

Liikennetekninen mallintaminen - nykytila, kehityssuunnat ja mahdollisuudet

Tiehallinnon selvityksiä 28/2003



Liikennetekninen mallintaminen - nykytila, kehityssuunnat ja mahdollisuudet

Tiehallinnon selvityksiä 28/2003

Kansikuva: Kuva AIMSUN2-simulointiohjelman kolmiulotteisesta liikenteen mallinnuksesta (www.tss-bcn.com/aimsun3dshot.html , Copyright © 1998-2003 TSS-Transport Simulation Systems)

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-076-6
TIEH 3200816

ISSN 1459-1553 (www.tiehallinto.fi)
ISBN 951-803-077-4 (www.tiehallinto.fi)
TIEH 3200816-v (www.tiehallinto.fi)

Multiprint Oy
Vaasa 2003

Julkaisua myy/saatavana:
Tiehallinto, julkaisumyynti
Telefaksi 0204 22 2652
E-mail: julkaisumyynti@tiehallinto.fi

Tiehallinto
Tekniset palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

TIIVISTELMÄ

Liikenne- ja tieteknisessä suunnittelussa ja ongelmanratkaisussa mallien hyödyntäminen on yleistä. Eri mallien luotettavuus kuvata oikein erilaisia tilanteita vaihtelee: syynä voi olla esimerkiksi se, että mallia ei ole suunniteltu käytettäväksi kyseisiin tarkasteluihin, tai että malli on kalibroitu liikenneympäristössä tai -kulttuurissa, joka ei ole samanlainen kuin Suomessa.

Tässä työssä tarkasteluun on otettu liikenteen välityskykymallit ja erityisesti liikenteen mikrosimulointimallit. Tarkasteluun valittiin neljä Pohjoismaissa yleisesti käytettyä makro- (CapCal, DanKap, HCM ja VTI) ja neljä mikromallia eli simulointiohjelmaa (AIMSUN, HUTSIM, Paramics ja VISSIM). Lisäksi tarkasteltiin suppeammin Synchro/Simtraffic -suunnitteluohjelmistoa. Työssä on selvitetty erilaisten mallien ja ohjelmistojen käytön laajuutta, tarvetta ja potentiaalisia kehityssuuntia, vertailtu niiden teknisiä ominaisuuksia, sovel-lusmahdollisuuksia laajuutta sekä käyttökelpoisuutta Suomessa, ja hahmo-teltu toimintamalleja liikenteen mallinnuksen kehittämiseksi.

Sekä mikro- että makrotason mallinnuksen käyttö on lisääntynyt tietotekniikan ja saatavilla olevien välineiden kehittyessä. Pohjoismaisten kokemuksi-en mukaan liikenteen mallinnuksen tietotaitoa on vaikea ylläpitää riittävällä tasolla edistyneiden simulointiohjelmien osalta, joskin tietotaidon täydelli-seen ylläpitämiseen nähdään melko harvoin tarvetta. Simulointiohjelmien pääkäyttö kohdistuu kehitys- ja tutkimusprojekteihin, ja suunnittelutehtävissä simulaattoreita tarvitaan eniten ongelmakohtien visualisointiin. Suomessa mallinnusohjelmien käyttäjät näkivät mikromallinnuksen tarpeen lisääntyvän tarkastelukohteen ja tarvittavien tulosten yksityiskohtaisuuden lisääntyessä, ja makromallien olevan riittäviä perustyökaluja karkeammassa suunnittelu-kohteissa.

Välityskykymalleista HCM tarjoaa laajimman sovellusalueen ja CapCal luotettavimmat tulokset pohjoismaisissa olosuhteissa. Suomalaisesta näkökul-masta kehittämistoimenpiteet olisi parasta kohdistaa siten, että HCM:n pa-rametreista saataisiin pohjoiseurooppalainen kalibroitiversio ja CapCalin mallivalikoiman käyttökohteita lisättäisiin.

Tärkeimmiksi mikrosimulointiohjelmistojen ominaisuuksiksi havaittiin sovel-lusmahdollisuuksien laajuus, käyttäjän omien lisäominaisuuksien ohjelmoin-timahdollisuudet ja rajapinnat maankäytön ja liikenteen ennustemalleihin. Myös ohjelmien ajoneuvomallien valideetti ja riittävä kalibrointi katsottiin erityisen tärkeäksi. Ohjelmistoverailun päätulos oli, ettei kolmen kattavim-man ohjelmiston (AIMSUN2, Paramics ja VISSIM) välillä ole mainittavia eroja näiltä osin, eikä näitä kolmea ohjelmaa voida asettaa paremmuusjär-jestykseen. Kaikki ohjelmistotoimittajat ovat myös potentiaalisia yhteistyö-kumppaneita, jos jotain ohjelmistoa päätetään lähteä kehittämään nykyistä paremmin Suomen olosuhteisiin sopivaksi. HUTSIM on heikompi käytettä-vyytensä ja sovellusten laajuuden osalta, mutta täyttää parhaiten kalibrointi- ja validointivaatimukset. Simtraffic on edellä mainittuja ohjelmia rajoit-tuneempi sovelluskohteiden suhteen.

Mallinnuksen kehittäminen on tärkeää niin tilaajapuolen kuin tutkimusten to-teuttajien kannalta. Tilaaja voi olla varmempi tulosten oikeellisuudesta ja

toimivuustarkastelujen tuottamista analyyseista, ja tutkimusten toteuttajan näkökulmasta tieto eri ohjelmistojen luotettavuudesta ja tilaajan kannasta työkalun valintaan edistää ohjelmiston hankintainvestoinnin toteuttamismahdollisuuksia sekä käyttöönottoa Suomessa. Kehitystyö edellyttää liikennealan eri toimijoiden sisäistä ja poikkitieteellistä yhteistyötä ohjelmistojen osamallien kehittämiseksi ja kalibroimiseksi. Kehitystyön valtakunnallinen ohjaus mahdollistaa työhön panostettavien resurssien mahdollisimman tehokkaan hyötykäytön. Tällä perusteella luotiin laajuudeltaan ja resurssivaihtimuksiltaan vaihtoehtoisia toimintamalleja liikenteen mallinnuksen kehittämiseksi Suomessa. Toimintamallivaihtoehtoissa Tiehallinto toimii kehitysryhmän vetäjänä, ja kehitysryhmän muiksi jäseniksi kutsutaan riittävä edustus muista liikennetekniikan alan organisaatioista. Toimintamallit tähtäävät yhden tai useamman mallinnusohjelmiston kehittämiseen kalibroinnin ja validoinnin osalta Suomen olosuhteisiin sopivaksi.

Liikenteen mallinnuksen nykytilan kartoituksen perusteella ei päästy yksiselitteiseen ratkaisuun kehitettävien ohjelmistojen teknisestä paremmuusjärjestyksestä eikä niiden soveltuvuudesta eri toimintamallien kehittämisohjelmistoksi: koska yksiselitteistä valintaa parhaasta toimintatapa-ohjelmisto - kombinaatiosta ei voida pitkällä aikavälillä tehdä, voidaan tällä hetkellä järkevimpänä ratkaisuna pitää simulointimarkkinoiden tilanteen ja kehityksen jatkuvaa seuranta ja pienehköin resurssein toteutettavia yksittäisiä kalibrointi- ja validointitutkimuksia. Seurannan avulla voidaan havaita tärkeimmät kehitystarpeet ja käynnistää laajempi kehitystyö myöhemmin, jos jokin mallinnusohjelmisto osoittautuu muita paremmin Suomen liikenneolosuhteisiin ja käyttötarpeisiin soveltuvaksi. Samalla lisätään liikennetekniikan alan tietoisuutta käytössä olevista työkaluista.

Nyckelord: Modellering, Simulering, Trafikteknik

SAMMANFATTNING

Användning av modeller är allmänt i väg- och trafikplanering och därmed anknuten problemlösning. Modellernas tillförlitlighet i att beskriva olika situationer på ett korrekt sätt varierar: orsaken kan exempelvis vara den, att modellen inte är avsedd för att användas i sammanhanget eller att modellen är kalibrerad i en trafikmiljö och -kultur som inte är lik den vi har i Finland.

I denna studie granskas kapacitetsmodeller och speciellt mikrosimuleringsmodeller. Fyra makromodeller och fyra mikromodeller valdes för närmare granskning. Makromodellerna (CapCal, DanKap, HCM och VTI) är alla i allmänt bruk i de Nordiska länderna. Mikromodellerna var AIMSUN, HUTSIM, Paramics och VISSIM. En mera begränsad granskning gjordes även av programvaran Synchro/Simtraffic. I arbetet kartlades de olika modellernas användningsområden och omfattningen av användandet samt behovet och potentiella utvecklingsriktningar. Modellernas tekniska egenskaper jämfördes samt deras användbarhet i Finland samt olika handlingsalternativ för vidare utveckling av modeller i anknytning till trafiken.

Användning av såväl mikro- som makromodeller har ökat i takt med utvecklingen av den tillgängliga datatekniken. Enligt erfarenheter från Nordiska länder, är det svårt att upprätthålla en tillräckligt hög standard på kunnandet beträffande de mer avancerade simuleringsprogrammen, ehuru en verkligen hög kompetens efterfrågas endast sällan. Det huvudsakliga användningsområdet för simuleringsprogram är i anknytning till forskning och utveckling medan man i projektering använder simulatorerna främst för visualisering av problemen. I Finland bedöms användarna att efterfrågan för mikromodellering ökar med en större detaljeringsgrad och att makromodellerna som grunder tillgodoser behoven vid enklare (mindre detaljrika) projekteringsobjekt.

Av kapacitetsmodellerna bjuder HCM det bredaste användningsområdet medan CapCal ger de tillförlitligaste resultaten vid skandinaviska trafikförhållanden. Från en finsk synvinkel skulle det vara bäst om HCM parametrarna kalibrerades mot Nord-Europeiska förhållanden och att CapCals användningsområde utvidgades.

De viktigaste egenskaperna hos mikrosimuleringsmodellerna bedöms vara tillämpningsmöjligheternas mångfald, möjligheterna för användaren att programmera in egna tillämpningar samt gränssnitten mot modeller som används vid markanvändnings och trafikprognoser. Även validiteten hos de i modellerna ingående fordonmodellerna ansågs ha speciell betydelse. Huvudresultatet blev att de tre mest omfattande modellerna (AIMSUN2, Paramics och VISSIM) är på ovannämnda punkter jämgoda. Alla programleverantörer är även potentiella samarbetsparter vid ett möjligt beslut att utveckla modellen så att den bättre lämpar sig att användas i finska förhållanden. HUTSIM är sämre med avseende på dess användaregenskaper och mera begränsade tillämpningsmöjligheter. Däremot fyller programmet bäst kraven på validering och kalibrering. Simtraffic är jämfört med de ovannämnda programvarorna mera begränsad med avseende på tillämpningsområden.

Både uppdragsgivaren och de som genomför analyser, anser att modellutveckling behövs och att det är viktigt. Uppdragsgivaren kan försäkra sig om analysresultatens riktighet medan de som genomför analyser ökar sin förståelse för uppdragsgivarens ambitioner. Detta främjar möjligheterna att förverkliga beslut gällande anskaffningar och programmets användning i Finland. Utvecklingsarbetet förutsätter ett tvärvetenskapligt samarbete mellan olika aktörer inom trafikbranschen. Framför allt gäller detta utveckling och kalibrering av delmodeller som ingår i programmen. En nationell styrning garanterar att resurserna används effektivt. Mot denna bakgrund framtog handlingsalternativ som varierar med hänsyn till resursbehov och omfattning. Vägförvaltningen koordinerar utvecklingsgruppens arbete. Till medlemmar i gruppen tillkallas representanter från relevanta organisationer inom trafikområdet. Som mål för handlingsalternativen har ställts att ett eller flera program anpassas genom kalibrering och validering till finska förhållanden.

Kartläggningen gav inget entydigt svar på frågan om de valda programmets tekniska rangordning eller deras lämplighet med hänsyn till de olika handlingsalternativen. Emedan ett entydigt val av en kombination handlingsalternativ-programvara inte nu låter sig göras, blir den klokaste lösningen att etablera en kontinuerlig uppföljning av simuleringsmarknaden och att genomföra med begränsade resurser enskilda kalibrerings- och valideringsundersökningar. På basen av uppföljningen kan de betydelsefulla utvecklingsbehoven identifieras och ett mera omfattande utvecklingsarbete påbörjas i ett senare skede. Förutsagt att något av programmen visar sig klart bäst svara mot finska analysbehov och finska trafikförhållanden. Samtidigt ökar kunskapen kring de programvaror som finns på marknaden.

Keywords: Modeling, Simulation, Traffic engineering

SUMMARY

Traffic modeling is a common instrument to handle problems occurring in traffic engineering and planning. The validity of different models varies depending on the traffic conditions in question: some reasons for the lack of validity of the modeling results can be, for example, that the model is not suitable for the task it was used for, or that the model is calibrated for a traffic environment different from the one modeled.

In this report, the capacity and traffic simulation models commonly used in Nordic countries are studied. Four macro-level (CapCal, DanKap, HCM and VTI) and micro-level (AIMSUN, HUTSIM, Paramics and VISSIM) models were included in the study. In addition, a traffic planning software Synchro/Simtraffic was reviewed. The studied aspects were the current and future needs of using different traffic models in Finland and Nordic countries, the potential of traffic modeling in the future, the technical properties and applicability of the studied models and their usability and validity in Finnish traffic conditions. Based on this, some policy alternatives for the development work of traffic modeling in Finland were formed.

Lately, the use of both micro- and macro-level traffic modeling has increased due to the development of information technology and modeling tools. According to the Nordic experiences, nowadays it is hard for the users to maintain sufficient knowledge and expertise of the sophisticated traffic modeling tools. On the other hand, full understanding was not always considered obligatory on the user level. The need of microsimulation applications was considered highest in development and research projects: in traffic planning tasks, the main purpose is the visualization of the traffic problems. According to the interviewed Finnish traffic engineers, the need of microsimulation increases when the number of details and accuracy requirements of the model and the results increase. In general, the capacity models were considered sufficient for the basic traffic planning tasks.

Of the studied capacity models, HCM has the widest range of applications and CapCal is most valid in Nordic traffic conditions. From the Finnish point of view, the development effort should be focused on the Nordic calibration of the HCM models and on developing new applications in CapCal.

According to the general picture formed during the study, the most important properties of microsimulation models are the range of applications, user programming possibilities and the interfaces between simulation software and traffic demand estimation models. In addition, the validity and sufficient calibration of the simulation models are considered as especially important features. In the technical comparison of the three biggest European simulation programs (AIMSUN2, Paramics and VISSIM), no crucial differences were found when these most important properties were considered. Further, all software development teams are potential development partners in a development work of traffic modeling in Finland. HUTSIM is more restricted with its user interface and range of traffic modeling applications, although it produces the most reliable results due to its validation and calibration in Finnish conditions. Simtraffic is developed for simulation of traffic signal control, and lacks other simulation possibilities that the other simulation programs have.

Nevertheless, the development of the traffic modeling methods for the Finnish traffic conditions is important for all traffic related organizations. The organizations ordering the modeling studies can be more convinced of the reliability of the analyses based on the valid models, and the consultants executing the studies can make the software investment decisions more easily, knowing which software is preferred in each task by the ordering party. The development work requires co-operation between traffic organizations, in order to develop and increase the reliability of the traffic models. With nation wide coordination of the development, the resources put to the work would produce most efficient results. As a result of these suggestions, some alternative development policies with different resource demands were formed. In all the alternative policies, Finnish Road Administration is the coordinator of the development efforts, supported by a team of traffic experts from different traffic engineering organizations. The main goal of the development policies is to increase the validity of one or more of the studied traffic models in Finnish conditions.

In the state-of-art study, no modeling software was found to be technically clearly better than the others. Also the current calibration in Finnish conditions was at the same level in each of the foreign simulation software. Based on this study, a long-term decision of developing a certain modeling tool with a certain development policy cannot be made. Currently, the most suitable alternative seems to be well organized and continuous monitoring of the traffic modeling markets and small-scale calibration tasks for the most important sub-models. By monitoring the development of traffic modeling tools, the most important development needs can be taken into account and larger efforts can be started, if some of the modeling tools will be found most suitable for Finnish conditions in the future. In addition to the technical development, the monitoring work will increase the knowledge of traffic modeling tools and their possibilities among Finnish traffic engineers.

ESIPUHE

Tässä selvityksessä on koottu yhteen tieto liikenteen mallintamisen nykytilasta. Lisäksi on tarkasteltu erilaisia toimintamalleja liikenteen mallintamisen käytön tehostamiseksi Suomessa sekä tehty ehdotus Tiehallinnon toimenpiteistä asiaan liittyen.

Perinteisistä liittymien välityskykymalleista annetaan tässä selvityksessä yleiskuva. Eri välityskykymallien soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin on käsitelty erillisissä selvityksissä. Tästä selvityksen ulkopuolelle on rajattu myös puhtaasti liikenteen sijoitteluun tarkoitettut mallit.

Työssä konsulttina toimi LT-Konsultit Oy. Konsultin projektipäällikkönä toimi TkT Jarkko Niittymäki. Lisäksi työhön osallistuvat Riku Nevala, Teemu Sihvola, Ville Lehmuskoski ja Björn Silfverberg. Tiehallinnossa työstä vastasi tieinsinööri Jukka Lehtinen.

Helsingissä toukokuussa 2003

Tiehallinto
Liikennetekniikka

Sisältö

1	JOHDANTO	13
2	MALLINNUSSOVELLUKSET SUOMESSA JA MAAILMALLA	15
2.1	Välityskykymallit	15
2.1.1	Välityskykymallien tausta	15
2.1.2	Välityskykymallien historia	15
2.1.3	Välityskykymallien käyttötarkoitukset ja -laajuus	16
2.1.4	Välityskykymallien käyttötrendi	17
2.2	Simulointiohjelmat	18
2.2.1	Mikrosimulointi menetelmänä	18
2.2.2	Simulointiohjelmien historia	18
2.2.3	Simulointiohjelmien käyttötarkoitukset ja -laajuus	19
2.2.4	Simulointiohjelmien käyttötrendi	21
3	LIIKENTEEN MALLINNUKSEN KÄYTTÖ JA TARVE	24
3.1	Tutkimusmenetelmä	24
3.2	Mallinnus Pohjoismaissa	24
3.2.1	Käytössä olevat ohjelmat ja niiden ominaisuudet	24
3.2.2	Kehitystarpeet	25
3.3	Liikenteen mikrosimuloinnin tarve Suomessa	26
4	VÄLITYSKYKYMALLIEN VERTAILU	29
4.1	Vertailuohjelmistojen perustiedot	29
4.2	Tekninen vertailu	30
4.3	Soveltuvuus käyttäjätarpeisiin ja kehitystarve	31
5	MIKROSIMULOINTIMALLIEN VERTAILU	33
5.1	Tekninen vertailu	33
5.1.1	Vertailun lähtökohdat ja pääperiaatteet	33
5.1.2	Vertailuohjelmistojen perustiedot	34
5.1.3	Teknisen vertailun tulosten yhteenveto	36
5.2	Soveltuvuus käyttäjätarpeisiin ja kehitystarpeet	42
5.3	Koulutus ja käyttäjätuki	43
5.4	Ohjelmistotoimittajayhteistyö ja kehitysresurssit	44
6	YHTEENVETO MALLINNUKSEN NYKYTILASTA	46

7	SIMULOINNIN KEHITYSTYÖ JA TOIMINTAMALLIT	48
7.1	Kehitystyön merkitys ja lähtökohdat	48
7.1.1	Simuloinnin käyttökohteiden laajentuminen	48
7.1.2	Käyttömahdollisuudet liikennejärjestelmäsuunnittelussa	49
7.1.3	Mallien nykyinen soveltuvuus käyttökohteisiin	53
7.2	Toimintamallit simuloinnin kehitystyössä	55
7.2.1	Toimintamallien muodostamisperusteet	55
7.2.2	Toimintamalli 0+	56
7.2.3	Toimintamalli 1	58
7.2.4	Toimintamalli 2	60
7.2.5	Toimintamalli 3	63
7.3	Toimintamallien arviointi	65
7.4	Kehitysryhmän kokoonpano ja toimintaperiaatteet	67
8	SUOSITUKSET JA JATKOTOIMENPITEET	68
8.1	Ensisijainen suositus: Toimintamalli 1	68
8.2	Toissijainen suositus: Toimintamalli 0+	70
9	LIITTEET	72

1 JOHDANTO

Liikenne- ja tieteknisessä suunnittelussa ja ongelmanratkaisussa mallien hyödyntäminen on yleistä. Eri lähtökohdista tehtyjä malleja/ohjelmistoja on kymmeniä tai jopa satoja. Useimpia näistä malleista on käytetty Suomessa ja osa ohjelmistoista on puhtaasti Suomessa kehitettyjä.

Eri mallien luotettavuus kuvata oikein erilaisia tilanteita vaihtelee ja vaikka tulokset usein päällisin puolin vaikuttavat järkevilta, eivät ne kuitenkaan kestä kriittistä tarkastelua. Syitä voi olla esimerkiksi, että mallia ei ole suunniteltu käytettäväksi kyseessä olleisiin tarkasteluihin, tai että malli on kalibroitu liikenneympäristössä tai –kulttuurissa, joka ei ole samanlainen kuin Suomessa.

Tässä työssä tarkasteluun on otettu liikenteen välityskykymallit sekä liikenteen mikrosimulointimallit. Välityskykymalleilla tarkoitetaan liikenteen toimivuustarkasteluihin ja väyläympäristön suunnittelun fyysisiin yksityiskohtiin tarkoitettuja apuvälineitä, jotka perustuvat liikennevirran ominaisuuksien (liikennemäärät ja koostumus) ja fyysisen ympäristön (geometria ja kapasiteetti) muuttujiin: maankäytön ja liikenteen kysynnän välistä yhteyttä kuvaavia kysyntä- ja kysynnän sijoittelumalleja ei olla tarkasteltu, vaikka myös ne tuottavat makrotason liikenteellisiä tunnuslukuja. Sijoittelumalleja on sivuttu mikrosimulointimallien yhteydessä ja niiden näkökannalta, koska osa nykyisistä mikrosimulointimalleista sisältää reitinvalinta- ja sijoittelualgoritmeja.

Työn tavoitteita ovat mm.:

- Selvittää erilaisten mallien ja ohjelmistojen käytön laajuutta, tarvetta ja potentiaalisia kehityssuuntia maailmalla sekä Suomessa.
- Kuvata käytössä olevia mikro- ja makromalleja, vertailla niiden teknisiä ominaisuuksia, sovellusmahdollisuuksia laajuutta sekä käyttökelpoisuutta Suomessa.
- Hahmottaa Tiehallinnon roolia ja toimintamallia liikenteen mallinnuksen käytön ja kehityksen ohjaajana, ja valita Suomen olosuhteisiin soveltuvimmat mallit ja ohjelmistot.
- Hahmottaa lähitulevaisuuden toimenpiteitä liikenteen mallinnuksen kehittämiseksi.

Lisäksi on alustavasti hahmoteltu liikenteen mallinnustekniikoiden soveltuvuutta liikennejärjestelmän suunnittelun eri osa-alueilla ja yksittäisten mallien soveltuvuutta erilaisiin liikenteen toimivuustarkastelujen sovelluskohteisiin.

Erityistä huomiota ollaan kiinnitetty liikenteen mikrosimulointimalleihin, joiden käyttömahdollisuudet ovat laajentuneet ja parantuneet voimakkaasti tietotekniikan salliessa yhä monimutkaisemmat tarkastelut. Välityskykymalleja on tarkasteltu suppeammin, mikä johtuu mallien makroluonteesta. Liikennevirrateoriat, joihin välityskykymallit perustuvat, eivät ole kokeneet vastaavaa muutosta viime vuosina kuten tietokoneperustaiset ja laskentatehoa vaativat mikromallit. Välityskykymalleilla on kuitenkin oma asemansa liikenteen suunnittelussa ja tutkimuksessa. Tätä asemaa ollaan pyritty selkiyttämään suhteessa kehittyneisiin simulointiohjelmistoihin.

Tarkasteluun valittiin neljä Pohjoismaissa yleisesti käytettyä makro- ja neljä mikromallia eli simulointiohjelmaa. Makromallien (CapCal, DanKap, HCM ja VTI) osalta pääasiallinen valintaperuste oli käytön laajuus Suomessa ja Pohjoismaissa. Simulointiohjelmien (AIMSUN, HUTSIM, Paramics ja VIS-SIM) tarkastelun valinnan perusteena oli hypoteesi siitä, että eurooppalaiset mallit ja ohjelmistot vastaavat paremmin suomalaista liikennekulttuuria ja ovat siten esim. yhdysvaltalaisia vastineitaan potentiaalisempia ohjelmistoja Suomen olosuhteiden mallintamiseen. Myös eurooppalaisten käyttäjien määrä vaikuttaa kasvaneen nimenomaan eurooppalaisten ohjelmistojen osalta, mikä tekee niistä yhdysvaltalaisia ohjelmistoja mielenkiintoisemman tarkastelukohteen. Lisäksi tarkasteltiin yhtä yhdysvaltalaista laajalle levinnyttä liikennevalojen suunnitteluohjelmistoa ja siihen liittyvää simulaattoria (Synchro/Simtraffic). Syynä tähän valintaan oli ohjelmiston suuri suosio myös Suomessa.

Työ on tehty kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa selvitettiin mallien tarvetta ja käyttölaajuutta Suomessa, Pohjoismaissa ja maailmalla. Selvityksen perustana olivat kansainvälisen kirjallisuuden katsaus ja suomalaisten liikennetoimijoiden haastattelut. Toisessa osassa suoritettiin valittujen mallien osalta tarkempi tekninen selvitys sekä haastateltiin ohjelmistojen ja mallien toimittajia mahdollisten yhteistyökumppanuuksien selvittämiseksi. Työvaiheiden tulosten perusteella on hahmoteltu Tiehallinnon toimintalinjoja, yhteistyötahoja ja lähitulevaisuuden toimenpiteitä liikenteen mallintamisen kehittämiseksi Suomessa.

2 MALLINNUSSOVELLUKSET SUOMESSA JA MAAILMALLA

2.1 Välityskykymallit

2.1.1 Välityskykymallien tausta

Välityskykymallit ovat erilaisiin laskentakaavoihin ja liikennevirran ominaisuuksiin perustuvia makromalleja, jotka käsittelevät liikennettä yhtenäisenä virtauksena ja ilmiönä erottelematta yksittäisiä ajoneuvoja ja tapahtumia liikennevirrassa. Ero mikrotason liikennemalleihin on se, että mikromallit lähtevät yksittäisten ajoneuvojen ja kuljettajien keskinäisistä sekä liikenneympäristön välisistä vuorovaikutussuhteista. Makromallit käsittelevät liikennevirtaa yhtenäisenä ja jatkuvana ilmiönä, jonka käyttäytyminen on riippuvainen virran ominaisuuksista (ajoneuvomäärä ja -tiheys) ja vallitsevista olosuhteista (geometriset rajoitukset, kaistamäärät, jne.). Välityskykymallit on usein muodostettu virtausmekaniikan differentiaaliyhtälöiden ja erilaisten jonoteorioiden pohjalta.

Välityskykymallien avulla tuotetaan yleisiä ja aggregoituja tarkastelukohdetta kuvaavia arvioita ja ennusteita. Välityskykymallit tuottavat yleensä kapasiteettiin perustuvan kuormitus- tai palvelutasoanalyysin erityyppisistä liittymistä ja tiejaksoista. Malleja käytetään karkean tason suunnittelussa sekä sellaisissa tarkastelukohteissa, joiden tulokset eivät vaadi kovin tarkkoja analyysejä liikenteen todellisesta toimivuudesta. Yleensä välityskykymalleille sopimattomia tarkastelukohteita ovat lähellä kapasiteetin rajoja toimivat liittymä-, tieosuus- ja muut liikenneympäristöt sekä liikenteen ohjauksen ja hallinnan keinojen vaikutukset näiden tilanteiden ratkaisemisessa.

2.1.2 Välityskykymallien historia

1920-luvulla julkaistiin ensimmäiset kapasiteettitutkimuksien tulokset, mutta käytännön kannalta ongelmallista oli, että tuloksista ei ollut olemassa yhtä perusteellista yhteenvetoa, johon tarkastelun tuloksia olisi voitu vertailla. Lähinnä tämän takia ei eri suunnittelijoiden kesken löytynyt yhteisymmärrystä siitä, mikä olisi oikea käytettävä metodi missäkin tilanteessa. Ainoastaan suurimmat visionäärit näkivät tämän ongelmana, sillä liikenneuhkat olivat harvinaisia ja kapasiteettirajoitteisia olosuhteita oli vaikea löytää.

1940-luvun puolivälissä moni johtava liikennesuunnittelija tajusi, että paremmat ja yhtenäiset menetelmät kapasiteetin arvioinnissa tarvittiin, jotta liikennejärjestelmien ohjausta pystyttiin kehittämään. Vuonna 1944 Yhdysvalloissa Highway Research Board (HRB) asetti komitean (Highway Capacity Committee, HCC) tutkimaan asiaa. Komitean alkuperäinen tavoite oli tuottaa dokumentti, jonka perusteella ammatti-ihmiset kykenisivät arvioimaan erityyppisten tiejärjestelmien kapasiteettia.

Komitean työn perusteella HRB julkaisi vuonna 1950 ensimmäisen Highway Capacity Manualin (HCM), josta tuli standardi moottoriväylien kapasiteetti-

laskentoihin Yhdysvalloissa, ja se käännettiin yhdeksälle eri kielelle käytettäväksi eri puolilla maailmaa. Sittemmin HCM:stä on julkaistu useita päivitettyjä versioita. Vuonna 1965 julkaistussa versiossa merkittävimpänä muutoksena oli luopuminen kolmesta kapasiteettiarvosta ja siirtyminen käyttämään palvelutasokonseptia (level of service).

HCM-1985 julkaistiin uudessa formaatissa, jotta yksittäisiä osia voidaan jälkikäteen päivittää säännöllisemmin. Vuonna 1994 päivitettiin HCM:stä 14 lukua, ja seuraava lisäpäivitys julkaistiin vuonna 1998 (HCM-1997). Uusin versio, HCM2000, on julkaistu myös CD-ROM –versiona, joka sisältää multimediatekijäkomponentteja.

2.1.3 Välityskyymallien käyttötarkoitukset ja -laajuus

Liikennetilanteen yleiskuvaa mallintavat välityskyymallit eivät lähestymistavastaan johtuen sovellu yksittäisten tapahtumien kuvaamiseen. Sen sijaan välityskyymallien pääasiallinen käyttökohde on karkean tason toimivuustarkastelut, joissa selvitetään tietyn geometria-, liikenteenohjaus-, tms. suunnitteluratkaisun yleinen toimivuus (välityskyvyn riittävyys) tai vertaillaan kilpailevien toteutusmahdollisuuksien keskinäistä paremmuutta.

Geometrisen ja fyysisen välityskyvyn lisäksi välityskyymalleilla voidaan testata ja suunnitella myös liikenteen ohjauksen yksityiskohtia. Liikenteen ohjauksen sovellusalueista valo-ohjauksen ajoitus on ylivoimaisesti yleisin.

Välityskyymalleja on kehitetty erityyppisiin tarkasteluihin, kuten

- valo-ohjauksiset ja –ohjaamattomat liittymät,
- tieosuudet,
- katuosuudet,
- rampit ja
- sekoittumisalueet.

Välityskyymallien sovellettavuusalue on usein rajoitettu tiettyyn liikennetilanteeseen (esim. yksi liittymä) tai muutaman liikenneinfrastruktuurikomponentin yhdistelmiin (esim. tieosuus, joka sisältää muutaman liittymän). Välityskyymalleilla ei yleensä voida suoraan tarkastella laajempia liikenneverkkoja. Liikenneverkkotarkastelut vaativat useamman makromallin peräkkäistä ja yhtä aikaista käyttöä sekä eri mallien tulosten yhdistämistä. Liikenne voidaan esimerkiksi sijoitella liikenneverkolle yhdellä mallilla, väyläosuudet käsitellä toisella mallilla ja liittymät kolmannella mallilla.

Tällä hetkellä laajimman yhtenäisen mallinnuskokonaisuuden tarjoaa yhdysvaltalainen HCM, joka sisältää mallit kaupunkiliittymistä moottoritieosuuksiin. HCM:n laskentamenetelmiin perustuvia välityskyymalleja on kehitetty myös muualla maailmassa (esimerkiksi tanskalainen DanKap). HCM:n mallit perustuvat yleensä sekä geometriaan että liikennevirran ominaisuuksiin. Muita malleja ovat mm. pohjoismaissa laajasti käytetty liittymien välityskyymalli CapCal, joka perustuu pääosin liittymägeometriaan.

Välityskyymallien ja muiden makromallien käytön laajuus liikennesuunnittelun yhteydessä on arviolta mikromalleja yleisempää, koska ne ovat väylä- ja liittymäsuunnittelun perustyökaluja. Mikromallien yleistyminen on vaatinut

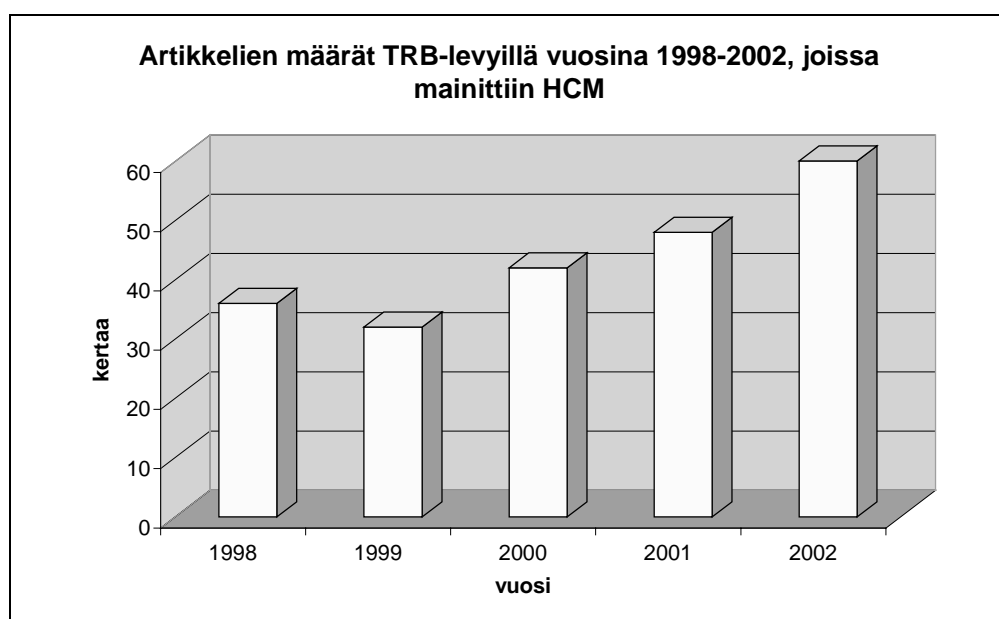
tietotekniikan, erityisesti PC-tietokoneiden, kehittymistä ja yleistymistä. Edelleen makromalleja käytetään laajasti erilaisissa korkean tason suunnitteluratkaisujen tarkasteluissa.

Maailmalla laajimmin käytössä olevat mallit ovat HCM:n mallikokoelmasta. Pohjoismaissa yleisiä välityskykymalleja ovat HCM ja CapCal. Näiden lisäksi käytössä ovat ainakin DanKap (tanskalainen välityskykymalli) ja Synchro (liikennevalosuunnittelun apuväline). Välityskykymallien rinnalla käytetään myös erilaisia liikenteen sijoittelun ja kysynnän makromalleja, joista yleisin on EMME/2. Suomessa välityskykytarkastelut tehdään useimmiten CapCalilla ja HCM-menetelmillä.

2.1.4 Välityskykymallien käyttötrendi

Välityskykymallien käyttötrendiä viime vuosina tutkittiin Transportation Research Board:n (TRB) vuosittain julkaisemien artikkelien määrän avulla. Muilla kuin HCM:n välityskykymalleilla tehdyt tutkimukset rajoittuivat yksittäisiin tutkimuksiin, mikä osoittaa HCM:n johtavan aseman kansainvälisessä välityskykymallien käytössä. Tästä syystä myös välityskykymallien kansainvälinen käyttötrendi vastaa lähinnä HCM:n käytön määrää ja sen kehittymistä.

Kuvassa 1 on esitetty TRB:n HCM-artikkelien määrät vuosina 1998 – 2002. Kuten kuvasta huomataan, on käytön trendi kasvava. TRB-artikkelien kokonaismäärä on vuosina 1998 – 2002 vaihdellut 900 ja 1 200:n välillä. Runsain tarjonta oli vuonna 2002, mikä voi olla osasyynä myös vuoden 2002 HCM-artikkelien määrään. Kasvutrendi on kuitenkin selvä, sillä esimerkiksi vuonna 2000 artikkelien kokonaismäärä oli alimmillaan, ja HCM-artikkelien määrä kasvoi aikaisempiin vuosiin verrattuna. Vuoden 2000 jälkeen HCM:n käytön lisääntymisen eräänä syynä on HCM 2000 –päivitys, joka sisältää ensi kertaa mm. metrijärjestelmän.



Kuva 1. TRB:n vuosien 1998–2002 seminaarijulkaisujen artikkelien määrät, joissa on mainittu HCM.

2.2 Simulointiohjelmat

2.2.1 Mikrosimulointi menetelmänä

Simuloinnilla tarkoitetaan jonkin tosielämän ilmiön, tapahtuman tai tapahtumaketjun matemaattista mallintamista. Perusjakoina voidaan pitää mallien jakamista mikroskooppisiin, mesoskooppisiin ja makroskooppisiin malleihin, sekä jatkuviin ja diskreetteihin malleihin. Ilmiötä voidaan mallintaa keskimääräisten arvojen ja muuttujien avulla (makrotason simulointi) tai yksityiskohtaisesti ilmiöön vaikuttavien osapuolien, niiden keskinäisten vuorovaikutussuhteiden ja käyttäytymismallien avulla (mikrosimulointi). Mesoskooppisessa simuloinnissa käytetään mikro- ja makrotason menetelmiä, kuten käyttäytymis- ja liikennevirtamalleja. Jatkuviissa malleissa kaikki ilmiöön liittyvät vuorovaikutussuhteet ja tapahtumaketjut mallinnetaan ajan ja paikan suhteen jatkuvina. Diskreeteissä malleissa, kuten soluautomaateissa, varsinkin paikka on usein jaettu erillisiin osiin, joiden välillä tarkasteltavan kohteen sijainti vaihtelee epäjatkuvasti ns. 'hyppäyksiin'. Simulointiohjelmat voidaan luokitella myös tutkittavan liikennetilanteen mukaan: mallit voidaan erotella liittymän, tieosuuden ja liikenneverkon simulointeihin.

Liikenteen mikrosimulointi on menetelmä, joka perustuu yksittäisten ajoneuvojen dynamiikkaan ja vuorovaikutuksiin. Mikrosimuloinnissa ajoneuvot kiihdyttävät, hidastavat, pysähtyvät liikennevaloihin ja vaihtavat kaistaa samoin kuin ne todellisuudessa tekevät. Pohjimmiltaan toiminta perustuu ajoneuvon / kuljettajan toimintaa kuvaaviin osamalleihin ja niissä oleviin matemaattisiin yhtälöihin. Mikrosimulointimalli on siis mahdollisimman yksityiskohtainen kuva todellisuuden dynaamisesta tapahtumaketjusta.

Olennaista simuloinnissa on tarkastelun dynaamisuus. Tarkasteltava ilmiö mallinnetaan ajan funktiona. Kutakin ajoneuvoa seurataan sen lähtöpisteestä määränpäähän. Matkalla ajoneuvo saattaa esimerkiksi pysähtyä liikennevaloihin tai ohittaa edellään kulkevan kuorma-auton. Mikäli liikennetilanne on ruuhkainen, ei ajoneuvo välttämättä pystykään ohittamaan hitaampaa ajoneuvoa, vaan se joutuu tahtomattaan ajamaan sen perässä.

2.2.2 Simulointiohjelmien historia

Simulointiohjelmien historia ulottuu 1950-luvulle, jolloin analogisten tietokoneiden käyttö yleistyi sotilaskäytön ulkopuolella. Ensimmäiset simulointiohjelmat olivat varsin suurpiirteisiä, yleistäviä ja ne perustuivat raskaisiin matemaattisiin kaavoihin, joiden avulla yritettiin hallita liikenteen kokonaiskuva. Liikenteen simulointi oli tuohon aikaan lähinnä makrosimulointia.

Simulointiohjelmien kehitys simuloinnin alkua ajoilta nykypäivään on ollut valtavaa. Osaltaan kehitys selittyy tietokoneteknologian ja ohjelmointityökalujen kehittymisellä, mutta myös liikennetutkimus ja -insinööritaidot ovat kehittyneet kuluneen 50 vuoden aikana.

Eräs vanhimmista ja parhaiten tunnetuimmista simulointitapauksista teoreettisissa tutkimuksissa on General Motorsin (GM) malleihin perustuva auton seuraamismallinnus, jossa differentiaaliyhtälöt määrittelevät ajoneuvojen liikkeitä jonossa. Auton seuraamiskäyttäytyminen, kuten liittymäanalyysikin, on yksi peruskysymyksistä liikennevirtateoriassa ja –simuloinnissa ja on edel-

leenkin aktiivisen analysoinnin kohteena lähes 40 vuoden jälkeen ensimmäisistä tutkimuksista. Simuloinnit katu- ja tieliikenteen osalta liittyvät perinteisesti liikennevirtaan ja sen mukana yleensä liikennejärjestelmien kapasiteetti- ja toimivuustarkasteluihin.

Useimmat nykyisistä liikenteen simulointiohjelmista perustuvat ajoneuvoajoneuvo ja ajoneuvo-liikenneympäristö –vuorovaikutuksiin ja ovat luonteeltaan mikroskooppisia, eli yksittäisen kuljettaja-ajoneuvo –yhdistelmän reagointi ja käyttäytyminen on mallinnettu eri liikennetilanteissa. Liikenteen simulointi on yksi harvoista aloista, jossa on käytetty myös makroskooppista simulointia. Makroskooppisessa simuloinnissa ei lähdetä yksittäisestä ajoneuvosta ja sen käyttäytymisestä, vaan liikennetilanne kuvataan liikennevirran yleisten ominaisuuksien ja aggregoitujen muuttujien avulla. Useimmat makroskooppisista sovelluksista ovat peräisin 60-luvun loppupuolelta tai 70-luvun alusta. Brittiläinen TRANSYT ja amerikkalaiset FREQ ja FREFLO ovat esimerkkejä makroskooppisista ohjelmista. Mesoskooppinen lähtökohta on käytössä CONTRAM-ohjelmassa, joka analysoi katuverkkoja, joissa on sekä valo-ohjauksisia että valo-ohjaamattomia liittymiä.

Simulointisovellukset ovat kehityskaarensa aikana kasvaneet kokonsa ja teknisten vaatimustensa suhteen, sillä trendinä on ollut siirtyä paikallisista tai yhden tyyppin kattavista sovelluksista liikenneverkoston kattaviin järjestelmiin, joissa usean tyyppiset sovellukset on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi. Toinen trendi, joka kasvattaa ohjelmien kokoa on siirtyminen kohti yhä tarkempaa tie- ja katu ympäristön mallintamista. Tämä kehityssuunta on hyvin nähtävissä erityisesti paikallisissa sovelluksissa, kuten liittymien simuloinneissa.

Moderneissa simulointisovelluksissa on yhä useammin käytetty rinnakkaista laskentaa, jossa esimerkiksi useita mikrotietokoneita on yhdistetty paikallisen tietoverkon kautta. Rinnakkaisen laskennan ohella moderneilla ohjelmointiperiaatteilla ja -metodeilla on oma vaikutuksensa simulointiin. Olio-ohjelmointi on todettu erittäin hyvin soveltuvaksi mallintamiseen, jossa tapahtuu suuria määriä rinnakkaisia vuorovaikutuksia, kuten liikenteessä. Objektit tai agentit voidaan ohjelmoida vaikuttamaan toisiinsa hyvin luonnollisella tavalla, jolloin saadaan aikaan liikennevirran käyttäytymiselle tarkkoja malleja.

Perinteiset liikennevirran kuvaukset perustuvat jatkuviin nopeuden ja välimatkan muuttujiin. Monet uudet mallit, kuten amerikkalainen TRANSIMS, käyttävät kuitenkin diskreettiä lähtökohtaa, missä katu- ja tieverkot on rakennettu elementeistä, jotka voivat sisältää ainoastaan yhden auton aikayksikössä. Näissä ns. soluautomaateissa ajoneuvot liikkuvat "hyppäämällä" elementistä toiseen sääntöjen avulla, jotka kuvaavat kuljettajien käyttäytymistä ja säilyttävät fysiikan peruslait ajoneuvon liikkeissä.

2.2.3 Simulointiohjelmien käyttötarkoitukset ja -laajuus

Mikrosimulointi soveltuu erinomaisesti valo-ohjauksen ja muiden liikenteen ohjausmenetelmien toimivuuden arviointimenetelmäksi. Perinteisessä kiinteässä valo-ohjauksessa ainoastaan liikenne reagoi valoihin: liikennetieto-ohjauksessa liikennevalot reagoivat myös liikenteeseen, mikä tekee liikennetieto-ohjauksen mallinnuksesta makrotasolla vaikeaa. Mikrosimuloinnissa

ohjauskojeen reaktioiden mallintaminen ajokäyttäytymisen lisäksi mahdollistaa tarkemmat ja luotettavammat toimivuusarviot. Simulointisovelluksia onkin kehitetty erityisesti liikennetieto-ohjauksisten liikennevalojen toimintaan, yhteenkytkentään, joukkoliikenne-etuuksiin sekä ramppiohjaukseen. Myös ruuhkien ja liikennehäiriöiden mallintamista pidetään tärkeänä.

Useimmat kaupunkien liikenneongelmista syntyvät liikenneverkon eri osien toiminnan yhteisvaikutuksena, eikä liikenneverkon toimivuutta voida arvioida kokonaisuutena yksittäisten osien erillisin mallein. Verkoissa yhdistyvät monenlaiset liittymät (valo-ohjauksiset ja -ohjaamattomat) ja linkit (päätiät, moottoritiet, kadut). Tämä tekee verkostojen simuloinnista monimutkaista, ja tästä johtuen kokonaisvaltaisia liikenneverkostojen simulointiohjelmaa on vähän verrattuna ohjelmiin, jotka simuloivat yksittäisiä liittymiä tai tieosuuksia. Luultavasti tunnetuin verkostoihin soveltuvia simulointiohjelmaa on yhdysvaltalainen NETSIM 70-luvulta. Myöhemmin kehitettyjä ohjelmia ovat INTEGRATION ja AIMSUN2.

Simuloinnin erityisalueita ovat kehittyneiden liikenneinformaatio- ja ohjausjärjestelmien vaikutukset ja kysynnän sekä liikenteen sijoittelun arvioiminen. Ohjausjärjestelmien simuloiminen yhtenä liikenneoperaatioiden osana on myös tulossa yhä tärkeämmäksi telematiikan alalla tapahtuvan tutkimustyön mukana. Erityisen tärkeänä kuljettajien käyttäytymiseen liittyvänä ominaisuutena voidaan pitää reitinvalintapäätöstä, jota tulee voida käsitellä dynaamisesti.

EU:n 4. Puiteohjelmaan kuuluneen, olemassa olevien simulointiohjelmien ominaisuuksia selvittäneen SMARTEST-projektin (1997-1999) mukaan mikrosimulointia käytetään usein lyhyen aikavälin tarkasteluihin. Analyyseja tehdään hankkeista, joiden aikajänne sijoittuu nykytilanteesta viiteen vuoteen. Mikrosimulointia käytetään yleensä yksittäisten liittymien sekä tiejaksojen tarkasteluun, mutta myös kaupunkien katuverkot ovat yksi mikrosimuloinnin käyttökohteita. Alueelliset tarkastelut sen sijaan tehdään usein makroskooppisilla ohjelmilla, kuten EMME/2:lla tai SATURN-ohjelmalla.

Tärkeimpinä mallin toimivuuskriteerinä pidetään matka-aikaa, ruuhkautumista, matka-ajan vaihteluita, jononpituuksia sekä pysähdysten lukumäärää. Ympäristön kannalta mikrosimuloinnin tärkeimmät tulokset ovat päästöt ja polttoaineen kulutus. Ihmisen matkustusmukavuuden tai turvallisuuden tutkimiseen mikrosimulointia ei SMARTEST-projektin mukaan voida pitää mielekkäänä. Toisaalta erityisesti turvallisuussimuloinnin kehitykseen on tieteellisessä tutkimuksessa viime vuosina panostettu, ja mahdollisuudet sillä alalla ovat parantuneet. Liikenneturvallisuustarkasteluihin on pyritty kehittämään simulointimenetelmiä, jotka perustuvat konfliktitilanteiden, kuten hätäjarrutusten, tunnistamiseen.

Useiden vuosien kehitystyön jälkeen nykyiset simulointiohjelmat ovat jo varsin monipuolisia kokonaisuuksia, jotka tarjoavat lukuisia erilaisia mallintamismahdollisuuksia saman sovelluksen sisällä. Joskus käyttöaluetta rajoittavaksi tekijäksi voidaan jopa sanoa liikennetutkijoiden mielikuvitusta työkalun puutteen sijasta.

SMARTEST -projektissa suoritettiin kysely koskien simulointiohjelmien käyttöä, johon vastasi yhteensä 51 eri tahoa 13 eri maasta. Vastanneista noin puolet olivat tutkimuslaitoksia, neljännes tieviranomaisia ja loput kon-

sultteja tai muita yksityisiä toimijoita. Vastaajat olivat hyvin harjaantuneita simulointiohjelmien suhteen. Puolet vastanneista olivat mallien kehittäjiä. Noin kolme neljäsosaa vastanneista olivat käyttäneet simulointiohjelmiä yhdessä tai useammassa sovelluksessa, ja vain kolmella ei ollut mitään kokemusta simuloinnista.

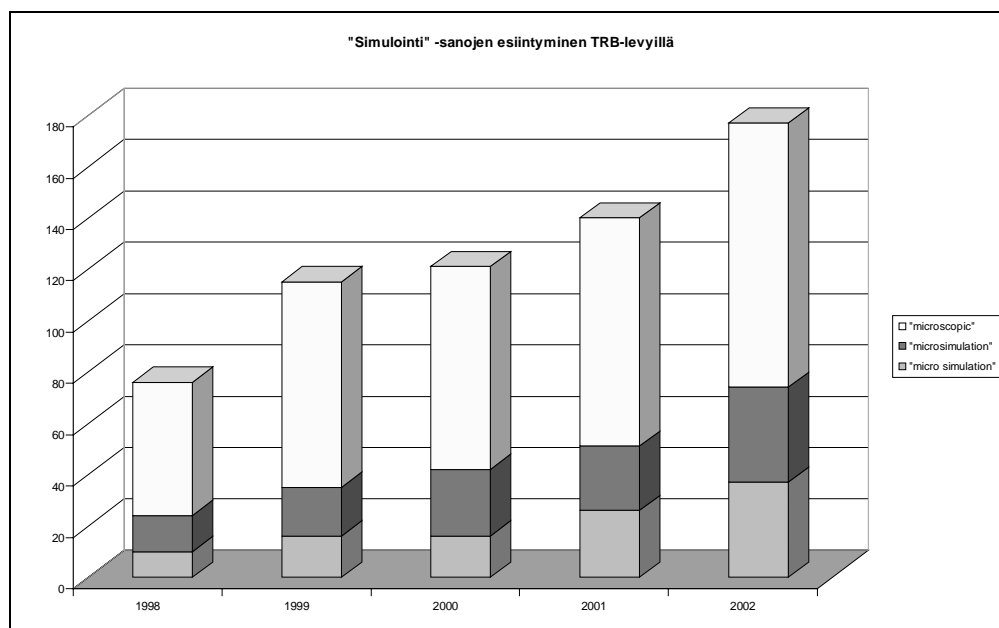
Noin puolet vastaajista piti mikrosimulointimalleja välttämättömänä välineenä liikennetilanteita analysoitaessa. Taulukossa 1 on esitetty vastaajien simulointimallien nykyinen ja potentiaalinen tuleva käyttö. Taulukosta huomataan, että yli 80 % vastaajista käyttää simulointia ohjausstrategioiden suunnitteluun ja testaamiseen. Toiseksi yleisin käyttökohde on suuren mittakaavan suunnitelmien arviointi.

