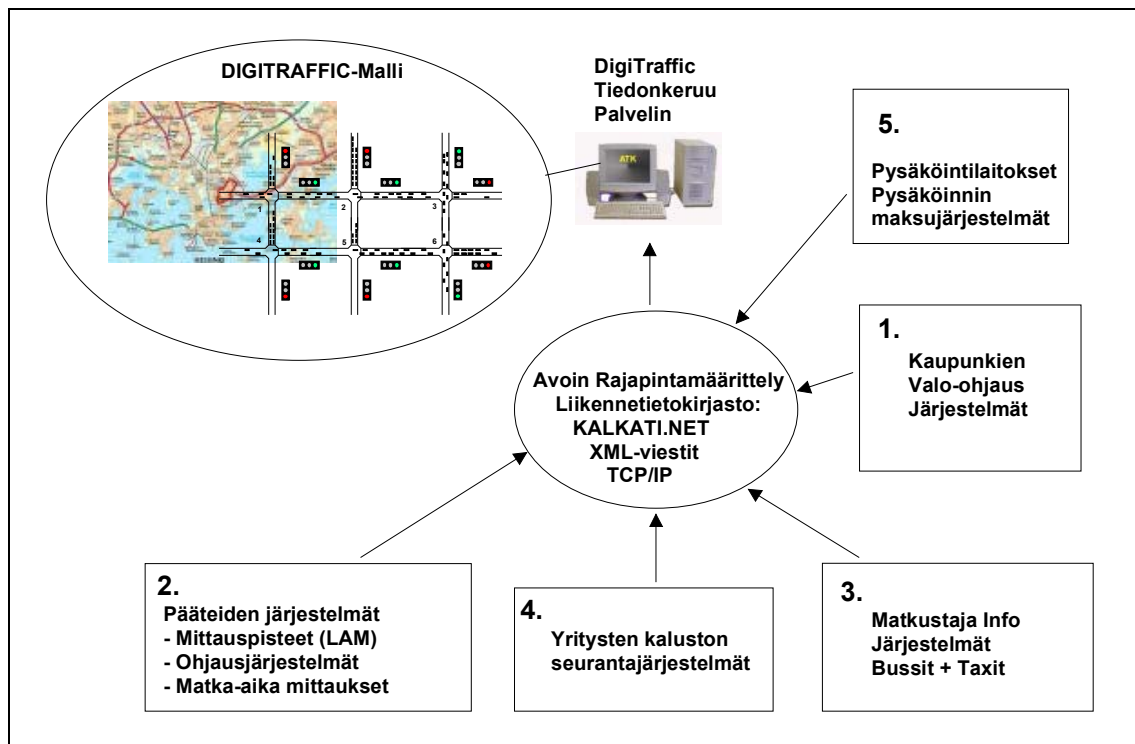


Kuva 19. Ajantasainen liikennetietojen keruu valo-ohjausjärjestelmästä (PEEK)

DigiTrafficin ja eri organisaatioiden tietojärjestelmien välisten liikennetietojen tiedonsiirto edellyttää yhteisesti sovittuja tiedonvaihtorajapintoja (kuva 20). Rajapintojen määrittelyssä kannattaa hyödyntää STARA-hankkeen tuloksena (Standardien rajapintojen määrittely liikennetietojen välitykseen) syntynyttä Liikennetietokirjastoa ja tähän liittyvää Kalkati.net -palvelua <http://www.kalkati.net>. DigiTrafficin arkkitehtuuriratkaisussa tulee ottaa huomioon myös se, että tiedonsiirtotekniikat kehittyvät nopeasti (arkkitehtuurin tulee mahdollistaa erilaisia tiedonsiirtotekniikoita mahdollisuuksien mukaan).

5.3 Muut edellytykset

Tiedonsiirtokysymysten ja teknisen toteutettavuuden lisäksi DigiTrafficin informaatioinfrastruktuurin toteuttamisessa tulee ottaa huomioon myös organisatoriset, sopimuskelliset ja lainsäädännölliset näkökohdat. Tämä tulee olemaan merkittävä kysymys esimerkiksi neuvoteltaessa liikenteen automaattisten valvontalaitteiden keräämien seurantatietojen luovuttamisesta DigiTrafficin käyttöön. Myös tietojen arvoketjuun liittyvät organisatoriset vastuut ja tiedon laatuksymykset pitää selvittää, jotta esimerkiksi palveluntuottaja ei joudu vastuuseen loppuasiakkaalle, jos alkuperäinen tietolähde lopettaa toimintansa (esim. tietolähteenä ollut liikennevalojärjestelmä lopetetaan). DigiTrafficin informaatioinfrastruktuurin toteuttamisessa tulee varautua siihen, että tiedon tuottajaorganisaatioiden kanssa käytävät neuvottelut ja sopimukset sekä tiedon laatu- ja vastuukysymykset tulevat viemään paljon resursseja.



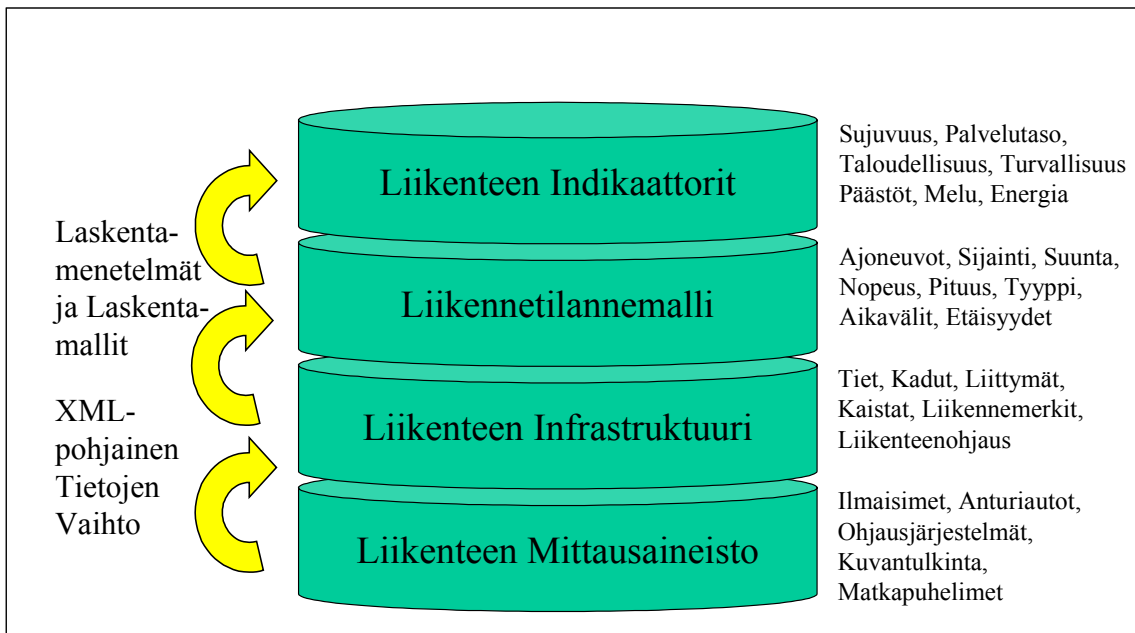
Kuva 20. Rajapinnan määrittely liikennetietojen keräämiseksi eri organisaatioiden järjestelmistä.

6 TIEDON HALLINTA JA TIETOMALLIT

DigiTraffic-konseptin perusajatuksena on koota yhteen eri tietolähteistä ja mittausjärjestelmistä saatavaa tietoa, jotta näitä tietoja voidaan järjestelmällisesti käyttää liikenteen mallinnukseen ja analysointiin, sekä erilaisten liikennetelemaattisten palvelujen tuottamiseen.

Tavoitteiden saavuttaminen asettaa suuria vaatimuksia tiedonhallinnalle, jonka tulisi olla mahdollisimman järjestelmällistä ja kattavaa. Tärkeää on luoda avoimia tietovarastoja, joista liikennetietoja voidaan kerätä sekä tutkimuksen ja että palvelujen tarpeisiin.

Käytännössä tällaiset tietovarastot voidaan toteuttaa tietokantajärjestelminä. Tietokantajärjestelmä toimii ns. palvelimena, johon erilaiset asiakkaat (kuten henkilöt, sovellukset, loppukäyttäjäpalvelut) muodostavat yhteyden tietojen saamiseksi. Kyseessä on ns. "client-server"-malli, jota yleisesti sovelletaan tietoverkoissa, joiden kautta tiedot välitetään.



Kuva 21. Liikenteen nelitasoinen tietomalli

DigiTraffic-tietokannoissa ja tietomalleissa säilytettävää liikennetietoa voidaan jakaa eri tasoihin kuvan 21 mukaisesti. Perustana on liikennejärjestelmän tietomalli, joka kuvaa tie- ja katuverkon sekä muun infrastruktuurin ja ohjausjärjestelmät. Tämä mallin taso on luonteeltaan rakenteellinen eli siinä esiintyy vain vähän muutoksia. Liikenteen mittaus-tiedot sellaisenaan ovat oma tasonsa, jossa on paljon muutoksia ja vähän rakennetta. Kun mittausdata yhdistetään liikennejärjestelmän kuvaukseen, voidaan laskennallisten

mallien avulla jalostaa kokonaiskuva liikennetilanteesta. Myös liikennetilanne on tietomalli, joka sisältää rakenteellisen osan ja dynaamisen osan eli ajoneuvot ja liikenteen. Liikennetilanteesta voidaan laskea erilaisia liikenteen indikaattoreita, jotka luonnehtivat vallitsevaa liikennetilannetta eri kannoilta. Huomattakoon että kaikissa tietomalleissa on mukana myös aikaulottuvuus, joskin infrastruktuurin osalta sen merkitys on vähäinen. Siis esimerkiksi liikennetilanne voidaan esittää ajan funktiona, jolloin aika voi olla mennyttä (historia), nykyistä tai tulevaa aikaa (ennusteet).

6.1 Mittausaineiston hallinta

Eri mittausjärjestelmistä saatava tieto on yleensä ns. "raakadataa", jota esiintyy mitä erilaisimmissa tiedostomuodoissa. Eri tietolähteistä saatava tieto tulisi muuntaa yhtenäiseen muotoon ja tallentaa avoimiin tietokantajärjestelmiin. Tietokantajärjestelmään talletettuun tietoon voidaan kohdistaa erilaisia kyselyjä kulloistenkin tarpeiden mukaisesti (esim. tietyn paikan tai ajankohdan mukaan).

Tietojen esittäminen tietokannoissa vaatii johdonmukaisen esitystavan eli tietomallin kehittämistä. Tietomalli kuvaa miten eri tietotyypit liittyvät toisiinsa ja muodostavat kokonaisuuden tietokannassa. Sama tietomalli voidaan teknisesti toteuttaa käyttäen erilaisia tietokantajärjestelmiä.

Yksittäisestä mittauslähteestä (esim. ilmaisim) saatava tieto voidaan esittää melko yksinkertaisessa muodossa, käytännössä yhtenä tiedostona, joka kuvaa ilmaisimen tapahtumat ajan funktiona. Kun ilmaisimia on kymmeniä tai satoja alkaa olla hyvin vaikeaa ylläpitää tietoja erillisinä tiedostoina. Kun tiedot sen sijaan järjestetään yhtenäiseen tietokantamalliin, voidaan tietoja ylläpitää systemaattisemmin ja tietovarastoon voidaan kohdistaa monipuolisesti erilaisia kyselyjä erilaisten hakukriteerien avulla.

Tietokantamallit tulevat entistä tärkeämmäksi kun aletaan yhdistää myös eri tyyppisiä mittaus tietoja. Uutta tietoa saadaan mm. paikannusjärjestelmistä, analysaattoriautoista ja kuvantunnistusjärjestelmistä. Myös näille tietotyypeille on tärkeää kehittää tietomallit, joiden avulla tietoihin voidaan kohdistaa kyselyjä mm. ajan, paikan, reitin tms. suhteen. Tietomallin yhtenäisyys tarkoittaa käytännössä ennen kaikkea sitä, että eri tietolähteistä saadut tiedot on koodattu tietomalliin ajan ja paikan suhteen yhtenäisesti. Tällöin esimerkiksi tiettyyn ajankohtaan ja linkkiin kohdistettu kysely, voi palauttaa tietoja kaikista saatavilla olevista mittausjärjestelmistä .

Ensimmäisen vaiheen tavoitteena olisi kehittää yhtenäinen tietomalli kaikista mittausjärjestelmistä saatavalle melko käsittelemättömälle "raakadatalle". Tällaisen vielä jalostamattoman, mutta esitystavaltaan yhtenäisen tietovaraston ylläpito olisi tärkeää,

koska se antaisi mahdollisimman suuret vapaudet sekä erilaisten palvelujen kehittämiseen että tutkimuksen tarpeisiin.

Yhden tärkeän tietolähteen muodostavat Tiehallinnon LAM-mittauspisteet. Nämä mittauslaitteet tuottavat yhden rivin dataa jokaisesta ajoneuvosta. Kertyneet ajoneuvotiedot lähetetään tietyin väliajoin (5-60 min) eteenpäin. Ajoneuvotietueet voitaisiin säilyttää tietyn ajan (esim. 1 vrk) tietokantapalvelimella, josta tiedot olisi luettavissa muihin järjestelmiin, kuten DigiTraffic.

Yhteydet mittaustiedon varastoihin tulisi toteuttaa KALKATI-määrittelyjen mukaisesti. Tällöin kullekin tietotyypille määritellään XML-tietue. Tietueiden lähettämiseen ja vastaanottamiseen ohjelmoidaan yhteyskäytännöt KALKATI.NET-kirjastoon, josta ne ovat minkä tahansa osapuolen käytettävissä. LAM-mittaustiedon osalta kukin yksittäinen ajoneuvo voitaisiin määritellä XML-tietueeksi, jolloin mittauspistetietoja voitaisiin lukea KALKATI.NET-kirjastosta haettavalla tietoliikenteen yhteyskäytännöllä.

6.2 Liikennejärjestelmän tietomalli

DigiTraffic-hanke pyrkii edistämään liikennejärjestelmää ja liikennetilanteita kuvaavien tietomallien kehittämistä. Tavoitteena on liikennejärjestelmää kuvaavien pysyvien tietorakenteiden eli ns. tiedon infrastruktuurin luominen erityisesti liikenteellisen toimivuuden näkökulmasta. Tällaisia yleisiä ja avoimia liikenteen tietomalleja voidaan käyttää sekä perustana liikennetelematiikan palveluille että edistämään liikenteen suunnittelun ja tutkimuksen prosesseja.

Liikenteen tietomallin kehitystä lähestytään tällä hetkellä useista eri suunnista. Ainakin kolme erillistä tietotekniikan aluetta voidaan nähdä lähestyvän toisiaan liikennejärjestelmän mallinnuksessa:

- 1) Rakentamisen ja suunnittelun tietomallit (CAD)
- 2) Liikenteen mallinnus- ja simulointijärjestelmien tietomallit
- 3) Tie- ja katuverkon tietokantamallit (GIS, DIGIROAD)

Seuraavassa lyhyt tarkastelu kustakin osa-alueesta.

Talonrakennus ja infra-rakentamisen puolella tietomallit ovat yleisesti hyväksytyjä ja käytössä olevia menetelmiä. Tietomallien avulla kuka tahansa prosessin osapuolista voi tarkastella kokonaisuutta haluamastaan perspektiivistä. Esim. rakennusta voidaan katsoa eri suunnista sekä sisältä että ulkoa. Eri toimijat voivat käyttää ja täydentää samaa tietomallia, mutta keskittyä kokonaisuuden eri osiin tai aspekteihin. Tietomalleissa voi

olla mukana myös aika (spatio-temporaalinen tietomalli), jolloin eri toimijat voivat tietomallista selata esim. rakennusprojektin etenemistä ajan funktiona.

Tietomalleja eli virtuaalikaupunkeja käytetään hyväksi kaupunkisuunnittelussa. Suurimmista kaupungeista on olemassa varsin yksityiskohtaisia kolmiulotteisia 3D-tietomalleja (kuva 22). Koska liikenne on luonteeltaan dynaaminen ilmiö, sen esittämiseen tarvitaan lisäksi myös aikaulottuvuus eli ns. 4D-tietomalli. Liikennetilanteen tietomalli ei periaatteellisella tasolla poikkea esim. rakennusten tai kaupunkien tietomalleista. Liikennetilannetietomallissa ovat kuitenkin mukana myös ajoneuvot, joiden sijaintia ja nopeutta päivitetään tilanteen mukaan. TKK:lla on käynnissä tutkimushanke, jossa selvitetään simuloitun liikenteen esittämistä virtuaalimalleissa (Laitinen et al 2003).



Kuva 22. Kaupunki-infrastruktuurin tietomalli, johon voidaan tuottaa liikkuvia ajoneuvoja esittämään liikennetilannetta (kuva Viasys Oy).

Liikenteen simulointijärjestelmät lähestyvät liikenteen tietomalliajattelua toisesta suunnasta. Toistaiseksi simulointijärjestelmät ovat kehittyneet nopeasti, mutta painopiste on ollut ohjelmistojen eli mallien toiminnallisuuden kehittämisessä. Ohjelmien hyvydestä saatava etu kuitenkin menetetään ellei jatkossa kiinnitetä enemmän huomiota tietorakenteiden kehittämiseen. Suurin este simuloinnin laajamittaiselle yleistymiselle on läh-

tötietojen syöttäminen, mikä nykyisin on käytännössä tehtävä käsityönä kullekin simulointiohjelmistolle erikseen. Mitä tarkempi simulointi, sitä enemmän tarvitaan lähtötietoja. Tämän vuoksi laajan verkon mallintaminen mikrotasolla on erittäin työlästä. Suuren kaupungin yksityiskohtaisen tietomallin rakentaminen on verrattavissa jopa ohjelmiston kehittämiseen tarvittavaan työmäärään, jolloin yhteen ohjelmistoon ja ennen kaikkea sen suljettuun tietomalliin sitoutuminen voi olla huomattava taloudellinen riski.

Huomattavasti riskittömämpi vaihtoehto olisi kehittää mahdollisimman yleinen tietokantamalli, josta voidaan kyselyinä hakea yleisimmät simulointiohjelmistojen tarvitsemat lähtötiedot. Näin turvattaisiin tietojen keräämiseen, ylläpitoon ja tietomallien luomiseen tehdyt investoinnit pitkälläkin aikajänteellä. Tietokantajärjestelmästä voitaisiin siis hakea kulloinkin simuloitavan tie/katuverkon kuvaus. Tietokantamallissa voitaisiin säilyttää myös liikenteen perustietoja (esim. liikennemäärät, O-D matriisit), joita myös tarvitaan simuloinnin lähtötiedoiksi. Muita tarpeellisia lähtötietoja ovat mm. liikennevalojen ajoituskaaviot/parametrit ja joukkoliikenteen reitit/aikataulut.

Simulointimalleissa liikenteen tietomalliajattelu on kuitenkin viety erittäin pitkälle. Erityisesti mikrosimulointimalli sisältää hyvin tarkan kuvauksen liikennejärjestelmästä, sen eri osista ja niiden kytkeytymisestä toisiinsa. Simulointimalleissa näkökulma on lisäksi nimenomaan liikennetekninen ja malli kuvaa järjestelmää sen liikenteellisen toimivuuden kannalta. Ongelmana on lähinnä mallien heterogeenisuus ja yhteensopimattomuus muihin järjestelmiin. Simulointimalleja ei myöskään ole suunniteltu liikennetietojen ja liikennetilanteiden tallentamiseen ja esittämiseen ja tiedon hakuun kuten tietokantajärjestelmät. Kolmas ongelma on se, että simulointiohjelmit on tehty lähinnä suunnittelukäyttöön, eikä niiden liittäminen ajantasaisiin tiedonkeruujärjestelmiin ei onnistu sellaisenaan.

