

Liikenteen toimivuustarkastelujen rakenne



Ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö
Tulevaisuuden liikennejärjestelmät, Riihimäen kampus

Syksy 2023

Mikko Jokinen

Koulutus

Tiivistelmä

Kampus

Tekijä Mikko Jokinen

Vuosi 2023

Työn nimi Liikenteen toimivuustarkastelujen rakenne

Ohjaajat Ville Turunen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli esittää yleiskatsaus liikennevirtojen simulointiin ja liikenteelliseen toimivuustarkasteluun liittyvästä ohjeistuksesta projektityön näkökulmasta sekä selvittää, millaista tarvetta ohjeistuksen päivittämiselle on tulevaisuudessa. Työtä taustoitettiin käymällä läpi nykyistä ohjeistusta, liikennevirtateoriaa, suunnittelu- ja mitoitusperusteita, tiedon käsittelyä ja soveltamista, liikenteellisen toimivuuden käsitteitä sekä toimivuustarkastelun raportille ominaista sisältöä, esittämistapaa ja rakennetta.

Liikenteen toimivuustarkasteluja hyödynnetään liikennesuunnitteluprojekteissa tilanteissa, joissa on tarpeen selvittää liikennejärjestelyjen mitoitusarpeet. Toimivuustarkastelut ja niiden pohjana toimivat liikenneyksiköiden ja -virtojen matemaattiset simulointimallit sijoittuvat liikennesuunnittelun mittakaavassa keskivaiheille, tarkan asemakaavatason ja laajemman liikenneverkon suunnittelun välille. Tarkastelun tulokset ohjaavat projektin edistyessä asemakaavatason jatkosuunnitelmia sekä toimivat päätöksenteon tukena.

Liikenteen simuloinnista ja toimivuustarkasteluista on olemassa runsaasti ohjeistusta, joka keskittyy liikennevirran määritelmiin ja teoriaan. Ohjeista ei ole aiemmin tehty kokoavaa selvitystä käytännön projektityön näkökulmasta. Opinnäytetyön tuloksena havaittiin, että raporteissa on omanlaisensa toistuva rakenne, jota voi käyttää pohjana uusissa projekteissa. Ohjeistusta on mahdollista kehittää selvittämällä simulointiohjelmien uusia ominaisuuksia sekä kartoittamalla asiantuntijoiden ja asiakkaiden mielipiteitä raportoinnista.

Avainsanat liikennevirta, simulointi, toimivuustarkastelu, ohjeistus, raportointi

Sivut 134 sivua

Name of Degree Programme

Abstract

Campus

Author Mikko Jokinen

Year 2023

Subject Structure of traffic functionality reports

Supervisors Ville Turunen

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to research and summarize the most relevant material available for traffic flow simulation with associated project management and reporting. The objective was to find a basic structure and a checklist for traffic simulation project work and to find out needs for future instruction updates. The material consisted of current instructive documentation, traffic flow microsimulation theory and planning, software manuals, traffic functionality reports, illustration examples and project work reporting principles.

Traffic flow microsimulation and functionality analysis are used in traffic planning projects in situations where the need for traffic flow stability and capacity research are applicable. In traffic planning projects, traffic flow simulation and analysis are situated in scope and scale in the middle, between detailed city planning and larger regional traffic network planning. The results of the traffic flow analysis are utilized in follow-up research planning and to support decision making.

The large amount of available documentation for traffic flow simulation and analysis is mostly based on definitions and theory, while the applications and procedures for practical simulation project work have not been researched thoroughly. As a result of the thesis, it was noticed that the reports have a recurring structure which can be used in traffic functionality analysis reports in the future. Documentation can be updated by researching new features for simulation programs and by conducting opinion polls on current reporting.

Keywords traffic flow, simulation, analysis, documentation, reporting

Pages 134 pages

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen taustat, tavoitteet, rajaus ja menetelmät	2
3	Simuloinnin ja toimivuustarkastelun ohjeistus	4
3.1	Ohjeistuksen lähtökohdat	4
3.2	Liikennevirtojen toimivuutta käsittelevät julkaisut	5
3.3	Muut julkaisut.....	6
4	Simulointi liikennevirran tutkimusmenetelmänä.....	8
5	Liikennevirtateoria	11
5.1	Liikennevirtamallien määritelmät.....	11
5.2	Välityskykymallit	13
5.3	Liikennevirtatutkimuksen historia	16
5.4	Liikennemäärän vaihtelu	17
5.5	Nopeuden vaihtelu.....	18
5.6	Ruuhkautuminen	19
5.7	Satunnaisuus.....	19
5.8	Mikrosimulointimallinnus.....	20
6	Suunnittelu- ja mitoituserusteet	24
6.1	Suunnitelmatasot.....	24
6.2	Liittymien suunnittelu	27
6.3	Välityskyky	29
6.4	Toimivuuden tunnusluvut	32
6.4.1	Yleiset tunnuslukujen määritelmät	32
6.4.2	Valo-ohjaamaton liittymä	32
6.4.3	Valo-ohjattu liittymä.....	33
6.5	Liittymien toiminta.....	36
6.5.1	Valo-ohjaamaton liittymä	36
6.5.2	Valo-ohjattu liittymä.....	38
6.5.3	Kääntymiskaistat	39
6.5.4	Kiertoliittymä.....	41
7	Liikenteen toimivuus.....	43
7.1	Toimivuustarkastelun tarve ja arviointimenetelmät	43
7.2	Reaaliaikainen seuranta	44
7.3	Toimivuuden määritelmät.....	46

7.4	Näkökulmat	48
7.5	Toimivuuden mittarit	49
7.6	Mittaustulosten luokittelu.....	51
7.7	Liikenteen palvelutaso	53
7.8	Palvelutaso käsitteenä	55
7.9	Toimivuustiedon hyödyntäminen.....	56
8	Liikenteen mikrosimulointi.....	59
8.1	Toimintaperiaatteet	59
8.2	Mikrosimulointiohjelmat.....	60
8.2.1	Synchro/SimTraffic	60
8.2.2	Paramics.....	62
8.2.3	Vissim.....	64
9	Simulointimalli	71
9.1	Simulointimallin rakenne	71
9.2	Lähtötiedot yleisesti.....	72
9.3	Ominaisuustiedot.....	73
9.4	Liikennemäärätiedot	75
9.5	Liikenneyksiköt	77
9.5.1	Raskas liikenne	77
9.5.2	Jalankulku- ja pyöräilyliikenne	78
9.6	Liikenne-ennusteet ja kysynnän mallintaminen.....	79
9.6.1	Liikenne-ennustemallit	79
9.6.2	Matkatuotoksen arviointi	80
9.6.3	Matkatuotosluvut	82
9.6.4	Ennusteiden ja maankäyttötiedon soveltaminen	84
10	Nykyisen ohjeaineiston sisältö	88
10.1	Lähtökohdat.....	88
10.2	Toimivuuden mittarit ja määritelmät	89
10.3	Ohjeiden tuottamat ratkaisut ja suositukset	92
10.4	Havaitut kehityskohteet käytännön projektityössä.....	93
10.5	Liikenneviraston jatkosuositukset	96
10.6	Ohjeet tarjouspyyntöön ja tilausmenettelyyn	97
10.7	Toimivuustarkasteluraportin sisällön ohjeistus.....	97
11	Raporttien tietosisältö.....	100

11.1	Simuloinnin lähtötiedot.....	100
11.2	Simuloinnin tulostiedot.....	101
11.2.1	Tulostiedot yleisesti.....	101
11.2.2	Jononpituudet.....	102
11.2.3	Liikenteen keskimääräinen nopeus, viivytys ja palvelutaso.....	104
11.2.4	Matka-aika.....	106
11.2.5	Tulosten herkkyytstarkastelu.....	108
11.2.6	Tulosten yhteenveto.....	109
12	Toimivuustarkastelun suunnitteluperiaatteita.....	110
12.1	Toimivuustarkastelutyön lähtökohdat.....	110
12.2	Suunnittelutyön vaiheet.....	111
12.3	Sisällön merkitys ja kysymyksenasettelu.....	113
13	Ohjeistuksen soveltaminen projektityössä.....	115
13.1	Toimivuustarkasteluraportin sisältö.....	115
13.2	Raportin sisällysluettelo.....	116
13.3	Raportin pääotsikot.....	118
13.4	Sisällön tarkkuustaso.....	120
13.5	Sumean logiikan periaate.....	121
13.6	Raportin teksti- ja kuvasisältö.....	123
13.7	Raportointikokonaisuus ja tiedon yhdistäminen.....	126
13.8	Raportin näkökulmat, hahmottaminen ja sisältö.....	128
14	Johtopäätelmät ohjeistuksen kehittämiseksi.....	129
14.1	Yleishavaintoja ohjeistuksesta ja toimivuustarkastelun sisällöstä.....	129
14.2	Nykyisen ohjeistuksen kehittämistarpeet.....	130
14.3	Raporttien vastaavuus ohjeistukseen.....	131
14.4	Yhteenveto ja suositukset jatkotoimenpiteiksi.....	133
	Lähteet.....	135

Kuvat ja taulukot

Kuva 1:	Suuren mittakaavan liikennemalleja (Inro Software 2022a, 2022b).....	15
Kuva 2:	Liikennemäärän vaihtelun komponentit (Luttinen ym. 2005, s. 27).....	17
Kuva 3:	Wiedemannin (1974) psykofyysinen reaktiomalli (PTV Group 2018, s. 33).	22
Kuva 4:	Suunnittelun tasot ja vaiheistus (Liikennevirasto 2016, s. 32).	26

Kuva 5: Tasoliittymien perustyytit (Tiehallinto 2001, s. 11).....	27
Kuva 6: Liikennevirrat nelihaaraliittymässä (Luttinen 2005, s. 239).	37
Kuva 7: Liian lyhyen kääntymiskaistan vaikutus (Liikennevirasto 2016, s. 59).	40
Kuva 8: Toimivuusluokkien yhtenäiset kuvaukset (Tiehallinto 2008, s. 44).	52
Kuva 9: Toimivuusluokittelu sumean logiikan avulla (Tiehallinto 2008, s. 17).	53
Kuva 10: Tien palvelutaso kuvina (Tiehallinto 1991, s. 9).....	54
Kuva 11: Liikenneuhkien aiheuttama matka-ajan kasvu (Vantaan kaupunki 2020)..	58
Kuva 12: Paramics-simulointi (SYSTRA Ltd. 2022).	63
Kuva 13: Vissim-simulointimallin yksityiskohtaisuutta (PTV GROUP 2022).....	65
Kuva 14: Etuajo-oikeus- ja konfliktialueet (PTV GROUP 2022).	66
Kuva 15: Vissim-simulointiajojen tulostietoa taulukkomuodossa (PTV GROUP 2022)..	68
Kuva 16: Vissim-simuloinnin tulostietoa (PTV GROUP 2022).....	69
Kuva 17: Vissim-simulointiajon tulosten taulukointi (PTV GROUP 2022).....	70
Kuva 18: Simulointimalli matriisimuodossa (Háznagy 2016, Fig. 3).....	71
Kuva 19: Katuverkon ominaisuustietoja (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2017).	74
Kuva 20: Valtakunnallisen liikenne-ennusteen lähtökohdat (Traficom 2022, s. 3).....	80
Kuva 21: Neliporrasmallin rakenne (Kalenoja ym. 2008, s. 13).....	81
Kuva 22: Pääkaupunkiseudun yhdyskuntarakenne (Suomen ympäristökeskus 2017)..	86
Kuva 23: Kulkutapajakauma vuonna 2016 (Liikennevirasto 2018a, s. 3).	87
Kuva 24: Ennustemalli ja liikennemäärätietojen vertailu (Ramboll 2020, s. 7).	101
Kuva 25: Keskimääräinen ajonopeus vertailussa (Ramboll Oy 2021, s. 10).....	105
Kuva 26: Liittymän palvelutasot (Sitowise Oy 2021, s. 42).	106
Kuva 27: Matka-ajan jakauman esittäminen kaaviona (Ramboll Oy 2021, s. 11).....	107
Kuva 28: Tulosten yhteenveto (Sitowise Oy 2019, s. 28).....	109
Kuva 29: Tuplatimantti-prosessimalli (Innanen 2008).....	111
Kuva 30: Kysymyksenasettelu suunnittelussa (Luoma-aho 2022).	113
Kuva 31: Havainnollistava kuva simulointimallista (WSP Finland 2022b, s. 6).	125
Kuva 32: Jononpituus- ja palvelutasotietojen esittäminen (WSP Finland Oy 2022a)..	126
Kuva 33: Toimivuustiedon näkökulman muokkaaminen (WSP Finland Oy 2022a).	127
Taulukko 1: Valo-ohjaamattoman liittymän luokitukset (Tiehallinto 2001, s. 20).....	33
Taulukko 2: Valo-ohjatun liittymän luokitukset (Tiehallinto 2001, s. 27).....	35

1 Johdanto

Liikennevirtojen simulointi ja siitä johdettu liikenteellinen toimivuustarkastelu ovat osa liikennesuunnittelun projektitöitä, joissa selvitetään liikennejärjestelyiden mitoitustarpeet. Liikennevirtojen simulointi mahdollistaa monimutkaisten liikenneympäristöjen mallinnuksen ja kohdealueen liikenteellisen toimivuuden tarkastelun. Toimivuustarkastelun tulokset ohjaavat liikennejärjestelyiden jatkosuunnittelua ja päätöksentekoa. Simulointi ja liikenteellinen toimivuustarkastelu sijoittuvat liikennesuunnittelun mittakaavassa keskivaiheille, tarkan asemakaavatason ja laajemman liikenneverkon suunnittelun välille. Liikennesuunnittelun projektityön kannalta aihealue sisältää tietojenkäsittelyyn, havainnointiin ja kokonaisuuksien hallintaan liittyviä teemoja, jotka tarvitsevat tuekseen vakiintunutta ohjeistusta ja monipuolista tausta-aineistoa.

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä on selvittää, millaista liikenteellisen toimivuustarkastelun ohjeistusta suunnittelijoilla on käytettävissään ja millaista kehittämistarvetta ohjeistukselle on tulevaisuudessa. Työssä esitetään yleisellä tasolla simulointiprojekteissa tarvittava teoria ja sen soveltaminen, simuloinnin tärkeimmät taustatiedot sekä toimivuustarkastelun raportointiin liittyvä tietosisältö ja yleisrakenne. Tavoitteena on vastata kysymykseen, onko nykyisten liikennesuunnitteluprojektien toteutuksen kannalta tarvetta kehittää liikenteellisen toimivuustarkastelun ohjeistusta.

Opinnäytetyön alkuosan tietoperustassa käsitellään nykyistä ohjeistusta sekä liikennevirtateorian keskeisimpiä käsitteitä. Työn keskiosassa käydään läpi ohjeistuksen ja liikennevirtateorian soveltamista käytäntöön liikenteen mikrosimulointimallinnuksessa, toimivuustarkastelussa ja liikenteellisen toimivuuden raportoinnissa. Työssä käsitellään lisäksi erilaisia hyviksi havaittuja ja vakiintuneita lähestymistapoja simuloinnin ja toimivuustarkastelun sisältöön, tietomäärän hallintaan sekä simuloinnilla selvitettävän asian hahmottamiseen esimerkiksi kysymyksenasettelun, työn vaiheistuksen ja tiedon visualisoinnin kautta. Lopuksi esitetään suositus toimivuustarkasteluraportin sisällöstä ja rakenteesta sekä johtopäätelmät ohjeistuksen kehittämisestä.

2 Tutkimuksen taustat, tavoitteet, rajaus ja menetelmät

Liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun työtehtävät ovat luonteeltaan tietojenkäsittelyyn, havainnoimiseen, kirjoittamiseen ja liikenteellisen toimivuuden kuvaamiseen liittyviä. Laajan tietokokonaisuuden hallinta suunnittelutyössä tuo tarpeen aihealueen ajantasaiselle ja luotettavalle ohjeistukselle, jonka avulla vaikutetaan liikennesuunnittelun tuottaman materiaalin yhtenäisyyteen ja laatuun.

Liikennesuunnittelun tilaajahaastatteluissa liikenteellistä toimivuutta käsittelevien projektitöiden suurimmaksi puutteeksi on aiemmin koettu tehtyjen töiden raportointi sekä yhtenäisen käytännön puute ohjeistuksessa (Lehtonen ym., 2012, s. 11), mikä osaltaan on johtanut tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksen muodostumiseen. Lisäksi liikenteen simuloinnin ja toimivuustarkastelun lähdemateriaalia yhteen kokoavaa selvitystä ei ole aiemmin tehty. Liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun ohjeistusta ja muuta dokumentointia ei ole päivitetty virallisilta tahoilta kymmeneen vuoteen, mikä osaltaan on antanut aihetta jatkoselvitykselle.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun projektityössä käytettävää ohjeistusta ja ohjeiden kehitysmahdollisuuksia. Työ toimii tietoperustaa kokoavana julkaisuna liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkasteluiden selvityksille ja ohjeiden kehittämiseksi.

Opinnäytetyö perustuu yli seitsemän vuoden tuomaan työkokemukseen konsulttialan simulointiprojekteissa. Näkökulma on siten työelämälähtöinen ja olemassa olevaa ohjeistusta sekä simuloinnin keinoin tuotettavaa tietoa soveltava. Työ on sisällöltään aihealueen tietoperustaa erilaisten lähestymistapojen kautta kokoava yleiskatsaus, jossa keskitytään ohjeistuksen, tietojenkäsittelyn, tiedon soveltamisen ja projektityön raportoinnin näkökulmiin; tarkemmat liikennevirtojen dynamiikkaa määrittelevät laskukaavat ja simulointimallinnuksen yksityiskohdat on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Työn lähdemateriaali tarjoaa linkkejä yksityiskohtaisempaan tietoon.

Opinnäytetyön tutkimusaineisto koostuu vuosina 1991–2013 julkaistuista liikennevirtojen toimivuutta ja sujuvuutta käsittelevistä ohjeista ja selvityksistä sekä niiden tietopohjalta

rakentuvista liikenteen toimivuustarkasteluraporteista. Toimivuustarkasteluraporttien sisällön vähimmäisvaatimuksista ja niiden rakenteesta on olemassa Liikenneviraston ohjeistusta vuosilta 2012 ja 2013; tarkempaa tutkimusta toimivuustarkasteluraporttien sisällöstä ja projektitöiden raportointiin liittyvistä käytännöistä ei ole olemassa. Työssä käsitelty toimivuustarkasteluaineisto koostuu vapaasti saatavilla olevista tutkimuksista ja raporteista, joista on nostettu esille usein toistuvia ja hyviksi havaittuja liikenteellisen toimivuuden mittareita ja tiedon esittämistapoja.

3 Simuloinnin ja toimivuustarkastelun ohjeistus

3.1 Ohjeistuksen lähtökohdat

Liikennevirtoja käsittelevien julkaisujen lähtökohdana on ollut 1990-luvun alussa tarve liikenteen toimivuuden havainnollistamiseen ja palvelutason käsitteen määrittelyyn; havainnollistamisen keinoja käytetään tukemassa muun aineiston käyttöä liikenteellistä toimivuutta käsittelevissä asiakastapaamisissa ja muissa yleisötilaisuuksissa. Palvelutason käsite puolestaan toimii yksinkertaistavana liikennevirtojen sujuvuuden ja toimivuuden yhteenvedona. Liikennevirtoja käsittelevät julkaisut ovat vuosien mittaan edenneet liikennevirtateoriaan ja siihen liittyvien käsitteiden tarkempaan määrittelyyn. Viimeisimmät selvitykset ovat käytännönläheisempiä ja toimivat liikennesuunnittelussa käytännön projektityötä tukevana apuvälineenä.

Liikenteellistä toimivuutta on ollut mahdollista tutkia yksityiskohtaisilla liikennevirtojen simulointiohjelmilla 1990-luvulta alkaen. Simuloinnissa käytettävä liikenteellisen palvelutason mittari perustuu 1950-luvulla Yhdysvalloissa julkaistuun Highway Capacity Manual –käsikirjaan, joka on toiminut keskeisenä aineistona sitä seuranneille liikennevirtojen toimivuutta käsitteleville julkaisuille.

Liikenteellinen toimivuustarkastelu voidaan toteuttaa joko analyyttisten laskentamallien tai liikennevirtojen simuloinnin avulla. Liikennevirtojen toimivuutta tutkitaan simulointiohjelmilla, jotka perustuvat aikaisempien analyyttisten laskentamallien sovelluksiin ja joiden avulla jäljitellään todellisia liikenteellisiä ilmiöitä. Simulointiohjelmat ovat kehittyneet viimeisten vuosikymmenten tietoteknisen kehityksen myötä analyyttisistä laskentamalleista yhä tarkempaan liikenneyksiköiden vuorovaikutuksen mikrosimulointimallinnukseen.

Ohjeistukseen ja suunnittelutyöhön liittyy ohjelmien ja mallinnuksen lisäksi useita liikenteen toimivuuden sanallisia määritelmiä, tunnuslukuja ja mittareita. Osa toimivuustarkastelu- projekteihin sisältyvistä määritelmistä on vakiintuneita käytäntöjä ja suosituksia, osaa käytetään tilanteen mukaan, kun monimutkaisen järjestelmän toimivuutta on tarpeen selostaa helposti ymmärrettävässä muodossa.

3.2 Liikennevirtojen toimivuutta käsittelevät julkaisut

Liikennevirtojen simuloinnista ja toimivuustarkasteluista on olemassa jonkin verran vuosina 1991–2013 julkaistuja Tielaitoksen, Tiehallinnon ja Liikenneviraston (nykyinen Väylävirasto) selvityksiä ja ohjeita, joissa on tutkittu liikenteen sujuvuuden, toimivuuden ja palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita, liikennevirran ominaisuuksia sekä liikenteen välityskykytarkastelun ja toimivuuden arvioinnin käytäntöjä. Julkaisuissa käsitelty aihealue on edennyt liikennevirran teoriasta, termien määrittelystä ja suuresta mittakaavasta kohti tarkempaa ja soveltavampaa, asemakaavatason projektityössä hyödynnettävää ja käytännönläheistä suunnitteluohjeistusta. Selvitysten tulokset antavat yhtenäisen menettelyn ja laatuvaatimukset liikenteen välityskyvyn ja toimivuuden tarkasteluihin sekä liikennevalo-ohjauksen suunnitteluun. Ohjeiden soveltamista käytännön projektityöhön ei ole aiemmin laajamittaisesti tutkittu.

Ensimmäiset liikennevirtoja käsittelevät selvitykset keskittyvät liikenteen sujuvuuden, palvelutason ja toimivuuden määrittelyyn ja teoriaan. Aiheesta on julkaistu suunnittelua ohjaava julkaisu Tien palvelutaso kuvina (Tielaitos 1991), Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen –selvitys (Tielaitos 1998), Liikenteen palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita –esiselvitys (Tiehallinto 2003), Tieliikenteen palvelutason määrittäminen: Katsaus Euroopan maiden käytäntöihin (Tiehallinto 2007) sekä Tieliikenteen toimivuuden määrittely, tunnusluvut ja mittaaminen (Tiehallinto 2008). Liikennevirran teoriaa on käsitelty kattavasti Liikennevirran ominaisuudet –julkaisussa (Luttinen ym., 2005).