Taulukko 1. Simulointiohjelmien nykyinen käyttö ja potentiaalinen tuleva käyttö. (SMARTEST)

Käyttökohde	mallien nykyinen käyttö	tuleva mikrosimulointiin käyttö
On-line liikenteenhallinta	8	14
Ohjausstrategioiden suunnittelu ja testaus	37	37
Suuren mittakaavan suunnitelmien arviointi	20	19
Tuotteen suorituskyvyn arviointi	9	14
Muut käyttökohteet	13	10

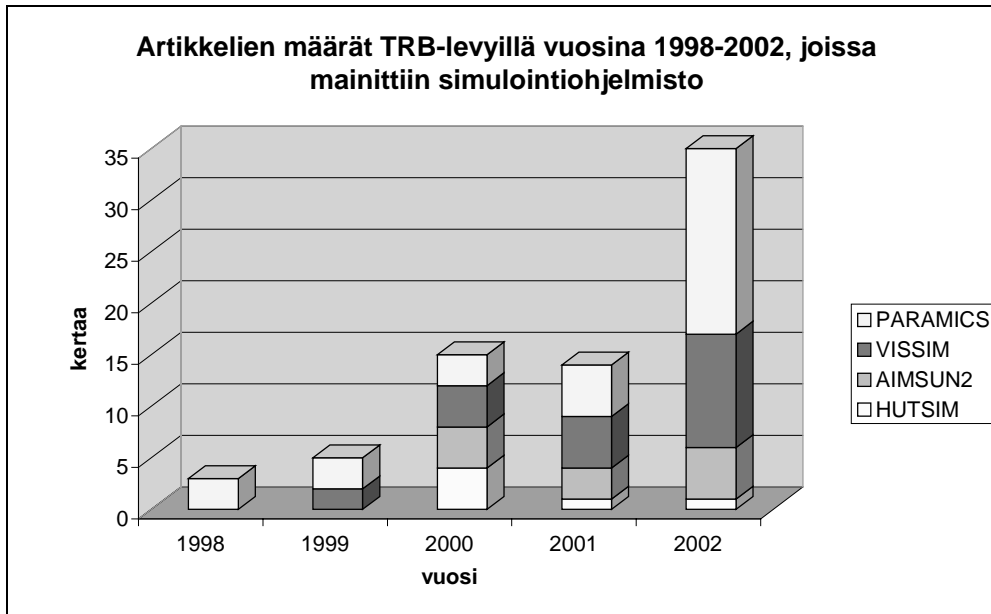
2.2.4 Simulointiohjelmien käyttötrendi

Simulointiohjelmien käyttötrendejä tutkittiin samalla periaatteella kuin välityskymallien kohdalla (Katso luku 2.1.4). Kuvassa 2 on esitetty vuosien 1998-2002 TRB-seminaariartikkelien lukumäärät, joissa esiintyy mikrosimulointiin liittyvä sana "microsimulation", "micro simulation" tai "microscopic".



Kuva 2. Vuosina 1998-2002 julkaistut TRB-seminaariartikkelit, joissa on mainittu joku sanoista "microsimulation", "micro simulation" tai "microscopic". TRB-artikkelin kokonaismäärä on vuosina 1998 – 2002 vaihdellut 90 ja 1 200:n välillä. Eniten artikkeleja oli vuonna 2002.

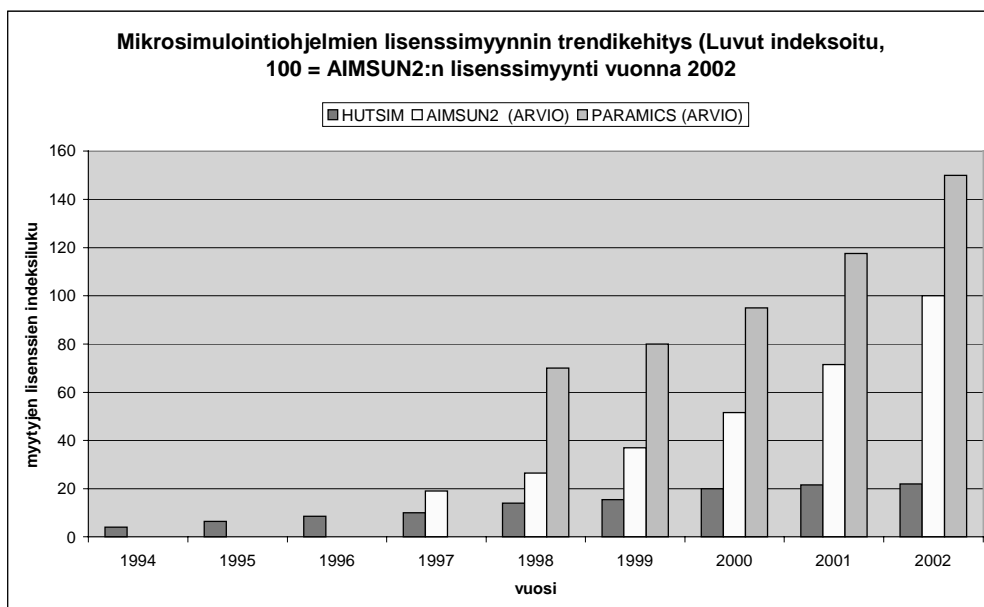
Mikrosimuloinnin trendiä tutkittiin myös etsimällä TRB-seminaarijulkaisuista ne artikkelit, joissa on mainittu nimeltä joku mikrosimulointiohjelmistoista. Kuvassa 3 on esitetty niiden artikkelien määrät, joissa on mainittu joku seuraavista eurooppalaisista malleista: AIMSUN2, HUTSIM, Paramics tai VISSIM.



Kuva 3. Niiden artikkelien määrät TRB-levyillä vuosina 1998-2002, joissa on mainittu joku simulointimalleista AIMSUN2, HUTSIM, Paramics tai VISSIM.

Kuvista 2 ja 3 voidaan päätellä, että mikrosimuloinnin käytön trendi on ollut vuosina 1998-2002 selvästi kasvava. Vuoden 2002 osalta on huomattava, että silloin myös artikkelien kokonaismäärä oli suurimmillaan.

Kuvasta 4 nähdään HUTSIMin, AIMSUN2:n ja Paramicsin lisenssimyymtimäärien kehitys vuosien 1994 ja 2002 välisenä aikana. Paramicsin ja AIMSUN2:n kohdalla luvut ovat lisenssimyymtien esittämiä arvioita. Myös kuva 4 tukee käsitystä mikrosimulointiohjelmien käytön kasvavasta trendistä. Huomattavaa on, että HUTSIMin lisenssimyymti ei ole viime vuosina kasvanut samassa tahdissa kuin AIMSUN2:n ja Paramicsin.



Kuva 4. Ohjelmistotoimittajien ilmoittama mikrosimulointiohjelmien lisenssimyymtimäärien kehitys (Luvut on indeksoitu, AIMSUNin ja Paramicsin osalta myyntimäärät on arvioitu toimittajan ilmoittaman vuoden 2002 lisenssimäärän ja vuosikasvun perusteella).

3 LIIKENTEEN MALLINNUKSEN KÄYTTÖ JA TARVE

3.1 Tutkimusmenetelmä

Muihin pohjoismaihin lähetetyissä kyselyissä tiedusteltiin käytössä olevia liikenteen mallinnusohjelmistoja, käytön laajuutta ja koordinointia, käyttökohteita, kokemuksia ja kehitystarpeita. Suomalaisille simuloinnin käyttäjille tai potentiaalisille käyttäjille lähetetyssä kyselyssä keskityttiin nykyisten ja tulevien käyttötarpeiden kartoitukseen.

Kolmisivuinen, Pohjoismaita koskeva käyttölaajuusselvitys, lähetettiin sähköpostitse Ruotsin, Norjan ja Tanskan simuloinnin asiantuntijoille. Kyselylomake on esitetty *liitteessä 1* suomenkielisenä. Otoskoko oli melko pieni: vastauksia saatiin kuudelta asiantuntijalta kuudesta eri organisaatiosta, joita olivat:

- Vägverket Sverige, Ruotsi
- Kungl Tekniska Högskolan (KTH), Avdelningen för trafik och logistik, Ruotsi
- Lunds Tekniska Högskola, Ruotsi
- Vejdirektoratet, Köpenhamn, Tanska
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Samferdsel, Norja
- Stiftelsen for industriell og teknisk forskning (SINTEF), Veg og samferdsel, Norja

Suomalaisessa kyselytutkimuksessa kysely lähetettiin erikseen valituille Tiehallinnon, suurten kaupunkien, YTV:n ja Teknillisen korkeakoulun liikenneinsinööreille, -suunnittelijoille ja -tutkijoille, joiden työtehtävissä tai päätöksenteon vastuualueilla simulointia voidaan käyttää apuna. Kysely suoritettiin siten, että kaupunki- ja tieliikenteen, liikenteen ohjauksen ja hallinnan ja/tai simuloinnin hallitseville em. organisaatioiden edustajille lähetettiin etukäteen tutustuttavaksi aineistoa, joka jäsenteli aihetta ja toimi siten tulevan haastattelutapahtuman taustamateriaalina. Tämän jälkeen asiantuntijat haastateltiin joko puhelimitse tai henkilökohtaisessa tapaamisessa. *Liitteessä 2* on esitetty haastattelun tueksi jaettu arviointilomake. Kyselytutkimukseen vastasi yhteensä 15 asiantuntijaa, joista 7 edusti Tiehallintoa.

3.2 Mallinnus Pohjoismaissa

3.2.1 Käytössä olevat ohjelmat ja niiden ominaisuudet

Tanskassa ei kyselyn perusteella ole käytetty lainkaan simulointiohjelmia. Norjassa puolestaan oli käytetty kaikkia kyselyssä mainittuja simulointiohjelmia pois lukien DRACULA. Lisäksi Norjassa on käytetty lukuisia muita simulointiohjelmia (mm. CORSIM, Sidra, Arcady, Picady ja Oscady). Ruotsissa on käytetty kyselyssä mainituista simulointiohjelmista HUTSIMia, AIM-SUN2:a ja VISSIMiä ja lisäksi CONTRAMia. DRACULAA ei oltu käytetty missään vastanneista organisaatioista.

Välityskykymalleista CapCalia olivat käyttäneet kaikki vastanneet organisaatiot. HCM:ia ja Ruotsin Statens väg- och trafikinstitutissa kehitettyä liikennemallia (VTI-malli) oli kumpaakin käytetty kolmessa organisaatiossa ja DanKapia ainoastaan Tanskassa.

HUTSIM ja Paramics ovat vastaajien mielestä teknisiltä ominaisuuksiltaan hyviä, mutta käytettävyydeltään heikkoja. AIMSUN2 ja VISSIM ovat puolestaan sekä käytettävyyden että teknisten ominaisuuksien osalta hyviä.

CapCal on kaikkien vastaajien mielestä teknisiltä ominaisuuksiltaan keskinertainen, mutta käytettävyyden osalta arviot ovat jakautuneet selvästi ruotsalaisten ja muiden vastaajien välillä. Ruotsalaisten vastaajien mielestä CapCal on käytettävyydeltään erinomainen, mutta tanskalaisten ja norjalaisten mielestä sen käytettävyys on heikko. Ero johtuu luultavasti siitä, että ruotsalaiset ovat käyttäneet CapCalia huomattavasti muita enemmän ja näin ollen tottuneet ohjelman käyttöliittymään.

VTI-malli on vastaajien mielestä käytettävyydeltään heikko, mutta teknisiltä ominaisuuksiltaan hyvä. DanKapia pidetään molempien ominaisuuksien osalta keskinkertaisena ja HCM:ää teknisiltä ominaisuuksiltaan keskinkertaisena tai hyvänä ja käytettävyydeltään hyvänä.

Kysyttäessä hyvistä tai huonoista kokemuksista ohjelmistojen käytöstä eri käyttötilanteissa oli vastaajilla verkkoanalyysissä hyviä kokemuksia eniten Contramista. 2-kaistaisien teiden kohdalla hyviä kokemuksia oli VTI-mallista ja liittymien kapasiteetti- ja palvelutaseanalyysien osalta CapCalista. Huonoja kokemuksia ei vastaajilta löytynyt kuin EMME/2:n käytöstä verkkoanalyysissä ja CORSIMin käytöstä kapasiteetti- ja palvelutaseanalyysissä.

Kaikissa vastanneissa maissa on valtakunnallisessa suunnittelussa suosittu jonkun erityisen ohjelmiston käyttöä määrätyissä tarkasteluissa. Ruotsissa ja Tanskassa käyttöä koordinoi Tielaitos ja Norjassa tutkimuslaitos/yliopisto.

3.2.2 Kehitystarpeet

Ruotsin tielaitoksen kokemusten mukaan on hyvin vaikeaa luoda ja ylläpitää tietotaitoa riittävällä tasolla edistyneiden simulointiohjelmien normaalilla käytöllä. Toisaalta tietotaidon täydelliseen ylläpitämiseen nähdään melko harvoin tarvetta. Simulointiohjelmat pääsevät heidän mukaan paremmin oikeuksiin kehitys- ja tutkimusprojekteissa, ja normaaleissa suunnittelusoveluksissa niitä käytetään enemmänkin animointiin ja ongelmakohtien visualisointiin.

Kun vastaajilta kysyttiin, mitä ohjelmistoja he suosittelisivat kehitettäväksi eteenpäin, olivat norjalaiset sitä mieltä, että simulointiohjelmista pitäisi kehittää eteenpäin kaikkia kyselyssä mainittuja ohjelmia (*liite 1*). Muista simulointiohjelmistoista jatkokehitystä suositeltiin Sidralle ja CORSIMille. Norjalaisten ja tanskalaisten mielestä CapCalia ei kannata kehittää eteenpäin, vaan norjalaiset suosittelivat VTI:tä ja tanskalaiset DanKapia ja HCM:ää kehitettäväksi eteenpäin.

Ruotsalaisten mielestä välityskykymalleista CapCalia kannattaa kehittää eteenpäin. KTH:n mielestä CapCalin lisäksi kannattaa kehittää VTI:tä ja HUTSIMia.

Parempia simulointiohjelmistoja toivottiin erityisesti liittymien kapasiteetti- ja palvelutasoanalyysiin ja verkkoanalyysiin.

3.3 Liikenteen mikrosimuloinnin tarve Suomessa

Suomalaisille mikrosimuloinnin nykyisille ja potentiaalisille käyttäjille tehty kysely on esitetty liitteessä 2. Tuloksista voidaan yleisenä havaintona mainita vastaajaorganisaation vaikutus vastauksiin. Jokaisella vastaajataholla on hieman toisistaan poikkeavat intressit, mikä näkyy vertailtaessa Tiehallinnon ja muiden organisaatioiden vastausten keskihajontoja keskenään. Tiehallinnon vastaukset olivat kautta linjan yhtenäisemmät kuin muiden vastaajien, jotka kuuluivat useampaan eri organisaatioon.

Toisaalta Tiehallinnon ja muiden organisaatioiden keskimääräisissä simulointikohteiden tärkeysjärjestyksissä ei ollut suuria eroja, vaan kyselyn tulokset osoittavat, että koko liikennealalla vallitsee varsin yhtenäinen käsitys simuloinnin tarpeellisuudesta. Keskimääräiset tärkeysarviot olivat samanlaisia, ja koko materiaalista laskettu tärkeysarvosana oli sekä Tiehallinnon että muiden vastaajien osalta sama, 3,4 (maksimiarvosana 5).

Taulukossa 2 on esitetty kyselyn vastaukset tutkimuskohteen tarkastelutason tarkkuuden mukaan järjestettynä.

Taulukko 2. Simuloinnin tärkeys suomalaisten käyttäjien mielestä eri tarkkuustasoilla.

Simuloinnin tarkkuustaso	Tiehallinto		Muut	
	Keskiarvo (asteikko 1–5)	Keskihajonta keskimäärin	Keskiarvo (asteikko 1–5)	Keskihajonta keskimäärin
Systeemitaso	3,2	1,1	3,1	1,6
Poikkileikkaustaso	2,9	1,3	3,1	1,5
Tiejakso	3,3	1,3	3,6	1,4
Reittitaso	3,6	1,1	3,5	1,6
Liittymätaso	4,2	0,9	4,1	1,0
Vastaukset keskimäärin	3,4	1,1	3,4	1,4

Kyselyn mukaan tärkeimmäksi mikrosimuloinnin käyttötasoksi katsottiin liittymien simulointi. Yleisesti simuloinnin tärkeys painottui yksityiskohtaisiin tarkasteluihin samalla kun järjestelmätason tarkasteluissa simuloinnin hyväksikäytöllä katsottiin olevan vähäisempi merkitys. Kuitenkin myös systeemitason tarkasteluissa simulointia pidettiin hyvänä menetelmänä (koko materiaalin keskiarvo 3,1/5).

Liittymien simuloinnin tärkeydestä vastaajat olivat kaikkein yksimielisimpiä: liittymien simulointi sai keskimääräiseksi tärkeysarvosanaksi Tiehallinnon vastaajilta 4,2/5 ja muilta vastaajilta 4,1/5. Yksimielisyyttä kuvastaa myös se, että vastausten keskihajonta oli näiden vastausten osalta pienin (keskimäärin Tiehallinnon vastauksissa 0,9 ja muiden vastauksissa 1,0).

Poikkileikkaustason simulointitarkastelut katsottiin muita merkityksettömämmiksi, mikä johtunee osittain siitä, että poikkileikkaustarkasteluissa voidaan soveltaa myös makromenetelmiä.

Kaikkien vastausten keskiarvon mukaan simuloinnin käyttötarpeet eri suunnitteluvaiheissa olivat linjassa käytön tarkkuustasoa koskeneiden vastausten kanssa: eniten potentiaalia simuloinnilla katsottiin olevan työnaikaisten järjestelyjen testauksessa (3,5) ja tiesuunnittelussa (3,5). Esisuunnittelussa simulointi sai tärkeysarvosanan 3,3. Keskiarvona potentiaalinen käyttötarve ei siis vaihdellut merkittävästi eri suunnitteluvaiheiden kesken. Vastaajien mielipiteet simuloinnin tärkeydestä eri suunnitteluvaiheissa on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Simuloinnin tärkeys suomalaisten käyttäjien mielestä eri suunnitteluvaiheissa.

Simuloinnin tarkkuustaso	Tiehallinto		Muut	
	Keskiarvo (asteikko 1–5)	Keskihajonta keskimäärin	Keskiarvo (asteikko 1–5)	Keskihajonta keskimäärin
Esisuunnittelu	3,6	1,0	3,0	1,7
Tiesuunnittelu	3,0	1,3	3,9	1,0
Työn aikaiset järj.	3,6	1,2	3,3	1,6
Vastaukset keskimäärin	3,4	1,1	3,4	1,4

Tiesuunnitelmavaiheessa simuloinnin käyttötarve katsottiin erilaiseksi eri vastaajatahojen kesken. Tiehallinnon vastaajien mielestä tiesuunnitelmavaiheen simulointitarve oli huomattavasti muita vastaajia pienempi. Muut vastaajaorganisaatiot olivat myös yksimielisempiä simuloinnin tärkeydestä tiesuunnitteluvaiheessa. Vaikka yleisesti ottaen Tiehallinnon vastausten hajonta oli muita tahoja pienempi, tässä kysymyksessä tilanne oli päinvastainen. Tiehallinnon osalta tulos kuvanee simuloinnin merkityksen sijasta ainakin osittain myös Tiehallinnon roolia eri suunnitelmavaiheessa, mikä vaikuttaa simuloinnin tärkeysarvioihin. Tuloksen vaikuttanee myös se, että kaupunkien edustajien vastauksissa tiesuunnitelma voidaan mieltää katusuunnitelmaksi, jossa esim. kaupunkikeskustojen ruuhkien, liittymien, valohjauksen ja muiden simuloinnille otollisten suunnittelukohteiden asema on tiesuunnitelmia keskeisempi.

Yksittäisistä tarkastelukohteista tärkeimmiksi sovelluskohteiksi katsottiin

- liittymätasolla jononpituudet, odotusajat ja pysähtyvien osuudet (Tiehallinnon tärkeysarvio 4,2, muiden 4,1–4,3),
- tie- ja reittiosuuksilla matka-ajat ja -nopeudet (Tiehallinnon tärkeysarvio 3,5–3,7, muiden 3,4–3,7) ja
- liikennejärjestelmätasolla matka-ajat, -nopeudet ja viivytykset (Tiehallinnon tärkeysarvio 3,4–3,6, muiden 3,3–3,6).

Yleisesti simulointia tarvitaan perinteisten suureiden, kuten matka-aikojen ja nopeuksien (ja samalla viivytysten) arviointeihin (arvosanat keskimäärin selvästi yli 3). Yllättävää tuloksissa oli se, että sekä Tiehallinto että muut organisaatiot katsoivat polttoainekulutus- ja päästösimulointien merkityksen keskimäärin muita tarkasteluja vähäisemmäksi (arvosana keskimäärin alle 3).

Tämä selittynee sillä, että liikenteen perinteiset mittauskohteet katsotaan tärkeiksi kaikilla tarkastelu- ja suunnittelutasoilla, kun taas ympäristölliset tarkastelut kuuluvat järjestelmätasolle ja esisuunnittelutason ratkaisuihin. Näillä tasoilla polttoaine- ja päästösimuloinnit saivat kohtuullisen tärkeysarvion (Tiehallinto n. 3,4, muut n. 3,1), mutta edelleen pienemmän kuin 'perinteisissä' tarkastelukohteissa.

Perinteisten tarkastelukohteiden simulointitarpeista ollaan myös jonkin verran päästö- ja polttoainesimulointien tarvearvioita yksimielisimpiä sekä Tiehallinnon että muiden vastauksissa. Keskihajonnat ovat perinteisiä tarkastelukohteita koskevissa vastauksissa hieman muita vastauksia pienemmät. Toisaalta ero on pieni: matka-aikoja ja nopeuksia koskevien vastausten keskihajonta oli noin 1,2 (Tieh. 1,1/muut 1,4) ja polttoaine- ja päästövastausten 1,3 (Tieh. 1,2/muut 1,5). Osittain tulos kuvanee myös sitä, että vastaajat eivät välttämättä näe kaikkia simuloinnin soveltamismahdollisuuksia, koska he ovat tottuneet tilaamaan simulointitutkimuksia tai käyttämään simulointia vain tietyissä käyttökohteissa.

Tulosten luotettavuus kärsii siitä, ettei nykyisten simulointiohjelmistojen koko sovellusalueen laajuutta välttämättä tunneta. Suurimman osan vastaajista ollessa tilaajaosapuolen edustajia voi vastaajien käytännön kokemus ja tieto liikennesimulaattorien käytöstä ja käyttömahdollisuuksista vaihdella suuresti, mikä vaikeuttaa yksiselitteisten johtopäätösten tekoa vastausten perusteella. Myös eri suunnitelmatasoja kuvaava käsitteistö voidaan eri tahoilla ymmärtää eri tavoin.

4 VÄLITYSKYKYMALLIEN VERTAILU

4.1 Vertailuohjelmistojen perustiedot

Suomalaisen ja pohjoismaalaisen kyselyn vastauksien perusteella välityskymallien tarkastelu rajattiin muutaman Pohjoismaissa yleisesti käytössä olevaan välityskyklaskentamenetelmään. Näiden menetelmien perustietoja on esitetty alla. Kaikista vertailuista laskentamalleista on olemassa myös tietokonepohjaiset laskentaohjelmat, joiden perusteella laskentamallien käytettävyyttä on arvioitu. *Liitteissä 3-6* on esitetty ohjelmakortit valituista välityskymalleista.

Välityskymallit on käsitelty tässä työssä suppeammin kuin mikrosimulointimallit, koska tietämys välityskymalleista ja niiden käyttöominaisuuksista on nykyään melko hyvällä tasolla, ja välityskymalleja on viime aikoina tarkasteltu laajasti myös muissa Tiehallinnon selvityksissä.

CapCal on Ruotsin tielaitoksen kehittämä laskentamalli, josta on tehty tietokonesovellus. Ohjelmiston pääsovellusalue on valo-ohjauksisten (liikennetieto-ohjaus ja kiinteä ohjaus) ja -ohjaamattomien liittymien välityskytarkastelu. Ohjelmistoa käytetään laajalti Pohjoismaissa, ja se on käytössä myös Suomessa. Arvioitu PC-laskentasovellus oli Windows-pohjainen versio CapCal 2.0 laskentaohjelmistosta.

DanKap on Tanskan tielaitoksen kehittämä laskentamalli tietokonesovelluksineen. DanKapin pääsovellusalueita ovat valo-ohjauksisten (kiinteä ohjaus) ja -ohjaamattomien liittymien välityskytarkastelut sekä sekoittumisalue-tarkastelut. Ohjelmisto perustuu HCM:n tanskalaisittain kalibroituihin malleihin, ja ohjelmistoa käytetään varsinkin Tanskassa. Vertailussa tutustuttiin DanKapin PC-laskentasovelluksen versioon 1.2.

HCM on Yhdysvalloissa kehitetty mallikokonaisuus, jonka on kehittänyt kansallisen tutkimusinstituutin liikenneosasto Transportation Research Board (TRB). HCM tarjoaa laskentamallit välityskyky- ja palvelutasolaskelmiin mm. erilaisissa liittymissä, kaksi- ja monikaistaisilla tieosuuksilla, ramppi- ja sekoittumisalueilla sekä em. infrastruktuurikomponenttien yhdistelmissä. HCM:n laskentamenetelmät ovat käytössä useissa eri maissa Yhdysvaltojen lisäksi. HCM-käsikirjasta on tehty myös tietokonesovelluksia, jonka avulla makromallien käyttö helpottuu huomattavasti. Arvioitu PC-laskentasovellus oli Windows-pohjainen MC-Trans -yhtiön tuottama HCM 2000 -versioon perustuva laskentaohjelmisto.

VTI-malli on Ruotsin kansallisen tie- ja liikennetutkimuslaitoksen kehittämä laskentamenetelmä, jonka pääasiallisena sovellusalueena on kaksikaistais-ten teiden liikenteen mallinnus. VTI:n malli on luonteeltaan lähempänä mikrosimulointia verrattuna edellä esitettyihin makromalleihin. Toisaalta tietokonesovellus ei sisällä mikrosimulointiohjelmistojen kaltaista animointia ja mallin rakentamista. Mallinnusohjelma on ollut käytössä lähinnä Ruotsissa ja muissa Pohjoismaissa, ja viime aikoina käyttö on ollut vähäistä. Varsinaista PC-sovellusta ei arvioinnissa ollut käytettävissä, joten käyttöliittymäarvioinnissa jouduttiin turvautumaan kirjallisuuslähteisiin ja haastattelujen vastauksiin.

4.2 Tekninen vertailu

Taulukossa 4 on esitetty vertailtujen välityskykymallien teknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 4. Välityskykymallien teknisiä ominaisuuksia.

	CapCal, Ruotsi	DanKap, Tanska	HCM, USA	VTI, Ruotsi
Sovellusalueet				
Kaupunkiliittymät	X	X	X	
Mootoritieliikenne		(X)*	X	
Kaksikaistaiset tiet		(X)*	X	X
Kalibrointi ja validointi	Pohjois- maiset parametrit	HCM-mallit, tanskalainen kalibrointi	Parametrien kalibrointi USAssa	Ruotsalaiset malli- parametrit
Mallinnuksen laajuus	Yksi liittymä	Yksi liittymä/ sekoittumis- alue	Peräkkäisiä liittymiä/ tieosuuksia	Tieosuus
PC-sovelluksen käyttö				
Visualisointi	Liittymän pohjapiirros	Kohteen pohjapiirros	Ei visualisointia	Ei visualisointia
Käyttöliittymä	Windows/ MS-DOS	Windows	Windows	PC / (Simula)
Mallin säädettyvyys ja muokattavuus	Joitakin para- metreja	Joitakin para- metreja	Useita parametreja	Vähän para- metreja
Hinta ja lisenssipolitiikka	17 000 SEK (n. 1 850€)	Sovellus saatavilla, jakelu epäselvä	HCM n.100€, laskenta- ohjelmistot n.100-500€	käyttö nykyään vähäistä

*) Sisältyvät laskentamalleihin, mutta eivät tarkasteltuun tietokonesovellukseen (DanKap Version 1.2)

Alle on koottu muutamia huomioita eri välityskykymallien ja niihin liittyvien laskentaohjelmistojen hyvistä ja huonoista ominaisuuksista.

CapCal

- + Pohjoismainen malli ja parametrien kalibrointi.
- + Mallin toimivuudesta kokemusta Suomessa.
- + CapCal on todettu em. malleista soveltuvimmaksi suomalaisiin liittymäolosuhteisiin (Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections, Finnra Reports 25/2002).
- +/- Sisältää liikennetieto-ohjauksisten liittymien mallin. Mallin toimivuus on tosin todettu paremmaksi manuaalisella kuin automatisoidulla valo-ohjausdatan syöttämisellä (Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections, Finnra Reports 25/2002).
- Mallinnus rajoittuu vain liittymiin.
- Korkea hinta.

DanKap

- + HCM-pohjainen, mutta pohjoismainen parametrien kalibrointi.
- + Mallin toimivuus suomalaisissa liittymissä kalibroinnin ansiosta parempi kuin HCM:n.
- + Sisältää myös sekoittumisaluealleja.
- Ei sisällä liikennetieto-ohjauksisen valo-ohjauksen mallinnusta.
- Laskentaohjelmiston dokumentointi ja tuki puutteelliset.

HCM

- + Makromalliksi hyvin laajat mallinnusmahdollisuudet.
- + Laajasti käytetty, hyvin ylläpidetty, dokumentoitu ja päivitetty.
- + Sisältää myös sekoittumisaluealleja.
- Laskentaohjelmisto hankittava erikseen, käsinlaskenta työläs ilman tietokonesovellusta.
- Parametrit kalibroitu Yhdysvalloissa → parametrien säätäminen tarkastelussa vaikeaa suuren lukumäärän ja suomalaisten oletusarvojen puutteen vuoksi.

VTI

- + Hyvät kokemukset tulosten paikkansapitävyydestä Ruotsissa.
- + Mikromallinnus ajoneuvokäyttäytymisessä.
- + Kehitystyö suunnitteilla (Windows-ympäristö, uudet ominaisuudet).
- Ohjelmisto ja ohjelman ohjelmointikieli hyvin vanhakantainen ja harvinaisen.
- Rajoittuneet sovellusmahdollisuudet muihin makromalleihin verrattuna.
- Hyvin rajoittuneet simulointimahdollisuudet 'varsinaisiin' mikrosimulointiohjelmistoihin verrattuna.
- Kankeahko mallirakenne 'varsinaisiin' mikrosimulointiohjelmistoihin verrattuna myös tieosuuksien mallinnuksessa.

4.3 Soveltuvuus käyttäjätarpeisiin ja kehitystarve

Pohjoismaisten välityskykyohjelmistoa käyttäneiden ammattilaisten antamat käytettävyyden ja ominaisuusarvosanojen keskimääräiset arvot on esitetty alla. Arvioiden luotettavuus ei ole kovin hyvä, koska vastauksia malleja kohden on melko vähän, ja koska kyselyn vastauksista ei voi päätellä, tarkoittavatko arvosanat itse mallia ja sen paikkansapitävyyttä, mallinnusmahdollisuuksien monipuolisuutta vai laskentamallien pohjalta rakennettujen tietokonesovellusten toimintaa.

Taulukko 5. Välityskykymallien toimivuusarviot asteikolla 0-5 pohjoismaisen kyselytutkimuksen perusteella.

	CapCal	DanKap	HCM	VTI
Käytettävyys	3,3	2,5	3,7	2,0
Tekniset Ominaisuudet	3,3	3,0	3,3	4,0

Käytettävyys on arvioitu yleisesti suurin piirtein samalle tasolle kuin mikrosimulointimalleilla (kts. kpl 4.2.2). Tekniset ominaisuudet arvioidaan luonnollisesti alemmalle tasolle, koska sovellusmahdollisuudet ovat rajoittuneemmat. Selvää kuitenkin on, että makromalleilla on käyttöä erityisissä

suunnitteluvaiheissa ja -kohteissa, jossa esimerkiksi mikrosimulointimallin rakentaminen on kohtuuttoman työlästä tarvittavien tulosten tarkkuustasoon verrattuna. Tällaisia suunnitteluvaiheita voivat olla mm. esisuunnitelmien alustavat liittymätyyppivertailut tai väyläosuusien karkeat palvelutaso- ja kapasiteettitarkastelut.

Liikennesuunnittelun tulevaisuuden tarpeisiin makromallien tarjoamat mahdollisuudet ovat rajoitetut. Esim. reitinopastuksen mallinnus voi olla hankalaa makrotasolla, koska opastuksen vaikutukset keskittyvät kuljettajatasolle. Sen sijaan esim. automatisoitujen tieosien ja muiden liikennevirtaa vakauttavien toimenpiteiden tarkasteluun makromalleilla on hyvät edellytykset. Makromallit perustuvat liikennevirtateorioihin, joiden eräänä lähtökohtana on virran vakaus ja turbulentsisuus.

Malleihin pohjautuvien tietokonesovellusten käytettävyydessä (tarkastelussa CapCal2, DanKap versio 1.2 ja kaupallinen HCM-sovellus) ei ole juuri eroja. Tarjolla olevat kaupalliset tietokonesovellukset ovat kuitenkin tärkeitä apuvälineitä laskentavaiheen helpottamiseksi. HCM-sovelluksessa on muita enemmän säädettäviä parametreja, mikä parantaa säädettävyyttä, mutta samalla vaikeuttaa käyttöä, koska kalibroituja oletusparametreja ei ole Suomen olosuhteisiin.

Mallien käytön samankaltaisuudesta johtuen mallien sovelluslaajuus ja validiteetti korostuvat entisestään. Yhteenvetona voidaan todeta, että suomalaisiin olosuhteisiin ei löydy tällä hetkellä yksittäistä sopivaa välityskykymallia. Liittymäkohtaisissa palvelutasotarkasteluissa CapCal on suositeltavin vaihtoehto sekä sopivien parametrien että suomalaisen käyttökokemuksen perusteella. Toisaalta HCM on ehdottomasti käyttökelpoisin työväline laajempien kokonaisuuksien alustaviin toimivuustarkasteluihin CapCalin sovellusmahdollisuuksien rajoitusten vuoksi. HCM:n ongelmaksi jää vertailuista malleista heikoin parametrien kalibrointi suomalaisiin olosuhteisiin.

DanKap on kompromissi CapCalin ja HCM:n väliltä, mutta se ei kuitenkaan tarjoa riittävän laajaa ja laadultaan hyvää vaihtoehtoa toimiakseen yksin kaikissa suunnittelutehtävissä. Käytännössä mikrosimulointiin perustuva VTI puolestaan on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan melko paljon jäljessä varsinaisia mikrosimulointiohjelmistoja, joten sen laajamittainen käyttöönotto ei ole järkevää. Todennäköisesti VTI:n tasoihin tuloksiin voidaan päästä tulevaisuudessa myös kaksikaistaisilla teillä jonkun mikrosimulointiohjelmiston kehitystyön tuloksena.

Kaikki välityskykymallit olivat pohjoismaisten asiantuntijavastausten mukaan sopivia edelleen kehitettäväksi, joskin kehitystoiveet kohdistuivat yleensä omassa maassa käytössä olevaan laskentamallistoon. Kehitystyö on jatkuvasti käynnissä HCM-malliston osalta, mutta suomalaisia tai eurooppalaisia parametrikalibrointeja ei ole odotettavissa malliston yhdysvaltalaisen ylläpitäjän kehittämänä. VTI-malliin on suunniteltu merkittäviä uudistuksia, ja CapCaliin on kehitetty uusia liittymämalleja. Suomalaisesta näkökulmasta olisi toivottavaa, että HCM:n parametreista saataisiin eurooppalainen kalibrointiversio, CapCalin mallikehitystä jatkettaisiin ja sen tietokonesovellusta kehitettäisiin helppokäyttöisempään suuntaan.

5 MIKROSIMULOINTIMALLIEN VERTAILU

5.1 Tekninen vertailu

5.1.1 Vertailun lähtökohdat ja pääperiaatteet

Liikenteen mikrosimulointiohjelmistojen tärkeimmät osa-alueet ja simulointitarkastelujen suorittaminen voidaan jakaa karkeasti seuraaviin osiin:

1. Mallin geometriset ominaisuudet ja mallin rakentaminen
 - Linkkien ominaisuudet: suorat elementit, kaarteet, pystygeometria.
 - Liikenneympäristöön liittyvät ominaisuudet: liikenteen ohjauselementit.
2. Mallinnuksen lähtötietoihin ja liikennevirtaan liittyvät ominaisuudet, jotka voivat olla täysin mikrosimuloinnista erillisiä osia (manuaalinen simuloinnin valmistelu), liityntäpintojen kautta mikrosimulointiohjelmistoon liitettyjä (lähtö-määräpaikkamatriisit ja liikennejakaumat saadaan automaattisesti tuotettua makromalleilla) tai simulointiohjelmistoon kiinteästi liittyviä makromalleja kuten dynaaminen reitinvalinta ja sijoittelu.
 - Kysynnän ja suuntautumisen ennustaminen.
 - Reitin ja kulutavan valinta sekä liikenteen sijoittelu.
 - Liikenteen generointi malliin.
 - Liikenteen jakaumat: ajoneuvotyypit, nopeudet, kiihtyvyydet ja muut ajoneuvojen tekniset parametrit.
3. Ajoneuvo- ja kuljettajakäyttäytymismallit.
 - Sääntöpohjaiset tai matemaattiset mallit (ajoneuvoseurantamallit, yksittäisen ajoneuvon kiihtyvyys-, hidastuvuus- ja nopeusmallit).
 - Kaistanvaihtomallit.
 - Reaktio- ja kuljettajamallit.
 - Eryitysmallit (esim. kevyt liikenne).
4. Liikenteen ohjaus.
 - Valo-ohjauksettomat ja -ohjauksiset liittymät (väistämisvelvollisuudet ja valo-ohjausajoitukset).
 - Muut liikenteen ohjausmerkit ja -säännöt (nopeusrajoitukset, muuttuvat liikennemerkkit).
5. Muiden liikennetoimintojen ja ohjauksen mallit.
 - Joukkoliikenteen toimintoihin liittyvät mallit, kuten ajokäyttäytyminen, pysäkki- ja terminaalitoiminnot, matkustajien nouseminen ja poistuminen.
 - Pysäköinti (kadunvars- ja aluepysäköinti, pysäköintipaikan etsiminen, pysäköintiaika).
 - Tietullit, teollisuusalueet, raja-asetat.
 - Liikenneinformaatio ja reitinopastus (ruuhkautumismallit, reitinvalinta).

- Joukkoliikenneinformaatio (kulkuneuvonvalinta ruuhkatilanteissa, liityntäpysäköinti tms.).

6. Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus.

- Päästömäärien dynaaminen laskenta ajoneuvon nopeus- ja kiihtyvyytilan perusteella verkon eri osissa ja eri aikoina.
- Päästötyyppien erottelu.

Kohdan 1 ominaisuudet vaikuttavat pääosin mallinnuksen fyysiseen tarkkuuteen ja ohjelmistojen käytön helppouteen.

Kohdan 2 ominaisuudet liittyvät suurelta osin liikenteen kysynnän makrotason mallinnukseen. Makromallien tulokset ovat kuitenkin oleellisia mikromallien lähtötietoina (lähtö-määräpaikkamatriisit, raskaat ajoneuvot, tms.). Hyvin validoidun ja kalibroidun mikromallin suurin luotettavuusongelma syntyy käytännössä lähtötietojen puutteellisuudesta tai virheellisistä liikenneennusteista. Kohta 2 on oleellinen erilaisissa suunnittelutilanteissa, joissa alueen liikenteen todellista tilannetta ei vielä tiedetä tai ei muusta syystä voida havainnoida käytännössä. Makromallien mahdollisimman hyvä validiteetti, helppokäyttöisyys ja kitkaton rajapinta mikromalliin on yksi simulointityökalun tärkeimmistä ominaisuuksista sekä tulosten luotettavuuden että käytettäjäystävällisyyden kannalta.

Kohta 3 eli ajoneuvokäyttäytymisen mallintaminen on mikrosimuloinnin ydin. Mikrosimulointi perustuu siihen kokonaisuuteen, joka muodostuu mallin yksittäisten ajoneuvojen ja liikenneympäristön kanssakäymisestä. Kohdan 3 oleellimmat osat ovat käyttäytymistä ohjaavat osamallit (ajoneuvon seuranta - ja kaistanvaihtomallit) ja niiden luotettavuus (validius). Validiteetin lisäksi luotettavan toiminnan edellytys on riittävä kalibrointitarkkuus, eli käyttäytymismallien parametrien säätö käyttöolosuhteita vastaaviksi.

Kohdan 4 eli liikenteen ohjauksen mallinnus on lähes yhtä tärkeä kuin ajoneuvomallinnus: ohjausmallinnus määrää ajoneuvon ja liikenneympäristön välisen kanssakäymisen. Ohjauksen mallintamisessa tärkeitä edellytyksiä ovat paitsi kalibrointi (esim. liittymisaikavälit valo-ohjaamattomassa liittymässä), myös mallin validiteetin tarkastaminen käyttöolosuhteissa. Ohjauksen lakisääteiset puitteet ja käytännön toteutus vaihtelevat maittain, jolloin käyttöolosuhteisiin nähden ulkomaisen ohjelmiston käyttö voi olla epätarkkaa tai jopa mahdotonta tietyissä tarkasteluissa. Esimerkkeinä mainittakoon Pohjoismaissa yleisesti käytetty valo-opastimien opastinryhmäohjaus suhteessa eurooppalaiseen vaiheperusteiseen valo-ohjaukseen, suoja-aikojen pituudet ja erilaiset määräykset koskien vapaata oikealle kääntymistä.

Kohdat 5 ja 6 koskevat voimakkaasti kasvussa olevien liikenteen hallintakeinojen tarkastelumahdollisuuksia. Tärkeintä näiden kohtien osalta on niiden olemassaolo, mikä laajentaa ohjelmien sovellusaluetta. Päästöjen mallinnuksessa kalibrointi on myös oleellista johtuen ajoneuvokantojen eroista eri maiden kesken.

5.1.2 Vertailuohjelmistojen perustiedot

Ohjelmistotoimittajien materiaaliin, julkaisuihin, käyttäjien ja toimittajien haastatteluihin perustuen pyrittiin kartoittamaan vertailujen ohjelmistojen

tekniset ominaisuudet, sovellusmahdollisuudet, kalibrointi- ja validointimahdollisuudet sekä tarpeet ja käyttöominaisuudet. Suomalaisen ja pohjoismaalaisen kyselyn vastauksien ja eri ohjelmien eurooppalaisen käyttölaajuuden perusteella ohjelmavertailu päätettiin rajata neljään ohjelmistoon, ja vertailussa olivat mukana johtavat eurooppalaiset mikrosimulointiohjelmat AIMSUN2, Paramics ja VISSIM sekä suomalainen HUTSIM. Lisäksi tarkastelu tehtiin suppeampana yhdysvaltalaisen Simtraffic (Synchro)-ohjelmiston osalta, koska ohjelmisto on yleisessä käytössä erityisesti kaupunkien valo-ohjaussuunnittelussa. Vertailussa käytettiin vuonna 2002 myynnissä olleita ohjelmaversioita (Quadstone Paramics 4.0, AIMSUN 4.1, VISSIM 3.60, HUTSIM 4.2). Tietyiltä osin otettiin huomioon myös toimittajan lähitulevaisuudelle suunnittelemat ohjelmistopäivitykset ja niiden ominaisuudet.

Alla on esitetty tarkasteluun valittujen ohjelmistojen perustietoja. *Liitteissä 7-11* on esitetty yksityiskohtaisemmat ohjelmakortit ohjelmistoista ja niiden teknisistä ominaisuuksista.

AIMSUN2 on espanjalaisen TSS – Transport Simulation Systems –yhtiön kehittämä ja ylläpitämä mikrosimulointiohjelmisto. AIMSUNin pääsovellusalueita ovat mm. liikenteen ohjausjärjestelmien ja hallintamenetelmien testaus, laajat verkkosimuloinnit sekä ajoneuvojen opastusjärjestelmien ja muiden telematiikkasovellusten testaus. Ohjelmistoa on käytetty mm. Barcelonassa, Leedsissä, Montrealissa ja Tukholmassa.

HUTSIM on Teknillisen korkeakoulun kehittämä liikennesimulaattori, joka on alunperin kehitetty valo-ohjauksisten liittymien tarkasteluun ja ohjauksen säätöön. Simulaattoriin on myöhemmin kehitetty myös kiertoliittymien, terminaalien, korkealuokkaisten väylien ja pienehköjen liikenneverkkojen simuloinnin mahdollistavia ominaisuuksia. Ohjelmiston asiakkaita ovat mm. Tiehallinto, suomalaiset kaupungit ja liikennealan suunnittelu yritykset. Ulkomaiset käyttäjät ovat pääosin yliopistoja.

PARAMICS on Iso-Britanniassa kehitetty ohjelmisto, jonka ylläpitäjänä toimii Quadstone Limited. Britannian markkinoille Paramicsia myy SIAS-niminen yhtiö. Paramics soveltuu sekä kaupunki- että moottoriteliikenteen simulointiin. Paramics on käytössä yli 20:ssä maassa liikennealan yrityksissä, tutkimuslaitoksissa sekä kaupunkien ja valtion laitoksissa. Paramicsin käyttäjäkunta on tarkastelluista ohjelmistoista kansainvälisin.

VISSIM on saksalaisen PTV AG:n kehittämä ja ylläpitämä ohjelmisto. Paramicsin tavoin ohjelmisto sopii kaupunki- ja maantieliikenteen simulointiin. Alunperin VISSIMin kehitystyö on painottunut erityisesti kaupunkiliikenteeseen, mutta viime aikoina ohjelmistoon on kehitetty mm. uusi moottoriteiden ajoneuvon seurantamalli. VISSIMiä on käytetty liikenteen simuloinnissa mm. Saksassa ja Yhdysvalloissa.

Synchro / Simtraffic on yhdysvaltalaisen Trafficware Corporationin kehittämä ohjelmisto, joka on jaettu Synchro -liikennevalosuunnitteluohjelmaan ja Simtraffic-simulaattoriin. Ohjelmisto on suunniteltu ensisijaisesti valo-ohjauksisten liittymien mallintamiseen ja valo-ohjattujen liittymien ja verkkojen toiminnan simulointiin. Ohjelmistolla voidaan myös mallintaa ja simuloida valo-ohjaamattomia liittymiä, kiertoliittymiä ja rampeja. Synchro / Simtraffic on käytössä noin 40 maassa, mutta selvä enemmistö käyttäjistä on Pohjois-Amerikassa, jonne on myyty noin 3500 lisenssiä. Euroopassa lisenssejä on

myyty 12 maahan yhteensä vajaat 50 kappaletta. Suomessa ohjelmistoa käyttää Tiehallinto, suunnittelu/konsulttiyritykset sekä kaupunkien liikennesuunnittelijat. Yhteensä Suomessa on vuoden 2002 lopussa voimassa 13 lisenssiä ja käyttäjiä arviolta muutamia kymmeniä.

5.1.3 Teknisen vertailun tulosten yhteenveto

Teknisen vertailun päätulos oli, ettei kolmen suurimman ohjelmiston (AIM-SUN2, Paramics ja VISSIM) välillä ole mainittavia eroja ohjelmistojen käytettävyyden, teknisten ominaisuuksien, sovellusmahdollisuuksien laajuuden ja suomalaisen validiteetin osalta.

HUTSIM on heikompi käytettävyytensä ja sovellusten laajuuden osalta, mutta luonnollisesti täyttää parhaiten kalibrointi- ja validointivaatimukset. Myös HUTSIMin perusvalmiudet suomalaisen valo-ohjauksen simulointiin ovat em. kolmikkoa paremmat.

Simtraffic on edellä mainittua kolmikkoa rajoittuneempi sovelluskohteiden suhteen: simulaattori on tehty nimenomaan liittymätarkasteluihin ja liittymäverkkojen tarkasteluihin. Simtrafficin muita pienempi sovelluslaajuus tulee ilmi esim. moottoritie- ja joukkoliikennesimuloinnissa, kiertoliittymissä, ennustemallirajapintojen puutteessa ja rajoitetussa määrässä ajoneuvotyyppejä. Toisaalta Simtraffic tarjoaa laajimmat perusvalmiudet suomalaisen valo-ohjauksen suunnitteluun ja simulointiin, ja on käyttöominaisuuksiltaan joukon tehokkain tällaisissa suunnittelutarkasteluissa.

Sovellusmahdollisuuksien laajuus ja suurimpien ohjelmistojen tekniset ominaisuudet on kokonaisuus huomioon ottaen mahdotonta laittaa paremmuusjärjestykseen, vaikka jokaiselta ohjelmistolta löytyy omat vahvimmat alueet. VISSIM tarjoaa kaupunkiliikenteen simulointiin monipuolisimmat mahdollisuudet laajimman joukkoliikennemallinsa ja kevyen liikenteen mallinsa ansiosta. AIMSUNia ja Paramicsia on käytetty laajasti erilaisten telemaattisten sovellusten, kuten reitinohjauksen, simulointiin.

Teknisistä yksityiskohdista työn aikana voimakkaimmin nousivat esiin mahdollisuudet käyttäjäohjelmointiin sekä rajapinnat maankäytön ja liikenteen kysynnän malleihin.

Käyttäjäohjelmointimahdollisuudet ovat laajimmat Paramicsissa, jossa käyttäjä voi luoda ja muokata jopa ajoneuvojen käyttäytymismalleja. Toisaalta Paramicsin sisäänrakennettu malli- ja parametrikokonaisuus on raportoitu muita heikommin, ja ajoneuvokäyttämisen muokkaus vaatii muita enemmän käyttäjäohjelmointia. Myös AIMSUNin käyttäjäohjelmointimahdollisuudet ovat hyvät erityisesti luotaessa ja testattaessa uusia liikenteen hallinnan ja -ohjauksen menetelmiä. VISSIMin käyttäjäohjelmointi on painottunut valo-ohjauksen ohjelmointiin, jossa VISSIM tarjoaa pisimmälle kehitetyn ja helppokäyttöisimmän ohjelmointikäyttöliittymän.

Rajapinta maankäytön ja liikenne-ennustemalleihin löytyy tavalla tai toisella kaikista kolmesta ohjelmistosta. Selkeimmin rajapintaan on panostanut AIMSUN, joka tarjoaa Suomessa ja maailmalla eniten käytettyyn EMME-ennustehjelmistoon suoran, kaksisuuntaisen rajapinnan (liikenneverkot ja kysyntäennusteet voidaan siirtää ohjelmien välillä kumpaan suuntaan tahan-

sa, joskin AIMSUNiin siirretty EMME-verkko vaatii luonnollisesti manuaalista muokkausta mikrotason parametreihin). Varsinkin suurempien verkkojen siirtäminen vaatii kuitenkin ainakin aloittelevalta käyttäjältä toimittajan teknistä tukea, mikä on tullut ilmi pääkaupunkiseudun AIMSUN-mallia rakennettaessa.

VISSIM-tuoteperheeseen kuuluvat mikrosimulaattorin lisäksi VISUM-liikennesuunnitteluohjelmisto ja VISEM-ennustemalli. Kaksisuuntainen rajapinta EMME-ohjelmistoon syntyy VISUM-tason kautta, joten VISSIM ei suoraan lue EMME-ennusteita. Sen sijaan VISSIM-tuoteperheen maankäyttö- ja suunnittelutasot tuovat vaihtoehdon EMME:n käytölle, lisäten kuitenkin hankintakustannuksia ja vähentäen mahdollisesti toimittajan tarjoamaa EMME-tukea ja sen ylläpitoa.

Paramics ei itse tue verkkojen eikä kysyntätietojen siirtoa EMME-ohjelmasta. Paramicsin tiedostorakenne on kuitenkin sellainen, että rajapinta on luotavissa yksinkertaisilla tekstinkäsittelyohjelmiin luotavilla makro-ohjelmilla (kysyntäennusteille makrot voidaan luoda siten, että ennusteet ovat siirrettävissä molempiin suuntiin, liikenneverkot ovat siirrettävissä makrojen avulla ainakin EMME-Paramics -suuntaan). Kyseinen toimenpide on myös onnistuneesti ollut käytössä.