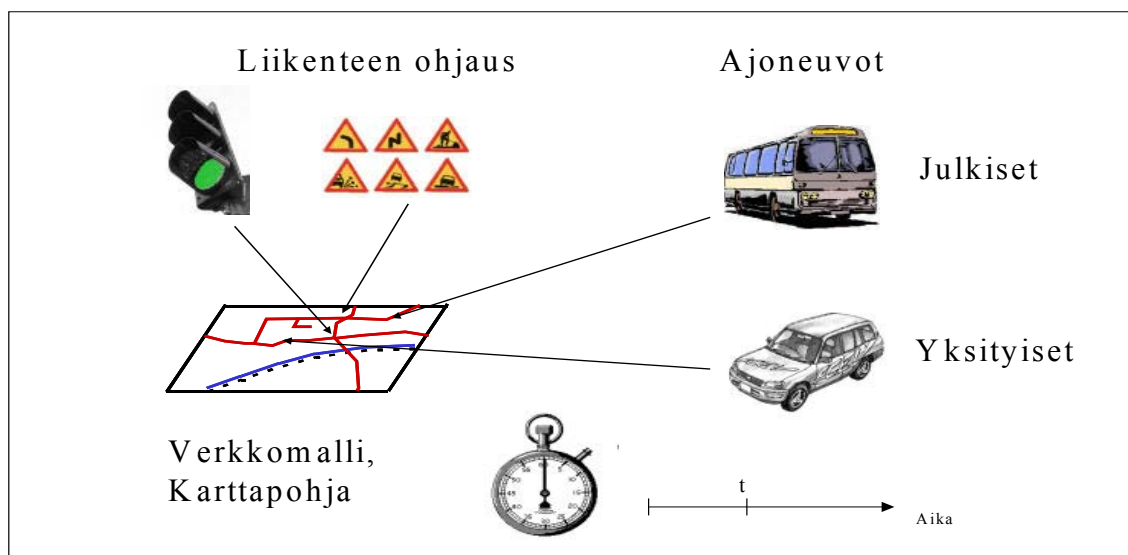
Kolmas lähestymissuunta liikenteen tietomalleihin on ehkä lähtökohdiltaan lähinnä kartografinen. Katu- ja tiekarttoja on ryhdytty yhä enemmän siirtämään digitaaliseen muotoon, mikä mahdollistaa esim. reittivaihtoehtojen etsimisen automaattisesti. Kattavin ja systemaattisin hanke Suomessa on DIGIROAD, jossa tie ja katurekisterien tiedot on koottu yhtenäiseksi ja tasalaatuisiksi digitaaliseksi kartta-aineistoksi. DIGIROAD on samalla liikenneverkon tietomalli, joka toteutetaan tietokantajärjestelmässä. DIGIROAD on siis staattinen kuvaus tie- ja katuverkon rakenteesta eli siinä ei kuvata nopeita muutoksia kuten liikennettä. DIGIROAD:n karttapohjaa voidaan käyttää monissa liikennetelematiikan palveluissa kuten paikannuksessa ja reittiopastuksessa.

Liikenteen mallinnuksen kannalta DIGIROAD antaa tietyn yhtenäisen pohjan. DIGIROAD perustuu kuitenkin fyysisen ajoradan käsitteeseen, mikä ei parhaiten tue liikenteellisen toimivuuden mallintamista, jossa tärkeimmät käsitteitä ovat linkkiyhteydet ja kaistat. Kaistakohtaisia liikennejärjestelmän tietomalleja on myös kehitelty (*Etches et al 1998, Arjamaa 2003*).

DigiTraffic-tietomallissa lienee tarkoituksenmukaista ottaa tiettyjä ominaisuuksia kaikista kolmesta eri lähtökohdasta. DigiTrafficin tulisi olla paikkatietomalli (GIS) kuten DIGIROAD. Sen tulisi sisältää yksityiskohtainen liikennetekninen tietomalli kuten useimmissa simulointijärjestelmissä. Sen tulisi myös sisältää mahdollisuudet liikennetilanteiden selaamiseen ja visualisointiin 2-4D muodoissa kuten CAD-mallit.

DigiTrafficissa tavoitteena on jatkaa tietomallien kehitystä tukemaan liikennetelematiikan palveluja, liikenteen ohjausta ja liikenteen hallintaa. Samalla DigiTraffic-mallit voisivat edistää liikenteen suunnittelua ja tutkimusta helpottamalla simulointijärjestelmien ja muiden liikennemallien käyttöä.

DigiTraffic-tietomallia kannattaneet aloittaa toteuttaa alueellisesti lähinnä liikenteellisesti vilkkaimmista tai ongelmallisista kohteista. Vähäliikenteisillä alueilla ei DigiTraffic-malleja kannattane toteuttaa, jos liikenteellisiä ongelmia ei ole. Olisi tärkeää että myös DigiTraffic-tietomalleja ylläpidettäisiin esimerkiksi viranomaisten toimesta, jolloin tiedot pysyvät ajan tasalla. Tietomallit tulisi tallentaa avoimeen paikkatietojärjestelmään, josta tiedot olisivat eri osapuolien, niin loppukäyttäjien kuin palveluntuottajien saatavilla. Mahdollisimman avoin ja pysyvä tietoinfrastruktuuri luo pohjaa erilaisille sovelluksille ja palveluille.



Kuva 22. DigiTraffic-tietomallin pääosat

6.3 Liikennetilanteen ja tunnuslukujen esittäminen

DigiTraffic-hankkeen keskeinen idea on tuottaa palvelujen tarvitsemaa tietoa liikenteen mallinnuksen avulla. Erilaiset laskennalliset mallit jalostavat mittauksista saatavaa raakaa tietoa palvelujen tarvitsemiksi indikaattoreiksi tai ennusteiksi. Nämä laskentamallit voivat siis olla joko simulointia tai mitä tahansa muita menetelmiä. Tärkeää on että las-

kentamallien kehityksessä voidaan käyttää jalostamatonta mittaustietoa eri lähteistä mieluiten esimerkiksi avoimen tietokantamallin kautta.

Kun puhutaan liikenteen palveluista liikennetietojen esittäminen liittyy lähinnä ajantasaisen tai ennustetun liikennetilanteen kuvaamiseen. Toisaalta samaa tietomallia voidaan käyttää myös liikenteen suunnittelun ja tutkimuksen tuloksien esittämisessä, jolloin ei ole kyse ns. on-line tyyppisestä mallinnuksesta, vaan mallinnettujen skenaarioiden tulosten esittämisestä.

Liikenteen ja liikennetilanteiden keskeiset tunnusluvut liittyvät mm. sujuvuuteen, turvallisuuteen, taloudellisuuteen, ympäristövaikutuksiin ja käyttäjien kokemaan palvelutasoon. Näitä lukuja ei pääsääntöisesti saada suoraan mittausjärjestelmistä, vaan luvut täytyy tuottaa mallinnuksen ja laskennan avulla.

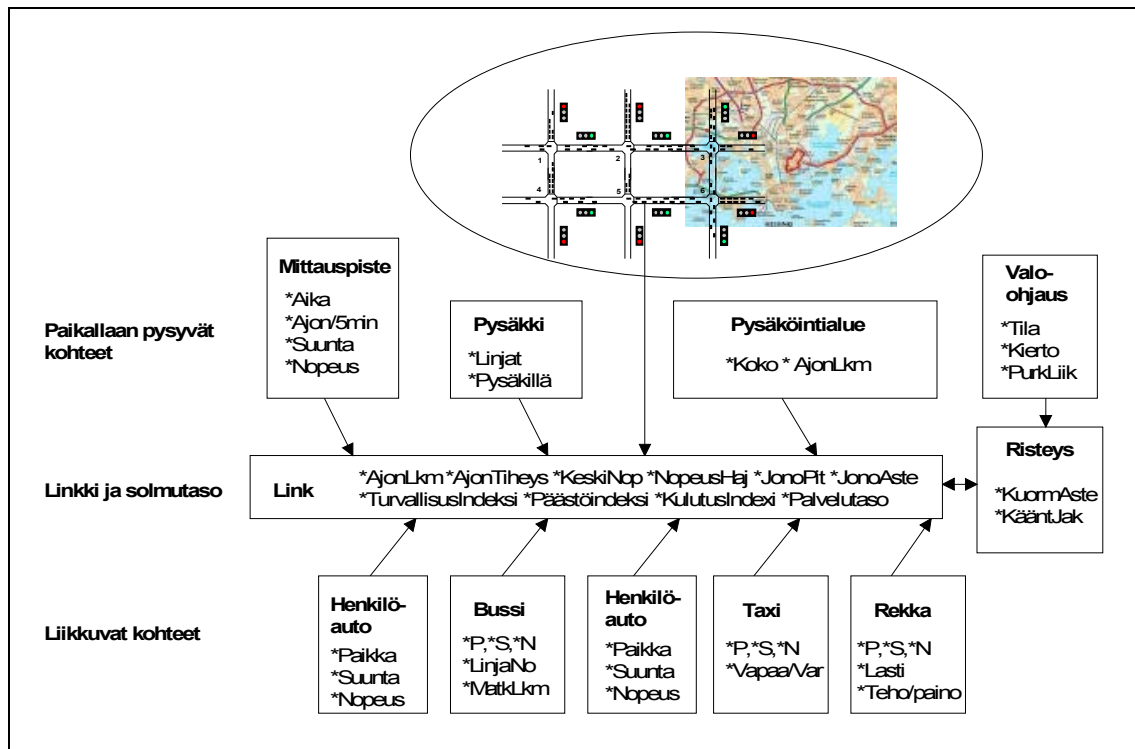
Tietomallin tulee voida kuvata liikennetilannetta mahdollisimman monelta eri kannalta. Tarkastelunäkökulma voi olla mm. poikkileikkaus (tie, ajorata, kaista) tai tiejakso (linkin osa, yksi linkki, useamman linkin muodostama tiejakso). Liikennepalvelujen kannalta erityisen tärkeää on voida tehdä kyselyjä reitin perusteella, jolloin eri reittivaihtoehtoja voidaan vertailla. Myös annettua aluetta ja sen tunnuslukuja on voitava tarkastella kokonaisuutena. *Kuvassa 23.* on hahmoteltu tietomallia, joka kuvaa liikennetilannetta ja liikenteen tunnuslukuja.

Liikennejärjestelmä on maantieteellisesti laaja kokonaisuus, joten melko luonteva tapa sen esittämiseen on paikkatietomalli. Paikkatietojärjestelmät on alunperin suunniteltu pelkästään paikkatiedon (x,y,z) esittämiseen (3D). Koska liikenne on dynaaminen järjestelmä, tulee tietomallin kyetä käsittelemään aikaa. Aika voidaan ajatella neljänneksi ulottuvuudeksi, joka lisätään paikkatietomalliin. Kyseessä on tällöin ns. spatio-temporaalinen (4D) tietomalli. Spatio-temporaalisessa tietomallissa voidaan siis esittää liikennetilanteet ajan funktiona. Tietomallia voidaan tarkastella mm. 4D-selaimen avulla, jolloin liikennetilanteita voidaan selata ajassa eteen- ja taaksepäin.

Liikennetilanteen tietomalli voi siis esittää nykytilannetta, historiaa tai tulevaisuuden skenaarioita. Historian tiedon kannalta oleellista on että kerääntyvän tiedon määrää täytyy hallita siten että mitä vanhempaa tieto on, sitä pitemmän ajan keskiarvoina se esitetään. Tiedon vanhentamisperiaatteisiin vaikuttaa käytettävissä oleva tallennuskapasiteetti. Liikenteen nykytilanne olisi pyrittävä esittämään mahdollisimman tarkoin, jotta siitä voidaan laskea kaikki mahdolliset tunnusluvut ennen tietojen vanhentamista ja keskiarvoistamista. Tulevaisuuden skenaarioita ja lyhyen ajan ennusteita varten on oleellista, että malli kykenee esittämään useita rinnakkaisia liikennetilanteita, koska tulevaisuutta voidaan ennustaa useilla eri lähtöoletuksilla.

Liikennetilanne koostuu erillisistä ajoneuvoista ja jalankulkijoista. Liikennetilannemallin tulee esittää kukin ajoneuvo, sekä estimaatti ajoneuvon tilasta (sijainti, suunta ja nopeus). Ajoneuvon tila esitetään riippumatta siitä, onko tilatieto saatu suo-

raan mittausta- tai paikannusjärjestelmästä vai onko ajoneuvojen tilaa estimoitu/interpoloitu esimerkiksi simuloimalla edellisestä havainnosta lähtien. Liikennetilannemalli voi sisältää myös lisätietoja ajoneuvoista sikäli kun tietoja on saatavissa. Ajoneuvon pituus ja tyyppi saadaan jo nykyisistä mittausjärjestelmistä. Tulevaisuudessa liikennetilannemalli voi sisältää tietoja mm. bussin/taksin matkustajatilanteesta sekä kuorma-auton lastin määrästä ja laadusta. Jalankulkijat ja muu kevyt liikenne voidaan toteuttaa tietomallissa, vaikka mittauksia on tarjolla vähän.



Kuva 23. Hahmotelma DigiTraffic liikennetilanteen ja tunnuslukujen tietomallista

Liikenteen eri tunnusluvut ovat yleensä luonteeltaan makroskooppisia, jolloin yksittäisiä ajoneuvoja ei erotella. Liikenteen tunnusluvut voidaan esittää pääasiassa linkki- ja solmu-tasolla. Näistä voidaan tietokantakyselyinä aggregoida reitti- ja aluekohtaisia tunnuslukuja. Liikenteen tunnuslukujen tietomalli voi siis olla melko yksinkertainen. Linkki- ja solmutietueisiin liitetään attribuutteja kuvaamaan liikenteen mm. sujuvuutta, turvallisuutta, päästöjä ja taloudellisuutta. Tiedot voidaan tuottaa ainakin kahdella periaatteella. Laskentamallien avulla voidaan liikennetilannemallista aggregoida tunnusluvut aikajaksottain kullekin linkille ja solmulle. Joissain tapauksissa voidaan ohittaa liikennetilannemalli ja laskea tunnuslukuja suoraan mittauksista.

Tulevaisuudessa, kun järjestelmät kehittyvät, liikenteen tietomalleihin tulee mukaan myös ajoneuvon kuljettajan ja jalankulkijan käyttäytymiseen ja valintoihin liittyviä muuttujia, jolloin voidaan puhua myös nanoskooppisesta mallinnustasosta.

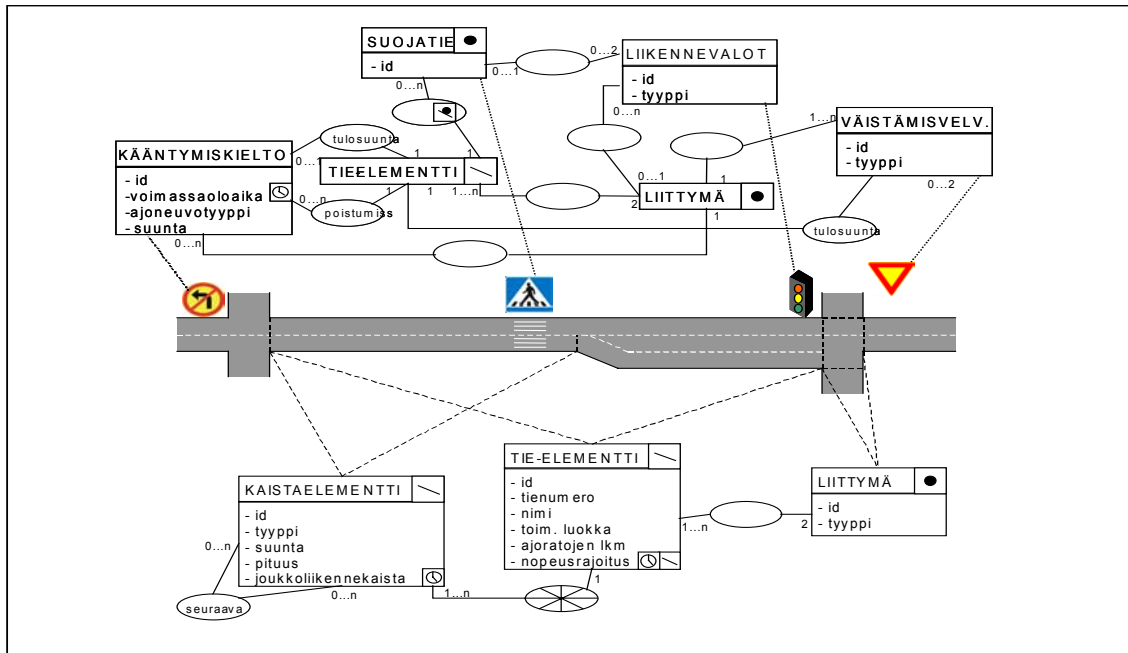
6.4 Liikenteen ajantasaisen tietokantamallin suunnittelu

DigiTraffic-hankkeen yhtenä osana TKK:lla tehdään paikkatietomalliin liittyvää tutkimus- ja suunnittelutyötä. Tämä työ painottuu ajantasaisen simuloinnin tulostietojen esittämiseen erilaisten liikennetelemaattisten palvelujen pohjaksi. Tämä luku sisältää yhteenvedon DigiTraffic-tietokantamallin tämän hetkisestä vaiheesta (*Arjamaa 2003*). Tietokantamallin nykyinen versio on prototyyppi jota tullaan jatkossa kehittämään DigiTraffic-tutkimusohjelmassa.

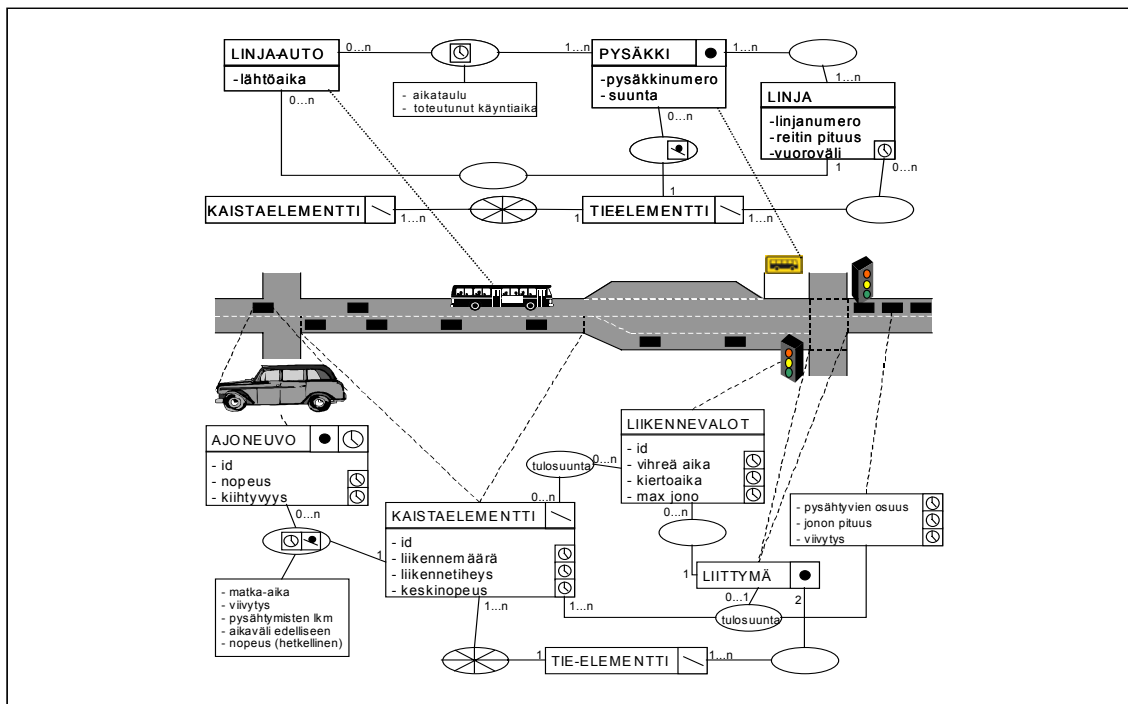
Työssä on suunniteltu tietokantamalli ajantasaiselle liikennetiedolle. Mallin on tarkoitus olla mahdollisimman yleinen, eikä sen suunnittelussa ole sitouduttu tiettyyn toteutustapaan. Mallin pohjalta voidaan luoda tietokanta, joka voi toimia perustana monenlaisille palveluille ja analysointimenetelmille. Tietokantamallin suunnittelun lisäksi työssä oli tavoitteena luoda tietokannan ympärille tietojärjestelmä, jonka avulla voidaan tallentaa mittaustietoa tietokantaan sekä jatkojalostaa ja esittää sinne tallennettuja tietoja. Liikennetietoon voidaan usein yhdistää sijainti, minkä vuoksi luonnollinen valinta esitysten luomiseen oli paikkatietojärjestelmä. Tavoitteena työssä oli myös tietokannan ja tiedon käsittelyjärjestelmän kokeilu pilottisovelluksella. Tiedon keruu, tietokanta, tiedon käsittely ja sen pohjalta tuotetut palvelut muodostavat yhdessä DigiTraffic-järjestelmän.