Simulointia käsittelevä ohjeistus koostuu pääosiltaan Liikenneviraston vuoden 2012 ja 2013 julkaisuista, jotka sisältävät käytännön projektityössä hyödynnettäviä suosituksia ja ohjeita. Liikennevirasto julkaisi vuonna 2012 esiselvityksen liikenteen välityskykytarkastelukäytännöistä. Selvitys koostuu suomalaisten tilaajatahojen ja konsulttitoimistojen edustajien haastatteluista, joiden perusteella saatiin yleiskuva Suomessa käytettävistä ohjelmistoista, muista menetelmistä sekä niiden käyttökohteista. Samalla kartoitettiin osapuolten näkemyksiä siitä, missä tilanteissa ja millä edellytyksillä ohjelmistoja voidaan käyttää. (Lehtonen ym., 2012, s. 3.) Lisäksi on valmistunut Liikenneviraston selvitys suuria liikennevirtoja aiheuttavien kohteiden suunnitteluun (Jokela ym., 2012), joka kuvaa vaiheittaisen suunnitteluprosessin sisältöä dokumentointineen.

Välityskykytarkastelukäytäntöjä käsittelevän esiselvityksen jälkeen Liikennevirasto julkaisi vuonna 2013 yhtenäisen menettelyn tieliikenteen toimivuustarkasteluihin, kun suunnitellaan maankäyttöä maantien läheisyyteen tai halutaan selvittää tieliikenteen palvelutasoa. Ohje käsittelee toimivuustarkastelun määritelmiä, tarkastelun tarvetta ja -menetelmiä, tarvittavia lähtötietoja sekä tarkastelun suorittamista ja tuloksia. Maanteiden liittymien ja linjaosuuksien välityskykyä koskevat toimivuustarkastelut tehdään Tieliikenteen toimivuuden arviointi –ohjeen mukaisesti: ”Ohjetta voidaan käyttää laatuvaatimuksena toimeksiannoissa, joita tieviranomaisen tai maantien läheisen alueen maankäytön kehittäjä teettää. Ohje koskee lähtötietojen hankintaa, tarkasteltavan alueen rajausta, laskentaohjelman ja menetelmän valintaa, tarkastelun suorittamista ja tulosten raportointia sekä toimeksiantojen tilauskäytäntöjä ja aineiston arkistointia”. (Liikennevirasto 2013, s 3.)

3.3 Muut julkaisut

Liikenteellisten toimivuustarkastelujen toteuttamista tukevat lisäksi muut liikennevirtoihin läheisesti liittyvät julkaisut, jotka käsittelevät esimerkiksi maankäyttöennusteiden tuottamia matkatuotoslukuja sekä liikennevalojen mallintamista. Maankäyttötietojen ja ennusteiden avulla simulointimalliin saadaan määriteltyä toimintojen laskennallinen liikennetuotos. Liikennetuotoslaskelmiin liittyen Ympäristöministeriö on julkaissut ohjeen ”Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa” (Kalenoja ym., 2008) maankäytön matkatuotoslukujen laskemiseen, jonka tietoja ja laskukaavoja hyödynnetään edelleen useissa maankäyttötietoja sisältävissä simulointiprojekteissa.

Henkilöliikennetutkimukset vuosilta 2016 ja 2021 täydentävät vakiintunutta vuoden 2008 matkatuotoslaskelmien ohjeistusta uudemmilla taustatiedoilla. Liikennesuunnittelussa sovellettavaa ja aiempiin laskukaavoihin nähden vertailukelpoista tietoa ovat esimerkiksi kaupunkiseutujen kulkutapajakaumat, joiden osuuksissa on havaittavissa eroja ja kehityskulkuja tutkimusvuosien välillä. Henkilöliikennetutkimusta on tehty vuodesta 1974 alkaen noin kuuden vuoden välein; tiedonkeruu jatkuu syksyllä 2023 (Traficom 2023).

Liikennevalojen suunnittelussa on olemassa vuonna 1995 julkaistu ja ajoittain päivitetty Liikenneviraston LIVASU-ohje, jonka viimeisin versio on vuodelta 2022. Viimeisimpään ohjeeseen on päivitetty tieliikennelain, valtioneuvoston asetuksen 379/2020, Liikenne- ja

viestintäviraston määräysten sekä Väyläviraston uusimpien ohjeiden vaikutukset liikennevalojen suunnitteluun. LIVASU-ohjeen tietoja voidaan hyödyntää simuloinnin kautta tutkittavassa maankäytön ja valoliittymien suunnittelussa; simulointituloksia voidaan puolestaan käyttää liikennevaloliittymien valo-ohjelmoinnin kehittämisen tukena.

LIVASU-ohjeen lisäksi useat kaupungit hyödyntävät liikennevalojen suunnittelussa SYVARI-ohjeen suunnittelutapaa. SYVARI eli synkronoitu vaiherinki on ensimmäinen vakioitu tapa suunnitella ja ohjelmoida joukkoliikenteen liikennevaloetuuudet. SYVARI on rakenteeltaan moduulinen ja sen keskeiset toiminnot ovat valojen vaiheringin synkronointi ja joukkoliikenteen etuustoiminnot. Lisäksi SYVARI-ohjausta voidaan soveltaa ruuhkan purkamisessa ja raskaan liikenteen pidennyksissä. SYVARI-ohjauksen runkona on aina normaalin valojen erillisohjauksen perustoiminnot opastinryhmineen. Liikennevalojen valmistajat ovat vakioineet SYVARIN ohjauskojeisiin, mikä on tehnyt joukkoliikenteen etuuksien suunnittelusta täsmällistä ja yhdenmukaista. (Salonen, M. 2010, s. 2., s. 15)

4 Simulointi liikennevirran tutkimusmenetelmänä

Simulointi on matemaattiseen mallinnukseen perustuva tutkimusmenetelmä, jonka avulla voidaan jäljitellä järjestelmän toimintaa analyttistä mallia tarkemmin. Simulointi on käyttökelpoinen työväline tutkittaessa monimutkaisia ja laajoja kohteita, joissa liikenneyksiköillä ja -virroilla on paljon keskinäisiä vuorovaikutuksia. Simulointimallin avulla pystytään suodattamaan mittausten satunnaisvaihtelua sekä tutkimaan järjestelmän toimintaa tilanteissa, joita ei ole mitattu tai joita ei käytännössä ole mahdollistakaan mitata. Tulosten avulla saadaan selvitettyä kohdealueen liikenteellinen toimivuus erilaisilla liikennemäärillä ja -järjestelyillä. Yksittäisten muutosten vaikutukset tulostiedoissa ovat simuloinnin sisäisessä logiikassa vertailukelpoisia, mikä helpottaa parhaiten toimivan ja muilta osin toteuttamiskelpoisen ratkaisun määrittämistä toimivuustarkasteluraportin johtopäätelmissä.

Simuloinnilla tarkoitetaan todellisen ilmiön jäljittelemistä mallin avulla. Simulointikohteen mallintamisen tavoitteena on selvittää, kuinka erilaisilla suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa liikenteen sujuvuuteen. Simulointiohjelman avulla voidaan jäljitellä monimutkaisten järjestelmien tai tiettyjen järjestelmän yksityiskohtien toimintaa tarkasti sekä vertailla erilaisia ratkaisuja täsmälleen samassa liikennetilanteessa. Simuloinnin tavoitteiden tulee olla selkeitä, minkä vuoksi projektin etukäteissuunnitteluun ja ohjaukseen on varattava riittävästi aikaa.

Liikennevirtojen simuloinnissa on olennaista tarkastelun dynaamisuus ja toimivuutta määrittävä aikaulottuvuus, jossa simulointimallin avulla seurataan liikennevirrassa tapahtuvia muutoksia ajan funktiona. Liikenteen mikrosimuloinnissa on mukana satunnaisvaihtelua, jota aiheuttavat kuljettajien ja ajoneuvojen ominaisuudet sekä liikenneyksiköiden eli matkojen satunnaiset saapumisajat tarkastelualueelle. Sisäänrakennetun satunnaisuuden vuoksi simulointiajojen tulokset kuvaavat liikennejärjestelyjä eniten kuormittavaa tilannetta keskimääräisesti ja ovat siten aina jossain määrin tasapainotettuja arvioita järjestelmää eniten kuormittavasta tilanteesta.

Simuloinnin haasteena on mallien realismi eli kyky kuvata oikeita ja ongelman kannalta tärkeitä vuorovaikutussuhteita; simuloinnin tulosten on vastattava ominaisuuksiltaan

tutkimuksen kohdetta, mikä vaatii huolellista ja tarkkaa simulointimallin ja liikenneyksiköiden käyttäytymisen ja niiden välisen vuorovaikutuksen kalibrointia. Simulointi ei paljasta suureiden välisiä riippuvuuksia kuten analyttinen malli, mutta toisaalta se kuvaa liikennevirran dynamiikkaa monipuolisemmin ja yksityiskohtaisemmin. Simulointitulosten analysointi edellyttää mallin ominaisuuksien tuntemista ja tarkastelun kattavaa dokumentointia, jotta mallin soveltuvuus, mahdolliset puutteet ja tulosten tulkitseminen ovat määriteltävissä ja jotta simuloinnin tulokset ovat vertailukelpoisia muiden mallien tulosten ja palvelutasokriteerien kanssa.

Liikenteellinen toimivuustarkastelu toteutetaan virallisen suunnitteluohjeistuksen menettelyjen mukaisesti. Simulointia ja toimivuustarkastelua sisältävään projektityöhön liittyy olennaisena osana liikennevirtojen tietomallinnuksen ja sen tuottaman tulostiedon luotettavuuden jatkuva arviointi. Lisäksi liikenteellisen toimivuuden käsitteet, kuten palvelutaso, ovat luonteeltaan epämääräisiä arvioita, vaikka ne muodostuvatkin loogisesti mikrosimulointimallinnuksen tuloksista. Simulointia sisältäviin liikennesuunnittelutöihin sisäänrakennettu arvioinnin tarve aiheuttaa siten tiettyjä rajoitteita ohjeistuksen sisällön yksityiskohtaiselle kehittämiselle tulevaisuudessa.

Toisin kuin monissa muissa liikennesuunnittelun työkaluissa, liikennevirtojen simuloinnissa on aina mukana menetelmään olennaisesti kuuluvaa epätasaisuutta. Simulointi tuottaa muodollisesti tarkkoja lukuja, mutta liikenteen välityskyky- ja palvelutasolaskelmiin sisältyy monia epävarmuustekijöitä, jotka aiheutuvat lähtötietojen, ennusteiden, mallin parametrien, simulointiajojen ja rakenteen epätarkkuuksista sekä liikennevirralle ominaisesta satunnaisuudesta. Lisäksi tienkäyttäjien näkemykset palvelutasokriteereistä voivat poiketa merkittävästi asiantuntijoiden näkemyksistä. Mallinnuksessa on rajattava pois merkityksettömiä yksityiskohtia, joiden vaikutus katoaa tietomallin epätarkkuuksiin. Luttisen ym. mukaan (2005, s. 316) "tulevassa tutkimuksessa onkin kohdattava paradoksi, joka liittyy sekä kasvavaan tarkkuuden tarpeeseen että lisääntyvään ymmärrykseen mallien väistämättömästä epätarkkuudesta".

Suomessa liikenteen toimivuustarkastelut liittyvät ratkaisuiden yhteiskuntataloudellisten vaikutusten selvittämiseen. Hankkeen mitoituksessa palvelutasolla ei ole määräävää roolia, vaan ratkaisevia ovat hankkeesta saatavat hyödyt suhteessa sen kustannuksiin. Koska

tienkäyttäjien odotukset ja laskentamenetelmät ovat epätarkkoja, Luttisen ym. mukaan (2005, s. 316) lähestymistapaa voidaan pitää tarkoituksenmukaisena. Liikennetelematiikan kehittyminen sekä liikenteen uudet palvelut ja sovellukset tuovat uusia mahdollisuuksia liikennevirtateorian entistä kattavampaan mallinnukseen, mikä auttaa ymmärtämään liikennevirran käyttäytymistä ja toimivuuden vaikutusta liikennesuunnittelutyöhön. Teknologian hyödyntäminen uusilla tavoilla tulee olemaan entistä tärkeämmässä asemassa, kun mahdollisiin liikenteen toimivuusongelmiin etsitään nopeasti ja taloudellisesti tarkistettavia ratkaisuja.

5 Liikennevirtateoria

5.1 Liikennevirtamallien määritelmät

Liikennevirralla tarkoitetaan liikenneväylällä tai kaistalla yhteen suuntaan kulkevia liikenneyksiköitä, kuten ajoneuvoja tai jalankulkijoita. Liikennevirtateoria auttaa ymmärtämään liikenteen ilmiötä; teorian avulla kuvataan liikennevirran matemaattisia ominaisuuksia ja lasketaan liikenteen sujuvuutta kuvaavia tunnuslukuja. Liikennevirtateorian laskentakaavojen pohjalta on luotu erilaisia liikenteen välityskykyä ja liikennevirtojen käytännön toimivuutta simuloivia malleja ja sovelluksia. Liikennevirran riippuvaisuuksia voidaan tarkastella joko makroskooppisesti nestemäisenä virtauksena tai mikroskooppisesti yksittäisen ajoneuvon liikkeenä tai ajoneuvojen välisinä vuorovaikutuksina.

Mikroskooppiset ja makroskooppiset mallit kuvaavat samaa ilmiötä, mutta eri näkökulmista. Mallien matemaattinen yhteys osoitettiin 1960-luvulla ja siitä johdettiin yleistetty liikennevirtamalli. Löytö oli tärkeä liikennevirtateorian yhtenäisyyden kannalta, koska se tarjosi mahdollisuuden mikroskooppisten mallien kalibrointiin ja arviointiin yksinkertaisia perussuureita mittaamalla. Mallien välisen riippuvuuden kautta voidaan selvittää mikroskooppisen mallin tuottama nopeus-tiheysriippuvuus; jos mitatut nopeus- ja tiheysarvot eroavat huomattavasti toisistaan, mikroskooppisen mallin todenmukaisuus on kyseenalaista. (Luttinen ym. 2005, s. 135.)

Liikennevirtateorian työkaluina käytetään todennäköisyyslaskentaa, jonoteoriaa, virtausmekaniikkaa ja simulointia. Palvelutasoa koskevat tutkimukset painottuvat käyttäytymistieteelliseen näkökulmaan. (Luttinen ym. 2005, 12.) Makroskooppisen liikennevirtateorian tuottamilla työkaluilla kuvataan liikennevirran ominaisuuksia, toimintaa ja riippuvaisuuksia. Teorian avulla voidaan lisäksi arvioida tien ruuhkautumisen mahdollisuutta, kestoa ja vaikutuksia. Makroskooppinen liikennevirtateoria on liikennevirran ymmärtämisen keskeinen teoreettinen perusta, jonka tuloksia hyödynnetään liikenteen ohjauksessa, informaatiojärjestelmissä ja simuloinnissa. (Luttinen ym. 2005, s. 47.)

Makroskooppinen liikennevirtateoria tutkii liikennevirran keskimääräisiä ominaisuuksia. Liikennevirran perussuureet ovat liikennetiheys, liikennemäärä ja keskinopeus. Jos kaikki

liikenneyksiköt liikkuvat samalla tasaisella nopeudella, liikennevirtaa voidaan havainnollistaa putkessa virtaavana nesteenä. Kyseessä on staattinen liikennevirtamalli, joka kuvaa liikennevirran perussuureiden välisiä riippuvaisuuksia. Todellisuudessa liikenneyksiköiden nopeudet, liikennetiheys ja liikennemäärä vaihtelevat, vaikka liikennevirran keskimääräiset ominaisuudet eivät muuttuisikaan. Tarkemmassa simuloinnissa liikennevirtaa on siten tarkasteltava sekä etäisyyden että ajan suhteessa sekä yksittäisten liikenneyksiköiden kulkuna etäisyys-aikakoordinaatistossa. (Luttinen ym. 2005, s. 48–49.)

Sekä kinemaattiset että dynaamiset makroskooppiset liikennevirtamallit perustuvat nestevirtausanalogiaan, jossa voidaan hyödyntää virtausmekaniikan teorioita. Mallien perustana ovat virtauksen jatkuvuusyhtälö ja liikeyhtälö. Kinemaattiset liikennemallit kuvaavat liikennevirran muutoksia virtauksen jatkuvuuden periaatteen avulla – jatkuvassa virtauksessa ei katoa tai synny ajoneuvoja. Dynaamiset liikennevirtamallit ottavat lisäksi huomioon ajoneuvojen kiihtyvyyden. Molemmat mallit kuvaavat liikennevirran kehitystä ajan ja paikan suhteen, joten niillä on merkitystä liikenteen ohjaus- ja informaatiojärjestelmissä. Kinemaattiset mallit kuvaavat liikennettä, joka on jatkuvasti liikennetiheyden edellyttämässä tasapainotilanteessa; dynaamiset mallit olettavat tasapainotilanteen syntyvän vasta ajoneuvojen sopeuduttua liikennetiheyden muutokseen. Molemmat mallit antavat kuitenkin samanlaisia tuloksia vakaisissa liikenneolosuhteissa. Sen sijaan liikennetiheyden muuttuessa nopeasti mallit antavat erilaisia tuloksia. (Luttinen ym. 2005, s. 69, s. 73, s. 75, s. 83.)

Mallinnuksen tuloksiin vaikuttavat muun muassa kinemaattiset aallot, jotka ovat kuljettajan tai tarkkailijan havaittavissa olevia ajoneuvotiheyden vaihteluita, jotka liikkuvat tiellä eteenpäin tai taaksepäin ja joihin yksittäiset ajoneuvot liittyvät ja poistuvat. Ajoneuvojen kuljettajat voivat havaita ajoneuvotiheyden vaihtelut liikkumisväljyyden muutoksina. Siirtyessään tiheydestä toiseen ajoneuvo muuttaa nopeutensa välittömästi kyseistä tiheyttä vastaavaksi nopeudeksi. (Luttinen ym. 2005, s. 73, s. 75)

Makroskooppisen liikennevirtateorian keskeisimpiä haasteita on selittää liikennetiheyksien muutosten lainalaisuuksia. Kinemaattinen teoria perustuu oletukseen, että liikennevirta on jatkuvasti tasapainotilassa, jossa keskinopeus on liikennetiheyden funktio; teoria ei ota huomioon dynamiikan lainalaisuuksia, josta seurauksena on shokkiaaltoja, eli

liikennetiheyden epäjatkuvuuskohtia, joissa nopeus liikennevirrassa muuttuu äkillisesti. (Luttinen ym. 2005, s. 80.)

Kiinnostavimpia mallinnuskohteita ovat tilanteet, joissa liikennetiheys muuttuu nopeasti niin, että kinemaattiset ja dynaamiset liikennemallit antavat erilaisia tuloksia. Merkittävin ero on liikennetiheyksien rajakohtien mallintamisessa: dynaamiset mallit loiventavat liikennevirran tiheyden ja keskinopeuden muutoksia mutta ne voivat aiheuttaa epäjatkuvuuksia sekä kinemaattisia aaltoja, joiden nopeus on suurempi kuin liikennevirran nopeus. Koska kinemaattiset mallit ovat jatkuvassa tasapainotilassa, ne eivät puolestaan kuvaa ruuhkautuneen liikenteen epävakaita ilmiöitä kuten pysähtyvien ja liikkeelle lähtevien liikenneyksiköiden aaltoliikettä eli paikallisia ruuhkakeskittymiä. (Luttinen ym. 2005, s. 83.)

5.2 Välityskykymallit

Välityskykymallit ovat erilaisiin laskentakaavoihin ja liikennevirran ominaisuuksiin perustuvia makromalleja, jotka käsittelevät liikennettä yhtenäisenä virtauksena. Makromallit eivät erottele yksittäisiä ajoneuvoja tai tapahtumia liikennevirrassa – ne käsittelevät liikennevirtaa yhtenäisenä ja jatkuvana ilmiönä, jonka käyttäytyminen on riippuvainen ajoneuvomäärästä ja -tiheydestä sekä vallitsevista olosuhteista, kuten kaistamäärästä ja geometrian rajoituksista. Mikrosimulointimallit ovat puolestaan toimivuustarkasteluissa sovellettavia tarkemman tason malleja, jotka erottelevat yksittäisten ajoneuvojen ja kuljettajien keskinäisiä sekä liikenneympäristön vuorovaikutussuhteita. (Lehtonen ym., 2012, s. 9–10.)