Mallien kalibrointiin ja validointiin liittyy kaksi tekijää: kalibroinnin ja validoinnin tarve sekä niiden toteuttamisen mahdollisuudet. Minkään ohjelman soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin ilman suomalaista kalibrointia tai validointia ei voida osoittaa tämän tarkastelun puitteissa, eikä ohjelmistoja siten voida tässä suhteessa asettaa paremmuusjärjestykseen (lukuun ottamatta Suomessa validoitua HUTSIMia). Toimittajista VISSIM on tuottanut Saksan ja USA:n olosuhteisiin kalibroidun parametrisarjan, kun AIMSUN ja Paramics puolestaan eivät varsinaisesti tarjoa parametreille kalibroituja oletusarvoja vaan painottavat käyttäjän ja käyttökohteen merkitystä parametrien asettamisessa ja mallin tulosten luotettavuuden takaamisessa.

Kalibrointityön suuruutta on siten vaikea vertailla ohjelmien kesken. Toimittajien omien arviointien mukaan kalibrointitarpeita kuvattiin seuraavasti:

- AIMSUN: jokainen yksittäinen simulointimalli on sen käyttöönottovaiheessa kalibroitava ja sen toiminnan oikeellisuus varmistettava. Ajoneuvomalleja pidetään siis yleispätevinä, kunhan kalibroinnit suoritetaan aina rakennetuille malleille. Pohjoismaisilta käyttäjiltä ei ole saatu validiteettia koskevaa kielteistä palautetta.
- Paramics: toimittaja ei tarjoa kalibroituja parametrisarjoja, koska myytävät tuotteet halutaan pitää yhtenäisinä, ja eri asiakkaiden käyttökohteet ja simuloitavat liikenneolosuhteet vaihtelevat. Perusparametrit ovat käyttäjän kalibroitavissa, ja käyttäjäohjelmoinnin avulla voi käyttäjä kalibroida myös mallin sisäisiä parametreja.
- VISSIM: Ilmeisin tarve kalibroinneille on raskaiden ajoneuvojen ajoneuvoparametrit (Suomessa eri painorajoitukset). Muuten saksalaisten mallien ja parametrien katsotaan tyydyttävästi soveltuvan myös Suomeen.

Tarpeen sijasta mallien kalibrointimahdollisuuksia, eli mahdollisuutta säätää malliparametreja, voidaan analysoida tarkemmin. Kalibrointiin ja validointiin vaikuttavat mallirakenne, mallien ja ohjelmiston perusteellinen raportointi, säädettävien parametrien määrä sekä käyttäjän säädettävissä olevat para-

metrit. Ulkomaisista ohjelmista AIMSUN on julkaissut tarkimmat mallikuva-ukset, AIMSUNin kaikki parametrit ovat käyttäjän säädettävissä sekä mallirakenne on VISSIMiä ja Paramicsia selkeämpi (malli perustuu ajoneuvodynamiiikkaan eikä sisällä muiden tavoin kuljettajakäyttäytymiseen liittyviä liikennepsykologisia parametreja). Toisaalta mallirakenteen yksinkertaisuus saattaa heikentää validiutta muihin verrattuna, eikä toimittaja tuota oletusarvoja malliparametreille. Mallien kalibroimiseksi on käytetty onnistuneesti ns. Boschin testejä, ja ohjelmistotoimittajan suosittelema kalibroitimenetelmä on hyvin kuvattu.

VISSIMin mallirakenteen periaatteet on kohtuullisesti raportoitu ja VISSIMiltä on tulossa vuonna 2003 tarkempi parametrikuvauksen moottoritien ajoneuvomalleista. VISSIMin kaupunkiliikennemallissa kaikki parametrit eivät kuitenkaan ole käyttäjän määritettävissä (moottoritiemallissa ovat). Tästä syystä toimittajan tuottamat oletusarvosarjat saattavat ovat tarpeellisia.

Paramicsin malli- ja parametrirakenteen raportointi on osittain puutteellinen. Tämä vaikeuttaa Paramicsin yleispätevää kalibroitintia Suomen olosuhteisiin verrattuna muihin malleihin. Mallien teoria on kuitenkin raportoitu tieteellisissä julkaisuissa. Muutamia ajoneuvokäyttäytymisen perusparametreja on mahdollista kalibroida kuten AIMSUNissa ja VISSIMissä, mutta monipuolisempi keskeisten parametrien kalibroitinta edellyttää käyttäjän omaa ohjelmointia (API, Application Programming Interface) ennen kalibroitintia.

APIa käyttäen olisi todennäköisesti mahdollista siirtää osa HUTSIMin kehittämiseen käytetystä panoksesta (kalibroitinta, lisämallit, valo-ohjauslogiikat ym.) Paramicsin suomalaisille käyttäjille. Sama on mahdollista myös AIMSUNin ja VISSIMin liikenteenohjausmallien osalta, mutta Paramics tarjoaa laajimmat mahdollisuudet nimenomaan ajoneuvojen käyttäytymismallien siirtämiseen.

Paramicsin kalibroitintia varten on luotu myös tekoälyä käyttävä itseoppiva kalibroitintimenetelmä, jota haluttaessa voidaan käyttää standardisoimaan ja nopeuttamaan kalibroitintia. Paramicsin käyttäjät ovat onnistuneesti kalibroineet parametreja erilaisiin olosuhteisiin (mm. USA, Australia, Singapore ja Eurooppa).

Käyttäjävälisyys on erittäin vaikeasti arvioitavissa tämän työn tulosten perusteella. Vertailuja varten tulisi joko kokeilla kaikkia ohjelmia riittävän syvästi tai haastatella käyttäjiä, joilla on kokemusta kaikkien ohjelmistojen käytöstä (esimerkiksi KTH, Kungl Tekniska Högskolan, Ruotsi). Tämänkin jälkeen tulos perustuu vastaajien henkilökohtaisiin mielipiteisiin, heidän työskentelymielityksiin ja kohteisiin, joissa työvälinettä on käytetty. Yleisesti vallitsevana subjektiivisena arvioina voidaan mainita mielipiteet, joiden mukaan HUTSIMin käyttö on hidasta (käyttöliittymä vanhanaikainen) ja Simtrafficin käyttö tehokasta (niissä kohteissa, joihin ohjelmisto soveltuu). Kolmen suurimman ohjelmiston osalta käyttöliittymän käytön helppouden paremmuusjärjestystä ei voida osoittaa: kaikki sisältävät graafisen käyttöliittymän, toimivat Windows -ympäristössä (Paramics vielä tällä hetkellä erillisen apuohjelman kautta) ja ovat siten helppokäyttöisempiä kuin HUTSIM. Tulostiedostojen automaattisessa käsittelyssä kunnostautuvat erityisesti AIMSUN ja Paramics.

Taulukossa 6 on esitetty lyhyesti vertailtujen mikrosimulointiohjelmistojen teknisiä ominaisuuksia. Tarkemmat teknisiin (ja validiteettiin sekä ylläpitoon) liittyvät vertailutulokset AIMSUNin, Paramicsin, VISSIMin ja HUTSIMin osalta on taulukoitu liitteessä 12.

Taulukko 6. Mikrosimulointiohjelmistojen teknisiä ominaisuuksia.

	AIMSUN2 Espanja	HUTSIM Suomi	Paramics Englanti	VISSIM Saksa	Synchro USA
Sovellusalueet					
Kaupunki- liittymät	X	X	X	X	X
Moottoritie- liikenne	X	X rajoitetusti	X	X	X rajoitetusti
Telematiikka	X	X rajoitetusti	X	X	–
Säädettävyys, kalibrointi ja validointi	Kaikki para- metrit säädet- tävässä	Maasto- mittaukset Suomessa	Validointi muiden mallien perus- teella	Saksa, USA, tulossa Ranska ja UK	USA, useat parametrit säädettävi- ssä
Mallien koko	Ei rajoituksia	Pienehkö verkko	Ei rajoituksia	Ei rajoituksia	Ei rajoituksia
Käyttö					
Visualisointi	2D, 3D lisä- varuste	2D	3D	2D / 3D	2D
Käyttöliittymä	Windows/ Linux	MS-DOS	Windows	Windows	Windows
Laajennettavuus ja muokattavuus	Omien so- vellusten teko mah- dollista	Yhteis- työssä kehittäjän kanssa	Omien so- vellusten teko mah- dollista	Omien so- vellusten teko mah- dollista, lähinnä ohjausso- vellukset	Ei mahdol- lista
Rajapinnat makro- ja muihin malleihin	EMME/2 Transyt	–	Ei suoria rajapintoja	Transyt, VISUM, VISEM, (EMME/2) Signal94	CORSIM, Transyt

Taulukossa 7 on esitetty ohjelmistotoimittajien omia arvioita ohjelmiston soveltuvuudesta yksityiskohtaisiin tarkastelukohteisiin. Taulukkoa tarkasteltaessa on otettava huomioon, että soveltuvuusarvioiden objektiivisuus on heikentynyt ulkopuolisen arviointitahon puuttuessa.

Taulukko 7. Ohjelmistojen tuottajien omat arviot simulointiohjelmistojensa soveltuvuudesta yksittäisiin käyttökohteisiin. Taulukkoa tulkittaessa tulee huomata, etteivät vastaukset ole yhteismitallisia ja täysin objektiivisia. HUTSIMin osalta taulukko antaa joidenkin osuuksien, esimerkiksi korkealuokkaisten väylien, osalta negatiivisemmän kuvan kuin mihin käytännön sovelluksissa on päästy. Synchro/Simtraffic-arviointi perustuu käyttäjäkokemuksiin.

	AIMSUN2	HUTSIM	Paramics	VISSIM	Synchro
Liikennetieto-ohjauksiset valot	5	4	5	5	5
Yhteenkytketyt liikennevalot	5	3	5	5	5
Joukkoliikenne-etuudet	5	2	5	5	1
Kevyt liikenne	3	3	2	5	1
Korkealuokkaiset väylät	4	1	5	4	4
Ramppiohjaus	5	1	5	5	4
Tietullit	5	3	5	3	1
Staattinen reitinopastus	5	3	5	5	1
Dynaaminen reitinopastus	5	3	5	5	0
Alueelliset rajoitukset	5	1	5	3*	2
Alueellinen liikennetiedotus	4	0	5	4	0
Muuttuvat opasteet	5	3	5	5	0
Pysäköinnin ohjaus	2	1	4	5	1
Joukkoliikenne-informaatio	0	1	3	5	0
Häiriöiden hallinta	5	0	5	3*	0
Häiriöiden hinnoittelu	2	0	5	4*	0
Automatisoidut tiet	2	0	5	4	0
Itsenäiset ajoneuvot	2	0	4	3	0
Ajoneuvon hallinnan apuvälineet	3	4	5	5	0
Tutkimusajoneuvot	5	3	5	5	1
Ajoneuvo-ilmaisimet	5	4	5	5	3
Keskiarvo	3,9	1,9	4,7	4,4	1,4

*) Hyödynnetään parhaiten VISUM-ohjelmiston kanssa (suurten alueiden strateginen liikennesuunnitteluohjelmisto)

Simulointitekniisten mahdollisuuksien perusteella Paramics vaikuttaa kattavimmalta. VISSIM tarjoaa monipuoliset ominaisuudet varsinkin kaupunkiliikenteen simulointiin. AIMSUNin potentiaali vaikuttaa hieman rajoittuneemmalta. HUTSIMin simulointimahdollisuudet ovat heikommat lähinnä uusien ajoneuvon ja liikenteen hallintaominaisuuksien puutteen vuoksi. Toisaalta arvio perustuu ohjelmistojen ylläpitäjien omiin näkemyksiin, mikä vähentää arvion luotettavuutta: pohjoismaisten käyttäjäarvioiden mukaan ohjelmien tekniset ominaisuudet olivat yhtä hyviä ainakin nyt käytössä olevien sovellusosien osalta.

Alle on koottu vielä ohjelmistokohtaisesti muutamia huomioita eri ohjelmistojen hyvistä ja huonoista ominaisuuksista.

AIMSUN2

- + EMME/2- ja Transyt-rajapinta (valo-ohjauksen suunnittelu- ja mallinnus-ohjelmisto).
- + Linux-versio saatavilla.
- + Oma muokkaus- ja kehitystyö mahdollista omalla ohjelmapaketilla.
- + Selkeä ja hyvin dokumentoitu ajoneuvomallirakenne, kaikki parametrit käyttäjän säädettävissä.
- Nykyisen validoinnin ja kalibroinnin sopivuus (malliparametrien säätämistyö) Suomen olosuhteisiin?

HUTSIM

- + Kalibroitu ja validoitu maastomittauksin Suomen olosuhteisiin.
- + Kevyt ohjelmisto, kehitysyhteistyö toimittajan kanssa mahdollisesti muita helpompaa.
- Käyttöliittymän vanhanaikaisuus (MS-DOS) ja visualisointi.
- Rajapintojen puute.
- Ei dynaamista liikenteen sijoittelua.
- Muita vähäisemmät simulointimahdollisuudet (mallien koko, uudet ominaisuudet).

Paramics

- + Monipuoliset simulointiominaisuudet varsinkin telematiikkaratkaisuille (reitinopastus, häiriöhallinta, muuttuvat opasteet, automatisoidut ajoneuvot ja tiet).
- + 3D-Visualisointi vakiona.
- + Laajakin oma muokkaus- ja kehitystyö mahdollista omalla ohjelmapaketilla (riippuen käyttäjän osaamistasosta).
- Validointi ja kalibrointi muiden mallien varassa, sopivuus Suomen olosuhteisiin? Ei toimittajan ylläpitämiä oletusparametrisarjoja.
- Hallittavuudessa saattaa ilmetä ongelmia (useita ohjelmistokomponentteja).
- Ohjelmistotoimittajan ylläpitämien rajapintojen puute.

VISSIM

- + Monipuoliset kaupunkiliikenteen simulointimahdollisuudet etenkin uusien ratkaisujen osalta (joukkoliikenne, pysäköinnin ohjaus, kevyt liikenne, reitinopastus).
- + Tuoteperheeseen kuuluu VISSIMiin kytketyt maankäyttö- ja liikenteen suunnitteluohjelmistot (VISEM ja VISUM).
- + Transyt-, VISUM-, VISEM-rajapinnat sekä näiden kautta EMME/2 –rajapinta.

- + 3D-Visualisointi vakiona.
- +/- Liikenteen ohjauksen käyttäjäohjelmointiin oma visuaalinen käyttöliittymä. Toisaalta käyttäjäohjelmointimahdollisuudet vaikuttavat esim. Paramicsia vähäisemmiltä.
- Kalibroidut ja validoidut parametrisarjat ainoastaan keskieuropalaisiin ja yhdysvaltalaisiin olosuhteisiin.

Synchro / Simtraffic

- + Helposti hallittava ja kevyt ohjelmisto.
- + Edullinen lisenssi ja kustannustehokas käyttö.
- + Havainnollinen Windows-pohjainen simulaattori (Simtraffic).
- + TRANSYT- ja CORSIM-rajapinnat.
- + Monipuoliset valo-ohjaustoiminnot, ohjauksen suunnittelun nopeus ja ohjauksen optimointi.
- Validoitu ja kalibroitu FHA:n (Federal Highway Administration, USA) tutkimusten perusteella, kalibrointi Suomen olosuhteisiin käyttäjän varassa.
- Rajoittuneet simulointimahdollisuudet (joukkoliikenne, kiertoliittymät, telematiikka).
- Ei dynaamista liikenteen sijoittelua eikä rajapintoja kysyntämalleihin (EMME).
- Ei käyttäjäohjelmointia.
- Ei 3D-mallinnusta.

5.2 Soveltuvuus käyttäjätarpeisiin ja kehitystarpeet

Suomalaisten käyttäjien ja pohjoismaisten asiantuntijoiden vastauksissa simulointiohjelmistoilta toivottiin eniten parannusta liittymän palvelutason määrittämiseen, vaikka kaikki tarkastellut mikrosimulointiohjelmit tuottavat palvelutason perussuureet. Koska ohjelmit tuottavat tärkeimmiksi katsotut tulosteet, ohjelmistojen muut ominaisuudet, kuten käyttöliittymä ja mahdollisimman rajoittamattomat monipuoliset lisätoiminnot, nousevat tärkeään asemaan simulointiohjelmistoa valittaessa.

Lisäksi on otettava huomioon, että tulevaisuudessa käyttötarpeet saattavat muuttua, ja varsinkin ympäristönäkökohtien merkitys erilaisissa liikenteen toimivuustarkasteluissa tulee entistä tärkeämmäksi. Näin ollen esim. polttoaineen kulutus, päästöt, telematiikan simulointimahdollisuudet ja häiriötilanteiden hallinta ovat pitkän aikavälin ohjelmistoratkaisuja tehtäessä hyvä ottaa huomioon. Telematiikka, kaksikaistaiset tiet ja liikenneturvallisuus oli mainittu myös pohjoismaisessa kyselyssä tärkeinä kehittämiskohteina.

Pohjoismaisille liikenteen simulointiohjelmitoista käyttäville asiantuntijoille tehdyssä kyselyssä eri simulointiohjelmit saivat seuraavia arvosanoja (1–5) käytettävyyden ja teknisten ominaisuuksien osalta. Vastausten määrä oli pieni ohjelmistoa kohden, joten tuloksiin kannattaa suhtautua kriittisesti. Mm. Paramicsia koskevaan kysymykseen saatiin vain yksi vastaus. Arvosanoista saa kuitenkin suuntaa antavan kuvan eri ohjelmistojen käyttöpotentiaalista.

- AIMSUN2: käytettävyys 4, tekniset ominaisuudet 4.
- HUTSIM: käytettävyys 2, tekniset ominaisuudet 4.
- Paramics: käytettävyys 2, tekniset ominaisuudet 4.
- VISSIM: käytettävyys 3,5, tekniset ominaisuudet 4.

Suomalaisen kyselytutkimuksen tapaan myös pohjoismaisten asiantuntijoiden vastauksista voi päätellä, että ohjelmistojen tekniset perusominaisuudet tyydyttävät ainakin tämän hetkisen tärkeimmän käyttötarpeen, koska mikään ohjelmistoista ei erottunut kyselyssä selvästi edukseen. Sen sijaan käytettävyydessä on eroja: HUTSIMin vanhaan MS-DOS-ympäristöön tehty käyttöliittymä on vaikeampi käyttää kuin uudempien Windows-pohjaisten simulointiohjelmistojen. AIMSUN2 ja VISSIM näyttävät olevan käytettävyydeltään nelikon parhaimmat.

Kaikki ohjelmistot olivat asiantuntijavastausten mukaan sopivia edelleen kehitettäväksi. Toisin sanoen mitään ohjelmaa ei oltu yksimielisesti hylkäämässä. Eroja ei tältä osin voida sanoa olevan, mutta VISSIM ja HUTSIM olivat saaneet kaksi edelleenkehittämistoivetta. HUTSIMissa katsottiin olevan eniten kehittämistyön tarvetta.

Yhteenvedon voidaan todeta, että nykyiset liikennesimulaattorit tyydyttävät tämän hetkiset tärkeimmät käyttötarpeet, joihin simulointia ollaan totuttu käyttämään apuvälineenä. Vaikka simuloinnin käyttötarve esisuunnitelma- vaiheissa sekä telematiikka- ja ympäristötarkasteluissa arvioitiin jonkin verran alhaisemmaksi kuin 'perinteisissä' liittymätarkasteluissa, katsottiin myös ne vähintäänkin melko tärkeiksi sovellusmahdollisuuksiksi.

Vaihtoehtoisesti voidaan esittää johtopäätös, että simulointiohjelmistojen täyttä potentiaalia ei vielä selvästi tiedosteta esimerkiksi telematiikka- ja muiden uusien liikenteen hallintaratkaisujen toimivuus- ja vaikutusarvioissa, joihin nykyisetkin ohjelmistot tarjoavat jo mahdollisuuksia.

Käyttäjänäkökulmasta käyttöliittymän merkitys korostuu, kun vaihtoehtoisten ohjelmistojen tekniset ominaisuudet ovat riittävät tärkeimpiin sovelluskohteisiin. Käyttöliittymissä HUTSIM on heikoin DOS-grafiikkansa vuoksi. Muut ohjelmistot toimivat Windows ympäristössä, ja ovat siten käyttäjäystävällisempiä. Käyttäjäkokeusten ja teknisen taustan perusteella AIMSUN2 ja VISSIM ovat helppokäyttöisimmät ohjelmistot. Molempiin on saatavissa myös 3D-visualisointi demomalleja varten. AIMSUN2 sisältää myös suoran EMME/2-rajapinnan, mikä helpottaa reititysten ja matkatuotosten laatimista simulointeja varten.

Ohjelmistojen ylläpito- ja kehitystyö on eräs tärkeä tuotteen ominaisuus. VISSIM, Paramics ja AIMSUN ovat julkaisseet ohjelmistopäivityksiä viime vuosien aikana. Useimmat näistä ovat lisenssin haltijoiden ladattavissa internetistä.

5.3 Koulutus ja käyttäjätuki

Käyttäjäkoulutusta järjestävät AIMSUN, Paramics ja VISSIM. Koulutus ei kuitenkaan kuulu lisenssihintoihin kenelläkään ohjelmistotoimittajalla. AIMSUNin käyttäjäkoulutus järjestetään useimmiten joko Barcelonassa käyttäjäseminaarien yhteydessä tai asiakkaan omissa tiloissa. Paramics järjestää koulutustilaisuuksia kolmen päivän koulutusjaksoissa, jolloin tarvitaan noin yksi ohjaaja jokaista viittä harjoittelijaa kohden. Toimittajan mukaan tämän laajuinen kurssi on todettu sopivaksi perusasioiden oppimiseen. Paramics järjestää myös kokeneemmille käyttäjille vaativampia kursseja. VISSIMin kurssit on jaettu myös aloittelijoille ja kokeneemmille käyttäjille. Kurssit jär-

jestetään Saksassa toimittajan tiloissa tai asiakkaan luona. Ohjelmistotoimittajien kurssien hinnat vaihtelevat noin 800–1000 euron välillä päivää kohden. HUTSIMin käyttöön opastavaa koulutusta ei olla järjestetty.

Käyttäjätukea järjestetään henkilökohtaisesti puhelimitse (help-desk –toiminta) ja internetsivuilla (käyttäjien ja toimittajan kysely- ja keskustelupalstat). Pääperiaatteiltaan AIMSUNin, Paramicsin ja VISSIMin tukipalvelut ovat yhtenevät. Käyttäjätuki on useimmiten ilmaista ensimmäisen vuoden ajan, jonka jälkeen palvelusta on maksettava vuosimaksu. Vuosimaksulla saa myös oikeuden ohjelmiston teknisiin päivitys- ja korjauspaketteihin uusia versioita lukuun ottamatta. Myös Synchro / Simtraffic tarjoaa on-line –tukipalvelut. HUTSIMin käyttäjätuki on tältä osin joukon heikoin.

Käyttäjätapaamisia ja –seminaareja järjestävät AIMSUN, Paramics ja VISSIM. Seminaarit ovat erityisen hyödyllisiä tietolähteitä kokeneille käyttäjille uusien sovellusalueiden, käyttäjäohjelmointisovellusten ja muiden haastavien käyttökohteiden osalta. Myös HUTSIM on järjestänyt käyttäjä/toimittaja –seminaareja, mutta toiminta on viime vuosina ollut vaimeampaa.

Kaikki ohjelmistotoimittajat tarjoavat asiakkaiden käyttöön laajat ja kattavat manuaalit.

5.4 Ohjelmistotoimittajayhteistyö ja kehitysresurssit

Kolmen suurimman ohjelmistotoimittajan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella kaikki ovat potentiaalisia yhteistyökumppaneita, jos jotain ohjelmistoa päätetään lähteä kehittämään nykyistä paremmin Suomen olosuhteisiin sopivaksi.

Kaikki toimittajat TKK:ta lukuun ottamatta ovat liikeyrityksiä, joten yhteistyökuvion on palveltava heidän taloudellisia intressejään. Kullakin toimittajalla on mahdollisuus tehdä taloudellisiakin uhrauksia yhteistyön eteen, jos tavoitteet palvelevat ohjelmiston koko markkina-aluetta, laajentavat sitä tai ovat muuten liiketaloudellisesti kannattavia.

Erillisiä Suomea koskevia päivityksiä, kalibrointeja ja muuta kehitystyötä on mahdollista tilata kaikilta toimittajalta. Kaikki toimittajat olivat valmiita avustamaan erilaisten kalibrointitöiden suunnittelussa, sekä tarvittaessa osallistumaan itse työhön sen liittyessä ohjelmointiin. Yleensä aktiivisemmasta osallistumisesta on maksettava markkinahintainen korvaus.

Paramics painotti API:n (käyttäjäohjelmoinnin) tukea ja tarpeellisuutta ohjelmiston käyttöönotossa, koska API-ohjelmointia tarvitaan kalibroinnissa. Mahdollisuuksia olivat omat API-sovellukset, jolloin käyttäjäoikeus jää teki-jälle, toimittajalta tilattava työ ja näiden välimuoto.

VISSIMin toimittaja tekee pieneköjä käyttäjäpalautteeseen perustuvia korjauksia itsenäisesti, jos ne sopivat koko ohjelmiston kehittämiseen ja versioiden julkistamisaikatauluun (esim. ajoneuvomallien kehitystyö). Suuremmat muutos- ja lisästyöt ovat mahdollisia sekä kehitys- ja rahoitusyhteistyönä (esim. käyttäjäkuntaa hyödyttävät kehitystoimenpiteet, esimerkkinä VISSIMin päästömallinnuksen kehittäminen yhdessä Volkswagen-yhtiön kanssa)

että tilaustyönä (puhtaasti tilaajaa hyödyttävät muutokset, esimerkkinä automaattisin ajonhallintalaittein varustettujen ajoneuvojen simulointisovellus Ford-autonvalmistajalle).

AIMSUNin toimittaja korosti kalibrointityöhön liittyen ohjelman avoimuutta (eli ohjelmointityötä ei tarvita) ja käyttäjän omia mahdollisuuksia ohjelman kalibrointiin. Toimittajan näki omana osuutenaan avustamisen kalibrointityön suunnittelussa (esim. tärkeimpien parametrien valinta, kalibrointimenetelmän suunnitteluapu).

Kaikilta ulkomaisilta toimittajilta löytyy resursseja kehitystyöhön. VISSIMin eduksi voidaan mainita vakaa ja pitkäaikainen ohjelmiston kehityshistoria ja muita laajempi toiminta liikennetekniikan sektorilla (esim. ennustemallit), mikä takaa jatkuvuutta mahdolliselle syvemmälle kehitystyölle ja tarjoaa laajemman liikenneteknisen taustan. AIMSUNin ja Paramicsin toimittajat ovat keskittyneet pääasiassa simulointiohjelmistonsa levittämiseen ja uusien sovellusmahdollisuuksien kehittämiseen.

Kaikilla toimittajilla on jo toimintaa ja yhteistyötä Pohjoismaissa. Erityisesti KTH (Kungl Tekniska Högskolan, Ruotsi) on panostanut simulointiohjelmistojen tutkimukseen ja ollut yhteydessä kaikkien toimittajien kanssa. VISSIM ja AIMSUN ovat tällä hetkellä hieman Paramicsia yleisempiä Suomessa ja Pohjoismaissa, mutta Paramics on osoittanut merkkejä halustaan laajentaa markkinoitaan Pohjoismaissa.

Ohjelmien kehittämis- ja kalibroimistyössä Pohjoismaisiin olosuhteisiin eräs varteenotettava mahdollisuus on ruotsalaisten ja suomalaisten tilaaja-, tutkimus- ja konsulttiorganisaatioiden yhteistyö. Ruotsissa erityisesti KTH:lla on kokemusta kaikista tarkastelluista ohjelmistoista.

6 YHTEENVETO MALLINNUKSEN NYKYTILASTA

Pohjoismaisille liikenteen mallinnusohjelmien käyttäjille tehdyn kyselyn perusteella Pohjoismaissa on käytössä laaja valikoima liikenteen välityskyymalleja (mm. CapCal, HCM, DanKap ja VTI) ja mikrosimulointiohjelmiä (mm. HUTSIM, AIMSUN, Paramics, VISSIM Synchro / Simtraffic ja CONTRAM). Pohjoismaisten kokemusten mukaan tietotaitoa on vaikea ylläpitää riittäväällä tasolla edistyneiden simulointiohjelmien osalta, joskin tietotaidon täydelliseen ylläpitämiseen nähdään melko harvoin tarvetta. Simulointiohjelmien pääkäyttö kohdistuu kehitys- ja tutkimusprojekteihin, ja suunnittelutehtävissä simulaattoreita tarvitaan eniten ongelmakohtien visualisointiin. Yhteisymmärrystä jonkin tietyn mallin tai ohjelmiston kehitystarpeesta ja kehityksen suositeltavuudesta ei kyselyn mukaan ollut: usein kehitettäväksi suositeltiin sitä ohjelmaa, joka on käytössä omassa maassa tai organisaatiossa.

Suomessa mallinnusohjelmien käytön tarvetta mitanneen kyselyn pohjalta liikennealan asiantuntijat näkivät mallinnuksen käytön tarpeen ennakkoodotusten mukaiseksi: mikromallinnuksen tarve lisääntyy tarkastelukohteen ja tarvittavien tulosten yksityiskohtaisuuden lisääntyessä, ja makromallit ovat riittäviä laajemmissa tarkasteluissa. Yleisesti mikrosimulointia tarvitaan perinteisten suureiden, kuten matka-aikojen ja nopeuksien arviointeihin. Ongelmana laajempien esimerkiksi verkollisten tarkastelujen teossa on kuitenkin se, että huolimatta tulosten tarkkuustasovaatimusten vähäisyydestä makromallien käyttö on vaikeaa, koska sovellusmahdollisuudet ovat mikromalleja rajoittuneemmat eikä kokonaisia verkkoja pystytä kunnolla käsittelemään erilaisilla välityskyymalleilla.

Kyselyn perusteella muodostuneeseen käsitykseen mikro- ja makromallien käyttötarpeesta ns. perinteisissä toimivuustarkasteluissa uusien sovellusmahdollisuuksien (uudet liikenteen ohjaus- ja hallintajärjestelmät tms.) sijaan on voinut vaikuttaa myös se, että kaikkia uusien ja pitkälle kehittyneiden mikrosimulointiohjelmistojen käyttömahdollisuuksia ei tunneta, eikä niitä olla totuttu käyttämään liikenteen suunnittelun ja toimivuustarkastelujen apuvälineenä tällaisissa kohteissa. Esimerkiksi liikennejärjestelmäsuunnittelusta löytyy monia osa-alueita ja selvityksiä, joissa mikrosimulointi on ainakin teknisesti paras työväline. Tällaisia tarkasteluja ovat mm. vaihtoehtojen vertailuvaiheen liikenteelliset ja ympäristölliset vaikutusarviot ja itse suunnittelun eri osa-alueet (erityisesti nykyverkon tehostamistoimenpiteiden suunnittelu, yksittäisten henkilöauto- tai joukkoliikennetoimenpiteiden arviointi, liikenteen ohjauksen ja informaation suunnittelu sekä hanketason työmaajärjestelyt). Lisäksi mikrosimulointi tuottaa tarkempia suoritearvioita ja tunnuslukuja mm. kannattavuusarvioihin sekä toimii poliittisessa päätöksenteossa ja osapuolten yhteistyössä visuaalisena apuvälineenä, joka kertoo myös alaa tunte mattomalle eri ratkaisujen toimivuudesta ja vaikutuksista.

Mikrosimuloinnin käyttö kussakin kohteessa on kuitenkin aina vahvasti riippuvainen tarvittavien tulosten tarkkuudesta ja mikrosimuloinnin vaatimasta työmäärästä. Mikrosimulointi vaatii aina tarkemmat lähtötiedot ja enemmän resursseja tulosten saavuttamiseen kuin makromallien käyttö, mikä on otettava huomioon työvälinettä valittaessa.

Vertailuun valituista neljästä välityskyymallista (CapCal, DanKap, HCM ja VTI) HCM tarjoaa laajimman sovellusalueen ja CapCal luotettavimmat tulokset pohjoismaisissa olosuhteissa. Suomalaisesta näkökulmasta kehittämis-

toimenpiteet olisi parasta kohdistaa siten, että HCM:n parametreista saataisiin pohjoiseurooppalainen kalibrointiversio ja CapCalin mallivalikoiman käyttökohteita lisättäisiin.

Mikrosimulointiohjelmista käsiteltiin laajasti AIMSUNia, HUTSIMia, Paramicsia ja VISSIMiä sekä hieman suppeammin liikennevalo-ohjauksen suunnittelutyökalun Synchron rinnalle rakennettua Simtraffic-ohjelmaa. Tarkastelussa tärkeiksi mikrosimulointiohjelmistojen ominaisuuksiksi havaittiin sovellusmahdollisuuksien laajuus, käyttäjän omien lisäominaisuuksien ohjelmointimahdollisuudet ja rajapinnat maankäytön ja liikenteen ennustemalleihin. Myös ohjelmien ajoneuvomallien validiteetti ja riittävä kalibrointi katsottiin erityisen tärkeäksi.

Teknisen vertailun päätulos oli, ettei kolmen kattavimman ohjelmiston (AIMSUN2, Paramics ja VISSIM) välillä ole mainittavia eroja ohjelmistojen käytettävyyden, teknisten ominaisuuksien, sovellusmahdollisuuksien laajuuden ja suomalaisen validiteetin osalta. Ohjelmistotoimittajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella kaikki ovat potentiaalisia yhteistyökumppaneita, jos jotain ohjelmistoa päätetään lähteä kehittämään nykyistä paremmin Suomen olosuhteisiin sopivaksi. Kun ohjelmien tukipalveluissakaan ei voitu todeta merkittäviä eroja, ei näitä kolmea ohjelmaa voida asettaa tämän selvityksen perusteella paremmuusjärjestykseen.

HUTSIM on heikompi käytettävyytensä ja sovellusten laajuuden osalta, mutta täyttää parhaiten kalibrointi- ja validointivaatimukset. Simtraffic on edellä mainittuja ohjelmia rajoittuneempi sovelluskohteiden suhteen: simulaattori on tehty nimenomaan liittymätarkasteluihin eikä siinä ole muiden tapaan esim. kehittyneiden liikenteen hallinta- ja ohjausmenetelmien, joukkoliikenteen ja kiertoliittymien tarkastelumahdollisuuksia. Käytettävyydeltään ja ominaisuuksiltaan se on sen sijaan paras liikennevalosuunnittelun alalla.

Suomessa mikrosimulointia on sovellettu pääasiassa liittymätason ja pienten verkkojen tarkasteluihin. Vasta viime vuosina voimakkaasti kehittyneenä menetelmänä monet mikrosimuloinnin tarjoamista mahdollisuuksista ovat vielä kokeilematta. Selvä suuntaus kuitenkin on, että laajempien kokonaisuuksien ja liikenneverkkojen mallinnus on siirtymässä mikrotasolle. Muita kiinnostavia mikrosimuloinnin sovellusaloja ovat mm. päästömallinnus, liikenteen hallinnan ja ohjauksen vaikutustarkastelut sekä häiriötilanteiden hallinta.

Luotettavien mallinnustulosten saaminen edellyttää vielä liikennealan eri toimijoiden sisäistä ja poikkitieteellistä yhteistyötä ohjelmistojen osamallien kehittämiseksi ja kalibroimiseksi. Luotettavat ja hyvin tunnetut mallinnustyökalut tuottavat hyötyjä erilaisissa liikenteen suunnittelu-, tutkimus- ja ennustustehtävissä mm. päätösten taustalla olevien tarkastelujen parantuneen laadun, virhearvioiden ja väärin suunnattujen investointien vähentymisen myötä. Kehitystyön valtakunnallinen ohjaus mahdollistaa työhön panostettavien resurssien mahdollisimman tehokkaan hyötykäytön.

7 SIMULOINNIN KEHITYSTYÖ JA TOIMINTAMALLIT

7.1 Kehitystyön merkitys ja lähtökohdat

7.1.1 Simuloinnin käyttökohteiden laajentuminen

Liikenteen mallinnuksessa tarkasteltavia aikajänteitä ovat nykytilanne ja tulevaisuus. Mallinnuksessa ollaan siirtymässä yhä hienopiirteisempiin menetelmiin tarkasteluaiheiden monipuolisuuden seurauksena. Näitä tutkivissa analyyseissä mikrosimulointimenetelmät ovat parhaimmillaan. Numeeristen ja graafisten tulosteiden lisäksi mikrosimulointi tarjoaa mahdollisuuden seurata liikennetilannetta kuvaruudulla. Tämä on tulosten havainnollisuuden kannalta etu ja suunnittelijan tai päättäjän on helpompi tulkitella tuloksia ja tehdä johtopäätöksiä havaintojensa perusteella, kun liikennetilanteen voi nähdä kuvaruudulla omin silmin.

Mikrosimuloinnin sovelluskenttä on laaja kattaen useimmat liikenteelliset tarkastelutarpeet. Laajojen verkkomallien sijasta tähän saakka selvästi yleisimmät sovellukset ovat olleet valo-ohjauksisia liittymiä ja kiertoliittymiä kuvaavat mallit. Liikennetilanteiden moninaisuus ja mahdolliset liikenteelliset ongelmat vilkasliikenteisillä korkealuokkaisilla väylillä ovat viime vuosina luoneet tarpeen laajentaa mikrosimuloinnin kotimaista sovelluskenttää. Hyvin laajoja, useista tuhansista elementeistä koostuvia malleja on tehty pääkaupunkiseudun pääväyliltä kuten Länsiväylältä, Kehä I:lta ja Kehä III:lta. Tulokset ovat herättäneet vilkasta keskustelua ja tuoneet esiin arvokasta uutta tietoa.

Vaikka Suomessa mikrosimulointia on aiemmin pääasiassa sovellettu liittymätason tarkasteluihin, myös laajaa pääkaupunkiseutua kuvaavaa mallia (Integration) on käytetty. Tällä hetkellä käynnissä on pääkaupunkiseudun laaja liikenneverkkomallinnus, joka toteutetaan AIMSUN-ohjelmistolla.

Liittymä- ja verkkotason tarkastelujen lisäksi mikrosimulointi mahdollistaa erilaisten yksilöllisten ja epätavallisten liikennetilanteiden analysoinnin. Tällaisia tilanteita voivat olla liikenteen erilaiset häiriöt, jotka aiheutuvat esimerkiksi seuraavista tekijöistä:

- tietyömaat ja niistä johtuvat järjestelyt,
- rikkoutuneet ajoneuvot,
- onnettomuudet,
- bussipysäkit ja
- huono sää.

Suhteellisen nuorena, vasta viime vuosina voimakkaasti kehittyneenä menetelmänä monet mikrosimuloinnin tarjoamista mahdollisuuksista ovat vielä kokeilematta. Lähestymistapana mikrosimulointi on useimpiin liikenteellisiin tarkastelutarpeisiin otollinen. Kun jokaisen ajoneuvon nopeus, kiihtyvyys ja vuorovaikutukset muuhun liikenteeseen tunnetaan jokaisessa paikassa reitin varrella, voidaan muun muassa melua, päästöjä ja liikenneturvallisuutta arvioida varsin yksityiskohtaisesti.

Näiden aiheiden tarkastelu edellyttää vielä itse mikrosimulointiohjelmien kehittämistä ja poikkitieteellistä yhteistyötä osamallien kehittämiseksi. Kun mikrosimuloimalla mallinnetut paikan funktiona saatavat melu- ja päästökuorimitukset integroidaan päästöjen ja melun leviämismalleihin, on tulostarkkuus nykyiseen verrattuna aivan eri luokassa.

Nyansoitujen ympäristövaikutusten ohella yksi kiinnostavimmista mikrosimuloinnin tulevaisuuden haasteista on liikenteen palvelutason ja sujuvuuden määrittely ja mittaustavat. Keskinopeus liikennemäärän funktiona antaa varsin epämääräisen, usein jopa väärän kuvan palvelutasosta. Kun lähestytään asiaa käyttäjänäkökulmasta ja arvioidaan vaikka kuljettajan kokemaa ajomukavuutta, vapautta valita nopeutensa, muiden ajoneuvojen läheisyyttä, häiriöistä johtuvia nopeusvaihteluja ja matka-ajan ennustettavuutta, on mikrosimuloinnilla käyttöä.

7.1.2 Käyttömahdollisuudet liikennejärjestelmäsuunnittelussa

Liikennejärjestelmäsuunnittelu yhdistää seutu-, kaupunki- ja detaljitason maankäyttösuunnittelun sekä liikenneverkon hankesuunnittelun. Suunnitelman tuloksena syntyy liikennemuotojen työnjakoa ja kulkumuotojakaumaa koskevia tavoitteita, suosituksia maankäytön kehittämiseksi, tavoitteellisia liikenneverkkoja ja niiden toteuttamisstrategioita, toimenpidekokonaisuuksia ja yksittäisiä hankkeita järjestelmän kehittämiseksi sekä kannattavuus-, turvallisuus- ja ympäristövaikutusarvioita.

Liikennejärjestelmäsuunnittelu jakaantuu liikennejärjestelmäsuunnitelmaohjeen mukaan seuraaviin osavaiheisiin ja –tehtäviin (Lähde: Liikennejärjestelmäsuunnitelma, Tielaitoksen julkaisuja, keskushallinto 1996).

Liikennejärjestelmän analyysissa selvitetään mm. maankäyttöä ja yhdyskuntarakennetta (väestö, työpaikat, liikenteen kysyntä), henkilö- ja tavaraliikennettä (liikennemäärät, terminaalit, joukkoliikenteen palvelutaso, matkustajamäärät, kulkumuotojakauma), liikenneturvallisuutta (onnettomuuksien lukumäärät, tyypit ja vaaralliset kohteet), käyttäjien mielipiteitä ja arvostuksia, tie-, katu- ja kevyen liikenteen verkkoja (tekniset ominaisuudet ja luokitukset, yhteyspuutteet), ympäristötietoja (päästöille, melulle ja rakentamiselle herkäät alueet) sekä rahoitusta ja yhteistyötä. Analyysin tuloksena esitetään mm. nykyinen ja ennustetilanteen liikkumiskäyttäytyminen, väylien ja liittymien liikenteellinen toimivuus sekä liikenneturvallisuus. Analyysin pohjalta luodaan liikennejärjestelmän toiminnalliset, hallinnolliset ja taloudelliset tavoitteet.

Liikennejärjestelmän vaihtoehtoiset toteuttamistavat syntyvät järjestelmäanalyysin ja tavoitteiden pohjalta. Vaihtoehtoissa otetaan huomioon mm. maankäyttöön, liikenteen hinnoitteluun, tieverkkoratkaisuihin ja kulkumuoto-osuuksiin liittyvät ratkaisut, mahdollisuudet tukea joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen kulkumuoto-osuuksia ja matka-ketjuja, nykyisen verkon hyötykäyttö ja liikenteen haittojen vähentäminen (päästöt ja onnettomuudet). Eri vaihtoehtoja vertaillaan liikenteellisten, yhdyskuntarakenteellisten, ympäristö- ja talousvaikutusten kannalta.

Liikennejärjestelmäsuunnitelman laatiminen aloitetaan parhaan vaihtoehdon löydyttyä. Suunnitelmassa tarkennetaan toimenpiteitä sekä arvioidaan suunnitelman vaikutukset kaikilla suunnitelman osa-alueilla.

- Tie- ja katuverkko,
- Joukkoliikenne,
- Kevytliikenne,
- Liikenteen ohjaus ja pysäköinti,
- Huolto- ja tavaraliikenne sekä
- Kustannukset, rahoitus ja yhteistyö.

Suunnitelman valmistuttua ja liikennepoliittisten tavoitteiden konkretisoiduttua laaditaan **kehittämisohjelma**, joka sisältää mm. hankkeiden ja hankekokonaisuuksien muodostamisen ja vaikutusten arvioinnin, kustannusarviot sekä toteuttamisjärjestyksen ja aikataulun.

Liikenteen mallinnus tarjoaa useaan järjestelmän suunnittelukohteeseen ja työvaiheeseen työkalun, jonka käyttöä voitaisiin nykyisestä lisätä ja tehostaa. Seuraavissa taulukoissa on hahmoteltu liikenteen mallinnuksen käyttömahdollisuuksia liikennejärjestelmäsuunnittelun näkökulmasta niissä selvitys- ja suunnittelutehtävissä, joissa mallinnukselle käyttö nähdään potentiaalisena.

Taulukko 8. Liikenteen mallinnuksen käyttömahdollisuuksia liikennejärjestelmäsuunnitelman eri työvaiheissa sekä suunnittelu- ja selvityskohteissa.

Liikennejärjestelmän analyysi nykytilassa ja ohjeluonnalla	
Maankäyttö ja yhdyskunta väestö, työpaikat, liikenteen kysyntä	Päävaihtoehtona liikenteen makrotason ennustemallien käyttö
Henkilö- ja tavaraliikenne mm. liikennemäärät, terminaalit, joukkoliikenteen palvelutaso, matkustajamäärät, kulkumuotojakauma	Nykytilan selvityksessä malleilla ei ole käyttöä, jos tiedot pystytään hankkimaan laskennoista ja muista lähteistä. Ennustetilän arvioinneissa makrotason ennustemallit erityisesti liikenne- ja matkustajamäärien osalta sekä kulkumuotojakaumaa arvioitaessa
Liikennejärjestelmän vaihtoehtoiset toteuttamistavat ja niiden vertailu	
Liikenteellinen toimivuus suorite, kulkumuotojakauma, matka-ajat, palvelutaso	Vaihtoehtovertailussa mallinnus on parhaimmillaan. Suorite-, kulkumuoto-, matka-aika ja palvelutasotekijä analyysit voidaan tehdä parhaiten makrotason malleilla. Mikrosimulointia syytä harkita tärkeimmillä yhteysväleillä, kriittisissä kohteissa tai vaihtoehtojen ollessa kokonaisuutena lähellä toisiaan.
Yhdyskuntarakenteellinen vaikutus	Makroennustemallit ovat hyödynnettävissä mm. joukkoliikenteen matkamäärien ja joukkoliikennettä tukevien toimintojen sijoittelun arvioinnissa.
Ympäristövaikutus melu, päästöt, estevaikutukset, viihtyisyys	Melu- ja päästömallinnuksessa liikenteen makro- ja mikromallinnus ensisijaisessa asemassa. Makromallit parhaita melun osalta ja vähemmän tarkkuutta vaativissa kohteissa. Mikrosimulointia harkittava, jos ajoneuvopäästöt ovat kriittinen tekijä esim. keskustan ilmanlaadussa tai suojeleukohteessa.
Taloudellisuus rakentamis- ja käyttökustannukset	Makromallit tuottavat perustiedot (matka-ajat, suoritteet, päästöt) käyttökustannuksiin. Mikrosimuloinnilla voidaan tarvittaessa tuottaa tarkemmat suoritteet sekä arvioida rakentamisen aikaisia kustannuksia (työmaaliikenne ja -häiriöt).

Liikennejärjestelmäsuunnitelman laatiminen: tieverkko ja liikenne	
Tie- ja katuverkko Nykyisen väylästä tehokkuuden parantaminen	Väylästä tehostamiskeinojen analysoinnissa mikrosimulointi on suositeltavin työkalu (hallinta- ja ohjausjärjestelmät, tarkat tulokset, visuaalinen todentaminen)
Kulkumuotojen kehittämistarpeet	Kulkumuotojen osuuksia analysoitaessa voidaan käyttää makromalleja (matka-aika ja suorite-ennusteet). Yksittäisten toimenpiteiden arvioinnissa (etuisuudet ja muut fyysiset parantamiskeinot) mikrosimulointi tarjoaa erinomaiset mahdollisuudet (joukkoliikenteen nopeuttaminen, ongelmakohtien toimenpidevalinnat)
Ympäristö (melu, päästöt, jne.)	Melu- ja päästöarvioinneissa mikrosimulointi tuottaa luotettavimmat ja tarkimmat tulokset
Turvallisuus	Turvallisuusanalyysissä makromallit eivät tuota tarvittavia tuloksia. Mikrosimulointia voi harkita, mutta turvallisuussimulointeihin tulee vielä suhtautua varauksella.
Joukkoliikenne Reitit	Reittisuunnittelussa makromallit suositeltavin keino (yhteysvälien tarve- ja matkamäärätarkastelut). Yksittäisten reittien liikennöinnissä mikrosimuloinnilla voidaan tuottaa matka-aika ja kalustotarve-ennusteita ongelmallisimmissa kohteissa
Etuisuudet, pysäkkijärjestelmä ja terminaalit	Etuisuuksien tarpeen ja toteutuksen suunnittelussa ja vaikutusarvioissa mikrosimuloinnilla suuri potentiaali. Terminaalisuunnittelussa ja pysäkkijärjestelyissä simuloinnilla voidaan varmistaa liikenteellinen toimivuus ja tehokkaat ratkaisut.
Maankäyttö joukko- liikenteen kannalta	Joukkoliikennettä suosiva maankäyttö voidaan tarkastella makromallien avulla (kysyntäennusteet).
Maksujärjestelmä ja tiedottaminen	Maksujärjestelmän ja tiedotuksen liikenteellisiä vaikutuksia voidaan tarkastella mikromallein (mm. pysäkkitoimintojen nopeutuminen). Ei suurta merkitystä kokonaisuudessa.
Matkaketjut	Matkaketjujen toimivuutta voidaan ongelmakohteissa tarkastella mikrosimuloinnein (lähinnä vaihdollisten yhteyksien aikataulussa pysyminen, terminaalitoiminnot). Ei suurta merkitystä kokonaisuudessa.
Kuntien kuljetukset, kustannukset ja liikenteen hoito.	Kustannusarvioihin voidaan tuottaa tarkentavia lähtötietoja mm. kaluston kiertoajan ja tarpeen simuloinnein.
Kevytliikenne Yhteyksien lyhentäminen	Nykyisellä mallinnuksella ei suuria mahdollisuuksia.
Turvallisuus (mm. risteäminen ajoneuvojen kanssa, talvikunnossapito)	Turvallisuussimulointeihin ei ole tällä hetkellä suuria mahdollisuuksia. Kokonaisriskiä (risteämistapahtumat) ja risteämistapahtumaan liittyvää riskikäyttäytymistä (punaista päin kävely, ryntäily) voidaan arvioida esim. jalankulkuviiveistä ja ajoneuvoaikaväleistä.

Liikennejärjestelmäsuunnitelman laatiminen: liikenteen ohjaus ja huoltoliikenne	
<p>Liikenteen ohjaus ja pysäköinti Viitoitus, nopeusrajoitukset, etuajo-oikeudet, reitinopastus, joukkoliikenne-, pysäköinti- ja muu informaatio</p> <p>Pysäköintitilat, liityntäpysäköinti ja pysäköinnin rajoitukset</p>	<p>Mikrosimuloinnilla erinomaiset sovellusmahdollisuudet ohjaustavan, nopeusrajoitusten, reitinopastuksen, pysäköinti-informaation ja muiden ohjaustoimenpiteiden toteuttamistavan valinnan ja vaikutusten arviointiin.</p> <p>Pysäköintitilojen sisäisen toiminnan simulointimahdollisuudet rajalliset. Pysäköintialueiden sijainnin, koon, rajoitusten ja informaation vaikutusta ympäröivään liikennetilanteeseen voidaan tutkia luotettavasti simuloimalla. Liityntäpysäköinnin mallinnusmahdollisuudet rajalliset (tilojen riittävyttä ja ulkoisia vaikutuksia voidaan tutkia).</p>
<p>Huolto- ja tavaraliikenne Terminaalit, purkupaikat, reitit, kaluston koko, kuljetusten yhdistely</p>	<p>Mikrosimulointimahdollisuudet hyvät: purkupaikkojen määrän mitoitus, purkupaikan liikennejärjestelyt, terminaalien liikennejärjestelyt, reittioptimointi eri liikennetilanteissa</p>
Liikennepoliittiset päätökset ja kehittämissuunnitelma	
<p>Päätökset, kustannukset, rahoitus ja yhteistyö</p>	<p>Järjestelmän kustannuksia arvioitaessa mikro- ja makromallit tuottavat käyttökustannusten lähtötiedot (suositeltava menetelmä riippuu tarkastelutarkkuudesta). Toimenpiteitä, tavoitteita ja osapuolten kustannusvastausta päätettäessä mikrosimulointi tuottaa visuaalisen esityksen eri vaihtoehtojen toimivuudesta, mikä voi helpottaa päätöksentekoa.</p>
<p>Kehittämisohjelma Hankekokonaisuuksien muodostaminen ja suunnittelu</p> <p>Vaikutusten arviointi</p> <p>Toteuttamisjärjestys ja aikataulu</p>	<p>Simulointia voidaan käyttää hankesuunnitelmissa mm. työnaikaisten järjestelyjen optimoinnissa, hankeosien toteuttamisjärjestyksen valinnassa liikennejärjestelyjen näkökulmasta.</p> <p>Kts. edelliset kohdat (ajokustannukset, päästöt, turvallisuus, yhteiskunnalliset vaikutukset)</p> <p>Verkollisten ja paikallisten simulointien avulla voidaan osoittaa liikenteellisesti kiireellisimmät parannuskohteet ja parannusten vaikutukset. Vaikutusarvion perusteella pystytään edistämään hyötyjen käyttöönottoa mahdollisimman pian.</p>

7.1.3 Mallien nykyinen soveltuvuus käyttökohteisiin

Simulointiohjelmistojen nykyinen käytettävyys suomalaisesta käyttönäkökulmasta katsottuna erilaisilla sovellusalueilla on esitetty kuvissa 5 ja 6. Kuvan 5 sovellusalueiden perustana on nykykäyttöä kuvaava ja jopa alan vallit-

sevaksi referenssiksi mielletty HCM-laskentamanuaali, jonka soveltuvuus-alue on vuosien kehitystyön saatossa laajentunut kattamaan valtaosan perinteisistä liikennesuunnittelukohteista. Perinteisen liikenteenohjauksen mallinnuksen lisäksi mallinnusohjelmistojen perusvaatimukseen voidaan katsoa kuuluvan valmiudet uusien liikenteenohjauksjärjestelmien tarkasteluihin (kuva 6).