Tietokantamallissa esitetään, mitä tietoa tietokantaan halutaan tallentaa ja millaisia suhteita tiedon elementeillä on keskenään. DigiTraffic-järjestelmän tietokantamalli on tässä työssä esitetty erityisesti spatio-temporaalisen tiedon mallinnukseen kehitettyä suunnittelutekniikkaa käyttäen. Malliin kuuluu sekä staattisia että dynaamisia elementtejä. Pysyvän tieverkon kuvauksen perusosana on kaistaelementti (*kuva 24*). Yleisemmällä tasolla tieverkko kuvataan liittyminä ja niiden välisinä linkkeinä, tieelementteinä, jotka puolestaan koostuvat kaistaelementeistä. Dynaamiset liikennetiedot koskevat joko yksittäisiä ajoneuvoja tai liikennettä kokonaisuutena (*kuva 25*).

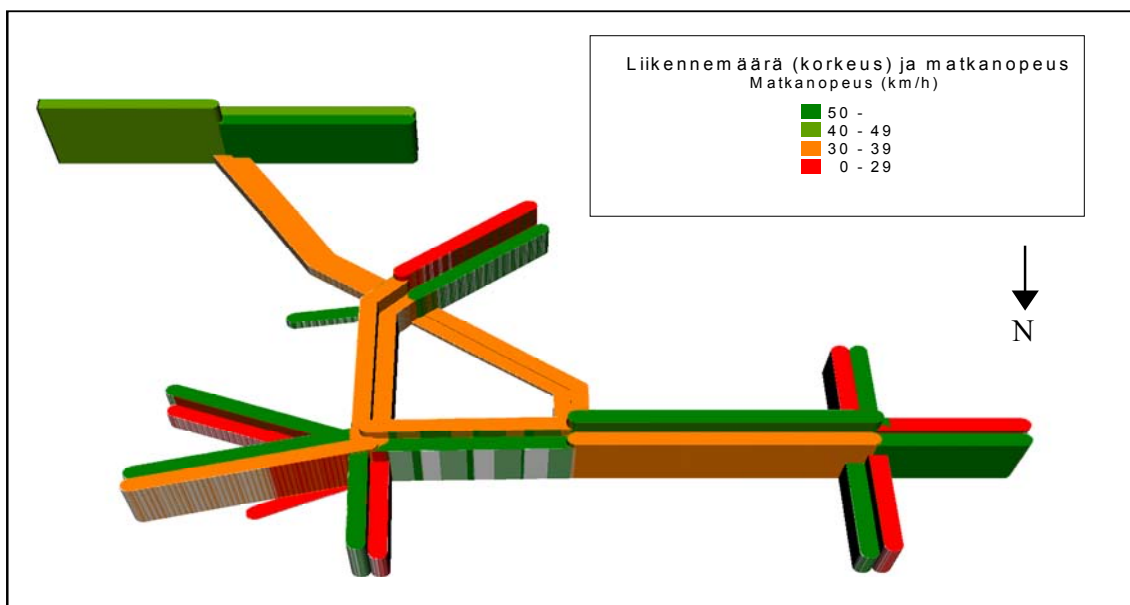
Tietokantamallista on johdettu työssä relaatiomalli. Relaatioita muodostettaessa päämääränä oli minimoida toisteisen tiedon tallentaminen, minkä vuoksi dynaamiset tiedot tallennettiin omiin relaatioihinsa. Pilottisovelluksessa luotiin relaatiotietokanta, jossa em. relaatiomallin taulut toteutettiin soveltuvien osien. Pilotti toteutettiin Tampereen keskustaan muutaman korttelin laajuiselle alueelle rakennetun simulointimallin avulla. Liikenneverkon esitys saatiin siirtämällä simulointiohjelman käyttämä verkko paikkatietohjelmaan. Dynaamiset liikennetiedot saatiin simuloinneista, joiden tulokset siirrettiin simulointiohjelman tulostamista tiedostoista erillisellä tiedonsiirto-ohjelmalla tietokantaan. *Kuvassa 26* on esimerkki tietokantamallin esittämistä tuloksista, jotka on tuotettu simuloimalla.



Kuva 24. Liikennejärjestelmän tietokantamalli



Kuva 25. Liikenteen ja ajoneuvojen tietokantamalli



Kuva 26. Esimerkki liikenteen ajantasaisen tietokantamallin tuloksista

7 PALVELUT JA SOVELLUKSET

DigiTraffic-järjestelmästä saatavat hyödyt liittyvät ennen kaikkea siihen millaisia palveluja järjestelmän avulla voidaan tuottaa. Palvelujen perustaminen edellyttää sitä, että DigiTraffic-järjestelmän muut osat ovat toiminnassa, eli että liikenteen laskenta- ja tietomallit toimivat yhdessä liikenteen mittausjärjestelmien kanssa. Mallien tuottamat liikennetilannetiedot talletetaan tietokantajärjestelmään, jonka pohjalle eri osapuolet voivat perustaa omia palvelujaan. Kukin palvelu muodostaa oman tietoliikenneyhteyden tietokantapalvelimiin ja hakee kyseisen palvelun kannalta oleelliset tiedot tietokantakyselynä ja välittää edelleen käyttäjille.

Palveluja voidaan tehdä sekä suoraan loppukäyttäjille eli matkustajille että liikennejärjestelmän eri osapuolille kuten viranomaisille ja yrityksille. Loppukäyttäjälle suunnatuja palveluja varten voidaan perustaa erillisiä palvelutietokantoja, joissa ylläpidetään vain tienkäyttäjän kannalta oleellisia tietoja. Samalla rajoitetaan suoraa pääsyä varsinaisiin liikenteen mallinnusjärjestelmiin mm. tietoturva syistä.

Erilaiset viranomaistahot kuten Tiehallinto, kaupungit, poliisi ja pelastuslaitos olisivat paitsi DigiTraffic-palvelun käyttäjiä myös osaltaan tietojen ylläpitäjiä. Viranomaisilla tulisi siis olla valtuudet suoriin yhteyksiin mallinnusjärjestelmiin. Myös tutkimusorganisaatioilla tulisi olla mahdollisimman vapaat kädet käyttää mallinnusjärjestelmien tietoja tutkimustarkoituksiin, mikä edistäisi DigiTraffic-järjestelmien kehittämistä.

Yritykset ja liikelaitokset voivat myös toimia sekä tietojen käyttäjinä että tuottajina. Kuljetusyrityksille, joukkoliikenneoperaattoreille ja tienpidosta vastaaville tiedot liikennetilanteesta ovat tarpeen kaluston hallinnan optimoimiseksi. Samat tahot voisivat myös antaa tietoja oman kalustonsa liikkeistä paikannusjärjestelmiensä avulla, mikä toisi lisätietoa DigiTraffic-järjestelmään. Yritykset myös kehittävät omia palvelujaan, joihin DigiTraffic liikennetietoja voidaan liittää.

Liikennetelematiikan palvelut voidaan kuvata arvoverkkona tai arvoketjuna (*kuva 27*), jossa kerättyä tietoa muokattuna jaetaan käyttäjien haluamassa muodossa. Yrityksille arvoketju kuvaa yrityksen asemaa ja sijoittumista sekä sitä, mistä se liikevaihtonsa tuottaa. Arvoketju kuvaa tuotteen tai palvelun muodostumista aina loppukäyttäjälle tai kuluttajalle asti. DigiTraffic sijoittuu arvoketjun alkupäähän, tiedon hankintaan ja muokkaukseen sisällön luomiseksi, joissa vaiheissa yleensä syntyy suurin osa koko arvoketjun kustannuksista. Siksi DigiTrafficin merkitys arvoketjussa on suuri etenkin, jos sillä pystytään saamaan merkittäviä tehokkuusetuja arvoketjun alkupäähän.



Kuva 27. Liikennetelematiikan palvelu arvoketju (Kulmala 2002).

Tässä luvussa käydään läpi DigiTrafficin hyödyntämistä liikennetelematiikan palvelujen kehittämisessä seuraavan jaottelun mukaisesti:

1. tiedonkeruu ja -hallintajärjestelmät
2. liikenteen tiedotus
3. liikenteen ohjaus
4. kysynnän hallinta
5. kaluston ja kuljetusten hallinta
6. häiriönhallinta
7. kuljettajan tukijärjestelmät
8. valvontajärjestelmät

Palvelujen toteuttamisen osalta pääpaino on alkuun kohdissa 1-3, eli liikenteen seurannan ja tiedotuspalveluiden toteuttamisessa sekä liikenteen ohjauksen parantamisessa. Tämä johtuu siitä, että näissä palveluissa DigiTrafficin hyödyntäminen onnistuu näillä näkymin laajimmin lähivuosina.

7.1 Tiedon keruu- ja hallintajärjestelmät

Yhtenä keskeisenä tavoitteena on tuottaa palveluja liikenteen seurannan, ohjauksen ja hallinnan tarpeisiin. Nämä palvelut on suunnattu lähinnä viranomaistahoille ja operaatoreille, jotka seuraavat liikennetilannetta ja suorittavat tarvittaessa ohjaustoimenpiteitä. Liikenteen ohjaus- ja tiedotuskeskuksille DigiTraffic tuottaa kokonaiskuvan liikenneverkon tilanteesta ja luo näin perusedellytykset kokonaisvaltaisen liikenteen hallinnan kehittämiseksi.

Liikenteen seurannan osalta DigiTraffic yhdistää mittaustietoja ja arvioi liikenneverkon ajantasaista tilaa. Tavoitteena on myös tuottaa lyhyen ajan ennusteita liikenneverkolle. Liikenteen tunnusluvusta voidaan poimia aikasarjoja, joiden avulla voidaan seurata liikennejärjestelmän toiminnan kehittymistä myös pitemmällä aikavälillä. Operaattori voi seurata tiettyjen indikaattorien kehittymistä ja asettaa raja-arvoja, jotka hälyttävät operaattorin suorittamaan toimenpiteitä.

Ympäristöolosuhteiden seurantaan DigiTrafficiin voidaan liittää päästöjen laskenta. DigiTraffic laskee kunkin liikennetilanteen mukaiset päästöt. Tie/katuverkon päästölähteet voidaan syöttää leviämismalliin, joka mallintaa ilman laatua säätilan huomioon ottaen. DigiTrafficia voitaneen hyödyntää myös melumalleissa.

7.2 Liikenteen tiedotus

Liikenteestä tiedottaminen tienkäyttäjille on yksi tärkeimmistä palveluista DigiTrafficissa. Tavoitteena on tarjota kattava ja luotettava kuva liikennetilanteesta. Ajantasaista liikennetietoa voidaan käyttää ennen matkaa, jolloin päätetään kulkutavasta, lähtöajankohdasta ja suunnitellaan reitti.

Ennen matkaa voidaan käyttää suurikokoisia visuaalisia päätelaitteita, joissa on mahdollisuus esittää liikennetilanteen kokonaisuus esim. karttamuodossa. Kotitietokoneella voidaan käyttää DigiTraffic tietoja mm. WWW-selaimen avulla. Digi-TV tuo mukanaan paljon uusia kanavia, joita mahdollisesti voidaan jatkossa käyttää esim. liikennetilanteen/ennusteen esittämiseen. Visuaalisesti karttapohjalla esitettävät liikennetiedot perustuvat DigiTraffic-tietokantamallin tietoihin.

Myös matkan aikana voidaan saada tietoa, mutta tällöin on käytettävä pienempiä päätelaitteita kuten radiota, matkapuhelinta tai ajoneuvopäätettä. Ajantasainen tieto matkan aikana mahdollistaa reitin tai matkasuunnitelman vaihtamisen ruuhkan tai häiriön vuoksi. Matkan aikana annettava tieto soveltuu hyvin puheen muodossa annettuna. Ajoneuvopääte voi antaa kehotuksen vaihtaa reittiä tiettyjen ehtojen täytyessä tai matkapuhelin voi antaa äänimerkin.

DigiTrafficia voidaan siis hyödyntää erityisesti tiedotuksessa, liikenteen sujuvuudesta, häiriöiden ja tietöiden ajantasaisesta tilanteesta sekä liikennetilanteen lyhyen aikavälin ennusteista. DigiTraffic mahdollistaa ajantasaisen verkollisen kattavuuden nykyisen pääteiden runkoverkon ja sen joidenkin osuuksien sijasta.

DigiTraffic tehostaa jonkin verran tiedotusta vaihtoehtoista kulkumahdollisuuksista (mahdollistaa ajantasaiset suositukset sujuvien verkon osien ja kulkutapojen käytöstä) sekä tiedotusta ajantasaisesta pysäköintipaikkojen tarjonnasta. DigiTrafficin avulla voidaan parantaa tiedotusta reiteistä, palveluista ja matkailupalveluista sekä tiedotusta

joukkoliikennematkustajille, jos näihin palveluihin halutaan liittää mukaan ajantasainen linkkikohtainen liikennetieto.

7.3 Liikenteen ohjaus

DigiTrafficin avulla voidaan kehittää merkittävästi liikenteen ohjauksen eri toimintoja. DigiTraffic tarjoaa uusia mahdollisuuksia valo-ohjauksen kehittämiseen ja optimointiin sekä koko liikenneverkon tasolla että liittymä- ja väylätasolla. Lisäksi DigiTrafficin avulla voidaan kehittää ja optimoida valo-ohjauksen etuustoimintoja myös verkollisella tasolla. Vaikka juuri valo-ohjauksen kehitystyö on käytännössä kaikkein pisimmällä, se ei tarkoita sitä, että DigiTraffic-hankkeessa valo-ohjaus olisi keskeisempi verrattuna esim. liikenteen seurannan ja tiedottamisen palveluihin.

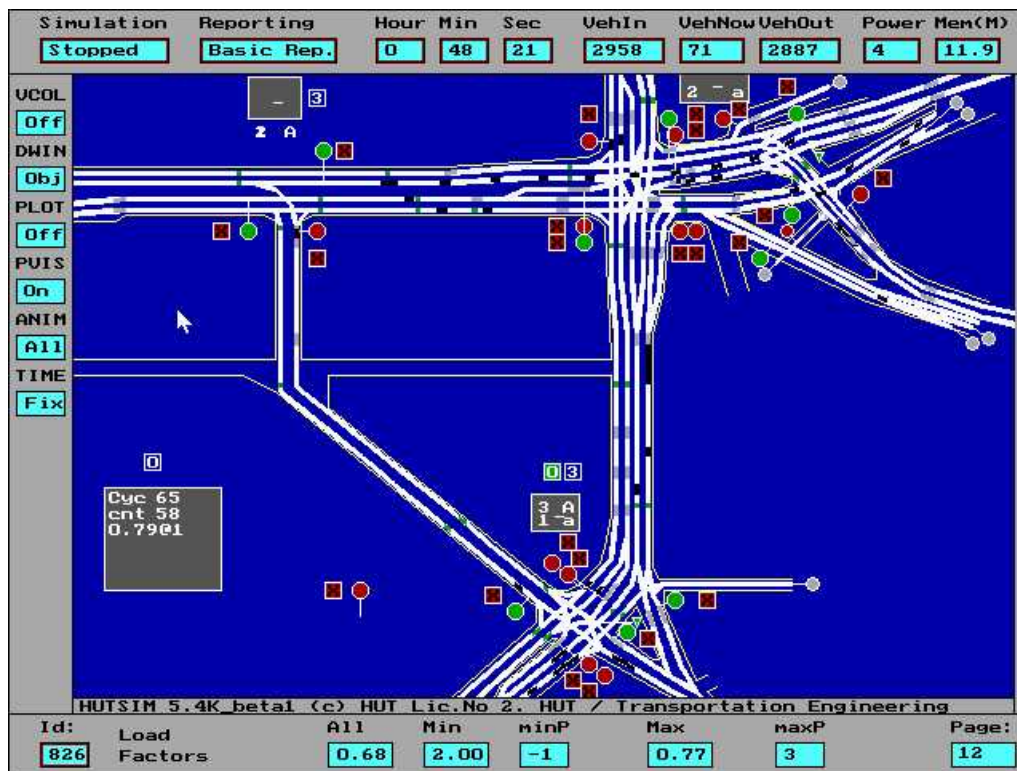
Keskeinen käyttökohde on myös vaihtoehtoisille reiteille opastaminen, koska DigiTraffic mahdollistaa verkkotason liikenteen ohjauksen. Muita liikenteen ohjauksen toimintoja, joissa DigiTrafficia voidaan hyödyntää ovat paikallinen varoittaminen muuttuvien opastein (ruuhkavaroitussjärjestelmät), olosuhteiden mukaan muuttuva nopeusrajoitus (liikennetilanteeseen perustuvan ohjauksen kehittäminen) ja kaistankäytön ohjaaminen (ruuhkaperusteiset sovellukset, esim. vaihtuvasuuntainen kaistaohjaus).

DigiTraffic-periaatetta on sovellettu liikennevalojen ohjaukseen vuodesta 1996 alkaen. Tällöin liikennevalojen erillisohjaukseen alettiin soveltaa sumeaa logiikkaa FUSICO-projektissa (*Niittymäki 2002*). Liikennevalojen ohjauslogiikka rakennettiin HUTSIM-simulaattoriin. Tästä ratkaisun avulla voidaan liikennevalo-ohjauksen algoritmi kehittää ja optimoida laboratoriossa ja simuloidulla liikenteellä. Kun ohjausalgoritmi on riittävän hyvä, se voidaan siirtää maastoon ja tällöin samaa simulointimallia käytetään esittämään risteyksessä vallitsevaa liikennetilannetta. Kyseessä on siis pienen mittakaavan DigiTraffic-järjestelmä erillisohjaukseen risteykseen.

Kun liikennetilanteesta on koko ajan olemassa kokonaisvaltainen malli, voidaan älykkään ohjauslogiikan hyödyt ottaa täysimääräisesti käyttöön. Ohjausalgoritmi pystyy näin hyödyntämään kaikkien tulosuuntien ja kaistojen liikennetietoa sekä lisäksi laskemaan liikennemallista tunnuslukuja sujuvuuden, turvallisuuden ja päästöjen suhteen. Näin kyettiin kehittämään ohjausjärjestelmä, joka ottaa kokonaisvaltaisesti huomioon vallitsevan liikennetilanteen ja kykenee myös monitavoitteiseen ohjauksen optimointiin. Simuloitu liikennetilannemalli toimii eräänlaisena liikennetietokantana, johon ohjauslogiikka voi kohdistamaa kyselyitä ohjauspäätöksiensä perustaksi. DigiTraffic-periaatteiden mukaiseen ohjausjärjestelmään voidaan soveltaa useita älykkäitä tai optimoivia ohjausalgoritmeja, kuten esimerkiksi matemaattista optimointia tai neuroverkkoja tai sumeaa logiikkaa.