Liikennevirtamallit luokitellaan tarkastelun yksityiskohtaisuuden perusteella seuraavasti (Luttinen ym. 2005, s. 12 & Lehtonen ym., 2012, s. 10):

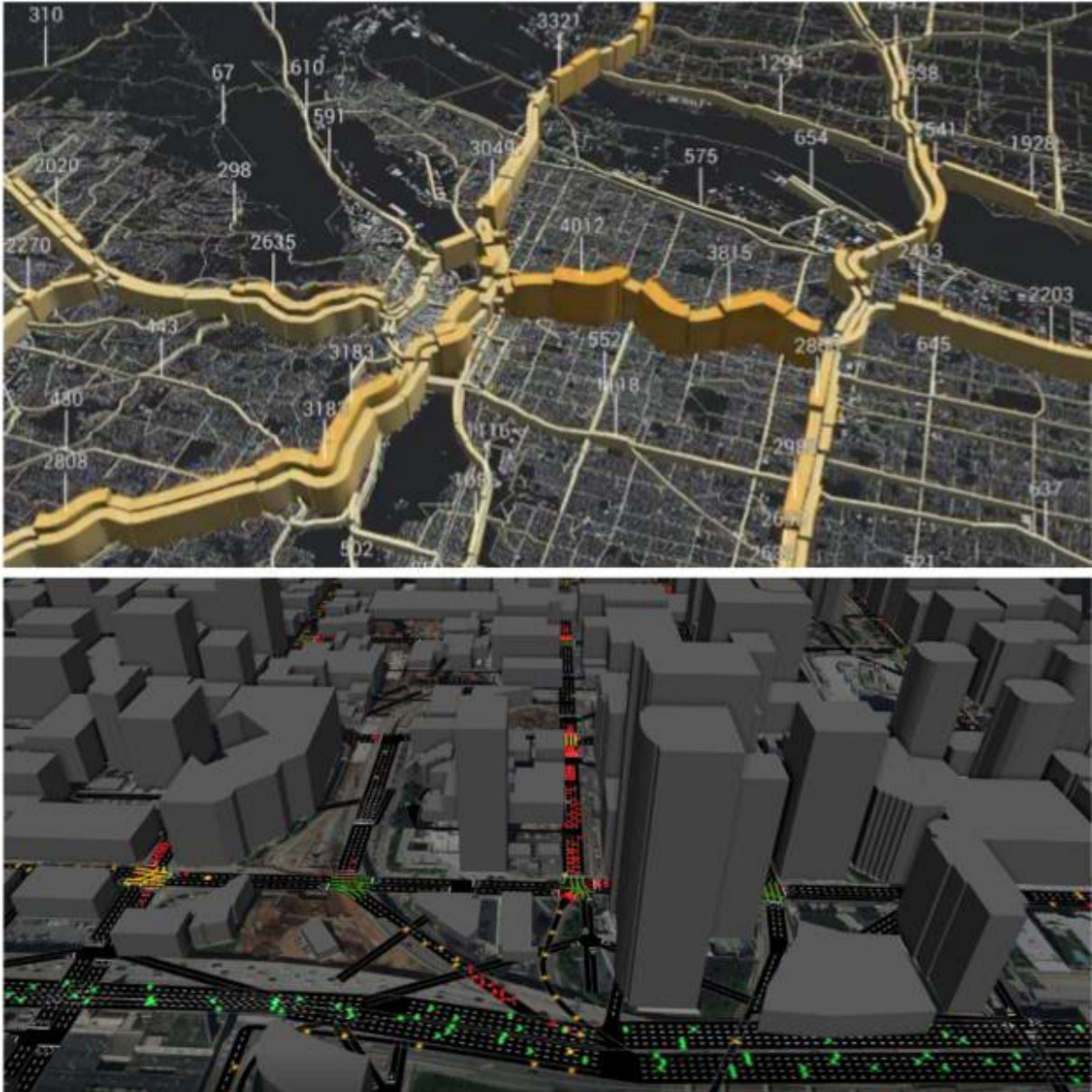
- Mikrokooppiset mallit perustuvat yksittäisten liikenneyksiköiden tarkasteluun. Pääpaino on yleensä ajodynamiikan ja ajoneuvojen keskinäisen vuorovaikutuksen kuvaamisessa. Mikrosimuloinnin tarkastelualue kattaa yleensä yksittäisen tien ja muutaman risteyksen. Mikrokooppisen mallin simulointiohjelmiä ovat mm. Vissim ja Paramics.
- Makrokooppiset mallit kuvaavat väylän tai sen osan liikennevirran keskimääräisiä ominaisuuksia sekä niiden muutoksia ajan ja paikan suhteen. Makrokooppisilla

- malleilla voidaan kuvata esimerkiksi ruuhkatilanteita. Makrotasolla ei mallinneta yksittäisiä vuorovaikutuksia vaan tutkittavia yksiköitä käsitellään joukkoina ja liikenne käsitellään yhtenä virtana. Makrotaso mallintaa liikennettä kaupunkiseutujen mittakaavassa. Makroskooppisia simulointimalleja ovat mm. Visum ja Emme.
- Mesoskooppiset mallit sijoittuvat näiden mallityyppien väliin. Mesoskooppisilla malleilla kuvataan liikenteen vuorovaikutuksia yleisemmällä tasolla, perustuen esimerkiksi todennäköisyysjakaumiin. Mesoskooppinen malli ei kuvaa yksittäisiä ajoneuvojen vuorovaikutuksia, vaan ajoneuvoryhmien liikkeitä. Mallinnus on kaupunkikeskustan tai pienen kaupungin mittakaavassa. Mesotason simulointimalleja ovat mm. Dynameq ja Contram.

Makroskooppisten mallien liikennemäärätietoja hyödynnetään liikenteen mikrosimuloinnin lähdemateriaalina ennustetilanteissa, joissa tutkitaan liikennevirtojen yleistä toimivuutta kymmenien vuosien aikaperspektiivillä. Mesoskooppiset mallit kuvaavat liikennevirtojen karkean tason toimivuutta; useimmissa tapauksissa ne eivät korvaa mikrosimuloinnin tarkkuustasoa toimivuuden kannalta kriittisissä risteyksissä. Suuremman mittakaavan välityskykymalleja on esitetty kuvassa 1.

Kuva 1: Suuren mittakaavan liikennemalleja (Inro Software 2022a, 2022b).

Ylhäällä makrotason Emme-mallin liikennemäärätiedot kolmiulotteisena versiona, joka esittää liikkuvalla kuvalla vuorokauden ajanjakson liikennemäärätietoja. Alhaalla makrotasoa tarkemman mesotason Dynameq-malli, joka erottelee liikennevirtojen tiheyden ja reitinvalinnan sekä mallintaa katuverkon välityskyvyn ja liikennevaloliittymien toiminnan.



5.3 Liikennevirtatutkimuksen historia

Liikennevirran empiirisen tutkimuksen alku voidaan ajoittaa vuoteen 1950, jolloin Yhdysvalloissa julkaistiin ensimmäinen Highway Capacity Manual eli HCM. Siinä määriteltiin kolme välityskyvyn käsitettä:

- Teoreettinen välityskyky oli suurin liikennemäärä joka saavutettiin, kun kaikki ajoneuvot kulkivat samalla nopeudella ja minimietäisyydellä. Yhden kaistan teoreettinen välityskyky oli 2000 ajon/h, mutta se saattoi esiintyä vain hyvin lyhyillä tiejaksoilla.
- Mahdollinen välityskyky tarkoitti suurinta liikennemäärää, joka saattoi kulkea pitkillä tieosuuksilla ilman liittymiä.
- Käytännöllinen välityskyky salli kohtuullisen nopeuksien vaihtelun ja kohtuullisen vapauden ajoneuvojen välisestä vuorovaikutuksesta.

Liittymien toiminnan analysointimenetelmät kehittyivät 1950-luvulla ja ovat edelleen osittain käyttökelpoisia. Webster (1958) kehitti valo-ohjauksisten liittymien ajoituksen optimoinnin ja viipeiden arvioinnin menetelmät. Nordqvistin samana vuonna esittämät valo-ohjauksettomien liittymien välityskyvyn laskentakaavat ovat vieläkin käytössä HCM:n nykyisessä laitoksessa. (Luttinen ym. 2005, s. 13.)

Vuoden 1963 Buchananin raportissa määriteltiin tien ympäristöllinen välityskyky, joka otti huomioon mm. jalankulkuliikenteelle aiheutuvat viivytykset, melun ja päästöt. Vuonna 1965 välityskyvyn laskentamenetelmät olivat jo pitkälle kehittyneitä. Käytännöllisen välityskyvyn sijaan vuoden 1965 Highway Capacity Manual esitteli yhä käytössä olevan kuusiportaisen (A–F) palvelutasoluokittelun. Nykyohjeistuksen taustamateriaalina on toiminut erityisesti HCM:n kolmas laitos, joka julkaistiin vuonna 1985. HCM:n kolmannesta laitoksesta lähtien monet sen menetelmät ovat edellyttäneet tietokonesovelluksen käyttöä. (Luttinen ym. 2005, s. 13.) HCM:n viimeisin seitsemäs laitos on julkaistu vuonna 2022.

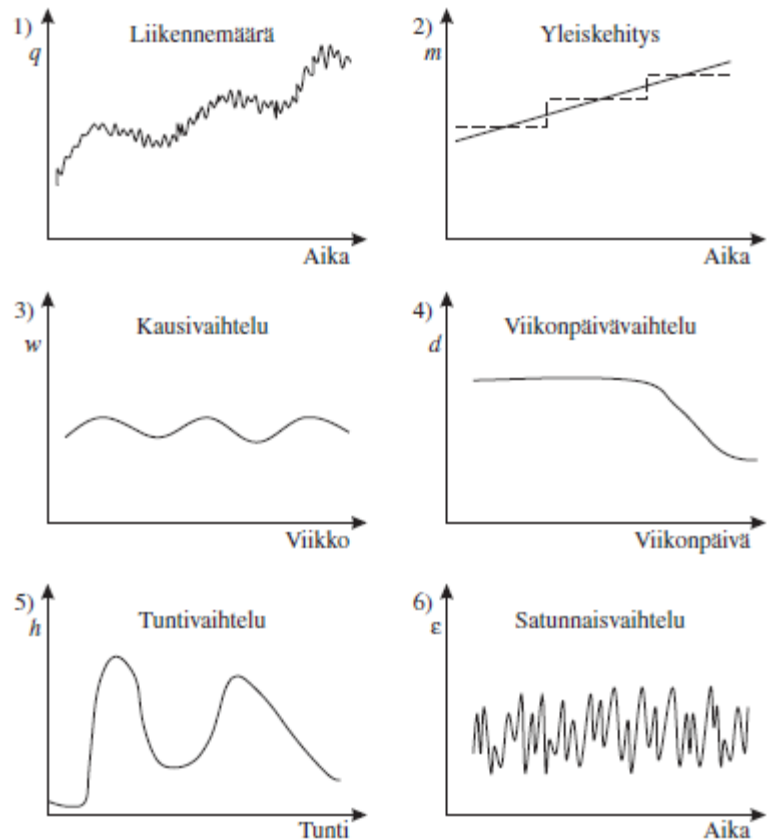
Highway Capacity Manual on edelleen alan keskeisin perusteos. Uusimmat laitokset sisältävät tietoa toimivuustarkasteluista sekä liikennevirran ominaisuuksista väylien linjaosuuksilla ja liittymissä. Menetelmät on kuitenkin kehitetty vastaamaan amerikkalaisia olosuhteita. (Luttinen ym. 2005, s. 18.) Yhdysvaltain ohella merkittävä liikennevirtateorian

maa on Saksa, jossa HCM:n vastine on Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen eli HBS2001 (Luttinen ym. 2005, s. 21).

5.4 Liikennemäärän vaihtelu

Liikennemäärällä tarkoitetaan tietyn väylän kohdan ohittavien liikenneyksiköiden lukumäärää aikayksikössä. Liikennemäärä ilmoitetaan yleensä joko tuntiliikennemääränä (ajon/h) tai vuorokausiliikennemääränä (ajon/vrk). Liikennemäärät vaihtelevat sekä ajallisesti että paikallisesti. Säännöllisesti mitatut liikennemäärät muodostavat aikasarjan, joka osoittaa mittauspaikan liikenteen ajan funktiona. Liikenteen määrän ja nopeuden vaihtelut voidaan jakaa komponentteihin (kuva 2), joita ovat yleiskehitys, kausi-, viikonpäivä-, tunti- ja satunnaisvaihtelu. (Luttinen ym. 2005, s. 24.)

Kuva 2: Liikennemäärän vaihtelun komponentit (Luttinen ym. 2005, s. 27).



Liikennemäärän vaihtelu voi olla joko säännöllistä tai epäsäännöllistä: tarkastelussa toistuvia aikasarjoja ovat vuorokauden aamu- ja iltahuipputunnit tai viikonpäivävaihtelu. Liikenteen tuntivaihtelussa on ominaista, että iltahuipputunti on aamuhuipputuntia voimakkaampi; toisaalta aamuisin liikenteen huippu saattaa olla hetkellisesti iltahuippua suurempi erityisesti keskusta suuntaavan työmatkaliikenteen sisäänajoväylillä. Tarkastelun kohdealueen maankäyttö aiheuttaa usein hetkellisiä tavallisuudesta poikkeavia liikennemäärän vaihteluita; säännöllisiä tai epäsäännöllisiä ruuhkahuippuja aiheuttavat esimerkiksi juna-asemat, laivan saapuminen satamaan tai päättyneen yleisötilaisuuden pysäköintialueelta samanaikaisesti poistuva autoliikenne.

Kun suunnittelija tuntee liikenteen vaihtelumuodot, yksittäiset havainnot voidaan asettaa mittasuhteisiinsa liikenneväylän mitoituksessa ja toimivuustarkastelussa. Tietynä aikana laskettu liikennemäärä voidaan muuntaa liikenteen vaihtelua kuvaavien kertoimien avulla arvioksi halutun tilanteen liikennemäärästä.

Koska liikennemääriin sisältyy aina satunnaisvaihtelua, yksittäisen ajankohdan liikennemäärää ei ole mahdollista ennustaa täsmällisesti. Vaihtelukertoimiin sisältyy myös epätarkkuutta, joka aiheutuu sekä liikennemäärien satunnaisvaihtelusta että kertoimien ajallisesta ja paikallisesta vaihtelusta. (Luttinen ym. 2005, s. 45.)

5.5 Nopeuden vaihtelu

Liikenneyksikön nopeus tarkoittaa sen aikayksikössä kulkemaa etäisyyttä, eli matkan pituuden ja matka-ajan osamäärää. Nopeus mitataan joko hetkellisenä tai matkanopeutena. Mittaus voi tapahtua joko yhdestä mittauspisteestä tai kahden mittauspisteen välisen matkan kulkemiseen käytetyn ajan avulla. Keskimääräinen matkanopeus on liikennevirran väylän osalla tarkasteluaikana kulkemien etäisyyksien summa jaettuna matka-aikojen summalla. Kaupunkiliikenteen pistenopeudet eivät anna liikennetilanteesta riittävää kuvaa, koska liikennettä on paljon ja se pysähtelee liikennevaloissa. Häiriöherkkyyden vuoksi kaupunkiliikenteen sujuvuuden mittarina käytetään usein keskimääräistä matkanopeutta. (Luttinen ym. 2005, s. 26–37.)

Simuloinnissa keskimääräinen matkanopeus on usein pistenopeutta hyödyllisempi mittari, koska tarkastelukohteet sijaitsevat pääosin kaupunkialueella; maanteillä liikennevirta on homogeenisempaa, joten nopeustasoa voidaan mitata tällöin myös keskimääräisellä pistenopeudella (Luttinen ym. 2005, s. 45.).

Liikenteen nopeus vaihtelee samanlaisten komponenttien mukaisesti kuin liikennemäärien vaihtelussa: yleiskehitys sekä kausi-, viikonpäivä-, tunti-, minuutti- ja satunnaisvaihtelut. Erotuksena liikennemäärän vaihtelun suhteen liikenteen keskimääräinen nopeus alenee liikennemäärän kasvaessa ja laskee voimakkaasti, kun liikenne ruuhkautuu.

Kaupunkiliikenteen nopeudet ovat alimmillaan aamu- ja iltahuipputuntien aikana. (Luttinen ym. 2005, s. 37, 42.)

5.6 Ruuhkautuminen

Kun liikennetiheys kasvaa kohti kriittistä tiheyttä tai sen yli, liikennevirran häiriöherkkyys kasvaa. Pienikin häiriö voi lopulta aiheuttaa ruuhkautumiskehityksen, jolloin väylän välittämä liikenne jää pienemmäksi kuin sille pyrkivä liikenne, eli liikenteen kysyntä. Ruuhkautuminen näkyy jonojen kasvuna ja alentuneina nopeuksina. (Luttinen ym. 2005, s. 84.)

Ruuhkautumiseen vaikuttavat sekä liikennemäärä että väylän välityskyky. Ruuhkautuminen ei ole deterministinen ilmiö, joka toteutuu aina ja vain liikenteen kysynnän ylittäessä laskennallisen välityskyvyn. Kun liikenteen kysyntä kasvaa ja korkea kysyntätaso kestää pitkään, ruuhkautumisen todennäköisyys lisääntyy. Välityskyky voidaan siten määritellä suurimmaksi liikennemääräksi, jonka väylä tai sen osa kykenee välittämään määritellyn tarkastelujakson ajan niin, että ruuhkautumisen todennäköisyys säilyy hyväksyttävällä tasolla. (Luttinen ym. 2005, s. 214.)

Ruuhka voi syntyä, kun liikenteen kysyntä ylittää välityskyvyn. Syynä voi olla myös onnettomuus, huono keli tai tarkastelualueen ulkopuolella syntyneen ruuhkan leviäminen tarkastelualueelle. Ruuhkaa synnyttää myös yksittäinen seikka, kuten hidas ajoneuvo, joka alentaa liikennevirran nopeuden liikennetiheyden edellyttämää nopeutta alhaisemmaksi. Hetkellinenkin häiriö saattaa alentaa välityskykyä ja lisätä ruuhkaantumista, vaikka ruuhkan syy olisi jo poistunut. Väylän pullonkaulaan kertynyt jono purkautuu ruuhkatilanteen välityskyvyn mukaisesti. Ruuhkatilanteiden tarkastelussa nestevirtausanalogiaan perustuvat mallit antavat usein riittävän tarkkuuden. (Luttinen ym. 2005, s. 84–87.)

5.7 Satunnaisuus

Liikennevirta ei koskaan toimi täydellisesti teorioiden ennustamalla tavalla. Liikennevirrassa on aina satunnaista vaihtelua, jota ei ole mahdollista täsmällisesti mallintaa. Satunnaisuus syntyy ajoneuvojen kuljettajien ja jalankulkijoiden tehdessä satunnaisesti päätöksiä matkan tekemisestä ja sen ajankohdasta. Liikennevirta on siten stokastinen prosessi eli järjestelmä, jonka tila muuttuu ajan funktiona ja joka voidaan ennustaa vain tilastollisesti. (Luttinen ym. 2005, s. 140, s. 321.)

Stokastinen liikennevirtateoria kuvaa liikennettä satunnaisvaihtelua sisältävänä prosessina. Se tarkastelee liikennevirtaa karkeammalla tasolla kuin ajoneuvojen liikettä tarkasteleva mikrokooppinen liikennevirtateoria mutta yksityiskohtaisemmin kuin keskimääräisiä liikennevirran ominaisuuksia mallintava makroskooppinen liikennevirtateoria. Stokastiset liikennevirtamallit luokitellaan usein mesoskooppiseen liikennevirtateoriaan. (Luttinen ym. 2005, s. 140.)

Stokastisen liikennevirtateorian avulla voidaan laskea liikennevirran ilmiöitä koskevia todennäköisyyksiä. Liikennevirtaa voidaan tarkastella mittauspisteittäin sen ohittavien liikenneyksiköiden lukumääräprosessina ja aikaväliprosessina. Liikenneyksiköiden mittauspisteelle saapumiseen ja keskinäiseen aikaväliin liittyy erilaisia tilastollisia jakaumia, jotka muokkaavat simulointiajoo satunnaisuutta. Satunnaisesti luotu yksittäinen liikenteen mikrosimulointiajo voidaan toistaa yksityiskohdiltaan muuttumattomana, kun simulointiohjelmassa käytetään samaa stokastisen laskelman siemenlukua. Stokastiset mallit luovat perustan muun muassa liittymien välityskykytarkasteluille ja useampikaistaisten teiden jonoutumistarkasteluille. Jonoteorian soveltamisen kautta voidaan puolestaan tarkastella ja arvioida satunnaisvaihtelusta aiheutuvia liikenteen viivytyksiä. (Luttinen ym. 2005, s. 139.)

5.8 Mikrosimulointimallinnus

Liikenneyksiköt liikkuvat mikrosimuloidulla liikenneverkolla liikennevirtamallin mukaisesti. Liikennevirran perussuureet liikennetiheys, liikennemäärä ja keskinopeus kuvaavat ajoneuvojen pitkittäistä sijaintia sekä pitkittäistä liikettä väylällä. Mikrosimulointimallit tarkastelevat myös kuljettajan käyttäytymistä liikennevirrassa – ajoneuvon kuljettaja valitsee turvallisena pitämänsä matkavälin edellä kulkevaan ajoneuvoon, mikä edellyttää, että perässä kulkeva voi pysähtyä edellä ajavan äkillisesti pysähtyessä.

Ajoneuvojen kiihdytykset ja hidastukset simuloituvat klassisen auton seuraamismallin mukaisesti, jonka yleinen muoto on $\text{reaktio}(\text{nyt}) = \text{herkkyys} * \text{ärsyke}(\text{aikaisemmin})$. Auton seuraamismallien mukaan kuljettaja kiihdyttää tai hidastaa autoaan ajoympäristöstä saamiensa ärsykkeiden pohjalta. Ärsyke voi olla esimerkiksi autojen välinen nopeusero, johon reaktio tapahtuu viipeellä ärsykkeeseen nähden. Viive kuvaa kuljettajan reaktioaikaa,

joka häneltä kuluu ärsykkeen havaitsemiseen, tulkitsemiseen, arviointiin sekä ohjauksen toteuttamiseen, sekä aikaa, joka autolta kuluu ennen kuin se vastaa kuljettajan ohjaukseen. Herkkyys puolestaan tarkoittaa kuljettajan reaktion voimakkuutta suhteessa ärsykkeen voimakkuuteen. (Luttinen ym. 2005, s. 125.)

Klassiset auton seuraamismallit kuvaavat auton kiihdytystä ja hidastusta, kun edellä kulkeva auto muuttaa nopeuttaan. Jälkimmäistä autoa seuraavan kolmannen auton käyttäytyminen voidaan mallintaa vastaavasti, jos oletetaan, ettei ensimmäisen auton käyttäytyminen suoraan vaikuta kolmanteen autoon. Kokonaisen tieosuuden liikenteen kinematiikka voidaan mallintaa, kun tunnetaan autojonon johtajan reagointi ympäristössä tapahtuviin muutoksiin sekä auton seuraamisprosessia kuvaavat parametrit. Auton seuraamisprosessi oletetaan deterministiseksi. Teoria soveltuu ainoastaan autojonoille yhdellä kaistalla, kun ohituksia tai kaistanvaihtoja ei tapahdu. (Luttinen ym. 2005, s. 125.)

Klassisessa auton seuraamismallissa oletetaan, että kuljettaja reagoi oman autonsa ja edellä ajavan auton välisiin pieniin nopeuseroihin. Hahmottamisen psykologian tutkimukset ovat osoittaneet, että ärsykkeen täytyy ylittää tietty kynnys ennen kuin kuljettaja reagoi siihen. Psykofyysiset mallit ottavat huomioon ärsykekyynnyksen vaikutuksen ja kykenevät kuvaamaan auton seuraamisprosessia todenmukaisemmin kuin klassiset mallit. (Luttinen ym. 2005, s. 129–130.)

