



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Liikenteen mallintaminen ja simulointi

Kasper Pyykkönen

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2022

TIIVISTELMÄ

Liikenteen mallintaminen ja simulointi

Kasper Pyykkönen

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2022, 28 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Virve Merisalo

Kandidaatintyön aihe on liikenteen mallintaminen ja simulointi. Työssä käydään läpi liikenteen mallintamisen ja simuloinnin teoriaa, hyötyjä- ja ongelmakohtia, mallintamiseen ja simulointiin käytettäviä simulointiohjelmistoja sekä työelämän esimerkkiä liikennemallihankkeesta. Tavoitteena on saavuttaa lukijalle yleiskuva liikenteen mallintamisesta ja simuloinnista.

Liikenteen mallintamisella pyritään hahmottamaan liikenteen nykytilaa. Mallintamisella toteutettu liikennemalli tulee olla mahdollisimman totuudenmukainen. Liikenteen mallintamisen tuloksia voidaan hyödyntää vaihtoehtojen vertailussa, liikenteen tilannearvioinnin tekemisessä, suunnittelualalla liikennehankkeissa sekä päätöksenteon apuna liikennepolitiikassa. Liikennemalleista voidaan luoda liikenne-ennusteita. Liikennemallien ongelmat kohdistuvat muun muassa tilaajapuolten asiantuntemuksen vähyteen. Liikennemalleja voidaan jaotella kysyntä- ja tarjontamalleihin, yksilö- ja ryhmämalleihin sekä käyttötarkoituksen tai tarkkuuden mukaan. Tarkkuuden mukaan jaoteltavia malleja ovat makroskooppinen-, mesoskooppinen- ja mikroskooppinen malli. Liikenteen mallintamista suoritetaan tietokoneilla toimivilla mallinnus- ja simulointiohjelmistoilla. Simulointiohjelmistojen toimintatavat poikkeavat toisistaan. Tällaisia ohjelmistoja ovat Emme, Vissim ja Dynameq.

Ramboll Finland on toteuttanut työn nimeltä liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla. Työssä on Oulun seudun liikennemallin pohjalta tehty skenaariotarkasteluja, joiden avulla voitaisiin saavuttaa liikenteen päästötavoitteet alueella.

Asiasanat: liikenne, liikennejärjestelmä, liikennesuunnittelu, mallintaminen, simulointi

ABSTRACT

Traffic modelling and simulation

Kasper Pyykkönen

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis 2022, 28 pp.

Supervisor at the university: Virve Merisalo

The bachelors' thesis subject is traffic modelling and simulation. The thesis reviews the theory of traffic modelling and simulation, the benefits and problems, the simulation software used for modelling and simulation and a working life example of a traffic model project. The thesis is aiming to give the reader an overview of traffic modelling and simulation.

Traffic modelling aims to outline the current situation of traffic. The completed traffic model must be as truthful as possible. The results of traffic modelling can be used in the comparison of alternatives, in the assessment of traffic situation, in the traffic designing and with decision-making in transport policy. Traffic models provide for making traffic forecasts. The problems of traffic models, among the other things, are related to the lack of expertise of the subscribers. Traffic models can be divided into demand and supply models, individual and group models and according to purpose or accuracy. The models divided by accuracy are the macroscopic, mesoscopic, and microscopic models. Traffic modelling is done with computer-based modelling and simulation software. Examples of these software are Emme, Vissim and Dynameq.

Ramboll Finland has done a work called Traffic Emission Targets in the Oulu Region. Scenario analyzes have been carried out based on the Oulu region traffic model, which could be used to achieve Traffic emission targets in the region.

Keywords: traffic, traffic system, traffic planning, modelling, simulation

ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty Oulun yliopistolle omasta mielenkiinnosta aihetta kohtaan. Tarkoituksena oli saavuttaa itselle ja muille työn lukijoilla yhtenäinen ja selkeä kuva, mitä tarkoittaa liikenteen mallintaminen ja simulointi yleisellä tasolla.

Aihe itsessään osoittautui hyvin laajaksi, ja työtä tehdessä tuli pitää tarkasti mielessä työn otsikko ja tavoite, jotta pysyttiin kohtuudessa ja selkeydessä. Aihe on selkeästi sukua liikenne-ennusteisiin, joten pyrin pitämään nämä aiheen ulkopuolella, vaikkakin niitä jouduttiin sivuamaan aiheen ymmärtämiseksi.

Haluaisin kiittää työn ohjaajaa Virve Merisaloa, joka on jaksanut tsemptata ja pitää motivaation ylhäällä työn etenemisen suhteen. Lisäksi haluan kiittää Aino Nissistä, jolta sain työhön liittyen erinomaisia lähteitä, joita ilman työ ei olisi saavuttanut lopullista ilmettään.

Oulu, 8.3.2022

Kasper Pyykkönen
Työn tekijä

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	5
2 LIIKENTEEN MALLINTAMISEN JA SIMULOINNIN TEORIA	6
2.1 Liikenteen mallintamisen hyödyt ja ongelmat	7
2.2 Liikennemallien jaottelu.....	8
3 OHJELMISTOT.....	13
3.1 Emme	13
3.2 Vissim	15
3.3 Dynameq.....	16
4 TYÖELÄMÄN ESIMERKKI OULUN SEUDULTA	18
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	24
LÄHDELUETTELO.....	26

1 JOHDANTO

Tässä kandidaatintyössä käsitellään aihetta ”liikenteen mallintaminen ja simulointi”. Aihe on valittu kandidin työn tekijän omien mielenkiinnon kohteiden mukaan. Lisäksi aihe on erittäin ajankohtainen nykyisen ilmastokriisin näkökulmasta, sillä tieliikenne on suuressa roolissa ilmastonmuutoksen vastaisessa työssä. Mallintaminen ja simulointi puolestaan ovat avainasemassa vaihtoehtoisten liikennehankkeiden toteuttamisen valinnassa.

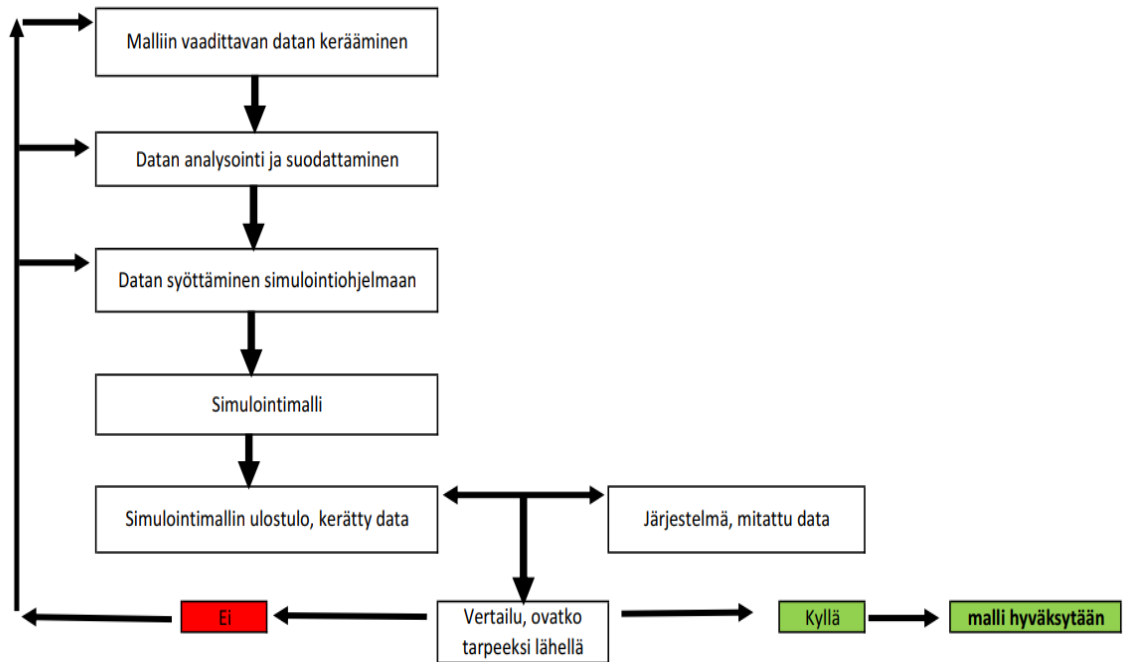
Työ suoritetaan kirjallisuusselvityksenä. Työn alussa käydään läpi peruseriaatteita ja teoriaa liittyen liikenteen mallintamiseen. Vastataan kysymyksiin: mitä on liikenteen mallintaminen ja simulointi? Millaisia liikennemalleja on olemassa? Voidaanko malleja luokitella jotenkin? Miksi mallintamista ja simulointia tehdään? Miten siitä hyödytään? Myös mallintamisen hyötyjä ja ongelmakohtia käsitellään, jotta saadaan myös kolikon kääntöpuoli esiin. Seuraavaksi käsitellään liikenteen mallinnus- ja simulointiohjelmistoja, jolloin päästään jo hieman lähemmäksi konkretiaa. Ohjelmat ovat työelämässä tärkein työkalu, jolla mallinnusta ja simulointia tehdään. Lopuksi pyritään saamaan lukijalle jo hyvinkin selkeä yhteenveto aiheesta työelämän esimerkin kautta, joka kokoaa teorian ja ohjelmien käyttämisen yhteen.