DigiTraffic-periaatteella toimiva valo-ohjausjärjestelmä tuottaa valo-ohjauksen lisäksi sivutuotteena runsaasti tietoa risteysten liikenteellisestä toiminnasta. Tätä tietoa voidaan käyttää liikenteen ja valo-ohjauksen tilanteen seurantaan liikenteen ohjauskeskuksissa, koska malli tuottaa tietoja mm. jonoista, viivytyksistä, pysähdyksistä, kuormitusasteesta jne. Liikennemallin tuottamaa tietoa voidaan tietenkin käyttää myös liikenteen informaatiopalvelujen tuottamiseen.

Alueellinen liikennevalo-ohjaus toimii periaatteessa samaan tapaan kuin erillisohjauskin. DigiTraffic-malli esittää vallitseva liikennetilanteen ja siihen liittyvät tunnusluvut kullekin risteykselle ja tulosuunnalle. Ohjauslogiikka käyttää hyväkseen näitä liikennetietoja tehdessään ohjauspäätöksiä. Järjestelmän toimivuus voidaan ensin tutkia laboratoriosimuloinneilla, joilla voidaan kattavasti varmistua toiminnasta kaikissa eri liikennetilanteissa (kuva 28). Kun järjestelmä toimii simuloinnissa, voidaan ohjauslogiikka siirtää kojeeseen ja asentaa maastoon.



Kuva 28. Alueellisen liikennevalo-ohjauksen simulointi (Nevala & Kosonen 2003)

DigiTraffic-hankkeen nykyisessä vaiheessa alueellinen liikennevalo-ohjaus on toteutettu siten, että laboratoriotutkimukset tehdään keskitetyllä simulointimallilla, mutta varsinainen ohjausjärjestelmä hajautetaan. Myös alueellisessa liikennevalo-ohjauksessa käytetään hyväksi sumeaa logiikkaa. DigiTraffic-liikennemalli mittaa kunkin risteysten ja tulosuunnan kuormitusasteita, minkä pohjalta sumeaa logiikka säätelee kaikille risteyksille yhteisen kiertoajan. Sumealla logiikalla säädetään myös jokaiselle tulosuunnalle minimivihreä ja vihreän pidennykset. Sumeaa alueohjausta testataan DigiTraffic-

pilottihankkeessa Tampereella. Alustavat tulokset on esitelty FITS-6 ohjelman raportissa (Nevala & Kosonen 2003).

Alueellinen valo-ohjausjärjestelmä luo perustaa myös liikenteen tiedotuspalveluiden kehittämiseksi. Jokaiseen valo-ohjauskojeeseen liitetään ohjausyksikkö, joka valo-ohjaustoimintojen lisäksi kerää mittausdataa ja lähettää tiedot eteenpäin. DigiTraffic-ohjausjärjestelmä siis mahdollistaa yksityiskohtaisen ilmais- ja opastintiedon keräämisen ja sitä kautta liikennetilanteiden alueellisen mallintamisen

7.4 Kysynnän hallinta

DigiTrafficin keskeinen hyödyntämiskohde on ruuhka- tai muiden aluemaksujen käyttöönotossa, koska DigiTrafficin avulla voidaan toteuttaa ruuhkan suhteen dynaaminen hinnoittelu. Toinen tärkeä käyttökohde on pääsyn säätely (access control), koska DigiTraffic mahdollistaa ajantasaisen pääsyn säätelyjärjestelmien käytön liikenteen hallinnan työkaluna.

DigiTrafficia voidaan hyödyntää liityntäpysäköinnin järjestämisessä, jos ko. pysäköintiin ohjaus perustuu verkon ajantasaiseen seurantaan. DigiTraffic tukee häiriöiden aiheuttamia ruuhkia ja muita liikenteen poikkeustilanteita koskevan tiedotuksen kautta epäsuorasti myös kutsujoukkoliikenteen järjestämistä, matkojen yhdistämistä ja henkilöautojen yhteiskäyttöä.

DigiTrafficia voidaan hyödyntää joukkoliikenteen maksujärjestelmissä ja usean palvelun yhdistetyissä maksujärjestelmissä vain silloin, jos em. maksujärjestelmissä siirrytään ajoneuvoliikenteen ruuhkaperusteiseen dynaamiseen hinnoitteluun.

7.5 Kaluston ja kuljetusten hallinta

DigiTrafficin avulla voidaan parantaa joukkoliikennekaluston ja kuljetuskaluston hallintaa ennakoimalla liikenneverkon ruuhkatilanteiden riskiä ja kestoja ja sekä ruuhkien aiheuttamia viiveitä. Riski- ja tavarakuljetusten hallintaan DigiTraffic luo edellytykset liikenneverkon ajantasaiseen ja ennakoivaan seurantaan sekä erityisesti kuljetusten opastamiseksi vaihtoehtoisille, mahdollisimman sujuville ja häiriöttömille reiteille.

Kunnossapitokaluston ja -toimintojen hallinnassa DigiTrafficia voidaan käyttää työkaluna kunnossapidon aiheuttamien häiriöiden minimoimisessa kunnossapidon paremman kohdistamisen ja ajoittamisen kautta.

7.6 Häiriönhallinta

DigiTraffic mahdollistaa sekä yksilö- että joukkoliikenteen häiriötilanteiden automaattisen havaitsemisen. Nykyään odottamattomat äkilliset häiriöt havaitaan pääasiassa manuaalisesti. DigiTrafficin avulla voidaan nykyistä paremmin arvioida häiriöiden riskiä ja kestoja sekä häiriöiden vaikutusta liikenneverkkoon.

Yksilöliikenteen häiriötilanteiden hoitamisessa DigiTraffic tarjoaa tehokkaan työkalun häiriön keston aikana liikenteen ohjaamiseksi vaihtoehtoisille reiteille. Joukkoliikenteen häiriötilanteiden hoitamisessa DigiTrafficin avulla voidaan hyödyntää liikenneverkon tilatietoa verkkoa käyttävien linjojen ja kulkutapojen osalta.

7.7 Kuljettajan tukijärjestelmät

DigiTrafficin keskeinen käyttökohde on dynaamisessa – sujuvuuden huomioon ottavassa – reitinopastuksessa, joka luonnollisesti vaatii ajantasaista tietoa koko verkon eri osien liikennetilanteesta ja sujuvuudesta

Dynaamisessa maksiminopeuden säätämisessä DigiTraffic mahdollistaa nopeussuosistusten dynaamisen asettelun verkolle liikennetilanteen perusteella. Hätäpalvelujen osalta DigiTrafficia voidaan hyödyntää epäsuorasti ohjaamalla apu sujuvaa reittiä pitkin paikalle. Muut tukijärjestelmät eivät näillä näkymin hyödynnä DigiTrafficia.

7.8 Valvontajärjestelmät

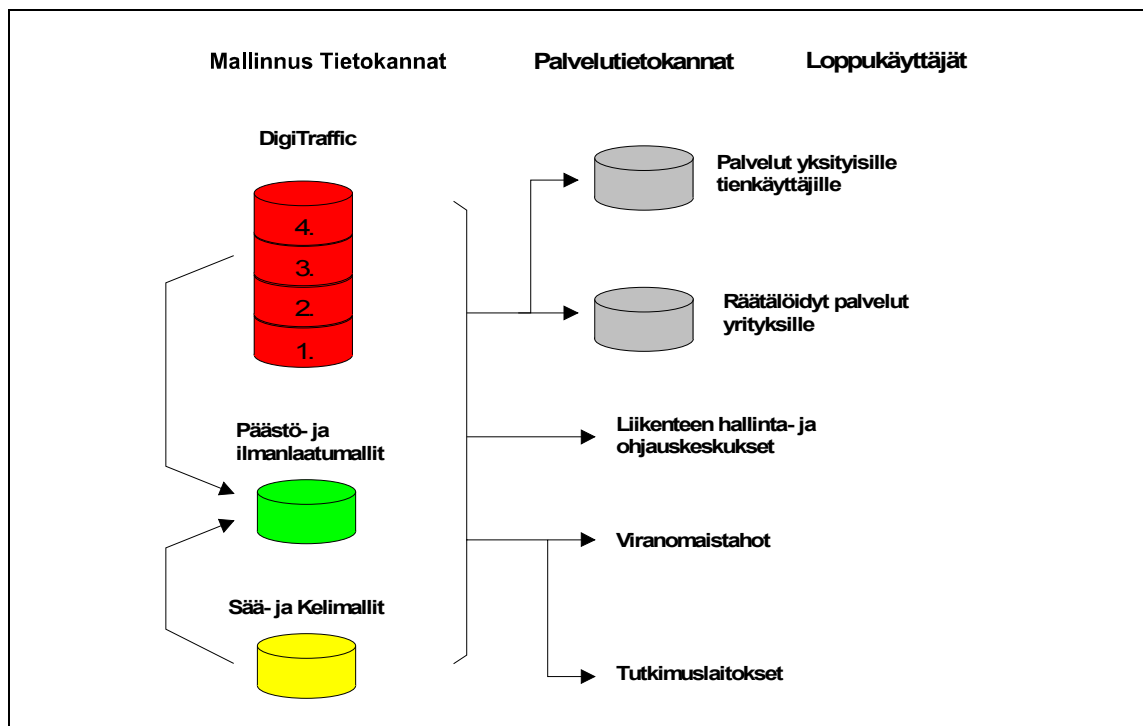
DigiTraffic tuottaa perustietoa kaikkien valvontajärjestelmien suunnitteluun ja kohdistamiseen: automaattinen nopeusvalvonta, automaattinen liittymävalvonta (punaista päin ajaminen), vaarallisten aineiden kuljetusten valvonta, kuljetusten painon valvonta (WIM) ja automaattinen kaistan käytön valvonta (joukkoliikennekaistat).

7.9 Yhteenveto DigiTrafficin hyödyntämisestä liikenteen palveluissa

DigiTraffic tarjoaa liikennetelematiikan palveluille verkollisen kattavuuden, ajantasaisuuden ja ennakoitavuuden sekä perustan seudulliselle liikenteen hallinnalle. DigiTraffic hyödyttää erityisesti seuraavien palvelujen kehittämistä:

- tiedotus liikenteen sujuvuudesta, häiriöistä ja tietöistä
- ruuhka- tai muiden aluemaksujen käyttöönotto
- liittymien ja väylien ohjaaminen liikennevaloin
- verkon ohjaaminen liikennevaloin
- liikennevalojen etuustoiminnot
- vaihtoehtoisille reiteille opastaminen
- muut liikenneverkon kuormitukseen perustuvat ohjauspalvelut
- häiriötilanteen havaitseminen
- häiriötilanteen hoitaminen
- dynaaminen suunnistus- ja reitinopastus.

DigiTrafficia voidaan käyttää myös työkaluna liikenneinvestointien kohdentamisessa. DigiTrafficin avulla voidaan selvittää liikenneverkon toimivuuden kannalta kriittiset pisteet ja arvioida eri toimenpiteiden vaikutuksia liikenneverkon toimivuuteen.



Kuva 29. DigiTraffic:n integrointi palveluihin ja muihin mallinnusjärjestelmiin

DigiTraffic-mallinnusjärjestelmällä voidaan tuoda merkittävää lisäarvoa myös liikenteen tutkimukseen. Tutkimuksen osalta tavoitella on ajantasaiset yhteydet liikenteen mittaus- ja seurantajärjestelmiin ainakin tietyillä rajatuilla koealueilla. Ajantasaista mittaustietoa voidaan myös ohjata suunnitteilla olevaan TKK:n simulointilaboratorioon, jossa sitä voidaan käyttää monipuolisesti erilaisiin tutkimustarkoituksiin. Simulointilaboratoriossa ajantasaista tietoa käytetään liikenteen mallinnukseen ja mallien automaattiseen kalibrointiin sekä liikenteen ohjauksen ja hallinnan kehittämiseen ja tutkimukseen.

DigiTraffic liikennemallit voitaneen jatkossa integroida muihin mallinnusjärjestelmiin kuten sään ja kelin ja ilmanlaadun malleihin (*kuva 29*). Eri mallijärjestelmien yhteistoiminta edellyttää suhteellisen pysyviä tietorakenteita ja niiden toteutusta tietokantajärjestelmissä. Mallijärjestelmät voivat tällöin vaihtaa tietoja keskenään tietokantakyselyiden (SQL) avulla. Yhteistoiminta ei vaadi että järjestelmien tulisi toimia samassa tietojärjestelmässä, vaan tietokantakyselyt voidaan tehdä normaalien verkkoyhteyksien kautta. Hajautetussa mallissa kukin osapuoli ylläpitää omaan ydinosaanseensa liittyviä tietokantoja ja mallijärjestelmää (esimerkiksi ilmatieteenlaitos ylläpitää sään ja ilmanlaadun malleja).

Eri mallinnusjärjestelmiin pääsyä voi olla syytä rajoittaa mm. tietoturvasyistä. Suorat yhteydet mallinnusjärjestelmiin on taattava ainakin liikenteestä vastaaville viranomais- tahoille. Ei kuitenkaan välttämättä ole tarkoituksenmukaista jakaa kaikkia tietoja loppukäyttäjille eli matkustajille ja tiellä liikkujille. Suurta yleisöä varten voidaan toteuttaa erillisiä palvelutietokantoja, joihin on koottu eri järjestelmistä käyttäjän kannalta oleelliset tiedot (*kuva 29*). Palvelutietokantaan voidaan ottaa yhteys eri päätelaitteilla. Liikennetietoa tarvitseville yrityksille tai organisaatioille voitaneen räätälöidä yksilöllisiä palveluja tarpeen mukaan.

8 PÄÄTELMÄT

Tässä esiselvityksessä on kartoitettu DigiTraffic-järjestelmän yleisiä periaatteita ja pohdittu tulevaisuuden mahdollisuuksia. Pitkällä tähtäimellä on pohdittu myös sellaisia mahdollisuuksia, jotka eivät vielä toistaiseksi ole teknisesti käyttökelpoisia. Lyhyen tähtäimen toteutusmahdollisuuksia tullaan lisäksi kartoittamaan DigiTraffic-pilottihankkeissa.

DigiTraffic-mallinnusjärjestelmän toteuttamiselle lyhyellä aikavälillä pienehkössä mittakaavassa ei näytä olevan esteitä. Laboratoriotutkimuksissa on jo saatu hyviä tuloksia eri mallinnusjärjestelmien käytöstä ja myös ensimmäisen pilottihankkeen toteutus on melko pitkällä.

DigiTraffic-järjestelmän laajamittaisempi käyttöönotto riippuu hyvin monista eri tekijöistä:

- Millainen liikennetiedon keruujärjestelmä Suomeen luodaan ?
- Onko mittauspisteverkosto riittävän kattava liikenteellisesti vaativissa kohteissa ?
- Onko saatavilla oleva mittaustieto ajantasaista ja käsittelemätöntä "raakadataa" ?
- Onko tiedonsiirtoarkkitehtuuri avoin ja rajapinnat standardoitu ?
- Otetaanko liikenteen mallinnuksen tarpeet huomioon tiedonkeruussa ?
- Missä aikataulussa järjestelmät toteutetaan ?
- Sopimustekniset asiat, tiedon omistajuus ja ansaintalogiikat

Vaikka monista periaatteista voidaan olla melko yksimielisiä, ratkaisevaa on se millaisiksi järjestelmät muodostuvat käytännössä. Eli löytyykö eri viranomaistahojen ja kaupallisten toimijoiden kesken sellainen konsensus, joka tuottaa Suomeen avoimen tietoinfrastruktuurin, jonka varaan eri toimijat voivat rakentaa palvelujaan. Näihin kysymyksiin ei voida vielä toistaiseksi varmuudella vastata.

Tällä hetkellä DigiTrafficia eniten rajoittava tekijä on vaikeus saada ajantasaista mittaustietoa. On kuitenkin todennäköistä että muutaman vuoden kuluttua tilanne muuttuu siihen suuntaan että mittauspisteitä on kattavammin ja niiden tuottamia ajantasaisia mittaustietoja voidaan käyttää paikasta riippumatta.

Tämänhetkiset rajoitukset mm. tiedonkeruun suhteen eivät kuitenkaan estä viemästä eteenpäin DigiTrafficiin liittyvää tutkimusta. Pienen mittakaavan pilottikohteissa ongelmat voidaan ratkaista toteuttamalla DigiTrafficin oma tiedonkeruu-järjestelmä. Toinen mahdollisuus on se, että liikennemallien, ohjausmenetelmien ja palveluiden tutkimuksissa käytetään hyväksi myös keinotekoisia (simuloitua) liikennettä.

Esiselvitystyön kuluessa on käyty lukuisia keskusteluja ja järjestetty tapaamisia eri osapuolten kesken. DigiTraffic-työpajoja on järjestetty kaksi kertaa. Ensimmäinen DigiT-

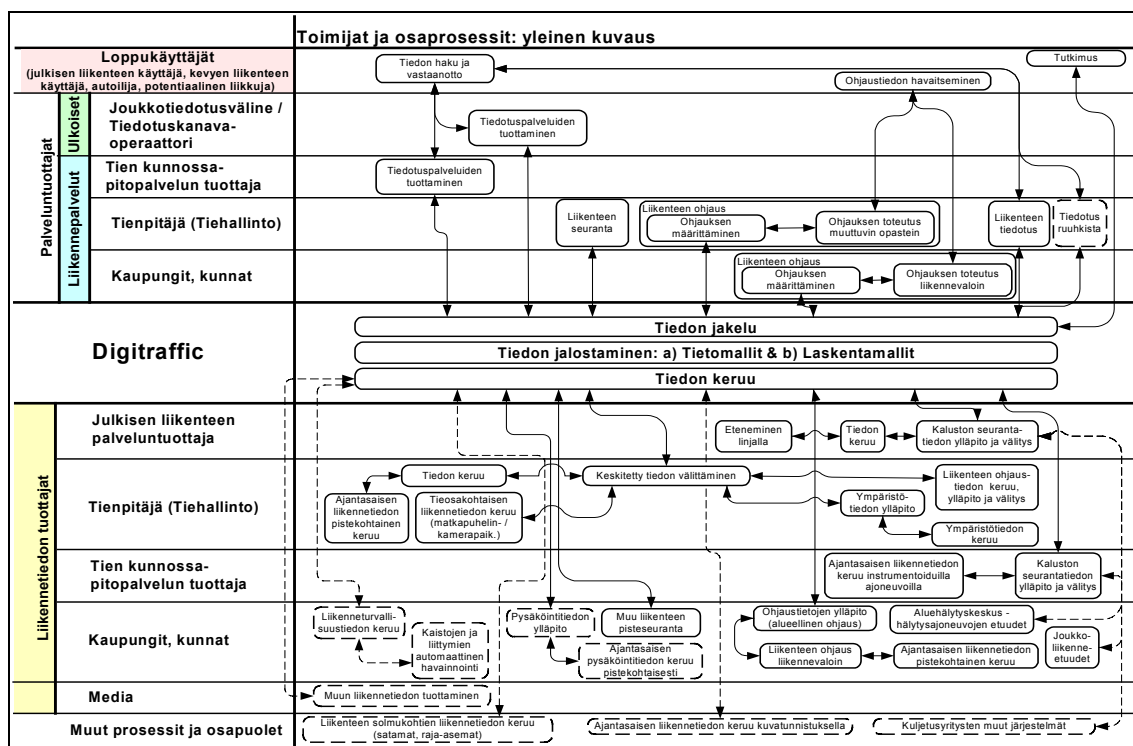
raffic-työpaja järjestettiin syksyllä 2002. Tällöin mm. esiteltiin DigiTraffic:n periaatteita ja käytiin keskusteluja mahdollisten yhteistyötahojen kanssa (*muistio liitteenä 1*).