Psykofyysisillä malleilla on kaksi merkittävää eroa klassisiin malleihin (Luttinen ym. 2005, s. 130):

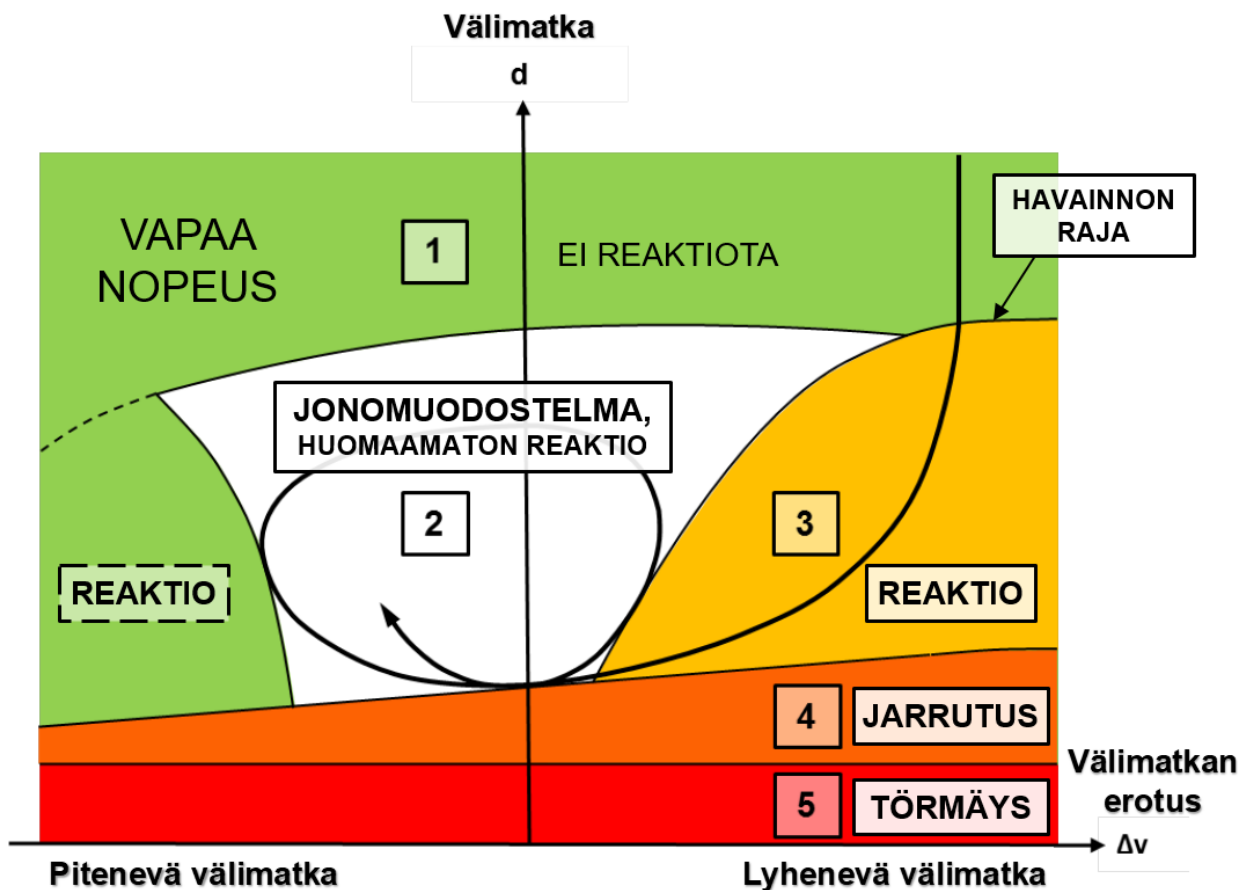
- Kun autojen matkaväli on suuri, takana ajava kuljettaja ei reagoi edellä ajavan auton nopeuseroon, vaan ajaa omalla tavoitenopeudellaan.
- Vaikka matkaväli on pieni, takana ajava kuljettaja reagoi ainoastaan sellaisiin matkaväliin ja suhteellisen nopeuden muutoksiin, jotka ylittävät reagoinnin kynnysarvon.

Kokeiden perusteella on havaittu, että havaitsemisen kynnysarvot vaihtelevat satunnaisesti. Lisäksi positiiviseen nopeuseroon reagoimisen kynnysarvo on pienempi kuin negatiivisen, koska kuljettajat kiinnittävät oman turvallisuutensa vuoksi enemmän huomiota välimatkan pienenemiseen kuin kasvamiseen. (Luttinen ym. 2005, s. 131.)

Klassiset seuraamismallit ovat melko yksinkertaisia ajoneuvon nopeuden muutoksia kuvaavia differentiaali-differenssiyhtälöitä. Kehittyneet simulointiohjelmat kuten Vissim käyttävät realistisempaa Wiedemannin psykofyysistä havainnointimallia (1974, kuva 3), joka mallintaa kuljettajien ja liikenneyksiköiden toimintaa liikennevirrassa. Ajoneuvojen mallinnuksen laatu vaikuttaa suoraan simuloinnin laatuun: simulointiohjelmiä käytettäessä on huolehdittava siitä, että malli on kalibroitu todellisuutta vastaavaksi.

Kuva 3: Wiedemannin (1974) psykofyysinen reaktiomalli (PTV Group 2018, s. 33).

Wiedemannin psykofyysistä reaktiomallia sovelletaan kehittyneissä liikennevirtojen simulointiohjelmissä. Vaaka-akseli kuvaa liikenneyksiköiden nopeuseroa ja ylhäältä vapaasta nopeudesta jonomuodostelmaan mukautuva nuoli aikaulottuvuutta. Liikenneyksikön tila voi vaihdella seuraavasti: 1 = vapaa nopeus, 2 = seuraaminen, 3 = lähestyminen, 4 = jarrutus, 5 = törmäys. Kuljettajien yksilölliset ajotavat tuottavat mallinnukseen satunnaisuutta.



Wiedemannin psykofyysisen havainnointimallin perusteena on, että muita liikkuja nopeammin etenevän ajoneuvon kuljettaja hidastaa nopeuttaan saavuttaessaan hitaammin liikkuvaa ajoneuvoa. Koska kuljettaja ei kykene arvioimaan tarkasti edessä kulkevan

nopeutta, takana seuraavan ajoneuvon nopeus hidastuu, kunnes kuljettajan havainnoima välimatka on riittävä. Tämän reagoinnin seurauksena jonomuodostelmassa kulkevien ajoneuvojen nopeus vaihtelee vähäisessä määrin jatkuvasti. Toisiaan seuraavien ajoneuvojen toiminnassa huomioidaan lisäksi kuljettajan ajotapa, joka vaikuttaa yksittäisen ajoneuvon nopeuteen ja välimatkaan liikennevirrassa. (PTV GROUP 2018, s. 32.)

Wiedemannin seuraamismallia on kalibroitu Vissim-simulointiin Karlsruhessa Saksassa (KIT – Karlsruhe Institute of Technology) vuodesta 2009 alkaen. Uusimmat mittaukset huomioivat muutokset kuljettajan ajotavassa ja ajoneuvojen teknisessä suorituskyvyssä. Liikennevirran Vissim-simuloinnissa yksittäiseen kuljettajaan vaikuttavia tekijöitä ovat kahden viereisen kaistan ajoneuvot sekä noin 100 metrin etäisyydellä lähestyvät liikennevalot, jotka lisäävät kuljettajan ympäristön havainnoinnin tasoa ja madaltavat reagoinnin kynnyksiä. (PTV GROUP 2018, s. 33.)

6 Suunnittelu- ja mitoitusperusteet

6.1 Suunnitelmatasot

Liikenteellisiä toimivuustarkasteluja tehdään liikenteen nykyisen toimivuusongelman ratkaisemiseksi tai sen ennaltaehkäisemiseksi. Toimivuustarkastelu on usein yksi osa suurempia kaavahankkeita, joissa kaavoitussuunnitelman tarkkuustaso tarkentuu projektityön edetessä. Liikennesuunnittelu ja selvitykset tulisi tehdä riittävän aikaisessa kaavoituksen vaiheessa, jotta vaikutusmahdollisuudet ovat suurimmillaan. Yleisimmin liikenneselvityksiä tehdään yleiskaavavaiheessa, jolloin toimivuustarkastelussa tulisi tutkia useita vaihtoehtoisia ratkaisuja.

Toimivuustarkastelut ovat osa suunnittelutyön liikenteellisiä selvityksiä, joihin lukeutuvat myös liikenne-ennusteet ja vaikutusten arviointi. Liikenteellisten selvitysten tulokset tuottavat teknisiä ratkaisuja sekä ohjaavat projektin edistyessä jatkosuunnitelmia ja päätöksentekoa. Liikenteen toimivuustarkasteluja tehdään pääsääntöisesti kaikissa suunnitteluvaiheissa tilavarauksista rakennussuunnitteluun saakka.

Simulointimallien avulla tutkitaan hankesuunnitelmien liikenteellistä toimivuutta ennen niiden varsinaista toteuttamista. Suunnitelmista valitaan simuloitavaksi esimerkiksi erilaisia liittymä- ja kaistajärjestelyjä, joiden liikenteellisestä toimivuudesta saadaan simuloinnin avulla vertailukelpoista tulostietoa. Hankkeen liikenteellisen toimivuuden lisäksi tärkeimpiä tekijöitä hankesuunnittelussa ovat liikennejärjestelyiden kustannukset, maankäytön suunnitelmien laajuus sekä niiden kytkeytyminen olemassa olevaan liikenneverkkoon.

Liikenteelliset toimivuustarkastelut voidaan suorittaa periaatteessa missä tahansa suunnitteluvaiheessa, tosin ne kohdentuvat pääsääntöisesti olemassa olevan liikenneinfran jatkosuunnitteluun. Liikenteellinen toimivuustarkastelu voidaan toteuttaa alustavasti jo esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa suunniteltaessa alueen maankäyttöä tai kehitettäessä liikenneverkkoa. Tässä vaiheessa ideoidaan useita vaihtoehtoja, joita tutkitaan ja vertaillaan keskenään, jotta löydetään toteuttamiskelpoisimmat ratkaisut. Kohdetta tarkastellaan liikenteellisen toimivuuden lisäksi teknisen toteutettavuuden, taloudellisuuden, hyöty-kustannussuhteen, rakennetun ympäristön ja kaupunkikehityksen näkökulmista.

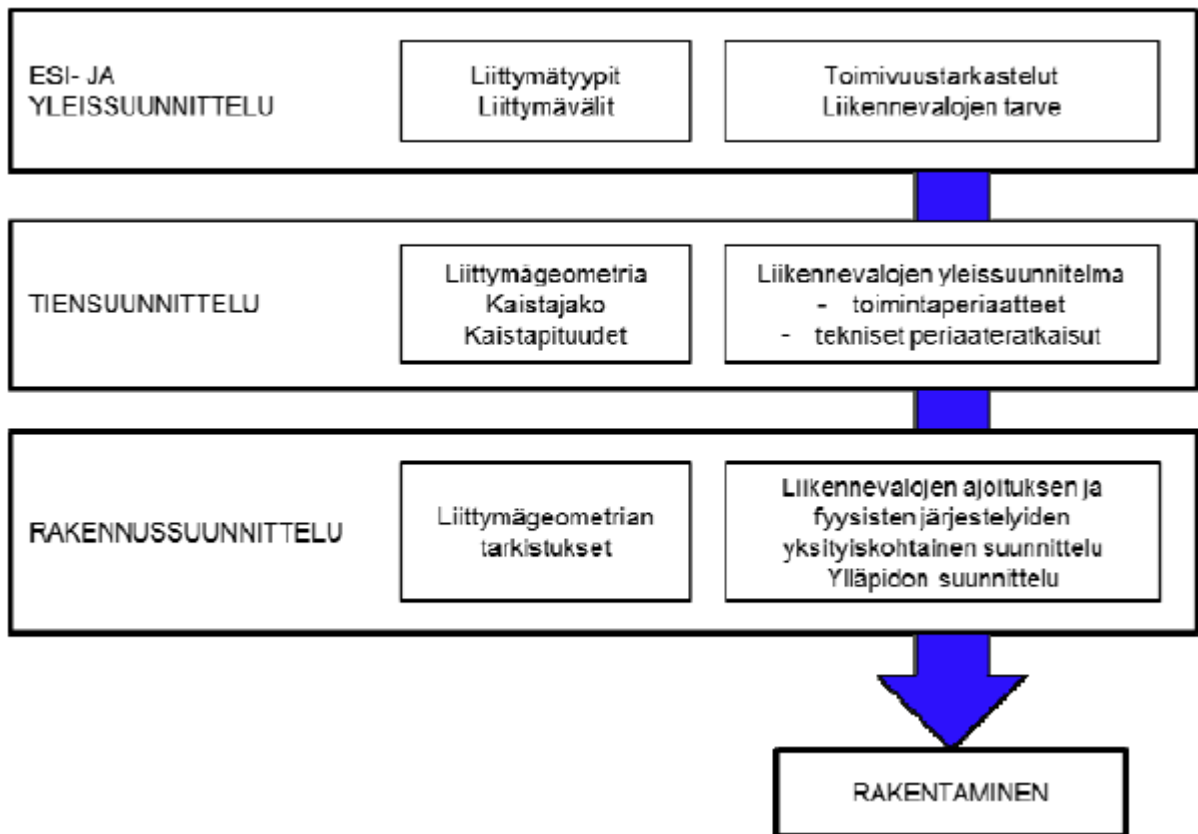
Suunnittelukohteen maankäyttö pyritään liittämään ympäröivään liikenneverkkoon portaittain siten, että yksittäisiltä maankäytön toiminnoille osoitetuilta tonteilta ja pysäköintialueilta siirrytään hierarkialtaan alemman väyläverkon kautta pääväylille. Toimivuuden kannalta kriittisiä kohteita ovat maankäytön sisään- ja ulosajoliittymien sijainnit, uudet tai muuttuneet liikenneyhteydet, nopeustaso sekä liittymävälit. Mahdolliset ruuhkat on pidettävä poissa pääväyläverkolta ja liikenteen jonoutuminen on rajattava pääosiltaan alemmalle verkolle ja pysäköintialueiden sisälle, jotta ruuhkautuminen ei heikennä muun liikenneverkon toimintaa. Laajemman vaikutusvertailutiedon tuottamiseksi on joissain tapauksissa tarkistettava alueen merkittävimpien liittymien toimivuus ilman muutostoimenpiteiden vaikutuksia.

Suunnittelutyön edistyessä esiselvitysten ja yleissuunnittelun toiminnalliset tavoitteet tarkentuvat yksityiskohtaisiksi teknisiksi perusteiksi ja ratkaisuiksi. Tarkemmilla suunnitelmatasoilla liikennejärjestelyille määritellään liikennemäärien tarvitsemat liittymätyypit, liittymävälit, liittymägeometria, kaistajako ja kaistapituudet. Osa suunnitteluratkaisuista on tehtävä aikaisessa vaiheessa: esimerkiksi liikennevalojen yhteenkytkennän reunaehdot määrittyvät jo esi- ja yleissuunnitteluvaiheissa liittymävälien ja väylän nopeustason perusteella. Esi- ja yleissuunnittelutasojen liikenteen toimivuustarkasteluiden avulla pyritään ennaltaehkäisemään toimivuusongelmat. Pääosa liikenteellisistä toimivuustarkasteluista tehdään kaavahankkeen yleissuunnitteluvaiheessa, ennen rakennussuunnittelun aloittamista. Rakentamisen jälkeen muuttuneet olosuhteet ja havaitut toimivuusongelmat voivat aiheuttaa tarkastelutarpeen myös olemassa olevan kohdealueen liikenteellisen toimivuuden kehittämiseksi.

Toimivuustarkasteluiden tarkkuustaso sijoittuu liikennesuunnittelun mittakaavassa keskivaiheille, laajemman liikenneverkon suunnittelun ja tarkan asemakaavatason välille. Käytännössä toimivuustarkasteluihin liittyvä liikennesuunnittelu on olemassa olevan liikenneverkon kehittämistä sekä tulevaisuuden mahdollisuuksien havainnointia ja vaihtoehtojen vertailua simulointimallinnuksen keinoin. Liikennesuunnittelutyössä yhteensovitetään usean tahon maankäytön suunnitelmat sekä huomioidaan olemassa olevan maankäytön asettamat vaatimukset, jotka määrittävät liikenteellisen toimivuustarkastelun reunaehdot ja kehittämiskohteet.

Liikenteelliseen toimivuustarkasteluun liittyy myös muiden tahojen tekemien suunnitelmien huomiointi ja yhdistäminen simuloitavaksi kokonaisuudeksi. Esimerkiksi liikennevalojen suunnittelua tapahtuu kaikilla suunnittelutasoilla. Esi- ja yleissuunnittelun aikana määräytyvät liittymävälit ja väylän nopeustaso; valojen toimivuustarkastelujen tulosten perusteella harkitaan liikennevalojen tarvetta (Liikennevirasto 2016, s. 32). Esimerkki vaiheistuksesta ja tasoista liikennevalojen suunnittelussa on esitetty kuvassa 4.

Kuva 4: Suunnittelun tasot ja vaiheistus (Liikennevirasto 2016, s. 32).



Liikennevalojen suunnittelija tekee liittymien toimivuustarkastelut kauan ennen rakentamista välityskykylaskelmilla, mieluiten jo tien esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa. Liikenteellinen toimivuustarkastelutyö puolestaan aiheutuu havaitusta liikenteen kehittämistarpeesta, joka kohdistuu useimmiten olemassa olevien liikennejärjestelyiden kehittämiseen tietyillä maankäytön reunaehdoilla. Muuttuneet olosuhteet voivat aiheuttaa tarpeen, jossa liikennevirtojen dynamiikkaa tarkastellaan päinvastaisesti simuloinnin keinoin, mallintamalla toteutuneen liikenneverkon toiminta ja mahdolliset muutokset käytännönläheisesti alhaalta ylöspäin.

6.2 Liittymien suunnittelu

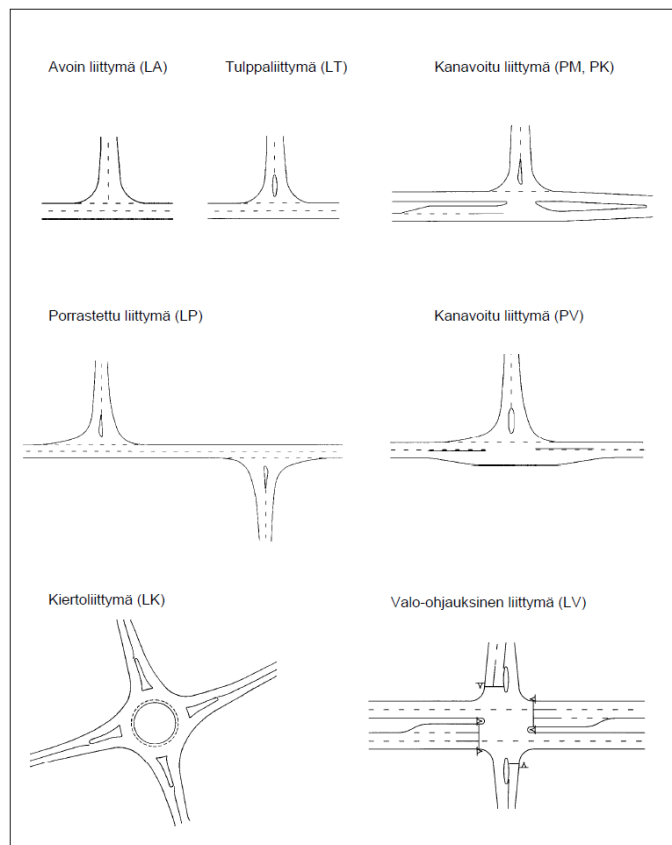
Liittymien suunnittelulla on suuri merkitys liikenteen toimivuudelle, välityskyvylle ja liikenneturvallisuudelle. Suuri liittymätiheys heikentää liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta. Toisaalta alemmalla liikenneverkolla liittymien tiheys voi olla hierarkialtaan korkeampaa verkkoa suurempi, koska liikennemäärät ja nopeustaso ovat pienempiä. Samassa tasossa risteävistä tai liittyvistä liikennevirroista aiheutuu toimivuus- tai turvallisuusongelmia, matka-aikojen pidentymistä sekä päästöjen ja ajokustannusten lisääntymistä. Näitä haittoja voidaan vähentää mm. ajokaista- ja saarekejärjestelyillä, valo-ohjauksella, opastuksella, valaistuksella sekä jalankulku- ja pyöräilyliikenteen järjestelyillä. (Tiehallinto 2001, s. 9.)

Tasoliittymien perustyyppiä ja suunnitteluratkaisuja ovat avoin liittymä, tulppaliittymä, kanavoitu liittymä, porrastettu liittymä, valo-ohjattu liittymä ja kiertoliittymä. Yleisimmät liittymätyypit on esitetty kuvassa 5.

Liittymäsuunnitelmiin sisältyvät usein myös jalankulku- ja pyöräilyväylien suunnittelu, joukkoliikennepysäkkien sijoittaminen ja kulkumuotokohtaisten liittymäratkaisujen tasapainoinen yhteensovittaminen. Liikennemäärien perusteella arvioidaan kääntymiskaistan tarve ja sen pituus; pienillä liikennemäärillä riittävä

ratkaisu voi olla pääsuunnan väistötila, jos vasemmalle kääntyviä on vähäinen määrä ja jonoja ei muodostu. Kaikissa liittymäratkaisuissa huomioidaan paikalliset olosuhteet ja liikenneturvallisuuden näkökohdat, kuten onnettomuustilastot. Esimerkiksi kapeat näkemäalueet voivat heikentää liikenneturvallisuutta. Liittymätyypin valintaan vaikuttavat

Kuva 5: Tasoliittymien perustyytit (Tiehallinto 2001, s. 11).



katujen ja teiden toiminnallinen ja liikenteellinen merkitys, liikennemäärät, liikenneturvallisuus sekä paikalliset olosuhteet (Tiehallinto 2001, s. 11).

Liittymätyypin valinta vaikuttaa merkittävästi liikennevirtojen välityskykyyn, toimivuuteen ja liikenneturvallisuuteen. Liikenteen toimivuuteen eniten vaikuttavat valinnat tehdään useimmiten nelihaaraliittymän ja kiertoliittymän välillä. Liikenneturvallisuuden kannalta nelihaaraliittymän vaihtoehtona voidaan harkita myös liittymän jakamista kahdeksi kolmihaaraliittymäksi eli porrastetuksi liittymäksi, jos alueen maankäyttö sen sallii.

Liittymälle tarvittava tilankäyttö määritetään yleensä liikennejärjestelmä-, tieverkko- ja kaavasuunnittelun yhteydessä. Liikennemäärätiedoista tarvitaan sekä nykyinen että ennustettu tilanne. Liittymäsuunnitteluun vaikuttavat nykyinen ja suunniteltu maankäyttö, maaperä- ja korkeussuhteet, rakennukset ja rakenteet sekä maisematekijät ja suojelukohteet. (Tiehallinto 2001, s. 9.)

Liittymän mitoitusajankohta valitaan 5–20 vuotta toteuttamisajankohdasta eteenpäin. Liittymäjärjestelyiden keskeisenä suunnitteluperiaatteena on, että ne ovat toimintakelpoisia sellaisinaan tai vähäisin muutoksin vähintään 10 vuotta. Liittymätyypin valinta ja kaistamitoitus tehdään 10–20 vuoden aikajänteellä ja liikennevalojen ajoitus noin 5 vuoden päähän laaditun ennusteen perusteella. Ennusteliikennemäärä valitaan joko yleisen ennusteen pohjalta tai kasvukertoimia käyttäen nykyisten liikennetietojen pohjalta. (Tiehallinto 2001, s. 18, Liikennevirasto 2016, s. 51.)

Ennusteliikenteessä käytetään vuorokausiliikennemääriä, maankäyttötietoja ja nykyisten liikennemäärätietojen kasvukertoimia. Liittymien suunnittelussa mitoitusliikenteenä käytetään yleensä vuoden tai kesän keskimääräistä vuorokausiliikennettä (KVL, KKVL). Mitoitusliikennemäärä valitaan mitoitusohjivuoden ja liikenteen vaihtelun perusteella. Mitoitusliikenne selvitetään joko liikennelaskennoilla tai liikenne-ennusteilla. Liittymiä ei yleensä voida mitoittaa harvoin esiintyvien huippuneljännes- tai huipputuntien liikennemäärien mukaan, vaan on hyväksyttävä ruuhka-ajan ylikuormitus. Huipputuntiliikennettä käytetään mitoitusliikenteenä välityskykytarkasteluissa, liikenteen ohjauksen kuten liikennevalojen suunnittelussa sekä ajokaistamitoituksessa. (Tiehallinto 2001, s. 18.)