2 LIIKENTEEN MALLINTAMISEN JA SIMULOINNIN TEORIA

Liikenteen mallintamisella pyritään hahmottamaan nykytilaa liikennejärjestelmästä. Malleja on monenlaisia ja ne voivat tarkastella esimerkiksi yhtä tiettyä risteystä tai laajemmassa mittakaavassa kaupunkia tai valtakunnallista liikennejärjestelmää. Ennustemallien perustana on tieto liikkumistavoista, jota voidaan tuottaa liikennetutkimuksilla. Liikennemalleissa käytetään aineistoa, joka voi olla poikkileikkausaineistoa, paneeliaineistoa, mitattua- ja/tai simuloitua aineistoa sekä paikkatietoaineistoa. (Merisalo 2020)

Liikennemallit rajautuvat usein tiettyyn alueeseen ja mallin laajuus voi olla vaihteleva. Malli voi olla esimerkiksi alueellinen (kaupunki tai kunta), seudullinen tai valtakunnallinen (Pastinen ym. 2020). Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisun Tulevaisuuden liikennemallit ja -ennusteet (2016) mukaan valtakunnallista liikennemallia Suomessa ei kuitenkaan ole käytössä, vaan mallit ovat yleensä alueellisia. Valtakunnallisen liikennemallin päätarkoitus olisi tuottaa valtakunnallisen pitkän aikavälin ennusteet liikenteelle. Ennusteilla ja liikenneskenaarioilla voidaan ennakoida tulevaa. Helsingin seudulla on ollut käytössä pitkäaikainen liikennemallijärjestelmä. (Pastinen ym. 2020)

Mallintamisella lopulta tuotettu liikenteen simulointimalli tulee olla mahdollisimman totuudenmukainen, jotta sitä voidaan luotettavasti käyttää käyttötarkoitukseensa. Mallia voidaan vahvistaa ja verrata mitattuihin tietoihin, kuten liikennemääriin, jotta siitä saadaan riittävän totuudenmukainen. Vahvistaminen tapahtuu iteratiivisella prosessilla, joka kalibroi mallin parametrejä (Kuva 1). Vahvistamista täytyy jatkaa niin pitkään, että malli on hyväksyttävä. Hyväksyttävä raja voidaan määrittää esimerkiksi todennäköisyysyhtälöllä $P(|\text{todellisuus} - \text{simuloitu malli}| \leq d) > \alpha$, josta d ja α ovat määritettyjä parametrejä. (Barceló 2010)



Kuva 1: Simulointimallin järjestelmä mallin vahvistamiseen ja oikeellisuuteen. Kerätystä datasta muodostetaan malli simulointiohjelmistolla, jonka jälkeen mallia kalibroidaan mitatuilla tiedoilla. (Mukaillen Barceló 2010)

2.1 Liikenteen mallintamisen hyödyt ja ongelmat

Liikenteen mallintamisen tuloksia voidaan hyödyntää vaihtoehtojen vertailussa, kun pohditaanärkevintä vaihtoehtoa hankkeen toteutumiselle. Malleja voidaan hyödyntää myös tilannearvioinnin tekemisessä, suunnittelua-alalla liikennehankkeissa sekä päätöksenteon apuna liikennepolitiikassa. Liikennemalleista voidaan tyypistä riippuen luoda liikenne-ennusteita, jotka auttavat hahmottamaan tulevaisuuden liikennemäärien ja kuormitusten kehitystä. Investoinnit ovatkin alalla usein hyvin pitkäikäisiä, mikä luo tarpeen mitoittaa hankkeet aina tulevaisuuden liikennemääriä ajatellen. (Merisalo 2020. Särkkä ym. 2016)

Liikenne-ennusteilla, jotka luodaan liikenteen mallintamisella, voidaan ennakoida tulevaa. Ennakointitiedon tulkinta, toimintaympäristön muutosten analyysit ja

tulevaisuudenkuvien vaihtoehtojen luominen ovat mallien päätarpeita. Valtakunnalliset liikenne-ennusteet toimivat lähtökohtina muun muassa liikenteen päästöjen laskennassa, liikennepolitiikassa toimenpiteiden ja verotusmuutosten vaikutusten arvioinnissa. Ennusteet toimivat myös kaavoituksen tukena. (Pastinen ym. 2020)

Liikenteen mallintamisen ja simuloinnin ongelmia ilmenee mallien tilaajaosapuolten asiantuntemuksen määrässä malleja kohtaan. Välityskykytarkastelut tilataan Suomessa suunnittelutoimistoilta tilaajaosapuolten resurssienpuutteen takia. Tilaajilta ei välttämättä löydy mallintamiseen tarvittavia ohjelmia ollenkaan, mikä lähtökohtaisesti ei kuitenkaan ole ongelma. Eri konsultit käyttävät eri ohjelmistoja, joten olisi hyötyä, jos myös tilaajat ymmärtäisivät ohjelmistojen eroista. (Lehtonen ym. 2012)

Ongelmakohdaksi koetaan malleihin tarvittavan lähtöaineiston saatavuus ja sen luotettavuus. Lähtöaineiston laatu vaihtelee kunnittain. Lähtöaineiston taso vaikuttaa tehtyyn malliin ja sen käyttökelpoisuuteen. Ongelmia koetaan välityskykymallien tekemisen ohjeistuksessa, jossa ei ole yhtä selkeää tapaa tehdä asioita. Liikennemallien parametreille toivottaisiin kehitystä esimerkiksi talviolosuhteita varten. (Lehtonen ym. 2012)

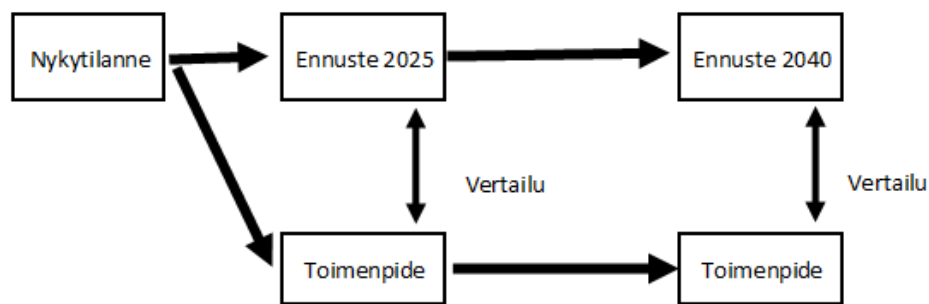
Ruotsissa suurimpia haasteita ovat Tukholman kaupungissa ohjeiden ja koordinoinnin puuttuminen ja lähtötietojen puutteellisuus. Suomessa ongelmana oleva tilaajien osaamisen puuttuminen ei ole Ruotsissa yhtä suuri ongelma. Trafikverketin mukaan suurimpia ongelmia ovat liikenne-ennusteiden luotettavuus. (Lehtonen ym. 2012)

2.2 Liikennemallien jaottelu

Liikennemallit on mahdollista jakaa kysyntämalleihin ja tarjontamalleihin. Kysyntämallit kuvaavat sitä, miten ja minne matkan alueella suuntautuvat. Kysyntämallit voivat kuvata matkatuotosta, matkojen suuntautumista, matkojen kulkutapaa (auto, joukkoliikenne, jalankulku tai pyöräily) ja reitinvalintaa. Tarjontamallit ovat toiselta nimeltään liikennejärjestelmämalleja ja niillä kuvataan liikenneverkkoa, verkolla toimivia linjastoja sekä niiden toimivuutta. Tämän karkean jaon lisäksi voidaan jakaa mallit ryhmämalleihin ja yksilömalleihin. Ryhmämalli perustuu ryhmän ominaisuuksista yhdistettyyn

aineistoon ja yksilömallissa aineistoon, joka kuvaa yksilön käyttäytymistä. (Merisalo 2020. Nissinen 2020) Yksilömalleihin vaaditaan vähemmän tutkimustietoa parametrien määrittämiseen kuin ryhmämalleihin. Mallin tyyppi vaihtelee käyttökohteen ja tutkimuksen ajanjakson mukaan. (Viren ym. 2005)