LIIKENNEYMPÄRISTÖT			
Kaupunkiliikenne liittymätasolla			
Valo-ohjauksiset liittymät	CAPCAL	SIMTRAFFIC/HUTSIM	HUTSIM/SIMTRAFFIC
Valo-ohjaamattomat liittymät	CAPCAL	SIMTRAFFIC/HUTSIM	HUTSIM/SIMTRAFFIC
Kevyt liikenne	HCM	V / A / P *	VISSIM
Joukkoliikenne	V / A / P *	V / A / P *	VISSIM
Katuosuudet	HCM	HCM / V / A / P *	V / A / P *
Maantieliikenne			
Monikaistaiset (moottori)tiet	HCM	HCM	V / A / P / H *
Kaksikaistaiset tiet	HCM	VTI / HCM	VTI / HCM
Sekoittumisalueet	HCM	HCM	V / A / P / H *
Ramppliittymät	HCM	HCM	V / A / P / H *
Alueelliset tarkastelut			
Kaupunkialueet	HCM	V / A / P *	V / A / P *
Tieosuudet liittymiseen	HCM	HCM	V / A / P *
TARKASTELUTASO	ALUSTAVAT TARKASTELUT	VAIHTOEHTOISET RATKAISUT	YKSITTÄISET TARKASTELUT

*) V / A / P / H = Vissim / Aimsun / Paramics / Hutsim, ei arvioita paremmuusjärjestyksestä

Kuva 5. Eri tarkastelukohteisiin suositeltavat simulointi- ja välityskykyohjelmit nykytilanteessa suomalaisen käyttäjän näkökulmasta.

TELEMATIikka JA INFORMAATIO		
Automatisoidut tiet ja ajoneuvot AIMSUN PARAMICS VISSIM	Häiriöiden hallinta AIMSUN PARAMICS	Reitinopastus AIMSUN VISSIM PARAMICS
	Alueellinen liikenteen hallinta ja informaatio AIMSUN PARAMICS	Muuttuvat opasteet, pysäköinti, joukkoliikenne VISSIM AIMSUN PARAMICS

Kuva 6. Telematiikka- ja informaatio-sovellusten vaikutustarkasteluihin suositeltavat simulointiohjelmit nykytilanteessa.

Mikrosimulointiohjelmistojen käytön suositeltavuus kasvaa suunnittelun ja tarkastelun tarkkuuden lisääntyessä. Esisuunnittelutasolla makromallit ovat suositeltavimpia kuin mikromallit, koska tarkastelun ja tulosten tarkkuustaso on riittävä ja mikromallien rakentamisen viemä aika ja resurssit ovat liian suuret suhteessa alustavien toimivuustarkastelujen tarkkuusvaatimuksiin. Poikkeuksena on joukkoliikenteen toimivuustarkastelut, joihin käytännössä VISSIM tarjoaa parhaat mahdollisuudet.

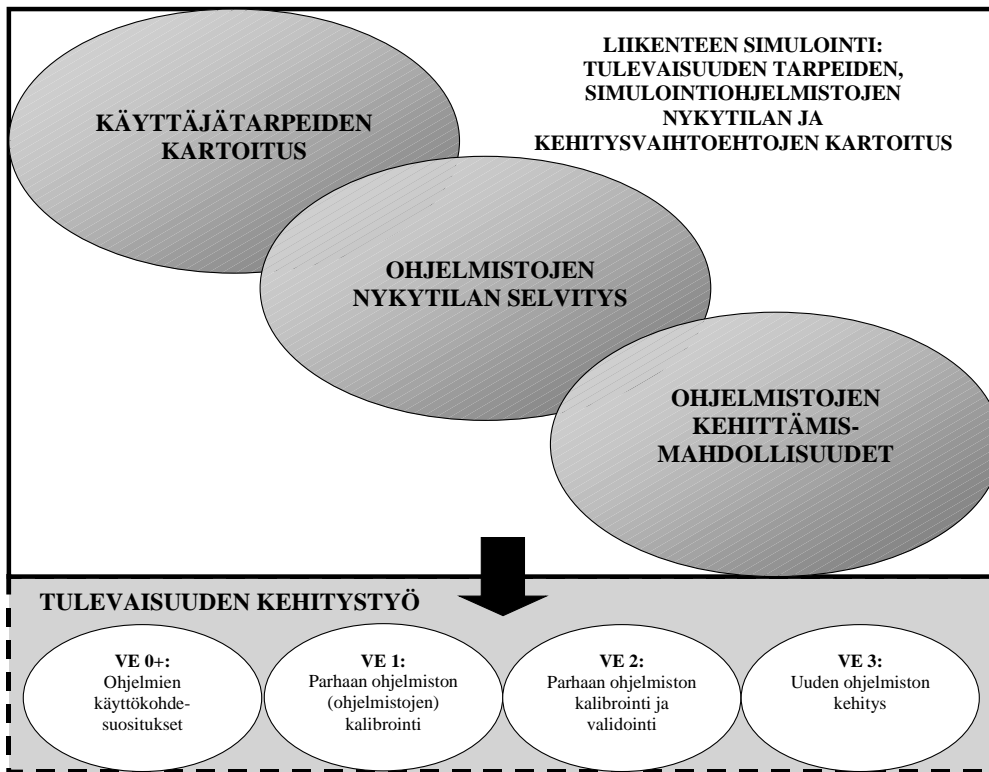
Kuvan 5 suositusohjelmista vain pohjoismaisten HUTSIMin, CapCalin ja VTI-mallin voidaan katsoa täyttävän validointi- ja kalibrointivaatimukset suomalaisiin olosuhteisiin. Nämä mallit täyttävät myös kaikkein tärkeimmät tämän hetkiset mallinnukseen liittyvät tarpeet. Tulevaisuudessa useisiin yhä tärkeämmiksi nouseviin tarkastelukohteisiin parhaiten soveltuva mallinnusmenetelmä on joku muu kuin edellä mainittu kolmikko, koska Pohjoismaissa kalibroidut mallit eivät sisällä kaikkia tulevia sovellustarpeita. Esimerkiksi VISSIM on parhaimmillaan kaupunkiliikenteen tarkkuutta vaativissa tarkasteluissa, ja HCM-laskentamallit tarjoavat kattavimman valikoiman karkeamman tason liikennetarkasteluihin. Telematiikkasovellusten vaikutusarvioihin ei tällä hetkellä löydy suomalaisiin olosuhteisiin kalibroituja malleja.

Edellä mainituista syistä johtuen simulointimallien kehitystyö Suomen olosuhteita silmällä pitäen on välttämätöntä, jos simulointia halutaan tulevaisuudessa hyödyntää täysimääräisesti uusien, usein kehittyneeseen tekniikkaan perustuvien liikenteen ohjaus- ja hallinsovellusten vaikutusten ja säästöpotentiaalin arvioinnissa sekä mahdollisimman taloudellisessa ja tehokkaassa käyttöönötossa.

7.2 Toimintamallit simuloinnin kehitystyössä

7.2.1 Toimintamallien muodostamisperusteet

Simuloinnin kehittämistyö liikenteen tutkimuksen ja suunnittelun työvälineeksi nykyisiin ja tulevaisuuden käyttökohteisiin perustuu tämänhetkisiin käyttäjätarpeisiin, tulevaisuuden käyttötarpeiden tunnistamiseen, nykyisten ohjelmistojen valmiuteen suoritua näistä tehtävistä, ohjelmistojen kehitysmahdollisuuksiin sekä erilaisten toimintamallien ja niiden vaatimien panostusten hahmottamiseen. *Kuvassa 7* on esitetty kaavio, joka kuvaa toimintamallisuositukseen johtavaa arviointiprosessia.



Kuva 7. Liikenteen simuloinnin kehittämisen vaihtoehtoiset toimintamallit.

Jatkossa on hahmoteltu Tiehallinnon mahdollisia toimintamalleja liikenteen simuloinnin kehittämisessä suomalaisiin olosuhteisiin. Tiehallinnon todennäköisin vaihtoehto on toimia liikennetutkimuksen alalta kerättävän konsortion puheenjohtajana simuloinnin kehittämisessä. Tätä ryhmää kutsutaan *kuvissa 8–11* sekä raportin loppuosassa kehitysryhmäksi.

7.2.2 Toimintamalli 0+

Käyttökohteisiin parhaiten soveltuvien mallien valinta saatavissa olevista ohjelmistoista ilman omaa kehitystyöpanostusta (nykytila+)

Kehitysryhmän/Tiehallinnon rooli, vastuu ja vaikutusmahdollisuudet:

Tiehallinnon johtaman ryhmän päärooli on ylläpitää ajantasaista tietoa siitä, mikä markkinoilla käytetyistä mallinnusohjelmistoista on soveltuvin kuhunkin tehtävään. Keskeinen tavoite suositusten antamisesta on se, että tiettyjen ohjelmien käyttöönotto lisääntyisi: kun mallinnusohjelmalla on riittävästi käyttäjiä, lisääntyy kaikkien osapuolten tietoisuus mallin käyttökelpoisuudesta, mallille tehtävien kalibrointitoimenpiteiden toteuttamismahdollisuudet ja niiden kannattavuus lisääntyvät, ohjelmiston käyttäjien ammattitaito kasvaa ja tulosten luotettavuus paranee. Prosessi johtaa tilaajaosapuolten luottamuksen kasvuun ja mallien käytön lisääntymiseen edelleen.

Tiehallinnon ja kehitysryhmän rooli on luonteeltaan ohjaava ja informoiva. Vaihtoehdossa 0+ Tiehallinto voi toimia myös itsenäisesti ilman suurempaa kehitysryhmää.

Tiehallinnolla tai alalla ei ole ainakaan seurantatyön alkuvaiheessa yhtä yksittäistä ohjelmistoa, jonka käyttöä suositellaan tai kehitetään. Tiehallinnolla vastuu itse simuloinnin teknisestä kehittämisestä on vähäinen, ja se rajoittuu lähinnä ohjelmistojen ominaisuuksien ja soveltumisen seurantaan suomalaisten käyttäjien näkökulmasta. Jonkin ohjelmiston osoittautuessa muita soveltuvammaksi Suomen olosuhteisiin, sen käyttö lisääntyy ja se voi saada muita suuremman painoarvon kehitysryhmän suosituksissa.

Vastuun ja panostuksen ollessa käytännössä hyvin pienet jäävät myös Tiehallinnon vaikutusmahdollisuudet ohjelmistojen kehitystyöhön vähäisiksi. Vaikutusmahdollisuus kehitys- ja ylläpitotyöhön syntyy suorista kehitystyötoimeksiannoista.

Tarvittavat toimenpiteet:

Vaihtoehdossa 0+ tarvittavien toimenpiteiden lista on melko lyhyt. Olemassa olevista ohjelmistoista ja malleista valitaan parhain kuhunkin tärkeäksi katsottuun sovellusalueeseen. Vaihtoehtoon kuuluvia tehtäviä ovat

- **Seurata** mallinnusohjelmien ominaisuuksien kehittymistä.
- **Ylläpitää** sovellussuosituksia.
- **Pyrkiä** vaikuttamaan simulointiohjelmistojen kehitystyöhön.
- **Tilata** 'täsmäpäivityksiä' tai erityisen tärkeitä uusia sovelluksia tarvittaessa.
- **Informoida** käyttäjäkuntaa suosituksista.

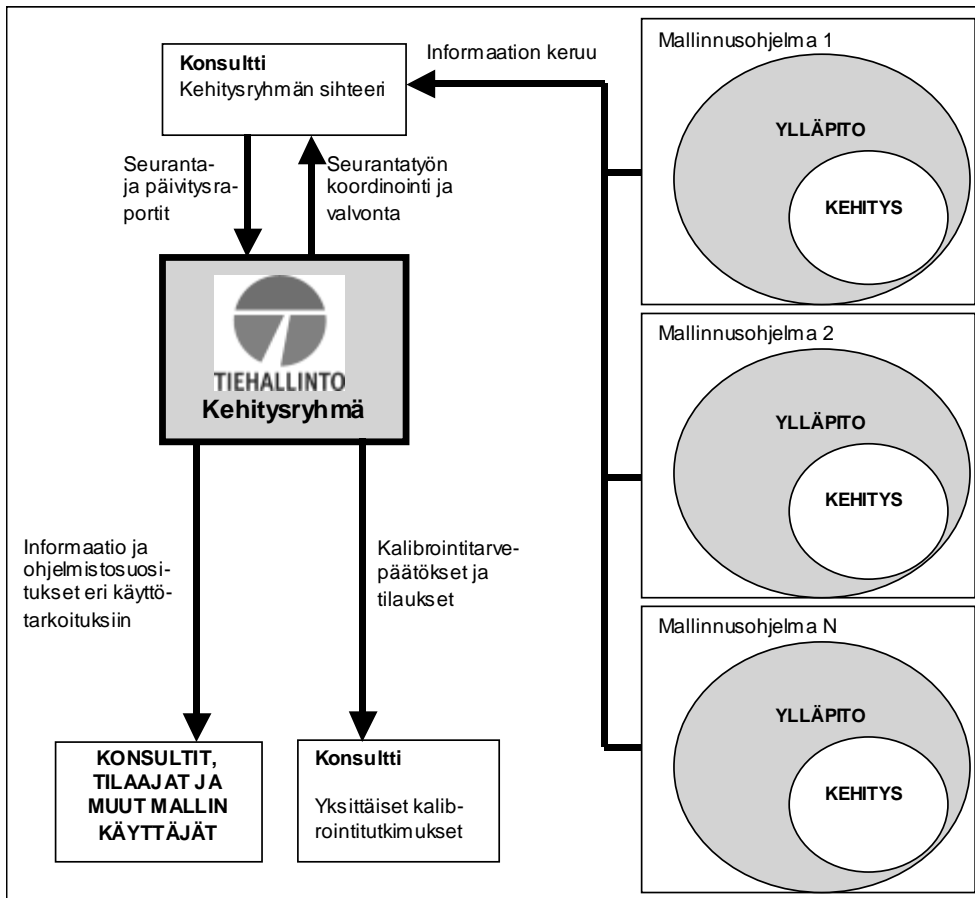
Mikrosimulointi- ja välityskykyohjelmistojen ominaisuuksien selvitykset ja päivitykset teetetään konsulttitoimeksiannotoina. Erityistarpeista suoritetaan oma tai konsulttiselvitys tarvittaessa

Tiehallinnon panostus ja hyödyt:

Vaihtoehdossa 0+ Tiehallinnon panostukset jäävät minimiin. Panostus rajoittuu alkuvaiheessa ohjelmiston tilan nykyselvitykseen ja käyttäjätarpeiden muutosten seurantaan.

- + Kustannukset.
- + Nopea aikataulu.
- Useiden ohjelmistojen yhtä aikaisen käytön tarve.
- Ei vaikutusmahdollisuuksia simuloinnin kehitystyöhön.
- Ei olennaista parannusta nykytilaan (ei uudelleen kalibrointeja tms.).

Kuvassa 8 on hahmoteltu kaavio toimintamallin toteutuksesta.



Kuva 8. Simuloinnin kehitystyö ja Tiehallinnon asema toimintamallissa 0+.

Visio toimintamallin toteutuksen jälkeisestä tilanteesta:

'Tiehallinnon tai Tiehallinnon johtaman kehitysryhmän ylläpitämistä suosituksista voidaan tarkastaa kuhunkin tarkastelukohteeseen soveltuvin ohjelmisto. Kunkin ohjelmiston käyttöalueen rajoitukset tunnetaan kohtuullisesti, mikä antaa mahdollisuuden arvioida tulosten oikeellisuutta kalibroimattomissa tarkastelukohteissa. Simulointia käytetään toimivuustarkasteluihin mahdollisimman luotettavasti niillä edellytyksillä, mitä kullakin tarkastelun suorittajalla on (käytössä olevat ohjelmistot), ja mihin nämä ohjelmistot antavat mahdollisuuksia.

Eri suunnitteluvaiheissa ja tarkastelukohteissa on käytössä laaja mallikirjo (noin 3–n makromallia 3–n mikromallia).'

7.2.3 Toimintamalli 1

Olemassa olevan ohjelmiston käyttöönotto ja siihen tehtävät vähäiset kalibroinnit tärkeimpien ominaisuuksien osalta.

Kehitysryhmän/Tiehallinnon rooli, vastuu ja vaikutusmahdollisuudet:

Tiehallinnon päärooli on toimia simuloinnin kehittämissuunnitelman vetäjänä. Kehitysryhmä toimii yhteistyössä mallin/ohjelmiston toimittajan kanssa. Ryhmän rooli on luonteeltaan kalibrointityötä organisoiva ja koordinoiva. Toimittajan vastuulle jää uusien ominaisuuksien kehittäminen.

Tiehallinnolla ja kehitysryhmällä vastuu itse ohjelman kehitys- ja ylläpitotyössä on vähäinen. Vastuu rajoittuu lähinnä ohjelmiston kehityksen seuraamiseen ja kalibroinnin ylläpitämiseen muuttuvissa liikenneolosuhteissa.

Vastuun ja panostuksen ollessa verrattain pieniä jäävät myös Tiehallinnon vaikutusmahdollisuudet ohjelmiston kehitystyöhön rajoitetuiksi. Vaikutusmahdollisuudet toimittajan kehitys- ja ylläpitotyöhön syntyvät lähinnä tärkeästä asiakassuhteesta (toimittaja kokee Tiehallinnon merkittäväksi asiakkaaksi taloudellisista tai imagollisista syistä) ja suorista kehitystoimeksiannoista.

Tarvittavat toimenpiteet:

Vaihtoehdossa 1 tarvittavien toimenpiteiden lista on melko lyhyt. Olemassa olevista ohjelmistoista ja malleista on valittava pisimmälle kehittynyt ja toisaalta vähäisellä työmäärällä kalibroitu oleva malli tai ohjelmisto. Valintaa varten on kartoitettava potentiaaliset ohjelmistoehdokkaat, niiden uudelleen kalibroinnin tarve ja mahdollisuudet. Vaihtoehtoon kuuluvia tehtäviä ovat

- **Selvittää** yhteistyössä toimittajan kanssa kalibroittavien parametrien valinta ja säätömahdollisuudet, ja ohjata kalibrointi niille alueille, jotka ohjelmakehityksen suunnitteluvaiheessa on todettu tärkeimmiksi.
- **Organisoida ja koordinoita** tarvittavat kalibrointitutkimukset (kalibrointimittausten teettäminen ohjelmiston toimittajalla tai kolmannella osapuolella).
- **Rahoittaa** tarvittavat kalibrointitarkastelut joko itse tai yhteistyössä toimittajan kanssa, mikäli toimittajalle koituu kalibroinnista taloudellista hyötyä.
- **Ohjata** kalibroidun ohjelmiston käyttöön Tiehallinnon omissa ja ulkopuolisissa simulointitarkasteluissa esimerkiksi ohjelman käyttöön ohjaavin tarjouspyynnöin tms.
- **Seurata** ohjelmiston kehitystä ja ylläpitoa mahdollisten uusien kalibrointitarpeiden tunnistamista varten.

Kalibrointitutkimukset sisältävät ainakin mallien rakentamisen sellaisista sovellusalueista, joihin kalibrointi on päätetty suorittaa. Kalibrointimallinnuksen tuloksia verrataan samasta kohteesta tehtyihin kenttämittaauksiin, säädetään parametreja kenttämittausten tuloksia vastaaviksi ja kartoitetaan mahdolliset valideiteettipuutteet ja ohjelmiston käytön rajoitukset.

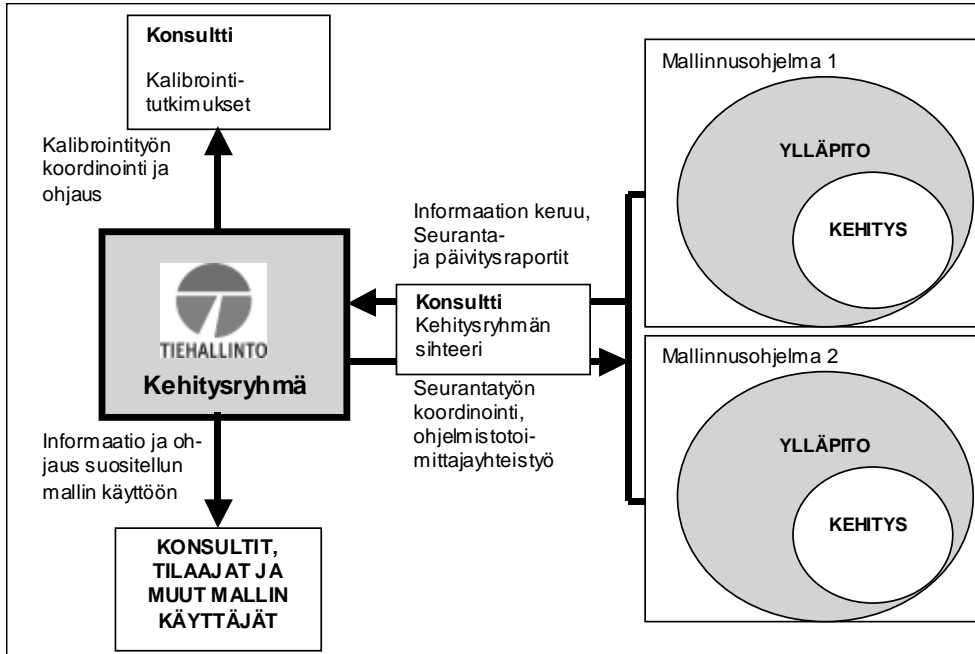
Tiehallinnon panostus ja hyödyt:

Vaihtoehdossa 1 Tiehallinnon panostukset jäävät vähäisimmiksi niistä vaihtoehtoista, joissa Tiehallinto ja sen vetämä kehitysryhmä osallistuvat aktiivisesti simulointiohjelmistojen käytön ja kehityksen ohjaamiseen. Tiehallinnon panostus tulee olemaan merkittävä kehitysryhmän käytössä olevista resursseista. Panostus rajoittuu alkuvaiheessa ohjelmiston valintaan ja kalibrointitutkimusten tekemiseen. Alla on esitetty toimintamallin etuja ja haittoja.

- + Kustannukset.
- + Nopea aikataulu.
- Useiden ohjelmistojen yhtä aikaisen käytön tarve myös kalibrointitutkimuksen käytön jälkeen.

- Rajoitetut vaikutusmahdollisuudet uusien sovellusalueiden simuloinnin kehitystyöhön.

Kuvassa 9 on hahmoteltu kaavio toimintamallin toteutuksesta.



Kuva 9. Simuloinnin kehitystyö ja Tiehallinnon asema toimintamallissa 1.

Visio toimintamallin toteutuksen jälkeisestä tilanteesta:

'Tarvittavien toimenpiteiden jälkeen Tiehallinnolla ja kehitysryhmän jäsenillä on valittuna yksi ohjelmisto, jonka käyttöä voidaan suositella ja jonka tuloksiin voidaan luottaa tunnetuissa tarkastelukohteissa. Soveltamalla toimintamallia esitettyjen ohjelmistojen osalta saavutetaan yhtenäinen käytäntö lähinnä liittymätason ja liikenneverkkojen toimivuustarkasteluissa. Ohjelmiston käyttöalueen rajoitukset tunnetaan, mikä vähentää epävalidia käyttöä tai ainakin antaa mahdollisuuden arvioida tulosten oikeellisuutta kalibroimattomissa tarkastelukohteissa.

Eri suunnitteluvaiheissa ja tarkastelukohteissa on kuitenkin yhä käytössä laaja mallikirjo (noin 2–3 makromallia 1–2 mikromallia).'

7.2.4 Toimintamalli 2

Olemassa olevan ohjelmiston käyttöönotto sekä siihen tehtävä laajako kalibrointi ja validointi Suomen olosuhteisiin.

Kehitysryhmän/Tiehallinnon rooli, vastuu ja vaikutusmahdollisuudet:

Tiehallinnon johtaman kehitysryhmän päärooli on toimia yhteistyössä mallin/ohjelmiston toimittajan kanssa ja teetättää mallista mahdollisesti puuttuvien tai Suomen olosuhteissa virheellisesti toimivien ominaisuuksien ja osamallien kuvaukset. Ryhmän rooli on luonteeltaan työtä organisoiva ja koordinoiva, mutta rooliin kuuluu myös aktiivinen osallistuminen validoinnin mahdollisesti vaatimaan osamallien muutossuunnitteluun ja uusien suomalaisten

liikenneolosuhteiden tai lainsäädännön vaatimien osamallien kehittämiseen. Tiehallinto vastaa ryhmän puheenjohtajana ryhmän toiminnasta.

Toimittajan vastuulle jää uusien ominaisuuksien kehittäminen ja kehitysryhmän toimittamien osamalli- ja oletusparametrimuutosten lisääminen ohjelmistoon. Tiehallinto ja ryhmän jäsenet saavat käyttöönsä lisenssin oikeuttamat päivitykset. Ohjelmakoodin oikeudet säilyvät toimittajalla, mutta jos validointitoimenpiteiden seurauksena toimittajalle syntyy mahdollisuus taloudellisen hyödyn saavuttamiseen, kehitysryhmällä on oikeus vaatia osuus toimittajan saamasta hyödystä. Tällainen tilanne voisi syntyä esimerkiksi silloin, jos mallinnusohjelmaan kehitetään kehitysryhmän rahoittamina toimeksiantoina uusia liikenteen ohjauksen tai päästöjen osamalleja, jotka liitetään ohjelmiston yleiseen myyntiversioon, tai joita myydään ohjelmiston lisäominaisuuksina. Tiehallinnon oikeudet ovat muita laajemmat, koska sen osuus ryhmän toiminnan rahoituksesta on todennäköisesti suurin.

Tiehallinnon vastuu itse ohjelman kehitys- ja ylläpitotyössä on vähäinen, mutta Tiehallinto vastaa suomalaisen version validiteetista yhdessä kehitysryhmän kanssa. Vastuu rajoittuu validoituihin osamalleihin sekä validoinnin ja kalibroinnin ylläpitämiseen muuttuvissa liikenneolosuhteissa.

Tiehallinnon ja kehitysryhmän vaikutusmahdollisuudet toimittajan kehitystyöhön ovat rajoitetut, mutta ylläpitotyössä Tiehallinnolla on oikeus vaatia uusiin (suomalaisten) osamallien päivittämistä uusimpiin ohjelmaversioihin ja Tiehallinnon toimittamien uusien validoitujen osamallien liittämistä ohjelmistoon. Kehitystyön ohjaamismahdollisuudet perustuvat tärkeään ja tiiviiseen asiakassuhteeseen, taloudelliseen osallistumiseen toimittajan suunnitelmiin uudistuksiin tai kehitystyötoimeksiantoihin.

Tarvittavat toimenpiteet:

Vaihtoehdossa 2 olemassa olevista ohjelmistoista ja malleista on valittava pisimmälle kehittynyt ja kohtuullisella työmäärällä validoitavissa ja kalibroita- vissa oleva malli tai ohjelmisto. Työmäärää tärkeämpi peruste on kuitenkin validoinnin ja ohjelmiston sovellusalueen laajuus, jotta validointityö tuottaa mahdollisimman kattavan ohjelmiston. Vaihtoehtoon kuuluvia tehtäviä ovat

- **Selvittää** yhteistyössä toimittajan kanssa validointityön yhteistyömahdollisuudet (toimittajan valmius ja suostuvuus mahdollisiin koodimuutoksiin ensivaiheessa ja tulevaisuuden tarpeissa).
- **Organisoida ja koordinoita** tarvittavat validointi- ja kalibrointitutkimukset yhteistyökumppanin löydyttyä (kalibrointimitausten teettäminen ohjelmiston toimittajalla tai kolmannella osapuolella).
- **Rahoittaa** tarvittavat tutkimukset (validointi- ja kalibrointitarkastelu, mahdolliset osamallien muutokset tai uusien osamallien kehittäminen) itse tai yhteistyössä toimittajan kanssa, mikäli toimittajalle koituu taloudellista hyötyä.
- **Suosia** validin ohjelmiston käyttöä ja **ohjata käyttäjiä** ohjelman käyttöön Tiehallinnon omissa ja ulkopuolisissa simulointitarkasteluissa esimerkiksi arvostamalla tarjousten hyväksymisvaiheessa validia ohjelmaa käyttäviä tarjoajia.
- **Seurata** ohjelmiston kehitystä ja ylläpitoa, jotta suomalaisiin olosuhteisiin validoitujen osamallien ylläpito ja päivitykset suoritetaan asianmukaisesti.

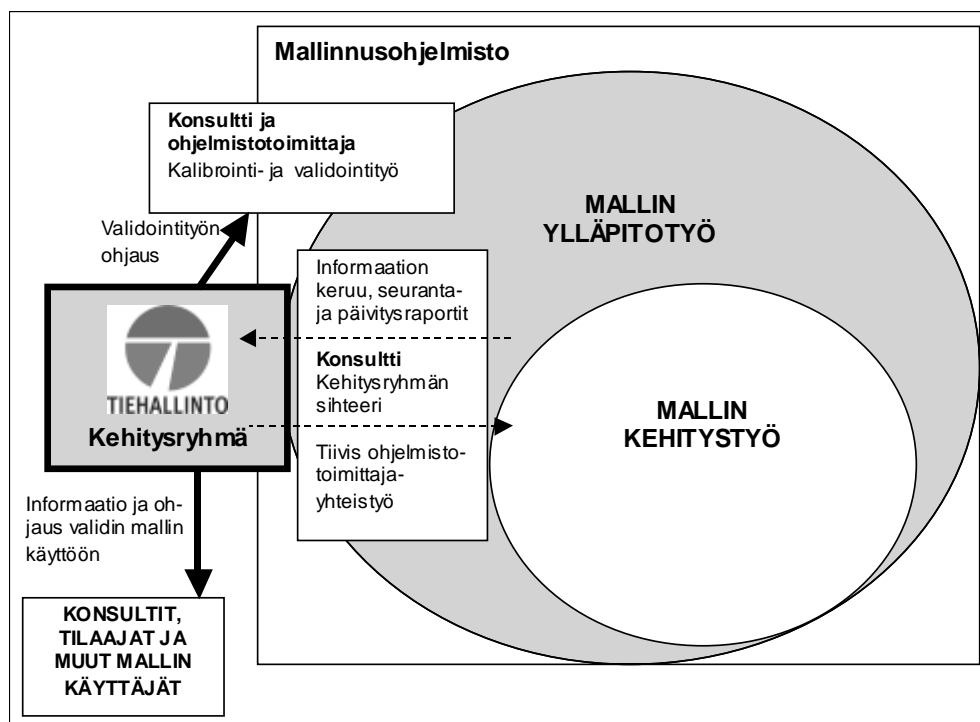
Validointi- ja kalibrointitutkimukset sisältävät ainakin tutkimusmallien rakentamisen sellaisista sovellusalueista, joihin validointi on päätetty suorittaa. Kalibrointitarkastelussa mallinnuksen tuloksia verrataan samasta kohteesta tehtyihin kenttämittauksiin, säädetään osamallien toimintaa ja parametreja kenttämittausten tuloksia vastaaviksi, kartoitetaan mahdolliset validiteetti- puutteet, kehitetään puuttuvat mallit ja korjataan epävalidit mallit sekä raportoidaan ohjelmiston käytön rajoitukset.

Tiehallinnon panostus ja hyödyt:

Vaihtoehdossa 2 Tiehallinnon panostukset ovat selvästi suuremmat kuin vaihtoehdossa 1. Panostus keskittyy alkuvaiheessa ohjelmiston valintaan ja validiteettitarkastelujen tekemiseen. Alla on esitetty toimintamallin etuja ja haittoja.

- + Uuden käyttöliittymältään ja sovelluslaajuudeltaan nykyistä kehittyneemmän malliohjelmiston lanseeraaminen Suomeen.
- + Simulointitarkastelujen tekemisen ja teettämisen selkiytyminen ja tulosten luotettavuuden kasvu niillä osa-alueilla, joihin validoitu ohjelmisto soveltuu.
- + Kohtuullisen nopea aikataulu.
- + Vaikutusmahdollisuuksien avautuminen ohjelmistojen sisältöön.
- +/- Kustannukset.
- +/- Käytettävien ohjelmistojen määrän väheneminen / Kilpailutilanteen vääristäminen valtion laitoksen toimesta.
- Useiden ohjelmistojen käytön tarve edelleen eri suunnitteluvaiheissa: toisaalta yksi mikromalli ei todennäköisesti ole sovellettavissa järkevin perustein kaikkiin käyttötarpeisiin (esisuunnittelu, karkeat toimivuustarkastelut, jne.).
- Edelleen rajoitetut vaikutusmahdollisuudet simulointiohjelmiston kehitystyön suuntaan.

Kuvassa 10 on hahmoteltu kaavio toimintamallin toteutuksesta.



Kuva 10. Simuloinnin kehitystyö ja Tiehallinnon asema toimintamallissa 2.

Visio toimintamallin toteutuksen jälkeisestä tilanteesta:

'Tarvittavien toimenpiteiden jälkeen Tiehallinnolla ja koko alalla on yksi ohjelmisto, jonka käyttöä suositellaan ja jonka tuloksiin voidaan luottaa laajan sovellusalueen kattavissa tarkastelukohteissa. Soveltamalla toimintamallia esitettyjen ohjelmistojen osalta saavutetaan yhtenäinen käytäntö kaupunkiliikenteen liittymätason, katuverkkojen, joukkoliikenteen ja maanteiden toimivuustarkasteluissa. Lisäksi telematiikkasovellusten vaikutusarvioita voidaan suorittaa kohtuullisella tasolla. Ohjelmiston käyttöalueen rajoitukset tunnetaan.

Suunnittelun ja tarkastelujen tarkkuustason perusteella valitaan sopiva mallinnustaso. Käytössä on pääsääntöisesti kaksi makromallia ja yksi mikromalli.'

7.2.5 Toimintamalli 3

Uuden ohjelmiston kehittäminen tai olemassa olevan ohjelmiston lähdekoodin oikeuksien hankinta ja oma jatkuva kehitystyö.

Kehitysryhmän/Tiehallinnon rooli, vastuu ja vaikutusmahdollisuudet:

Tiehallinnon johtaman kehitysryhmän päärooli on toimia ohjelmiston kehittäjänä ja ylläpitäjänä. Täysin uuden ohjelmiston osalta kehitysryhmä valitsee sopivat yhteistyökumppanit mallin kehitystyöhön. Ohjelmaoikeuksien hankintavaihtoehdossa kehitystyöstä vastaa ohjelmiston alkuperäinen toimittaja Tiehallinnon ja kehitysryhmän ohjeiden ja valvonnan mukaisesti.

Tiehallinnon rooli on luonteeltaan kaupallisen ohjelmistotuotteen kehittäjä ja markkinoija. Rooliin kuuluu aktiivinen kehitystyö, joka tähtää ensisijaisesti Suomen markkinoille tuotettavan kilpailukykyisen mallinnusohjelmiston tuottamiseen.

Tiehallinto omistaa oikeudet ohjelmistoon ja sen taloudelliseen tuottoon kehitysryhmän jäsenien kanssa. Omistusoikeus jaetaan rahallisen panostuksen suhteessa.

Tarvittavat toimenpiteet:

Vaihtoehdossa 3 olemassa olevista ohjelmistoista ja malleista valitaan mahdollisimman pienellä työmäärällä kilpailukykyiseksi kehitettävä ohjelmisto ja ostetaan ohjelmiston täydellinen käyttöoikeus. Vaihtoehtoisesti lähdetään kehittämään uutta ohjelmistoa käyttäjätarpeiden perusteella. Kehitystyön perustana ovat ensisijaisesti tieteellisesti hyvin raportoidut ajoneuvo- ja kuljetajamallit ja toissijaisesti uusien osamallien kehittäminen. Vaihtoehtoon kuuluvia tehtäviä ovat

- **Selvittää** valmiiden mallien hankintamahdollisuudet ja uuden ohjelmiston kehittämiskustannukset ja yhteistyötahot.
- **Rahoittaa** tarvittava kehitystyö ja/tai ohjelmakoodin hankinta.
- **Ohjeistaa** kehitetyn ohjelmiston käyttöä.
- **Ohjata käyttäjiä voimakkaasti** ohjelman käyttöön.
- **Markkinoida ja myydä kehitettyä** ohjelmistoa.
- **Huolehtia** ohjelmiston ylläpidosta ja päivityksistä.

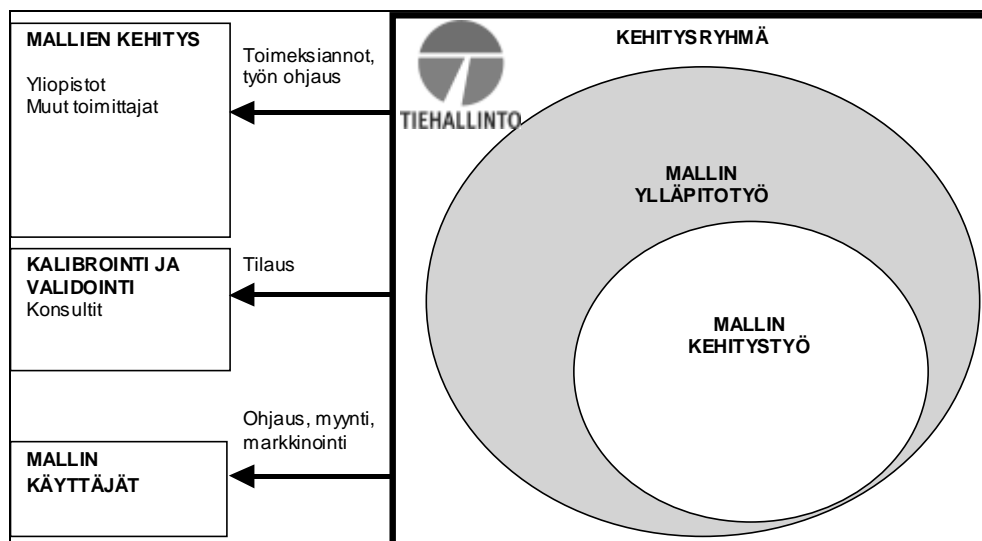
Tärkein tehtävä on yhteistyötahojen löytäminen. Yhteistyötahojen on oltava teoreettiselta taustaltaan päteviä liikenteen mallinnuksessa ja tietoteknisessä osaamisessa.

Tiehallinnon panostus ja hyödyt:

Vaihtoehdossa 3 Tiehallinnon panostukset ovat selvästi suurimmat. Panostus keskittyy alkuvaiheessa ohjelmiston hankintaan ja/tai kehittämiseen. Kehityspanostus tulee olemaan huomattava molemmissa vaihtoehdoissa.

- + Uuden käyttöliittymältään ja sovelluslaajuudeltaan nykyistä kehittyneemmän malliohjelmiston tuottaminen Suomeen.
- + Simulointitarkastelujen tekemisen ja teettämisen selkiytyminen ja tulosten luotettavuuden kasvu niillä osa-alueilla, joihin ohjelmisto soveltuu.
- + Rajoittamattomat (pois lukien resurssirajoitukset ja tieteellinen osaaminen) kehitysmahdollisuudet tarpeiden mukaan.
- + Mahdollisuus yhden erittäin laajasti sovellettavan ohjelman kehittämiseen.
- Kustannukset ja toteutusmahdollisuudet: kustannukset ovat huomattavat ja toteuttaminen vaatii huolellisesti valittuja yhteistyötahoja.
- Tiehallinnon toimiminen yhtä aikaa ohjelmistotoimittajana ja merkittävä nä tilaajana sekä toimialan vaikuttajana simulointiohjelmistomarkkinoilla
- Mikro- ja makrosovellusalueiden kattaminen taloudellisesti ja tieteellisesti käytännössä lähes mahdotonta.
- Hidas aikataulu.

Kuvassa 11 on hahmoteltu kaavio toimintamallin toteutuksesta.



Kuva 11. Simuloinnin kehitystyö ja Tiehallinnon asema toimintamallissa 3.

Visio toimintamallin toteutuksen jälkeisestä tilanteesta:

'Tarvittavien toimenpiteiden jälkeen Tiehallinnolla ja liikennetutkimuksen alalla on yksi ohjelmisto, jonka käyttö on suomalaisissa liikennetarkasteluissa ehdottomasti suositeltavinta. Käyttöalue on laaja kattaen myös telematiikkatarkastelut. Toimintamallilla saavutetaan yhtenäinen käytäntö laajalla alueella. Makromallit ovat osittain integroituja ohjelmistoon, ja muita malleja käytetään ainoastaan korkeimman tason toimivuustarkasteluissa.

Käytössä on pääsääntöisesti Tiehallinnon mallinnusohjelmisto ja yksi makromalli.'

7.3 Toimintamallien arviointi

Ohjelmistojen teknisten ominaisuuksien kartoituksen ja toimittajien kanssa käytyjen yhteistyökeskustelujen perusteella ei päästy yksiselitteiseen ratkaisuun ohjelmistojen teknisestä paremmuusjärjestyksestä eikä yhteistyömahdollisuuksien (toimittajan osallistuminen, rahoitusyhteistyö ja Tiehallinnon vaikutusmahdollisuudet) kattavuuseroista eri toimittajien kesken.

Koska yksiselitteistä valintaa parhaasta toimintatapa-ohjelmisto - kombinaatiosta ei voida pitkällä aikavälillä tehdä, voidaan järkevimpänä ratkaisuna pitää simulointimarkkinoiden tilanteen ja kehityksen jatkuvaa seuranta ja pienehköin resurssein toteutettavia kalibrointi- ja validointitutkimuksia Suomen olosuhteissa. Voimakkaampi panostus ja resurssien ohjaus yksittäisen ohjelmiston kehitystyöhön saattaa osoittautua ohjelmistovalinnan osalta vääräksi vaihtoehdoksi, koska ohjelmistojen kokonaisvaltaista paremmuusjärjestystä, lähitulevaisuuden kehitystä ja tulevia simulointitarpeita ei kyetä tässä vaiheessa määrittämään riittävän pitkälle tulevaisuuteen.

Toisaalta simuloinnin kehittäminen on silti tärkeää niin tilaajapuolen kuin tutkimusten toteuttajien kannalta. Tilaaja voi olla varmempi tulosten oikeellisuudesta ja toimivuustarkastelujen tuottamista analyyseistä, jos tutkimuksessa on käytetty jollain tavoin Suomen olosuhteissa testattua työkalua tai ainakin käytetyn työkalun puutteet ja heikkoudet ovat tiedossa. Tutkimusten

toteuttajan näkökulmasta tieto eri ohjelmistojen luotettavuudesta ja tilaajan kannasta työkalun valintaan edistää ohjelmiston hankintainvestoinnin toteuttamismahdollisuuksia sekä käyttöönottoa Suomessa. Tilaaja voi siis markkinaohjauksen keinoin vaikuttaa oikean simulointityökalun valintaan ja käyttöön oikeassa tarkastelukohteessa. Samalla parannetaan mikrosimuloinnin suomalaista osaamista sekä tuotetaan nykyistä parempilaatuisia tutkimuksia ja tuloksia suunnitteluhankkeiden päätöksenteon tueksi ja liikenteen vaikutustarkastelujen perustaksi.

Edellisten näkökohtien pohjalta tietyn suuruinen panostus simuloinnin kehittämiseen on perusteltua, mutta raskaat ja laajat kehitystoimenpiteet on jätettävä tulevaisuuteen. Esiitettyjen toimintamallivaihtoehtojen toteuttamismahdollisuuksia on arvioitu alla.

VE 0+: Käyttökohteisiin parhaiten soveltuvien mallien valinta saatavissa olevista ohjelmistoista ilman omaa kehitystyöpanostusta (nykytila+).

- VE 0+ soveltuu lähitulevaisuuden toimintamalliksi, mutta vaihtoehto ei juuri tuota tuloksia pitkällä aikavälillä simuloinnin kehittämisen suhteen. Toimintamalli ei rohkaise aktiiviseen osaamiseen ja työn tulosten laadun parantamiseen, koska käytettyjen mallien kirjo säilyy, ohjelmistojen hankintainvestointeja ei voida perustella eikä tilaajan epävarmuus käytettyjen menetelmien luotettavuudesta vähene merkittävästi. Lievää parannusta saavutetaan ohjelmistojen käyttökohteiden ja -mahdollisuuksien tarkemmalla määrittelyllä ja samalla simuloinnin kehityksen seuraaminen luo pohjaa syvemmälle kehitystyölle.

VE 1: Olemassa olevan ohjelmiston käyttöönotto ja siihen tehtävät vähäiset kalibroinnit tärkeimpien ominaisuuksien osalta.

- VE 1 vaikuttaa tällä hetkellä lupaavimmalta toimintatavalta: vaihtoehtoja yhdistyvät ohjelmistojen seuranta, käyttöönoton edistäminen Suomessa, tulosten luotettavuuden ja käytettävyyden tietyn tasoinen paranneminen sekä kohtuulliset panostukset. Toisaalta ohjelmistovalinnan osalta jouduttaneen suosittamaan 2-3 ohjelmistoa, mikä heikentää panostuksella saavutettavaa hyötyä.

VE 2: Olemassa olevan ohjelmiston käyttöönotto sekä siihen tehtävä laajako kalibrointi ja validointi Suomen olosuhteisiin.

VE 2 ei sovellu lähiajan toimintamalliksi ohjelmistojen ja yhteistyömahdollisuuksien tasavertaisuuden, oikean ohjelmistovalinnan teon ja toimintamallin vaatimien muita toimintatapoja suurempien panostusten vuoksi. Malli voi kuitenkin myöhemmin tulla ajankohtaiseksi, jos esimerkiksi toimintamalli 1:stä ryhdytään aktiivisesti toteuttamaan ja tarpeet havaitaan riittäviksi kustannuksiin nähden.

VE 3 on sekä kustannustensa että Tiehallinnon toimintaperiaatteiden ja tehtävien kannalta poissuljettu vaihtoehto.

7.4 Kehitysryhmän kokoonpano ja toimintaperiaatteet

Liikenteen simuloinnin ja mallintamisen jatkuva ja yhtenäinen kehitystyö vaatii riittävän laaja-alaisen asiantuntemuksen ja kehityskohteiden hyväksynnän resurssien suuntaamiseksi mahdollisimman tehokkaasti. Suunnitelmaton kehitystyö johtaa pieniin ja koordinoimattomiin parannuksiin, jolloin panostus ei realisoidu täydellisesti tai se saatetaan kohdistaa toimenpiteisiin, joista hyötyy vain harvalukuinen joukko. Riittävän laaja-alaisen kokonaisnäemyksen saavuttamiseksi ja kehitystyön ohjaamiseksi tarvitaan mallintamisen kehitystä ohjaava työryhmä.

Myös jokainen edellä esitetty toimintamalli edellyttää kehitysryhmän perustamista, vaikka 0+ -vaihtoehdossa ryhmän tarve ei ole niin suuri kuin muissa vaihtoehdoissa. Kehitysryhmän vetäjänä toimii Tiehallinto. Tiehallinnon lisäksi ryhmään kutsutaan riittävän laaja edustus liikennealan toimijoita. Alla on esitetty yksi kehitysryhmän kokoonpanovaihtoehto, jossa ydinryhmän muodostavat

- Tiehallinto, ryhmän vetäjä,
- Tiepiirien edustaja (jos katsotaan tarpeelliseksi keskushallinnon lisäksi),
- Suurten kaupunkien liikennealan edustajat (2–3 kpl),
- Pienten ja keskisuurten kaupunkien liikennealan edustajat (1–2 kpl),
- Liikennealan korkeakoulututkimuksesta vastaava edustaja ja
- Ohjausryhmän sihteeri (konsultti).

Lisäksi ryhmään voi kuulua joko varsinaisina jäseninä tai ulkopuolisina asiantuntijoina

- Liikenne- ja viestintäministeriön edustaja,
- Liikennealan konsultin edustaja (jos ryhmän sihteeri ei toimi alan edustajana),
- YTV:n, liikennelaitosten ja/tai linja-autoliikennöitsijöiden edustaja,
- Kuorma-autoliiton tai vastaavan ammattiautoilijaliiton edustaja ja
- Muun liikennealan, logistiikan tai teollisuuden edustajat.

Kehitysryhmä päättää seurantaan ja kehitykseen valittujen ja muiden seurannan arvoisten ohjelmistojen kehityksen seurannan perusteet, valittuihin ohjelmistoihin tarvittavat kalibrointitoimenpiteet sekä kalibrointien ylläpitoon tarvittavan päivitystiheyden. Kehitysryhmä (tai mahdollisesti ulkopuolinen projektisihteeri) valmistelee tarjouskilpailut ja toimeksiannot konsulteille, joiden tehtävänä on ohjelmistoseurannan ja kalibrointien käytännön organisointi ja suorittaminen sekä määräaikaisten päivitysten teko. Säännöllisissä seurantakokouksissa kehitysryhmä valvoo markkinoiden kehittymistä ja päivittää toimintasuunnitelmansa konsultin toimittaman seurantamateriaalin perusteella, ja tarpeen vaatiessa teettää selvitykset voimakkaamman kehitystyön käynnistämiseksi.

8 SUOSITUKSET JA JATKOTOIMENPITEET

8.1 Ensisijainen suositus: Toimintamalli 1

'Olemassa olevan ohjelmiston käyttöönotto ja siihen tehtävät vähäiset kalibroinnit tärkeimpien ominaisuuksien osalta.'

Ohjelmistovalinnat

Toimintamallissa 1 valitaan ohjelmistot tarkempaa tarkastelua ja tärkeimpien ominaisuuksien kalibrointia varten. Toimintamalliin suositellaan valittavaksi kaksi ohjelmistoa: AIMSUN ja VISSIM. Alla on listattu tärkeimmät syyt ohjelmistovalintaan.

AIMSUN:

- Pääkaupunkiseudulla on käynnissä AIMSUNilla toteutettava laaja pääkaupunkiseudun liikenneverkon mallinnus. Verkon valmistuttua se tarjoaa laajat sovellusmahdollisuudet sekä verkollisiin että yksityiskohtaisiin liikennetarkasteluihin. Etuja ovat:
 - Kustannussäästöt erilaisissa tarkasteluissa, kun simulointitoimeksiannon lähtökohdat ovat olemassa eikä resursseja tarvitse tuhjata mallinnustyöhön jokaisessa tarkastelussa.
 - Nyt mallinnukseen kohdistetun panostuksen mahdollisimman tehokas hyötykäyttö tulevaisuudessa.
 - Tiehallinto, ja toimeksiantojen lisääntyessä myös muut tilaajatahot, tuntevat tarkastelun tarkkuustason ja sen mahdolliset puutteet, minkä ansiosta tilaaja voi arvioida työn tulosten luotettavuutta hankepäätöksiä tehtäessä.
- Mallirakenne ja ohjelmiston avoimuus on kalibroinnin kannalta muita edullisempi.
- Rajapinnat ennustemalleihin (EMME) ovat suoraviivaisimmat, ja toimittaja huolehtii niiden toimivuudesta.