Liittymien mitoitus ja ohjaus suunnitellaan mitoitettavan tuntiliikenteen mukaisena. Vuorokausiliikenteet muutetaan tuntiliikennemääriksi, joita verrataan vastaaviin nykytilanteen määriin. Kasvukerroinennusteet voidaan muuttaa suoraan tuntiliikenneennusteiksi. (Liikennevirasto 2016, s. 51.)

Lähtökohtana olevissa nykytilanteen liikennemäärissä erotellaan henkilöautot, raskaat ajoneuvot, jalankulkijat ja pyöräilijät. Yksikkönä käytetään ajoneuvojen, jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden määriä tunnin aikana. Linja-autojen vuorot erotellaan tärkeimmillä joukkoliikenteen reiteillä. (Liikennevirasto 2016, s. 51.) Liittymän mitoitusnopeutena käytetään tavallisesti tien yleistä mitoitusnopeutta. Mitoitusnopeuden perusteella mitoitetaan tien suuntauksen ohje- ja vähimmäisgeometria liittymän kohdalla sekä valitaan liittymätyyppi ja sen mitoitus. Lisäksi tien mitoitusnopeus määrittää liittymän kääntymiskaistojen siirtymä- ja hidastusosien pituudet. (Tiehallinto 2001, s. 19.)

Liittymän rakentaminen voidaan toteuttaa myös vaiheittain, jos liittymää on myöhemmin helppo täydentää tai laajentaa. Ensimmäisessä vaiheessa voidaan jättää rakentamatta joitakin lisäkaistoja, joiden avulla myöhemmin voidaan lisätä liittymän liikenteenvälityskykyä. Kun liittymä rakennetaan vaiheittain, sen mitoitus varmistetaan kunkin toteutusajankohdan mitoitusliikennemäärien perusteella. (Liikennevirasto 2016, s. 52.)

6.3 Välityskyky

Välityskyky tarkoittaa suurinta liikennemäärää, joka vallitsevissa olosuhteissa voi ohittaa tietyn tienkohdan aikayksikössä. Odotusarvoisesti väylä kykenee säilyttämään liikenneyksiköiden välityskykynsä vallitsevissa olosuhteissa. Liikenteen välityskyky ei ole itsessään riittävä mitoituskriteeri, sillä jo välityskykyä alhaisemmilla liikennemäärillä liikkuminen voi muuttua hitaaksi ja pakkotahtiseksi. Toisaalta välityskyvyn riittävyyden takaaminen kaikissa tilanteissa saattaa olla taloudellisesti perusteetonta. (Luttinen ym. 2005, s. 215.)

Välityskyky määräytyy liittymän ja liikenteen yhteisvaikutuksen perusteella. Välityskyky on stokastinen muuttuja, jonka arvo noudattaa jotakin tilastollista jakaumaa. Välityskyvyllä

voidaan olettaa tietty, kiinteä arvo, jolla ruuhkautumisen todennäköisyys on vielä hyväksyttävä. (Luttinen ym. 2005, s. 217.)

Väylän välityskyky toimii yksinkertaisena ja suuntaa antavana liikenneteknisenä mittarina, joka on hyvä suunnittelutyön lähtökohta. Koska välityskyky ei ole riittävä mitoitusperuste, liikenteen sujuvuutta on kyettävä arvioimaan välityskykyä alhaisemmillä liikennemäärillä. Väylän liikenneteknistä toimivuutta voidaan arvioida välityskyvyn käyttösuhteen, eli saapuvan liikenteen määrän ja väylän välityskyvyn suhteen, avulla. Käyttäjien kokemus liikennevirran sujuvuudesta ei kuitenkaan ole suoraan verrannollinen käyttösuhteeseen. Käyttäjien kokemuksia heijastavien palvelutasomittareiden avulla saadaan parempi kuva liikennevirran laadullisista ominaisuuksista. (Luttinen ym. 2005, s. 214.)

Liikennevirran ominaissuorite tarkoittaa keskimääräisen matkanopeuden ja liikennemäärän tuloa. Ominaissuoritteen maksimiarvo osoittaa väylän kyvyn välittää liikennesuoritteita. Liikennetiheyden kasvaessa liikennemäärän kasvu aiheuttaa matkanopeuden jyrkän alenemisen, minkä seurauksena ominaissuorite alkaa pudota; kun liikennetiheys kasvaa yli kriittisen tiheyden myös liikennemäärä alkaa alentua. Ominaissuoritteen maksimiarvo saavutetaan ennen kuin liikennemäärä saavuttaa välityskyvyn; esimerkiksi moottoriteillä ominaissuoritteen maksimissa liikennemäärä on noin kymmenen prosenttia välityskykyä alhaisempi. Ominaissuorite kertoo tehokkaimman väylän toiminnan ja on siten välityskykyä hyödyllisempi mittari tarkasteltaessa liikennevirtojen häiriötöntä toimivuutta ja ruuhkien muodostumista. (Luttinen ym. 2005, s. 234–235.)

Välityskykylaskelmat tuottavat tietoa ajoneuvomääristä, joita väylän liikennejärjestelyt kestävät. Kaksikaistaisen tien välityskyky molempiin suuntiin yhteensä on 3 200 ajon/h, joista vilkkaimman suunnan välityskyky on enintään 1 700 ajon/h. Linjaosuuden palvelutasomittareina ovat jonoprosentti eli jonossa ajavien ajoneuvojen osuus mittauspisteessä sekä keskimääräinen matkanopeus. Moottoritien palvelutasomittarina on liikennetiheys. Moottoritiellä kriittinen tiheys on 28 ha/km/kaista, jolloin kaistan välityskyky on 2 250–2 400 ha/h/kaista. (Luttinen ym. 2005, s. 235.)

Tasa-arvoisen liittymän välityskyky kokonaisuudessaan on noin 740–840 ha/h (Luttinen ym. 2005, s. 238). Yksikaistaisen kiertoliittymän maksimivälityskyky tasaisella

liikennevirtajakaumalla on noin 3 000 ajon/h kaikilta saapuvilta liittymähaaroilta yhteensä. Kiertoliittymän etuna on vähäinen pysähtymisen tarve, minkä ansiosta keskimääräiset viivytykset ovat pienemmät kuin tavallisessa kanavoidussa liittymässä. Kiertoliittymän välityskyky vastaa kanavoitua valo-ohjattua liittymää. (Tiehallinto 2001, s. 25.)

Jos kiertoliittymän jollakin tulosuunnalla saapuvan ja kiertävän virran summa on yli 1 400 ajon/h, tarvitaan joko kaksikaistainen kiertoliittymä tai yksikaistainen kiertoliittymä ja kyseisen tulosuunnan oikealle kääntymiskaista. Yksikaistaisen poistumissuunnan maksimivälityskyky on noin 1 500 ajon/h. (Tiehallinto 2001, s. 25.)

Nelihaaraliittymän välityskykyä rajoittavat risteävät liikennevirrat ja konfliktipisteet, jotka hidastavat ja pysäyttävät liikennevirtoja. Nelihaaraliittymässä on kiertoliittymään verrattuna nelinkertainen määrä konfliktipisteitä risteävien liikennevirtojen välillä. Se sopii kohteisiin, joissa pääsuunnan liikennevirta on hallitseva ja sivusuunnan liikenne on vähäistä.

Kiertoliittymän etuna on liikennevirtojen yleisen sujuvuuden lisäksi liikenneturvallisuus, koska liittymätyyppi alentaa automaattisesti suoraan kulkevien virtojen nopeuksia; tämän lisäksi konfliktipisteitä on vähän, koska vasemmalle kääntyminen on muutettu kahdeksi oikealle kääntymiseksi. Kiertoliittymän konfliktipisteissä ei ole vastakkaisia ajosuuntia, vaan ajoneuvojen ajosuunnat ovat lähes samat, mikä lieventää onnettomuuksien tasoa. Kiertoliittymä parantaa erityisesti sivusuunnan välityskykyä ja helpottaa vasemmalle kääntyvien virtojen sujuvuutta. Kiertoliittymä hidastaa pääsuunnan liikennevirtaa ja tasapainottaa tulosuuntakohtaisia jonoja ja viivytyksiä. Kadun ylittävät suojatiet voidaan sijoittaa suunnitelmissa kiertoliittymien yhteyteen luontevasti, koska autoilijoiden on hidastettava nopeuttaan kiertoliittymien kohdalla. Kiertoliittymän haittapuolina ovat pääsuunnan liikennevirran matka-ajan kasvu ja välityskyvyn hidastuminen sekä muita liittymätyppejä suurempi tilavaatimus, minkä vuoksi sen sovittaminen muuhun maankäyttöön ei aina ole mahdollista.

6.4 Toimivuuden tunnusluvut

6.4.1 Yleiset tunnuslukujen määritelmät

Liikenneviraston ohjeissa (2016, s. 45) on määritelty seuraavat tunnusluvut, joilla liikenteen toimivuutta ja sujuvuutta liittymissä voidaan mitata ja kuvata:

- kuormitusaste tai käyttösuhde
- keskimääräinen viivytys
- pysähtymään joutuvien osuus
- viivytyksettä läpäisseiden osuus

Liittymän kuormitusaste on tulosuunnan, osatulosuunnan tai liittymän liikennemäärän suhde välityskykyyn. Kuormitusaste osoittaa, kuinka suuri osuus liittymän maksimivälityskyvystä on käytössä. Liittymän kuormitusasteen selvittämiseksi tarkastellaan esimerkiksi liikennevalojen tarvetta. Käyttösuhde puolestaan osoittaa, kuinka suuri osuus valoliittymän vihreän maksimijasta on käytössä. Keskimääräinen viivytys tarkoittaa muun liikenteen hidastavaa vaikutusta ajoneuvon vapaaseen nopeuteen verrattuna. Pysähtymään joutuvien ja viivytyksettä läpäisseiden osuudet kuvaavat liikennevirran toimivuutta; tunnuslukua hyödynnetään erityisesti valoliittymien yhteenkytkennän suunnittelussa.

6.4.2 Valo-ohjaamaton liittymä

Valo-ohjaamattoman liittymän välityskyvyn ja palvelutason arviointi on tarpeen sekä liittymän parantamistarpeen arvioinnissa, mitoituksen suunnittelussa sekä ohjaustavan valinnassa. Tiehallinnon ohjeistuksessa (2001, s. 20.) valo-ohjaamattoman liittymän välityskyky arvioidaan mitoitusliikennemäärien avulla. Välityskykylaskelmilla liittymän toimivuutta voidaan arvioida kuormitusasteen ja sen mukaisen palvelutasoluokituksen avulla. Liittymän palvelutaso voidaan puolestaan luokitella käyttämättömän välityskyvyn perusteella. Valo-ohjaamattoman liittymän kuormitusasteeseen ja käyttämättömään välityskykyyn perustuvat Tiehallinnon palvelutasoluokitukset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Valo-ohjaamattoman liittymän luokitukset (Tiehallinto 2001, s. 20).

Palvelutaso	Kuormitusaste	Palvelutaso	Käyttämätön välityskyky (hay/h)
<i>Hyvä</i>	0 - 0,5	<i>A (erittäin hyvä)</i>	vähintään 400
<i>Tyydyttävä</i>	0,5 – 0,7	<i>B (hyvä)</i>	300 – 399
<i>Välttävä</i>	0,7 - 0,85	<i>C (tyydyttävä)</i>	200 – 299
<i>Huono</i>	0,85 - 1,0	<i>D (välttävä)</i>	100 – 199
<i>Erittäin huono/ ei toimi</i>	yli 1,0	<i>E (huono)</i>	0 – 99
		<i>F (erittäin huono)</i>	kysyntä > välityskyky

Koska kuormitusaste ei ole liikennemäärien lineaarinen funktio, pienetkin liikennemäärien ja niiden suhteiden muutokset voivat vaikuttaa suuresti tietyn liikennevirran tai koko liittymän toimivuuteen. Välityskyvyille ei siksi ole olemassa yksinkertaistettua ja karkeisiin tarkasteluihin soveltuvaa, mutta riittävän luotettavaa arviointimenetelmää. (Tielaitos 2001, s. 20.)

Valo-ohjaamattoman liittymän analyysi on melko vaativa stokastisen liikennevirtateorian sovellus, joka vaatii liittymätoimintojen yksityiskohtaista kuvausta ja mallinnusta (Luttinen ym. 2005, s. 237). Analyyttisten menetelmien käyttö on nykyisin korvautunut nopeammalla ja luotettavammalla simulointiohjelmiin pohjautuvalla liikennevirtojen mallinnuksella, joka on erityisesti valo-ohjaamattomissa liittymissä helposti toteuttavissa.

6.4.3 Valo-ohjattu liittymä

Valo-ohjatun liittymän tulosuuntien välityskyky riippuu voimakkaasti käytetyn valo-ohjelman ajoituksesta. Tulosuunnan välityskyky on tulosuunnan vihreän ajan osuuden ja ominaisvälityskyvyn tulo. Valoliittymän välityskykyyn vaikuttavat keskeisimmin tulosuunnan kaistaluku, ajokaistojen kyllästymisliikennemäärät ja vihreän ajan osuus tulosuunnalla. Valo-ohjauksen suunnitteluun sisältyy mm. opastinryhmä- ja vaihejaon, suoja- ja vaihtumisaikojen, vihreiden aikojen sekä kiertoajan määrittely. (Tiehallinto 2001, s. 27.)

Vaiheiden suoja-ajat mitoitetaan ajoneuvojen ja jalankulkijoiden liittymäalueella kulkevan matkan ja nopeuksien perusteella. Suojateiden tarvitsema vihreän aika vaikuttaa yleensä merkittävästi liittymän ajoneuvoliikenteen virtojen toimivuuteen. Valojen yleisin kiertoaika on 70–100 sekuntia. Vilkkaan liikenteen ohjelmissa kiertoaika on vähäisen tai normaalin

liikenteen ohjelmaa pidempi, koska pitkällä kiertoajalla saadaan pidennettyä vihreän osuutta valokierrossa sekä vähennettyä herkimmin ruuhkautuvien liikennevirtojen pysähtymisen tarvetta. Valittu kiertoaika ei saa olla liian pitkä, jotta mahdolliset päätien suuret kääntyvät virrat mahtuvat kääntymiskaistalle tai viereisen kaistan liikenne ei estä jonoutuessaan kääntymiskaistalle pääsyä. (Liikennevirasto 2016, s. 127).

Tulosuunnan kaistan ominaisvälityskyky on liikennemäärä, jonka kaista pystyy välittämään tunnissa silloin, kun tulosuunnalle näytetään koko ajan vihreää valoa. Kaistatyyppien ominaisvälityskyky määritetään tarkemmin vuoden 2016 LIVASU-ohjeen sivun 122 kuvan arvojen mukaisesti. Ominaisvälityskyvyn perusarvoa valittaessa on tunnettava tai arvioitava kääntyvien ajoneuvojen osuus. (Liikennevirasto 2016, ss. 122–123.)

Valoliittymän yksittäisen tulosuunnan vihreän tarve sekunneissa lasketaan vertaamalla tulosuunnan liikennemäärää sen kaistojen ominaisvälityskykyyn ja kertomalla saatu kuormitusaste valojen kiertoajalla. Valo-ohjatun liittymän kuormitusaste lasketaan seuraavasti (Tiehallinto 2001, s. 27.):

$$B = \frac{\text{vihreän tarve}}{\text{vihreän tarjonta}} = \frac{\sum \left(\frac{q_i}{s_i} \right)_{\max}}{1 - \frac{\sum T}{c}}$$

B =	valo-ohjauksisen liittymän kuormitusaste
Q _i =	vaiheen i kriittisen osatulosuunnan liikennemäärä
S _i =	vaiheen i kriittisen osatulosuunnan ominaisvälityskyky
ΣT _i =	"kriittisen polun" suoja-aikojen summa
C =	valo-ohjauksen kiertoaika

Valoliittymän käyttösuhde osoittaa, kuinka suuri osuus vihreän maksimijasta on käytössä. Käyttösuhde KS lasketaan seuraavasti (Tiehallinto 2001, s. 27.):

$$KS = \frac{\text{vihreän tarve} + \text{suoja - ajat}}{\text{kiertoaika}}$$

$$= \frac{\sum \left(\frac{q_i \times c}{s_i} \right)_{\max} + \sum T}{c}$$

$$= \sum \left(\frac{q_i}{s_i} \right)_{\max} + \frac{\sum T}{c}$$

q =	vaiheen i kriittisen osatulosuunnan liikennemäärä
s =	vaiheen i kriittisen osatulosuunnan ominaisvälityskyky (kohta 7G-4)
ΣT =	"kriittisen polun" suoja-aikojen summa
c =	valo-ohjauksen kiertoaika (toimivuuslaskelmissa käytetään yleensä 90 s kiertoaika)

Käytösuhdemenetelmä antaa suurilla liikennemäärillä pienemmän tuloksen kuin kuormitusaste. Pienillä liikennemäärillä tilanne on päinvastainen. (Liikennevirasto 2016, s. 45.)

Liikennevalojen suunnitteluohjeessa on esitetty liikennevaloliittymän palvelutasoluokitus, joka perustuu keskimääräiseen viivytykseen. Liittymässä, jossa on hyvin toimiva valo-ohjaus, saavutetaan pääsuunnalla yleensä palvelutaso B ja sivusuunnalla palvelutaso C silloin, kun ei olla ylikuormittuneessa tilanteessa. Viivytykseen perustuvan palvelutasoluokituksen puutteena on, että se ei ota huomioon pysähdysten määrää. (Liikennevirasto 2016, s. 48.)

Palvelutasoluokitusta A–F voidaan hyödyntää yleisesti liittymien simulointitulosten raportoinnissa. Valo-ohjatun liittymän palvelusokriteerit ovat hieman valo-ohjaamatonta liittymää korkeampia, koska liikkujien arvellaan olevan valmiita odottamaan valo-ohjauksisissa liittymissä hieman kauemmin. Valo-ohjaus vähentää liikkujan tarvetta muun liikenteen seuraamiseen, minkä vuoksi liikkujan kokema kuormitus on valoliittymässä valo-ohjaamatonta liittymää pienempi.

Valo-ohjaus on perusteltua liikenteen sujuvuuden varmistamiseksi, kun liittymän kuormitusaste on suurempi kuin 0,7 (Liikennevirasto 2016, s. 48). Valo-ohjatun liittymän toimivuuden, ruuhkautumisen ja palvelutason luokitusasteet on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Valo-ohjatun liittymän luokitukset (Tiehallinto 2001, s. 27).

Kuormitusaste	Käytösuhde	Toimivuus	Ruuhkautuminen	Palvelutaso	Keskimäär. viivytys (s/ajon.)
< 0,85	< 0,9	Hyvä	Ei ruuhkia	A (<i>erittäin hyvä</i>)	≤ 5,0
0,85 - 0,95	0,9 - 1,0	Tyydyttävä	Satunnaisia ruuhkia	B (<i>hyvä</i>)	5,1 – 15,0
0,95 - 1,05	1,0 - 1,1	Välttävä	Lyhytaikaisia ruuhkia	C (<i>tyydyttävä</i>)	15,1 - 25,0
> 1,05	> 1,1	Huono	Pitkäaikaisia ruuhkia	D (<i>välttävä</i>)	25,1 - 40,0
				E (<i>huono</i>)	40,1 - 60,0
				F (<i>erittäin huono</i>)	> 60,0

Valo-ohjauksisen tie- tai katujakson tai yksittäisten liittymien liikenteen sujuvuutta voidaan lisäksi arvioida laskemalla tarkastelujaksolta nopeusrajoituksen ja keskimatkanopeuden erotus. Laatuso luokitellaan vähentämällä tarkastelujakson nopeusrajoituksesta laskelmissa toteutunut keskimatkanopeus. (Tiehallinto 2001, s. 27.)

6.5 Liittymien toiminta

6.5.1 Valo-ohjaamaton liittymä

Valo-ohjaamattoman liittymän toimintaan vaikuttaa erityisesti väistämiselvollisten ja etuajo-oikeutettujen liikennevirtojen keskinäinen vuorovaikutus ja kriittinen aikaväli. Liittymään saapuvan väistämiselvollisen ajoneuvon on odotettava, kunnes aika seuraavaan etuajo-oikeutettuun ajoneuvoon on riittävän suuri, jotta liittyminen tai risteäminen voidaan suorittaa turvallisesti. Lyhyintä keskimääräistä etuajo-oikeutettujen ajoneuvojen aikaväliä tai alkuaikaväliä, jonka väistämiselvollinen ajoneuvo voi käyttää liittymiseen tai risteämiseen, kutsutaan kriittiseksi aikaväliksi. Lisäksi ajoneuvon tulee säilyttää turvallinen aikaväli edellä ajavaan ajoneuvoon. Purkautumisaikavälillä tarkoitetaan keskimääräistä aikaväliä väistämisen ja pysäytysviivan kohdalla, kun väistämiselvollisten ajoneuvojen jono purkautuu esteettä. Kriittisen aikavälin määrittämisen haasteena on kuljettajien epäjohtonmukaisuus, minkä vuoksi kuljettajan kannalta lyhintä käyttökelpoista aikaväliä ei voi suoraan mitata. Mittauksissa voidaan havaita vain kuljettajien hyväksymät tai hylkäämät aikavälit. (Luttinen ym. 2005, ss. 238, 241.)