Toinen työpaja järjestettiin lokakuussa 2003 aiheena telematiikka-arkkitehtuuri. Työpaja oli osa FITS-1 ohjelman Help-Desk toimintaa, jossa tuetaan eri FITS-projektien telematiikka-arkkitehtuurin suunnittelua (*muistio liitteenä 2*). Työpajassa määriteltiin DigiTraffic järjestelmälle vuoden 2007 tavoitetilan toimintakuvaus (*kuva 30*).

Tilaisuudessa nousivat esille erityisesti rajapintojen tarve. DigiTrafficiin tarvitaan sekä tiedonkeruu- että palvelurajapinnat. Tiedonkeruun osalta tarvitaan yksi rajapinta Tiehallinnon keskitettyyn liikennetiedon välitysjärjestelmään. Kaupunkien valo-ohjausjärjestelmiin tulisi myös luoda yksi yhtenäinen tiedonkeruurajapinta, joka on riippumaton kulloinkin käytetyn liikennevalojärjestelmän tyyppistä. Muihin järjestelmiin, kuten anturiautot, joukkoliikennejärjestelmät ja pysäköintilaitokset tulisi luoda yksi selkeä rajapinta kuhunkin järjestelmään.

Myös DigiTraffic-mallinnusjärjestelmän laskemille tuloksille tulisi luoda selkeä rajapinta. Erityisen palvelurajapinnan kautta eri toimijat voivat hakea tarvitsemansa tiedot automaattisesti omiin palvelujärjestelmiinsä. Käytännössä palvelurajapinta tarkoittaa tietokantakyselyn toteuttamista DigiTraffic-tietokantamalliin. Tietojen luotettavuudesta ja ajantasaisuudesta tulee varmistua ennen tietojen välittämistä palvelurajapinnan kautta.

Häiriön hallintaa pidettiin tärkeänä ja todettiin että DigiTraffic-mallinnusjärjestelmään on voitava tarvittaessa syöttää häiriötietoja manuaalisesti esim. operaattorin taholta. DigiTraffic on yksi liikennekeskuksen operaattorin työväline, joka kuitenkin toimii pääosin täysin automaattisesti. Operaattorin toimia tarvitaan vain poikkeustilanteissa tai kun halutaan ihmisen varmistavan mahdollisen ohjaustoiminnan oikeellisuus. Käytiin myös keskustelua DigiTrafficin omistajuudesta eli kuka hallinnoi DigiTraffic-mallinnusjärjestelmää. TKK:n rooli on selkeästi tutkimuksessa ja pilotoinnissa. Konkretiaa ja pilottihankkeita kaivattiin lisää (*Työpajan muistio liitteenä 2*).



Kuva 30. DigiTraffic-järjestelmän (2007) tavoitetilan toimintokuvaus (FITS-1 Telemark työpaja)

Teknillisellä korkeakoululla tehdyillä useilla tutkimushankkeilla on ollut oma merkityksenä esiselvityksen sisältöön, vaikka projektit ovatkin kuuluneet lähinnä DigiTraffic-hankkeen toteutukseen.

Alueohjausjärjestelmän kehittämisessä on ratkaistu monia DigiTrafficiin liittyviä ongelmia liittyen mm. tiedonkeruuseen. HUTSIM on osoittautunut hyväksi liikennetilannemalliksi ainakin yksittäisissä risteyksissä (Nevala & Kosonen 2004).

Alueellisessa liikennetilanteen mallinnuksessa myös soluautomaatti antaa hyviä tuloksia ollen silti toteutukseltaan hyvin yksinkertainen (Hämäläinen 2003). Liikennevirtamallit ja neuroverkot soveltuvat ainakin moottoritieosuuksille (Mattila 2003). VTT:n tutkimusten mukaan neuroverkoilla päästään kohtuullisen hyviin ennusteisiin lyhyellä aikavälillä (Innamaa 2002).

DigiTraffic-tietomalli ja paikkatietojärjestelmä voidaan toteuttaa kaksitasoisesti joko linkkeinä ja solmuina tai yksittäisinä kaistaelementtinä (Arjamaa 2003). Toisaalta visualisointi kytkee simuloinnin kaupunkien 3D-mallit yhteen (Laitinen et al 2004).

Simulointia ja mallien kalibrointia voidaan huomattavasti tehostaa automaattisilla prosesseilla (Aalto 2001, Remy & Chabredier 2002). Myös liikennetietoja voidaan tuottaa automaattisesti simuloinnin aikana (Jokinen 2003).

9 JATKOTOIMET

9.1 Tutkimusyhteistyö

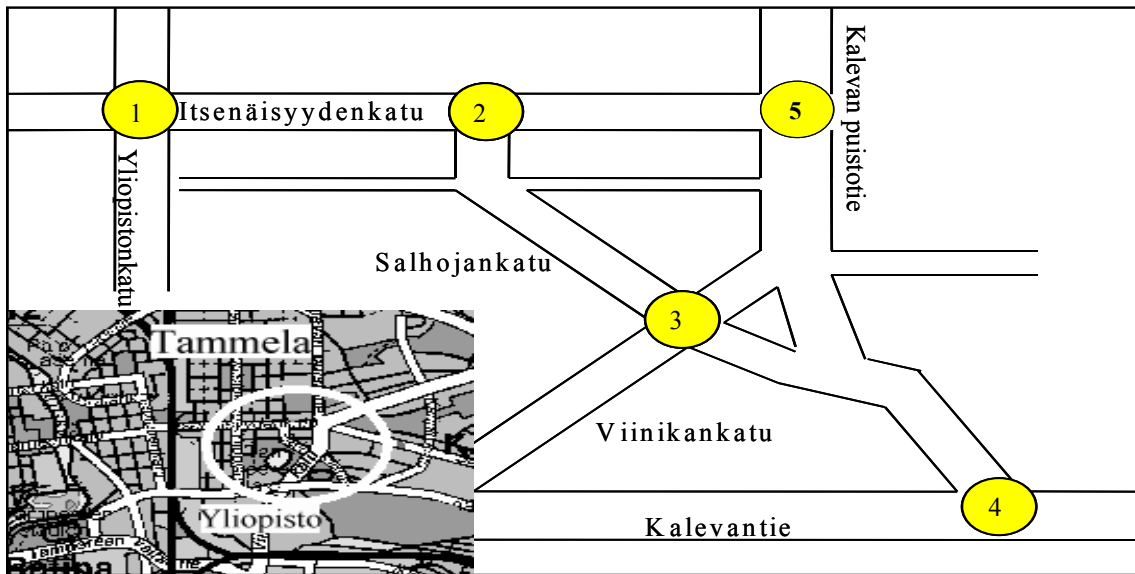
Esiselvityksen yhtenä tavoitteena oli selvittää eri osapuolten yhteistyömahdollisuuksia ja intressejä DigiTraffic-hankkeeseen liittyen. Tällä hetkellä DigiTraffic-hankkeen jatkokehittämisessä ovat mukana ainakin Liikenne- ja viestintäministeriö, Tiehallinto sekä Tieliikelaitos, jotka myös rahoittavat tutkimushanketta. Myös kaupungit ovat keskeisessä asemassa varsinkin pilottijärjestelmien toteuttamisessa. TKK:n ja VTT:n välistä tutkimusyhteistyötä tulee kehittää myös jatkossa. DigiTraffic-hankkeen jatkokehityksen kannalta on oleellista että eri osapuolten välinen yhteistyö jatkuu ja tavoitteet hankkeen eteenpäin viemiseksi saadaan sovitettua yhteen. DigiTraffic-tutkimusohjelmaan voidaan jatkossakin kytkeä liikenteen mallinnukseen ja palveluihin liittyviä projekteja samaan tapaan kuin mm. VTT:n neuroverkkotutkimukset.

Tätä nykyä DigiTraffic-hankkeessa ovat mukana lähinnä julkisyhteisöt. Jatkossa lienee tarpeen saada mukaan myös yrityksiä, kuten laitevalmistajat, konsultit, kuljetusfirmat, joukkoliikenneoperaattorit, pysäköintilaitokset jne., jotka voivat toiminnassaan mahdollisesti tuottaa mittaustietoja ja/tai käyttää toiminnassaan hyväkseen ajantasaista liikenneinformaatiota.

9.2 Pilottihankkeet

DigiTraffic-konseptia ja järjestelmää on tärkeätä testata käytännön tasolla. Pilottihankkeessa joudutaan toteuttamaan kaikki DigiTraffic-järjestelmän keskeiset osat tiedonkeruusta palveluihin. Ensimmäisen pilotin koealueeksi on valittu viiden risteyksen alue Tampereelta (*kuva 31*), joten mittakaava on alkuun pieni. Tärkeintä on kuitenkin saavuttaa toimiva järjestelmä, jolla voidaan demonstroida DigiTrafficia ja siihen perustuvia liikennetelematiikan palveluita.

Seuraavassa on esitetty tiivistetty suunnitelma Tampereen pilottijärjestelmästä. Pilotin varsinainen toteutus ei kuulu esiselvityksen piiriin. Mikäli Tampereen pilottijärjestelmä osoittautuu toimivaksi, voidaan myöhemmin toteuttaa muita pilottihankkeita. Jatkopilotin kohteena voisi olla esim. korkealuokkainen väylä pääkaupunkiseudulla.



Kuva 31 DigiTraffic - pilottijärjestelmän koealue Tampereella

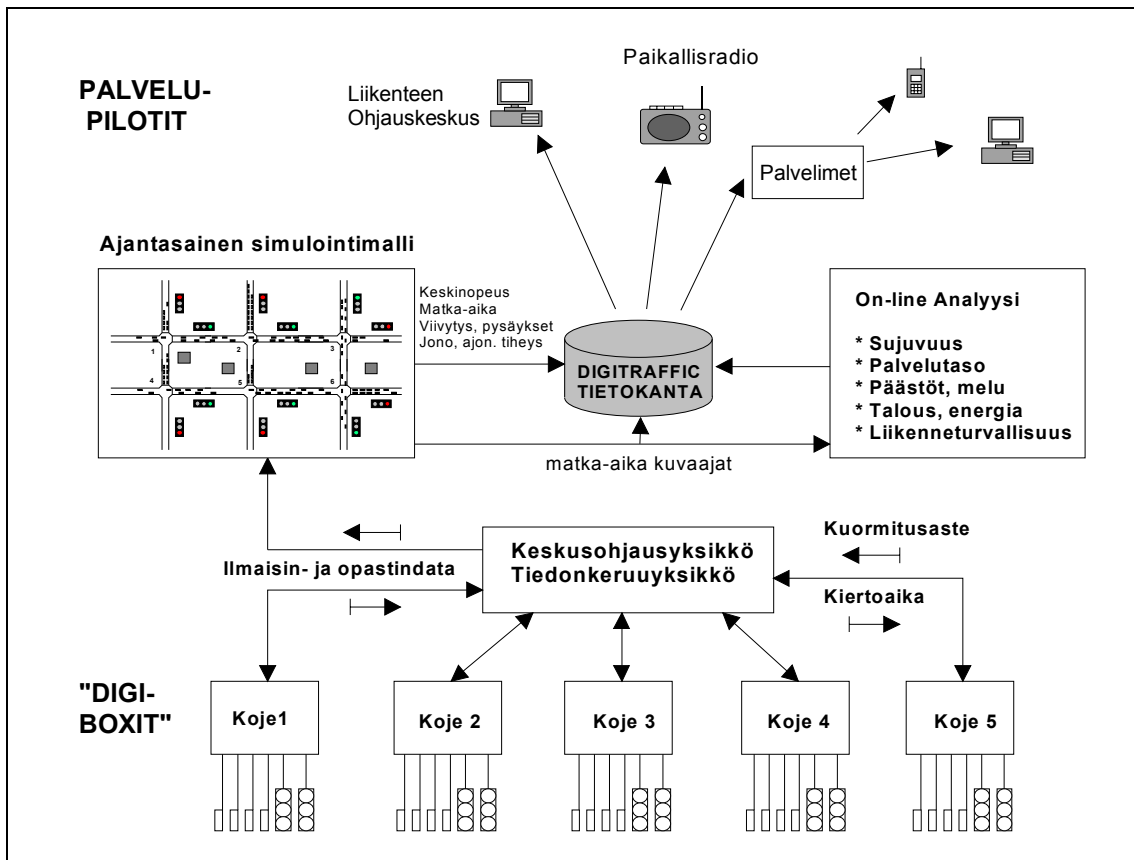
DigiTraffic-pilottijärjestelmässä on tarkoitus toteuttaa tiedonkeruu, liikennevalojen ohjaus, ajantasainen liikenteenmallinnus, tunnuslukujen laskenta, tietokantamallinnus sekä liikenteen palveluja (kuva 32). Pilottijärjestelmässä toteutetaan aluksi älykäs liikennevalojen ohjaus ja sen jälkeen ajantasainen liikenteen mallinnus palveluineen.

Pilottijärjestelmän perustaksi rakennetaan yhtenäinen tietojärjestelmä. Jokaisen liikennevaloristeyksen kojekaappiin asennetaan lisälaitte eli eräänlainen "DigiBoxi", joka on teollisuusnormit täyttävä PC varustettuna LINUX-käyttöjärjestelmällä. DigiBoxi kytketään risteyskojeen ilmaisinkanaviin. Lisäksi toteutetaan tietoliikenneyhteydet DigiBoxien välille. DigiBoxiin voidaan asentaa erilaisia ohjelmistoja ja toimintoja, kuten mm. liikennetiedon kerääminen tai älykäs liikennevalojen ohjaus.

Aluksi DigiBoxeihin on asennettava HUTSIM-FUSICO-ohjelmisto. Liikennevalojen ohjaus-ohjelmisto toimii sumealla logiikalla ja se ottaa valvontaansa normaalin risteyskojeen. Valo-ohjausjärjestelmä sisältää risteyskojeen ajantasaisen liikennemallin sekä risteyskojeen valoja ohjaavan algoritmin. DigiBoxit on kytketty tietoliikenneyhteyksin keskuskojeeseen. Keskuskoje kerää liikennetiedot eri kojeilta ja säätää valojen yhteistä kiertoaikaa saamiensa kuormitusastelaskentojen perusteella.

Toinen DigiBoxeihin asennettava sovellus mahdollistaa ajantasaisen liikenteen mallinnuksen. Tiedonkeruuohjelma rekisteröi ilmaisimien ja opastimien tilat ja lähettää tiedot edelleen keskuskojeelle. Keskuskoje välittää liikenteen mittaustiedot ajantasaiseen liikennemallinnuksen käyttöön. Alueellinen liikennemalli voi toimia erillisessä palvelimessa liikenteen ohjauskeskuksessa. Ensimmäisenä sovelletaan soluautomaattisimulointia (CA=cellular automata), joka yksinkertaisuutensa vuoksi soveltuu hyvin ajantasaiseen mallinnukseen. Myös muita mallinnusmenetelmiä voidaan kokeilla, kuten esim. neuroverkko- ja liikennevirtamallit.

Liikennemallin laskemat indikaattorit talletetaan tietokantajärjestelmään (GIS). Tavoitteena on toteuttaa pienimuotoisia palvelupilotteja sen jälkeen kun liikenteen mallinnus ja paikkatietomalli on saatu toimimaan. Palvelupilotit voidaan toteuttaa yhteistyössä yritysten ja paikallisen median kanssa. Ensimmäinen palvelu on liikennetilanteen ja valo-ohjauksen ajantasainen seuranta valo-ohjauskeskuksessa. Seuraavaksi voidaan toteuttaa automaattisesti päivittyvät verkkosivut, joissa esitetään koalueen liikenteen tunnuslukuja ja värikoodattu kartta liikennetilanteesta. Myös matkapuhelinpalvelua voidaan kokeilla esim. siten, että liikennetilanne näytetään värikoodattuna multimediaviestinä (MMS), joka lähetetään matkapuhelimeen.



Kuva 32. DigiTraffic-pilottijärjestelmän osat

9.3 DigiTraffic-tutkimuslaboratorio

Liikenteen mallinnukseen ja palveluihin liittyvän tutkimus- ja kehitystoiminnan jatkuvuuden varmistamiseksi esitetään yhtenä suosituksena jatkotoimenpiteeksi uudenlaisen tutkimusympäristön toteuttamista. Tutkimuslaboratorio ei ole DigiTraffic-järjestelmä, vaan se on tarkoitettu välineeksi DigiTrafficiin liittyvään tutkimus- ja kehitystoimintaan.

Tutkimusympäristön tarkoituksena on mahdollistaa erilaisten mallien, menetelmien ja järjestelmien tutkiminen mahdollisimman monipuolisesti ja systemaattisesti käyttäen apuna sekä simuloitua että ajantasaisesti mitattua liikennetietoa (*kuva 33*).

DigiTraffic-tutkimuslaboratorion tavoitteena on edistää laboratorio-oloissa tapahtuvaa liikennetelematiikan ja liikenteen mallinnuksen tutkimusta. Luonnollisesti tutkimuslaboratorio palvelee myös opetusta ja tutkimustoiminnan esittelyä.

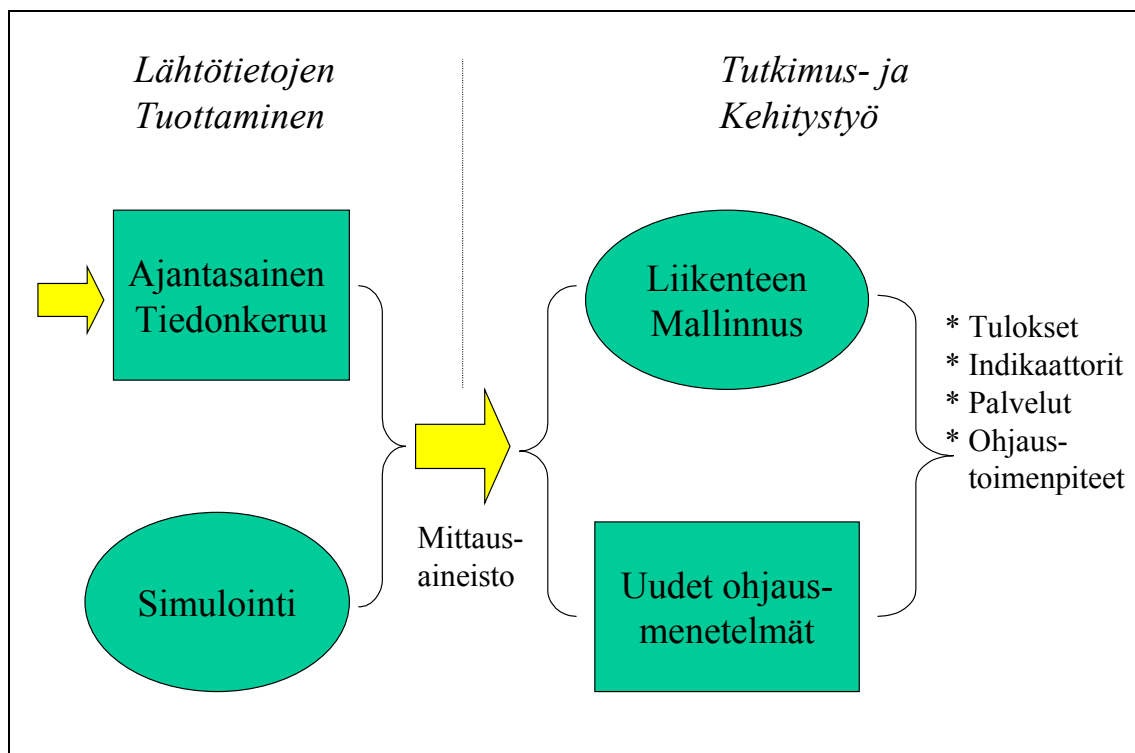
Tutkimuslaboratorioon kootaan yhteen liikenteen malleja ja ohjauksen menetelmiä, jotka integroidaan muihin järjestelmiin kuten paikkatietomalleihin, analysointiohjelmiin ja visualisointijärjestelmiin.