VISSIM:

- Monipuolisimmat kaupunkiliikenneominaisuudet, jotka ovat kaupunkien ja joukkoliikennetoimijoiden kannalta tärkeitä.
 - Esim. YTV:llä on ollut suunnitelmia JOKERI-linjan ja bussiterminaalien simulointitutkimuksista.
 - Esim. Tampereen kaupungilla on ollut kiinnostusta sekä ajoneuvoliikenteen yksittäisiin tarkasteluihin (erilaiset liittymäratkaisut) että erityisesti joukkoliikenteen linjastojen vaihtoehto- ja vaikutustarkasteluihin (pikaraitiotie).
- Mahdollisuus liikennesuunnittelun (VISUM) ja maankäyttömallien (VISSIM) saumattomaan käyttöön saman tuoteperheen sisällä, jos ohjelmistot ovat käytössä.
- Paramicsia avoimempi malli- ja ohjelmistorakenne kalibroinnin kannalta edullisempi.

Näistä kahdesta AIMSUN on ensisijaisessa asemassa, ja siihen kohdistetaan pääosa kalibrointiresursseista. VISSIMin mahdollisissa kalibroinneissa

keskitytään niihin osa-alueisiin, joissa se on monipuolisempi kuin AIMSUN (esim. joukkoliikenne, valo-ohjaus).

VISSIMIin panostaminen vaatii riittävän kiinnostuksen ja tarpeen löytymistä: kehitysresurssien jako ohjelmien kesken on riippuvainen kaupunkien, joukkoliikennetoimijoiden ja Tiehallinnon *kaupunkiliikenteen* simulointitarpeesta sekä VISSIM-tuoteperheen ylempien tasojen käyttöönottohalukkuudesta. Lisäksi asiaan vaikuttaa mahdollisen kaupunkiliikenteeseen 'korvamerkityn' kehitysrahoituksen löytyminen esimerkiksi kaupungeilta.

Ohjelmistovalinnan perusteet eivät ole täysin aukottomat eivätkä ne perustu yksiselitteiseen tekniseen paremmuuteen tai yhteistyömahdollisuuksien ylivoimaisuuteen. Paramics on kokonaisuutena teknisiltä ominaisuuksiltaan muiden veroinen ja sen kehitystyö on jatkuvasti käynnissä. Tämän vuoksi Paramicsia ja sen kehitystyötä suositellaan seurattavaksi ja tilaisuuden tullen Paramics voidaan sisällyttää kalibroitintyöhön.

Lisäksi otetaan huomioon HUTSIMin käyttömahdollisuudet yksityiskohtaisissa tutkimustyyppisissä tarkasteluissa sekä muiden ohjelmistojen validointi- ja kalibroitintireferenssinä. Simtraffic (Synchro) pidetään omalla alallaan seurannassa, ja käytön yleisyyden perusteella siihen voidaan harkita jossain vaiheessa kalibroitintöimenpiteitä.

Toimintamallin sisältö ja lähiaikojen toimenpiteet:

Toimintaa varten perustetaan simuloinnin kehitystä seuraava ja edistävä kehitysryhmä, jonka vetäjänä Tiehallinto toimii. Kehitysryhmän päätösten perusteella aloitetaan kalibroitintutkimukset ja muut selvitykset. Kalibrointeja tehdään suurten yksittäisten projektien yhteydessä ja tärkeimpien ominaisuuksien osalta myös erillisinä tutkimuksina. Toimintamallin 1 lähiaikojen toimenpiteitä lueteltu alla.

1. Kansallisen simuloinnin kehitystä seuraavan ja edistävän kehitysryhmän kokoonpanon määrittäminen, koollekutsuminen ja toimintatavat.
 - a) *Tarvittavien kokousten määrä ja tiheys.*
 - b) *Kehitysryhmän valmistelevan sihteerin tarve.*
2. Kalibroiinti- ja seurantatyön tavoitteiden ja käytössä olevien resurssien määrittäminen.
 - a) *Tässä työssä esitettyjen kehitys- ja seurantaohjelmistojen valintojen ja toimenpidesuosittelujen vahvistaminen ja tarkentaminen (kts. kohta 5).*
3. Jatkotyön koordinointi ja toimenpiteiden käynnistäminen.
 - a) *Kehitysryhmän projektisihteerin valinta ja koordinoitintyön (jos käytetään ulkopuolista konsulttia) tekijän valinta.*
 - b) *Tarvittavien tutkimusten (kts. kohdat 5 ja 6) ja ohjelmistoseurannan ohjelmointi.*
 - c) *Tarjouspyynnöt ja toimeksiannot, niiden valmistelu ja käsittely sekä konsulttien valinnat kalibroiinti- ja seurantatehtäviin.*
4. Kehitysryhmän toiminnan vakiinnuttaminen.
5. YTV-alueen AIMSUN-mikrosimulointiverkon valmistumisen edistäminen.

- a) *Verkon nykytilanne: kuinka paljon resursseja on tähän mennessä käytetty ja mitä niillä on saatu aikaiseksi.*
 - b) *AIMSUNin tärkeimpien parametrien kalibroinnin suunnittelu.*
 - c) *YTV-verkon kalibrointi ja samassa yhteydessä muiden tärkeimpien, mahdollisimman yleispätevien parametrien kalibrointi.*
6. VISSIMin käyttö- ja kalibrointitarpeen määrittäminen.
- a) *Kaupunkien ja joukkoliikennetoimijoiden osallistumishalukkuus, simuloinnin kehittämistarpeet kaupunkien näkökannalta.*
 - b) *Kalibrointitarve.*
 - c) *Tarvittaessa VISSIMin raskaiden ajoneuvojen tärkeimpien parametrien kalibrointi.*

8.2 Toissijainen suositus: Toimintamalli 0+

'Käyttökohteisiin parhaiten soveltuvien mallien valinta saatavissa olevista ohjelmistoista ilman omaa kehitystyöpanostusta (nykytila+).'

Ohjelmistovalinnat ja toimintamallin sisältö

Toimintamallissa 0+ otetaan seurantaan kaikki tässä työssä käsitellyt ohjelmistot. Seurattavia ohjelmistoja ovat pääsääntöisesti AIMSUN, Paramics ja VISSIM. Lisäksi otetaan huomioon HUTSIMin käyttömahdollisuudet yksityiskohtaisissa tutkimustyyppisissä tarkasteluissa sekä muiden ohjelmistojen validointireferenssinä. Simtraffic (Synchro) pidetään omalla alallaan seurannassa, ja käytön yleisyyden perusteella siihen voidaan harkita jossain vaiheessa kalibrointitoimenpiteitä. Ohjelmistojen kehitystä ja käyttömahdollisuuksia seurataan niistä saatujen kokemusten kertyessä sekä tarvittaessa suoritetaan yksittäisiä erillisiä kalibrointi- tai muita kehitystoimenpiteitä.

Toimenpiteet liittyvät yksittäiseen suureen hankkeeseen (esim. laajat verkkosimuloinnit) tai jonkin merkittäväksi nousseen simulointitarpeen kehittämiseen (esim. uuden telematiikkaratkaisun yleistyminen ja vaikutustarkastelut). Kalibroitavaksi tai kehitettäväksi ohjelmistoksi valitaan aikaisemmin kyseiseen tarkastelukohteeseen soveltuvimmaksi katsottu ohjelmisto, jolloin erilliset kehitystoimet eivät aina välttämättä kohdistu samaan ohjelmistoon.

Perustettava kehitysryhmä (tai Tiehallinto itsenäisesti) määrittää ohjelmistojen kehityksen seurannan perusteet sekä seurannan ja ohjelmistosuosituksen toteutustavan. Ohjelmistojen seurannan hoitaa konsultti kehitysryhmän valvonnassa ja ohjeistuksella (tarkkuustaso, seurattavat asiat sekä seurannan aktiivisuus). Seurannan avulla konsultti ja kehittämisryhmä päivittävät eri kohteisiin soveltuvien ohjelmistojen suosituksia. Yksittäisten kalibrointitoimenpiteiden tarve arvioidaan konsultin seurantaraporttien ja niihin perustuvien suositusten perusteella, minkä jälkeen valmistellaan tarvittavat toimeksiannot/tarjouskilpailut.

Lähiainkojen toimenpiteet:

Toimintamallin 0+ lähiainkojen toimenpiteitä ovat

1. Kansallisen simuloinnin kehitystä seuraavan ja edistävän kehitysryhmän tarpeen arviointi, ryhmän kokoonpanon määrittäminen ja kehitysryhmän koollekutsuminen.
2. Seurantatyön tavoitteiden ja käytössä olevien resurssien määrittäminen. Seurattavien ohjelmistojen valintojen ja käyttötarkoitussuositusten vahvistaminen ja tarkentaminen (kts. kuvat 5-6).
3. Kehitysryhmän sihteerin, organisoinnin ja seurantatyön suorittavan konsultin valinnat
4. YTV-alueen AIMSUN-mikrosimulointiverkon valmistumisen edistäminen ja verkon kalibrointi tärkeimmiltä osin.

9 LIITTEET

- Liite 1. Kyselylomake pohjoismaisessa käyttäjäselvityksessä
- Liite 2. Arviointilomake suomalaisessa kyselyssä
- Liite 3. CapCal-ohjelmakortti
- Liite 4. DanKap-ohjelmakortti
- Liite 5. HCM-ohjelmakortti
- Liite 6. VTI-ohjelmakortti
- Liite 7. AIMSUN2-ohjelmakortti
- Liite 8. HUTSIM-ohjelmakortti
- Liite 9. Paramics-ohjelmakortti
- Liite 10. VISSIM-ohjelmakortti
- Liite 11. Synchro/Simtraffic-ohjelmakortti
- Liite 12. Mikrosimulointiohjelmistojen vertailutaulukot

KYSELYLOMAKE POHJOISMAISESSA KÄYTTÄJÄSELVITYKSESSÄ



Haastattelututkimuksen tarkoituksena on selvittää mikrosimuloinnin ja välityskykymallien historiaa, käyttöä ja -laajuutta. Tilaajana/yhteyshenkilönä tutkimuksessa toimii Tiehallinto ja Pauli Velhonoja (pauli.velhonoja@tiehallinto.fi). Tutkimuksen pohjalta on tavoitteena laatia suunnitelma siitä, miten liikenneteknisten mallien ylläpito ja kehittäminen järjestetään Suomessa. Lisäksi selvitetään, mitkä markkinoilla olevat ohjelmat ovat sopivimpia eri käyttötilanteissa ja hahmotetaan Tiehallinnolle oikea rooli liikenteen mallintamiseen liittyvissä kysymyksissä suomalaisessa suunnittelun teettämisessä ja osin myös rakennuttamisessa.

Toivomme, että tämä kysely ohjataan teidän organisaatiossanne sille henkilölle/henkilöille, joka koetaan parhaaksi asiantuntijaksi vastaamaan liikenteen mallintamista koskeviin kysymyksiin.

Vastaajan nimi: _____	
Vastaajan organisaatio: _____	
<p>1) Mainitse viisi (5) merkittävintä simulointiprojektia, missä olette olleet mukana.</p> <p>1) _____</p> <p>2) _____</p> <p>3) _____</p> <p>4) _____</p> <p>5) _____</p>	
<p>2 a) Mitkä seuraavista ohjelmista ovat teille ennestään tuttuja?</p>	<input type="checkbox"/> HUTSIM <input type="checkbox"/> AIMSUN2 <input type="checkbox"/> VISSIM <input type="checkbox"/> PARAMICS <input type="checkbox"/> DRACULA <input type="checkbox"/> CAPCAL <input type="checkbox"/> DANCAP <input type="checkbox"/> HCM <input type="checkbox"/> VTI
<p>2 b) Mitä seuraavista ohjelmista olette itse käyttäneet liikenteen mallintamisessa?</p>	<input type="checkbox"/> HUTSIM <input type="checkbox"/> AIMSUN2 <input type="checkbox"/> VISSIM <input type="checkbox"/> PARAMICS <input type="checkbox"/> DRACULA <input type="checkbox"/> CAPCAL <input type="checkbox"/> DANCAP <input type="checkbox"/> HCM <input type="checkbox"/> VTI <input type="checkbox"/> _____



2 e) Jos olette käyttäneet ohjelmia, antakaa arvosana ohjelman käytettävyydelle ja teknisille ominaisuuksille	Käytettävyys					Tekniset ominaisuudet					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
HUTSIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
AIMSUN2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
VISSIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
PARAMICS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DRACULA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
CAPCAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DANCAP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
HCM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
VTI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2 d) Jos teillä on kokemusta simulointiohjelmista, niin mitä ohjelmia mielestänne tulisi kehittää eteenpäin?						<input type="checkbox"/> HUTSIM <input type="checkbox"/> AIMSUN2 <input type="checkbox"/> VISSIM <input type="checkbox"/> PARAMICS <input type="checkbox"/> DRACULA <input type="checkbox"/> CAPCAL <input type="checkbox"/> DANCAP <input type="checkbox"/> HCM <input type="checkbox"/> VTI <input type="checkbox"/> _____					
2 e) Mikä kyseisistä ohjelmista vaatii eniten kehittämistä?						<input type="checkbox"/> HUTSIM <input type="checkbox"/> AIMSUN2 <input type="checkbox"/> VISSIM <input type="checkbox"/> PARAMICS <input type="checkbox"/> DRACULA <input type="checkbox"/> CAPCAL <input type="checkbox"/> DANCAP <input type="checkbox"/> HCM <input type="checkbox"/> VTI <input type="checkbox"/> _____					
3) Arvioikaa helppokäyttöisyyden ja teknisten ominaisuuksien tärkeys.		Käytettävyys tärkeämpää			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tekniset ominaisuudet tärkeämpää	
4 a) Onko maassanne sovittu, mitä ohjelmia käytetään eri tilanteissa?						<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei					



<p>4 b) Jos käytöstä on sovittu, niin antakaa muutamia esimerkkejä missä tilanteissa on sovittu käytettäväksi mitä ohjelmistoja.</p>	<p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																		
<p>4 c) Jos käytöstä on sovittu, niin kuka käyttää koordinoi?</p>	<p><input type="checkbox"/> Tielaitos</p> <p><input type="checkbox"/> Tutkimuslaitos/tiedeyhteisö</p> <p><input type="checkbox"/> Yksityinen konsulttiyritys</p> <p><input type="checkbox"/> _____</p>																		
<p>5) Minkä ohjelmien käytettävyydestä ja tulosten luotettavuudesta teillä on hyviä tai huonoja kokemuksia seuraavissa käyttötilanteissa?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;"></th> <th style="width: 25%; text-align: center;">Hyviä kokemuksia</th> <th style="width: 25%; text-align: center;">Huonoja kokemuksia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Verkkotarkastelut:</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>2-kaistaiset tiet:</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>korkealuokkaiset väylät:</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>liittymien kapasiteetti/ toimivuustarkastelut:</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>joukkoliikenne:</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>			Hyviä kokemuksia	Huonoja kokemuksia	Verkkotarkastelut:	_____	_____	2-kaistaiset tiet:	_____	_____	korkealuokkaiset väylät:	_____	_____	liittymien kapasiteetti/ toimivuustarkastelut:	_____	_____	joukkoliikenne:	_____	_____
	Hyviä kokemuksia	Huonoja kokemuksia																	
Verkkotarkastelut:	_____	_____																	
2-kaistaiset tiet:	_____	_____																	
korkealuokkaiset väylät:	_____	_____																	
liittymien kapasiteetti/ toimivuustarkastelut:	_____	_____																	
joukkoliikenne:	_____	_____																	
<p>6) Mihin tarkastelukohteisiin toivoisitte uutta/paremmiin soveltuvaa (validoitua) simulointiohjelmistoa?</p>	<p><input type="checkbox"/> Verkkotarkastelut</p> <p><input type="checkbox"/> 2-kaistaiset tiet</p> <p><input type="checkbox"/> korkealuokkaiset väylät</p> <p><input type="checkbox"/> Liittymien kapasiteetti/ toimivuustarkastelut</p> <p><input type="checkbox"/> Joukkoliikenne</p> <p><input type="checkbox"/> _____</p> <p><input type="checkbox"/> _____</p>																		



ARVIOINTILOMAKE SUOMALAISSA KYSELYSSÄ

Tietolajin käyttötarve / hyödyntämispotentiaali

Arvioi käyttötarve / potentiaali asteikolla
1 = ei tarpeellinen, 5 = erittäin tarpeellinen

	Esisuunnittelu	Tiesuunnittelu	Työnaikaisten järjestelyjen testaus
A Systemitaso			
A ₁ Kokonaismatka-aika			
A ₂ Päästömäärät			
A ₃ Polttoaineenkulutus			
A ₄ Keskimatkanopeus			
A ₅ Pysähdysten lukumäärä			
A ₆ Viivytyksien kokonaisaika			
B Poikkileikkaustaso			
B ₁ Nopeusjakautuma			
B ₂ Jonossa ajavien osuus			
B ₃ Kaistajakautuma			
C Tiejakso			
C ₁ Matka-ajan keskiarvo ja hajonta			
C ₂ Matkanopeudet ja keskiarvo ja hajonta			
C ₃ Ohitusten määrä			
C ₄ Jonossa ajavien osuus			
D Reittitaso			
D ₁ Matka-ajan keskiarvo ja hajonta			
D ₂ Matkanopeuden keskiarvo ja hajonta			
E Liittymätaso			
E ₁ Jonopituus tulohaaroittain			
E ₂ Odotusajat (tarvittaessa tulohaaroittain)			
E ₃ Pysähdysten osuus (tarvittaessa tulohaaroittain)			

CAPCAL-OHJELMAKORTTI

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Tielaitos, Ruotsi

Pääsovellusalueet

Valo-ohjauksisten (liikennetieto-ohjaus ja kiinteä ohjaus) ja -ohjaamattomien liittymien välityskykytarkastelu.

Ohjelman validoinnin ja kalibroinnin tilanne

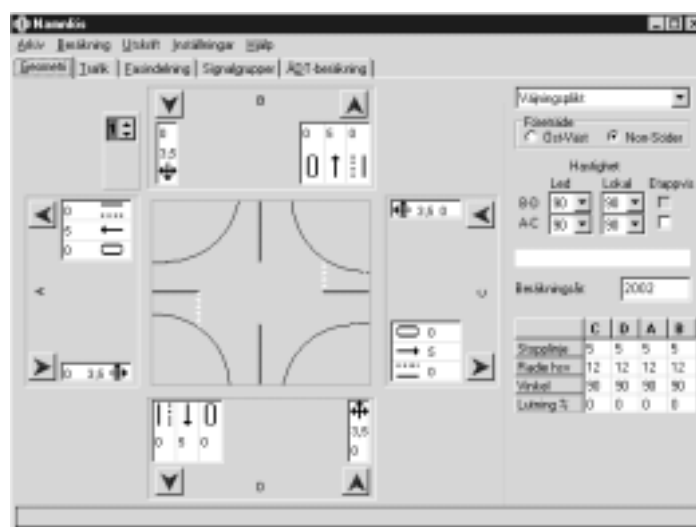
Ohjelma on laajasti käytössä tasoliittymien välityskykytarkasteluissa Pohjoismaissa. Välityskykytarkastelu perustuu liikennevirtamallien mukaisiin makromalleihin, tarkasteluliittymän geometriaan, liikenteen ohjaukseen ja liikennemääriin.

Mallien reunaehdot (esim. koko)

Laskentamalli soveltuu vain yksittäisten liittymien tarkasteluun. Liittymien tulosuuntien ja kaistojen määrä on rajoitettu laskentamallin vuoksi.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

Ohjelmasta on olemassa versiot sekä MS-DOS- että Windows-käyttöliittymille.



Kuva 1. Esimerkkikuva CapCal-mallin Windows-pohjaisesta käyttöliittymästä.

Muut ominaisuudet

CapCalia voidaan pitää kokonaisuudessaan parhaana välineenä, kun analysoidaan suomalaisia valo-ohjauksisia liittymiä (sekä ennalta ajoitettuja että liikennetilanteeseen mukautuvia).

Peruspurkautumisliikennemäärä CapCal:ssa läpimenevälle liikenteelle ideaaliolosuhteissa on 1 850 ajoneuvoa/h/kaista. Suomessa purkautumisliikennemäärän arvio ideaaliolosuhteissa on 1 940 ajoneuvoa/h/kaista. Ero näiden kahden välillä nähdään suurempina viivytyksinä CapCal:lla suurilla kyllästysasteilla.

CapCal:ssa on joitain ongelmia arvioitaessa liikennetieto-ohjauksisten liikennevalojen toimivuutta. Näin ollen joissain tuloksissa esimerkiksi viivytykset saattavat laskea, vaikka liikenteen kyllästysaste kasvaa. Onkin välttämätöntä syöttää ajoitusinformaatio manuaalisesti, tai ainakin tarkistaa, että CapCal:n ajoitukset ovat kohtuulliset.

CapCal käyttää yksityiskohtaista informaatiota liittymägeometriasta viivytystimaattien sovittamiseksi.

DANKAP-OHJELMAKORTTI

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Tanskan tielaitos, Tanska

Pääsovellusalueet

Valo-ohjauksisten (kiinteä ohjaus) ja -ohjaamattomien liittymien välityskykytarkastelut sekä sekoittumisalue-tarkastelut. Ohjelmistoa käytetään varsinkin Tanskassa.

Ohjelman validoinnin ja kalibroinnin tilanne

DanKap:in jäljittelee viivytystarkasteluissa HCM:n viivytyksen arviometodia, mutta esimerkiksi purkautumisliikennemäärää arvioitaessa se käyttää yksinkertaisempia menetelmiä, jotka on sovitettu tanskalaisiin olosuhteisiin. DanKap antaa HCM:ää parempia tuloksia, kun arvioidaan viivytyksiä ennalta ajoitetuissa liittymissä. DanKap ei arvioi liikennetieto-ohjauksen vaikutuksia.

DanKap on sovitettu Pohjoismaisiin olosuhteisiin.

Ohjelman avoimuus / mahdollisuus säätää parametreja

Parametrien säätömahdollisuudet ovat rajoitetut, mutta joitakin liikennevirran ominaisparametreja voidaan säätää.

Mallien reunaehdot (esim. koko)

Laskentamalli soveltuu vain yksittäisten liittymien tarkasteluun. Liittymien tulosuuntien ja kaistojen määrä on rajoitettu laskentamallin vuoksi.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

DanKapista on olemassa Windows-pohjainen laskentaohjelma.

Muut ominaisuudet

DanKapin viivytysestimaatteja voidaan käyttää tietyin varauksin liikennetieto-ohjauksisten systeemien analysoimisessa. Analyysi ei kuitenkaan anna mitään arviota liikennetieto-ohjauksen vaikutuksista stationaarisissa olosuhteissa. Merkittävimmät hyödyt liikennetieto-ohjauksesta saavutetaan ei-stationaarisissa olosuhteissa.

HCM-OHJELMAKORTTI

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Transportation Research Board (TRB), USA, ylläpitää varsinaisia liikennemalleja. Mallijärjestelmästä luodut tietokonelaskentasovellukset ovat kaupallisten yritysten tekemiä.

Pääsovellusalueet

Yksittäisten liikennejärjestelmäkomponenttien makrotason analysointi, kuten linjaosuuksien mallinnus, liittymät, ramppi- ja sekoittumisaluemallinnus. Soveltuu osin myös kokonaisten liikennejärjestelmien toiminnallisten ominaisuuksien analysointiin.

Ohjelman validoinnin ja kalibroinnin tilanne

HCM on Yhdysvalloissa kehitetty suunnittelu- ja ennustehjeisto, jota käytetään erilaisissa liikenteen suunnittelutehtävissä. Se on vuosien varrella saavuttanut huomattavan aseman erilaisissa liikenteen suunnittelutehtävissä, infrastruktuurivaihtoehtojen vertailuissa ja toimivuustarkasteluissa. Laskentamalleja päivitetään ja kalibroidaan tasaisin väliajoin. Kalibrointi ja validointi tehdään pääosin Yhdysvaltojen liikenneolosuhteiden perusteella.

Ohjelman avoimuus / mahdollisuus säätää parametreja

Tietokoneelle tehdyt HCM-malleihin perustuvat laskelmasovellukset vaihtelevat sovelluksen tuottajien mukaan. Sovelluksesta riippuen parametrien säätömahdollisuudet vaihtelevat.

Mallien reunaehdot (esim. koko)

HCM -malleja voidaan käyttää esimerkiksi peräkkäisten moottoriteliittymien ja katuosuuksien toimivuustarkasteluihin. Verkkosovelluksia laskentamallilla ei voi kokonaisuutena arvioida.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

Tarkastellussa sovellusohjelmassa on Windows-pohjainen käyttöliittymä, mutta ei visualisointia.

VTI-OHJELMAKORTTI

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Kansallinen tie- ja liikennetutkimuslaitos VTI, Ruotsi

Pääsovellusalueet

Maaseutualueiden kaksikaistaisten teiden liikenteen mallinnus. Mallinnusohjelma on ollut käytössä lähinnä Ruotsissa ja muissa Pohjoismaissa, ja viime aikoina sen käyttö on ollut vähäistä.

Ohjelman validoinnin ja kalibroinnin tilanne

VTI-mallin toimivuutta on testattu erityisesti 2-kaistateillä. Mallin on todettu antaneen hyviä tuloksia, joten mallin kehittämiseksi on käynnistetty laajamittainen kehitysprojekti. Projekti toteutetaan vuosina 2002 ja 2003. Ohjelman kehittyessä edelleen pitäisi mallin samanaikaisesti myös laajentua. Uuteen versioon on tarkoituksena sisällyttää mm. erilliset viivytykset pää- ja sivuteille, käyttäytymismallit uusille tietyypeille kuten ohituskaistateille ja oma malli kiertoliittymille.

Ohjelman avoimuus / mahdollisuus säätää parametreja

VTI-malli on ohjelmoitu Simula-kääntäjän avulla, joka on erityisen harvinaisen. Tämän takia ohjelma on varsin suljettu. Kehitystyö tähtää kuitenkin käyttäjärjestelmän modernisointiin.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

VTI-malli on käännetty PC:lle. Käynnissä oleva kehitysprojektin tavoitteina on saada ohjelmalle Windows-käyttöliittymä ja animointia.

Yhteensopivuus makrotason liikennemalleihin

Uuteen VTI-simulointiohjelmaan on tarkoitus ohjelmoida mahdollisuus tuoda tie- ja näkemädataa Ruotsin Tielaitoksen (VV) ohjelmasta, jolla voidaan tuottaa tiehahmotelmia ja näkyvyyslaskelmia (GEOSIS-tiedostoja).

AIMSUN2-OHJELMAKORTTI

Perustiedot

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

TSS – Transport Simulation Systems, Espanja

Pääsovellusalueet

Uusien liikenteen ohjausjärjestelmien ja hallinnan menetelmien testaus sekä laajat verkkosimuloinnit. AIMSUNia voidaan käyttää myös yhdessä ajoneuvojen opastusjärjestelmien ja muiden reaaliaikaisten sovellusten kanssa.

Pääkäyttäjät

GETRAMia on käytetty vuodesta 1992 lukuisissa projekteissa. Useimmista niissä on joitain malleja kehitetty ja validoitu. Mallit on rakentanut joko TSS:n henkilökunta tai loppukäyttäjät. Joitain kaupunkeja, joissa loppukäyttäjät ovat rakentaneet oman mallinsa ovat mm. Barcelona, Leeds, Montreal, Tukholma.

Tekniset vaatimukset ja mallien reunaehdot (esim. koko)

Vähimmäisvaatimus käytettävälle laitteistolle on Pentium PC 32 Mb RAM – muistilla.

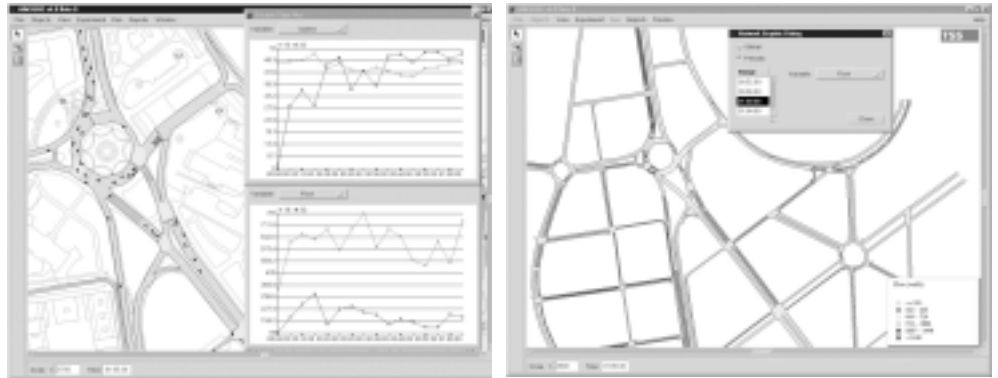
Simulointiaikaa ei ole rajattu, ja se voidaan jakaa rajattomasti aikajaksoihin, joiden sisällä saapuvat liikennevirrat ovat vakiot. Käytännössä koko kaupunki voidaan mallintaa. AIMSUN-mallit tehty mm. Barcelonasta ja Bonnista.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

Ohjelmassa on Windows-pohjainen käyttöliittymä. Mallin animointi on 2D-mallinnusta, mutta simuloinnista voidaan tuottaa myös 3D-animaatioita. Simuloinnin aikana voidaan avata ikkunoita, joissa on esitetty ajan mukaan kehittyvät kuvaajat eri tunnusluvuista. Liikenneverkon eri osia voidaan esittää eri värein simuloinnin aikana sen mukaan, mikä liikennetilanne osalla kullakin hetkellä on (esimerkiksi liikennevirta, nopeus, jonon pituus, yms.). Animoinnin taustalle voidaan ladata taustakuva käytännössä kaikissa yleisimmässä kuvamuodoissa.

Käyttöliittymän avulla käyttäjä voi simuloinnin aikana päästä käsiksi tietoihin, joista käyvät ilmi mm. verkon sisältämä ajoneuvomäärä, erilaiset ajoneuvoinformaatiot, ajoneuvon seuraamisdata, yms.

Erilaisia liikennetapahtumia voidaan määrittää ennen simulointia tai sen aikana. Tapahtumista voidaan myös tallentaa lista, jota voidaan käyttää myöhemmissä simuloinneissa.



Kuva 1. Esimerkkikuva AIMSUN-ohjelman perussimuloinnista.

Mallin geometriset ominaisuudet

Suorat elementit

Pituus m. Voidaan määrittää mallieditorissa suoraan koko linkille.

Leveys. Ei käytössä.

Kapasiteetti (Ajon/h).

Näkyvyys liittymään saavuttaessa. Väistämisvelvollisesta suunnasta saapuva ajoneuvo ryhtyy noudattamaan aikavälin hyväksymismallia saapuessaan em. etäisyydelle liittymästä.

Pituuskaltevuus. Mitataan korkeusmuutoksena (m) 100 m:n matkalla, eli vastaa kaltevuusprosenttia. Vaikuttaa ajoneuvojen kiihtyvyyteen suoraviivaisesti, eli kiihtyvyydsarvosta vähennetään maan vetovoiman aiheuttaman kiihtyvyyden pystysuuntainen komponentti.

Kaarielementit

Rakennetaan sarjasta suoria elementtejä (tuoreimmissa ohjelmistoversioissa on myös kaarielementti).

Liittymien mallinnus

Saapumis- ja poistumiskaistat. Määritetään erikseen kullekin virralle.

Kääntyvän liikenteen nopeus. Parametri määritetään kääntyvälle kaistalle. Yksittäisen ajoneuvon nopeuteen vaikuttaa myös kuljettajan ominaisuudet. AIMSUN laskee kääntymisnopeudelle automaattisesti arvon geometrian perusteella, mutta arvoa voi muokata myös manuaalisesti.

'Yellow box' nopeus. Yellow box –liittymään saavuttaessa ajoneuvo välttää risteysalueella ajoa, jos edeltävä ajoneuvo ajaa tätä nopeutta hiljempaa. Ei käytössä Suomessa.

Lähtötiedot ja liikennevirran ominaisuudet

AIMSUN sisältää rajapinnat mm. EMME/2 ja TRANSYT -ohjelmistoihin. Rajapinta on kaksisuuntainen: käyttäjä voi luoda liikennetiedoston (input) volyymeineen ja reitteineen EMME:llä, ja toisaalta tehdä AIMSUNin editorilla verkon, joka käännetään EMME-verkoksi.

EMME:n tuottamien matriisien ja TRANSYTin tuottamien valoajoitusten siirtäminen AIMSUNiin ei vaadi ylimääräisiä käyttäjältä ylimääräisiä toimenpiteitä, joskin EMME-sijoittelun tuominen AIMSUNiin voi laajoissa malleissa olla monimutkaista. Myös joukkoliikenteen määrätiedot voidaan siirtää suoraan EMME:stä. EMME:stä voidaan tuoda AIMSUNiin joko koko liikennetieto sijoittelureitteineen (kiinteät reitit) tai pelkkä kysyntä-suuntautumis-tieto, jonka jälkeen AIMSUNin reitinvalinta-algoritmi suorittaa reitityksen. EMME:stä voidaan tuoda myös bussiliikenteen sijoittelu- ja muut reittitiedot ilman erillistä käsittelyä.

AIMSUNin liikennemäärät ja suuntajakaumat voidaan määrittää malliin kahdella tavalla

- määrittämällä saapuvien liikennevirtojen suuruus ja kääntymisprosentit
- määrittämällä lähtö-määräpaikkamatriisit (O-D-matriisit)

Liikennevirtojen suuruus määritetään jokaiselle tulo-osuudelle, jonka jälkeen jokaiselle liittymälle määritetään suuntajakauma. Lopullinen reitille kohdistuva liikennevirta määräytyy siten vasta simuloinnin aikana. Malli on jaettu osiin. Mallin keskeisimpiin osiin saapuvan liikenteen kääntymisjakaumat voidaan määrittää erikseen kustakin suunnasta alueelle saapuvalla liikenteelle. Malli sijoittelee ajoneuvot mallialueen kaistoille alueelle määritetyn suuntajakauman, kaistojen ja ajoneuvotyypin mukaan. Oikeanpuoleisen kaistan käyttö on todennäköisempää kuin vasemmanpuoleisten. Parametrit voidaan antaa erikseen eri ajoneuvotyypeille.

O-D-matriiseja käytettäessä kunkin lähtö- ja määräpaikan välinen liikennevirta, eli reitin liikennemäärä, määritetään ennen simulointia kullekin ajoneuvotyypille erikseen. Malli sijoittelee ajoneuvot reiteille lyhimmän reitin valintaperiaatteella tai käyttäjän määrittämän funktion perusteella. Ajoneuvojen sijoittelu kaistoille voi perustua ohjelman sijoitteluun (sijoittelu lyhimmän reitin periaatteella oikealle kaistalle) tai käyttäjän määrittelemänä todennäköisyyksinä. Lisäksi voidaan käyttää kiinteitä reittejä, jolloin AIMSUNin reitinvalinta ei vaikuta ajoneuvojen reitteihin.

Liikennemäärät ja suuntajakaumaparametrit syötetään käsin. Parametreja voidaan muuttaa tarkasteluajanjakson mukaan (ruuhkahuiput tms.).

AIMSUN käyttää ajoneuvojen generoinnissa erilaisia, käyttäjän valittavissa olevia aikavälijakaumia. Näitä ovat

- eksponentiaalinen jakauma
- tasajakautunut
- katkaistu normaalijakauma
- vakioaikaväli

- uusi ajoneuvo generoidaan välittömästi, kun malliin mahtuu uusi ajoneuvo (kapasiteetti ja hätätilannetarkastelut)
- Ulkoinen generointi, jossa käyttäjä tuottaa erillisellä ohjelmalla ajoneuvot verkkoon

Käyttäjä voi valita aikavälijakauman syöttäessään liikennemäärä- ja suunta-jakaumaa malliin (O-D-matriisi tai suhteellinen sijoittelu). Tasa- ja eksponentiaalinen jakauma käyttävät muuttujanaan odotusarvoa (laskettuna keskimääräisestä ajoneuvomäärästä aikayksikössä). Normaalijakaumaa käytettäessä varianssina käytetään 10 %:ia keskimääräisestä saapumisaikavälistä. Jakaumat tuottavat ajoneuvon teoreettisen generoimishetken malliin. Teoreettista hetkeä korjataan myöhemmäksi tilanteessa, jossa ajoneuvolla ei ole tilaa mallissa (ts. edellinen ajoneuvo on niin lähellä generoimispaikkaa, että suhteessa nopeuteen, hidastuvuuteen ja aikaan uusi ajoneuvo ei mahdu kaistalle). Ajoneuvot asetetaan jonoon, josta ne generoituvat heti, kun se on mahdollista. Varaston kasvaessa tietyn raja-arvon yli, ohjelma varoittaa tilanteesta.

AIMSUNin käyttämät ajoneuvoluokat ja niihin kuuluvat ajoneuvotyypit ovat

- Julkinen liikenne: bussi, taksi, ambulanssi ja poliisiauto
- Yksityinen liikenne: henkilöautot, tilausbussit, raskas liikenne (2 tyyppiä), kimppekyyti –ajoneuvot (HOV)
- Hälytysajoneuvot: ambulanssi ja poliisiauto
- Kimppakyytiajoneuvot

Ajoneuvoluokkia käytetään liikenteen ohjauksessa: luokka kertoo missä kukin ajoneuvo on oikeutettu ajamaan (esim. bussikaistat). Ajoneuvojen tyyppijakauma simuloinnissa määritetään käsin: jokaiselle tarvittavalle ajoneuvotyypille määritetään oma lähtö-määräpaikkamatriisi. Myös ajoneuvoluokat ovat säädettävissä ja ajo-oikeus kaistoilla voidaan määrittää halutulla tavalla.

Parametrit ja käyttäytymismallit

Alla on lueteltu AIMSUNin tärkeimmät koko mallin toimintaan yleisesti vaikuttavat parametrit. AIMSUNin kaikki parametrit ovat suoraan käyttäjän muutettavissa.

Yleiset parametrit:

Vasemman/oikeanpuoleinen liikenne.

Kuljettajien reaktioaika liikkeessä. Reaktioaika suositellaan asettamaan samaksi kuin simuloinnin aika-askel.

Kuljettajien reaktioaika pysähtyneenä. Reaktioaika edellä olevan ajoneuvon liikkeellelähtoon tai liikennevalojen vaihtumiseen vihreäksi. Tärkeä jononpurkautumisen mallinnuksessa.

Jonoon saapumisnopeuden raja. Alle raja-arvon nopeudella kulkeva ajoneuvo katsotaan kaistanvaihtomallissa ja tulostiedostoissa pysähtyneeksi.

Jonosta lähtönopeuden raja. Yli raja-arvon nopeudella kulkeva ajoneuvo katsotaan kaistanvaihtomallissa ja tulostiedostoissa olevan liikkeellä.

Seuraavassa on lueteltu ajoneuvojen ja ajoneuvotyyppien parametreja. Parametrit ovat useimmiten normaalijakautuneita, joille käyttäjä voi määrittellä ajoneuvotyyppikohtaisen odotusarvon ja hajonnan. Useat ajoneuvoparametreista vaikuttavat myöhemmin kuvattuihin ajoneuvokäyttäytymismalleihin.

Ajoneuvoparametrit:

Tyyppi. Käyttäjä voi määrittää rajattoman määrän tyypejä.

Pituus m. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Leveys m. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi, käytetään vain graafisena parametrina)

Maksiminopeus km/h. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Maksimikiikkyvyys m/s². (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Normaali hidastuvuus m/s². (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Maksimihidastuvuus m/s². (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Nopeustason hyväksyntä. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi, kuvaa kuljettajien haluamaa nopeustasoa suhteessa nopeusrajoitukseen tai maksiminopeuteen)

Minimijoneuvoväli pysähtyneenä m. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Maksimiodotusaika pysähtyneenä s. (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi). Aika, jonka väistämisvelvollinen kuljettaja odottaa pysähtyneenä liittymässä tai kaistanvaihtotilanteessa, ja jonka jälkeen kuljettaja ryhtyy aggressiivisemmin hyväksymään lyhyempiä aikavälejä.

Reitinohjausta käyttävien ajoneuvojen osuus %

Reitinohjauksen hyväksyntä, todennäköisyys reitin ohjauksen noudattamiselle 0...1 (ajoneuvotyyppin keskiarvo, hajonta, minimi ja maksimi)

Tasaisen nopeuden raja-arvo m/s². (päästö- ja kulutusmallinnuksen raja-arvo, jonka jälkeen ajoneuvon katsotaan kiihdyttävän/hidastavan).

Polttoaineen kulutus ajoneuvotyyppille (joutokäynti ml/s, kiihdytys ja hidastus ml/s, kulutus vakionopeudella 90 km/h ja 120 km/h l/100km, taloudellisin vakionopeus km/h)

Päästöt CO, NOx, HC ajoneuvotyypille (joutokäynti g/s, kiihdytys ja hidastus g/s, vakionopeus päästötaulukko Km/h–g/s, maksimissaan 15:sta eri nopeudella).

AJONEUVOJEN SEURANTAMALLI

Ajoneuvojen tila ja sijainti päivitetään jokaisella simuloinnin päivityskierroilla, joka on noin 0,5–1 s pitkä. Ajoneuvoseurantamallia käytetään silloin, kun kaistanvaihtomalli ei ole käytössä (ajoneuvolla ei ole tarvetta/mahdollisuutta vaihtaa kaistaa).

Perusperiaatteena on, että ajoneuvo kiihdyttää haluamaansa nopeuteen, jos sen tiellä ei ole hitaampia ajoneuvoja eikä liikenteen ohjauksesta tai geometriasta johtuvia esteitä. Ajoneuvon nopeustilan päivitys perustuu ns. Gippsin malliin. Mallin mukaan ensin tarkistetaan maksiminopeus, johon ajoneuvo voi kiihdyttää maksimikihtyvyydellään seuraavan simuloinnin aika-askelen aikana.

$$V_a(n, t + T) = V(n, t) + 2.5a(n)T \left(1 - \frac{V(n, t)}{V^*(n)} \right) \sqrt{0.025 + \frac{V(n, t)}{V^*(n)}}$$

Tämän jälkeen tarkistetaan ajoneuvon mahdollisuus kiihdyttää mahdollisesti edellä liikkuvan hitaamman ajoneuvon suhteen.

$$V_b(n, t + T) = d(n)T + \sqrt{d(n)^2 T^2 - d(n) \left[2 \{ x(n-1, t) - s(n-1) - x(n, t) \} - V(n, t)T - \frac{V(n-1, t)^2}{d'(n-1)} \right]}$$

Kaavojen merkintöjen selitykset on esitetty alla.

V(n,t)	Ajoneuvon nopeus tarkasteluhetkellä t;
V*(n)	Ajoneuvon tavoitenoisuus yhteysväliillä
a(n)	Ajoneuvon maksimikihtyvyys
T	Reaktioaika (=suositeltava simuloinnin aika-askel)
d(n)	(< 0) Ajoneuvon normaalihidastuvuus
x(n,t)	Ajoneuvon sijainti hetkellä t
x(n-1,t)	Edellä kulkevan ajoneuvon sijainti hetkellä t
s(n-1)	Edellä kulkevan ajoneuvon pituus
d'(n-1)	Edellä kulkevan ajoneuvon arvioitu normaalihidastuvuus

Ohjelmistotoimittajan mukaan reaktioajan kalibrointi on erityisen tärkeää. Kaavoista voidaan havaita, että ajoneuvon seurantamallin kannalta tärkeitä kalibroitavia suureita ovat lähinnä ajoneuvotyyppien kiihtyvyyss- ja hidastuvuusarvot (odotusarvo ja hajonta). Simulointikohtaisesti on kiinnitettävä huomiota myös nopeusjakaumaan (hajonta ja keskiarvo).

Nopeusmallissa käytetään seuraavia parametreja:

Tavoitenoisuuden maksimi.

Nopeustason hyväksyntä. Arvo 1 tarkoittaa rajoituksen mukaista nopeutta, suurempi/pienempi ylityksen/alituksen suhteellista suuruutta.

Nopeusrajoitukset. Rajoitus tai kääntyvän ajoneuvon nopeus.

Tavoitenopeudesta ja rajoituksen mukaisesta nopeudesta valitaan minimi. Tärkein kalibroitava suure on nopeustason hyväksyntä (keskiarvo ja hajonta sekä minimi ja maksimiarvo). Simulointikohtaisesti tavoitenopeusarvot on kalibroitava huolellisesti.

Rinnakkaisten kaistojen nopeusmallissa tavoitenopeuteen vaikuttaa myös hitaamman (yleensä oikeanpuoleisen) kaistan keskimääräinen nopeus. Malliin liittyvät parametrit ovat

Ajoneuvojen määrä. Hitaamman kaistan ajoneuvot huomioon otettavien nopean kaistan ajoneuvojen määrä.

Tarkkaillun alueen pituus. Hitaamman kaistan tarkkailualue.

Sallittu nopeusero. Nopeusero hitaampien kaistojen ajoneuvojen keskinopeuden ja tarkasteltavan ajoneuvon välillä, erikseen joko *liittymiskaistalla* tai *tavallisella ajokaistalla*.

Malli hidastaa nopeamman kaistan ajoneuvojen tavoitenopeutta, tasoittaa kaistojen välistä nopeuseroa ja helpottaa kaistanvaihtoa. Malli johtaa mm. siihen, että liittymiskaistan päähän pysähtymään joutuneiden ajoneuvojen pääsy päävirtaan helpottuu.

Kalibroinnin suhteen malli on melko vaikea: sallittu kaistojen nopeusero ja osittain myös huomioon otettavien rinnakkaisten ajoneuvojen määrä ja tarkastelualueen pituus vaikuttavat ratkaisevasti liikennevirran etenemiseen (esim. pieni sallittu nopeusero johtaa tilanteeseen, jossa kaikki tarkastelu-kaistan ajoneuvoista väistävät tai ainakin merkittävästi hidastavat nopeuttaan helpottaakseen rinnakkaisen kaistan liittymistoimenpiteitä (kaikki ovat ns. 'kohteliaita kuljettajia'). Sallittu nopeusero on eräs tärkeistä kalibroitavista parametreista, jos mallia halutaan käyttää.

KAISTANVAIHTO- JA OHITUSMALLI

Kaistanvaihtomalli on sovellus Gippsin kaistanvaihtomallista. Malli ottaa huomioon kaistanvaihdon tarpeen (kääntymiskaistat, tavoitenopeuden saavuttaminen tms.), vaihdon kannattavuuden (ajonopeuden kasvaminen suhteessa nykyiseen nopeuteen) ja paikallisesti määritetyt liikenteelliset ja fyysiset rajoitukset (aikavälit, aiheutetut hidastuvuudet). Yleinen periaate on, että ajoneuvo ohittaa (vaihtaa vasemmalle) ajaessaan haluttua hitaammin ja vaihtaa oikealle ajaessaan tavoitenopeudella.

Kaistanvaihdon tarpeen/pakollisuuden aiheuttavat ajoneuvon tuleva reitti (esim. kääntyminen lähitulevaisuudessa) suhteessa kääntymispisteen etäisyyteen ja nykyisen kaistan liikennetilanne mitattuna ajonopeudella ja jonoilla.

Todettuaan tarpeen ajoneuvo tarkastaa nopeustason riittävän kasvun ja/tai jonojen lyhentymisen (kts. ohitusmalli).

Viimeisenä ajoneuvo etsii sopivan vaihtoetken: jos vaihto ei aiheuta liian suurta hidastuvuutta (jarrutusta) takaa tulevalle autolle, eikä kaistaa vaihtava

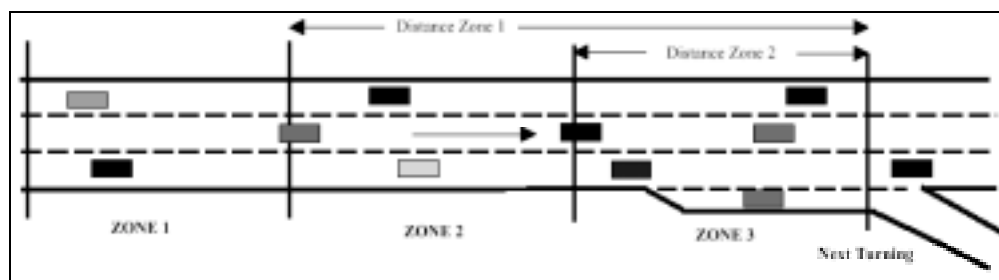
Viimeisenä ajoneuvo etsii sopivan vaihtohetken: jos vaihto ei aiheuta liian suurta hidastuvuutta (jarrutusta) takaa tulevalle autolle, eikä kaistaa vaihtava auto joudu hidastamaan liian nopeasti toisen kaistan edeltävän ajoneuvon vuoksi, vaihto suoritetaan.

Kaistanvaihtomalli on jaettu kolmeen osaan (kuva 2):

Alueella 1 kaistan vaihto perustuu ainoastaan ko. kaistojen liikennetilanteisiin. Alue sijaitsee niin kaukana ajoneuvon seuraavasta kääntymispisteestä, että reitti ei vaikuta päätökseen.

Alueella 2 ajoneuvot alkavat pyrkiä kohti sitä kaistaa, jolta ne voivat jatkaa haluamaansa reittiä (kääntyvä liikenne). Ajoneuvot etsivät sopivaa aikaväliä, johon siirtyä, mutta vaihtava ajoneuvo ei vaikuta viereisen kaistan liikenteeseen.

Alueella 3 kääntyvälle kaistalle pyrkivät ajoneuvot vähentävät tarvittaessa nopeuttaan (nollaan saakka) päästäkseen oikealle kaistalle. Ajoneuvot vaikuttavat myös viereisen kaistan ajoneuvojen nopeuteen.



Kuva 2. AIMSUN-simulointiohjelman kaistanvaihtomallin alueet.

Aluerajat määritetään ajoneuvokohtaisesti kunkin ajoneuvon alueellisen tavoitenopeuden ja nopeusrajoituksen mukaan, mikä johtaa nopeammilla ajoneuvoilla lyhyempiin alueisiin 2 ja 3, ja siten nopeampien ajoneuvojen useampiin ohitustilanteisiin/kaistanvaihtoihin.

Aluerajat ovat kaistaelementtikohtaisia, mikä johtaa epäjatkuvuuteen kahden elementin yhteykskohdassa. Toisaalta AIMSUNissa on **laajennettu kaistanvaihtomalli**, jossa ajoneuvo tietää paitsi seuraavan käännyksen, myös sitä seuraavan kääntymisen ja sen vaatimat kaistanvaihdot. Näin ollen lyhyillä yhteysväleillä, joissa on useita kaistavaihtoehtoja, tulevien yhteysvälien alueita 2 ja 3 voidaan laajentaa ajoneuvon tulosuuntaan yli yhteysväli rajojen. Jos ajoneuvo on kaistalla, joka sallii seuraavan kääntymisliikkeen, mutta johtaa etäälle seuraavan yhteysvälin vaatimasta kaistanvalinnasta, ajoneuvo ryhtyy pyrkimään jo nykyisellä yhteysvälillä oikeaan suuntaan. Ajoneuvon kaistanvalintaa ohjaa ensisijassa seuraava kääntyminen, mutta jos tämä on jo mahdollista, ajoneuvo tarkistaa sitä seuraavan kääntymisen aluerajat 2 ja 3 sekä ryhtyy noudattamaan tarvittaessa näiden rajojen vaatimia toimenpiteitä.

Kaistanvaihtomalleihin liittyvät parametrit (ajoneuvoparametrien lisäksi) ovat

Etäisyys Alueen 1 lopusta kääntymispisteeseen sekunneissa. Määritetään kullekin yhteysvälille.

Etäisyys Alueen 2 lopusta kääntymispisteeseen sekunneissa. Määritetään kullekin yhteysvälille.

Parametrit on kalibroitava erikseen erityyppisille mallinnuskohteille ja tarkastelutapauksille.

Kaistanvaihtomallia on täydennetty **ohitusmallilla** ja **liittyvän rampin sekoittumisaluemallilla**. Kaistanvaihto- ja ohitusmalliin liittyy läheisesti myös ajoneuvojen nopeuden valintamalli useampikaistaisella tiellä.

Sekoittumisaluemalli määrittää sen ajoajan pituuden, jonka jälkeen normaali kaistanvaihtomalli muuttuu sekoittumisaluemalliksi: lyhyillä liittymisrampeilla koko liittyvä kaista on sekoittumisaluetta, ja pidemmällä rampeilla osa kaistasta on myös suoraan kulkevan liikenteen käytössä (kaistanvaihtomallin periaatteiden mukaisesti). Sekoittumisaluemallin avulla voidaan mallintaa myös esim. ohituskaistateitä. Sekoittumisaluemallin parametrit ovat

Liittymiskaistan pituus sekunneissa. Määritetään kullekin päättyvälle kaistalle.