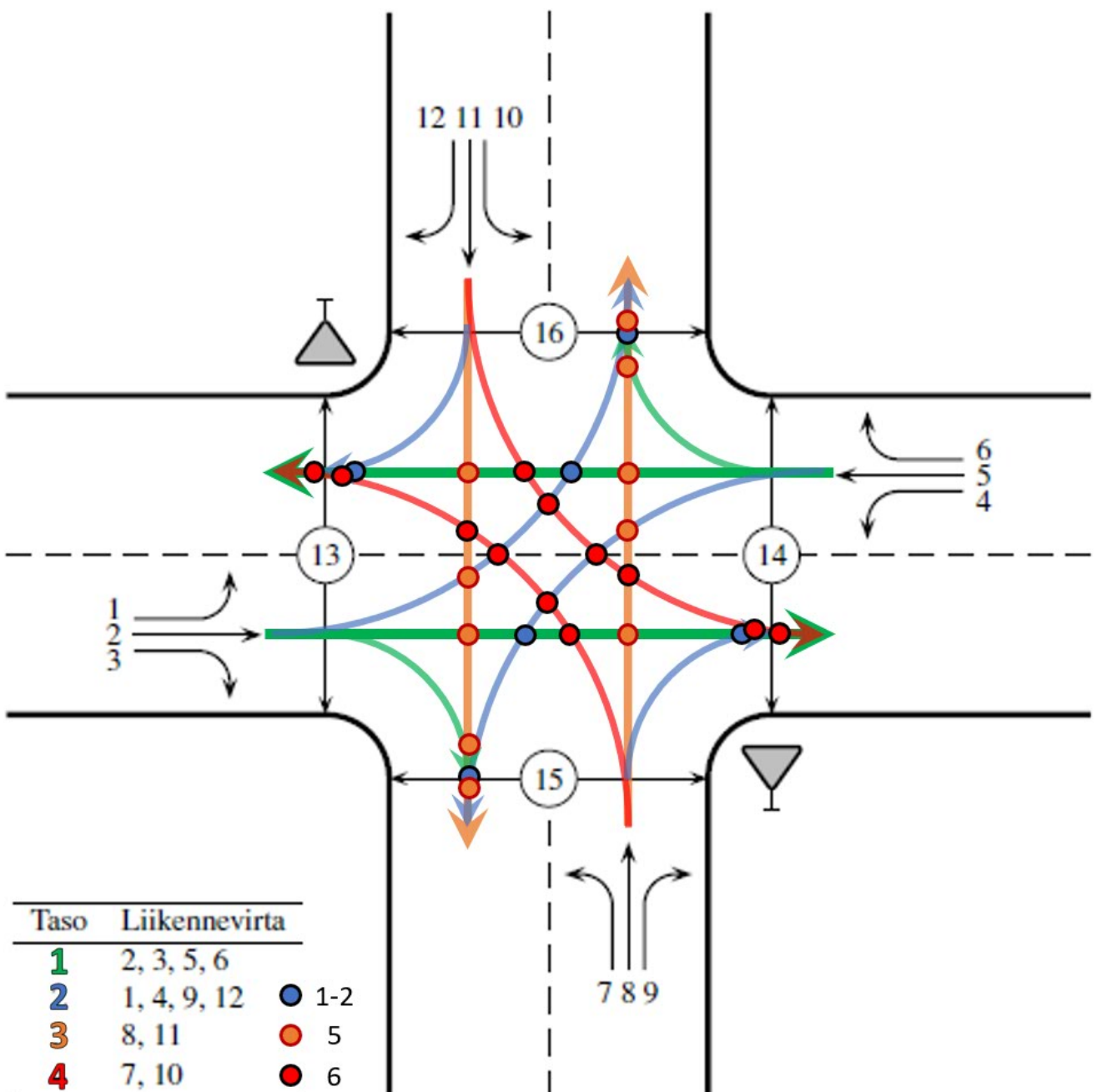
Liittymän välityskyky ja palvelutaso määritetään kullekin väistämiselvolliselle liikennevirralle ja kaistalle erikseen. Tarkasteltavaa väistämiselvollista liikennevirtaa kutsutaan sivuvirraksi ja etuajo-oikeutettuja liikennevirtoja päävirroiksi. Aluetta, jossa pää- ja sivuvirta risteävät tai liittyvät, kutsutaan konfliktialueeksi tai konfliktipisteeksi. Väistämissuhteet määritellään hierarkkisina tasoina. Tavallisessa etuajo-oikeutetun pääsuunnan sisältävässä nelihaaraliittymässä on neljä väistämiselvollisuuden tasoa ja kolmihaaraliittymässä kolme. Kiertoliittymässä saapuva virta väistää aina kiertävää virtaa, johon saapuvat ajoneuvot sekoittuvat, joten väistämiselvollisuuden tasojen määrä on ainoastaan kaksi ja risteäviä konfliktipisteitä on neljä. (Luttinen ym. 2005, ss. 238–239.)

Etuajo-oikeutetussa nelihaaraliittymässä väistämiselvollisuuksien tasojen ja konfliktipisteiden määrä sekä niiden vaikutus liikennevirtojen toimivuuteen on suurimmillaan. Tyypillisessä etuajo-oikeutetussa nelihaaraliittymässä ajoneuvoliikenteen virtojen risteäviä pisteitä on yhteensä kuusitoista ja liittyviä pisteitä kaksitoista.

Nelihaaraliittymän liikennevirrat (1–16) väistämismellvöllisyyden tasoineen (1–4) ja konfliktipisteineen (väistämismellvöllisyyden tason mukaan 0–6) on esitetty kuvassa 6.

Kuva 6: Liikennevirrat nelihaaraliittymässä (Luttinen 2005, s. 239).

Kuvaan on merkitty ajoneuvoliikennevirtojen liittyvät ja risteävät konfliktipisteet (28 kpl), jotka hidastavat pisteen väistämismellvöllistä virtaa, jos väistämismellvöllisen ajoneuvon kriittinen aikaväli on turvalliseksi määriteltyä pienempi. Toinen liikennevirtoja hidastava tekijä on tulosuuntien jonoutuminen, johon vaikuttavat liittymän väistämismellvöllisyyksien lisäksi myös tulosuuntien kaistajärjestelyt.



Etujajo-oikeutetun nelihaaraliittymän ajoneuvojen liikennevirroilla on yhteensä neljä väistämisvelvollisuuden tasoa. Tulosuunnittaiset liikennevirrat voidaan jakaa suoraan kulkeviin sekä vasemmalle ja oikealle kääntyviin virtoihin, mikä tuo tyypillisen nelihaaraliittymän toimivuustarkasteluun yhteensä kaksitoista mitattavissa olevaa ajoneuvojen liikennevirtaa sekä mahdolliset suojatieliikenteen virrat (13–16).

6.5.2 Valo-ohjattu liittymä

Liikennevalojen rakentamistarve päätetään tapauskohtaisesti yleensä toimivuus- ja turvallisuusnäkökohtien perusteella. Päätös tai liikennevaloihin varautuminen vaikuttaa liittymän suunnittelussa kääntymiskaitoihin ja suojateiden sijoitukseen. Liikennevalot eivät ole liikenteen sujuvuutta tai turvallisuutta parantava ja joka paikkaan sopiva yleisratkaisu, vaan niiden asettaminen vaatii tarveselvitystä ja suunnittelua. Liikennevalojen tarve harkitaan, kun liittymän kuormitusaste on suurempi kuin 0,7 tai kun liittymään saapuva kokonaisliikennemäärä on yli 12 000–15 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Liikennevalojen tarpeen määrää ensisijaisesti liikenneturvallisuus, kun liittymän kuormitusaste on välillä 0,5–0,7. Kun kuormitusaste on pienempi kuin 0,5, liikennevalojen tarve harkitaan, jos turvallisuusnäkökohdat puoltavat niiden asettamista. Valo-ohjaus vähentää onnettomuuksia tehokkaammin nelihaaraliittymässä kuin kolmihaaraliittymässä. (Liikennevirasto 2016, ss. 42, 48.)

Liikennevalojen suunnittelussa tarvitaan liikennemäärätietoja liittymän kaistamitoituksen ja liikenteen vaihtelun perusteella. Liikennevalojen ajoitus tehdään noin viiden vuoden päähän laaditun ennusteen perusteella. Ennuste tehdään liittymäkohtaisesti yleisen ennusteen pohjalta tai kasvukertoimia käyttäen nykyisten liikennetietojen perusteella. (Liikennevirasto 2016, s. 51.)

Liikennevalojen etuna on mahdollisuus liittymän välityskyvyn jakamiselle eri tulosuuntien kesken halutulla tavalla. Laajemmissa verkollisissa kokonaisuuksissa yhteenkytkettyjen valojen vihreät aallot vähentävät herkästi ruuhkautuvan liikennevirran pysähdyksiä ja siten tehostavat pääsuunnan kykyä välittää liikennettä.

6.5.3 Kääntymiskaistat

Pääsuunnan kääntymiskaistan tarve liikennemäärien perusteella arvioidaan tasoliittymien suunnitteluohjeen avulla (Tiehallinto 2001). Vasemmalle kääntyvän liikenteen osalta tarve määräytyy lisäksi vasemmalle kääntyvän liikenteen palvelutasovaatimusten perusteella. Korkealuokkaisen päätien palvelutasovaatimukset (toimintaympäristöt TY1 ja TY2) edellyttävät vasemmalle kääntymisen ohjaamista suojatussa vaiheessa, mikä vaatii erillisen kääntymiskaistan. Muun tieverkon toimintaympäristössä (TY3) vasemmalle kääntymisen vaatii aina erillisen kääntymiskaistan. Alemman tie- ja katuverkon valoliittymissä vasemmalle kääntymisen on tietyin edellytyksin mahdollista toteuttaa sekavaiheessa.

Liikennevalo-ohjattuun liittymään on rakennettava pääsuunnan vasemmalle kääntymiskaistat liikenneturvallisuussyistä 2-ajorataisilla väylillä ja väylillä, joilla nopeusrajoitus on 60 km/h tai 70 km/h. Jos vasemmalle kääntyviä on enemmän kuin 50–100 ajon/h, tulisi pääsuunnalle rakentaa kääntymiskaista aina, kun nopeusrajoitus on 50 km/h tai suurempi. (Tiehallinto 2001, s. 81.)

Useimmiten kääntymiskaista suunnitellaan vasemmalle kääntyvälle virralle; oikealle kääntyvä liikenne käyttää lähtökohtaisesti samaa kaistaa kuin suoraan menevä liikenne. Erillinen kääntymiskaista oikealle on suoriteltava ratkaisu liittymissä, jos liikenteen nopeusrajoitus on 60 km/h tai 70 km/h, jotta voimakkaasti hidastavat autot eivät aiheuta viivytyksiä suoraan jatkavalle liikenteelle. Valoliittymissä omalla opastinryhmällä erikseen ohjattava kääntyvä liikennevirta tarvitsee aina erillisen kääntymiskaistan. (Tiehallinto 2001, s. 81, Liikennevirasto 2016, s. 57.)

Jos oikealle kääntyviä on valoliittymässä selvästi enemmän kuin vasemmalle kääntyviä, oikealle kääntyvät on suositeltavaa ohjata omalla opastinryhmällä tai vapaa oikea -järjestelyllä. Katua ylittävien jalankulkijamäärien ollessa suuria erillinen oikealle kääntyvien kaista on suositeltava, koska oikealle samanaikaisesti kääntyvä väistämisvelvollinen ajoneuvoliikenne tukkii suoraan menevän liikenteen kaistan. Pääsuunnan oikealle kääntyvien ryhmittymiskaista on suositeltava ratkaisu myös yhteenkytketyissä liikennevaloissa, jos sen avulla voidaan pienentää pääsuunnan kuormitusastetta ja nopeushajontaa sekä parantaa välityskykyä. (Liikennevirasto 2016, s. 57.)

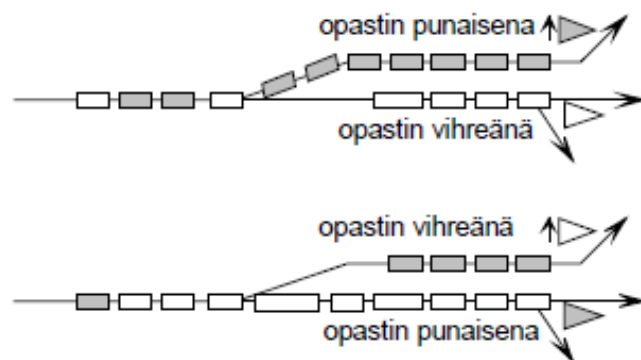
Oikealle kääntyville voidaan järjestää myös vapaa oikea niin, että kääntyminen tapahtuu valo-ohjauksen ohi väistämissäntöjen mukaisesti. Oikealle kääntyvä liikennevirta tarvitsee erillisen oikealle kääntymiskaistan, josta autoilija liittyy risteävään liikennevirtaan kuten valo-ohjaamattomassa liittymässä. Oikealle kääntyminen tapahtuu liikennemerkein ja tiemerkinnoin osoitettujen väistämissäntöjen mukaisesti. Vapaan oikean etuna on, että risteävän ajosuunnan vihreää valoa ei tarvitse katkaista oikealle kääntyvän liikenteen vuoksi, minkä vuoksi sivusuunnan vapaa oikea aikaansaa yleensä suuremmat hyödyt kuin pääsuunnan vapaa oikea. (Tiehallinto 2001, s. 82, Liikennevirasto 2016, s. 61.)

Liikennevaloissa vasemmalle kääntymiskaistan tarve on riippuvainen kääntyvien liikennemäärästä huipputunnin aikana sekä käytössä olevasta valo-ohjelmasta. Yhteenkytetyissä liikennevaloissa vasemmalle kääntymiskaistan tarve on erillisesti toimivia valoja suurempi. Vihreän aallon tulosuunnalla vasemmalle kääntyvät haittaavat saman kaistan suoraan kulkevaa liikennettä. Erikoistapauksissa lisäkaistan tarve arvioidaan välityskyky- ja toimivuuslaskelmin tai simulointien avulla. (Liikennevirasto 2016, s. 58.)

Liittymän toimivuuteen vaikuttaa erityisen paljon se, mahtuuko punaisen valon aikana kertynyt jono lisäkaistalle. Liian

lyhyeksi mitoitettu kääntymiskaista pidentää jonoja ja ajoneuvojen keskimääräisiä viivytyksiä sekä heikentää välityskykyä ja liikenneturvallisuutta. Lyhyestä kääntymiskaistasta aiheutuva liikennevirran toimivuuden heikennys on esitetty kuvassa 7 (Liikennevirasto 2016, s. 59).

Kuva 7: Liian lyhyen kääntymiskaistan vaikutus (Liikennevirasto 2016, s. 59).



Valoliittymään punaisen valon aikana saapuvan ajoneuvoliikenteen on mahduttava kääntymiskaistalle. Jos kääntyvien ajoneuvojen jono yltää tarkasteluissa suoraan jatkavan liikenteen kaistalle, suoraan menevän kaistan välityskyky pienenee ja onnettomuusriski kasvaa. Lisäksi viereisen kaistan jono ei saa estää pääsyä kääntymiskaistalle, jos kääntyvää liikennettä on enemmän kuin 100–150 ajoneuvoa tunnissa. Jos suoraan jatkava

liikennemäärä on suuri, kääntymiskaistan pituudesta voidaan joutua tinkimään. Kääntymiskaistan pituuteen vaikuttaa lisäksi ajoneuvoilmaisimien sijainti; kääntymiskaistan tulee olla riittävän pitkä, jotta kääntyvät pääsevät ryhmittymään kaistalleen ennen suoraan jatkavien kulkuilmaisinta. (Liikennevirasto 2016, s. 59.)

6.5.4 Kiertoliittymä

Kiertoliittymässä saapuva virta väistää kiertävää virtaa, johon saapuvat ajoneuvot sekoittuvat. Liittyvässä suunnassa on sallittu vain oikealle kääntyminen, minkä avulla saadaan kasvatettua liikenteen välityskykyä. Käytännön mallintamisessa kiertoliittymä on sarja peräkkäisiä valo-ohjauksettomia liittymiä. Toimivuustarkastelun tulosten kannalta on kriittistä, kuinka todenmukaisesti simuloitujen väistämismallit ajoneuvot pääsevät liittymään kiertotilaan.

Kiertoliittymän suositeltava kiertosaarekkeen halkaisija on 13–20 m ja normaali kiertotilan leveys on 7–9 m. Mitä suurempi kiertosaarekkeen halkaisija on, sitä korkeampia ovat ajonopeudet ja vakavampia onnettomuudet; toisaalta liian pieni kiertosaarekkeen halkaisija päästää liikenteen oikaisemaan liittymän ilman ajonopeuden alenemista. Kiertoliittymään saapuvan liikenteen tarvittava nopeusrajoitus on korkeintaan 50 km/h. Tarvittaessa nopeusrajoitus alennetaan noin 150 metriä ennen kiertoliittymää, josta kiertoliittymä tulee olla myös sitä lähestyvän liikenteen havaittavissa. Kiertoliittymä suunnitellaan siten, että sen nopean läpiajon estämällä ajonopeudet liittymäalueella ovat 20–40 km/h; tähän päästään tulosuuntien pienipiirteisellä geometrialla ja kiertotilan tiukalla mitoituksella. (Tiehallinto 2001, ss. 74, 76.)

Kiertoliittymiä ei suositella erikoiskuljetusten reiteille. Erikoiskuljetusten vaatimukset on tarkistettava tapauskohtaisesti sekä selvitettävä korvaavien reittien mahdollisuudet. (Tiehallinto 2001, s. 79.) Kiertosaarekke voidaan suunnitella tarvittaessa yliajettavaksi raskaan liikenteen erikoiskuljetusten tarpeisiin.

Kiertoliittymän välityskykyä voidaan kasvattaa osittain kaksikaistaisella turbokiertoliittymällä, jossa periaatteena on välttää liittymässä väistettäviä liikennevirtoja ohjaamalla kaikki liikennevirrat omille kaistoilleen jo ennen kiertoliittymää. Turbo-

kiertoliittymän läpi voi kulkea yhdestä tulosuunnasta jopa 1800 ajoneuvoa tunnissa. Täysin kaksikaistaisia kiertoliittymiä ei suositella, koska sisäkaistalta kiertotilasta poistuva liikennevirta risteää tällöin ulkokaistaa jatkavan liikenteen kanssa.

Kiertoliittymässä voidaan käyttää kiertotilan ohittavaa kääntymiskaistaa oikealle kääntyvälle liikenteelle, jos tulosuunnan kapasiteetti ei muuten riitä ja oikealle kääntyvän liikenteen määrä on yli 200 ajon/h. Vapaa oikealle kääntyvä kaista on perusteltu ratkaisu silloin, kun oikealle kääntyvä liikennevirta on suuri ja järjestely parantaa liittymän toimivuutta. (Tiehallinto 2001, s. 78.) Oikealle kääntyvien kaista poistaa liikennevirralta liittymään saapumisesta aiheutuvan väistämisvelvollisuuden ja vähentää samalla kiertoliittymätilan kuormitusta.

7 Liikenteen toimivuus

7.1 Toimivuustarkastelun tarve ja arviointimenetelmät

Simuloinnin keinoin tuotetun liikenteellisen toimivuustarkastelun ja tulosten raportoinnin avulla tutkitaan ja selvitetään suunnitelmien toteutuskelpoisuutta erilaisilla liikennevirtojen toimivuuden mittareilla sekä tunnistetaan tulevaisuuden liikennejärjestelyiden laajempia käytännön vaikutuksia. Tavoitteena on varmistaa suunniteltujen järjestelyiden sujuvuus ja toteuttamiskelpoisuus. Toimivuustarkastelun vertailtavina vaihtoehtoina ovat yleensä kohdealueen liikenteen nykytilanne sekä noin 20–30 vuoden päähän tulevaisuuteen katsova ennustetilanne, jossa alueen liikennejärjestelyt ja -määrät ovat muuttuneet nykyisestä.

Liikenteen simulointi ja toimivuustarkastelu alkavat tarkastelutarpeen tunnistamisesta. Tarpeen voi aiheuttaa esimerkiksi uudet maankäyttösuunnitelmat, laajemmat verkolliset tai alueelliset liikennehankkeet tai työnaikaisten liikennejärjestelyjen suunnittelu. Simulointia suositellaan laajemmissa kokonaisuuksissa, joissa liikennevirtojen vuorovaikutukset ovat monimutkaisia sekä suunnittelukohteissa, joiden toiminnassa tiedetään olevan jo nykyisin ongelmia. Liikenteellisesti haastavia kohteita ovat yleisimmin vilkasliikenteiset katuosuudet, joissa liittymät sijaitsevat lähellä toisiaan ja joissa vasemmalle kääntyvien virtojen osuus on merkittävä. Liittymäjärjestelyiden monimutkaisuus on usein riittävä yksittäinen peruste simulointimenetelmän valintaan.

Liikenteen toimivuutta voidaan arvioida analyyttisillä menetelmillä, niiden perusteella kehitetyillä laskentaohjelmilla sekä liikenteen simulointimalleilla. Toimivuustarkastelun tavoitteet ja tarkastelukohde vaikuttavat siihen, riittääkö tarkastelumenetelmäksi analyyttinen menetelmä vai tarvitaanko simulointia.

Pieniin toimivuustarkasteluihin riittää usein analyyttinen menetelmä, jossa liikennettä käsitellään tilastollisena ilmiönä. Analyyttisillä menetelmillä tarkoitetaan liikenteen toimivuuden arvioimiseen ja välityskyvyn laskemiseen käytettäviä laskentamalleja, yhtälöitä, kaavioita ja taulukoita (Liikennevirasto 2013, s. 6). Esimerkki analyyttisestä laskentamallista on Tiehallinnon kehittämä IVAR-ohjelma, jolla arvioidaan kaupunkiseutujen ulkopuolisen verkon matka-aikoja.

Analyttisen menetelmän lähtökohtana on liikennejärjestelyiden ennalta määritellyt ominaisvälityskyvyt ilman hidastavia tekijöitä. Se tuottaa helposti ymmärrettäviä ja vertailukelpoisia tuloksia teiden linjaosuuksien sujuvuudesta, matka-ajoista sekä liittymien kuormitusasteista ja palvelutasoista. Analyttiset menetelmät soveltuvat pieniin ja yksinkertaisiin toimivuustarkasteluihin, joissa tutkitaan yksittäistä liittymää, sekoittumisaluetta tai linjaosuutta. Analyttiset menetelmät ovat nopeasti ja helposti toteutettavia, ja ne tuottavat yksiselitteisiä tunnuslukuja; esimerkiksi kohteen ominaisvälityskyvyn selvittäminen ja sen vertailu odotettuihin liikennemääriin tuottaa tietoa liikennejärjestelyiden vähimmäistarpeista ja suuruusluokasta.

Analyttinen menetelmä on nopea mutta karkea makrotason arviointityökalu, joka ei havaitse liikennevirtojen ja -yksiköiden vuorovaikutuksia tai liikennejärjestelyiden yksityiskohtia, kuten kaistanvaihtoja, liikennevaloetuksia tai kävely- ja pyöräilyliikenteen vaikutusta. Tarkempaan liikenteellisen toimivuuden selvittämiseen tarvitaan simulointia, jonka avulla voidaan kuvata liikennevirran dynamiikkaa ja toimivuutta analyttisiä menetelmiä monipuolisemmin ja yksityiskohtaisemmin.

7.2 Reaaliaikainen seuranta

Joissain tapauksissa kohdealueen liikenteellisistä olosuhteista ei saada ennakkoon lainkaan tarvittavia analysoitavia tai simulointikelpoisia lähtötietoja, jolloin mallinnuksen sijasta liikenteen toimivuutta on tarkkailtava nykytilanteen seurantatietojen avulla. Esimerkiksi tie- ja katutöiden vaikutusten mallintaminen on yleensä vaikeasti toteutettavissa, koska työmaan ja sen vaikutusalueen liikenteen toimivuus on yksilöllistä ja muuttuvaa, työmaan liikennejärjestelyt on erikseen suunniteltava, työmaan toiminta voi olla lyhytaikaista tai katkonaista eikä valmiiksi sovellettavaa tietopohjaa tai kustannustehokasta seurantatapaa useinkaan ole. Koska liikennevirtojen toimivuutta ennakoivaan simulointiin ja tarkasteluun ei saada tietoja ennen työmaatoiminnan aloittamista, kohdealueen liikenteen toimivuutta on tällöin tarkasteltava reaaliaikaisesti, jotta sujuvuuden heikkenemiseen ja mahdollisiin häiriöihin päästään reagoimaan nopeasti esimerkiksi muuttuvilla opasteilla. Reaaliaikaisen seurannan heikkoutena on heikentyneisiin liikenneolosuhteisiin reagointi, sen sijaan että liikenteen sujuvuus voitaisiin tarkistaa ennakkoon liikennevirtojen mallinnuksen avulla. Tietoliikennejärjestelmien kehittyessä reaaliaikaisen seurantatiedon hyödynnettävyys ja

uusien sovellusten kehitys on joka tapauksessa kasvussa. Nopea liikenteen tilannekuvaan reagointi on entistä helpompaa toteuttaa tulevaisuudessa.