Malleja voidaan jakaa myös käyttötarkoituksen mukaan: Liikenteen ennustaminen tai päätöksen teon apuväline. Liikenteen ennustemalleille voidaan luoda perusennusteet eri vuosille. Vuosille kuvataan oletuksia muun muassa ihmismäärien muutoksista, jotka vaikuttavat liikenteeseen suoraan. Jotta liikennejärjestelmää voidaan kehittää, on tehtävä toimenpiteitä (Kuva 2). Liikkuminen sekä liikenteen määrä muuttuu, kun toimenpiteet vaikuttavat matka-aikoihin ja kustannuksiin. Ennustetta ja toimenpidettä voidaan vertailla keskenään, mikä tuottaa tietoa. (Merisalo 2020. Moilanen ym. 2014)



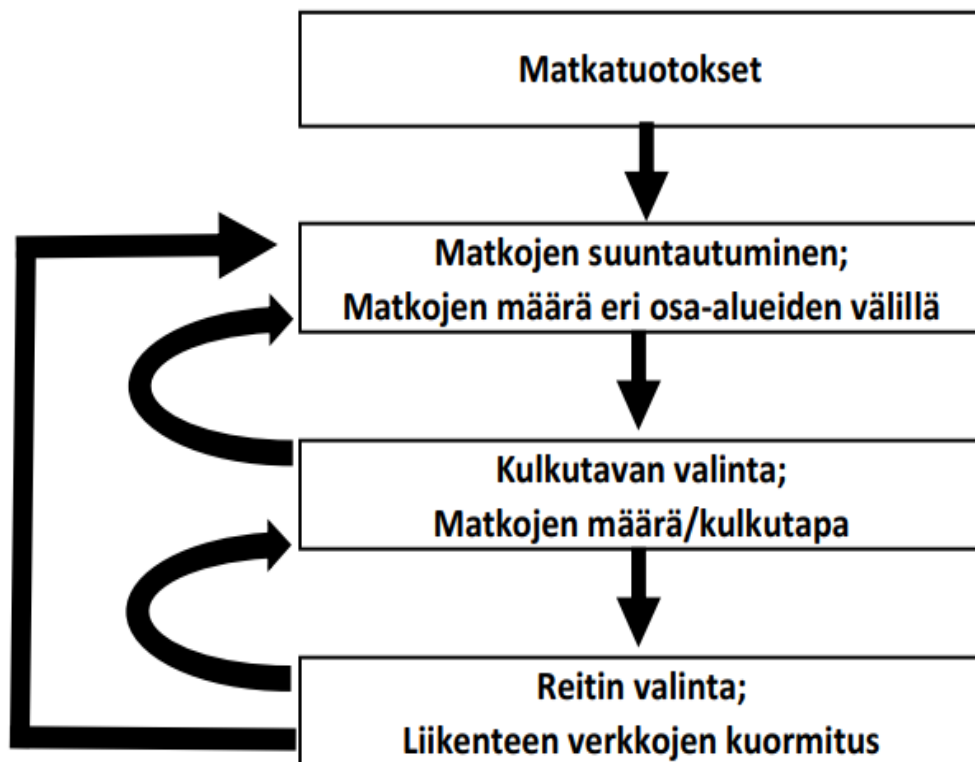
Kuva 2: Ennustetta ja toimenpidettä vertaillaan (Mukaiillen Moilanen ym. 2014)

Liikennemallien jaottelu malleittain

Logittimalli on yksilömalli, joka kertoo todennäköisyyden, jolla yksilö valitsee tietyn vaihtoehdon. Yksilön ja vaihtoehtojen ominaisuudet tunnetaan. Logittimalli on yleisin mallityyppi tehtäessä alueellisia tai valtakunnallisia strategisia malleja. Mallin oletuksena on, että edellä mainittu todennäköisyys riippuu vaihtoehdon suhteellisesta houkuttelevuudesta sekä yksilön sosioekonomisista ominaisuuksista. (Viren ym. 2005)

Gravitaatio- eli vetovoimamalli on Newtonin vetovoimamallista nimensä saanut liikennemalli. Tällaisia ovat yleisimmät liikennevirtamallit eli matkojen suuntautumis- tai jakelumallit. Vetovoimamallissa osa-alueiden väliset matkat riippuvat lähtöalueella syntyvistä matkoista, alueiden etäisyydestä sekä määrään toimintojen laadusta. (Viren ym. 2005)

Neliporrasmalli on laajasti käytetty termi, jolla viitataan strategisiin seudullisiin liikennemalleihin. Neliporrasmallissa on nimensä mukaisesti neljä vaihetta: **matkatuotos** eli matkojen lukumäärä, **suuntautuminen** eli matkojen lähtö ja loppupiste, **kuluttavan valinta** (millä kulkuneuvolla matka suoritetaan) sekä **reitINVALINTA** (Kuva 3). Yleisesti kaikki liikennemallit sekä -ennusteet pohjautuvat johonkin näiden neljään vaiheeseen tai niistä koostuviin yhdistelmiin. Liikennejärjestelmä vaikuttaa kaikkiin neljään vaiheeseen jossain määrin. (Kalenoja 2008. Viren ym. 2005)



Kuva 3: Neliporrasmalli. (Mukaiillen Kalenoja ym. 2008)

Matkatuotokset määritetään ajatuksella, että jokaiselle matkalla on jokin syy (esim. työ tai koulu). Matkat voidaankin ryhmitellä usein matkan tarkoituksen ja matkustusajankohdan mukaan. Matkatuotos kuvaa osa-alueen tuottamaa liikennettä. Matkatuotoksiin vaikuttavat useat asiat, joissa tulee tehdä oletuksia. Vaikuttavia asioita muun muassa ovat auton hankkivan henkilön käyttäytyminen liikennejärjestelmässä sekä tulotason vaikutus matkalukuihin. (Viren ym. 2005)

Makro-, mikro- ja mesoskooppinen mallintaminen

Simulointimallit voidaan jakaa mallin yksityiskohtaisuuden perusteella mikroskooppisiin, makroskooppisiin ja mesoskooppisiin malleihin (Tiehallinto 2003). Makrosimulointi on yksinkertaisin tapa mallintaa liikennettä, joka pohjautuu suurempiin yksinkertaistuksiin, eikä siten sovi niin yksityiskohtaiseen tarkasteluun kuin mikrosimulointi. Makroskooppiset simulointisovellukset ovat historialtaan vanhempia ja niistä useat ovatkin peräisin 60-luvulta. Makroskooppiset simuloinnit perustuvat matemaattisiin muuttujiin, joita ovat muun muassa ajoneuvomäärä, ajoneuvotiheys ja ajonopeus sekä liikenteelliset olosuhteet, kuten tien geometria ja ajokaistojen lukumäärä. Makrosimulointi sopii yleispiirteiseen, karkeaan ja mittakaavaltaan laajaan liikenteen mallintamiseen. (Barceló 2010)

Liikennettä simuloidaan myös mikrosimuloinnilla, jossa on tavoitteena luoda mahdollisimman yksityiskohtainen kuva todellisuudesta. Mikrosimulaatiossa liikennevirta pohjautuu kuvaukseen jokaisen ajoneuvon käyttäytymisestä liikennevirrassa, jolloin vaaditaan mallintamaan esimerkiksi ajoneuvojen kiihdytyksiä, jarrutuksia ja kaistan vaihtoja. Tätä ilmiötä voidaan kutsua ajoneuvojen väliseksi vuorovaikutukseksi. Huomioon tulee ottaa myös ympäristön tekijät, kuten väylän geometria, jalankulkijat ja liikennevalot. Mikrosimulaatio sopii hyvin tarkasteltaessa esimerkiksi liittymiä ja kaupunkeja yksityiskohtaisella tasolla. (Tiehallinto 2003. Barceló, 2010. Lehtonen ym. 2012)