Liittymiskaistan mallinnus toimii pääpiirteittäin kuten kaistanvaihtomallikin. Erona on se, että liittymiskaistan viereisellä päävirran kaistalla ajavat 'huomaavat' liittymiskaistan, ja saattavat väistää vasemmalle kaistalle, vaikka olisivat jo ns. alueella 3 (normaalitilanteessa ei kaistanvaihtotarvetta).

Ohitusmalli käyttää kahta parametria:

Ohitusprosentti. Ohittavan ajoneuvon tavoitenopeuden ja edellä ajavan ajoneuvon suhteellinen nopeusero-rajana, jonka jälkeen nopeampi auto yrittää ohitusta (oletusarvo 0,90).

Kaistalle paluu -prosentti. Rajaprocentti kertoo ajoneuvon nopeustasosuhteessa tavoitenopeuteen, jonka jälkeen jälkimmäinen ajoneuvo pyrkii takaisin oikean puoleiselle kaistalle (oletus 95 % tavoitenopeudesta).

Kaistanvaihtomallin aikavälihyväksynnän kannalta ajoneuvojen normaalihiidastuvuuden kalibrointi on ensisijaisen tärkeää: kaistanvaihtoon riittävä ajoneuvoväli on riippuvainen ainoastaan ajoneuvojen hyväksymästä hidastuvuudesta, ja sitä kautta riittävästä aikavälistä. Lisäksi kaistanvaihto, joka tapahtuu aina, kun kukaan ei joudu voimakkaasti hidastamaan, saattaa olla Suomen olosuhteissa melko radikaali, ja voi vaatia valideettitarkasteluja (samoin kuin viereisten kaistojen nopeuksien välisen riippuvuuden todentaminen). Ohitusprosentti- ja kaistalle paluu -prosentti ovat tärkeitä erityisesti suurissa monikaistaisien teiden malleissa, kuten kehätiet, moottoritiet ja muut väylät, joilla liittymät ovat harvassa. Käytännössä nämä parametrit määrittävät kaistanvaihtotarpeen, ja ovat siten tärkeitä kalibrointikohteita.

Liikenteen ohjaus

Valo-ohjauksettomat liittymät

AIMSUN kykenee mallintamaan

- väistämisvelvollisia risteysia,
- kiertoliittymiä ja
- ramppliittymiä.

AIMSUN päättelee väistämisvelvollisen ajoneuvon tarvitseman aikavälin risteävien ajoneuvojen nopeuksien, tarvittavan turvamarginaalin, kiihtyvyyksien ja arvioidun kohtaamispisteen perusteella.

Aikaväliin vaikuttavat lisäksi mm. nopeustason hyväksyntä, maksimiodotusaika, kääntymisnopeus ja liittymän näkyvyys.

Erityisen tärkeitä kalibrointikohteita ovat siis ajoneuvojen kiihtyvyyssarvot, nopeustason hyväksyntä ja maksimiodotusaika, jonka jälkeen ajoneuvo alkaa hyväksymään yhä lyhyempiä aikavälejä.

Valo-ohjauksiset liittymät

Ohjelmistotoimittajan mukaan ilman erillistä käyttäjäohjelmointia voidaan mallintaa

- kiinteä aikaohjaus
 - vaihekierto
 - vaiheiden ajoitus
 - keltaiset ja punakeltaiset ajat
 - vaihtumisaika
- Liikennetieto-ohjaus (erillisohjauksena)
 - opastinryhmäkohtainen vaihekierto
 - opastinryhmäkohtainen vaiheiden ajoitus (maksimit ja minimi, lopetusviiveet, muuttuva minimivihreä)
 - opastinryhmäkohtaiset keltaiset ja punakeltaiset ajat
 - opastinryhmäkohtainen vaihtumisaika
 - opastinryhmien aloitus- ja lopetustapa, kiinteät, omat ja oheispyynnöt
 - Lepotilat
 - Ilmaisimien ohjelmointi (pidennykset, pidennys- ja pyyntötapa)
- Yhteenkytkentä
 - Kiinteä ajoitus
 - Kiinteä vaihesiirto

Käyttäjäohjelmointia (GETRAM-lisäohjelma) vaaditaan joukkoliikenne- ja muihin etuuksiin sekä erillisen ohjauskojeen käyttöön simulaattorin rinnalla. Ohjelmistotoimittajan esittämistä valo-ohjausmallinnuksen mahdollisuuksista huolimatta on todennäköistä, että myös tavallisten suomalaisten liikennetieto-ohjauksisten liittymien mallinnus vaatii jonkin verran käyttäjäohjelmointia, jotta ohjaus saadaan toimimaan todellisuutta vastaavasti.

Nopeusrajoitus

Maksiminopeus yhteysvälillä. Ajoneuvotyypistä ja kuljettajaparametreista riippuen yksittäiset ajoneuvot noudattavat tai eivät noudata rajoitusta (kts. ajoneuvoseurantamalli).

Muuttuvat opasteet

AIMSUNilla voidaan mallintaa muuttuvia opasteita. Opasteet ja niiden sisältö voidaan aktivoida seuraavin tavoin:

- Käyttäjän manuaalinen aktivointi
- Etukäteen määritetty ja ajastettu ohjaustiedosto
- GETRAM-lisäohjelmiston avulla määritettyjen ulkopuolisten indikaattorien avulla (esim. ruuhkautumismallit, ennusteet tms.)

Jokainen opaste sisältää toimintolistan, jonka käyttäjä voi määrittellä. Toiminto tarkoittaa opasteen vaikutusta kuljettajaan. Toimintoja ovat nopeusrajoitus, liikennevirran muokkaus (kysyntä ja liittymien suuntajakaumat) ja uudelleen reititys. Uudelleen reititykseen vaikuttaa myös parametri *reitinopeuksen hyväksyntä %*.

Muut mallit

Jalankulkijat ja pyöräilijät

Kevyttä liikennettä ei ole erikseen mallinnettu. Jalankulkua voidaan simuloida tuottamalla oma ajoneuvotyyppi (toisaalta mallinnus ei ole validi jalankululle). AIMSUNin kehitystyö on tältä osalta käynnissä.

Joukkoliikenne

Käyttäjä voi määrittellä aikataulut, bussikaistat ja pysäkit linjoittain. Pysäkeille voidaan määrittellä pysähtymisajat. Ajat ovat normaalijakautuneita, ja ne voidaan määrittellä pysäkkikohtaisesti.

Pysäkeille voidaan määrittää kolme tyyppiä: tavallinen, liikenteenjakajin erotettu pysäkki ja terminaali. Pysähtymisajat ovat käyttäjän määritettävissä (odotusarvo ja hajonta).

Bussien mallinnus ei ole täysin todellista tilannetta vastaava: bussit pysähtyvät joka pysäkillä siitä huolimatta, onko pysäkillä matkustajia odottamassa. Sen sijaan bussien kiertoa ja tarvetta voidaan mallintaa vaunukohtaisesti määrittämällä kullekin ajoneuvolle ajokierrot, mahdolliset linjan vaihdot ja kuljettajien tauot.

Raitiovaunuja voidaan mallintaa busseina, mutta erillistä raitiovaunumallia ei ole.

Dynaaminen reitinvalinta on mallinnettu AIMSUNissa seuraavasti.

- Simuloinnin aikana uudet reitin lasketaan tietyin väliajoin
 - Käyttäjän määrittämä funktio (lyhin reitti, erilaiset kustannusfunktiot)

LIITTEET

- Käyttäjän määrittämä funktio (lyhin reitti, erilaiset kustannusfunktiot)
- Käyttäjän määrittämä aikaväli (reittien päivitys)
- Käyttäjän määrittämien reittivaihtoehtojen maksimimäärän ylittyessä vanhin reittivaihtoehto jätetään tarkastelusta.
- Vastaa dynaamista kuormitusta (Wardropin periaate) lisättynä kuljettajien reagoinnilla.
 - Pitkän ajan sopeutuminen
 - Oppimiskäyttäytyminen

Tietullit tms.

AIMSUN sisältää ns. viivytysohjelman, jota voidaan soveltaa perusmallinnuksessa mm. tietulleissa, tulliasemilla, tarkastuspisteissä ja parkkihallisimuloinneissa. Objekti pakottaa jokaisen ajoneuvon pysähtymään. Pysähtymisaika määritetään normaalijakaumasta, jolle käyttäjä määrittää odotusarvon ja hajonnan. Kadunvarsipysäköintiä ja pysäköintiajotoimenpiteitä ei ole mallinnettu. Tarkempia simuloituja varten voidaan luoda uusia objekteja GETRAM-käyttäjäohjelmoinnilla.

Erityyppisiä jonotussysteemejä (esim. maksutapa tietullissa) voidaan simuloida erilaisin jakaumaparametrein. Käyttäjän on kuitenkin aina määritettävä (tiedettävä) parametrit.

Reaaliaikainen (on-line) simulointi on mahdollista GETRAM-lisäohjelman avulla. Esimerkiksi SCATS-valo-ohjausohjelmalla simulointi voidaan suorittaa GETRAM-ohjelmoinnin avulla. AIMSUNia on myös käytetty muutamissa reaaliaikaisissa on-line –simulointisovelluksissa.

Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus

AIMSUN sisältää oletuksena QUARTET-päästömallin (QUARTET Deliverable N°2 (1992), Assessment of current Tools for Environmental Assessment in QUARTET, DRIVE II Project V2018: QUARTET, September 1992). Oletusmallin lisäksi käyttäjä voi määrittellä oman mallinsa GETRAMin avulla.

AIMSUN laskee ajoneuvojen päästöt jokaisen päivityskierroksen aikana. Laskennassa otetaan huomioon ajoneuvon liiketilat: joutokäynti (nopeus ja jonotusnopeusraja-arvo), tasainen nopeus (parametri), kiihdytys ja hidastus.

Laskenta tapahtuu ajoneuvon liiketilän perusteella. Kullekin liiketilakombinaatiolle löytyy oma arvo (g/s) ns. päästömatriisista. Käyttäjä voi määrittää päästömäärät ajoneuvotyypeille (kts. ajoneuvoparametrit). Matriiseja on eri ajoneuvotyypeille ja päästöille. Nykyisessä versiossa matriiseja on yleisimmille päästöille: CO, NOx ja HC. Lisätyyppisiä lisätään, kun tarvittavaa tietoa on saatavissa. Käyttäjällä on myös mahdollisuus ohjelmoida AIMSUNiin omia matriisejaan.

Päästömallinnukset tulokset saadaan sekä koko mallin ja simulointiajan keskiarvoina sekä ajan tai paikan mukaan jaettuina tuloksina. Tulostuksen aikaintervallit on käyttäjän määritettävissä. AIMSUNin päästömallinnusta on testattu myös yhdessä meteorologisen leviämismallin kanssa. Lisäksi käyttäjä voi GETRAMin avulla määrittellä AIMSUNiin myös melumallin

HUTSIM-OHJELMAKORTTI

Perustiedot

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

TKK, Suomi

Pääsovellusalueet

Yksittäisten valo-ohjauksisten risteysten simulointi. Lisäksi HUTSIMilla voidaan mallintaa pienehköjä liikenneverkkoja. Valo-ohjaamattomien liittymien ja kiertoliittymien mallinnus. HUTSIMia on mahdollista käyttää myös reaaliaikaisesti yhdessä ulkoista ohjauskojeen kanssa.

Pääkäyttäjät

HUTSIMin pääkäyttäjät ovat suomalaiset liikennealan julkiset organisaatiot, konsultit ja yliopistot. Viime aikoina käyttö on rajautunut konsultteihin ja yliopistollisiin tutkimuksiin.

HUTSIMia on ollut käytössä myös Pohjoismaisissa konsulttiyrityksissä. Lisäksi HUTSIMia ollaan käytetty ulkomaisissa yliopistoissa lähinnä tutkimustarkoituksissa.

Tekniset vaatimukset ja mallien reunaehdot (esim. koko)

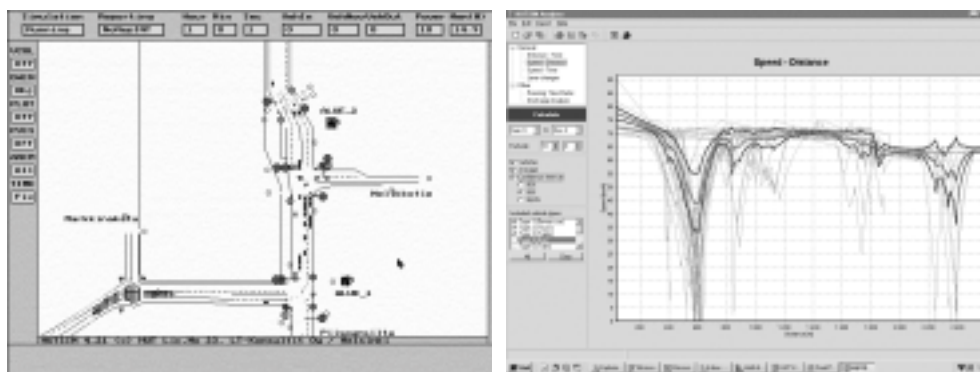
HUTSIM on MS-DOS –pohjainen ohjelmisto. Kaikki nykyaikaiset PC-tietokoneet täyttävät laitteistovaatimukset.

HUTSIMin mallien koko on rajoitettu. HUTSIMilla voidaan mallintaa kohteesta riippuen noin 5–15 liittymän liikenneverkkoja. Mallinnettavien ajoneuvojen määrää rajaa ainoastaan käytettävän tietokoneen nopeus.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

HUTSIMin grafiikka ja käyttöliittymä perustuvat MS-DOS ympäristöön, mikä asettaa rajoituksia mm. ikkunointiin ja tausta-ajoihin. HUTSIMissa on mahdollista seurata simuloinnin aikana mm. liikennevalojen aiheuttamien viivytysten kertymistä sekä ajoneuvojen lukumäärää ja nopeusjakamaa. Ajoneuvojen värillä voidaan kuvata esim. ajoneuvojen määräpaikkoja. Animointi on 2D-pohjainen. Grafiikkaobjektien käyttö mallien rakennusvaiheessa mahdollistaa realistisempien demojen tekemisen.

Simuloinneista voidaan kerätä tarkat ajoneuvokohtaiset tapahtumatiedot, joiden avulla simulointi voidaan toistaa.



Kuva 1. Esimerkkikuva HUTSIM-ohjelman perussimuloinnista ja Analyzer-jälkikäsittelyohjelman tuottamista tulosteista.

Mallin geometriset ominaisuudet

Suorat elementit

Pituus. Voidaan määrittää mallieditorissa, mutta kaistaelementin pituuden suositellaan olevan maksimissaan 50 m.

Näkyvyys. Etäisyys, jonka jälkeen ajoneuvo ryhtyy reagoimaan edellä oleviin esteisiin. Väistämisvelvollisesta suunnasta saapuva ajoneuvo ryhtyy noudattamaan aikavälin hyväksymismallia saapuessaan em. etäisyydelle liittymästä.

Nopeusrajoitus. Elementtikohtainen geometrinen rajoitus esim. kaarteiden ja liittymien kääntyvän liikenteen nopeuden rajoitukseen.

Pituuskaltevuus. Ei käytössä.

Kaarielementit

Rakennetaan sarjasta suoria elementtejä.

Liittymien mallinnus

Rakennetaan suorien elementtien kombinaatiosta, kytkennöistä, väistämisvelvollisuuksista ja ohjauslaiteobjekteista.

Lähtötiedot ja liikennevirran ominaisuudet

HUTSIM ei sisällä suoria rajapintoja makrotason kysyntä- ja reitinvalintamalleihin. Käytettäessä näiden tuottamia tuloksia simuloinnin input-tietoina tulosteet on muokattava manuaalisesti. HUTSIMiin on kehitetty ulkoinen tulostiedostojen käsittelyohjelma (Analyzer) ja päästölaskentaohjelmisto (HUTEMCA).

HUTSIMin liikennemäärät ja suuntajakaumat määritetään malliin täydellisinä lähtö-määräpaikkamatriiseina (O-D-matriisi), joissa kerrotaan kunkin lähtöpaikan tuntiliikennemäärä ja liikennemäärän jakaantuminen määräpaikkoihin joko absoluuttisina tai suhteellisina arvoina.

O-D-matriisit koskevat kaikkia ajoneuvotyyppisiä. Ajoneuvotyyppijakauma voidaan määrittää kullekin liikennevirralle erikseen.

Liikennemäärät ja suuntajakaumaparametrit syötetään käsin. Parametreja voidaan muuttaa tarkasteluajanjakson mukaan (ruuhka- ja rauhalliset tms.). Ajoneuvotyyppikohtaisten määräjakaumien (esim. bussiliikenne muuttuu eri tavoin suhteessa ajoneuvoliikenteeseen) muuttaminen simuloinnin aikana vaatii oman generaattoriobjektin.

HUTSIMiin voidaan syöttää myös erikseen valmistettu (tai toisesta simuloinnista nauhoitettu) liikennetiedosto, jonka avulla käyttäjä voi luoda täysin oman liikennejakauman saapumisaikoihin, reitteihin, ajoneuvojakaumiin ja liikennemäärämuutoksiin (esim. simulointien toisto ja bussiaikataulut tms.).

Ajoneuvojen sijoittelu reiteille perustuu etukäteen määritettyihin yksiselitteisiin reitteihin.

HUTSIM käyttää ajoneuvojen generoinnissa siirrettyä negatiivista eksponentiaalijakaumaa, joka kertoo generoitavien ajoneuvojen aikavälit (lukuun ottamatta tilannetta, jossa käytetään käyttäjän luomaa yksityiskohtaista liikennetiedostoa). Jakauma on siirretty liian pienien aikavälien välttämiseksi. Eksponentiaalinen jakauma käyttää muuttujinaan odotusarvoa (laskettuna keskimääräisestä ajoneuvomäärästä aikayksikössä) ja siirtoterminä (1,5 s).

Jos ajoneuvo generoituu malliin hetkellä, jolloin sillä ei ole tilaa sisääntulo-kaistalla, ajoneuvo varastoituu generaattoriobjektin puskuriin odottamaan riittävän aikavälin (tilan) syntymistä.

HUTSIM sisältää 10 ajoneuvotyyppiä, joista seuraaville on olemassa kalibroivat parametrien oletusarvot

- Henkilöauto
- Kuorma-auto
- Perävaunullinen kuorma-auto
- Bussi
- Raitiovaunu
- Ajoneuvot, joissa on ajoa avustavia automaattisia järjestelmiä

Muut tyypit ovat käyttäjän määritettävissä tarvittaessa. Myös oletusarvoisia tyyppisiä voi muokata. HUTSIM sisältää myös muutamia oletusarvoja ajoneuvotyyppijakaumille. Jalankulkijoille ja pyöräilijöille on oma generaattoriobjekti, ja molempien parametrit ovat säädettävissä.

Parametrit ja käyttäytymismallit

Alla on lueteltu HUTSIMin tärkeimpiä koko mallin toimintaan yleisesti vaikuttavia parametreja. Osan parametreista voidaan katsoa olevan myös ajoneuvotyyppien parametreja. Tässä yhteydessä on lueteltu ne parametrit, jotka ovat yhteisiä kaikille ajoneuvotyypeille.

LIITTEET

Yleiset parametrit:

Vasemman/oikeanpuoleinen liikenne.

Kuljettajien reaktioaika.

Nopeuden yksikköarvo. ajoneuvojen nopeuden muutosaskeleen suuruus (oletus 2,5 km/h).

Ajoneuvojen seuranta-aikaväli. Oletus 1,2 s, määritettävissä erikseen ajonhallintalaittein varustellulle ajoneuvoille (oletus 0,7 s).

Vakaa seurantaväli. Ilmoittaa osuuden seuranta-aikavälistä, jolla ajoneuvon nopeus säilyy vakiona (oletus 20 % seurantavälistä).

Pysähtymisetäisyys. Ajoneuvon etäisyys edelliseen autoon pysähtyneessä jonossa (oletus 1,2 m). Määritettävissä erikseen ajonhallintalaittein varustellulle ajoneuvoille (oletus 0,7 m).

Kiihtyvyyden sopeutuskerroin. Käytetään muokkaamaan lineaarista kiihtyvyyttä paremmin todellisuutta vastaavaksi (kiihtyvyys on alussa suurempi ja lähestyttäessä tavoitenopecta pienempi).

Nopeusrajoituksen hyväksyminen. Ilmoittaa nopeusrajoituksen noudattamisen täsmällisyyden (0 arvolla kaikki seuraavat täsmällisesti rajoitusta).

Suurin havainnointietäisyys esteisiin. Etäisyys, jolla ajoneuvot reagoivat esim. liikennevaloihin (oletus 300m).

Suurin havainnointietäisyys ajoneuvoihin. Etäisyys, jolla ajoneuvot reagoivat muihin ajoneuvoihin (oletus 300m).

Tavoitenopectus km/h (lähtöpaikan ajoneuvojen diskreetti nopeusjakauma). Käyttäjä määrittää eri nopeustasojen suhteelliset osuudet 10 km/h:ssa tarkkuudella, jonka jälkeen HUTSIM varioi nopeustason ± 5 km/h vaihteluvälillä.

Seuraavassa on lueteltu ajoneuvotyyppien parametreja. Parametrit ovat useimmiten diskreetisti jakautuneita. Käyttäjä määrittää jakaumien eri arvojen osuudet, joiden perusteella HUTSIM generoi ajoneuvolle ominaisuudet. Useat ajoneuvoparametreista vaikuttavat myöhemmin kuvattuihin ajoneuvokäyttäytymismalleihin.

Ajoneuvoparametrit:

Tyyppi.

Pituus m. Ajoneuvotyyppin pituus (vakio).

Normaalikiihtyvyys m/s². Ajoneuvotyyppin kiihtyvyys, jota käytetään liikkuvien ajoneuvojen osalta normaaliolosuhteissa.

Maksimikiihtyvyys m/s². Ajoneuvotyyppin maksimikiihtyvyys, jota käytetään liikkuvien ajoneuvojen osalta pakkotilanteissa.

Normaali hidastuvuus m/s^2 . Ajoneuvotyyppin hidastuvuus, jota käytetään liikkuvien ajoneuvojen osalta normaaliolosuhteissa.

Maksimihidastuvuus m/s^2 . Ajoneuvotyyppin hidastuvuus, jota käytetään liikkuvien ajoneuvojen osalta pakkotilanteissa, esim. määrittämään voiko ajoneuvo pysähtyä keltaisiin valoihin.

AJONEUVOJEN SEURANTAMALLI

Ajoneuvojen tila ja sijainti päivitetään jokaisella simuloinnin päivityskierrolla, jonka oletusarvo on 0,1 s.

HUTSIMin ajoneuvoseurantamalli on kaksiosainen: toinen koskee ajoneuvon seurantaa (jonossa-ajo) ja toinen vapaan ajoneuvon mallinnusta. Mallit ovat sääntöpohjaisia. Erotuksena matemaattisiin kaavoihin perustuviin malleihin sääntöpohjaisuus tarjoaa ajoneuvolle sarjan mahdollisuuksia muuttaa liiketilaansa. Mahdollisia liiketilapäätöksiä ovat hidastus, nopeuden säilyttäminen ja kiihdytys. Etuna on esimerkiksi jonossa-ajossa se, että erottamalla vakaan liikkeen alue vältetään jatkuva kiihdytys-jarrutus –liike.

Liiketilapäätökset tehdään tarkastellun ajoneuvon ja edeltävän ajoneuvon tai muun esteen välisen etäisyyden perusteella. Perusajatus on, että ajoneuvo pyrkii kiihdyttämään nopeutensa tavoitenopeuteen, mikäli mahdollista. Jos edellä ei ole esteitä, ajoneuvo kiihdyttää kunnes saavuttaa tavoitenopeuden. Kun este on riittävän lähellä, säännöt pakottavat ajoneuvon jarruttamaan. Väliin mahtuu ns. 'vakaa alue', jolla ajoneuvo ei saa kiihdyttää, mutta toisaalta sen ei tarvitse jarruttaakaan, jolloin nopeus säilyy vakiona. Mallin säännöt ovat seuraavat.

Säilytä nopeus (oletussääntö)

1. Kiihdytä, jos nopeus $v(t)$ on alle tavoitenopeuden $v(des)$ ja edellisestä kiihdytyksestä (nopeusaskeleen kasvusta $V(unit)$) on kulunut riittävästi aikaa $t(last)$.

Edelliseen kiihdytykseen kuluneen ajan tarkastelu johtuu nopeusaskeleen diskreettiydestä. Jotta ajoneuvo voi normaalikiihtyvyydellään $a(nor)$ lisätä nopeuttaan nopeusaskeleen verran on aikaa kuluttava $T(acc)$

$$T_{acc} = \frac{V_{unit}}{a_{nor} + \left(\frac{v_{des}}{2} - v(t) \right) * c_{acc}}$$

Kaavalla varmistetaan suurempi kiihtyvyyksillä hiljaisilla nopeuksilla, ja keskikihtyvyyksillä nollan ja tavoitenopeuden välillä. $c(acc)$ on kiihtyvyyden mukautuskerroin, jolla mukautetaan korjauksen suuruutta.

2. Älä kiihdytä, jos etäisyys esteeseen on pienempi kuin turvavälin $s(min)$ ja vakaan alueen W summa.

Miniturvaväli määritetään suoraviivaisesti esteen ja tarkastellun ajoneuvon välisestä nopeuserosta ja ajoneuvon normaalihidastuvuudesta. Lisäksi otetaan huomioon seuranta-aikavälin aiheuttama lisäys turvaväliin

(seuranta-aikaväli kerrottuna ajoneuvon nopeudella) ja minimissään pysähtymiseen vaadittava etäisyys.

Vakaa alue määritetään kolmen suureen avulla. Yksi vertailtavista suureista on nykytilan (nopeus $v[t]$) mukaisen turvavälin ja yhdellä nopeus-askeleella kasvatetun tilanteen mukaisen turvavälin (nopeus $v[t+1]$) välinen erotus ja toinen seuranta-aikavälin ja edeltävän ajoneuvon nopeuden tulo. Lisäksi vertailussa käytetään minimiarvoa vakaalle alueelle (parametriasetus). Suureista valitaan maksimi edustamaan vakaata aluetta.

3. Hidasta, jos etäisyys edeltävään ajoneuvoon tai esteeseen on pienempi kuin minimiturvaväli $s(\min)$.

Pakottaa ajoneuvon hidastamaan, kun se sijaitsee liian lähellä estettä.

4. Älä hidasta, jos nopeus on pienempi kuin edeltävän ajoneuvon nopeus tai ajoneuvon maksimihidastuvuus ylittyy.

Kumoaa neljännen säännön, jos ajoneuvon nopeus on jo alle esteen nopeuden, tai ajoneuvo ei enää kykene hidastamaan riittävän nopeasti.

5. Pudota nopeus nolnaan, jos etäisyys fyysiseen esteeseen on nolla.

Havaitsee kolaritilanteet.

Ajoneuvon seurantamallin *parametrit* ovat

Normaalikiikthyvyys. Kalibroitu tärkeimmille ajoneuvotyypeille kenttämittauksin.

Kiihtyvyyden mukautuskerroin. Kalibroitu tärkeimmille ajoneuvotyypeille kenttämittauksin.

Normaalihidastuvuus. Kalibroitu tärkeimmille ajoneuvotyypeille kenttämittauksin.

Ajoneuvojen seuranta-aikaväli. Kalibroitu tärkeimmille ajoneuvotyypeille kenttämittauksin.

Vakaa seurantaväli (minimi). Kalibroitu tärkeimmille ajoneuvotyypeille kenttämittauksin.

Kaikki parametrit on kalibroitu suomalaisiin liikenneolosuhteisiin kenttämittauksin. Näiden parametrien ohella sääntökanta määrää ajoneuvon tavoite-nopeuden käyttäen ajoneuvon omaa tavoitenopeutta, nopeusrajoitusta ja nopeusrajoituksen hyväksyntää sekä kaistakohtaista geometrista nopeusrajoitusta. Erillistä nopeuden valintamallia ei ole.

Myöhemmissä HUTSIM-malleissa vakioparametreihin perustuvaa seurantamallia on kehitetty paremmin todellisuutta vastaavaksi lisäämällä malliin hajontaa aiheuttavia parametreja. Näitä parametreja ovat mm. ajoneuvon seurantavälin hajonta, kuljettajan reaktioviive ja sen hajonta.

Kaksikaistaisen- ja suuntaisen maantien mallinnukseen ei ole erillistä mallia. Yhteysvälejä voidaan tarkastelu jollain tarkkuustasolla, mutta ohitukset eivät ole mahdollisia.

KAISTANVAIHTO- JA OHITUSMALLI

Kaistanvaihtomalli koostuu kahdesta erillisestä mallista: vapaaehtoinen ja pakollinen kaistanvaihto. Vapaaehtoinen kaistanvaihto perustuu nykyisen ja vaihtoehtoisen kaistan nopeuseroihin suhteessa vaihtavan ajoneuvon tavoitenopeuteen ja jononpituuksiin. Pakollinen kaistanvaihto perustuu ajoneuvon reittiin: ajoneuvon on pyrittävä tietylle kaistalle päästäkseen määränpäähänsä.

Vapaaehtoinen kaistanvaihto sisältää tilanteen, jossa ajoneuvolla on kaksi (tai useampia) kaistavaihtoehtoja valittavanaan ajoneuvon siirtyessä seuraavaan kaistaelementtiin. Tässä ns. kaistanvalintatilanteessa ajoneuvo tarkastaa näkyvyytensä rajoissa kummakin vaihtoehtoon lähimmän edeltävän ajoneuvon ja valitsee reitin, joka aiheuttaa pienemmän viivytyksen.

Uusimmissa HUTSIM-versioissa kaistanvaihdon tarpeen määrittävät raja-arvot, jotka lasketaan erikseen oikealle ja vasemmalle tapahtuvalle vaihdolle. Raja-arvot lasketaan ns. 'paine-funktiolla' (P), joka kuvaa ajoneuvon tarvetta ohittaa edellä oleva ajoneuvo (vaihto vasemmalle) tai väistää takana olevaa (vaihto oikealle). Kaava on sama kuin vanhemmassa, lähinnä kaupunkiolosuhteisiin kehitetyssä mallissa.

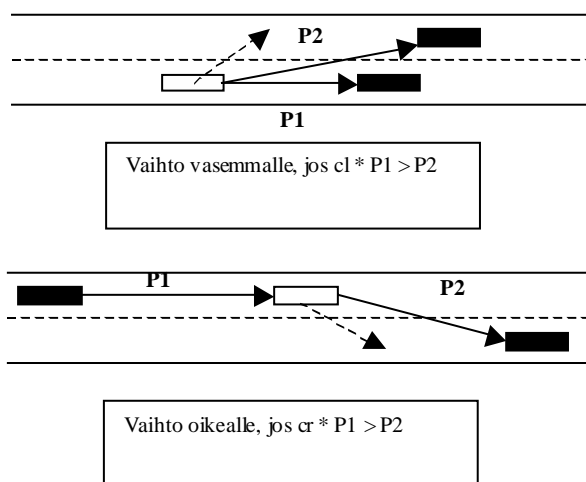
$$P = \frac{(V_{des} - V_{obs})^2}{s * 2}, \text{ jossa}$$

V_{obs} = edellä ajavan nopeus vasemmalle vaihdettaessa, oma nopeus oikealle väistettäessä

V_{des} = Tavoitenopeus

s = välimatka

Arvo lasketaan sekä omalla kaistalla edellä ajavaan ajoneuvoon että viereisellä kaistalla ajavaan ajoneuvoon nähden. Arvoa ryhdytään tarkastelemaan, kun edellä ajava ajoneuvo aiheuttaa riittävän nopeatuennan. Arvoa korjataan suhteellisella raja-arvokertoimella (vaihto vasemmalle c_l , vaihto oikealle c_r , arvot 0–1) siten, että samaa kaistaa ajavien ajoneuvojen välinen paine kerrotaan kertoimella, mikä johtaa pienempään kaistanvaihdon todennäköisyyteen. Vaihdon tarve määritetään kuvassa 2 esitetyn periaattein. Lisäksi ajoneuvot pyrkivät oletusarvoisesti oikeanpuoleiselle kaistalle, jos kaista on tyhjä. Jatkovien edestakaisten vaihtojen estämiseksi ajoneuvoille on määrätty minimiaika, joka niiden on ajettava valitsemallaan kaistalla ennen uutta kaistanvaihtoa. Alkuperäisessä kaupunkialueiden kaistanvaihtomalleissa vaihto oikealle tapahtuu aina, kun P_2 on pienempi kuin vaihdolle asetettu 'raja-arvopaine' (toisin sanoen nopeammalla kaistalla takana ajavan ajoneuvon aiheuttamaa väistämistarvetta ei oteta huomioon).



Kuva 2. Kaistanvaihtotarve HUTSIMissa.

Todettuaan tarpeen ajoneuvo etsii sopivan vaihtohetken, joka määritetään erillisinä aikaväleinä oikealle ja vasemmalle kaistalle vaihdettaessa sekä eteen- että taaksepäin. Tarvittavat aikavälit ilmoitetaan suhteellisina osuuksina normaalista ajoneuvoseurantavälistä. Vapaa-ehtoisen kaistanvaihdon aikaväli on suurempi kuin pakollisen. Vanhemmassa HUTSIM-mallissa vapaaehtoinen kaistanvaihto vaati normaaliseuranta-aikaväliä suuremman aikavälin, ja vain pakolliselle kaistanvaihtoaikavälille määritettiin parametrit.

Uusimmissa HUTSIM-versioissa on myös liittymisrampeille oma sekoittumismalli, jossa ajoneuvo valitsee sekoittumisaluetta lähestyessään ensin sopivan aikavälin lähimpien kohdekaistalla ajavien ajoneuvojen välistä, hakeutuu kiihdyttämällä tai jättäytymällä sopivaan väliin ja suorittamaan kaistanvaihdon. Jos ajoneuvo ei ehdi sopivaan kaistanvaihtotilanteeseen ennen rampin loppua, ajoneuvo pyrkii sijoittamaan itsensä lähimmän aikavälin keskellä huolimatta aikavälin riittävydestä.

Kaistanvaihtomalleihin liittyvät parametrit (ajoneuvoparametrien lisäksi) ovat

Kaistanvaihtomallin käynnistävä nopeusraja-arvo.

Vasemmalle ja oikealle vaihdon suhteelliset raja-arvot. 'Painefunktion' eli potentiaalista hidastamistarvetta kuvaavan funktion arvo (funktion arvo vierisellä kaistalla/arvo nykyisellä kaistalla), jonka ylittyessä kaistanvaihto katsotaan tarpeelliseksi. Kalibroitu kenttämittauksin.

Aikavälin hyväksyntä ylä- ja alavirtaan oikealle ja vasemmalle vaihdettaessa vapaaehtoisessa ja pakollisessa vaihtotilanteessa. Osuus normaalista seuranta-aikavälistä. Osittain kalibroitu (seuranta-aikavälin kautta).

HUTSIM on alun perin kalibroitu kaupunkiympäristössä. Kenttämittaukset ja niihin perustuva parametrien säätö on tehty pääosin valo-ohjauksisissa tasoliittymissä. Kenttämittauksissa on käytetty analysointilaitteita, videokameroita ja tutkimusvarusteisia ajoneuvoja. Kalibroinnissa valittujen mikroparametrien (eri ajoneuvotyyppien ajoneuvovälit, kiihdytykset, hidastuvuudet, yms.) avulla saatuja simuloituja tuloksia vertailtiin kenttämittauksista saatuihin tuloksiin (keskiviivytys, välityskyky, yms.).

Myöhemmin HUTSIMin käyttöaluetta on laajettu muun tyyppisiin ympäristöihin tekemällä kenttämittauksia erilaisissa ympäristöissä ja kalibroimalla simulaattoria niiden pohjalta. Viimeaikoina HUTSIM:ia on kehitetty myös korkealuokkaisten väylien simulointiin. Keskeinen kehityskohde on ollut juuri sopivien parametrien ja parametriyhdistelmien etsiminen korkealuokkaisille väylille.

Liikenteen ohjaus

Liikenteen ohjauselementit tehdään editorilla suoraan malliin. Ohjauslaitteiden vaikutusalueet kuvataan kaistaelementtikytkenäin. Muut kuin valo-ohjausparametrit asetetaan editorilla. Valo-ohjauksessa kyseeseen tulevat myös ohjauselementtien väliset kytkennät sekä erilliset ohjaustiedostot, joissa määritetään valo-ohjauksen ajoitus ja toimintalogiikka.

Valo-ohjauksettomat liittymät

HUTSIM kykenee mallintamaan

- väistämisvelvollisia risteyskäytäviä,
- kiertoliittymiä ja
- rampiliittymiä.

Väistämisvelvollisuudet osoitetaan väistämisvelvollisuus- (kolmio) tai pysähtymismerkkein (Stop-merkki). Käytännössä kolmiomerkillä voidaan osoittaa mikä tahansa etuajo-oikeustilanne (normaalin sivusuunta-pääsuunta –merkin lisäksi tasa-arvoinen liittymä, valo-ohjauksinen sekavaihe, kiertoliittymä, bussipysäkki tms.).

Perusmallina on **aikavälin hyväksymismalli**. Hyväksyttävän aikavälin määrittää käyttäjä. Väli voi olla vakio tai sille voidaan määrittää diskreetti jakauma. Väistämisvelvollisuuteen voidaan kytkeä myös miniminäkyvyys, jos se on oleellinen mm. rakennuksen tai muun näköesteen vaikeuttaessa väistäjän ajoneuvon näkyvyyttä etuajo-oikeutettuun virtaan nähden. Nollatietäisyys tarkoittaa käytännössä stop-merkkiä. Väistämisvelvollisuusmerkki tarkkailee etuajo-oikeutettua suuntaa, ja päästää väistämisvelvolliset ajoneuvot liikkeelle, kun pääsuunnalla on riittävä aikaväli. Aikavälin määrittäminen on manuaalinen toimenpide, ja aikaväli on kalibroitava kutakin liittymää varten erikseen.

Liittyvän rampin mallinnus voidaan tehdä normaalin kaistanvaihtomallin ja rampin päässä olevan kolmion avulla. Uusimmissa HUTSIM-versioissa on myös erillinen sekoittumisaluemalli (kts. kaistanvaihtomallit).

Valo-ohjauksiset liittymät

HUTSIM mallintaa suurimman osan tavallisista suomalaisista liikennevalo-ohjaustavoista erillisohjatuissa liittymissä. HUTSIMin kattamia ohjaustapoja ja ohjausparametreja ovat

- kiinteä aikaohjaus
 - vaihekierto
 - vaiheiden ajoitus

LIITTEET

- keltaiset ja punakeltaiset ajat
- vaihtumisaika
- Liikennetieto-ohjaus (erillisohjauksena)
 - opastinryhmäkohtainen vaihekierto
 - opastinryhmäkohtainen vaiheiden ajoitus (maksimit ja minimi, lopetusviiveet, muuttuva minimivihreä)
 - opastinryhmäkohtaiset keltaiset ja punakeltaiset ajat
 - opastinryhmäkohtainen vaihtumisaika
 - opastinryhmien aloitus- ja lopetustapa, kiinteät, omat ja oheispyynnöt
 - Lepotilat
 - Ilmaisimien ohjelmointi (pidennykset, pidennys- ja pyyntötapa)
- Yhteenkytkentä
 - Kiinteä ajoitus
 - Kiinteä vaihesiirto

HUTSIM sisältää ajoneuvo-ohjauksen lisäksi myös jalankulkuvalojen mallinnuksen sekä kiinteänä ohjauksena että liikennetieto-ohjauksisena (painonapit). Lisäksi HUTSIMin nykyversiolla voidaan osittain mallintaa joukkoliikenne-etuuksia (joukkoliikenteen pidennykset, mutta ei vaihekierron muutoksia vaativia etuisuuksia). Myös nykyään tavanomainen liikennetieto-ohjauksinen yhteenkytkentä voidaan osittain simuloida uusimmilla HUTSIM-versioilla, mutta ohjaustapa ei ole täysin verifioitu, ja siinä on muutamia puutteita. Ohjauksella voidaan kuitenkin mallintaa viimeinen vihreän vaiheen katkaisuhetki, jonka avulla liikennetieto-ohjauksiseen liittymään saadaan kiertoaika ja vaihesiirto.

HUTSIMin valo-ohjausmallinnuksen erikoisominaisuuksia ovat ulkoisen ohjauskojeen kytkentämahdollisuus, SCOOT- ja SPOT-ohjauksen mallinnusmahdollisuus ulkoisilla ohjauskojeilla sekä tutkimuskäytössä oleva sumean ohjauskojeen liitääntä. Ulkoisen ohjauskojeen liitääntä mahdollistaa periaatteessa minkä tahansa ohjauslogiikan toimintatarkastelut olettaen, että tarkastelussa on käytössä tarvittava ohjauskojevälilinjasto. Suoraan HUTSIM ei kykene mallintamaan kehittyneempiä (esim. matemaattisiin optimointialgoritmeihin perustuvia) ohjauslogiikoita.

HUTSIMin sisäänrakennetussa erillisohjauksisessa ohjauskojeessa on kuitenkin joitakin yksittäisiä puutteita ja toiminnallisia ongelmia. Näitä ovat mm. maksimivihreän laskentatapa (tarvittavat algoritmit löytyvät, mutta täydellinen verifiointi on puuttua). HUTSIM ei myöskään tunne kaksiaukkoisia opastimia. Ramppiohjaus on edelleen mallinnettava käytössä olevin välinein. HUTSIMissa ei ole suoria rajapintoja valo-ohjausajoituksia laskeviin ohjelmistoihin, vaan ohjauslogiikka on syötettävä manuaalisesti ohjaustiedostoin ja mallieditorin avulla.

Nopeusrajoitus

Maksiminopeus yhteysvälillä. Nopeusrajoitus asetetaan halutulle välille halutun suuruisena. Ajoneuvojen parametri *Nopeusrajoituksen hyväksyminen* ilmoittaa nopeusrajoituksen noudattamisen täsmällisyyden (0 arvolla kaikki seuraavat täsmällisesti rajoitusta). Uusimmissa versioissa ajoneuvojen kuljettajille voidaan antaa myös kuljettajakohtainen 'aggressiivisuusparametri', joka määrää kuljettajan sijainnin nopeusrajoitusalueen nopeusjakaumassa, ja samalla vaikuttaa mm. aikavälin hyväksyntään.

Ajokaistamerkit

Kaistamerkein voidaan jokin kaista merkitä suljetuksi pakottaen ajoneuvot siirtymään toiselle kaistalle.

Muuttuvat opasteet

Edellä mainitut merkit ja opasteet voidaan toteuttaa myös muuttuvina opasteina, tosin tällä hetkellä HUTSIMin muuttuvat opasteet eivät toimi itsenäisinä objekteina. Opastinkäskyt on ohjattava manuaalisesti tai ennalta ajoite-
tuin ohjaustiedostoin.

Muut mallit ja ominaisuudet

Jalankulkijat ja pyöräilijät

HUTSIMin jalankulkija- ja pyöräilijämalli on yksinkertaistettu sovellus ajoneuvomallista. Jalankulkijat luodaan malliin omilla generaattoreilla ajoneuvoobjektien tapaan, parametreina tuntiliikennemäärä ja jalankulkijoiden nopeusjakauma. Kevyen liikenteen 'ajoneuvotyyppejä' on kolme: tavallinen jalankulkija, piittaamaton jalankulkija (punaista päin kävely mahdollista) ja pyöräilijä. Jalankulkijoilla ei ole seurantamallia (aikaväli), reitinvalintamallia (vain yksi reitti mahdollinen generaattoria kohden) eikä kiihtyvyydellä, ja jalankulkijat havainnoivat vain jalankulkuvalo-objektia. Tästä syystä kevyen liikenteen mallinnus rajoittuu pääosin valo-ohjauksisiin liittyisiin.

Joukkoliikenne

HUTSIMin kalibroidut perusajoneuvotyyppit sisältävät bussin ja raitiovaunun. Pysäkkien mallinnus on tehty 'asemamallin' avulla, joka mallintaa liikennevälineiden pysähtymistä pysäkeillä. Pysäkkiobjekti pakottaa joukkoliikennevälineen pysähtymään kohdallaan. Pysähtymisaika voidaan mallintaa määrittämällä kiinteä odotusarvo ja sen hajonta. Aikaa voidaan mallintaa myös jalankulkijoiden avulla, jolloin pysähtymisaika määräytyy 'pysäkille' kerääntyneiden jalankulkijoiden perusteella (nousuaikaa ei kuitenkaan ole erikseen kalibroitu).

Malli ei ota huomioon eri reittejä eikä muita joukkoliikenteen yksityiskohtia: kaikki ajoneuvot oletetaan sopiviksi kaikille matkustajille. Eri reittejä voidaan kuitenkin mallintaa osoittamalla eri busseille omia reittejä, joiden varrella sijaitsee ainoastaan tämän reitin pysäkkejä. Raitiovaunujen mallinnus noudattaa samoja periaatteita kuin bussien.

Bussien kuormitusta ja kuljetuskapasiteettia ei oteta huomioon mallinnuksessa. Viime aikoina pysäkkiobjektin toimintaa on kehitetty, mm. nousu- ja poistujamäärien sekä -aikojen tarkempaa mallinnusta varten sekä aikataulujen ja reittien osalta.

Dynaaminen reitinopastus ja –valinta on mallinnettu HUTSIMissa seuraavasti.

- Jokainen kaistaelementti laskee omaa matka-aika-arvioitaan

LIITTEET

- Matka-aika lasketaan liukuvasti siten, että jokainen ajoneuvo vaikuttaa elementin keräämään matka-aikatietoon valitulla osuudella (parametri mukautettavissa).
- Ajoneuvot, joilla on reitinohjausvarustus, valitsevat elementiltä saamansa matka-ajan perusteella itselleen nopeimman reitin haluamaansa määränpäähän tai nopeamman kaistan
 - Reitinohjauksen piirissä olevien ajoneuvojen määrä valitaan vakioparametrilla
 - Reitinvalinnalle asetetaan raja-arvo, jonka alittuessa ajoneuvo siirtyy alkuperäiseltä lyhyemmän matka-ajan reitille (määritettävissä oleva vakioparametri).

Edellä mainittu malli kuvaa ajoneuvon sisäisen matka-aikainformaatiolaitteen käyttöä. Malli ei itsessään ennusta ruuhkautumista, vaan perustuu reitiltä havaittuihin matka-aika-arvoihin.

Automaattinen ajonhallinta on yksi telematiikan sovelluksista. HUTSIMista on tehty modifioitu versio, jossa osa ajoneuvoista voidaan varustaa automaattisin ajonhallintalaittein. Hallintalaitteet mahdollistavat tavallista pienemmät ajoneuvoaikavälit. HUTSIMissa mallinnus on toteutettu luomalla uusi ajoneuvotyyppi, jonka parametrit poikkeavat tavallista ajoneuvoista. Ajoneuvonhallintalaittein varustetulle ajoneuvotyypille voidaan määrittää omat seuranta-aikavälit ja pysähtymisetäisyydet. Näiden ajoneuvojen määrä määritetään normaalilla tavalla ajoneuvojakaumaan.

HUTSIMiin on rakennettu erillisiä tarkasteluja varten ns. asemaobjekti (kts. joukkoliikenne), jonka avulla voidaan mallintaa tietulleja, raja-asemia ja teollisuusalueen varastotoimintoja. Objektin toiminta perustuu ennalta syötettyihin odotusaikoihin ja näiden hajontaan. Erona pysäkkiin on se, että objekti pakottaa kaikki ajoneuvot pysähtymään tietyksi ajaksi (esim. kuorma-auton lastin purku, tietullimaksu). Objektin integrointi kaupalliseen HUTSIMiin on kuitenkin puutteellinen ainakin ohjeistuksen osalta.

Reaaliaikainen (on-line) simulointi on merkittävä sovellus reaali-ohjauksen valvonnassa, liikennetilannetiedon hankinnassa ja jakelussa, lyhyen ajan ennusteiden tekemisessä sekä osana ohjausjärjestelmää (esim. sellaisten ohjausinputtien laskeminen, joita väylien perusinfrastruktuuri ja ohjauslaitteet eivät kykene itse tuottamaan). Perusajatuksena on-line-simuloinnissa on oikeasta liikennetilanteesta kerättyjen liikennetietojen (lähinnä ilmaisintiedot) käyttö ajantasaisesti ko. aluetta kuvaavan mallin liikennemäärän inputteina. Liikenteen syöttämisen lisäksi ajoneuvojen sijainti-, nopeus-, kaistajakauma- ja jononpituustietoja voidaan päivittää alueen sisäisin ilmaisintiedoin. Lisäksi on-line-simulointi käsittää ajantasaisen ohjaustiedon siirtämisen ja käytön simulointimallissa.

HUTSIMissa on-line -simulointi on mahdollista ja testattu joidenkin prototyyppien osalta, vaikka yhtenäistettyä yleistä järjestelmärajapintaa ei ole vielä viimeistelty. Reaaliajassa on simuloitu mm. SCOOT-ohjausjärjestelmää (alueellinen ohjaus). HUTSIMista on kehitetty myös osa itse ohjausjärjestelmää. Sumean valo-ohjauskojeen prototyypeissä HUTSIM toimii ilmaisimien ilmoittaman reaaliaikaisen liikennetilanteen mukaisilla liikennemäärillä ja tekee valo-ohjauspäätökset, jotka välitetään edelleen varsinaisten valo-ohjauskojeiden toteutettaviksi. Prototyyppinä on ollut koekäytössä muutamissa suomalaisissa kaupungeissa.

Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus

HUTSIMin tuottamista tulostiedostoista voidaan jälkikäteen laskea mallinnetun liikennetilanteen päästömäärät päästötyypeittäin. HUTSIM ei itsessään suorita laskentaa simuloinnin aikana, vaan tehtävään on kehitetty jälkikäsitelyohjelma EMCA. EMCA laskee päästömäärät etukäteen muodostettujen päästömatriisien ja HUTSIMin tuottamien ajoneuvo kohtaisten liiketilamuuttujen avulla.

HUTSIM tuottaa ajoneuvojen nopeudet askelfunktiona, joten päästölaskennan vaatimat tiedot nopeusmuutoksista (kiihtyvyydestä ja hidastuvuudesta) tehdään jatkuviksi sovittamalla nopeus- ja sijaintihavainnot nopeus-etäisyys -käyräksi. Sovituskäyrän muoto on jatkuva kolmannen asteen polynomi, josta voidaan lakea ensimmäisen ja toisen kertaluokan derivaatat. Derivaatoista lasketaan ajoneuvon nopeus- ja kiihtyvyyssarvot kullakin aika-askeleella.

Varsinaiset päästömäärät lasketaan päästömatriisien avulla. Matriisit kertovat ajoneuvon tuottaman päästömäärän sen tyyppin, nopeuden, kiihtyvyyden ja hidastuvuuden suhteen. EMCAssa on tällä hetkellä käytössä kaksi ajoneuvotyyppiä (henkilö- ja pakettiautot sekä raskas liikenne). Matriiseilla voidaan arvioida NO₂, NO_x, CO ja HC-määrät. Päästöjen lisäksi EMCA laskee ajoneuvon polttoaineen kulutusarvot.

EMCA ilmoittaa tulokset ajoneuvoa, ajokilometrejä ja ajotuntia kohden sekä koko mallissa syntyneen päästömäärän. Periaatteessa tulokset voidaan kohdistaa myös ajan ja paikan mukaan, mutta työ tehtävä manuaalisesti.

EMCAN rajoituksena on tällä hetkellä se, että laskentaohjelmisto ei kykene käsittelemään kovin suuria input-tiedostoja. Näin ollen suurempien alueiden päästölaskenta on vaikeaa.

HUTSIM-EMCA järjestelmää on testattu myös meteorologisen leviämismallin yhteydessä. Mallinnusmenetelmää verrattiin kenttämittauksiin. Tuloksien mukaan korrelaatio on selvä, mutta erityisesti päästömatriisien arvoihin on kiinnitettävä lisää huomiota. Tarkemmat päästömatriisit ovat olemassa, mutta niiden toimintaa ei ole validoitu.

PARAMICS-OHJELMAKORTTI

Perustiedot

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Britannian markkinoille Paramicsia myy SIAS-niminen yhtiö ja kansainvälisestä Paramicsista vastaa Quadstone, UK.