Tutkimuslaboratorioon kuuluvat luonnollisena osana TKK:n itse kehittämät liikennemallit, simulointiohjelmistot, valo-ohjausjärjestelmät jne. Nämä järjestelmät integroidaan yhteen muiden sovelluksien kanssa toimivaksi kokonaisuudeksi (mm. paikkatieto-, matematiikka- ja tilastoanalyysi-ohjelmistot). Myös simulointivalmiuksia voidaan laajentaa kaupallisilla ohjelmistoilla tai muiden yliopistojen tuotteilla.

Tutkimuslaboratoriossa liikenne tuotetaan kahdella eri tavalla (*kuva 33*). Ensinnäkin toteuttamalla tietoliikenneyhteyksiä mittausjärjestelmiin, voidaan liikenne "tuoda" laboratorio-oloihin tutkittavaksi. Toinen vaihtoehto tuoda liikennettä laboratorioon on tuottaa synteettistä liikennettä.

Synteettiseen (simuloituun) liikenteeseen voidaan kohdistaa useammanlaisia mittaus-toimenpiteitä kuin maastomittauksissa. Synteettisen liikenteen käytössä on se etu, että tutkimuksia varten voidaan tuottaa vertailudataa, jota ei saada maastosta. Vertailuaineiston avulla tutkimuksesta saadaan systemaattisempaa, koska tuloksien hyvyttä voidaan selkeästi arvioida.

Periaatteessa mitä tahansa mallinnusmenetelmää tai ohjausjärjestelmään voidaan tutkia joko mitatulla tai simuloidulla liikenteellä. Esimerkkinä voidaan mainita mm. liikennevirtamallit, neuroverkot soluautomaatit ja sumea logiikka, joiden yhteydessä on jo sovellettu DigiTraffic-tutkimuslaboratorion periaatteita.



Kuva 33. DigiTraffic-tutkimuslaboratorio

9.4 DigiTraffic-järjestelmän varsinainen toteutus

Jatkotoimenpiteistä tärkein on tietenkin DigiTraffic-järjestelmän varsinainen toteutus. TKK:n rooli painottuisi ennen kaikkea tutkimukseen ja pilotointiin (luvut 9.1-9.3), kun taas lopullisen järjestelmän toteutus, hallinnointi ja ylläpito kuuluvat selkeästi muille osapuolille. DIGIROAD-järjestelmää vastaava toteuttamistapa olisi se, että viranomaistaho hallinnoisi järjestelmää, jota yksityinen tietotekniikkatalo ylläpitäisi käytännössä. Luonnollisesti on olemassa sekin mahdollisuus että järjestelmä luodaan kokonaan kaupalliselta pohjalta.

Esiselvityksen perusteella on syntynyt näkemys järjestelmästä, joka voisi toimia eri tarkkuustasoilla. Valtakunnallisella tasolla voisi olla järjestelmä, joka sisältäisi lähinnä keskeiset sujuvuus indikaattorit kultakin tiejaksolta.

Paikallisella tasolla voisi käytössä olla tarkempia DigiTraffic-malleja. Lähinnä vilkasliikenteisillä taajama-alueilla tarvittaisiin tarkempi mallinnustaso, joka laskisi monipuolisesti erilaisia tunnuslukuja liikenteen hallinnan ja palveluiden tarpeisiin. Paikallisten ja valtakunnallisten mallien välillä tulisi olla tietojen vaihtoa, mm. siten, että valtakunnallisten mallien tietoja päivitetään paikallisten mallien antamien tietojen perusteella.

DigiTraffic-järjestelmä tulisi toteuttaa ainakin pääkaupunkiseudulla ja mallin pitäisi sisältää vähintään pääväylät, kehätiet ja tärkeimmät kadut. Järjestelmä keräisi ilmaisin-

tietoa mm. LAM-pisteistä, liikennevalo-järjestelmistä ja moottoritien ohjausjärjestelmistä. Lisäksi yhdistettäisiin paikannustietoa busseista, raitiovaunuista ja takseista. Kokonaiskuvaa täydentäisivät tiedot mm. pysäköintilaitoksista, terminaaleista jne.

Liikennetilanteiden mallintamiseen voitaisiin käyttää mm. ajantasaista simulointia, liikennevirtamalleja ja neuroverkkoja. Riittävän nopea ja yksinkertainen simulointimalli voisi olla esim. soluautomaatti. Lyhytaikaisia ennusteita voitaisiin tuottaa nopeutetun simuloinnin ja neuroverkkojen avulla.

Ajantasaiset liikennetilannetiedot ja tunnusluvut sekä ennusteet ja tilastotiedot säilytetäisiin tietokannassa, josta ne olisivat sopimuksen mukaan eri osapuolien ja palveluiden käytettävissä. Tietokanta ja sen tietomalli ovat järjestelmän ydin, joten tietomallin tulisi olla riittävän yksityiskohtainen ja sisältää myös aikaulottuvuus.

Tietokanta olisi eräänlainen liikennetiedon tietopankki. Kyseessä ei kuitenkaan olisi pelkästään passiivinen tietovarasto, vaan eräänlainen tietotehdas, jossa raakadatasta jalostetaan tuotteita ja palveluita. Tehtaan "koneina" toimivat erilaiset mallinnusmenetelmät ja laskennalliset algoritmit.

Palveluita voisivat perustaa useat eri osapuolet, jotka tekisivät sopimuksen tietopankin ylläpitäjän kanssa. Jotkin peruspalvelut voisivat olla ilmaisiakin, kun taas yksilölliset ja räätälöidyt palvelut olisivat todennäköisesti maksullisia. Viranomaiset ja tutkimusorganisaatiot voisivat käyttää tietovarastoa toimintansa kehittämiseen.

Järjestelmän kehittäminen edellyttäisi monitahoista yhteistyötä viranomaisten, kaupallisten toimijoiden ja tutkimuslaitosten välillä. Koko pääkaupunkiseudun kattava tiedonkeruu edellyttäisi mm. kaupunkien, Tiehallinnon ja YTV:n yhteisiä ponnisteluja. Tietovaraston ja palveluiden toteuttaminen edellyttäisi kaupallisten yritysten kiinnostusta asiaan. Mallien ja menetelmien kehittäminen olisi lähinnä tutkimusorganisaatioiden alaa.

10 LÄHTEET

Aalto D. (2002). *Calibration tools for HUTSIM*. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering & Kungliga Tekniska Högskolan, Trafik och Logistik.

Abdelkhany, K., Abdelghany, A., Mahmassani, H. & Abdelfatah, A. (2001). *Evaluating Bus Preemption Strategies at Signalized Intersections Using a Multi-Modal Dynamic Network Assignment-Simulation Methodology*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM)

Arjamaa H. (2003). *Liikenteen ajantasaisen tietokantamallin suunnittelu*. Diplomityö. TKK, liikennelaboratorio. 77 s.

Ashok, K. & Ben-Akiva, M. (1993). *Dynamic Origin-Destination Matrix Estimation and Prediction for Real-Time Traffic Management Systems*. 12th International Symposium on the Theory of Traffic Flow and Transportation, Berkeley, California. Transportation and Traffic Theory, Elsevier, Amsterdam, New York. s. 465 - 484.

Astarita, V., Er-Rafia, K., Florian, M., Mahut, M. & Velan, S. (2001). *A Comparison of Three Methods for Dynamic network Loading*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM)

Bargiela A, Kosonen I (2000). *Real-time micro-simulation of urban traffic*. INFORMS '2000. April, 2000. Salt Lake City, USA.

Ben-Akiva, M., Cantarella, G., Cascetta, E., de Ruiter, J., Whittaker, J. & Kroes, E. (1992). *Real-Time Prediction of Traffic Congestion*. The 3rd International Conference on Vehicle Navigation and Information Systems, Oslo, Norway. Conference Record of Papers, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, N. Y. s. 557 - 562.

Boyce, D., Lee, D.-H. & Ran, B. (2002). *Analytical Models of the Dynamic Traffic Assignment Problem*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

Chabredier L., David R. (2003). *Calibration tools for microscopic traffic simulation*. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering & Ecole Naval (French Naval Academy).

Chiu, Y.-C., Huynh, N. & Mahmassani, H. S. (2001). *Determining Optimal Locations for Variable Message Signs Under Stochastic Incident Scenarios*. Paper presented at the

80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM)

Coifman, B. (2001). *Identifying the Onset of Congestion Rapidly with Existing Traffic Detectors*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM)

Cortes, E. C., Lavayana, R., Oh, J.-S. & Jayakrishnan, R. (2002). *A General Purpose Methodology for Link Travel Time Estimation Using Multiple Point Detection of Traffic*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

Dial, R. (2002). *Faster Algorithms for Dynamic Traffic Assignment Part I: Parametric Quickest-Path Trees*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

Etches A, Claramunt C, Bargiela A, Kosonen I (1998). *An Integrated Temporal GIS-model for Traffic System*. Geographic Information Systems Research in UK (GISRUK). April 1998 Edinburgh, UK.

Hawas, Y. E. (2002). *A NeuroFuzzy Logic for Integrated Control of Signal Settings and Traffic Assignment*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

He, R. R., Kornhauser, A. L. & Ran, B. (2002). *Estimation of Time-dependent O-D Demand and Route Choice from Link Flows*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM).

Hobeika, A. & Ozbay, K. (1991). *A Dynamic Traffic Assignment Model in the Context of Real Time Driver Information System*. 24th ISATA International Symposium on Automotive Technology and Automation, Florence, Italy, 20 - 24th May 1991. Automotive Automation Limited, Croyden, England. s. 473 - 480.

Hämäläinen A. (2004). *Soluautomaattien käyttö liikenteen mallinnuksessa*. Tekeillä oleva väitöskirja. TKK, fysiikan osasto.

Innamaa S. & Pursula, M. (2000). *Liikennemäärän ja nopeuden lyhyen aikavälin ennustaminen*. Tielaitoksen selvityksiä 54/2000, Tielaitos, Helsinki. 101 s. + liitt. 3 s. ISBN 0788-3722

Innamaa S. (2002). *Matka-ajan lyhyen aikavälin ennustemalli*. Tiehallinnon selvityksiä 22/2002.

- Jokinen R. (2003). *Liikennevalojen simulointi ajantasaisella liikennetiedolla*. Tekeillä oleva diplomityö. TKK, Liikennelaboratorio.
- Karvonen, T., Kettunen, J. & Vakkilainen, P. (1982). *Kalman-suodattimen käyttö hydrologisten ja ekologisten mallien tilan identifioinnissa ja parametriestimoinnissa*. Mo-nistesarja 1982:1, Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio, Espoo. 45 s.
- Kim, D. S. (2001). *An Integrated Model of Traffic Control and Traffic Assignment*. Pa-per presented at the 8th World Congress on Intelligent Transport Systems. Sydney, Australia, 30 Sept. - 4 Oct. 2001. ITS Australia, 8 p. (CD-ROM).
- Kosonen I (1999). *HUTSIM - Urban Traffic Simulation and Control Model: Principles and Applications*. Doctoral thesis. Helsinki University of Technology. Laboratory of Transportation Engineering. 248 p.
- Kosonen I, Bargiela A (2000). *Simulation based traffic information system*. 7th World Congress on Intelligent Transport Systems. November 6-9, 2000. Turin, Italy.
- Kosonen I (2003). *Multi-Agent Fuzzy Signal Control Based on Real-Time Simulation*. Transportation Research, Part C. Vol. 11C, No. 5, October 2003. s. 389-403.
- Kosonen I (2003). *Liikennetelematiikan opetuksen kehittäminen TKK:lla*. Opetuksen kehittämishanke (6 ov), Yliopisto-opettamisen opintokokonaisuus, YOOP-2002 (15 ov).
- Kosonen I (2003). *DigiTraffic Tutkimus- ja Opetuslaboratorio*. Valinnainen opintojakso (1 ov). Yliopisto-opettamisen opintokokonaisuus, YOOP-2002 (15 ov).
- Kulmala, R. (2002). *Palveluiden tuottamisen arvoketju*. Esitelmä Tiehallinnon liikenteen hallinnan seminaarissa 9.4.2002.
- Kwon, E. (1991). *A New Approach for Real-Time Prediction of Traffic Demand-Diversion in Freeway Corridors*. Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering: Proceedings of the Second International Conference, New York, American Society of Civil Engineers. s. 398 - 402.
- Kwon, E. & Stephanedes, Y. (1994). *Comparative Evaluation of Adaptive and Neural-Network Exit Demand Prediction for Freeway Control*. Transportation Research Record 1446. s. 66 - 76.
- Laitinen, J., Günther, T., Blåfield, H., Taanila, E., Hyväri, P., Haapasalo, T., Svan, L. (2004). *Connecting Traffic Simulation with High-quality Visualization Systems - Definition of a New User-interface for a Simulation Engine*. T-76.115, Tietojenkäsittelyopin ohjelmatyö. <http://www.soberit.hut.fi/T-76.115/03-04/palautukset/groups/Ampel/de/delivery.html>

Lee, S., Kim, D., Kim, J. & Cho, B. (1998). *Comparison of Models for Predicting Short-Term Travel Speeds*. Konferenssi-cd, 5th World Congress on Intelligent Transport Systems, 12 – 16 October 1998, Seoul, Korea. 9 s.

Logi, F., Ullrich, M. & Keller, H. (2002). *A Dynamic Approach to Online Traffic Modeling in the Munich Metropolitan Network*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM).

Mahmassani, H. S. (2002). *Dynamic Network Traffic Assignment and Simulation Methodology for Advanced System Management Applications*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM).

Matsui, H. & Fujita, M. (1998). *Travel Time Prediction for Freeway Traffic Information by Neural Network Driven Fuzzy Reasoning*. Neural Networks in Transport Applications. (Toimittajat: Himanen V, Nijkamp P, Reggiani A.) s. 355 - 364.

Mattila H. (2004). *Linkkikohtaisen liikennetilanteen ajantasainen arviointi*. Diplomityö. TKK Liikennelaboratorio.

Nathanail, T. (2001). *Dynamic testing and Selection of Traffic Management Strategies for the Mitigation of Impacts caused to Traffic due to Incidents*. Paper presented at the 8th World Congress on Intelligent Transport Systems. Sydney, Australia, 30 Sept. - 4 Oct. (2001). ITS Australia, 8 p. (CD-ROM)

Nevala, R. & Kosonen, I. (2004). *Sumean alueohjauksen kehittäminen. Ohjausperiaatteet, simulointitulokset ja jatkotoimenpiteet*. FITS-6 loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisu 31/2004.

Niittymäki, J. (2002). *Fuzzy traffic signal control - Principles and applications*. Doctoral thesis. Helsinki University of Technology, Transportation Engineering. Publication 103

Peeta, S. & Anastassopoulos, I. (2002). *Automatic Real-time Detection and Correction of Erroneous Detector Data Using Fourier Transforms for On-line Traffic Control Architectures*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

Peeta, S. & Zhou, C. (2002). *A Hybrid Dynamic Traffic Assignment Deployment Framework for Real-time Route Guidance*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM)

Sadek, A. W., Smith, B. L. & Demetsky, M. J. (1997). *Dynamic Traffic Assignment. Genetic Algorithms Approach*. Transportation Research Record 1588. s. 95 - 103.

Sawaya, O. M., Doan, D. L., Ziliaskopoulos, A. K. & Fourer, R. 2001. *A Multistage Stochastic System Optimum Dynamic Traffic Assignment Program with Recourse for Incident Traffic Management*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM).

Smith, B. & Demetsky, M. (1994). *Short-Term Traffic Flow Prediction: Neural Network Approach*. Transportation Research Record 1453. s. 98 - 104.

Smith, B. & Demetsky, M. (1997). *Traffic Flow Forecasting: Comparison of Modeling Approaches*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 123, No. 4, July / August 1997. s. 261 - 266.

Stephanedes, Y., Argiropoulos, I. & Michalopoulos, P. (1990a). *On-Line Traffic Assignment for Optimal Freeway Corridor Control*. Journal of Transportation Engineering, Volume 116, No. 6. s. 744 - 755.

Stephanedes, Y., Kwon, E. & Michalopoulos, P. (1990b). *On-Line Diversion Prediction for Dynamic Control and Vehicle Guidance in Freeway Corridors*. Transportation Research Record, No. 1287. s. 11 - 19.

Stephanedes, Y. (1991). *Dynamic Diversion Prediction for Real-Time Control in IVHS Networks*. 24th ISATA International Symposium on Automotive Technology and Automation, Florence, Italy, 20 - 24th May 1991. Automotive Automation Limited, Croyden, England. s. 459 - 463.

Tiehallinto (2002). *Valtakunnallinen liikenteen seurannan yleissuunnitelma*. Tiehallinnon selvityksiä 58/ 2002.

Wang, Y., Messmer, A. & Papageorgiou, M. (2001). *Freeway Network Simulation and Dynamic Traffic Assignment using METANET Tools*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM).

Williams, B. M. (2001). *Multivariate Vehicular Traffic Flow Prediction: An Evaluation of ARIMAX Modeling*. Paper presented at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2001. TRB 2001 Annual Meeting. (CD-ROM).

Zhang, H., Ritchie, S. & Lo, Z.-P. (1997). *Macroscopic Modeling of Freeway Traffic Using an Artificial Neural Network*. Transportation Research Record 1588. s. 110 - 119.

Ziliaskopoulos, A. K. & Peeta, S. (2002). *Foundations of Dynamic Traffic Assignment: The Past, the Present and the Future*. Paper presented at the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., January 2002. TRB 2002 Annual Meeting. (CD-ROM).

LIITTEET

LIITE 1. DigiTraffic-esiselvitys, keskustelutilaisuuden muistio

Asia: Informaatio- ja keskustelutilaisuus

Aika: Tiistai 3.9.2002 klo 12.30 - 16.00

Paikka: Liikenne- ja viestintäministeriö, neuvotteluhuone LINKKI

Osallistujat: Risto Kulmala, VTT (pj.)
Seppo Öörni, LVM (avaus)
Sami Luoma, Tiehallinto
Pia Tuupanen, Tampere
Pekka Grönroos, Tampere
Jussi Hackman, Vantaa
Keijo Mäkelä, Trafitech
Matti Sevilä, TietoEnator
Lauri Merikallio, Tieliikelaitos
Jari Jakonen, Tieliikelaitos
Jari Oinas, Traficon
Iisakki Kosonen, TKK
Raine Hautala, VTT (siht.)

1. Tilaisuuden avaus

Seppo Öörni avasi tilaisuuden ja toivotti läsnäolijat tervetulleeksi DigiTraffic - informaatio- ja keskustelutilaisuuteen.

2. DigiTraffic yleisesittely

Iisakki Kosonen esitteli DigiTrafficia muistion liitteen 1 kalvosarjan pohjalta.

Keskustelua:

- DigiTraffic voi toimia muidenkin mallien kuin simulointimallin pohjalta. Tarkoitus on käyttää erilaisia malleja eri käyttötarkoituksiin (pienet ja isot liikenneverkot, ajantasaisuuden tarve yms.).
- Isoissa liikenneverkoissa (pääkaupunkiseutu tms) esim. neuroverkot, soluautomaattimallit

3. DigiTraffic ja liikennetelematiikan palvelut

Risto Kulmala esitteli liitteen 2 kalvosarjan pohjalta liikennetelematiikan palveluja, joissa DigiTrafficia voidaan hyödyntää.