Mesoskooppinen mallintaminen on kolmas tapa simuloida liikennettä. Mesoskooppinen mallinnus on mikroskooppisen ja makroskooppisen simuloinnin välimuoto, joka on laskennallisesti mikroskooppista tapaa tehokkaampi. Siinä on piirteitä molemmista mallintamisen teorioista ja se voidaankin jakaa kahteen lähestymistapaan. Toiset

mesoskooppiset mallit ottavat ajoneuvoyksilöt huomioon ja toiset tekevät tässä osaluueella yksinkertaistuksen. Eroja on myös mallien tavassa käsitellä aikaa. (Barceló 2010)

3 OHJELMISTOT

Liikenteen mallintamista suoritetaan nykyisin tietokoneilla toimivilla mallinnus- ja simulointiohjelmistoilla, joihin perehdytään tässä kappaleessa. Simulointiohjelmistojen toimintatavat voivat poiketa toisistaan ja niillä on erilaisia käyttötarkoituksia. Tässä työssä käsitellään makrosimulointiohjelmaa Emme:ä, mikrosimulointiohjelmistoja Vissim:ia sekä mesoskooppista simulointiohjelmaa Dynameq:ia (taulukko 1). (Lehtonen ym. 2012)

Taulukko 1. Simulointiohjelmien jaottelu simulointitarkkuuden perusteella.

Ohjelma	Simulointitarkkuus
Emme	Makroskooppinen
Vissim	Mikroskooppinen
Dynameq	Mesoskooppinen

3.1 Emme

Emme on INRO:n kehittämä makroskooppinen liikenteen mallinnusohjelma. INRO:n tuoteperheeseen kuuluu myös Dynameq, jota käsitellään kohdassa 3.3. Emme:llä voidaan ohjelman nettisivujen mukaan tehdä matkustamisen kysynnän ennustamista, kuljetusten ja liikenteen suunnittelua, talouden, päästöjen ja ympäristöanalyysjä sekä kevyen liikenteen mallintamista. (INRO Consultants inc. 2022)

Emme:n historia yltää 1970-luvulle, jolloin se kehitettiin Montrealin yliopiston akateemikkojen toimesta. INRO:n myötä ohjelmaa on ruvettu käyttämään laajasti kaupunki- sekä liikennesuunnitteluun ympäri maailmaa. (Chatzis 2021)

EMME:n lyhenne tulee sanoista ”Equilibre Multimodal, Multimodal Equilibrium”, mikä viittaa ranskaksi ja englanniksi liikenneverkon tasapainoon. Emme tarjoaa suunnittelijoille valmiin ja kattavan kokonaisuuden kysynnän mallintamiseen sekä moninaisen verkon mallintamiseen ja analyysiin. Liikenteen kysyntää voidaan mallintaa eri laajuisina. Tulevaisuuden eri liikenteen skenaarioita, jotka riippuvat verkon muutoksista tai sosioekonomisista muutoksista alueella, on mahdollista luoda ja vertailla. Syöttödataa, laskelmia ja tuloksia on mahdollista visualisoida (kuva 4). (INRO Consultants inc. 1998)

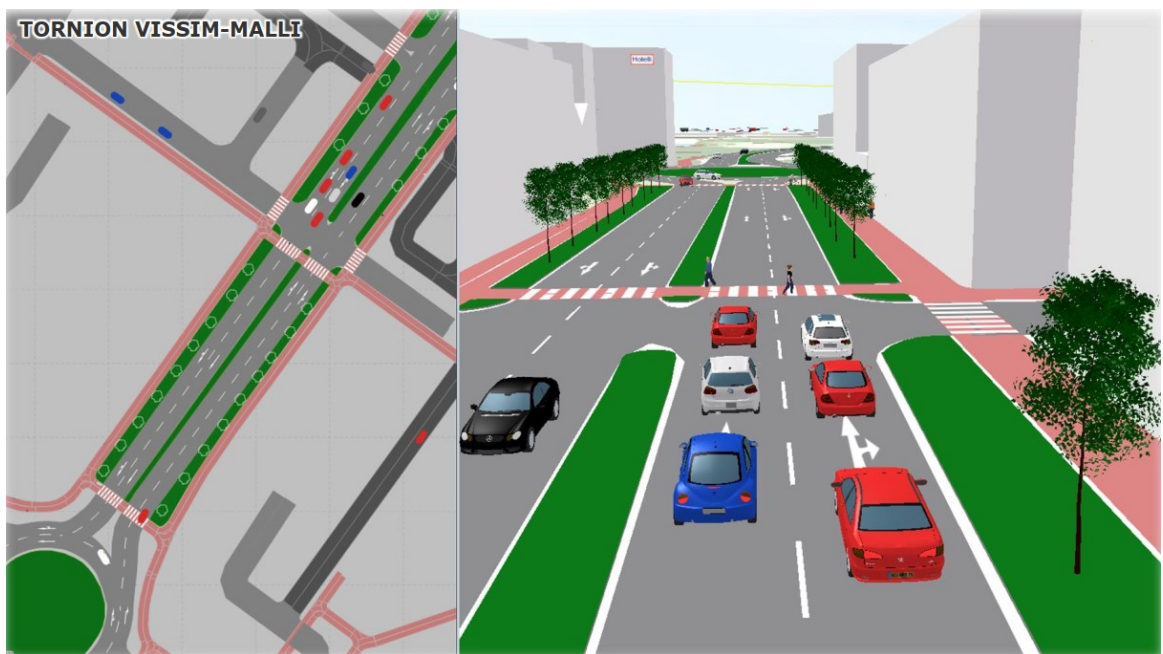
Liikennejärjestelmän mallintaminen on käsitteellisesti jaettu kahteen osaan eli tarjontaja kysyntäpuoleen. Tarjontapuoli sisältää saatavilla olevan liikenneinfrastruktuurin ja kysyntäpuoli koostuu malleista, jotka määrittävät kysyntää matkapohjoisesti sosioekonomisten ominaisuuksien ja lähtöpisteen palvelutason mukaan. Tasapaino kysynnän ja tarjonnan suorituskyvyn välillä määritetään ja siten lasketaan liikennevirrat ajoneuvoille ja matkustajille verkolla. (INRO Consultants inc.1998)



Kuva 4: Henkilöautoliikenteen liikennemäärä Kuopion keskustassa arkivuorokauden aikana. Malli on tuotettu makroskooppisella Emme-ohjelmistolla. (Nissinen 2020)

3.2 Vissim

PTV Vissim on mikroskooppiseen toimintatapaan perustuva mallinnusohjelma, jolla voidaan analysoida ja optimoida liikennevirtoja. Ohjelmalla Vissim on hyvin monipuolinen ja siihen on tarjolla laaja valikoima sovelluksia kaupunki- ja maantieliikenteen simulointiin. Ohjelma luo selkeän visualisoinnin mallinnuksille (Kuva 5). Ohjelmalla voidaan simuloida niin henkilöliikennettä kuin julkista joukkoliikennettä. Myös jalankulkijoiden sekä pyöräilijöiden simulointi on mahdollista. PTV Vissim:in kehitystyön juuret ovat 70-luvulla, joten ohjelmalla on pitkä historia. Ohjelmaan on lisätty vuosien varrella ominaisuuksia ja sitä kehitetään edelleen. Ohjelma on suunnattu liikenneinsinööreille. (Barceló 2010)



Kuva 5: Tornion Vissim malli. Vissim luo havainnollistavan 2D- ja 3D-simuloinnin, joka auttaa hahmottamaan tilannetta. (Nissinen 2020)