Pääsovellusalueet

Yksittäisten ajoneuvojen ja kuljetusten liikkeen ja käyttäytymisen mallintaminen paikallisilla pääväylillä ja alueellisilla moottoritieverkoilla. Laajat verkosimuloinnit.

Pääkäyttäjät

Paramics-lisenssejä on maailmalla yhteensä noin 500 kpl. Arviolta 50 % Pohjois-Amerikassa, 15-20 % Euroopassa ja loput Kaakkois-Aasiassa ja Australiassa. Suomea lähin eurooppalainen lisenssinomistaja on Tanskassa (yliopisto). Suurin yksittäinen käyttäjä on yhdysvaltalainen yliopisto, jolla on yhteensä 50 lisenssiä.

Tekniset vaatimukset ja mallien reunaehdot (esim. koko)

Paramics toimii Windows-pohjalla. Paramics vaatii vielä tällä hetkellä erillisen grafiikka- ja ikkunointiohjelmiston (X-Window, OpenGL) Windowsin lisäksi (tarvetta ollaan poistamassa tulevista Paramicsin versioista).

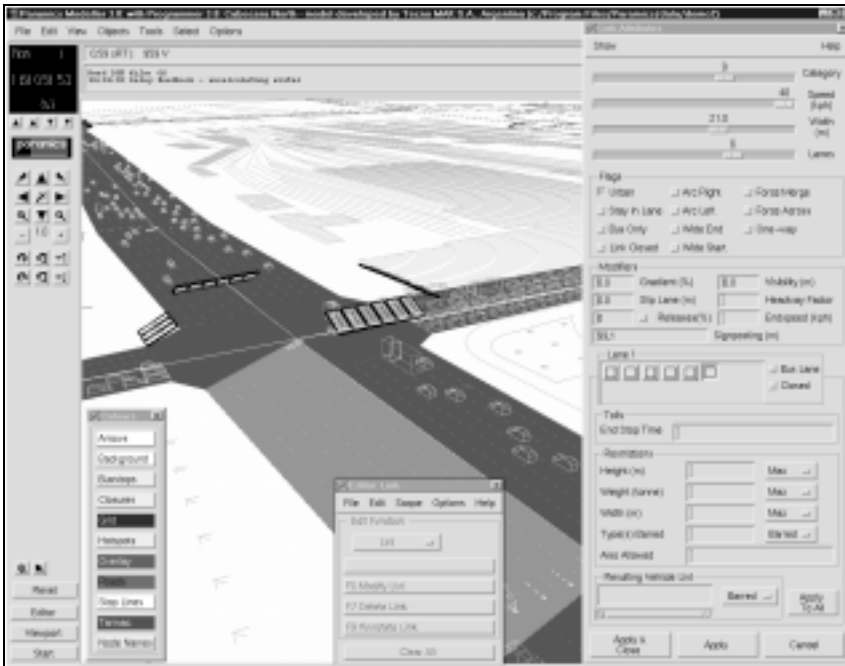
Mallinnettavien ajoneuvojen määrää ja mallin kokoa rajoittaa ainoastaan käytettävän tietokoneen nopeus.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

Simulointia voidaan valinnan mukaan tarkastella 2- tai 3-ulotteisessa tilassa. Malliin voidaan napinpainalluksella asentaa myös ns. "videokameroita", jotka näyttävät simulointikuvaa reaaliajassa valitusta mallin kohdasta, vaikka itse pääikkunassa siirryttäisiin seuraamaan muita kohteita. Kameroita voidaan asentaa useita ja näin samassa ruudussa seurata mallin toimintaa useissa eri kohteissa.

Sekä 2D- että 3D-animoinnit voidaan toteuttaa käyttäen neliskulmaisia muotoja autoille, rekka-autoille, linja-autoille ja junille. Mallin elementeille voidaan antaa monia värejä ja ajoneuvojen muodot voidaan jättää yksinkertaisiksi laatikoiksi tai muokata monimutkaisemmiksi muodoiksi, jos tarvitaan realistisempaa animointia. 3D-animoinnissa tieverkko- ja liittymägeometria on esitetty yksityiskohtaisesti näyttäen kaistamerkinnyt, pysähtymisviivat, reunakivet ja liikennevalot. Mallin taustalle voidaan ladata rasterikuvia tai ilmakuvia. Malliin voidaan haluttaessa lisätä myös taloja tai siltoja tms. kolmiulotteisina.

Erillistä ohjelmaa Paramics Analyzeria käytetään simuloimalla saatujen suorituskykyksuureiden visuaaliseen esittämiseen. Paramics tuottaa automaattisesti palvelutasot ja toimivuusanalyysit HCM:n kriteerien mukaan. Tämän lisäksi käyttäjä voi itse määrittellä palvelutasomittareita, joita Paramics laskee. Mikrotason mittareiden lisäksi kaikki makrotason mittarit, joita mm. EMME/2 tuottaa, tulevat Paramicsissa automaattisesti. Tuloksia voidaan esittää joko graafisesti tai numeroina valittaessa linkki, liittymä, ajoneuvotyyppi, matriisi, aika- yms. perusteisesti.



Kuva 1. Esimerkkikuva Paramics-ohjelman 3D-simuloinnista..

Paramics koostuu seuraavista osista:

- Modeller: varsinainen simulointiohjelma
- Processor: Simulointiasetusten (määrät, tulosteet tms.) säätöohjelma
- Analyzer: tulosteiden käsittelyohjelma, jolla voidaan mm. visualisoida simulointitulosten tilastotietoa ja käyttäjäasetusten mukaista palvelutasoa. Lisäksi osa sisältää Excel-makron, jonka avulla tuloksista voidaan hakea erilaisia yksityiskohtaisia vertailuja.
- Programmer: mallien ja parametrien säätöön sekä erilaisten erikoismallinnusten (VA-ohjaus, telematiikka) ja sovellusten ohjelmointiin tarkoitettu käyttäjäohjelmointiohjelma.
- Monitor: Päästölaskentasovellus

Käyttäjä voi ohjelmointimodulia (API) käyttäen periaatteessa vaikka kirjoittaa lähes koko ohjelman uudelleen. Käytännössä ohjelmointi tarkoittaa yksittäisten olemassa olevien ominaisuuksien uudistamista tai uusien ominaisuuksien lisäämistä. Ohjelmointi tehdään C- tai Java-ohjelmointikielillä ja lopputulos on Windowsin DLL-tiedosto, jota Paramics käyttää. Myös ohjelmistotoimittaja voi tehdä tilauksesta lisäominaisuuksia maksua vastaan.

Paramics Developer -lisenssin omistaja voi muokata ohjelman sisäisiä malleja (valmiiksi määritellyjä moduleita 700 kpl) tai lisätä ohjelmaan kokonaan

uusia ominaisuuksia. DLL-tiedoston tehneellä Developer-lisenssin omistajalla on tekijänoikeus moduliinsa. Tämä taho voi halutessaan jakaa DLL:n muiden käyttöön, myydä sitä tai pyytää Quadstonea markkinoimaan DLL:ää ohjelman ohessa.

Paramics on kalibroitu brittiläiseen liikenneympäristöön. Validointiperustana on ollut pääasiassa englantilaiset makromallit ARCADY, PICADY ja TRANSYT. Paramics ei itse ylläpidä tai tarjoa kalibroituja parametrisarjoja.

Mallin geometriset ominaisuudet ja mallin rakentaminen

Suorat elementit

Tyyppi. Kaupunkiväylä tai moottoritie ja pää-/sivuväylä. Vaikuttaa reititykseen.

Pituus m.

Kaistamäärä.

Nopeus km/h. Linkin nopeusrajoitus tai vapaa nopeus.

Pituuskaltevuus. Pituuskaltevuus vaikuttaa ajoneuvon kiihtyvyyteen sekä ala- että ylämäessä yhdessä ajoneuvon painon kanssa.

Näkyvyys. Arvot, jotka määrittävät kuljettajien havainnoimisetäisyyden (suhteessa heidän 'tietoisuuteen').

Aikavälitekijä. Säättää linkillä seuranta-aikavälin oletusta.

Leveys m. Ei vaikuta mallinnukseen.

Kadunvarsipysäköintialueet, reunakiveys, kaarevuus.

Liittymien mallinnus

Tyyppi, kaistamerkinnyt, kääntymissäde.

Muut elementit

Parkkialueet kullakin määräpaikka-alueella.

Lähtötiedot ja liikennevirran ominaisuudet

Quadstonen toimintatapana on ollut, ettei Paramicsiin rakenneta valmiita suoria rajapintoja muihin ohjelmistoihin. Tällaiset rajapinnat saattaisivat heidän mukaansa aiheuttaa päivitysongelmia, kun näistä muista ohjelmista julkaistaan uusia versioita ja rajapintoja pitäisi jatkuvasti muokata.

Valmiiden rajapintojen sijasta Paramicsin input- ja output-tiedostoista on pyritty tekemään mahdollisimman yleismaailmallisia. Esimerkiksi liikenneverkot ja matriisit voidaan tuoda sisään Paramicsiin tai tulostaa ASCII-muodossa tulosteena, joka sisältää samanlaista tietoa kuin lähes mikä tahansa muu

makro- tai mikromalli. Tätä ASCII-tiedostoa on yksinkertaista muokata siten, että se vastaa halutun muun ohjelman tiedostoformaattia. Sopivaa formaattia tuottavat Word-makrot on tehty mm. Paramicsin, EMME/2:n, Saturnin ja TransCAD:n välille.

Paramicsissa liikennemäärät ja suuntajakaumat voidaan määrittää lähtömääräpaikkamatriisein aluetasolla (O-D-matriisit).

O-D matriisit luodaan eri ajoneuvoluokille erikseen. Ajoneuvoluokkia voidaan määrittää 20. Jokaiseen luokkaan kuuluu erilaisia ominaisuuksia (ajoneuvotyyppisiä maksimissaan 128 kpl, henkilökuorma, matkan tarkoitus, jne.). OD-matriisit voidaan määrittää eri simulointijaksoille (ruuhkahuippujen mallinnus).

Paramics laskee kysyntämatriisin tuottamille ajoneuvoille reitit yleistetyn kustannusfunktion avulla. Paramicsin käyttäjä voi säätää reititystä O-D -parien välillä muutamilla parametreilla. Peruslähtökohtana on, että kuljettaja pyrkii minimoimaan matkasta aiheutuvat kustannukset, jotka saadaan kaavalla:

$$\text{kustannus} = aT + bD + cP, \text{ jossa}$$

T = Matka-aika matkalle / linkille

D = Matkan / linkin pituus

P = Rahallinen kustannus matkalle (tietullit tms).

(Oletusarvot ovat a:1, b:0, c:0.)

Sijoittelua voidaan säätää seuraavasti.

1. Deterministinen All or nothing / User equilibrium. Kaikki ajoneuvot valitsevat reitin, jolla on pienin matkavastus. [Tämä sijoittelutapa vastaa EMME/2-mallin sijoittelua]
2. Stokastinen User equilibrium sijoittelu. Reititytykseen vaikuttaa ajaja-kohtainen 'häiriöparametri' (perturbaatio), joka jakaa kuljettajia eri reiteille tilanteessa, jossa vaihtoehtoiset kustannukset ovat saman suuruiset. Kuljettajat pyrkivät valitsemaan pienimmän matkavastuksen reitin, mutta osa valitsee myös muita hieman suuremman vastuksen reittejä (inhimillinen päätöksenteko). Parametri on ajoneuvotyyppikohtainen. Stokastisuuden määrä on käyttäjän säädettävissä. [Valintamalli vastaa ns. Burrell -tyyppistä sijoittelua ja Meplan-mallin sijoittelua]
3. Dynaaminen sijoittelu. Liikenneympäristön tuntevat kuljettajat (familiar drivers) tai esim. reaaliaikaista liikenneinformaatiota saavat kuljettajat voivat simuloinnin aikana muuttaa reitinvalintaansa, jos valittu reitti ruuhkautuu. Alueen tuntevat kuljettajat pitävät lyhyitä, mutta sivuteistä koostuvia, reittejä edullisempina kuin alueella liikkuvat vieraat. Vieraat eivät havaitse muita kuin opastettuja pääreittejä.

Linkkikohtaisilla kertoimilla voidaan säätää erityyppisten linkkien (esim. moottoritie/katu) houkuttelevuutta ajoneuvon kannalta, ja saada ajoneuvot valitsemaan suurempia väyliä. Linkkejä voidaan myös sulkea tietyiltä ajoneuvoluokilta (paino- tms. rajoitus).

Samassa mallinnuksessa voidaan käyttää yhtä aikaa eri sijoittelutapoja eri sijoiteltavia matriiseja koskien. Maksimissaan 20 eri ajoneuvoluokkaa voi-

daan sijoitella yhteen simulointiin. Ajoneuvoluokalla voidaan erotella esim. työmatkalaiset ja vapaa-ajanmatkustajat.

Paramicsiin liittyy reitillä vallitsevan matka-aikatason reaaliaikainen takaisin-kytkentä: malli seuraa esim. ruuhkaheippuina liittymissä kasvavaa matka-aikaa ja välittää sen edelleen saapuville ajoneuvoille kustannusfunktion päivittämiseksi. Takaisin-kytkennän avulla voidaan mallintaa reitinopastusta (kaikki kuljettajat valitsevat uuden reitin) tai työssäkäyntiliikenteen sopeutumista ruuhkaheippuina vaihtoehtoisin reitteihin (tuttuus-parametri ja pääreitien määrittäminen).

Ajoneuvot generoidaan malliin satunnaisjakaumalla. Tämän johdosta suositella, että hyvin herkissä tarkasteluissa mallin syöttöhaaroista on hieman vapaata tilaa, jotta aikavälijakauma ehtii muodostua todelliseksi. Käyttäjäohjelmoinnilla on myös mahdollista käyttää omaa generointijakaumaa.

Ajoneuvo- ja kuljettajakäyttäytymismallit

Yleiset parametrit:

Jonon ajoneuvoväli (oletus 10m). Maksimiväli kahden jonoutuvan ajoneuvon välillä. Tätä suuremmalla ajoneuvovälillä kulkevia ajoneuvoja ei lasketa jonossa oleviksi.

Jonon nopeus (oletus 2 m/s). Maksiminopeus jonoutuville ajoneuvoille. Ajoneuvoja, jotka kulkevat tätä nopeammin ei lasketa jonossa oleviksi.

Raskaan ajoneuvon paino. Minimipaino raskaalle ajoneuvolle.

Keskimääräinen ajoneuvoseurantaetäisyys (oletus 1s). Globaali keskimääräinen tavoite-etäisyys sekunneissa ajoneuvon ja sitä seuraavan ajoneuvon välillä. Tämän ei tarvitse välttämättä olla sama kuin mitattu etäisyys, sillä yhteys tavoitteen ja todellisuuden välillä riippuu liikennevirtatasosta, kuljettajakäyttäytymisestä ja muutamista muista tekijöistä.

Keskimääräinen reaktioaika (oletus 1s). Arvo liittyy viiveeseen edellä ajavan ajoneuvon nopeudenmuutoksesta seuraavan ajoneuvon reaktioon.

Nopeusmuisti (oletus 3). Aika-askelten lukumäärä ennen nykyistä aika-askelta, jotka ajoneuvo muistaa. Nopeusmuisti –arvon muuttaminen mahdollistaa suurempien reaktioaikojen tai pienempien aika-askelten mallintamisen.

Keltainen aika. Keltaisen ajan pituus liikennevaloissa. Tämän perusteella lasketaan hukka-aika valo-ohjauksisten liittymien vihreän ajan tehokkuuslaskelmissa.

Kaarrenopeustekijä. Tekijä, joka kontrolloi ajoneuvon hidastamista kaarteessa.

Ajoneuvoparametrit:

Jokaiseen ajoneuvoon liittyy noin 75 erilaista ominaisuutta. Ominaisuudet ovat fyysisiä (esim. auton pituus, ikä, paino, moottorin tyyppi, maksimikiihty-

vyys) ja käyttäytymiseen liittyviä (esim. tämänhetkinen kiihtyvyys ja nopeus, kuljettajan aggressiivisuus, kuljettajan tuntemus liikenneympäristöä koskien).

Tyyppi. Käyttäjä voi määrittää 128 ajoneuvotyyppiä, jotka voidaan nimetä halutusti. Paramicsissa on myös parametrien mallijakaumia eri ajoneuvotyypeille (UK-kalibrointi).

Ajoneuvotyyppin fyysiset ominaisuudet voidaan muunnella perustyyppien pohjalta (henkilöauto, erilaiset kuorma-autot ja rekat, minibussi ja linja-auto). Ajoneuvojen fyysisiä ominaisuuksia ovat mm.:

pituus (m)

korkeus (m)

leveys (m)

paino (t)

keski-ikä (vuotta)

huippunopeus (km/h)

Maksimikiihtyvyys (m/s/s)

Maksimihidastuvuus (m/s/s).

Matkustajien kuljetuskyky (matkustajaa/ajoneuvo).

Kuljettajakäyttäytyminen:

Paramicsissa ajoneuvojen käyttäytymistä sääteleviä keskeisiä parametreja ovat myös aggressiivisuus (aggression) ja liikenneympäristön tuntemus (awareness). Näiden parametrein valinta on perustunut TRL:n Iso-Britanniassa tekemiin tutkimuksiin.

Jokaiselle kuljettajalle asetetaan kaksi parametria

Aggressiivisuus (aggression) arvo väliltä 0-8.

Tietoisuus (awareness) arvo väliltä 0-8.

Arvot asetetaan ajoneuvon generoituessa määritettyjen jakaumien mukaan. Jakaumavaihtoehtoina ovat normaalijakauma (oletus) ja tasajakauma sekä esimerkinomaiset tyyppijakaumat. Jakaumia voidaan muuttaa myös manuaalisesti.

Käyttäytymisparametrit vaikuttavat mm. ajoneuvon seurantaväliin, huippunopeuteen, kaistanvaihtoalukkuuteen ja aikavälin hyväksyntään.

Kysynnän ja sijoittelun parametrit:

Osuus %. Ajoneuvotyyppin suhteellinen osuus kokonaisliikennemäärästä prosentteina.

Epäjärjestys/häiriö. Epäjärjestys (Perturbation) tekijä, jota käytetään stokastisessa reititysalgoritmeissa matkavastuskustannusten muokkaamisessa.

Tuttuus (%). Niiden ajoneuvojen osuus, jotka tuntevat tarkastelualueen liikenneyhteydet, ja osaavat valita vaihtoehtoisia (ei-viitoitettuja) reittejä.

Reititys. Sijoittelumetodin määrittely, joko Paramicsin sijoittelu tai kiinteä reitti (joukkoliikenne).

Matriisi. Ajoneuvotyyppin matkoja generoivan matriisin määrittely.

Reititysalgoritmin päivitysväli. Aikaväli, jonka välein reititys päivittyy vallitsevan liikennetilanteen (ja yleisten kustannusten) mukaiseksi.

AJONEUVOJEN SEURANTAMALLI

Paramicsin ytimen ajoneuvomallit ovat liiketalaisuus, jota ohjelmistotoimittaja ei halua luovuttaa. Ohjelmistotoimittaja suosittaa voimakkaasti, että ohjelmaa käytettäisiin tärkeimpien perusmallien (ajoneuvoseuranta ja kaistanvaihto) osalta perusasetuksilla.

Ajoneuvoseurantamalli perustuu edeltävän ja seuraavan ajoneuvon etäisyys/nopeusero-akseliston eri osa-alueisiin, joita on luokiteltu osiin vapaa liike / lähestyminen / vaara / seuraaminen I / seuraaminen II.

Paramicsissa ajoneuvojen liikkeet simuloidaan kolmella osamallilla: ajoneuvon seurantamalli, aikavälin hyväksyntämalli ja kaistanvaihtomalli. Mallit ovat psyko-fyysisiä, ja ottavat huomioon kuljettajan ja ajoneuvon ominaisuudet. Mallit pohjautuvat Wiedermannin ja H-T Fritzschen kehittämiin käyttäytymismalleihin.

Reaktioaika huomioon ottaen rajoittava etäisyys otetaan edessä olevalta ajoneuvolta. Rajoittava etäisyys n :lle ajoneuvolle saadaan kaavalla

$$d_c = x_{n-1} - x_n - l_{n-1} + v_{n-1}^a t - ds, \text{ jossa}$$

d_c = rajoittava etäisyys

x_{n-1} = edeltävän ajoneuvon sijainti

x_n = tarkastellun ajoneuvon sijainti

v_{n-1} = edeltävän ajoneuvon nopeus

l_{n-1} = edeltävän ajoneuvon pituus

ds = turvaväli pysähtyneenä

Jokainen ajoneuvo voi liikkua riippuen ajoneuvon ominaisuuksista ja ajoneuvon ja sen edessä ajavan ajoneuvon välisestä etäisyydestä. Paramicsissa vaiheet, joilla lasketaan ajoneuvojen liikkeet, ovat seuraavat:

1. Lasketaan rajoittava etäisyys d_c ajanhetkellä t .

$$d_{c_t}(i,j) = d_t(i,j-1) - d_t(i,j) - l(i,j-1) + v_t(i,j-1)^a t - ds$$

2. Lasketaan haluttu kiihtyvyys a_t .

$$a_t(i,j) = \frac{v_t^2(i,j-1) - v_t^2(i,j)}{2dc_t(i,j)}$$

jossa $a_t(i,j)$ on haluttu kiihtyvyys ajoneuvolla j kaistalla i ajanhetkellä t .

3. Lasketaan ajoneuvon nopeus seuraavassa iteraatiossa v_{t+a_t} .

$$v_{t+a_t}(i,j) = v_t(i,j) + a_t(i,j) \cdot a_t.$$

4. Lasketaan ajoneuvon sijainti seuraavassa iteraatiovaiheessa d_{t+a_t} .

$$d_{t+a_t}(i,j) = d_t(i,j) + v_t(i,j) \cdot a_t.$$

Ajoneuvojen rajoittava nopeus valitaan edellä olevan ajoneuvon, etäisyyden seuraavaan liittymään, nopeusrajoituksen ja ajoneuvon huippunopeuden miniminä. Linkille määritetyn nopeuden noudattamista ohjaa kuljettajalle määrätty aggressiivisuusparametri.

Paramicsin aiempia versioita on kalibroitu Briteissä sikäläisiin olosuhteisiin yhteistyössä liikenneministeriön (DfT) kanssa perustuen lähinnä makrotason dataan. Validointia on tehty myös "kelluvan auton" mittauksiin sekä havaittuihin nopeus/liikennemääräkäyriin vertaamalla. Lisäksi laaja käyttäjäkunta (erityisesti Yhdysvalloissa) on kalibroinut parametreja. Mikäli Suomessa ei olla tyytyväisiä mallin dynamiikkaan tai validiuteen, on mahdollista itse kalibroida ajodynamiikkaan vaikuttavia parametreja. Merkittävä puute on kuitenkin, ettei käyttäjän tietoon anneta yksityiskohtaista kuvausta simuloinnin ajodynamiikkaa (tai kaistanvaihtoa) ohjaavasta kaavasta vaan kerrotaan näiden toimivan Fritzschen teorian mukaan ja annetaan mahdollisuus muuttaa parametreja, joiden vaikutuksen saa siis selville vain kokeilemalla. Malleissa käytettyjä parametreja voi muuttaa, mutta muutokseen tarvitaan joskus käyttäjäohjelmointia. Vain osaa parametreista voidaan muuttaa myös ilman ohjelmointia.

Kalibroinnissa ei tarvitse tukeutua pelkästään ohjelmassa oleviin osamalleihin ja niiden parametrien säätelyyn vaan on mahdollista kirjoittaa itse kokonaan uusi korvaava tai täydentävä osamalli. Mikäli esimerkiksi liikenteen valo-ohjaus haluttaisiin saada täysin suomalaisia toteutustapoja vastaavaksi, täytyisi nämä valo-ohjaustavat täydentää ohjelmaan.

Singaporen yliopistossa on kehitetty useita API-sovelluksia, joista yksi liittyy kalibrointiin. API-sovelluksen avulla simuloinnin aikana voi säätää kaistanvaihtoa ja ajoneuvoseurantaa koskevia parametreja, kuten seuranta-aikavälejä ja kaistanvaihtoon kuluva aikaa. Singaporen yliopistolla on artikkelinsa mukaan tekeillä API-sovellus, joka tekisi kalibrointia geneettisiin algoritmeihin perustuen.

Simuloinnissa toteutuneiden liikennemäärien vastaavuutta havaittuihin todellisiin arvoihin (induktiosilmukat, laskennat ym.) verrataan Paramicsissa automaattisesti ns. GEH-testillä, joka lienee yleisin maailmalla käytössä oleva menetelmä. Tällä tavalla mallin validius esim. voitaisiin testata vastaavasti kuin EMME/2:ssa.

KAISTANVAIHTO- JA OHITUSMALLI

Kaistanvaihtomalli on erilainen vasemmalle ja oikealle vaihdettaessa. Kaistanvaihtomallin peruslähtökohta on, että vasemmalle vaihdettaessa päätökseen vaikuttavat kolme ajoneuvoa, jotka ovat samalla kaistalla edessä oleva sekä viereisellä kaistalla edessä ja takana oleva. Oikealle vaihdettaessa vaikuttavat vain oikealla kaistalla olevat ajoneuvot.

Kaistanvaihtomallin toiminnasta ohjelmistotoimittaja on laatimassa perusteellisempaa kuvausta ruotsalaisten pyynnöstä.

Liikenteen ohjaus

Paramicsilla voidaan mallintaa tavallisia valo-ohjaamattomia, kierto- ja valo-ohjauksisia liittymiä. Paramics muodostaa liittymät 'solmulle' määritettävien parametrien avulla.

Paramics on kalibroitu brittiläiseen liikenneympäristöön. Validointiperustana on ollut pääasiassa englantilaiset makromallit ARCADY, PICADY ja TRANSYT.

Kiertoliittymä muodostuu perussolmusta siten, että Paramics luo risteävien linkkien perusteella solmusta kiertoliittymän. Käyttäjä määrittää säteen. Kiertoliittymässä noudatetaan erityistä kaistanvalintamallia.

Valo-ohjaus

Kiinteä ohjaus ja liikennetieto-ohjauksinen (VA) ohjaus kuuluvat Paramicsin myyntiversioon. Käyttäjä voi määrittää kiertoaajat, vaihesiirron ja vaiheiden pituudet. Lisäksi voidaan määrittää vaihtumisajat. Keltainen aika määritetään koko mallille vakiona. Liikennetieto-ohjauksisessa liittymässä voidaan lisäksi asettaa maksimi- ja minimivihreät.

Myös joukkoliikenne-etuudet ja jalankulkuvalot ovat vakio-ominaisuus. Valojen tekeminen malliin on helppoa. Perusasetuksilla toimivat valot syntyvät liittymään nopeasti. Kun on kysymys muista kuin perusasetuksilla toimivista valoista, voidaan niitä helposti kopioida mallin eri osiin.

Kokonaisuutena Paramicsin valo-ohjauspaketti ei kata monia kehittyneitä Suomessa käytössä olevia valo-ohjaustapoja. Paramics ei kykene opastinryhmäohjaukseen. Liikennetieto-ohjattu yhteenkytkentä ei toimi täysin suomalaisen tapaan ilman erityismenettelyä. Paramicsissa (versio 3.0) ei voida simuloida pitkäsilmukka(läsnäolo)ilmaisimia lainkaan. Lisäksi ilmaisimet ovat ajoratakohtaisia, eikä rinnakkaisia kastoja voi erottaa toisistaan.

Minkä tahansa valo-ohjaustavan tekeminen on kuitenkin mahdollista Paramicsin käyttäjäohjelmointia käyttäen. Lisäksi Paramics sisältää rajapinnan SCATS -valo-ohjausjärjestelmään. Paramicsilla voidaan luoda liikennetilanne SCATS-ohjausta varten ja toteuttaa ohjauksen antamat komennot.

Nopeusrajoitukset voidaan asettaa erikseen erityyppisille ajoneuvoille.

Kaistarajoituksia ja -opasteita voidaan luoda aikariippuvaisesti (esim. ruuhka-ajan joukkoliikenne- tai muut erikoiskaistat).

Muuttuvia opasteita voidaan mallintaa mm. nopeusrajoitusten osalta. Nopeusrajoitukset voidaan kytkeä ilmaisimiin, joiden antamien tietojen perusteella opastetta voidaan muuttaa.

Muut mallit

Jalankulkijat ja pyöräilijät

Jalankulkijoiden vuorovaikutus tienkäyttäjien kanssa voidaan mallintaa valo-ohjauksisen liittymän ja erityisesti suojateiden ympäristössä. Paramicsissa ei ole mahdollista mallintaa jalankulkijoiden liikettä alueilla, joissa ei ole vuorovaikutusta ajoneuvoliikenteen kanssa.

Polkupyöriä ei ole mallinnettu realistisesti yleisessä tieympäristössä. Paramicsissa on mahdollista määrittellä ajoneuvotyyppi, jonka ominaisuudet ovat sopivat pyöräilyn mallintamiseksi. Paramicsia voidaan käyttää mallintamaan liikenneverkkoja, joissa pyöräilijöillä on omat erotellut kaistat tai linkit verkossa.

Joukkoliikenne

Paramicsissa voidaan mallintaa busseja ja junia. Busseille voidaan määrittää mm. poistumis- ja nousemisovien lukumäärä.

Ajoneuvomääritykset Paramicsissa mahdollistavat nivelikkäiden ajoneuvojen mallintamisen. Ajoneuvot voivat koostua rajattomasta määrästä yksittäisiä, minkä pituisia tahansa, ajoneuvoyksiköitä.

Toisin kuin muut ajoneuvot, joukkoliikenne seuraa kiinteitä reittejä läpi liikenneverkon. Reiteille määrätään vuorovälit ja aikataulut. Joukkoliikenteen pysäkit määritellään tiettyihin paikkoihin linkeillä ja joukkoliikenteen reitit määritellään pysäkiltä pysäkille alkaen ja päättyen päätepysäkeille. Joukkoliikenteelle voidaan määrätä omia kaistoja. Joukkoliikenteelle voidaan määrätä etuisuuksia, pysäkiltä lähtöajat ja saapumisajat. Myös varatulle pysäkille jonnottaminen on mallinnettu.

Joukkoliikenne kulkee määritettyä reittiä. Kullekin reitille kuuluville pysäkeille määritetään matkustajien saapumistiheys (matk./h). Kullekin reitin pysäkille kertyy matkustajatiheyden perusteella saapuvan ja edellisen vuoron välillä satunnainen määrä kyseisen linjan matkustajia. Vaunuille määritetään nousemis- ja poistumisajat, joiden avulla vaunun kokonaispysähtymisaika lasketaan. Poistuvat matkustajat estimoidaan pysäkille määritettävän poistumisprosentin mukaan. Prosenttiluku kertoo vaunusta nousevien matkustajien määrän osuutena sen hetkisestä vaunukuormituksesta.

Bussit pysähtyvät pysäkeille aina matkustajista riippumatta. Pysäkin ohitse ajamisen mahdollisuus voidaan mallintaa käyttäjäohjelmoinnilla.

Optionaalisesti voidaan mallintaa myös vaunujen kuormituksia ja reitin kuljetuskapasiteettia.

Pysäköinnin mallinnus

Paramics sisältää pysäköinnin mallinnuksen. Eri määräpaikka-alueille voidaan asettaa yksi tai useampia pysäköintialueita, joille ajoneuvot pysäköivät. Matka-aikaan lisätään kävely aika varsinaiseen määränpään. Ajoneuvot pyrkivät parkkialueelle, joka minimoi matka-ajan.

Alueille voidaan määrittää kapasiteetti, maksu (vaikuttaa reitinvalintaan) ja pysäköintirajoituksia (esim. ajoneuvotyypit, matkan tarkoitus). Parkkialueiden kuormitusta valvotaan simuloinnin ajan, ja käyttäjä voi määrittellä aloitustäytöasteen.

Paramicsissa kadunvarsipysäköinti voidaan ottaa huomioon alentuneena linkkinopeutena.

Dynaaminen reitinopastus ja -valinta

Paramicsilla voidaan mallintaa muuttuvien opasteiden ja liikenneinformaation vaikutusta liikenteeseen (esim. ohjauskeskuksen toiminta). Eri ohjaus- ja informaatiopäätösten vaikutuksia voidaan testata ja ennustaa ajamalla näiden mukaiset simuloinnit reaaliaikaa nopeammin erilaisissa skenaariotilanteissa. Periaatteessa tämä on mahdollista myös on-line -simuloinnissa ja osana liikenteen hallintajärjestelmää.

Erilaisten reitinvalintamallin parametrivariaatioiden (kts. lähtötiedot ja reititys) Paramicsilla voidaan tutkia kustannusfunktion antamaa palautetta ja kuljettajakäyttäytymistä (oppimista) erilaisin palauteaikavälein (esim. ajoneuvon sisäiset reitinopastuslaitteet). Samoin voidaan tutkia onnettomuus- ja ruuhkatiedotusten vaikutusta reitinvalintaan ja verkon tehokkuuteen.

Kuljettajien informaation ja opastuksen hyväksyntään voidaan vaikuttaa erilaisin kuljettaja- ja ajoneuvoparametrein (informaation uskottavuus, kuljettajan kärsivällisyys, aggressio, tietoisuus, jäljellä oleva matka-aika).

Onnettomuusmallinnus

Paramics voi mallintaa onnettomuustilanteita. Onnettomuus, ajoneuvon hajoaminen tai muu tapaus määritetään tapahtuman yleisyyden, keston ja paikan avulla.

Onnettomuuden vaikutukset kuvataan alentuneella linkkinopeudella sekä onnettomuuskaistan suunnalle että vastakkaiselle suunnalle.

Onnettomuusmallinnus on onnistuttu validoimaan tapauskohtaisesti ainakin yhdessä projektikohteessa.

Tietullit tms.

Tulliobjektille määritetään kustannus ja kustannustekijä. Näiden tuloa käytetään reitinvalinta-algoritmissa (yleistetty kustannus). Itse asiassa tämä on linkkikohtainen parametri.

Reaaliaikainen (on-line) simulointi Paramics sisältää SCATS-valo-ohjausalgoritmin simulointi voidaan suorittaa GETRAM-ohjelmoinnin avulla

Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus

Paramics sisältää CO-, CO₂-, NO(x)-, HC-, hiukkas- ja melulaskentamallit. Mallit perustuvat ajoneuvojen nopeuteen ja kiihtyvyyteen. Monitor on päästölaskentaohjelma, joka laskee päästöt perustuen ajoneuvon nopeuden ja kiihtyvyyden hetkellisiin arvoihin ajoneuvotyypeittäin ja ajoneuvon ikään perustuen. Valmiit kalibroidut matriisit on olemassa Iso-Britanniaa varten (Iso-Britannian liikenneministeriön eli DfT:n tekemät), mutta niiden käyttöoikeus vaatii lupaa DfT:ltä. Myös omia matriiseja voi käyttää. Melulaskentaan tarvittavat makroskooppiset lähtötiedot Paramics tuottaa.

Mallien tulokset saadaan linkkikohtaisesti käyttäjän määrittämien aikavälien tarkkuudella.

Mallit eivät huomioi maastonmuotoja, katu ympäristöä eivätkä sääolosuhteita.

VISSIM-OHJELMAKORTTI

Perustiedot

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

PTV AG, Saksa

Pääsovellusalueet

Kaupunki- ja maanteiden liikenteen ja liikenteen ohjauksen simulointi. Erityisesti joukkoliikenne.

Pääkäyttäjät

Useita käyttäjiä erityisesti Saksassa ja Yhdysvalloissa. Myös Pohjoismaisia lissenssinomistajia.

Tekniset vaatimukset ja mallien reunaehdot (esim. koko)

VISSIM:in vaatimukset tietokoneen resursseilta ovat Windows 95/98/NT 4.0 tai myöhempi. Minimissään 64 MB käyttömuistia tarvitaan pienten liittymien mallintamiseen, kun taas suuret liikenneverkot tarvitsevat noin 1 GB RAM:in. 1 GHz:n tietokoneella voidaan simuloida 80 000 ajoneuvoa reaaliaikaisesti yhden sekunnin aikavälillä. Ajoajat ovat karkeasti lineaarisia ajoneuvojen määrän kanssa. Simulointinopeus ilman animointia normaalilla liikenneverkolla on noin 4-8-kertainen verrattuna simulointiin animoinnin kanssa.

VISSIM:in liikenneverkkojen koolle ei ole asetettu mitään rajoja. Verkon kooka rajaa ainoastaan tietokoneen resurssit (nopeus, RAM) ja työmäärä, joka tarvitaan liikenneverkon mallintamiseksi.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

VISSIM sisältää sekä 2D- että 3D-käyttöliittymät. Liikenneverkkojen editointi pohjautuu kaksiulotteiseen graafiseen editoriin. Simulointitulokset voidaan tallentaa animaatioiksi AVI-formaatissa, jota voidaan helposti toistaa esimerkiksi MS PowerPointissa ja muissa tavanomaisissa tietokoneohjelmissa. Simuloinnin tulostustiedostot sisältävät tarvittavat informaatiot, jotta sovitus muiden esitystyökalujen kanssa onnistuu.

VISSIM:iin on mahdollista syöttää .3ds tiedostoja (3D-Studio ja AutoCAD-3D:n tarjoama teollinen standardi). Tämän avulla voidaan VISSIM:iin tuottaa realistisia 3D-malleja.



Kuva 1. Esimerkkikuva VISSIM-ohjelman 3D-simuloinnista.

Mallin geometriset ominaisuudet

Suorat elementit

Tyyppi. Esim. Katu / maaseutu. Vaikuttaa ajokäyttäytymisparametreihin (mm. kaistanvaihtomalli).

Pituus. Voidaan määrittää mallieditorissa suoraan.

Kaistamäärä.

Leveys. Ilmoitetaan erikseen kaikille kaistoille. Leveyttä on mahdollista käyttää mallinnukseen, jossa ajoneuvot voivat ohittaa toisensa samalla kaistalla.

Pituuskaltevuus. Ilmoitetaan kaltevuusprosenttina, vaikuttaa ajoneuvojen käyttäytymiseen teho- ja painojakaumaparametrien kanssa.

Korkeusmuutos. 3D-animoinnissa käytettävä korkeustaso (ei vaikuta mallinnukseen).

Kielletyt ajoneuvot kaistalla. Ilmoitetaan ne ajoneuvotyytit, jotka eivät saa käyttää kaistaa.

Kustannukset. Määritetään ajokustannus liittymän kautta (käytetään dynaamisessa reitin valinnassa). Oletusarvo käytössä ilman käyttäjän omaa valintaa.

Kaarielementit

Rakennetaan yhteysväleillä suorasta elementistä osoittamalla sitä luodessa välipiste, jota kautta yhteysväli kulkee. Liittymissä kaarielementti voidaan laskea automaattisesti kytkentöjen välille.

Tavoitenopeuden muutos. parametri asetetaan alueelle, jossa ajoneuvo kulkee hitaammin (kaarteet tms).

Liittymien mallinnus

Liittymät mallinnetaan liittämällä yhteyslinkit toisiinsa. Liittymille annetaan seuraavia parametreja.

Kaistanvaihtoetäisyys. Etäisyys, jolla saapuva ajoneuvo alkaa pyrkimään oikealle kaistalle.

Pakollinen kaistanvaihtoetäisyys. Etäisyys, jolla saapuvan ajoneuvon on viimeistään vaihdettava oikealle kaistalle.

Pituuskaltevuus. Ilmoitetaan kaltevuusprosenttina.

Kielletyt ajoneuvot kaistalla. Ilmoitetaan ne ajoneuvotyypit, jotka eivät saa käyttää kaistaa.

Ajokielto. Määrittää ajoneuvot, jotka eivät voi kulkea liittymän kautta (käytetään dynaamisessa reitin valinnassa).

Kustannukset. Määritetään ajokustannus liittymän kautta (käytetään dynaamisessa reitin valinnassa). Oletusarvo käytössä ilman käyttäjän omaa valintaa.

Lähtötiedot ja liikennevirran ominaisuudet

VISSIM sisältää liityntäpinnan mm. VISEM- ja VISUM-makromalliin, jotka ovat ohjelmistotuottajan muita liikenteen kysynnän ja suunnittelun työvälineitä. Kaikki ohjelmistot käyttävät pääasiassa samoja tiedostomuotoja ja määrittelyjä, jolloin makromallin tulokset voidaan käyttää VISSIM-mikrosimuloinnin lähtötietoina.

VISEM mallintaa maankäyttötietojen mukaan matkakysynnän, suuntautumisen ja kulkutavan valinnan. Mallinnuksessa käytetään logittimalleja. VISUM on joukko- ja henkilöautoliikenteen suunnitteluohjelmisto. VISUMilla luodaan liikenneverkko, ja sillä voidaan tehdä erilaisia makrotason sijoittelu- ja kuormitustarkasteluja. VISSIM itse ei sisällä suoraa rajapintaa EMMEen, mutta VISUM- ja VISEM-ohjelmistot sisältävät kaksisuuntaiset rajapinnat EMME-ohjelmistoon. Käytettäessä VISUMia liikennematriisien tuontiin EMMEstä pitää liikenne-ennusteiden intervallien olla tietyn suuruiset. VISEMin EMME-rajapinnassa ei ole rajoituksia.

VISSIMin kysyntämatriisit voidaan syöttää aikaperusteisesti (ruuhkahippujen simulointi). Ajoneuvot syötetään verkolle Poisson-jakauman mukaisesti (aikavälit negatiivisen eksponentiaalijakauman mukaiset). Muita jakaumia ei

ole käytössä. Generointipisteisiin voidaan määrittää myös ajoneuvotyyppi- ja -reitit.

VISSIMin liikennemäärät ja suuntajakaumat voidaan määrittää malliin staattisesti tai dynaamisesti.

- Staattinen määrittely:
 - määrittämällä saapuvien liikennevirtojen suuruus ja kääntymisprosentit sekä kääntymispäätöksen tekopaikka ennen liittymiä.
 - määrittämällä lähtö-määräpaikkamatriisit reitteineen tai reittiosuuksi- neen sekä määrittämällä reitinvalinnan tarkistuspisteet
- Dynaaminen määrittely
 - Lähtö- ja määräpaikkojen väliset matkat jaetaan reiteille reittikoh- taisten pituus- ja lisäkustannusparametrien sekä simuloinnissa ha- vaittujen matka-aikojen mukaan.
 - prosessi on iteratiivinen ja tehdään toteutuneiden yleistenkustan- nusten perusteella.
 - Reittikustannus ja -valinta lasketaan logittimallilla (Kirchhoff'sin laki)

$$P(\text{route } j) = \frac{t_j^{-\alpha}}{\sum_{k=1}^n t_k^{-\alpha}} \quad j = 1..n$$

Jossa n = reittimäärä OD-parin välillä

t_j = hyötyfunktio (yleisen kustannusfunktion käänteisluku) rei- tillä j

= Herkkyystekijä (oletus 3...4)

- Sijoittelu (tasapainotilanne) on valmis, kun käyttäjän määrittämä raja- arvo alittuu (ts. seuraava iteraatiokierros ei enää paranna yleistettyä kustannusta riittävästi minkään OD-parin välillä).
- Sijoittelu voidaan tehdä eri ajoneuvo- ja matkatyypit huomioon ottaen (kustannusfunktion ajoneuvotyyppikohtaiset kertoimet sekä ajoneu- vokohtaiset reittirajoitukset)
- Sijoittelussa voidaan ottaa huomioon myös parkkitalon valinta koh- dealueella
- Iteratiivisen prosessin lisäksi VISSIMillä voidaan mallintaa kuljettajien reittipäätöksiä kesken yksittäisen simuloinnin. Reittipäätökset perus- tuvat kustannusfunktion ja kuljettajainformaatioon.

VISSIM sisältää oletusjakaumat tavallisimmille ajoneuvotyypeille, joita ovat henkilöauto, raskaat ajoneuvot, bussit, kävelijät ja pyöräilijät. Näiden lisäksi voidaan luoda uusia ajoneuvotyyppisiä. Käyttäjä voi määrittää kunkin liiken- nevirran ajoneuvotyyppi- ja -reitit.

Parametrit ja käyttäytymismallit

Ajoneuvoparametrit:

Alla on lueteltu VISSIMin tärkeimmät ajoneuvoparametrit.

Tyyppi.

Tavoitenopeus. Käyttäjän määrittämä jakauma (minimi, maksimi ja kaksi välipistettä).

Ikä-, ajokilometri ja painojakauma.

Tehojakauma. Vaikuttaa yhdessä painojakauman kanssa raskaiden ajoneuvojen mäkikäyttäytymiseen.

Pysähtymisaikajakauma. (normaalijakauma tai käyttäjän määrittämä) Joukkoliikenteen pysäkkikohtainen parametri.

Maksimikiihtyvyys. Käyttäjän määrittämä Maksimi/minimi/keskiarvo –jakauma nopeuden suhteessa (oletusarvot löytyvät perusajoneuvotyypeille).

Normaalikiihtyvyys. Käyttäjän määrittämä Maksimi/minimi/keskiarvo –jakauma nopeuden suhteessa (oletusarvot löytyvät perusajoneuvotyypeille).

Maksimihidastuvuus. Käyttäjän määrittämä Maksimi/minimi/keskiarvo –jakauma nopeuden suhteessa (oletusarvot löytyvät perusajoneuvotyypeille).

Normaalihidastuvuus. Käyttäjän määrittämä Maksimi/minimi/keskiarvo –jakauma nopeuden suhteessa (oletusarvot löytyvät perusajoneuvotyypeille).

Reitinohjausvarustus. Määrittää ajoneuvon sisältämän reitinohjausvarustuksen (on/ ei ole).

Kustannuskertoimet. Käytetään reitinvalinnassa yleistetyn kustannusfunktion kertoimina.

Keskimääräinen matkustajamäärä.

Pysäköintipaikan valinta. esim. pysäköintikustannuksen painotuskerroin vaikuttaa pysäköintipaikan valintaan (pienimaksuiset paikat täyttyvät ensin).

Päästöparametrit. Vain päästölaskentalisämoduulin kanssa.

Eriyisen tärkeitä kalibroitkohteita ovat normaalikiihtyvyysarvot ja simulointikohtaisesti tavoitenopeusjakauma. Ohjelmistotoimittajan näkökannan mukaan nykyiset saksalaiset oletusarvot sopivat melko hyvin suomalaiseen ajoneuvokantaan. Tärkeimmäksi kalibroitkohteiksi mainittiin kuitenkin raskaiden ajoneuvojen ajoneuvoparametrien kalibrointi Suomessa.

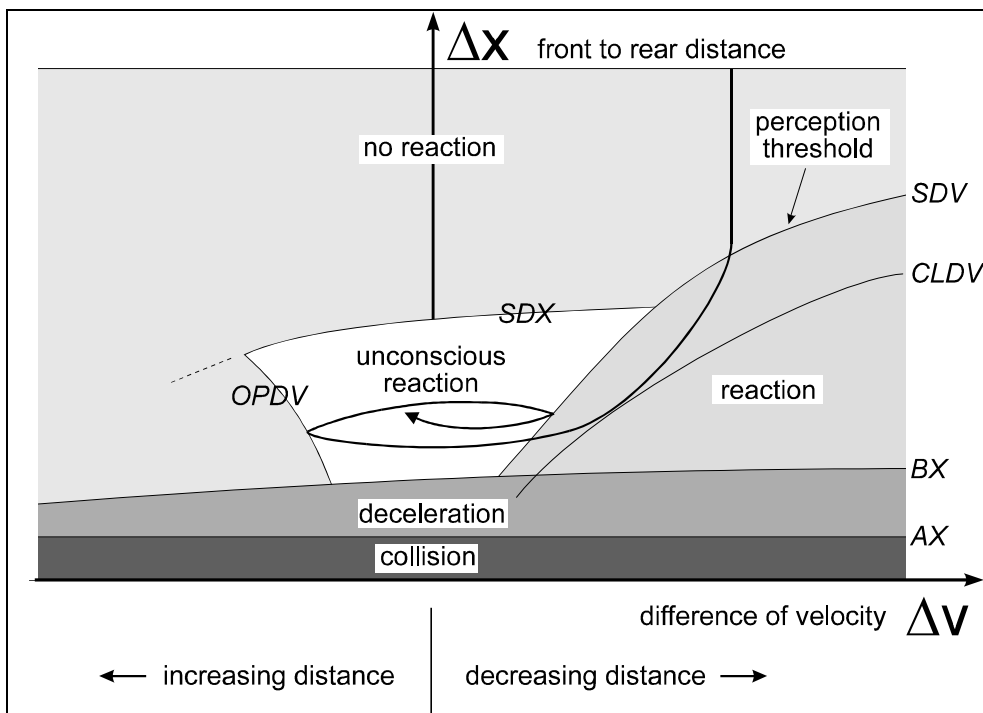
AJONEUVOJEN SEURANTAMALLI

VISSIMin liikennemalli on diskreetti aika-askeliin perustuva malli. Käyttäytymismallit ovat psyko-fyysisiä, ja ottavat huomioon kuljettajan ja ajoneuvon ominaisuudet. Kaistanvaihtomalli on sääntöpohjainen. Mallit perustuvat Wiedemannin ajoneuvomalleihin.

Seurantamaaleja on kaksi: kaupunkiliikenteeseen ja moottoriteliikenteeseen. Mallit on kalibroitu saksalaisiin olosuhteisiin kenttämittauksin Karlsruhen yliopistolla.

Ajoneuvon seurantamallissa kuljettaja voi olla neljässä erilaisessa tilanteessa. Ajoneuvon seurantamallin toiminta on esitetty kuvassa 2.

1. Vapaa liike, jossa ajoneuvo pyrkii saavuttamaan ja pitämään individuaalin nopeustason
2. Lähestyminen, jossa ajoneuvo sopeuttaa nopeuttaan edellä ajavaan ajoneuvoon siten, että nopeusero edeltävään ajoneuvoon on nolla ajoneuvon saavuttaessa tavoitteellisen turvavälin. Reaktion aiheuttaa ajoneuvojen nopeusero, etäisyys ja ajajakäyttäytyminen.
3. Seuranta, jossa ajoneuvo seuraa edeltävää ajoneuvoa ilman tietoista kiihdytystä tai hidastusta. Turvaväli säilyy keskimäärin sopivana, mutta vaihtelee jonkin verran.
4. Jarrutus, joka tapahtuu keskimääräisellä tai sitä korkeammilla hidastuvuuksilla ajoneuvon joutuessa turvaväliä pienemmälle etäisyydelle.



Kuva 2. VISSIM-ohjelman ajoneuvoseurannan ja kuljettajakäyttäytymisen mallin osa-alueet.

Ajoneuvot seuraavat toisiaan ns. oskilloivassa prosessissa (ajoneuvo lähestyy edeltävää ajoneuvoa, hidastaa ja etäännyy, ja alkaa saavuttaa uudelleen). Kuljettajien reaktiot perustuvat nopeuseroon, ajoneuvojen etäisyyteen ja kuljettajan havainnointikykyyn.

Kuljettajakohtaiset vaihtelut mallinnetaan kuljettajien havainnointikykyä ja riskinottoa kuvaavin parametrein, jotka lisätään alla olevaan kaavaan (AX) satunnaislukuina. Alla on lueteltu kuljettajakäyttäytymiseen liittyviä tekijöitä VISSIMin kaupunkiliikennemallissa.

AX: Peräkkäisten ajoneuvojen (etusien) etäisyys pysähtyneenä, jossa RND1 on $N(0.5, 0.15)$ normaalijakautunut satunnaisluku, VehL ajoneuvon pituus, MinGap minimiturvaväli

$$AX := VehL + MinGap + RND1 \cdot AXMult$$

ABX: Tavoiteseurantavälin minimi AX:n, turvavälin BX ja nopeuden (v) funktiona

$$ABX := AX + BX \cdot \frac{1}{v}$$

SDV: Edeltävää ajoneuvoa lähestyvälle kuljettajalle tietoisien reaktion aiheuttava etäisyys, joka kasvaa nopeuseron kasvaessa ($\frac{1}{2}Dv$).

OPDV: Edeltävästä ajoneuvosta etäännyvän kuljettajan tietoisien reaktion (kiihdytys) aiheuttava etäisyys

SDX: Havainnointikyvyn raja-arvo, joka määrää seurantaetäisyyden maksimin (noin 1.5 - 2.5 kertaa ABX)

Seuraava kuljettaja reagoi edeltävään autoon noin 150 m etäisyydellä. Minimihiidastuvuus ja -kiihdytysoletus on $0,2 \text{ m/s}^2$. Maksimi-arvot riippuvat ajoneuvon ominaisuuksista. Maksimihiidastuvuus voidaan ylittää hätäjarrutustilanteessa.