Keskustelua:

Häiriönhallinta

Nykyään odottamattomat, äkilliset häiriöt havaitaan pääasiassa manuaalisesti, DigiTrafficin avulla voisi arvioida nykyistä paremmin:

- häiriötilanteiden riskiä
- häiriötilanteiden kestoja
- häiriötilanteiden vaikutusta muuhun liikenneverkkoon

Verkollinen kattavuus

- ensimmäisessä pilottivaiheessa DigiTraffic-verkko kattaa viisi valo-ohjattua liittymää Tampereella
- Pidemmällä tähtäimellä tavoitteena on koko kaupungin kattava järjestelmä
- Lopullisena tavoitteena tulisi olla valtakunnallinen järjestelmä, joka toimisi ainakin isoimmista taajamista, joissa on liikenteellisiä ongelmia

Investointien tehostaminen

- DigiTrafficia voidaan käyttää myös työkaluna liikenneinvestointien kohdentamisessa. DigiTrafficin avulla voidaan selvittää liikenneverkon toimivuuden kannalta kriittiset pisteet ja arvioida eri toimenpiteiden vaikutuksia liikenneverkon toimivuuteen.

DigiTraffic-palvelujen edellytykset

- DigiTrafficia hyödyntäviä palveluja mietittäessä käyttötartetausten selvittäminen on tärkeä lähtökohta
- DigiTrafficin investointi- ja kannattavuusperusteet on hyvä selvittää (DigiTrafficin tuomat kustannussäästöt / lisäarvo), koska tarkoitus ei ole panna DigiTrafficia pystyyn vain sen itsensä takia
- Organisointi, ylläpito, palvelujen hinnoittelu yms. kysymykset tärkeitä Suomen pienten markkinoiden takia

Päätelaitteet

- palvelut tulee suunnitella standardeille päätelaitteille hukkainvestointien välttämiseksi
- DigiTrafficin tarvitsema kapasiteetti on melko pieni (ei kynnyskysymys), eikä simulointia ole tarve hajauttaa ainakaan alkuvaiheessa

4. Eri tahojen tarpeet DigiTrafficin hyödyntämiseksi

- DigiTrafficin avulla voidaan kehittää työkalu liikenneinvestointien kohdentamiseksi liikenneverkon toimivuuden kannalta kriittisiin pisteisiin ja arvioida eri toimenpiteiden vaikutuksia liikenneverkon toimivuuteen
- työkalu liikenteen ajantasaiseen seurantaan, lyhyen aikavälin ennusteisiin sekä liikenteen ohjaukseen ja tiedotukseen
- työkalu häiriöiden hallintaan (vaikutuksen arviointi lähiverkkoon ja tilanteen kehittymiseen)
- DigiTraffic voi tarjota perustietoa monille jo olemassa oleville palveluille
- DigiTraffic tarjoaa perustan palveluiden tuottamiseksi. Tämän takia on tärkeää määrittää, mitä tunnuslukuja DigiTraffic voi tuottaa
- DigiTrafficista voidaan kehittää taustajärjestelmä moniin eri palveluihin (sekä loppukäyttäjien että viranomaisten tarpeet)

- Valo-ohjattujen liittymien toiminnan seuraaminen ja tunnuslukujen tuottaminen sekä muutosten vaikutusten arviointi läheisen liikenneverkon toimintaan
- Apuväline sumean valo-ohjauksen avuksi ja tuotteistamiseksi.

5. DigiTrafficin tarvitsema infoinfra

Iisakki Kosonen kertoi DigiTrafficin tarvitsemasta infoinfraasta liitteen 3 kalvosarjan pohjalta.

Keskustelua:

- Tiedon lähteisiin lisätään pysäköintijärjestelmät.
- Yleensä linkkikohtainen tieto ei riitä simulointimallissa, vaan tarvitaan pistekohtaista tietoa, jotta päästään ajoneuvoihin kiinni.
- Lyhyen aikavälin ennusteet: jos tieto tulee muuta kuin DigiTrafficin "perusantureiden" kautta (esim. radio Nova), niin nämä tiedot voitaneen syöttää helposti DigiTrafficiin tai kehittää ajatusta linkkikohtaisen tiedon hyödyntämisestä.
- Rajapintamäärittelyt kannattaa tehdä jo esiselvitysvaiheessa ja hyödyntää TETRA -ohjelmassa tehdyn STARA-projektin tuloksia (ryhmä "Tieliikenteen tosiaikainen tiedotus"). Viite LVM:n mietintöjä ja muistioita B15/2001 "Standardien rajapintojen määrittely liikennetietojen välitykseen".
- DigiTrafficin esiselvitysvaiheessa kannattaa jo määrittää, mitä tietoa halutaan ja missä muodossa.
- DigiTrafficin toteutuksen riskinä eivät välttämättä ole tekniset rajapinnat, vaan eri organisaatioiden väliset rajapinnat.
- esimerkiksi Tampereen kokemusten mukaan tietoturvaan liittyvät kysymykset ovat käytännössä osoittautuneet yllättävän hankaliksi
- DigiTrafficcissa ei ole tarkoitus mennä tietolähteiden verkkoihin, vaan käyttää eri tietolähteistä ulos saatavaa tietoa. Todettiin, että näiden tietojen tuottamisella rahastaminen olisi lyhytnäköistä yhteisen edun kustannuksella.
- On syytä varautua siihen, että tiedon tuottajaorganisaatioiden kanssa käytävät neuvottelut ja sopimukset sekä tiedon tasalaatuisuuskysymykset yms. tulevat viemään paljon resursseja.

6. Eri tahojen valmiudet DigiTrafficin infoinfran toteuttamiseen

Tiehallinto sekä Tampereen ja Vantaan kaupungit suhtautuivat myönteisesti liikennetietojensa luovuttamiseen DigiTrafficin käyttöön. Mittauspisteitä ym. antureita ei rakenneta erikseen DigiTrafficia varten, vaan normaalisti liikenteen seurantajärjestelmien kehittämisen yhteydessä.

Tieliikelaitoksella on käytettävissä 550 tiedonkeruuajoneuvoa (gps ja ajoneuvotietokone), jotka lähettävät tietoa 15 minuutin välein. Tieliikelaitoksen tarvitsemalla normaalilla päivitystiheydellä ko. tiedot voidaan antaa DigiTrafficin käyttöön. Päivitystiheyttä ei lisätä DigiTrafficin tarpeiden perusteella, koska se aiheuttaisi Tieliikelaitokselle lisäkustannuksia (lisämaksut puhelinoperaattorille).

Trafitech suhtautuu myönteisesti siltä osin kun DigiTraffic tukee / antaa lisäarvoa sumean logiikan kehittämiseksi ja tuotteistamiseksi.

Yhteenvedon edellisestä voidaan todeta, että paikalla olleet tahot suhtautuivat myönteisesti DigiTrafficin tarvitseman infoinfraan tukemiseen ja antamaan DigiTrafficin käyttöön tietoaan, mikäli siitä ei aiheudu merkittäviä lisäkustannuksia ko. organisaatioille. Myös tietojen määrittely ja tiedonvaihdon päivitystarve sekä DigiTrafficin tarjoama mahdollinen lisäarvo kehittää / tehostaa ko. osapuolten omaa palvelutuotantoa vaikuttavat todennäköisesti osapuolten valmiuksiin tukea DigiTrafficia.

Lisäksi todettiin, että tiedon arvoketjuun liittyen organisatoriset vastuut ja tiedon laatu-kysymykset on syytä selvittää, jotta esim. palveluntuottaja ei joudu vastuuseen loppu-asiakkaalleen, jos ko. palvelun tietolähde lopettaa toimintansa (esim. tietolähteenä toimiva valo-ohjausjärjestelmä lopetetaan).

7. DigiTraffic-pilotin toteutus

Iisakki Kosonen kertoi DigiTrafficin tämän hetkisistä pilottisuunnitelmista liitteen 4 kalvosarjan pohjalta.

Keskustelua:

- Case Tampere käsittää viisi valo-ohjattua liittymää
- pilotti tehtäen FITS 3 alla ja myös tiehallinto suhtautuu pilottiin myönteisesti
- DigiTraffic-projekti ottaa mielellään vastaan lisää pilottiehdotuksia ja projekti voi tarjota vastineeksi esim. tietomalliosaamista
- DigiTraffic tuottaa paljon perusmittareita, mitä voitaisiin hyödyntää useissa eri palveluissa. Tässä vaiheessa DigiTrafficin on mietitty tarjottavan ensisijaisesti liikenteen tiedotukseen liittyvää palvelua. Voitaisiin miettiä myös esim. RDS:n käyttöä edistäviä palveluja
- Pilottien pitäisi olla mahdollisimman konkreettisia esimerkkejä, jotta ne herättäisivät kiinnostusta
- Palvelun toteutuminen edellyttää aktiivista markkinointia median kautta, jotta se saataisiin halutuksi ja osaksi ihmisten arkipäivää

8. Loppukeskustelu ja jatkotoimenpiteet

Työssä selvitetään simuloinnin lisäksi myös vaihtoehtoisia mallinnustapoja. TKK:lla on meneillään DigiTraffic-tietokannan kehittämiseen liittyvä diplomityö. Lisäksi TKK:n liikennelaboratorio ja fysiikan laboratorio tutkivat yhteistyönä mittauksen ja mallinnuksen systematiikkaa väitöskirjatyönä.

Esiselvityksen on tarkoitus valmistua kevään 2003 aikana. Pilotti ei sisälly esiselvitykseen.

DigiTraffic aiheeseen liittyvät kysymykset, ideat yms. ovat tervetulleita ja ne voi osoittaa Iisakki Kososelle ja Risto Kulmalalle.

LIITE 2. FITS 1 Help Desk: TelemArk arkkitehtuurin työpaja FITS -piloteille

Digitraffic

Aika: Torstai 30.10.2003 klo 9:00-16:00

Paikka: SysOpen Tower, Hiomotie 19, 00380 Helsinki

Läsnä:

Iisakki Kosonen	TKK
Kari Koskinen	TKK
Sami Luoma	Tiehallinto
Raine Hautala	VTT (klo 14 saakka)
Armi Vilkman-Vartia	Liikenne- ja viestintäministeriö
Pekka Grönroos	Tampereen kaupunki
Pia Tuupanen	Tampereen kaupunki
Jari Jakonen	Tieliikelaitos
Keijo Mäkelä	Trafitech Oy
Jari Oinas	Traficon Oy
Jukka Lähesmaa	SysOpen Oyj
Juha Levo	SysOpen Oyj

1. Tavoitteet ja sisältö

Todettiin, että tässä työpajassa keskitytään

- Digitraffic pilottihankkeessa toteutettavan mallinnus- ja ohjausjärjestelmän käsitteellisen arkkitehtuurin kuvaamiseen
- Järjestelmän kriittisten kohtien käsittelemiseen

Tavoitteena on luoda yleisen arkkitehtuurin mukainen yhtenäinen käsitys hankkeen sisällöstä ja arvioida hankkeen tärkeimmät kriittiset kohdat. Lopputuloksena syntyvää kuvausta on tavoitteena käyttää tarjouspyyntöjen oheismateriaalina.

2. TelemArk - liikennetelematiikan arkkitehtuurin esittely

Esiteltiin TelemArk-arkkitehtuuri, joka on tarkoitettu kaikille liikennetietoja tuottaville ja välittävälle osapuolille vapaasti hyödynnettäväksi työkaluksi.

3. Käsitteellinen arkkitehtuuri - Järjestelmän prosessikuvaus

Muistion liitteenä olevissa kuvissa 1 ja 2 on esitetty työpajassa laaditut Digitraffic-prosessikuvaukset (kuvassa 1 tavoitetilä ja kuvassa 2 pilottivaiheen tilanne). Liitteeseen on koottu myös lyhyet tekstiselostukset toimintokuvauksiin tehdyistä tarkennuksista.

Keskusteltiin tavoitetilan tiedon tuottajista:

- Liikenne- ja tilatietojen saamiseksi Digitrafficia varten todettiin tavoitteeksi liikennevalojen rajapintojen avaaminen. Digitraffic-hankkeessa on laadittu alustavat rajapintavaatimukset.
- Erilliset kuntien ylläpitämät liikenteen seurantajärjestelmät välittävät tiedot suoraan esimerkiksi valtakunnalliseen järjestelmään ja sitä kautta Digitrafficin käyttöön.
- Pysäköintilanteen keruu on jo monin paikoin käytettävissä ainakin alueellisesti. Tampereella kaikista pysäköintilaitoksista on tieto saatavissa.
- Digitrafficin avulla luodaan alusta erilaisille palveluille
- Asiakkaita kiinnostaa erityisesti häiriötiedot (Jakonen) ja normaalista poikkeavat tilanteet
- FITS:n puitteissa menossa Digiroad-häiriöpilotti (Vilkman-Vartia), jossa myös Tampere on mukana
- Liikennevalojen häiriötiedot välittyvät ohjausjärjestelmään ja ne ovat sitä kautta hyödynnettävissä Digitrafficissa
- Tien rakennusurakoitsija velvoitetaan (urakkasopimuksissa) tuottamaan tietyt häiriötiedot
- Yleisen tien pitäjä: Liikenteen ohjaustiedon keruu, ylläpito ja välitys -osaprosessi sisältää mm. tieto voimassa olevasta nopeusrajoituksesta (kun muuttuvat rajoitukset) mahdollisesti tienpitäjän yksistään omistamien liikennevalojen ja muiden ohjauslaitteiden (avattavat sillat) tilasta
- Tienpitäjän ympäristötiedon sisältö: tiesääseman keliluokka, näkyvyys
- Urakoitsijan ympäristötiedon sisältö: tiejakson keliluokka, jossa otettu huomioon kunnossapitotilanne
- Muita osapuolia: Media voisi välittää tiedossaan olevia tietoja Digitraffic operaattorille, liikenteen solmukohtien (terminaalien) tuottamat liikennemäärät (eri liikennemuodot) ja henkilövirrät
- Kun Digitrafficia hyödyntävä taho saa esimerkiksi tienkäyttäjältä tai muulta tiedon tuottajalta erilaista tietoa, hän voi tiedon varmistettuaan syöttää sen Digitraffic järjestelmään

Käytiin vilkasta keskustelua asiakkaiden (eri palveluiden) tarpeista Digitrafficin suuntaan tavoitetilassa:

- Liikenteen ohjausjärjestelmät voivat kysellä Digitrafficin mallintamasta liikennetilanteesta (nykytilanne ja lyhyen aikavälin ennuste) ja hyödyntää tietoja ohjauksessa => tärkeä määritettävä rajapinta
- Valo-ohjattujen liittymien liikenteellisen toiminnan tunnuslukuja (palvelutasot) valo-ohjauksen alueellisen hallinnan avuksi
- Liikenneverkon tunnuslukuja (liikennetilanneluokka, normaali matka-aika ja poikkeama siitä, päästöt) esimerkiksi liikenteen tiedotusta, ohjausta (mm. reitinopastus, valo-ohjaus, muuttuvat nopeusrajoitukset, ruuhkavaroitukset) ja dynaamista hinnoittelua varten
- Tietoja liikenteen valvonnan suunnittelua ja kohdistamista sekä liikenneinvestoinnin kohdentamista varten
- Historiatietoja tutkimus- ja tilastointikäyttöön

Digitraffic on erilaisten liikenteen palveluiden tarvitseman ajantasaisen tiedon kerääjä, jalostaja ja tuottaja perustietojen tuottajien ja palveluiden tuottajien välillä. Rajauksessa tunnistetut palvelut voivat saada itseään kiinnostavia tietoja erilaisilla kyselyillä (esimerkiksi maantieteellisen rajauksen, tietolajin, aikahorisontin ja erilaisten parametrien perusteella) Digitrafficin tiedonjakelurajapinnan kautta.

4. Rajapinnat

Digitrafficin tarvitsemien lähtötietojen olennaisiksi rajapinnoiksi tunnistettiin:

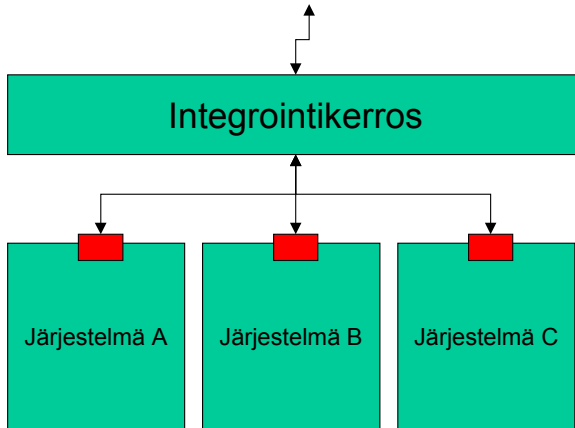
1. Liikennevalojen ohjaustiedot
 - ei valmista yleistä rajapintaa
 - kojeen tilasta saatavat tiedot ja lisäksi kojeen ominaisuuksista saatavat tiedot
 - ensimmäinen versio rajapinnan kuvaamisesta syntyy Digitraffic-projektissa vuoden 2003 aikana
 - työpaja erikseen standardin toteuttamiseksi
2. Liikenteen pisteseurantatiedot
 - ei valmista yleistä rajapintaa
 - Tiehallinnon osalta mahdollisesti saatavilla tieto keskitetyn tiedonvälitysjärjestelmän kautta mahdollisesti 2004/2005
3. Tieosaseurantatiedot sis. ajoneuvoseuranta
 - ei valmista yleistä rajapintaa
 - Tiehallinnon osalta mahdollisesti saatavilla tieto keskitetyn tiedonvälitysjärjestelmän kautta mahdollisesti 2004/2005
 - ajoneuvokohtaista seurantaa voi toimittaa suuri joukko erilaisia yrityksiä
4. Häiriötiedot
 - on määritelty yleinen rajapinta
 - sopii myös muille toteuttajille kuin Tiehallinnolle eli esimerkiksi kaupunkien ja Digiroadin tietojen välittämiseen
5. Digitraffic palvelurajapinta
 - syntyy työn aikana
 - sisältää paikkatietojärjestelmän
 - rajapinta kyselyn tekemiseen ja lähettämiseen
 - pilotti 2004

Digitrafficin verkkokoodaus ja tietomalli pyritään toteuttamaan Digiroadin mukaisesti. Todettiin, että liikennetietokirjastossa olevaa rajapintaa hyödynnetään.

Häiriötietojen rajapintaa tarkasteltiin liikennetietokirjastossa (www.kalkati.net) olevan häiriötietojen rajapintakuvausten avulla.

Jos tulevaisuudessa myös kuntien liikenteen pistetiedot kulkeutuvat keskitetysti Tiehallinnon kautta, voidaan kattavasti hyödyntää Tiehallinnon tulevaisuudessa kehittämää (2005) tiedonjakelurajapintaa. Samaa rajapintaa voidaan hyödyntää myös tieosaseurantatietojen osalta.

Liikennevalorajapinta: Käyty alustavia keskusteluja suuren laitetoimittajan kanssa liikennevalojärjestelmän ja kojeen tiedonvälitysräjapinnasta käsittäen ilmais- ja opastinryhmätiedot esimerkiksi XLM:ää hyödyntäen. Ensimmäinen ehdotus syntyy 2003 aikana.



Digitraffic projektissa on tarkoitus saada aikaan palvelurajapinnan (GIS, XML tmv.) versio 1.0 vuoden 2004 aikana.