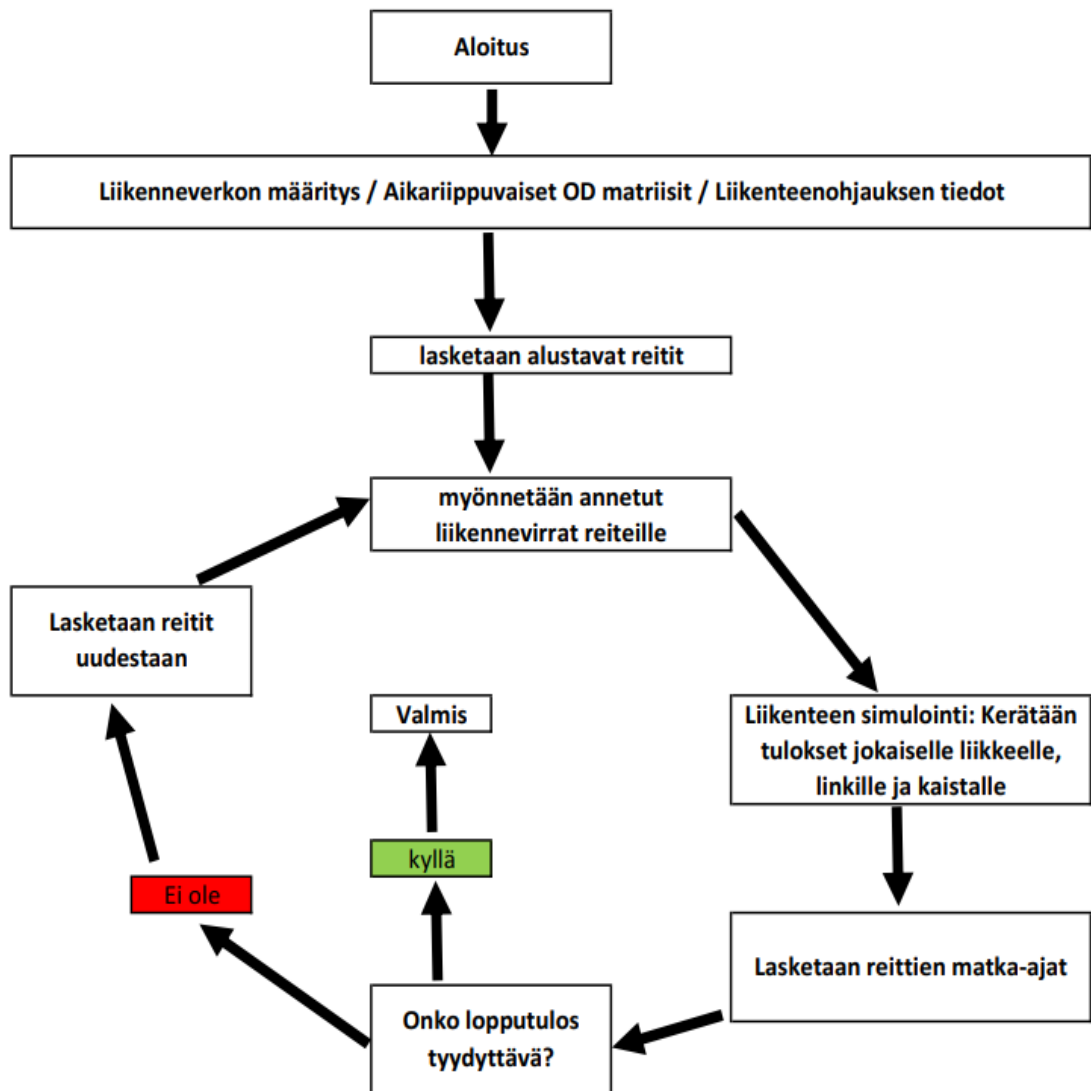
Mikrosimulaatio, myös VISSIM-ohjelmassa, perustuu matemaattisiin malleihin, jotka laskevat liikennevirran simulaatiota. Vissim-ohjelma koostuu simulaattorista sekä siihen lisättävistä lisäosista ja datasta. Ohjelma on toteutettu käyttäen C++ ohjelmointikieltä ottaen huomioon olio-ohjelmoinnin suuntaviivat. VISSIM:issä on jaettu objektit luokkiin, kuten ajoneuvoihin ja jalankulkijoihin. Jokaisella objektilla on omat funktiot, kuinka ne toimivat. Ohjelmassa on jaoteltu yksityinen (private) liikenne ja julkinen (public) erikseen, sillä yksityinen liikenne on hyvin erityyppistä kuin julkinen liikenne

toimintatavoiltaan. Erikoisryhmänä on vielä jalankulkijat, jotka toisin kuin muut ryhmät, voivat liikkua myös sivuttain. Vissim:in käyttötarkoituksia voidaan laajentaa lisäosilla, mikä tekee esimerkiksi liikenteen kasvihuonepäästöjen mallintamisen mahdolliseksi. (Barceló 2010)

3.3 Dynameq

Dynameq on liikenteen simulointiohjelmisto, joka on toimintatavaltaan mesoskooppinen, eli makro- ja mikroskooppisten ohjelmistojen välimuoto. Dynameq nimitys tarkoittaa dynaamista tasapainoa. Dynameq:in malli koostuu kahdesta pääkomponentista, joita ovat liikennevirran simulointimalli (traffic flow simulation model) sekä reitinvalintamalli (routing model). (Barceló 2010)

Reitinvalintamalli jäljittelee henkilöiden reitinvalintatapaa haluttuun määränpäähän. Liikennevirran simulointi keskittyy muihin ajoprosessin osiin, kuten kiihdytyksiin ja jarrutuksiin, vuorovaikutukseen muiden liikennejärjestelmän käyttäjien kanssa sekä kaistanvalinnan prosessiin. Mallin tasapainon saavuttamiseksi ratkaisuna toimii iteratiivinen laskentatapa, joka toistetaan useaan kertaan (Kuva 6).



Kuva 6: Dynameq:n iteratiivisen algoritmin rakenne. (Mukaiillen Barceló 2010)

Dynameq:n simulaation ainutlaatuinen ominaisuus on tapahtumapohjainen laskenta-algoritmi aikaperustusteiseen laskenta-algoritmiin nähden. Tapahtumapohjainen lähestymistapa on laskennallisesti tehokkaampi. (Barceló 2010)

4 TYÖELÄMÄN ESIMERKKI OULUN SEUDULTA

Kappaleessa käsitellään työelämän esimerkkiä Oulun seudulta, jonka lähteenä toimii loppuraportti: Verronen, V, Vesajoki, T, Nissinen, A, 2020. Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla, loppuraportti [verkkodokumentti]. Oulu: Ramboll Finland

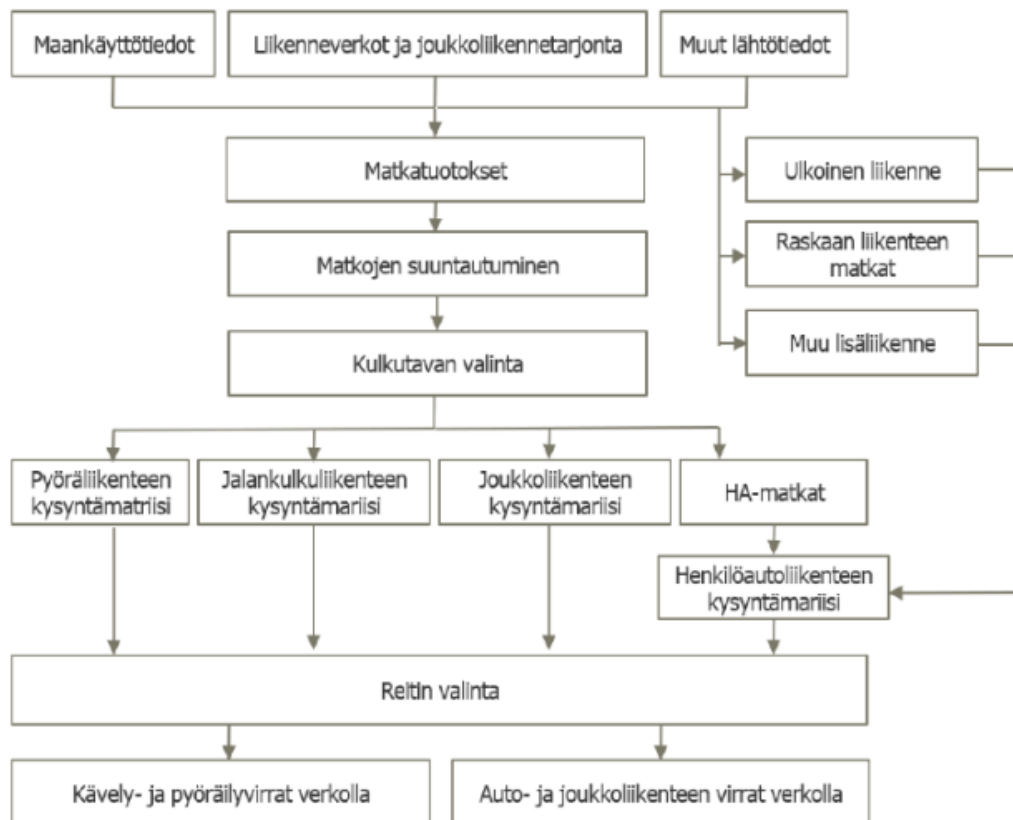
Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla (Ramboll Finland 2020)

Ramboll Finland Oy on vuonna 2020 teettänyt työn nimeltä ”Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla”, jonka ohjauksessa on ollut mukana asiantuntijoita Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskukselta, Oulun kaupungilta sekä Pohjois-Pohjanmaan liitosta. Työn tavoitteena on ollut kehittää vaikutusten arvioinnin kehikko, jota voidaan hyödyntää myös muilla vastaavanlaisilla kaupunkiseuduilla. Työn yhteydessä on tehty erilaisia skenaariotarkasteluja liikennemallilla, joiden tuloksia on analysoitu.