Seurantamallin parametreja ovat ajoneuvokohtaiset parametrit ja kuljettajaan liittyvät parametrit. Parametrit arvotaan käyttäjän määrittämistä jakaumista. Kaupunkiliikenteessä osa parametreista ei ole käyttäjän määritettävissä. Moottoritiemallissa kaikki parametrit ovat muokattavissa.

Ajoneuvon seurantamalliin liittyviä parametreja ovat

Etäisyys pysähtyneenä. Ajoneuvojen etäisyys jonossa. Kiinteä hajonta +/- 1 metri. Erikseen kaupunki- ja moottoritiemalleille.

Tavoitteellisen turvavälin lisäosuus ja kerroinosuus. Lisätään keskimääräiseen pysähtymisväliin.

Tarkasteltujen ajoneuvojen määrä. Ajoneuvojen määrä, jotka kukin ajoneuvo ottaa huomioon ennustaessaan nopeuseroa.

Tarkasteluetäisyys. Etäisyys, jonka sisällä muut ajoneuvot otetaan huomioon ennustaessa nopeuseroa.

CC1. Haluttu turvaväli sekunneissa (kerrottuna nopeudella ja lisättynä pysähtymisväliin saadaan minimiturvaväli). Moottoritiemalli.

CC2. Turvavälin maksimi metreissä, jonka jälkeen ajoneuvo kiihdyttää saavuttaakseen edellä ajavaa. Moottoritiemalli.

CC3. Havainnointietäisyys sekunneissa, jonka jälkeen ajoneuvo alkaa sopeuttamaan nopeuttaan edellä ajavaan. Moottoritiemalli.

CC4, CC5. Määrittää herkkyuden, jolla ajoneuvo reagoi seuratessaan edeltävää ajoneuvoa tämän nopeuden muutoksiin. Oletus +/- 0,35. Moottoritiemalli.

CC6. Määrittää etäisyyden, jonka päästä edeltävä ajoneuvo otetaan huomioon nopeustasoa säädettäessä. Moottoritiemalli.

CC7, CC8, CC9. Varsinainen kiihtyvyys, haluttu kiihtyvyys paikalta lähdettäessä ja haluttu kiihtyvyys 80 km/h:n nopeustasosta. Rajoittavina tekijöinä maksimikihtyvyys ja käyttäjän määrittämät jakaumat. Moottoritiemalli.

Tärkeimpiä kalibrointiparametreja ovat turvaväleihin ja havainnointietäisyyksiin liittyvät parametrit. Nykyiset arvot on kalibroitu Saksassa kenttämittauksin. Moottoritiemallista on valmistumassa kalibrointiopas, jossa malli ja sen parametrit on esitetty tarkemmin.

KAISTANVAIHTO- JA OHITUSMALLI

Kaistanvaihtomalli perustuu hierarkkisiin sääntöihin. Kaistanvaihtotarve määritetään nopeuserona tavoitenopeuteen, ja kuljettaja valitsee sen kaistan, jonka nopeus on lähimpänä kuljettajan tavoitenopeutta. Tarpeen syntyessä kuljettaja etsii sopivan aikavälin kaistanvaihtoa varten. Kaistalla olevat ajoneuvot saattavat hidastaa vauhtiaan päästääkseen kaistaa vaihtavan ajoneuvon eteensä (ominaisuus ei ole säädettävissä, vaan se on sama kaikille ajoneuvoille). Pakollisen ja vapaaehtoisen kaistanvaihdon välinen raja määritetään etäisyytenä kohteeseen, jossa kaistanvaihdon on oltava tapahtunut.

Kaistanvaihtomalleihin liittyviä parametreja ovat

Maksimi- ja tavoitehidastuvuus. Määritetään sekä kaistaa vaihtavalle ajoneuvolle että takana ajavalle ajoneuvolle.

Hidastuvuuden muutosnopeus ($m/s^2/m$). Kertoo tavoite- ja maksimihidastuvuuden välillä tapahtuvan asteittaisen muutoksen nopeuden lähestyessä pakollista kaistanvaihtokohtaa.

Minimiväli eteen/taaksepäin. Väli, jonka pysähtynyt ajoneuvo vähintään tarvitsee vaihtaessaan kaistaa mitattuna edeltävään ajoneuvoon.

Odotusaika ennen poistamista. Aika, jonka jälkeen ajoneuvo poistetaan malista, jos se ei ole onnistunut tekemään pakollista kaistanvaihtoa.

Parametreista kiihtyvyyssarvot ovat tärkein kalibrointikohde.

OHITUS SAMALLA KAISTALLA

VISSIMissä on mahdollista mallintaa ajoneuvojen ohituksia samalla kaistalla. Ohitus tapahtuu, kun ajoneuvon sivusuuntainen sijainti, leveys, kaistaleveys ja viereisen kaistan ajoneuvon sijainti sen sallivat. Parametreja ovat kaista- ja ajoneuvoleveyden lisäksi

Ajoneuvon sivusuuntainen tavoitesijainti ajettaessa kaistalla. Määritetään sekä ohitettavalle ajoneuvolle että takana ajavalle ajoneuvolle.

Viereisen kaistan huomioiminen. Ottaa viereisen kaistan ajoneuvot huomioon tarvittavaa leveyssuuntaista väliä laskettaessa.

Ohittavat ajoneuvoluokat. Ajoneuvoluokat, joiden sallitaan ohittavan samaa kaistaa käyttäen.

Minimileveys. Ohittamiseen tarvittava minimileveys, määritetään (ajoneuvotyyteittäin) pysähtyneille ja 50 km/h kulkeville ajoneuvoille..

Liikenteen ohjaus

VISSIM mallintaa väistämiselvöllisyys-, pysähtymiselvöllisyys- ja liikennevalo-ohjauksisia liittymiä, mukaan lukien kiertoliittymät.

Valo-ohjauksettomat liittymät

VISSIM mallintaa valo-ohjaamattomat liittymät etuajo-oikeussäännöin. Ajoneuvon lähestyessä väistämiselvöllistä liittymää se tarkastaa ajoneuvovälin (metriä) ja aikavälin minimivaatimukset. Molempien täytyessä ajoneuvo liittyy päävirtaan.

Ajoneuvovälin arvo määritetään nollassi, jos konflikti(risteys)alueella on auto. Aikaväli lasketaan etuajo-oikeutetun sen hetkisen nopeuden ja etäisyyden (risteysalueen loppuun asti) perusteella.

Liittymään määritetään *ajoneuvoväli* ja *liittymisaikaväli*. Nämä voidaan määrittää ajoneuvotyyteittäin. Lisäksi voidaan määrittää *etuajo-oikeutetun ajoneuvon maksiminopeus*, jota suuremmalla nopeudella ajavia ei oteta huomioon.

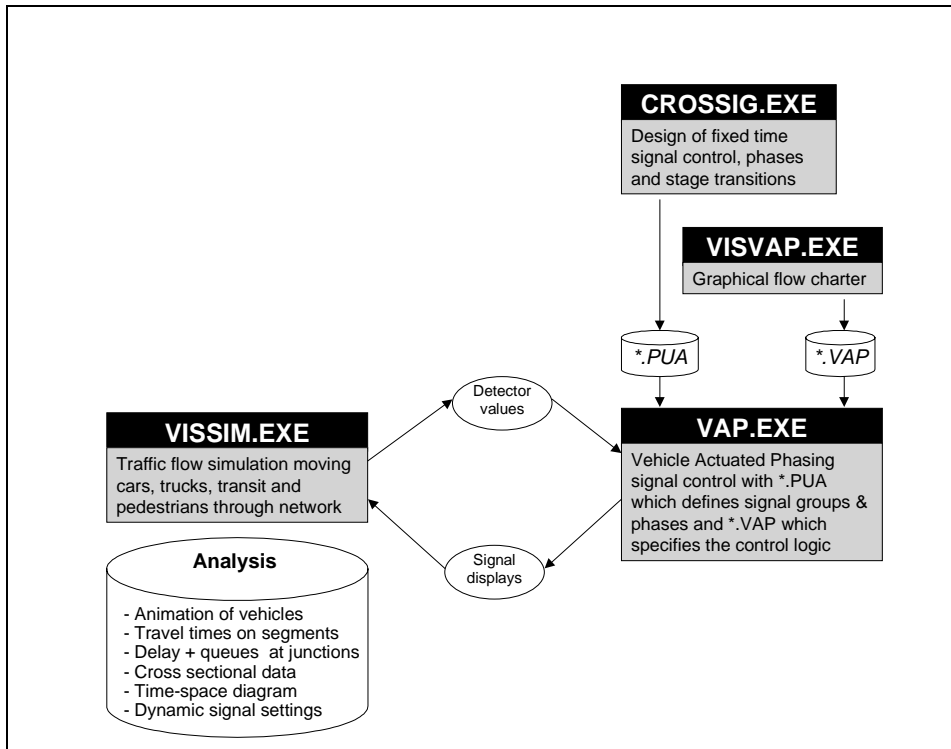
Valo-ohjauksiset liittymät

Valo-ohjaus perustuu simulaattorin omaan kiinteään kierto-ohjaukseen tai ulkoiseen liikennetieto-ohjauksen ohjelmointityökaluun (VisVAP), jolla voidaan mallintaa käyttäjän haluama ohjauslogiikka. VisVAP on c-ohjelmointikieleen perustuva työkalu. VISSIM voi myös toimia ulkoisen ohjauskontrollerin ja -ohjaussuunnitteluohjelmistojen mukaisin käskyin. VISSIM sisältää rajapinnat PRETRANSYT, PRETRANSYT-7F ja SIGNAL97 -suunnitteluohjelmistoihin.

Valo-ohjaus toimii ilmaisintietojen perusteella. Ilmaisimet on mallinnettu VISSIMissä erityisen tarkasti: kaikki perustyytit ovat erilaisia (silmukka, tutka, tms.). Ilmaisimet voidaan määrittää havaitsemaan vain tiettyjä ajoneuvoja

(esim. raskaan liikenteen etuisuudet ja joukkoliikenne). Silmukkailmaisimilla voidaan mallintaa myös todellista signaalimuotoa (ajoneuvon aiheuttama jännite muuttuu ajoneuvon saapuessa ja poistuessa silmukan päältä).

Ohjauskojeelle voidaan määrittää kiinteä tai muuttuva kiertoaika, vaihesiirto ja ohjaustapa. Kiinteässä ohjauksessa voidaan määrittää vihreä, punainen, keltainen ja punakeltainen aika opastinryhmäkohtaisesti.



Kuva 3. VISSIM-ohjelman valo-ohjausjärjestelmien simuloinnin ohjelmisto-osat.

Nopeusrajoitus

Ajoneuvon nopeutta voidaan rajoittaa nopeusrajoituksella. VISSIMissä nopeusrajoituksen noudattaminen perustuu samaan periaatteeseen kuin tavoitenopeuden generoimisessa malliin saapuville ajoneuvoille. Ohittaessaan nopeusrajoituksen kuljettaja mukauttaa nopeutensa säilyttäen saman suhteellisen nopeusaseman, jonka se on saanut malliin tullessaan (jos ajoneuvo kuuluu nopeimman neljänneksen joukkoon, se kuuluu myös rajoitusalueella nopeimpaan neljännekseen).

Muut merkit

VISSIM mallintaa muuttuvia opastimia kuten nopeusrajoitukset, reitinopastusmerkit ja kaistan sulkumerkit. Muuttuvien opastimien ohjaus tapahtuu joko aikaohjatusti (käyttäjän ennalta määräämä ajankohta) tai käyttäjäohjelmoinnin kautta. Käyttäjäohjelmointia vaaditaan, jos opastimien halutaan reagoivan dynaamisesti liikennetilanteen mukaan.

Muut mallit

Jalankulkijat ja pyöräilijät

VISSIM sisältää jalankulkija- ja pyöräilijämallinnuksen. Kevyen liikenteen mallit eroavat ajoneuvoliikenteen malleista siten, että jalankulkijoiden välillä ei ole vuorovaikutusta, ja pyöräilijät voivat ohittaa toisensa ilman rajoituksia.

Jalankulkijoiden parametreja ovat tavoitenopeusjakaumat, pituus, leveys ja sivusuuntainen tavoitesijainti ja tilantarve ohitettaessa samalla kaistalla.

VISSIMillä on simuloitu esim. metroasemien liukuporrasjärjestelyjä. Kevyen liikenteen simulointisovellusten luotettavuudesta ei kuitenkaan ole varmuutta.

Joukkoliikenne

VISSIM mallintaa bussi- ja raitiovaunuliikenteen sekä näiden linjastot.

Joukkoliikenteen mallinnuksessa määritetään ensin pysäkit ja sen jälkeen linjat, linjojen pysäkit ja aikataulut. Pysäkkityyppisiä ovat kadunvarsipysäkit (bussi pysähtyy kadulle) tai erilliset pysäkit.

Muu liikenne väistää pysähtynyttä ja pysäkiltä lähtevää joukkoliikennevälinettä. Väistämisvelvollisuus voidaan myös määrittää eri tavoin.

Jokaiselle pysäkille määritetään matkustajaprofiili ja sillä pysähtyvät linjat. Matkustajaprofiili sisältää käyttäjän määrittämät tiedot.

- Matkustajia tunnissa
- Aikaväli, jolla em. matkustajamäärä generoituu pysäkille (esim. pitkällä vuoroväleillä matkustajat saapuvat pysäkille vasta lähellä odotettua lähtöaikaa). Matkustajat generoidaan Poisson- tai tasajauman mukaan.
- Matkustajien käyttämät linjat pysäkillä (eli linjat, jotka kulkevat kyseisen pysäkin kautta)

Linjat sisältävät aikataulutiedot (lähtöaika ensimmäiseltä pysäkiltä ja aikataulun mukainen ajoaika kullekin pysäkille). VISSIMillä voidaan simuloida myös autokiertoa, eli sama vaunu voidaan aikatauluttaa peräkkäisille reiteille. Linjaston mallinnusparametreja ovat

- Saapumisaika malliin (arvioitu ajoaika ensimmäiselle pysäkille sekä odotusaika ensimmäisellä pysäkillä)
- Ensimmäisen pysäkin lähtöaika (aikataulu)
- Tavoitenopeus ja sen jakauma
- Ajoneuvoparametrit (kiihtyvyys, hidastuvuus, pituus,...)
- Osuus ylimääräisestä ajasta, joka jää aikataulun ja liikennevälineen aikaisimman lähtöhetken välille (eli aika, jonka etuajassa oleva bussi odottaa pysäkillä saatuaan matkustajat kyytiin).

Pysäkkien odotusajat voidaan määrittää joko pysäkkikohtaisin jakaumin tai antamalla mallin laskea liikennevälineen pysähtymisaika pysäkillä. Pysäkki-viivejakauma on joko käyttäjän määrittämä, tai siinä voidaan käyttää normaali-jakaumaa (odotusarvo ja hajonta).

Käytettäessä mallin itse laskemaa pysäkkiviivettä joukkoliikenneajoneuvolle (tyypille) määritetään seuraavat parametrit

- Keskimääräinen matkustajan poistumis- ja nousemisaika (s/matkustaja, ottaen huomioon ovien lukumäärät tms.)
- Laskentamenetelmä: lisäävä laskenta (poistuvat ja nousevat matkustajat käyttävät samaa ovea) tai maksimin valinta (poistuvat ja nousevat matkustajat käyttävät eri ovea, jolloin viiveistä valitaan maksimi)
- Operointiaika, joka kuluu bussin pysähtymiseen, ovien avaamiseen ja sulkemiseen
- Bussin matkustajamääräkapasiteetti
- Joukkoliikenteen (telematiikka) etuisuus, jos käytössä

Lisäksi kullekin pysäkillä määritetään poistuvien matkustajien osuus, jonka perusteella VISSIM laskee poistumisajat. Nousevat matkustajat määritetään matkustajille sopivien linjojen, bussin kuljetuskapasiteetin, nousemisajan ja nousevan matkustajamäärän perusteella.

Bussi voi ohittaa pysäkin, jos pysäkillä ei ole linjalle haluavia matkustajia (50 m etäisyydellä bussin lähestyessä), eikä bussista haluta poistua pysäkillä. Käytettäessä viivejakaumaa alle 0,1 sekunnin viive tulkitaan 'ei matkustajia'-tilanteeksi. Bussi ottaa huomioon myös kuormituksensa, eikä ota matkustajia jos bussi on täynnä.

Dynaaminen reitinvalinta (Katso kohta Lähtötiedot)

Tietullit tms.

Tietulleja voidaan mallintaa pysähtymismerkkien avulla. Merkkeihin voidaan liittää erilaisia viivejakaumia maksutapojen tutkimiseksi. Merkit voidaan kytkeä vaikuttamaan myös vain tiettyihin ajoneuvotyyppihin.

VISSIMin pysäköintimallinnusta ollaan kehittämässä. Tällä hetkellä VISSIM mallintaa mm. pysäköintialueen valinnan. Käyttäjäohjelmoinnilla voidaan luoda myös monimutkaisempia malleja, kuten pysäköintialueita ja varsinaisia pysäköintiajotoimenpiteitä.

Reaaliaikainen (on-line) simulointi

VISSIMistä on kehitteillä on-line -versio. Tällä hetkellä VISSIM ei itse sisällä mahdollisuuksia on-line -simulointiin tai reaaliaikaiseen toimintaan ohjausjärjestelmän osana. Käyttäjäohjelmoinnin kautta tämä kuitenkin onnistuu luomalla sopivat rajapinnat. VISSIM on kytketty mm. oikeisiin valo-ohjauskojeisiin näiden säätöjen optimoimiseksi.

Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus

VISSIMin versiossa 3.70 (julkaisuajankohta tammikuu 2003) tulee olemaan päästömallinnusmoduuli, joka mallintaa CO-, CO₂-, HC-, hiukkas-, NO_x-, SO₂- ja bentseenipäästöt. Mallinnus perustuu muiden ohjelmien tapaan nopeus-kiihtyvyysematriiseihin, joista luetaan kerran päivityskierrossa kunkin ajoneuvon hetkelliset päästöarvot. Taulukot ottavat huomioon kaikki nopeuden muutostilat.

Mallien tulokset saadaan käyttäjän määrittämien aikavälien tarkkuudella halutuilta tieosuuksilta. Malli perustuu saksalaiseen 'päästömanuaaliin', jossa on mitattu ja tutkittu suuria otoksia erilaisia ajoneuvo- ja moottoripäästöjä.

SYNCHRO/SIMTRAFFIC-OHJELMAKORTTI

Perustiedot

Ohjelmiston kehittäjä / ylläpitäjä

Trafficware-yhtiö, Yhdysvallat

Pääsovellusalueet

Ohjelmisto on jaettu Synchro-mallinnusohjelmaan ja Simtraffic-simulaattoriin. Pääsovellusalueena ovat liikennevalosuunnittelu ja -ajoitukset sekä pienten kaupunkiliikenneverkkojen simulointi.

Pääkäyttäjät

Synchro / Simtraffic on käytössä noin 40 maassa, mutta selvä enemmistö käyttäjistä on Pohjois-Amerikassa, jonne on myyty noin 3500 lisenssiä. Euroopassa lisenssejä on myyty 12 maahan yhteensä vajaat 50 kappaletta. Suomessa ohjelmistoa käyttävät Tiehallinto, suunnittelu/konsulttiyritykset sekä kaupunkien liikennesuunnittelijat. Yhteensä Suomessa on vuoden 2002 lopussa voimassa 13 lisenssiä ja käyttäjiä arviolta muutamia kymmeniä.

Tekniset vaatimukset ja mallien reunaehdot (esim. koko)

Kaikki tavanomaiset PC-tietokoneet kykenevät käyttämään Synchro / Simtraffic-ohjelmistoa.

Synchro soveltuu liikenneverkkojen mallintamiseen jopa yli 300 liittymän verkkoihin asti.

Graafiset ominaisuudet, käyttöliittymä

Simtraffic sisältää Windows-pohjaisen 2D-käyttöliittymän. Ohjelmassa voidaan erilaisin värikoodein ja tunnusluvuin esittää liikenteen toimivuuden tunnuslukuja. Mallin rakentaminen ja valo-ohjelmien säätö on nopeaa ja vaivatonta.

Mallin geometriset ominaisuudet

Suorat elementit

Pituus. Minimipituutta ei rajoitettu (suositeltu minimi 30 m), maksimipituus n. 20 km.

Leveys: Kaistakohtaisesti 2,4 ... 4,8 m.

Nopeusrajoitus. Elementtikohtainen (molemmat suunnat erikseen) rajoitus. Liittymissä kääntyvien virtojen nopeus voidaan määrittää erikseen.

Pituuskaltevuus. Tulosuunnalle välillä -15 ... +15 %

Kaarielementit

Rakennetaan sarjasta suoria elementtejä.

Liittymien mallinnus

Kaistamäärät ja ajosuunnat syötettävä liittymäkohtaisesti kullekin tulosuunnalle.

Lähtötiedot ja liikennevirran ominaisuudet

Synchro ei sisällä suoria rajapintoja makrotason kysyntä- ja reitinvalintamalleihin. Käytettäessä näiden tuottamia tuloksia simuloinnin input-tietoina tulosteet on muokattava manuaalisesti. Lähtötietoja (liikennemäärät, liikennevaloajoitukset, layout) voidaan lukea UTDF-tiedostoista (Universal Traffic Data Format), jotka ovat tekstimuotoisia ja siksi helposti muokattavissa.

Synchrossa ei ole käyttäjäohjelmoinnin mahdollistavaa sovellusta.

Liikennemäärät syötetään lähtökohtaisesti osatulosuunnittain, eikä lähtömääräpaikkamatriiseja voi käyttää sellaisenaan lähtötietojen syöttämisessä. Ajoneuvoja ei sijoitella reiteille, vaan kunkin linkin liikennemäärät asetetaan erikseen. Kuitenkin kahden peräkkäisen liittymän välillä voidaan O-D-parametrien avulla ohjata ajoneuvot tiettyä reittiä (esim. estää ajoneuvoja kääntymästä kahta kertaa vasemmalle moottoritien eritasoliittymässä). Lähtömääräpaikkamatriisien puute ja epätasapainoiset osatulosuuntien liikennemäärät voivat johtaa tilanteeseen, jossa autoja häviää tai syntyy keskellä linkkiä.

Raskaiden ajoneuvojen osuus liikennevirrasta voidaan määrittää kullekin saapuvalla liikennevirralle erikseen.

Liikennemääriä on mahdollista säätää simuloinnin aikana, mikä mahdollistaa ruuhkahuippujen simuloinnin. Liikennemäärät voidaan syöttää myös erillisestä tiedostosta.

Simtraffic käyttää ajoneuvojen generoinnissa Poissonin jakaumaa. Ajoneuvoja generoidaan linkille liittymien liikennemäärien perusteella 36000 kertaa tunnissa. Kevyet ja raskaat ajoneuvot generoidaan erikseen. Jalankulkijat generoidaan vastaavalla tavalla.

Ajoneuville luodaan sisäänulohekellä satunnainen reitti, joka käsittää kahdeksan seuraavaa käännöstä. Reittien määräytymisen todennäköisyyteen vaikuttaa eri ajoneuvotyyppien liikennemäärätiedot kussakin liittymässä.

Jos ajoneuvo generoituu malliin hetkellä, jolloin sillä ei ole tilaa sisäänulo-kaistalla, ajoneuvo varastoituu puskuriin odottamaan riittävän aikavälin (tilan) syntymistä.

Simtraffic sisältää 2 kevyttä ja 2 raskasta ajoneuvoryhmää, joissa on yhteensä 9 valmista ajoneuvotyyppiä.

Kevyet ajoneuvoryhmät

Henkilöautot

- Henkilöauto (iso)
- Henkilöauto (pieni)

Henkilöautot, kimppakyyti

- Henkilöauto (iso, kimppakyyti)
- Henkilöauto (pieni, kimppakyyti)

Raskaat ajoneuvoryhmät

Kuorma-autot

- Kuorma-auto
- Vetoauto + puoliperävaunu (kevyt)
- Vetoauto + puoliperävaunu (raskas)
- Perävaunullinen kuorma-auto

Bussit

- Bussi

Yksi ajoneuvotyyppi on varattu käyttäjän lisättäväksi. Myös oletusarvoisia tyyppejä voi muokata. Simtraffic sisältää myös oletusarvot ajoneuvotyyppijakaumille.

Parametrit ja käyttäytymismallit

Alla on lueteltu Simtrafficin tärkeimpiä koko mallin toimintaan yleisesti vaikuttavia parametreja. Osan parametreista voidaan katsoa olevan myös ajoneuvotyyppien parametreja. Tässä yhteydessä on lueteltu ne parametrit, jotka ovat yhteisiä kaikille ajoneuvotyypeille. Yleisiä parametreja voi muuttaa kymmenen eri ajajatyypin kohdalla.

Simtrafficin parametrien yhtenäisestä kalibroinnista ei ole olemassa laajempia tutkimuksia. Parametrit ovat kiinteitä kunkin ajoneuvotyyppin sisällä, eivätkä noudata jakaumia.

Yleiset parametrit:

Nopeuskerroin. Ajoneuvon suurin nopeus suhteessa linkin nopeusrajoitukseen.

Suurin hidastuvuus, keltainen, m/s^2 . Suurin hidastuvuus, jonka kuljettaja on valmis hyväksymään keltaisen valon syttyessä voidakseen pysähtyä pysäytysviivalle.

Suurin hidastuvuus kaistanvaihtajan takia, m/s^2 . Suurin hidastuvuus, jonka kuljettaja on valmis hyväksymään päästääkseen toisen ajoneuvon eteensä kaistalleen.

Kuljettajan reaktioaika, keltainen, s. Reaktioaika keltaisen valon syttyessä.

Kuljettajan reaktioaika, vihreä, s. Reaktioaika vihreän valon syttyessä.

Aikavälikerroin (0 km/h). Ajoneuvon etäisyys edellä olevaan ajoneuvoon suhteessa perusarvoon, kun nopeus on 0 km/h.

Aikavälikerroin (30 km/h). Ajoneuvon etäisyys edellä olevaan ajoneuvoon suhteessa perusarvoon, kun nopeus on 30 km/h.

Aikavälikerroin (80 km/h). Ajoneuvon etäisyys edellä olevaan ajoneuvoon suhteessa perusarvoon, kun nopeus on 80 km/h.

Kriittisen aikavälin kerroin. Kuljettajan hyväksymä pienin aikaväli suhteessa perusarvoon liikennevirtaan liittyttäessä.

Ryhmittymisen aloittamisetäisyys, m. Sen kohdan etäisyys liittymästä, jossa kuljettaja alkaa yrittää kaistanvaihtoa.

Ryhmittymisherkkyys, ajon. Ajoneuvojen lukumääräinen ero rinnakkaisilla kaistoilla, jolla kuljettaja vielä pysyy kaistalla, joka on edullinen seuraavassa liittymässä ryhmittymistä varten.

Kaistanvaihtoherkkyys, ajon. Ajoneuvojen lukumääräinen ero rinnakkaisilla kaistoilla, joka saa kuljettajan vaihtamaan kaistalle, jossa on lyhempi jono.

Ryhmittymisen minimietäisyys, valo-ohjattu, %. Osuus, joka valo-ohjatusta linkistä on ajettu, kun pakollinen kaistanvaihto on viimeistään aloitettava.

Ryhmittymisen minimietäisyys, valo-ohjaamaton, %. Osuus, joka vapaasta linkistä on ajettu, kun pakollinen kaistanvaihto on viimeistään aloitettava.

Seuraavassa on lueteltu ajoneuvotyyppien parametreja.

Ajoneuvoparametrit:

Tyyppi. Ajoneuvon tyyppi.

Esiintymistiheys, %. Osuus kaikista mallissa esiintyvistä ko. ajoneuvoryhmän ajoneuvoista.

Pituus, m. Ajoneuvotyyppin pituus.

Leveys, m. Ajoneuvotyyppin leveys.

Suurin nopeus, km/h. Ajoneuvotyyppin maksiminopeus.

Suurin kiihtyvyys, m/s². Ajoneuvotyyppin maksimikiihtyvyys.

Ajoneuvoryhmä. Ajoneuvoryhmä, johon ajoneuvotyyppi kuuluu.

Matkustajamäärä. Keskimääräinen henkilömäärä ajoneuvotyyppissä. Ei toistaiseksi käytetä simuloinnissa.

AJONEUVOJEN SEURANTAMALLI

Simtrafficin ajoneuvoseurantamalli on kaksiosainen: hidas ja nopea seuranta. Kun edellä kulkevan ajoneuvon nopeus on yli 0,6 m/s, käytetään nopean seurannan mallia, muutoin hitaan seurannan mallia. Ajoneuvojen tila ja sijainti päivitetään jokaisella simuloinnin päivityskierrolla, jonka kesto on 0,1 s.

Ajoneuvo pyrkii kiihdyttämään nopeutensa tavoitenopeuteen, mikäli mahdollista. Jos edellä ei ole esteitä, ajoneuvo kiihdyttää kunnes saavuttaa tavoite-nopeuden. Muutoksia vapaaseen kulkuun (hidastaminen, pysäyttäminen) tehdään seuraavissa tapauksissa:

- Nopeusrajoitus ylittyy
- Käännös edessä
- Ajoneuvo edessä
- Kaistanvaihto (aloittaminen, lopettaminen, väliin päästäminen)
- Keltainen tai punainen valo edessä
- ”Pakollinen pysäyttäminen”- tai ”väistämisvelvollisuus risteyksessä” - liikennemerkki edessä
- Jalankulkija suojatiellä
- Liittymä tukossa.

KAISTANVAIHTOMALLI

Kaistanvaihtomalli koostuu kolmesta mallista: pakollinen kaistanvaihto, kaistanvaihto tulevaa kääntymistä varten sekä vapaaehtoinen kaistanvaihto.

- Pakollinen kaistanvaihto perustuu ajoneuvon reittiin: ajoneuvon on pyrittävä tietylle kaistalle päästäkseen määränpäähensä. Pakollista kaistanvaihtoa odottaessaan ajoneuvo pysähtyy tarvittaessa viereiselle kaistalle.
- Kaistanvaihto tulevaa kääntymistä tehdään, jos siitä ei ole haittaa ko. ajoneuvolle.
- Vapaaehtoinen kaistanvaihto tehdään, jos kumpikaan edellisistä tilanteista ei ole ajankohtainen ja jos kaistanvaihdolla saavutetaan etua (vältetään ruuhkaa eli saavutetaan pienempi viivytys).

Kaistanvaihtomahdollisuutta määritettäessä käytetään parametria *testihidastuvuus*. Sen maksimiarvot ovat eri suuruiset eri kaistanvaihtotyypeissä (pakollinen $2,4 \text{ m/s}^2$, ryhmittyminen $1,8 \text{ m/s}^2$, vapaaehtoinen $1,2 \text{ m/s}^2$). Tarkasteltaessa edellä kulkevia ajoneuvoja, kaistanvaihtoa suorittavaa ajoneuvoa ja jäljessä tulevia ajoneuvoja, ajoneuvojen välinen "testihidastuvuus" ei saa ylittää vastaavaa maksimia (jos ylittää, kaista "ei ole vapaa").

Ohittaminen vastaantulevien kaistan kautta ei ole mahdollista.

HÄIRIÖMALLI

Synchro mallintaa kaksi erityistä häiriötilannetta: kadunvarsipysäköinti ja kaistalle pysähtyvät bussit. Näille voidaan tarvittaessa syöttää parametrina tapahtumien määrä tunnissa, jonka perusteella Synchro laskee häiriöiden vaikutuksen kaistan välityskykyyn. Simtraffic ei mallinna näitä häiriötilanteita simuloinnissa.

Liikenteen ohjaus

Liikenteen ohjaustapa määritellään liittymäkohtaisesti.

Valo-ohjauksettomat liittymät

Synchrolla voidaan mallintaa:

LIITTEET

- väistämisvelvollisia risteyskiä
- kiertoliittymiä (rajoitetusti)
- ramppliittymiä.

Väistämisvelvollisuudet osoitetaan väistämisvelvollisuus- (kolmio) tai pysähtymismerkein (Stop-merkki). Kiertoliittymät mallinnetaan HCM 2000 –menetelmällä ja tulosteena saadaan vain kuormitusasteet. Simuloinnissa Simtraffic mallintaa kiertoliittymän normaalin nelihaaraliittymän muotoisena. Suuri kiertoliittymä voidaan mallintaa kuitenkin muodostamalla kiertoliittymän kehä suorista elementeistä.

Simtraffic päästää ajoneuvoja valo-ohjaamattomaan liittymään seuraavassa järjestyksessä (ellei liikennemerkkein toisin osoiteta):

- suoraan ajavat ja oikealle kääntyvät
- vasemmalle pääsuunnalta kääntyvät
- jalankulkijat
- pisimpään odottanut ajoneuvo muulla suunnalla
- muut ajoneuvot.

Kuitenkin, jos liittymässä on jo jalankulkija tai toinen ajoneuvo risteävällä ajolinjalla, pääsy liittymään estetään.

Kun ajoneuvo saa luvan ajaa liittymään, käytetään liikennevirtaan liittymisessä/risteämisessä aikavälilaskentaa. Eri ajosuuntien hyväksyttävälle aikaväleille on ohjelmassa perusarvot, joita ei voi muuttaa. Käyttäjä voi kuitenkin käytännössä muuttaa kuljettajien hyväksymiä aikavälejä kriittisen aikavälin kertoimen avulla (ks. yleiset parametrit).

Liittyvän rampin mallinnuksessa voidaan käyttää kiihdytyskaijaa/sekoittumisaluetta.

Valo-ohjauksiset liittymät

Synchrossa liittymä voidaan valo-ohjata seuraavilla periaatteilla ja parametreilla:

- kiinteä aikaohjaus (erillisohjaus)
 - vaihekierto
 - vaiheiden ajoitus
 - keltaisen opastinkuvan kesto
 - vaihtumisaika
 - jalankulkuvihreän/vilkkuvihreän kesto
- kiinteä aikaohjaus (yhteenkytkentä)
 - vaihekierto
 - vaiheiden ajoitus
 - vaihesiirto (verrattuna valittuun päälliittymän vaiheeseen)
 - keltaisen opastinkuvan kesto
 - vaihtumisaika
 - jalankulkuvihreän/vilkkuvihreän kesto
- liikennetieto-ohjaus (erillisohjaus)
 - opastinryhmäkohtainen vaihekierto, muuttuva kiertoaika

- opastinryhmäkohtainen vaiheiden ajoitus (maksimit ja minimi, loppusviiveet)
- opastinryhmäkohtaisesti keltaisen opastinkuvan kesto
- opastinryhmäkohtainen vaihtumisaika
- opastinryhmien aloitus- ja lopetustapa, kiinteät, omat ja oheispyynnöt
- ilmaisimien ohjelmointi (pidennykset, pidennysaikavälit, pyyntötapa)
- jalankulkuvihreän/vilkkuvihreän kesto
- liikennetieto-ohjaus (yhteenkytkentä)
 - opastinryhmäkohtainen vaihekierto, kiinteä kiertoaika
 - opastinryhmäkohtainen vaiheiden ajoitus (maksimit ja minimi, loppusviiveet)
 - vaihesiirto (verrattuna valittuun pääliittymän vaiheeseen)
 - opastinryhmäkohtaisesti keltaisen opastinkuvan kesto
 - opastinryhmäkohtainen vaihtumisaika
 - opastinryhmien aloitus- ja lopetustapa, kiinteät, omat ja oheispyynnöt
 - ilmaisimien ohjelmointi (pidennykset, pidennysaikavälit, pyyntötapa)
 - jalankulkuvihreän/vilkkuvihreän kesto

Synchro sisältää ajoneuvo-ohjauksen lisäksi myös jalankulkuvalojen mallituksen sekä kiinteällä pyynnöllä että liikennetieto-ohjauksisena (painonapit).

Joukkoliikenne-etuuksia ei voida mallintaa.

Nopeusrajoitus

Maksiminopeus yhteysvälillä. Nopeusrajoitus asetetaan halutulle välille halutun suuruisena. Kaksi suuntaisella linkillä rajoitus voidaan asettaa erikseen molemmille suunnille. Kuljettajatyypikohtainen nopeuskerroin määrää ajoneuvon suurimman nopeuden suhteessa linkin nopeusrajoitukseen.

Synchro ei sisällä muuttuvien opasteiden malleja.

Muut mallit ja ominaisuudet

Synchrosta voidaan tuottaa data-tiedostot COMRSIM-analyysiä varten. Samoin TRANSYT-7F-analyysi (versio 8 tai uudempi) voidaan tehdä Synchro avulla.

Synchro optimoi haluttaessa automaattisesti liittymien valo-ohjauksen kiertoajan, vaiheiden pituudet ja vaihejärjestyksen sekä yhteenkytkettyjen liittymien vaihesiirrot. Yksinkertaistaen voidaan sanoa, että optimointi suoritetaan etsimällä koko verkon jonojen, pysähdysten ja viivytysten minimiä.

Jalankulkijat ja pyöräilijät

Synchro/Simtraffic mallintaa kevyen liikenteen ja sen kanssakäymisen ajoneuvoliikenteen kanssa osana liittymien mallinnusta.

Joukkoliikenne

Simtraffic ei mallinna linja-autoliikennettä, pysäkkikäyttäytymistä eikä matkustajamääriä. Makrotasolla voidaan laskea linja-autoliikenteen aiheuttamia viivytyksiä linkin kapasiteetin aleneman kautta.

Tietullit, pysäköinti, dynaaminen reitinvalinta ja on-line –simulointimahdollisuudet eivät sisälly Simtrafficiin.

Ympäristö- ja päästövaikutusten mallinnus

Synchrolla laadituista malleista nähdään valo-ohjattujen liittymien osalta laskennallinen polttoaineen kulutus osatulosuunnittain.

Simtraffic laskee simuloitaessa kulutetun polttoaineen määrän, kulutuksen/ajettu matka sekä hiilivety-, hiilimonoksidi- (häkä-) ja typenoksidipäästöjen määrän. Tulokset raportoidaan liittymäkohtaisesti osatulosuunnittain, yhteensä koko liittymän osalta sekä yhteensä koko verkon osalta.

Kulutusparametrejä voidaan säätää kulutusmatriisin (nopeus/kiihtyvyys) avulla ajoneuvoluokittain (henkilöautot, kuorma-autot, bussit). Lisäksi päästöparametrejä (HC, CO, NOx) voidaan säätää vastaavien päästömatriisien avulla.

MIKROSIMULOINTIOHJELMISTOJEN VERTAILUTAU- LUKOT

TEKNISET OML- NAISUUDET	AIMSUN	PARAMICS	VISSIM	HUTSIM
<p>Käyttökohteet ja sovellusalueen laajuus</p>	<p>ITS-vaikutusarvot, laajat verkostonmuotoilu, muokattava dynaaminen reitinvälitys, Joukkoliikenne korttuliikenne, jätteenkulun malli puuttuu, korkeaa päästömää-</p>	<p>Kaupunkiliikenne, moottoriliikenne, Joukkoliikenne (bussit ja raideliikenne) monipuoliset ITS-vaikutusarvot, tietomäärät, tietuliikkeen strategisen tason laajat verkostonmuotoilu, muokattava dynaaminen reitinvälitys, on-line enustushoidollisuus (rimakalastuskeräily, jätteenkulun malli on vuorovaikutusta muun liikenteen kanssa, päästömäärät hyvä (kattoroti-ten-erittämiseen, määrittäminen käyttökohteus pyöräliikkeen liikennemittarilla)</p>	<p>Erityisesti kaupunkiliikenne, Joukkoliikenne ja kovat liikenne-erittämät hyviä, laajat verkkotarkastukset, päästömäärät, strategisen tason dynaaminen reitinvälitys (hyvä, mutta hankalasti käytetty), ITS-vaikutusarvot kohtuulliset, on-line omatunnetut vastat kehittäjä (VISSIM-tasolta jo laajalla sovellettiin), laaja päätös-malli olemassa (kattoroti-ten-erittämiseen)</p>	<p>Yksittäiset kaupunkiliikenne, pienet kaupunkiverkot, moottoriliikenne ja liittyvät, joukkoliikenne tydyttävä ja kehittäjä, jätteenkulun rajoitettu, on-line sovellettiin olemassa (vaatii lisä-tietoa), päästömäärät olemassa, ITS-vaikutusarvot olemassa</p>
<p>Käyttäjätarpeiden (API), laajennusmahdollisuudet</p>	<p>Käyttäjätarpeiden määrittäminen, ohjauksen- ja liikennesovellukset, erikoistarkastukset (ympäristö, erikoistarkastukset, on-line -simulointi)</p>	<p>Käyttäjätarpeiden määrittäminen, API:lla voidaan muokata olemassa olevia osamalleja ja tehdä uusia, valo-ohjauksen ja ohjauksen rajapintojen ohjelmointi, erikoistarkastukset (ympäristö, erikoistarkastukset, on-line -simulointi, automaattiset itseohjaukset kalibrointi</p>	<p>Laajennus liikenteen ohjauksen ohjelmointi (VMS, valo-ohjauksen hyvä), myös ohjauksen rajapintojen ohjelmointi, graafinen ohjelmointi-käyttöliittymä (VMS/VAE), erikoistarkastukset parametrien</p>	<p>Ei käyttäjätarpeiden (API)</p>
<p>Rajapinnat muuttajan ohjelmoinnissa, erityisesti enustemalleihin</p>	<p>Kaksisuuntainen EMME2 (matilla ja verkot siten siten), SYNCHRO, muita suurimittajien ohjelmointia, GIS, valo-ohjauksen ohjelmointia</p>	<p>Kaksisuuntainen EMME2-yhteys liikenne-ennustetta koskien olemassa olevien ohjelmointien Word-makrona. Liikenneverkkojen siltä-tähtäminen tunnusmerkistä verkkotason mallinnusohjelmista mahdollista yksinkertaisilla rutiineilla</p>	<p>VISSIM/VISSIM (maankäyttö, kysyntä, kulkumuotoonvalinta, siltä-tähtäminen ohjelmointia, näiden kautta 2-suuntainen EMME-yhteys, SYNCHRO, muita suurimittajien ohjelmointia, valo-ohjauksen ohjelmointia</p>	<p>Ei suuria rajapintoja enustemalle- tai ohjauksen ohjelmointia</p>
<p>Käyttöliittymä</p>	<p>Windows, graafinen editori, 3D-lähtökuva, LAN/LAN, hyvä tulosten automaattinen käsittely (diagrammit, kuvat, kuvaukset)</p>	<p>Windows, graafinen editori, vaatii vielä kikkurintähtäminen, aliohjelmat 3D, UNIX, hyvä tulosten automaattinen käsittely (graafiset ja numeriset tulokset)</p>	<p>Windows, graafinen editori, 2D/3D, VMS/VAE ohjelmointi-käyttöliittymä, laaja otteiden tiedostojen käsittely ja valinta</p>	<p>MS-DOS, graafinen editori, ohjauksen tiedostot, 2D</p>

LIITTEET

VALIDIUS JA KALIBROINTI	AIMSUN	PARAMICS	VISSIM	HUTSIM
<p>Kalibrointi ja validointiarpeet</p>	<p>Tapauskohtainen. Osamallit olleet validoidut. Kiihtyvyy-, nopeus- ja akselivälitoparametrit valaistuksen voimakkuus. Parametrit ajoneuvomallien rakennemallit yksiselitteinen ja parametrit mitattavia.</p>	<p>Kalibrointia tehty ainakin UK:ssa, USA:ssa, Australiassa, Singaporessa ja Saksassa. Ille-oppiva (geneeriset algoritmit) kalibrointisuorituksia toteutettu menestyksekkäällä ajoneuvoseurannan ja kalistrajatkomallin parametrit muokattavissa API:n käyttöön, muut parametrit (mm, aggressiivisuus ja betuus) suoraan koodittuissa.</p>	<p>Kaupunki- ja moottoritsemallit eriseven. Tärkein kalibrointikohte raskaat ja purkautumisliikennemallit liittymissä. Parametrit kalibrointi Saksan olosuhteissa kenttäolosuhteissa. Seurattavilla ja parametrit rakennemallit muokattavissa kuin AIMSUNissa. Kalistrajatmallit yksikerhaiset mallit yksikerhaiset.</p>	<p>Ajoneuvomallit validoidu ja kalibroitu Suomessa. Monet ajoneuvot- ja akseliväliparametrit kalibroitu kenttäolosuhteissa. Tärkei koke lähtenä yksittäisiä parametreja ja vanhojen päivityksiä sekä uusia sovelluksia. Sääntöpuhaisemat mallit yksikerhaiset.</p>
<p>Ohjelman avoimuus</p>	<p>Hyvä. Kaikki parametrit säädettävissä ja kalibrointissa. Mallit hyvin kuvattu, tietoa saatavissa. Osamallit validoitavissa tilauksesta.</p>	<p>Osa parametreista ei suoraan käytettävissä säädettävissä vaan edellyttää API:n. Mallin yksityiskohdat parametrit eivät julkista, mutta mallin lojikka on raportoitu julkaisuissa.</p>	<p>MT-malli kokonaan kalibrointissa, kaupunkimallissa vain osa parametreista. Yksikerhaisen mallin avoimuus vahvistumassa PTV:n 2003.</p>	<p>Hyvä. Parametrit säädettävissä ja mallit huolellisesti kuvattu.</p>
<p>Soveltuvuus Suomeen, näkökohdat</p>	<p>Mallin raportointi ja parametrien säädettävyyden ymmärrettävyyden vuoksi kalibrointissa. Ilse osamallien erillinen validus epäselvä, onko ajoneuvomallia tarkoitettu? Espanjan ajotavat poikkeavat Suomesta (oletusarvojen käyttö vaikeaa).</p>	<p>Kalibrointikokemuksia mm. USA:ssa ja Australiassa muun muassa. Leskei ille-oppivan (geneeriset algoritmit) kalibrointin hyödyntäminen voisi helpottaa kalibrointia merkittävästi ja parantaa luotettavuutta.</p>	<p>Saksalaiset kalibrointi mahdollisesti lähtenä Suomesta kuin Espanjasta. Opaattiryhmäajattelu valo-ohjauksessa. Psykoofyysien mallin kalibrointi?</p>	<p>Omissa käyttökohteissaan tällaisi hiekoilla parhaiten soveltuva. Laajennusmallin mallin puutteita ja tekniset rajoitukset vähentävät soveltuvuuksia (sot verkot, uudet ohjauksijärjestelmät, kysyntämuutokset tms.)</p>
<p>Käyttö Suomen lahtaluilla</p>	<p>Edustajia Transp AB, Ruotsi. Käytössä Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa ja Suomessa (mm. Tielliselätoos), yhteistyötä KTH:n kanssa.</p>	<p>Lähti ille-oppiva Tanskassa, pääasiassa USA, Aasia, Australiassa ja UK. Euroopassa ille-oppiva ainakin Hollanti ja Italia. Kalibrointia tehty Saksassa, Pohjois-Amerikassa ei kalibroitu. Yhteistyötä KTH:n kanssa.</p>	<p>Ille-oppiva ainakin Suomessa (mm. Helsinkiin kaupunki, Ruotsissa, Tanskassa, Venäjällä, Puolassa, viipso- ja ENME-käyttäjät siirtyneet VISSIMiin. Yhteistyötä KTH:n kanssa, edustus Ruotsissa.</p>	<p>Suomessa tähän mennessä erillinen käyttö, käyttö kuitenkin vähentynyt. Ruotsissa tutkimuskäyttöä.</p>
<p>Osamallien, ohjelmiston tieteilijät ja käyttäjät ferenssit</p>	<p>Useita yksittäisten mallien kalibrointikokemuksia. Osamallien yleiset validointikokemuksia? Ovatko Pohjoisamerikan käyttäjät validointikalibroineerit?</p>	<p>Käyttöä tehty mm. EU-projekteissa. Osamallia ja psykofyysisiä muuttujia kalibroitu ja validoitu lisäksi Iso-Britanniassa, Australiassa ja USA:ssa. Käyttäjät ymmärtävät mallin mallin luotettavuutta.</p>	<p>Kenttäolosuhteissa perustavien kalibrointikokemuksia julkaisu, mallien kehitys jatkuu, malli PTV:n omassa käytössä, pitkäaikainen kehitys 1980-luvulta.</p>	<p>Useita kenttäolosuhteissa ja julkaisuja kalibrointista ja validoinnista. Käyttö Suomessa useissa tarkasteluissa, käyttö Suomessa osana valo-ohjauksijärjestelmää.</p>

KEHITYS JA YL-LAPTO	AIMSUN	PARAMICS	VISSIM	HUTSIM
Ylläpito, palvelukset	Ylläpito asiakasjäsenistä. Päivityksiä (korjaukset, uudet versiot) usein. Korjaukselliset ilmaiset vuoden ajan. Sen jälkeen ylläpito vuosimaksun perusteella. Uudet versiot maksulliset.	Päivityksiä (korjaukset, uudet versiot) usein. Kehitys perustuu asiakaspalautteeseen sekä omien kehitystyönäin avulla. Ennen vuoden loppua ohjelmiston päivitykset maksulliset, saatavissa vuosimaksulla.	Päivityksiä (korjaukset, uudet versiot) usein. Ohjelman vikapalvelukset ilmaisia. Ohjelmiston muut päivitykset maksulliset, saatavissa vuosimaksulla.	Päivitykset ylläpitoon käynnin, ei kaupallista päivitystä viime aikoina. Kehitystyö etenee, ylläpito helppo.
Koulutus, manuaalit, tukipalvelut	Koulutusta järjestetään. On-line tukipalvelu ihmisten vuoden ajan. Omat verkkosivut ja keskustelupalstat. Käytöstäpoistamis.	Koulutusta järjestetään, käyttäjäseminaarit. Omat verkkosivut ja keskustelupalstat. Manuaalit esimerkkeinä. Käytöstäpoistamis koskeva asiakasohjeistus erittäin hyvä (24h On-Line vastaus tahti).	Koulutusta järjestetään, käyttäjäseminaarit. Omat verkkosivut ja keskustelupalstat. Manuaalit esimerkkeinä. Vuosimaksulla on-line tuki.	Kaupalliseen versioon (4.2) saatavissa manuaalit.
Valvontamahdollisuudet	Kehitystyö asiakasjäsenistä. Eri-yksiköt otetaan huomioon niiden palvelussa koko ohjelmiston. API-lisäykset koulutavat ylläpito-ohjelmiston (ohjelmat uusissa versioissa).	Kehitystyö perustuu saatujen asiakaspalautteeseen. Eri-yksiköt otetaan huomioon niiden palvelussa koko ohjelmiston. Eri-yksiköt voidaan tilata myös API-sovelluksena. Suurehdot kehityks-resursit.	Hyvä asiakas voi saada näkymänsä päivityksen maksulta, jos sellainen hyödyttää PTV:tä. Kehitystyö yhteistyössä palveluntarjoajien kanssa. Yhteistyö on-line palveluilla. Suuret muutokset voidaan tilata.	Tilausten ja toimeksiantojen kautta.
Yhteistyömahdollisuus	Yhteistyö mahdollista. Toimittajan rahoittaman osastunnen hyväksi koko asiakaskunnan hyväksi ja seiväsi markkinatutkimusta. Yksittäisen mallin kalibrointipalvelu mahdollista suurissa rakennus- ja Hyvät resursit.	Quadrantone kehittynyt käyttäjätoiveista omalla kustannuksellaan itseään hyödyttävää päivityksiä, asiakkaan kanssa yhteistyössä ja -rahoituksella yhteisiä lisäohjelmia sekä työtään erikseen tilattuja päivityksiä. Kalibrointipalvelu (koodaus ja asentaminen) mahdollista. Kinnostusta Pohjoismaiden markkinointiin (uusi markkina-alue). Hyvät resursit.	PTV kehittynyt käyttäjätoiveista (USA, tärkeä asiakas) omalla kustannuksellaan itseään hyödyttävää päivityksiä, asiakkaan kanssa yhteistyössä ja -rahoituksella yhteisiä lisäohjelmia sekä työtään erikseen tilattuja päivityksiä. Pienistä ja keskusurista, myin kuvatuista muutostöistä ei välttämättä veloita. Hyvät resursit.	Yhteistyö mahdollista ja tilaajaverolista. Kehitystyö on pääosin tilaajarahoitteista, rahoitusyhteistyö harkittava. Resurssien riittävyys ja sitouminen?

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-076-6
TIEH 3200816