Ajoneuvojen GPS-sijainteja seuraamalla on mahdollista saada tietoa liikennevirran sujuvuudesta eri vuorokauden hetkillä reaaliaikaisesti tai historiatiedon pohjalta. GPS-tieto tuottaa liikenneteknisiä suureita, kuten nopeus- tai matka-aikatietoja haluttujen reittipisteiden välille tai reittimuutoksia. Navigaattoriohjelmat tai ajoneuvojen järjestelmät keräävät GPS-tietoa ajoneuvojen nykyhetken sijainneista, joka kohdistetaan kartalle ja tallennetaan järjestelmään. Tiedon päivitystiheys on yksi minuutti. Kerätty GPS-tieto on nimetöntä, joten sitä ei pysty jäljittämään yksittäiseen ajoneuvoon. Vuoden 2022 Tiepäivillä Aleksi Vesannon pitämässä luennossa ”Reaaliaikaisen seurantatiedon hyödyntäminen isojen työmaiden liikenteellisissä vaikutuksissa” kävi ilmi, että GPS-havainnot kattavat noin 5–15 prosenttia liikennevirrasta pääteiden ja suurimpien kaupunkien osalta, mikä on riittävä tietomäärä tilannekuvan analyysien näkökulmasta.

Seurantatiedolla on paikkansa liikennetilanteen reaaliaikaisen viestinnän ja siihen reagoimisen näkökulmasta. Koska järjestelmä mahdollistaa viestinnän tienkäyttäjille, reaaliaikaisen tiedon hyötynä on liikennevirtojen dynaaminen ohjaaminen pääreitiltä tarvittaessa vaihtoehtoiselle reitille. Historiallista seurantatietoa tarkastelemalla voidaan arvioida toteutettujen liikenteenohjausratkaisujen vaikutuksia, tehdä laajempia alueellisia analyyseja sujuvuuden ja suuntautumisen näkökulmasta sekä vertailla normaalia ja epänormaalia liikennetilannetta.

Reaaliaikaisella aika- ja paikkatiedolla päästään liikennevirtojen sujuvuuden jatkuvaan ja tarkkaan seurantaan. Kerätyn historiatiedon avulla voidaan tarkistaa, ovatko liikennesuunnitelmat tuottaneet haluttuja tuloksia. Aika- ja paikkatiedon avulla voidaan tutkia esimerkiksi katuosuuden nopeusrajoitusmuutoksen vaikutusta paikalliseen nopeustasoon reitin varrella tai liikennevirran sujuvuutta ja liikennemääriä aikajanalla. Liikennevirtojen simuloinnin näkökulmasta seurannan historiatietoa voidaan periaatteessa käyttää myös simulointimallin nykytilan lähtötietona.

7.3 Toimivuuden määritelmät

Liikenteen simuloinnissa ja toimivuustarkastelussa on oleellisena tekijänä liikenteellisen toimivuuden määritelmä sekä sen sanallinen ja kuvallinen esittäminen tiiviissä raporttimuodossa. Toimivuuden määritelmät ovat osittain mitattavissa olevaa tietoa ja osittain intressiryhmien kokemuksia. Toimivuuden rinnalla kulkee myös sujuvuuden käsite, jolla kuvataan liikenneverkon kykyä palvella liikennettä. Sujuvuuteen vaikuttavat sekä verkon tekninen taso että sen toimivuus eri liikennetilanteissa – toimivuuteen eli liikenteelliseen tasoon puolestaan vaikuttavat nopeus suhteessa tavoitenopeuteen sekä matka-aikojen ennustettavuus. Sujuvuuden käsitteellä tarkoitetaan yleensä autoliikennettä, mutta käsite on kuitenkin sama kaikessa liikkumisessa ja liikenteessä. (Tielaitos 1998, s. 11.)

Liikenteen sujuvuus voidaan määritellä objektiivisuuden ja subjektiivisuuden käsitteillä. Objektiivinen sujuvuus tarkoittaa mitattavissa olevaa liikennevirtaa tai yksittäisiä ajoneuvoja, joiden liikettä voidaan tarkkailla määritettyjen mittareiden avulla. Subjektiivinen sujuvuus on tienpitäjän tai tienkäyttäjän tulkinta liikenteen sujuvuudesta. Objektiivisen ja subjektiivisen sujuvuuden näkökulmat tulee pitää erillään toisistaan; molempia voidaan arvioida, tosin eri mittareilla. Kuljettajien mielipiteitä voidaan kartoittaa esimerkiksi haastattelujen avulla. (Tielaitos 1998, s. 12.) Tärkein yksittäinen objektiivinen liikenteen sujuvuuden mittari on matka-aika. Matka-ajan merkitys riippuu matkatyypistä, sillä esimerkiksi työmatkalle annetaan suurempi arvo kuin vapaa-ajan matkoille. Sujuvuuteen liittyy siten oleellisesti arvottamisen ongelma. (Tielaitos 1998, s. 14.)

Palvelutaso on liikkumis- ja ajo-olosuhteiden laadullinen luokittelu, joka on tarkoitettu kuvaamaan tienkäyttäjän subjektiivista kokemusta liikennevirran laadusta. Palvelutason käsite kuuluu oleellisena osana liikenteellisen toimivuuden määrittelyasteikkoon, jossa sitä käytetään tarkastelukohteen liikenteellistä tasoa yksinkertaistavana, selventävänä ja yhteen vetävänä tunnuslukuna, joka on tärkeässä osassa päätöksentekoprosessissa.

Koska palvelutaso on tarkastelijan näkökulmasta ja tavoitteista riippuvainen, se on siten käytännössä jossakin määrin epämääräinen: esimerkiksi tienpitäjä tarkastelee palvelutasoa järjestelmätasolla ja tienkäyttäjä yksilötasolla. Toimivuustarkasteluiden avulla liikenteellinen

palvelutaso voidaan selvittää pienessä mittakaavassa liikenneverkon yksittäisen liittymän kautta kulkeville liikennevirroille tai laajemmalla katsannolla matkalle tai matkaketjulle.

Toimivuustarkastelussa hyödynnettävät liikenteellisen toimivuuden mittarit ovat kehittyneet alan perusteoksen Highway Capacity Manualin (HCM) kautta. HCM:n mukainen tien liikenteellinen palvelutaso kuvaa sujuvuutta teknisesti keskinopeuden, käyttösuhteen ja operointivapauden eli viivytettynä ajavien osuuden avulla (Tielaitos 1998, s. 90). HCM määrittää liikenteen toimivuudelle palvelutason (Level of Service) kuusiportaiselle asteikolle A–F, jossa palvelutaso A kuvaa parhaita ja F heikoimpia olosuhteita. Palvelutason määritelmät A–F edustavat tiettyjä liikennevirran olosuhteita ja kuljettajan näkemystä liikenteen toimivuudesta. Liikenneturvallisuus ei sisälly palvelutasomittariin. (Transportation Research Board 2000, s. 2–3). Palvelutasoluokkien A–F rajat perustuvat usein keskimääräiseen nopeustasoon ja sen poikkeamaan toisaalta vapaasta nopeustasosta ja toisaalta kyllästyspisteen nopeustasosta (Tielaitos 1998, s. 90). Palvelutasokäsitteeseen liittyy lisäksi muuta terminologiaa, joka ei ole kovin vakiintunutta. Palvelutason rinnalla puhutaan sujuvuudesta, liikennöitävyydestä, tavoitettavuudesta, luotettavuudesta ja toimintavarmuudesta. (Tiehallinto 2007, s. 11.)

Liikenteen toimivuustietoa tarvitaan lähes kaikessa liikenteen suunnittelutyössä, kuten strategisen tason suunnittelussa, hankkeiden yleis- ja esisuunnittelussa, liikenteen tiedotuksessa ja ohjauksessa sekä viestinnässä (Tiehallinto 2008, s. 13). Tienpidossa on pyritty yhä enemmän hankkimaan teknisen palvelutason sijaan toiminnallista palvelutasoa, mikä edellyttää, että myös liikenteelliselle toimivuudelle voidaan asettaa vaatimuksia ja mitata niiden toteutumista (Tiehallinto 2008, s. 18).

Yhteiskunnallisissa investointipäätöksissä liikenteen sujuvuutta kuvaavilla tunnusluvuilla on usein suuri merkitys. Vaihtoehtojen arvioimiseksi liikenteen sujuvuudesta tarvitaan tietoa sekä nykyisellä että parannetulla väylällä. Eri käyttäjien tarpeet toimivuustiedolle poikkeavat toisistaan, minkä lisäksi toimivuuden mittarit ja niiden tarkkuustasojen vaatimukset vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Väylän välityskyvyn riittävyys ei ole usein riittävä mittari, sillä ruuhkautumatonkin liikenne voi olla hidasta, rasittavaa ja häiriöaltista. Liikennevirran toimivuuden kuvaamiseksi tarvitaan tarkkoja ja hienojakoisia mittareita.

7.4 Näkökulmat

Liikennettä ja sen toimivuutta voidaan tarkastella väylän käyttäjän, väylän omistajan ja koko yhteiskunnan näkökulmista. Väylän käyttäjällä on tarve matkalle, jonka hän haluaa toteuttaa mahdollisimman turvallisesti, nopeasti, mukavasti ja kustannustehokkaasti. Väylän omistaja pyrkii rakentamaan ja ylläpitämään väylää mahdollisimman taloudellisesti. Yhteiskunnalle ovat tärkeitä väylän tarjoamat mahdollisuudet asukkaiden hyvinvoinnin ja yritysten kilpailukyvyn parantamiseen sekä väylän vähäiset haitat ympäristölle. (Luttinen ym. 2005, s. 210.)

Tarkastelut keskittyvät usein liikenteen toimivuuden mittaamiseen väylän käyttäjän näkökulmasta esimerkiksi matka-ajoilla, jononpituuksilla ja keskimääräisten viivytysten kautta muodostuvalla palvelutasolla. Suunnitelmien laajempia yhteiskunnallisia vaikutuksia voidaan mitata ja arvioida käyttämällä mittareina esimerkiksi liikenteen onnettomuustilastoja, hiilidioksidipäästöjä tai melusta kärsivien asukkaiden määrää. Kaikkiin näihin päästään vaikuttamaan laajemman katsantokannan liikennesuunnittelussa, jossa suunnitelmien vaikutuksia pyritään katsomaan entistä kokonaisvaltaisemmin. Nykyisessä rakennetun ympäristön suunnittelussa liikenteellisen toimivuuden lisäksi korostuvat liikenneturvallisuus sekä ympäristön kestävyystavoitteet, jotka vastaavat nykyhetken tarpeisiin ja katsovat pitkälle tulevaisuuteen. Ympäristön ja kestävyystavoitteiden voidaan odottaa kasvattavan painoarvoaan myös liikennesuunnittelun ja toimivuustarkasteluiden vastuullisena yhteiskunnallisena näkökulmana.

Siinä missä liikenteellisen toimivuustarkastelun kohdealue on aina rajattu ja paikallinen, sen mittareilla ja tulosten pohjalta tehdyillä ratkaisuilla on yksittäistä tarkastelukohdetta laajempi ja pidempikestoinen merkitys – erityisesti, koska suunnitelmia tehdään kymmenien vuosien aikaperspektiivillä. Toimivuustarkastelun sovelluksena liikennevirtojen tutkimista on mahdollista laajentaa esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen, typen oksidien ja ympäristön kuormitusta lisäävien liikennevirran pysähdysten mittareilla, jotka lähestyvät tarkastelutulosten mukaan tehtäviä valintoja ja päätöksentekoa ympäristötietoisuuden ja kestävä kehityksen periaatteilla.

7.5 Toimivuuden mittarit

Toimivuuden määrittelyn mittarit ovat perinteisesti keskittyneet tieliikenteen yhteysväleille ja tienpidon suunnittelun näkökulmaan, jossa liikenteen toimivuuden määrittelyllä saadaan laajaa, yhdenmukaista ja tarkkaa tietoa tieverkon toimenpidetarpeista. Tieliikenteen toimivuuden mittareina korostuvat matkojen määrä sekä matka-aika, sen vaihtelu ja ennustettavuus. Matka-aika on keskeinen mittari autoliikenteen ja kuljetusten toimivuuden kannalta tilanteissa, joissa on tarve selvittää kokonaisten matkojen ja kuljetusten toimivuutta ja laatutasoa. Matka-aika kuvaa hyvin sekä tienkäyttäjän kokemaa toimivuutta että toimivuuspuutteista yhteiskunnalle aiheutuvia kustannuksia.

Tieliikenteessä palvelutasot määritellään erikseen eri tietyypeille ja erilaisille tien osille. Tiehallinnon ohjeissa (2007, s. 11) on mainittu seuraavat yleisimmät tieliikenteen toimivuuden ja palvelutason mittarit:

1. Matkanopeus on kuljetun matkan pituuden ja siihen käytetyn ajan osamäärä.
2. Liikennetiheys on tieosuudella olevien liikenneyksiköiden lukumäärää tien pituusyksikköä kohden.
3. Seuranta-aikaosuus osoittaa, kuinka suuren osan ajasta kaksikaistaisen tien ajoneuvot seuraavat edellä ajavaa ajoneuvoa kykenemättä ohittamaan.
4. Käyttösuhde on liikenteen kysynnän ja välityskyvyn osamäärä. Liikenteen kysyntä tarkoittaa sitä liikennemäärää, joka vallitsisi ilman ruuhkautumisen aiheuttamia viipeitä. Välityskyky tarkoittaa suurinta liikenneyksiköiden määrää, jonka väylä tai sen osa välittää valitsemissa tie-, liikenne-, sää-, ja keliolosuhteissa aikayksikössä. (Luttinen ym. 2005.)
5. Ohjausviive tarkoittaa liittymän ohjauksesta liikenneyksikölle aiheutuvaa viivettä. Se sisältää liikennevaloista, kärkikolmiosta ja stop-merkistä aiheutuvasta hidastamisesta ja kiihdyttämisestä aiheutuvan viipeen mutta ei liittymän geometriasta aiheutuvaa viivettä.

Tiehallinnon vuoden 2008 selvityksen mukaan tieliikenteen toimivuuden on katsottu koostuvan matka-ajasta, sen vaihtelusta ja ennustettavuudesta. Tieliikenteen toimivuus on tienkäyttäjän omakohtainen kokemus, joka syntyy näiden yhdistelmänä. Matka-ajan

osatekijöitä ovat tien ja laajemmin ajateltuna koko tieverkon yhdistävyys, sujuvuus ja toimintavarmuus. Yhdistävyys tarkoittaa tieverkon kiinteitä ominaisuuksia, sujuvuus liikennettä ja ajo-olosuhteita ja toimintavarmuus järjestelmän reagointikykyä ennalta arvaamattomiin häiriöihin. (Tiehallinto 2008, s. 41.)

Yhdistävyys kuvaa hyvissä olosuhteissa ilman muun liikenteen vaikutusta saavutettavaa nopeusrajoitusten mukaista matka-aikaa, sujuvuus matka-aikojen pääosin ennakoitavissa olevaa vaihtelua ja toimintavarmuus vaihtelun ennustettavuutta. Sujuvuutta voidaan mitata viivytysten vakavuuden ja toistuvuuden perusteella. Sujuvuuden mittari kuvaa sitä, kuinka usein liikennekysyntä on lähellä kapasiteettia ja ylittääkö kysyntä sen. Sujuvuustietopalvelun avulla mitataan matka-aikojen vaihtelua huipputuntien liikenteen aikana sekä suurten viivytysten esiintymistä. (Tiehallinto 2008 s. 5.) Tieliikenteen toimivuus on Tiehallinnon määritelmän mukaan sitä, että matkaan kuluu mahdollisimman vähän aikaa, liikkuminen on sujuvaa ja että ajan kulumisen ja sujuvuus osataan ennakoita (Tiehallinto 2008, s. 23).

Toimivuuden tunnuslukujen muodostamiseen liittyy arviointia, mittaamista ja mittaustulosten luokittelua. Suunnittelua ohjaavat normit siitä, miten mitoitus muuttuu liikennemäärän mukaan ja turvaa riittävän liikenteellisen toimivuuden. Toimivuudelle asetetut tavoitteet osoittavat yleisellä tasolla vain suuntaa, kuten toimivuuden paraneminen tai nykyisen toimivuustason säilyttäminen. Suunnittelussa voidaan kuitenkin asettaa selviä tavoitteita esimerkiksi HCM-palvelutasoluokan suhteen. Toimivuuden tehokkuusarvioinnissa suurimpina hyötyinä ovat tavallisesti liikenteen aikasäästöinä mitattavat toimivuusmuutokset. (Tiehallinto 2008, s. 15.)

Arvioinnin vaiheet etenevät hierarkkisesti tarkasteltavan asian määrittelystä sen mittaamiseen. Ennen mittaamista arvioitavan asian sisältö ja ulottuvuudet tulee kuvata laadullisesti sekä konkretisoida asiat, joita voidaan mitata ja jotka riittävällä tarkkuudella kuvaavat toimivuutta ja sen muutosta. Arvioitava asia on tyypillisesti laaja kokonaisuus, jonka yksiselitteinen määrittely ei edes ole mahdollista. Mittareiden on käytännössä oltava verrattain yksinkertaisia ja kapea-alaisia. (Tiehallinto 2008, s. 16.)

Toimivuutta mitataan ja määritellään tarkemmalla tasolla yksittäisissä liittymissä, joissa tärkeinä mittareina toimivat muun liikenteen ja liikennejärjestelyjen, kuten valo-ohjauksen

ajoneuvolle aiheuttama keskimääräinen viivytys sekä katuverkon fyysiset rajat osoittavat jononpituustiedot. Toimivuutta tutkitaan asemakaavatason tarkasteluissa, joiden kautta selvitetään tarvittava liikennejärjestelyiden mitoitus. Liikenteen toimivuuden mittareille on yhteistä se, että ne yksinkertaistavat laajoja liikennevirtojen toimivuutta kuvaavia tietokokonaisuuksia asteikolle, joka rakentuu simuloinnin kautta tuotetuista tunnusluvuista sekä toimivuuden sanallisista määritelmistä. Sanat ja käsitteet ovat yhtäältä mitattavia ja vakiintuneita ja toisaalta tulkinnanvaraisia arvioita liikenteen toimivuudesta. Liikenteen palvelutason ja muiden toimivuuteen liitettävien määritelmien perusteella arvioidaan, toimivatko tarkastelukohteen liikennejärjestelyt riittävällä tai hyväksyttävällä tasolla.

7.6 Mittaustulosten luokittelu

Tiehallinnon ehdotuksessa toimivuusluokitteluksi käytetään viisiportaista asteikkoa. Toimivuusmittarit perustuvat tieverkolta ja liikenteestä kerättyihin suhteellisen yksinkertaisiin suureisiin. Havaittujen liikenteen ongelmakohtien osalta mittareiden käyttö edellyttää tulkintaa, sillä mitattavien suureiden perusteella ei voida kattavasti päätellä ongelmien kohdistumista eri tienkäyttäjryhmiin tai ongelman merkitystä kokonaisuudessa. (Tiehallinto 2008, s. 41.)

Luokissa 5 ja 4 liikenne on sujuvaa ja ennustettavaa eikä parantamistoimenpiteisiin ole ajankohtaista tarvetta. Luokassa 3 suunnittelutarve on harkinnanvaraista ja parantamistoimet ovat paikoin kannattavia. Luokissa 2 ja 1 tienkäyttäjien odotukset eivät täyty ja toimivuuden parantaminen on ajankohtaista ja kannattavaa. (Tiehallinto 2008, s. 42).

Luokittelun avulla määritellään toimivuuden parantamistoimenpiteiden tarve ja niiden ajankohtaisuus. Tiehallinnon ehdotus liikenteen toimivuusluokkien yhtenäisiksi kuvauksiksi on esitetty kuvassa 8.

Kuva 8: Toimivuusluokkien yhtenäiset kuvaukset (Tiehallinto 2008, s. 44).

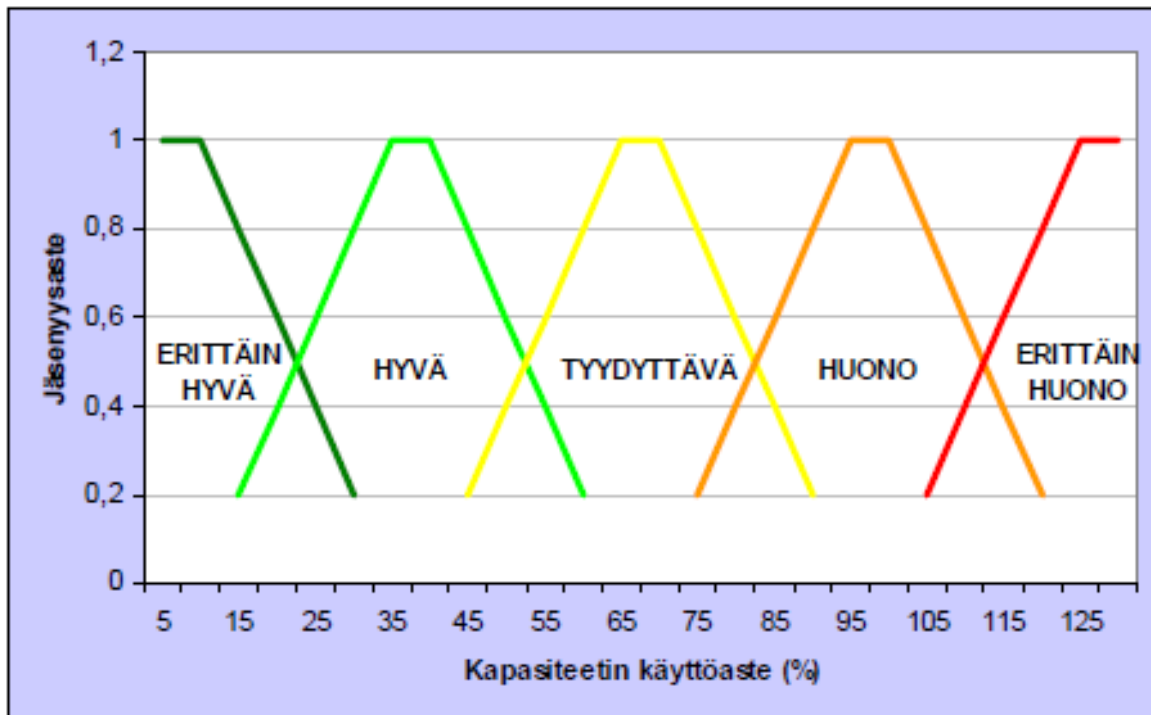
5 Erittäin hyvä	Liikenne lähes aina sujuvaa ja ennustettavaa, rajoitusten mukainen nopeustaso, hyvä yhdistävyys. Vastaa hyvin lähes kaikkien tienkäyttäjien odotuksia tai ylittää ne. Ei näköpiirissä tarpeita toimivuuden parantamiseksi.
4 Hyvä	Liikenne pääosin sujuvaa ja ennustettavaa, rajoitusten mukaisen nopeustason ylläpitäminen onnistuu varsin hyvin, hyvä yhdistävyys. Toimivuus vastaa useimpien tienkäyttäjien odotuksia. Ei ajankohtaisia tarpeita toimivuuden parantamiseksi.
3 Tyydyttävä	Liikenteen nopeustaso ja matka-ajan ennustettavuus hieman alentunut. Muutamille tienkäyttäjille toimivuus on alle odotusten, mutta keskimäärin tilanne on tyydyttävä. Toimivuuden parantamiseksi on vähintään suunnittelutarve, paikoin parantamistoimet kannattavia
2 Huono	Liikenne selvästi hidastunut ja ennustettavuus heikentynyt, nopeuden vaihtelu on suurta ja merkittävät hidastukset mahdollisia. Toimivuus alittaa useiden tienkäyttäjien odotukset. Toimivuuden parantamistoimet ajankohtaisia ja kannattavia .
1 Erittäin huono	Liikenne pysähtelevää, matelevaa, heikosti ennustettavaa. Toimivuus alittaa lähes kaikkien tienkäyttäjien odotukset. Toimivuuden parantamistoimet "olisi pitänyt tehdä jo" – ovat erittäin kannattavia (viivytykset ovat suuria).