Oulun seudun liikennemalli on päivitetty vuoden 2016 henkilöliikennetutkimuksen pohjalta vuonna 2018. Oulun seudulla autoilu on kasvattanut kulkutapaosuuttaan, ja joukkoliikenteen kulkutapaosuus on pienentynyt 80-luvun tilanteeseen nähden, mutta viimevuosina joukkoliikenteen matkustajamäärät ovat kuitenkin lähteneet vahvaan nousuun. Oulun seutu on kokonaisuudessaan kasvanut viime vuosikymmeninä, joten liikennemäärät ovat myös kasvaneet.

Liikenteen kokonaispäästöt koostuvat suoritteesta, liikennevälineen energiatehokkuudesta sekä kulkuvälineen käyttämästä polttoaineesta. Liikenteen ilmastovaikutuksiin voidaan vaikuttaa maankäytön suunnittelulla, käyttäytymismuutoksilla sekä viimeisenä vaihtoehtona autokannan muutoksella. Maankäyttö luo liikkumisen tarpeen, joten sen suunnittelulla on suuri vaikutus suoritteeseen. Globaali tavoite on, että liikenteen päästöt puolitettaisiin vuoteen 2040 mennessä, jonka lisäksi Oulun kaupunki on ottanut tavoitteeksi nostaa kestävien kulkumuotojen osuuden 50 % vuoteen 2026 mennessä.

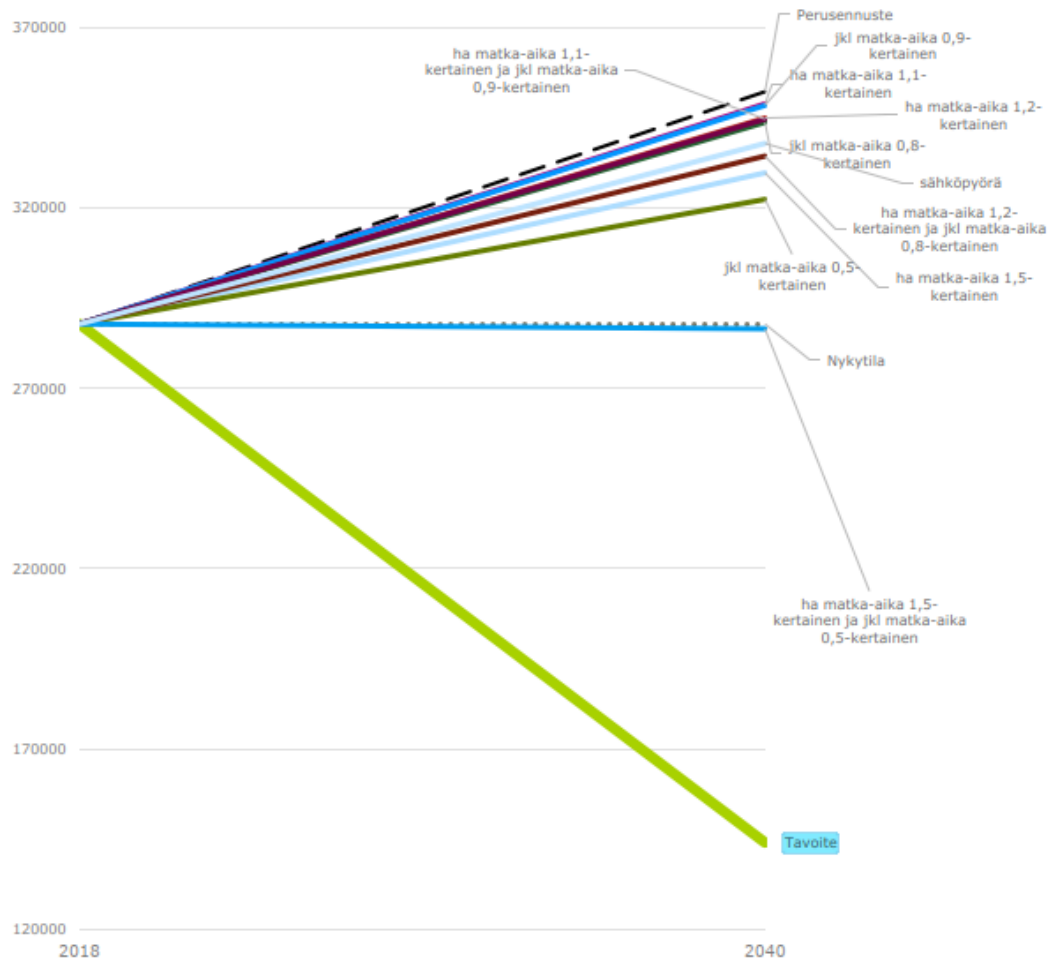
Oulun seudun liikennemalli pohjautuu neliporrasmalliin, ja se kattaa Hailuodon, Iin, Limingan, Lumijoen, Muhoksen, Oulun sekä Tyrnävän alueet (kuva 7). Alue on jaettu noin 1400 pienempään alueeseen, joille on syötetty maankäyttötiedot. Liikennemalli on jaettu matkaryhmiin, jotka perustuvat niitä tekeviin asukkaisiin ja niitä houkutteleviin vetovoimatekijöihin. Matkaryhmiä ovat esimerkiksi kotiperäiset työmatkat, kotiperäiset ET-kauppatmatkat, kotiperäiset koulumatkat, kotiperäiset päivähoitomatkat, kotiperäiset OYS-matkat ja ei-kotiperäiset matkat. Liikennemallissa suuntautumismallit perustuvat osa-alueiden välisiin vetovoimiin, eli ne ovat ns. vetovoimamalleja. Kulutavan valintamalleissa on käytetty ns. logittimalleja, jolloin kulutavan valinta perustuu hyötyjen suhteisiin. Kulutavan valintamallit perustuvat hyötyfunktioihin, jotka on luotu matkaryhmittäin. Eri kulutavoilla on erilaisia kulutavan valintaan vaikuttavia tekijöitä. Neliporrasmallin viimeinen vaihe on reitinvalintamalli, jossa liikenteen kulkutapakohtaiset kysyntämatriisit asetellaan verkolle.



Kuva 7: Oulun seudun liikennemallin rakenne.

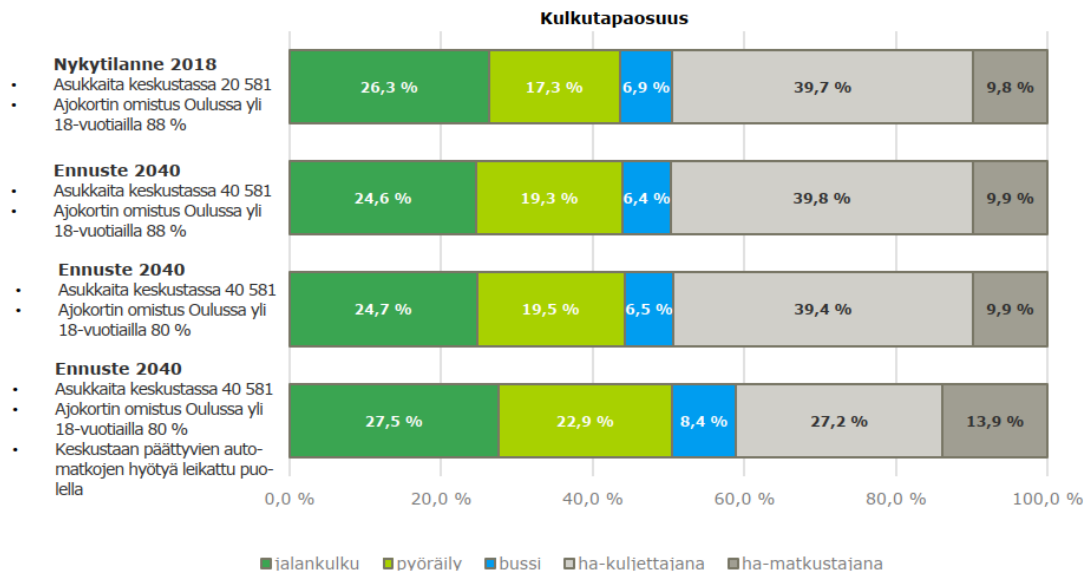
Työssä tutkittaviksi skenaarioiksi muodostuivat matka-aikojen vaikuttavuus kulkutavan valintaan ja päästöihin, kestäviä kulkutapoja tukevien toimipiteiden vaikutus kulkutavan valintaan ja päästöihin sekä nykyisen joukkoliikenteen kasvun ylläpitämisen vaikutus kulkumuotojakaumaan. Työn arviointikehikko on rakennettu sellaisilla mittareilla, joita voidaan käyttää yleisesti myös muilla kaupunkiseuduilla. Mittareita on haettu tarkastelemalla eri tekijöiden vaikutusta auton kulkutapaosuuteen sekä liikenteen päästöjen määrään. Asukkaan kodin etäisyydellä Oulun keskustasta ja liikenteen päästöillä on huomattu olevan selkeä yhteys. Asukastiheydellä on todettu olevan yhteys kulkutavan valintaan ja sitä myötä päästöihin. Liikenteen ruuhkautuminen lisää päästöjä erityisesti huipputunnin aikana.