5. Todetut kriittiset kohdat ja kehittämistarpeet

Kriittisimmiksi osiksi arvioitiin:

- Häiriötiedon, jolla tarkoitetaan normaalista poikkeavan tilanteen (eri syiden aiheuttamat kapasiteettirajoitukset) saanti Digitraffiin ja siitä ulos palveluiden käyttöön. Ei voida suoranaisesti vaikuttaa, mutta laadun kannalta merkittävä asia.
- Prosessin liiketoimintarajapinnan ongelmat myös LAM-tietojen ja muiden Tiehallinnon sanomavälityspalvelun kautta välitettävien tietojen välittämisessä.
- Tiedonjakelurajapinta ulos: a) jalostettu tieto b) perustiedot jatkojalostusta varten

Digitrafficin omistajuudesta ja toiminnasta todettiin mm. seuraavaa:

- Tarvitaan testi- ja kehitysversio, tuotantoversio ja tutkimusversio. TKK:lla selvä rooli kehitys ja tutkimusversioissa sekä ylläpidon aikaisessa kehittämisessä.
- Pilottijärjestelmä kehitteillä Tampereella.
- Onko erilaisia tuotantoversioita esim. Tiehallinnolla, Tieliikelaitoksella, kaupungeilla, liikennekeskuksissa tms. Erilaisiin liikennetiedon kokoomakohtiin.
- Alueellisia omia ongelma-kohtia, joissa voisi olla omat versionsa.

Digitrafficin palvelukonseptiin todettiin seuraavaa:

- Voi olla räätälöity, mutta joka tapauksessa tuotetaan perustunnusluvut. Lisäksi tuotetaan pääsy tunnuslukuihin, joiden perusteella voidaan tuottaa omia palveluja.

Hallinnollisista ja liiketoiminnallisista näkökohdista todettiin seuraavaa:

- Suurelle yleisölle saattaa syntyä mielikuva "isovelji valvoo"-järjestelmästä
- Häiriötietojen merkitys on suuri. Jos tuotetaan tietoa, onko palvelutuottaja vastuussa tuottamansa tiedon laadusta. Nykytilassa tässä on ongelmia.

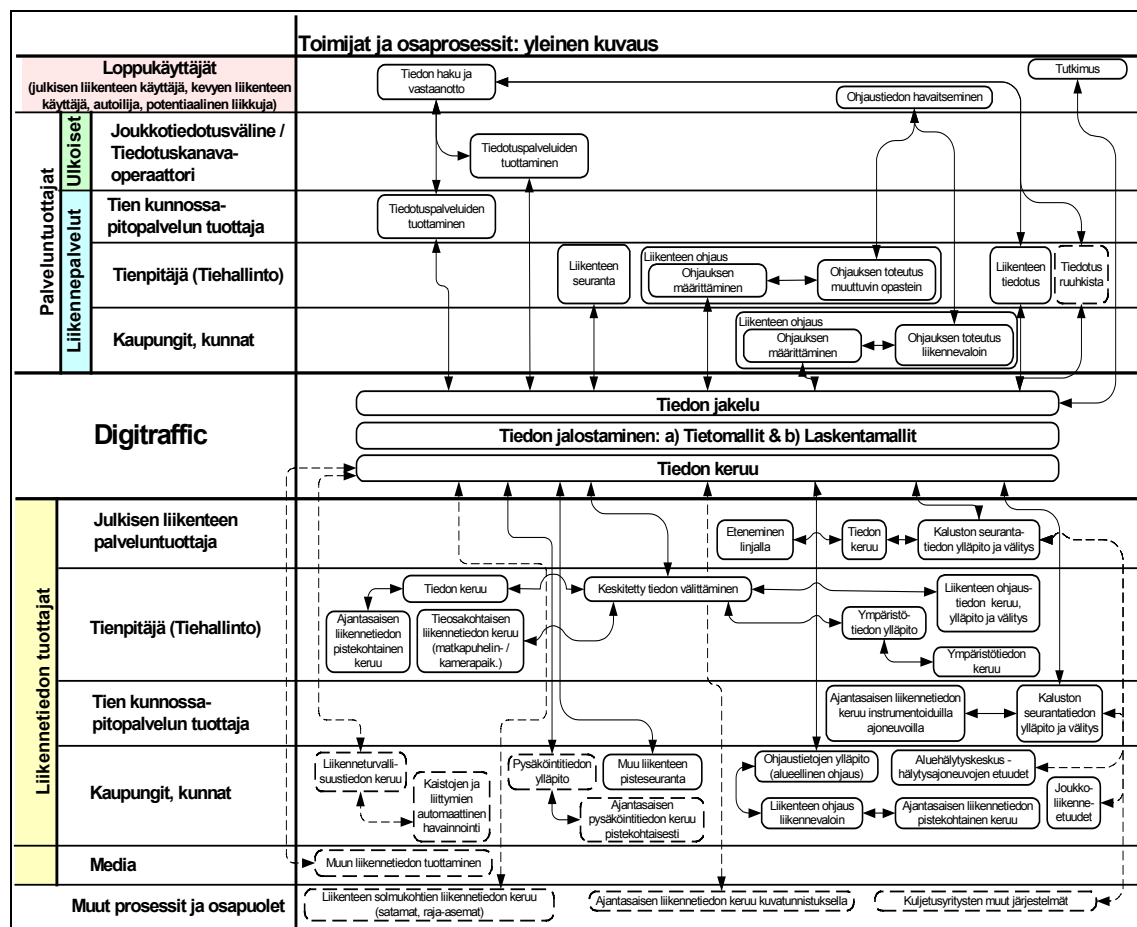
6. Päivän yhteenveto

Huolenaiheeksi osanottajat totesivat seuraavaa:

- tiedon luotettavuus, uskottavuus ja palveluntarjoajan kyky tehdä tarkkoja tietoja
- rajapinnat (!!): paljon toimijoita, suljetut järjestelmät
- ajantasaisen tiedon saaminen järjestetysti / organisatorisesti
- liiketoimintarajapinnat
- pilottipalvelut, konkretia

Lopuksi osanottajat totesivat seuraavat myönteiset tulokset työpajasta:

- prosessi täydentyi (!!)
- avoimet kohdat esille
- kokonaiskuva ja eri toimijoiden roolit hahmottuivat paremmin
- yhteisen näkemyksen hahmottuminen kokonaisuudesta
- täsmensi miten Digitraffic sijoittuu kokonaisuuteen (!!)
- TelemArkin hyväksikäyttö (!)
- vilkas keskustelu
- Digitrafficin kuvan kirkastuminen, käsitysten paraneminen
- Digiroad-järjestelmän hyödyntäminen "oikeissa palveluissa"
- mahdollisuus myönteiseen julkisuuteen
- palvelua on mahdollisuus laajentaa



Kuva 1. Digitraffic-tavoitetilan (2007) toimintokuvaus.

Tavoitetilan toimintokuvaukseen (kuva 1) liittyen työpajassa todettiin mm. seuraavaa:

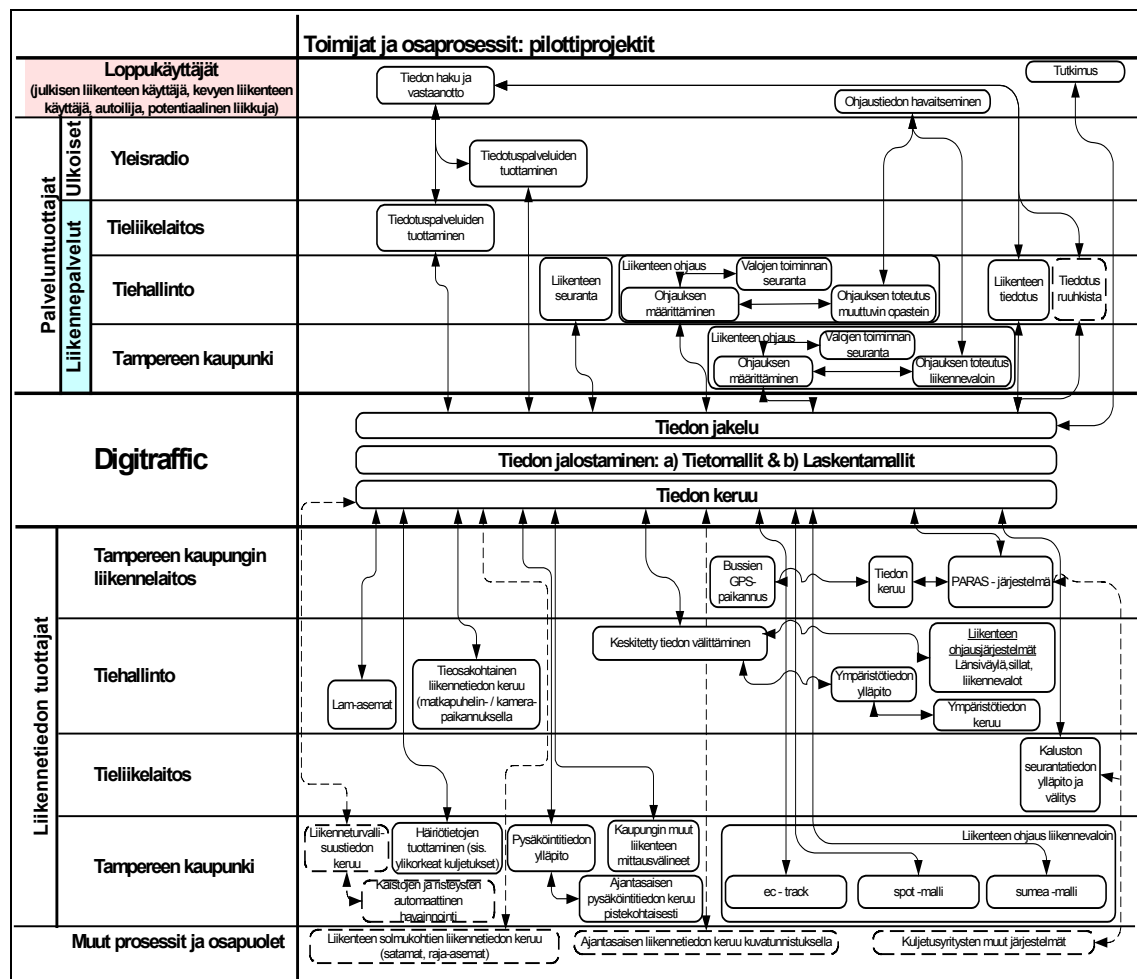
- Muut liikenteen mittausjärjestelmät pistekohtaisen liikennetiedon keräämiseen katuverkolta.
- Hälytysajoneuvojen ja joukkoliikenteen etuudet. Hälytysajoneuvojen osalta manuaalisesti tuotetaan tieto liikennevalojen ohjauskeskukseen.
- Tavoitteena keskitetty pistekohtaisten liikennetietojen tiedon keruu, varastointi ja välitys kaupungin mittausasemien osalta valtakunnallisen tiedonvälityskanavan kautta Digitrafficiin.
- Tampereella keskitetty pysäköintilaitosten tietojen keruujärjestelmä, joka mahdollistaa lisäksi ajantasaisen tiedottamisen. Tieto voidaan kootusti välittää Digitrafficiin. Valmiudet tiedon välittämiseen ovat korkeat.
- "Liikennevalojen ja joukkoliikennekaistojen käytön valvonta" sijasta olisi syytä käyttää esimerkiksi termiä "liikenneturvallisuuustieto".
- Lisätään kaupungin kohdalle "Häiriötietojen tuottaminen". Sisältää ylikorkeiden kuormien varoitusjärjestelmän aiheuttamat ilmoitukset.
- Liikennetiedon tuottajat: media omaksi aktorikseen
- Liikennehäiriötiedon tuottaminen rakennustyömaatiedoista. Tien kunnossapitopalvelun tuottaja.
- Tiejaksokohtainen kelikuvaus. Kunnossapitopalvelun tuottaja.
- Yleinen kuvaus Tiehallinnon osalta, voitaisiin puhua tieosakohtainen tiedon tuottaminen (sis. matkapuhelin ja kamerapaikannus).
- Ympäristötiedot - tiesääaseman keliluokka, näkyvyys, tieosakohtainen kelikuvaus välitetään Tiehallinnon keskitetyn välityspalvelun kautta.

- Tieto ohjausjärjestelmien tilasta: kaista- ja nopeusrajoituksia. Keskitetyn tiedon jakamisen kautta.
- Liikenteen valvonnasta saatava ajantasainen liikennetieto Tiehallinnon alle.
- Julkisen liikenteen palvelutuottajat, voivat olla yksittäisiä yrityksiä.
- Lisätään tiedontuottajiin media: Ihmisten ilmoitusten kasaaminen, ennalta tiedettyjen tietojen kerääminen, jakelu Digitrafficin operaattorille.
- Liikenteen solmukohtien (esim. satamat) ajantasaisen liikennetiedon keruu.
- Ilmoitukset tienkäyttäjiltä tms.
- Digitrafficin sisällä häiriötiedon välityksen vastaanotto ja syöttäminen järjestelmään.

Hyödyntämismahdollisuuksista todettiin mm. seuraavaa:

- Liikennevalojen ohjauksessa valittavan ohjelman valintaan vaikuttavat liikennemallit. Digitraffic tarjoaa palveluna suosituksen ohjaustoimenpiteistä tai koosteen liikennetiedoista ja lyhyt aikaisen ennusteen jonkun muun ohjausohjelman tarpeisiin.
- Muuttuvien nopeusrajoitusten ohjaus. Liikennevalojen ja nopeusrajoitusten toiminnan koordinointi.
- Palvelutason seuraamiseksi kaupunki haluaa seuranta valojen toimintaa, tilatiedot online, jälkikäteen yhteenveto raportointi valojen toiminnasta. (Kaupunki ja Tiehallinto)
- Liikenteen seuranta (Kaupungit ja Tiehallinto)

- Liikenteen tiedotus ja lyhyen ajan ennuste. (Kaupungit, Tiehallinto, muut tiedotuspalvelut) Lyhyen aikavälin ennusteet, sujuvuusennusteet, alueellinen kattavuus.
- Dynaaminen kapasiteettipohjainen hinnoittelu
- Reitinohjaukseen, tiedotukseen liikennetilanne ja -ennuste
- Kulkumuodon valinnan ohjaus: liikennetilanne ja -ennuste
- Kaluston ja kuljetusten hallinta: liikennetilanne ja -ennuste
- Häiriön hallinta: häiriön ennustaminen, mallintaminen, ennusteesta tiedottaminen
- Nopeuden suosittaminen ja pakottava: ajoneuvolle suositusnopeudesta tiedottaminen, mallin mukainen ennuste
- Valvonnan suunnittelu ja kohdentaminen
- Tutkimus ja suunnittelu: aineiston analysointi jälkikäteen ja mallintaminen, liikennesuunnitteluiden kannattavuusarvioinnin tukeminen mallintamalla liikennevirtoja. Aineiston tuottaminen.



Kuva 2. Digitraffic-pilottivaiheen toimintokuvaus.

FITS-julkaisuja

Sarjassa aiemmin ilmestyneet raportit

- 1/2002. Ajoneuvoissa käytettävien tieto- ja viestintäjärjestelmien sääntely turvallisuuden kannalta. 69 s. ISBN 951-723-760-X
- 2/2002 IP-järjestelmän kehittäminen osaksi Port@Net-kokonaisuutta. 55 s. ISBN 951-723-761-8
- 3/2002 Liikennetelematiikkahankkeiden arviointiohjeet. 85 s. ISBN 951-723-762-6
- 4/2002 Guidelines for the evaluation of ITS projects. 87 p. ISBN 951-723-763-4
- 5/2002 Liikenteen automaattinen kameravalvonta. Esiselvitys. 61 s. ISBN 951-723-764-2
- 6/2002 Tiedottaminen ruuhkatilanteiden hallinnassa. 143 s. ISBN 951-723-765-0
- 7/2002 Reaaliaikaisen matkustajainformaatiojärjestelmän (ELMI) vaikutusten ja yhteiskuntataloudellisen kannattavuuden arviointi. 111 s. ISBN 951-723-767-7
- 8/2002 Toimintakuvaus häiriönhallinnan tilanteesta. 36 s. ISBN 951-723-768-5
- 9/2002 Automaattivalvonnan tekniset ratkaisut. Selvitys soveltamismahdollisuuksista Suomessa. 59 s. ISBN 951-723-769-3
- 10/2002 Tavaraliikenteen telematiikka-arkkitehtuuri. Esiselvitys. 77 s. ISBN 951-723-770-7
- 11/2002 AirportNet. Toiminnallinen määrittely. 33 s. ISBN 951-723-771-5
- 12/2002 Matkapuhelinpohjaiset pysäköinnin maksupalvelut. 69 s. ISBN 951-723-772-3
- 13/2003 Liikennetelemaattisten tuotteiden ja palvelujen pelisäännöt. 77 s. ISBN 951-723-774-X
- 14/2003 Digitaalisen radio- ja televisioverkon hyödyntäminen henkilöliikenteen telematiikassa. Esiselvitys. 43 s. ISBN 951-723-775-8
- 15/2003 PortNetin vaikuttavuuden arviointi. 81 s. ISBN 951-723-776-6
- 16/2003 ITS Finland esiselvitys. 49 s. ISBN 951-723-777-4
- 17/2003 DARC-palvelu liikennetelematiikassa. Esiselvitys. 65 s. ISBN 951-723-778-2
- 18/2003 Joukkoliikenteen häiriönhallinnan kehittäminen. 37 s. ISBN 951-723-799-0
- 19/2003 Telemaattisten palveluiden tarpeellisuus. Käyttäjien mielipiteet ja liikennepoliittiset tavoitteet. 111 s. ISBN 951-723-880-0
- 20/2003 Tavaraliikenteen telematiikka-arkkitehtuuri. Loppuraportti. 123 s. ISBN 951-723-881-9
- 21/2003 Tieliikennetiedotus. Esiselvitys. 81 s. ISBN 951-723-882-7
- 22/2003 Joukkoliikenteen internet-reittineuvontapalvelun vaikutusten ja kannattavuuden arviointi. 95 s. ISBN 951-723-883-5
- 23/2003 Matkapuhelinpohjaiset pysäköinnin informaatiopalvelut. 59 s. ISBN 951-723-884-3
- 24/2003 Liikenteen tietopalvelujen käyttäjäkeskeinen tuotekehitys. 61 s. ISBN 951-723-885-1
- 25/2003 Freight transport telematics architecture. Final Report. 123 p. ISBN 951-723-886-X
- 26/2003 Joukkoliikenteen hoito, informaatio ja käyttö Kampin työmaan aikana. 107 s. ISBN 951-723-887-8

- 27/2003 Standardoitu kolliosoitelappu. ISBN 951-723-888-6
- 28/2003 Henkilöliikenteen tietovarastot. 37 s. ISBN 951-723-889-4
- 29/2003 Esiselvitys Ipv6:n sovelluksista liikenteessä ja logistiikassa. ISBN 951-723-890-8
- 30/2004 DigiTraffic - Liikenteen mallinnus- ja paikannusjärjestelmä. Esiselvitys. 109 s. ISBN 951-723-891-6

Lisätietoja

Ohjelman internetsivut
www.vtt.fi/rte/projects/fits

Ministeriön internetsivut
www.mintc.fi

Ohjelman johtoryhmän puheenjohtaja
Liikenneneuvos **Matti Roine**
liikenne- ja viestintäministeriö
PL 31, 00023 VALTIONEUVOSTO
puhelin (09) 160 28577
telekopio (09) 160 28592
sähköposti matti.roine@mintc.fi

Ohjelman koordinaattori
Tutkimusprofessori **Risto Kulmala**
VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
PL 1800, 02044 VTT
puhelin (09) 456 4990
telekopio (09) 464 850
sähköposti risto.kulmala@vtt.fi tai fits@vtt.fi