Työssä on tehty Oulun seudun paikalliset tarkastelut, joissa on käytetty Oulun seudun liikennemallin mukaista väestöennustetta. Maankäyttöennusteen mukaan vuoteen 2040 mennessä väestö kasvaisi yli 300 tuhanteen asukkaaseen. Matka-aikojen vaikutusta henkilöauton suoritteisiin selvitettiin tarkastelemalla matka-ajan vaikutusta kulkutapaan ja kulkutavan suoritteisiin. Tarkastelulla on todettu, että lähimmäksi tavoitetta on päästään, kun nostetaan auton matka-aikaa 1,5-kertaiseksi ja joukkoliikenteen matka-aika puolitetaan (Kuva 8). Esitetty skenaario taittaisi päästöjen kasvun, mutta tavoitteiden saavuttamiseksi tarvittaisiin lisäksi autokannan muutos.



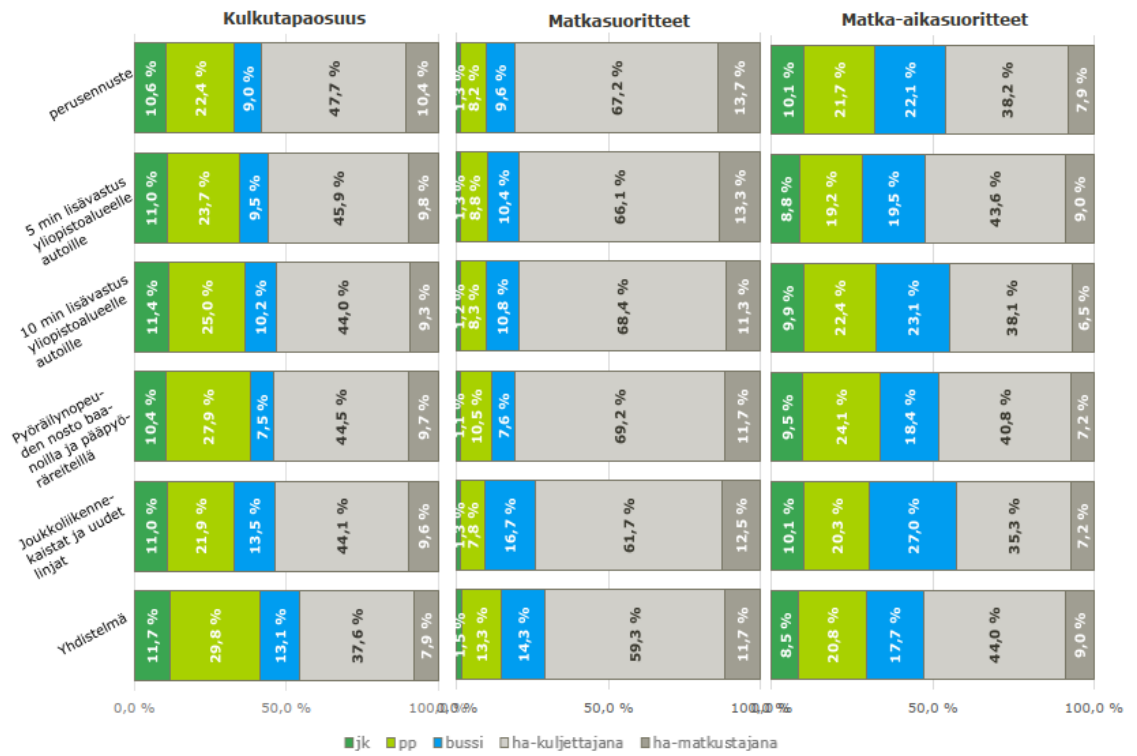
Kuva 8: Tutkittujen matka-aikaskenaarioiden vaikutus päästötavoitteisiin

Työssä tutkittiin Oulun eri alueita aluekohtaisesti, joista yksi on Oulun keskustan tarkastelu. Skenaariossa Oulun keskustan asukasmäärä oletettiin kasvavan vuoteen 2040 mennessä kokonaisuudessaan 20 000 uudella asukkaalla ja tutkittiin toimenpiteitä keskustaan päättyvien automatkojen pysymiseen nykyisellä tasolla. Tarkasteltiin nuorten ajokortin omistumäärää sekä henkilöauton perushyödyn laskemista. Perushyöty kuvaa tekijöitä, joita ei kuvata muilla muuttujilla. Keskustaan päättyvien automatkojen perushyödyn pienentämisellä kuvataan tässä tapauksessa muun muassa pysäköintimaksuja. Ajokortin omistuksen laskemisella sekä auton perushyödyn leikkaamisella voidaan skenaarion mukaan saada kestäville kulkumuodoille jopa 58 % kulkutapaosuus matkoille, jotka päättyvät keskustaan (Kuva 9).



Kuva 9: Kulikutapa-osuudet Oulun keskustaan päättyvillä matkoilla eri skenaarioilla

Mallissa Linnanmaan aluetta on tarkasteltu ja toimenpiteitä on suunnattu yliopistolle meneviin matkoihin. Oulun ammattikorkeakoulun muuton Linnanmaalle yliopiston tiloihin on arvioitu lisäävän matkoja. Malliin on lisätty pyöräilyn baanaverkoille ja pääreiteille korotetut nopeustasot sekä joukkoliikennettä on nopeutettu lisäämällä joukkoliikennekaistoja, joilla oletetaan joukkoliikenteen nopeuden kasvavan 10 %. Joukkoliikenteen houkuttelevuutta on kasvatettu lisäämällä vuorotarjontaa. Henkilöautojen pysäköintiä on siirretty etämmäksi palveluista Linnanmaan kampuksen läheisyydessä, mikä liikennemallissa tarkoittaa pidennettyä henkilöauton matka-aikaa. Toimenpiteiden yhdistämisen tuloksena on, että lähes 3000 henkilöautomatkaa saataisiin korvattua muilla kulkumuodoilla (Kuva 10). Yllä olevia toimenpiteitä tarkasteltiin myös seudullisella tasolla, jonka tuloksena saatiin lähes 40 000 päivittäisen automatkan väheneminen.



Kuva 10: Kulkutapaosuudet, matkasuoritteet ja matka-aikasuoritteet eri toimenpiteiden jälkeen

Ilmastotavoitteiden ja Oulun kaupungin päästötavoitteiden saavuttamiseksi on tehtävä muutoksia maankäytön ja liikennejärjestelmän saralla. Arviointikehikon mukaan maankäytön suunnittelu ja liikenneverkon kuormitus ovat suurimpia tekijöitä päästöjen vähenemisessä, mutta nopeimmin muutokset voidaan saavuttaa autokannan muutoksella. Eri kulkumuotojen vastakkainasettelu ei ole oleellista, vaan tulee ymmärtää toimenpiteiden vaikutus kokonaisuuteen, sillä kestävien kulkumuotojen lisääminen parantaa myös autoilijoiden olosuhteita. Päästötavoitteiden kannalta selvitystyötä on jatkettava. Liikennemallilla tulisi arvioida ainakin suurten muutosten vaikutukset kuten lähijunan tai raitiovaunuliikenteen käyttöönotto seudulla. Työn jatkotoimenpiteinä esitettiin liikennemallin hyödyntämistä seuraavanlaisissa hankkeissa: Kehityskuva 2030+, Keskustan läpikulkuliikenne, Etätöiden yleistymisen ja Ruoan verkkokaupan yleistymisen.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Liikenteen mallintamisella ja simuloinnilla tarkoitetaan siis toimenpidettä, jolla pyritään hahmottamaan nykytilaa liikennejärjestelmästä. Liikennemalleilla voidaan luoda liikenne-ennusteita, joita puolestaan voidaan käyttää päätöksenteon tukena. Lisäksi malleja voidaan käyttää erilaisten tulevaisuuden skenaarioiden luomiseen ja esimerkiksi liikenteen päästöjen laskentaan. Liikennemallit voivat laajuuden puolesta olla alueellisia, seudullisia tai jopa valtakunnallisia. Ongelmakohtia mallintamisessa ovat muun muassa mallien totuudenmukaisuus, malliin tarvittavan lähtöaineiston puute ja tilaajaosapuolten asiantuntemuksen vähyys.

Liikenteen simulointimallit voidaan jaotella tarkkuuden mukaan makro-, mikro- ja mesoskooppiin malleihin. Makromallit ovat luonteeltaan karkeimpia ja laskentatavaltaan yksinkertaisimpia ja ne sopivat laajaan strategiseen tarkasteluun. Mikromallit ovat puolestaan yksityiskohtaisia, ja niillä voikin tarkastella esimerkiksi liittymänvalintaa. Mesoskooppi malli on näiden kahden edellä mainitun välimuoto. Neliporrasmalli on yleisesti käytetty käsite, joka kattaa seudullisen mallin toimintaperiaatteen. Neliporrasmalli koostuu matkatuotoksista, matkojen suuntautumisesta sekä kulkutavan- ja reitinvalinnasta. Muita mallintamisen teoriaan liittyviä malleja ovat muun muassa kysyntä- ja tarjontamallit, vetovoimamalli ja logittimalli.

Liikenteen mallintamista tehdään työelämässä tietokoneohjelmilla, joista esimerkkejä ovat Emme, Vissim ja Dynameq. Emme on makrosimulointiohjelma, Vissim mikrosimulointiohjelma ja Dynameq mesoskooppi simulointiohjelma. Ohjelmat eroavat toisistaan toimintaperiaatteeltaan, jolloin tietty ohjelma valitaan vaadittavan simulointi- ja mallinnustarkkuuden mukaan. Myös muita vaihtoehtoja on markkinoilla ja ohjelmien käyttö voi vaihdella alueittain tai maittäin.

Ramboll Finland Oy on teettänyt vuonna 2020 ”Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla” nimisen työn, jossa on hyödynnetty liikennemallia seudun päästötavoitteiden saavuttamiseksi. Liikennemallin avulla on saatu paljon arvokasta tietoa ja vaihtoehtoja tulevaisuuden suunnitelmien tueksi Oulun seudulla, jonka lisäksi työn arviointikehikko soveltuu käytettäväksi myös muilla kaupunkiseuduilla.

Ramboll Finland Oy:n tekemästä työstä voidaan todeta, että liikenteen mallintamisella päästää moninaisiin hyötyihin, joita ei muulla tavalla voida samalla tarkkuudella ennustaa. Liikennemallit soveltuvat erinomaisesti erilaisten tulevaisuuden skenaarioiden tarkasteluun. Erityisesti ilmastokriisin vastaisessa kasvihuonekaasuja vähentämään pyrkivässä työssä on liikennemalleilla, ja sitä kautta toteutettavilla liikenne-ennusteilla suuri rooli, sillä liikenne tuottaa merkittävän osan maapallon kasvihuonepäästöistä.

Liikenteen mallintaminen vaikuttaisi olevan mielenkiintoisessa tilanteessa näiden ilmastokysymysten ansiosta, joiden myötä keskitytään henkilöautoliikenteen lisäksi yhä kasvavissa määrin joukkoliikenteeseen, jalankulkuun ja pyöräilyyn. Henkilökohtaisesti uskoisin mallintamisen suosion jatkavan kasvuaan, sillä vaikuttaisi, että tilaajaosapuolet alkavat nähdä malleista saatavia hyötyjä entistä selkeämmin. Mallintaminen on kuitenkin taloudellisesti erittäin kannattavaa, mikäli sen avulla säästytään vääriä investointipäätöksiltä.

LÄHDELUETTELO

Barceló, J, 2010. Fundamentals of Traffic Simulation. New York: Springer. 440 s. ISBN 9781441961419. 9781441961426.

Chatzis, Konstantinos, 2021. Managing traffic complexity. Canadian transport planning software package Emme, 1970s–2010s. 23 s.

INRO Consultants inc, 1998. EMME/2 User’s manual. Software Release 9. 803 s.

INRO Consultants inc., 2022. Emme [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.inrosoftware.com/en/products/emme/> [Viitattu 15.12.2021].

Kalenoja, H, Vihanti, K, Voltti, V, Korhonen, A, Karasmaa, N, 2008. Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa [verkkodokumentti]. Suomi: Suomen ympäristö. 82 s. Saatavilla: https://www.motiva.fi/files/1986/Liikennetarpeen_arviointi_maankayton_suunnittelussa.pdf [Viitattu 21.9.2021]. ISBN 978-952-11-3170-7

Lehtonen, K, Saarelainen, J, Pitkänen, J-K, Vesajoki, T, Kauhanen, K, 2012. Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavilla: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lts_2012-37_liikenteen_valityskyky_web.pdf [Viitattu 11.1.2022]. 52 s. ISBN 978-952-255-189-4

Merisalo, V, 2020. Luentoaineisto, liikennetekniikan perusteet. Oulu: Oulun yliopisto, Teknillinen tiedekunta. 37 s.

Moilanen, P, Niinikoski, M, Rinta-Piirto, J, Koponen, V, Haapakoski, T, 2014. Valtakunnallinen liikenne-ennustemalli [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121779/lr_2014_978-952-255-437-6.pdf?sequence=1 [Viitattu 21.9.2021]. 46 s. ISBN 978- 952- 255-437-6.

Moilanen, P, Pesonen, H, Metsäranta, H, Haapamäki, T, 2011. Liikenteen strategiset mallit liikennevirastossa [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121228/lts_2011-37_978-952-255-697-4.pdf?sequence=1 [Viitattu 22.9.2021]. 52 s. ISBN 978-952-255-697-4

Nissinen, A, 2020. Luentoaineisto, liikennetekniikan perusteet. Oulu: Oulun yliopisto, Ramboll. 19 s.

Pastinen, V, Salanne, I, Keränen, M, Lehto, M, Jaakkola, E, Tikkanen, M, 2020. Valtakunnallinen liikenteen mallijärjestelmä [verkkodokumentti]. Helsinki: Traficom Saatavissa: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Liikenteen%20valtakunnallinen%20mallij%C3%A4rjestelm%C3%A4.pdf>[Viitattu 22.9.2021]. 137 s. ISBN 978-952-311-485-2.

Särkkä, T, Kalenoja, H, Tefke, J, 2016. Tulevaisuuden liikennemallit ja -ennusteet Kirjallisuusselvitys [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikenne- ja viestintäministeriö. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/75208>[Viitattu 15.9.2021]. 43 s. ISBN 978-952-243-485-2.

Tiehallinto, 2003. Liikennetekninen mallintaminen: nykytila, kehityssuunnat ja mahdollisuudet [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto, Tiehallinnon selvityksiä 28/2003. Saatavilla: <https://docplayer.fi/28898615-Liikennetekninen-mallintaminen-nykytila-kehityssuunnat-ja-mahdollisuudet-tiehallinnon-selvityksia-28-2003.html>[Viitattu 4.10.2021]. 146 s. ISBN 951-803-077-4

Verronen, V, Vesajoki, T, Nissinen, A, 2020. Liikenteen päästötavoitteiden saavuttaminen Oulun seudulla, Loppuraportti [verkkodokumentti]. Oulu: Ramboll Finland Oy. 37 s.

Viren, R, Parantainen, J, Lahti, P, 2005. RIL 165-1 Liikenne ja väylät 1. 158 s. ISBN 951-758-459-8