Tulosten luokittelu helpottaa niiden käsittelyä ja ymmärtämistä. Luokittelussa tarkastelun kohteet jaetaan luokkiin tiettyjen ominaisuuksien perusteella. Luokittelua voidaan tehdä luonnontieteellisen järjestelmällisesti havaintoaineistoa luokitellen (taksonomia) tai yhteiskuntatieteellisen tyypittelevästi (typologia). Tyypittelystä havaintoaineistosta muodostetut luokat jatkojalostetaan siten, että mittaustulokset saadaan käsitteellistettyä. (Tiehallinto 2008, s. 17).

Luokittelu voi perustua myös sumeaan logiikkaan, jossa tarkastelun kohde voi kuulua johonkin luokkaan vain osaksi. Kuulumisen asteen ilmoittaa jäsenyysaste, joka voi saada minkä tahansa arvon väliltä [0, 1] Sumeaa luokittelua sovelletaan palvelutason käsitteessä,

joka on luonteeltaan epätasällinen. Sumean logiikan toimintatapa on esitetty kuvassa 9 (Tiehallinto 2008, s. 17).

Kuva 9: Toimivuuoluokittelu sumean logiikan avulla (Tiehallinto 2008, s. 17).



7.7 Liikenteen palvelutaso

Liikenteen palvelutasolla kuvataan laadullisesti liikkujien arviota liikennetilanteesta.

Palvelutaso on kokonaisuus, joka muodostuu useista liikkujien käsityksiin perustuvista erilaisista palvelutasotekijöistä, joita voidaan arvioida laadullisesti. Koska palvelutason käsite perustuu laadulliseen kokemukseen, sen luokittelu on aina käsitteellistä ja epämääräistä.

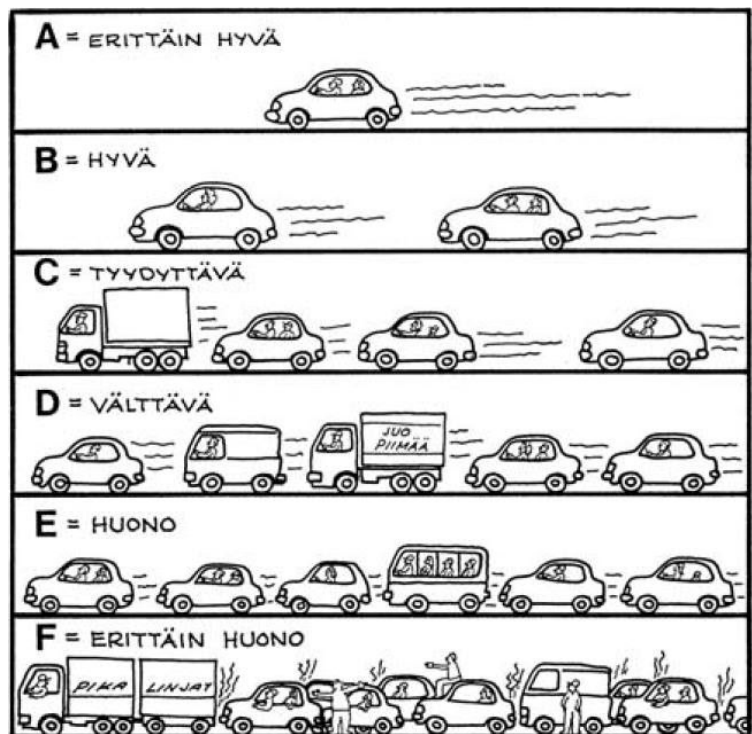
Liikenteen toimivuu on osa koko liikennejärjestelmän palvelutasoa. Palvelutasoa voidaan tarkastella sekä väylän käyttäjän, väylän omistajan, että koko yhteiskunnan näkökulmasta. Palvelutasotarkasteluja käytetään uusien väylien liikenneteknisessä mitoituksessa sekä olemassa olevien väylien toiminnallisessa tarkastelussa. Palvelutasoluokituksen avulla määritellään esimerkiksi väylän parantamistoimenpiteiden tarpeellisuus. Väylän liikenneteknisellä mitoituksella tarkoitetaan väylän geometrian määrittelyä siten, että

liikenteen palvelutason tavoitteet täyttyvät. Tarkasteltavia suureita ovat mm. kaistamäärä, kaistaleveys, mäkyisyys, ohituskieltojen osuus ja liittymätyyppi. (Tiehallinto 2007, s. 12.)

Palvelutasolla tarkoitetaan liikennevirtateoriassa väylän liikkumis- ja ajo-olosuhteiden laadullista luokitusta käyttäjän kannalta tarkasteltuna. Liikenteen sujuvuutta arvioidaan yhdellä tai useammalla palvelutasomittarilla. (Tiehallinto 2007, 5.)

Palvelutasomittareiden perusteella määritellään kuusi liikenteellisen toimivuuden palvelutasoa, joita merkitään kirjaimin A–F. Palvelutaso voidaan esittää helposti ymmärrettävässä muodossa (kuva 10). Luokkien rajat perustuvat keskimääräiseen nopeustasoon ja sen poikkeamaan toisaalta vapaasta nopeustasosta ja toisaalta kyllästyspisteen nopeustasosta. A kuvaa erittäin hyviä olosuhteita. Palvelutasot A–D kuvaavat asteittain heikkenevää

Kuva 10: Tien palvelutaso kuvina (Tiehallinto 1991, s. 9).



palvelutasoa. Palvelutasolla E liikennemäärä on lähellä väylän välityskykyä. Ruuhkautunutta liikennettä kuvaa palvelutaso F. Parhaimmilla palvelutasoilla siirtymiset luokasta toiseen tapahtuvat tasaisesti; huonoimmilla palvelutasoilla verrattain pienetkin liikennemäärän muutokset voivat muuttaa palvelutasoa nopeasti ja hyppäyksenomaisesti. (Tiehallinto 1991, s. 9.)

Palvelutasomittareiden tulisi vastata käyttäjien käsitystä liikennevirran laadusta, olla helposti mitattavia, olla yhteensopivia muiden väylä- ja liittymätyyppien palvelutasomittarien kanssa ja kuvata sekä ruuhkautunutta että ruuhkautumatonta liikennetilannetta. (Luttinen ym. 2005, s. 212.)

7.8 Palvelutaso käsitteenä

Palvelutaso on liikenne- ja tietekniikassa epämääräinen käsite, jonka merkitykset vaihtelevat eri tahojen näkökulmien mukaan: tienkäyttäjät, tienpitäjät, suunnittelijat, media ja poliittiset päättäjät käyttävät käsitettä hieman eri merkityksissä. (Tiehallinto 2007, s. 11.)

Palvelutasokäsitettä voidaan määritellä väestön hyötyyn ja hyvinvointiin liittyvällä yhteiskunnallisella palvelutasolla eli liikkumisen vapaudella tai tienpidon teknisillä palvelutasomääritelmillä (Nevala ym., 2003, s. 49–50). Palvelutason käsitteen yhteydessä käytetään usein termiä sujuvuus, joka on välityskykyyn liittyvä käsite ja kuvaa vapaiden liikkumisolosuhteiden suhdetta toteutuneisiin olosuhteisiin. Sujuvuus-käsitteeseen sisältyviä tekijöitä ovat matkanopeus, matkan kesto, ruuhkautumisen aste ja liikenteen ohjausratkaisut. (Tiehallinto 2007, s. 13.) Palvelutason määritelmiä tarkastelevassa esiselvityksessä päädyttiin suosittelemaan käsitteen selkiyttämistä: ”liikenne- ja tietekniikan alalle tulisi luoda yhtenäiset palvelutasoa kuvaavat määritykset ja niihin liittyvä terminologia”. Menetelmäkehityksen tavoitteena on eri tienkäyttäjryhmien näkökantojen sisäisten palvelutasomääritelmien selkeyden parantaminen ja käytön yksinkertaistaminen. (Nevala ym. 2003, s. 5.)

Simuloinnissa palvelutason käsitettä käytetään pääasiassa liittymien liikennevirtojen toimivuuden määrittelyssä, mutta se on luonteeltaan yleispätevä liikenteen sujuvuuden mittari, jota voi hyödyntää monissa tarkastelukohteissa, kuten tien linjaosuuksien välityskykytarkasteluissa sekä yleisesti kaikissa liittymien toimivuustarkasteluissa, joissa tutkitaan risteävien, liittyvien ja jonoutuvien liikennevirtojen laatua. Liittymien toimivuustarkasteluissa määritellään käytännössä palvelutason sumea käsite; palvelutaso mitataan projektikohtaisen selvitystarpeen mukaisesti joko liittymän, tulosuuntien tai yksittäisten liikennevirtojen tarkkuustasolla.

Esimerkiksi valo-ohjatun liittymän palvelutaso määräytyy keskimääräisten viivytysten keston, pysähtymään joutuvien ja viivytyksettä liittymän läpäisevien määrän perusteella. Näiden tekijöiden painotus on erilainen eri ympäristöissä: korkealuokkaisella pääväylällä pyritään minimoimaan pääsuunnan pysähtymään joutuvan liikenteen osuus ja maksimoimaan viivytyksettä liittymän läpäisevät liikenteen osuus. (Liikennevirasto s. 169.) Liittymän palvelutasot eivät siten ole yhteismitallisia tilanteissa, joissa toimivuutta tarkastellaan

tulosuuntakohtaisesti tai kääntyvien virtojen osalta: esimerkiksi vähäliikenteellisillä sivusuunnilla tai vasemmalle kääntyvien ryhmittymiskaistoilla sallitaan pääsuuntaa pidempiä viivytyksiä, koska niiden painoarvo ja vaikutus liikenneverkon laajemmassa toimivuudessa on merkittävimpiä liikennevirtoja pienempi. Toisaalta yksittäisen pienenkin liikennevirran painoarvo voi kasvaa, jos sen heikko toimivuus uhkaa aiheuttaa laajempia häiriöitä. Liittymän liikennevirralle raportoitu palvelutaso ilman sille määriteltyä painoarvoa voi joissain tapauksissa olla tarkasteluraportissa harhaanjohtava tieto, minkä vuoksi yksittäiselle liikennevirralle mitattu palvelutaso tulee aina suhteuttaa sen kokonaisvaikutukseen sekä liittymän muiden virtojen liikennemääriin. Palvelutasojen merkitys toimivuustarkastelutyön tuloksissa tulee määritellä usein tapauskohtaisesti. Raportoinnissa tulee korostaa toimivuuden kannalta oleellisia tuloksia ja syy-seuraussuhteita, minkä takia palvelutasotiedot ovat toimivuustarkastelussa aina suhteellisia käsitteitä.

7.9 Toimivuustiedon hyödyntäminen

Palvelutasotarkastelun tavoitteena on arvioida joko väylän välityskyvyn riittävyys ja palvelutaso tai väylän liikennetekninen mitoitus tavoitellun palvelutason saavuttamiseksi. Palvelutasotarkastelun tavoitteet, lähtötiedot ja tarkkuus riippuvat suunnittelu- tai arviointitehtävän yksityiskohtaisuuden tasosta. Liikennevirran ominaisuudet –ohje (Luttinen ym. 2005, s. 213) esittää kolme tarkastelun tasoa:

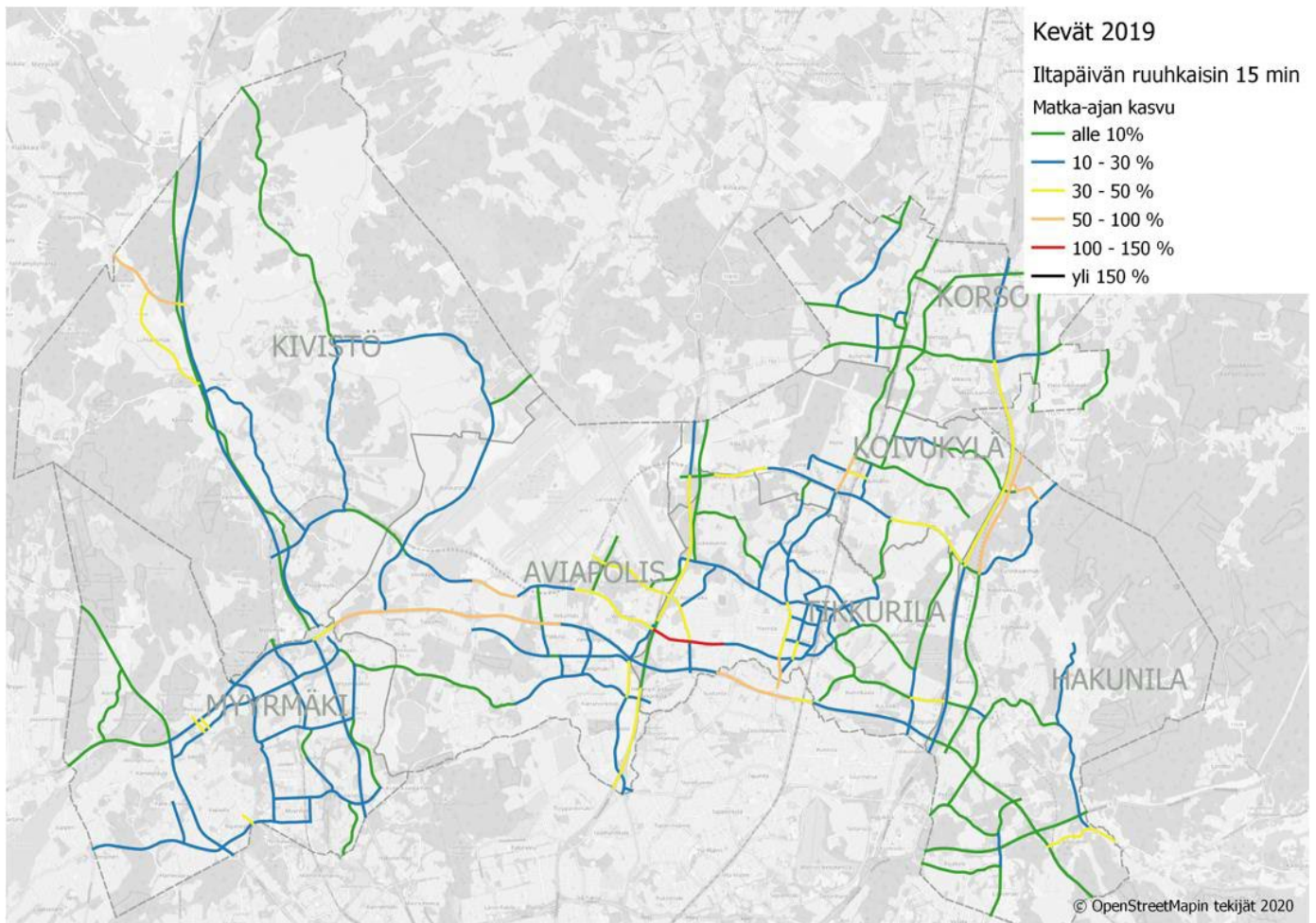
- Yleissuunnitelmasovelluksessa tarkastellaan kokonaan uusien väylien tai merkittävien maankäytön muutosten liikenteellisiä vaikutuksia. Tarkastelutapa on usein verkollinen. Lähtötiedot perustuvat ennusteisiin ja arvioihin. Tulokset eivät ole riittävän tarkkoja yksityiskohtaiseen suunnitteluun, mutta palvelevat hyvin yleissuunnittelua.
- Suunnittelusovelluksessa tarkastellaan väylän liikenneteknisen mitoituksen tai maankäytön muutosten vaikutusta palvelutasoon. Lähtötietojen tulee olla mahdollisimman tarkkoja, mutta keskipitkästä tai pitkästä aikavälistä johtuen on turvauduttava myös ennusteisiin.
- Toiminnallisessa tarkastelussa arvioidaan palvelutasoa nykytilanteessa tai lähitulevaisuudessa mahdollisen parantamistarpeen selvittämiseksi. Lähtötiedot perustuvat usein kenttämittauksiin.

Simulointimallinnusta sisältävissä projektitöissä toimivuustietoa hyödynnetään useimmiten toiminnallisen tarkastelun näkökulmasta, jossa muutos keskittyy pääosin tarkastelualueen liikennemäärään sekä liikennevirtojen toimivuuteen, vuorovaikutuksiin ja reititykseen. Toiminnallisten tulosten perusteella voidaan jatkotarkastella väylän palvelutason suhteen riittävää liikenneteknistä mitoitusta. Jos tarkastelualueen maankäytössä on suuria muutoksia, näkökulma painottuu enemmän liikennejärjestelyiden suunnitteluun ja mitoitukseen. Toimivuustiedon hyödyntäminen simuloinnilla vaatii molemmissa tapauksissa mahdollisimman luotettavia ja tarkkoja lähtötietoja.

Väylän liikenneteknisellä mitoituksella tarkoitetaan väylän geometrian suunnittelua siten, että liikenteen palvelutasolle asetetut tavoitteet täyttyvät. Mitoituksessa tärkeänä määritelmänä on välityskyky, joka tarkoittaa suurinta liikenneyksiköiden määrää aikayksikössä, jonka väylä tai sen osa voi välittää vallitsevissa tie-, liikenne-, sää- ja keliolosuhteissa. Lyhytaikaisesti voidaan saavuttaa välityskykyä suurempiakin liikennemääriä; toisaalta liikenne saattaa ruuhkaantua välityskykyä alhaisemmalla liikennemäärällä esimerkiksi yksittäisen hitaasti liikkuvan ajoneuvon vuoksi. Väylän lyhytaikainen häiriö voi aiheuttaa pitkäkestoisen ruuhkan. (Luttinen ym. 2005, s. 214.)

Tietojenkäsittelyn kehittyessä ja tietomäärän kasvaessa liikenteen toimivuuden laajamittainen seuranta ja sovellukset ovat yleistyneet ja tiedonkeruu on automatisoitunut. Teknisten järjestelmien kehittymisen myötä liikenteen ajantasaisen toimivuustiedon yleiskuvan muodostaminen ja tiedon jakaminen on helpottunut, mikä auttaa suunnittelijoita havaitsemaan ja määrittämään tärkeimmät liikenteelliset kehityskohteet ja tarkastelun mahdollisuudet. Kuvassa 11 (Vantaan kaupunki / Elias Marttunen, sähköpostiviesti 21.10.2020) on esitetty vuoden 2019 Vantaan liikenneselvityksessä esitetyt tiedot Vantaan liikenneverkon ruuhkautumisesta iltapäivällä, mitattuna matka-ajan kasvulla. Mitattavissa oleva liikenneverkon toimivuustieto luo kohteita liikennesuunnitteluprojekteille ohjaamalla strategisen tason suunnittelua sekä osoittaa mahdolliset tulevaisuuden kehitystarpeet ja toimivuustarkastelualueet.

Kuva 11: Liikeneruuhkien aiheuttama matka-ajan kasvu (Vantaan kaupunki 2020).



8 Liikenteen mikrosimulointi

8.1 Toimintaperiaatteet

Liikenteen mikrosimulointi ja siihen liittyvät ohjelmistot ovat kehittyneet pääasialliseksi liikenteen mallintamisen työkaluksi 1990-luvun puolivälistä alkaen. Mikrosimulointi poikkeaa perinteisestä mallinnuksesta siinä, että se ei ota lähtötietoina huomioon väylän kapasiteettia tai välityskykyä, vaan simulointimalli rakentuu alhaalta ylöspäin liikenneyksiköiden ominaisuuksista, niiden käyttäytymisestä sekä keskinäisestä vuorovaikutuksesta. Laajemmassa mittakaavassa liikenneyksiköiden mikrosimulointi muodostaa kohtaavia liikennevirtoja, joiden yhteisvaikutuksesta rakentuu erilaisia liikennetilanteita ja toimivuustarkasteluraportissa esitettäviä päätelmiä liikennejärjestelyiden toimivuudesta. Toimivuustarkasteluraportin sisältö ja tulosten esittämisen tapa vaihtelevat kyseisen projektityön tarkoituksen ja laajuuden mukaisesti.

Simulointiohjelmissa ajoneuvojen liikkumisen mallintaminen perustuu mikroskooppiseen liikennevirtateoriaan ja psykofyysiseen seuraamismalliin. Simulointimalli muodostuu kohdealuetta rajaavien porttien kautta saapuvista ja poistuvista liikenneyksiköiden virroista ja niiden reitityksestä. Auton seuraamismallin lisäksi liikenteen simuloinnissa mallinnetaan yksittäisten ajoneuvojen liikkeet, ajoneuvojen keskinäinen vuorovaikutus sekä muun muassa kaistan vaihdot, ryhmittymiset, ohitukset ja reagoinnit liikenteen ohjauslaitteisiin. Liikennevirtojen toiminnan vastaavuus todenmukaiseen tilanteeseen tarkistetaan simulointiajojen kautta. Simulointiajoilla kerätään toimivuustietoa yleensä yhden tunnin ajanjaksolta; ennen varsinaista toimivuustiedon keräämistä simulointimallin liikennevirtoja kierrätetään simulointiajossa verkolla noin 5–15 minuutin ajanjakson verran, jotta liikenneyksiköt saadaan levitettyä tasaisesti verkon alueelle mittausaikavälin alkaessa.

Liikenteen mikrosimulointiohjelmillä tarkastellaan yleensä, kuinka eri suunnitteluratkaisuilla voidaan vaikuttaa liikenteen sujuvuuteen. Perinteisiin välityskykylaskelmiin verrattuna mikrosimuloinnin etuna on nopea ja kustannustehokas monimutkaisten skenaarioiden toimivuuden selvittäminen. Liikenteen mikrosimulointia voidaan hyödyntää tarkasteltaessa muun muassa erilaisia liittymäratkaisuja, kaistojen määriä, ryhmittymiskaistan pituuksia, liikennevalo-ohjelmia ja niiden yhteenkytkentää, joukkoliikenteen ja hälytysajoneuvojen

etuuksia ja matka-aikoja, kävely- ja pyöräilyliikennettä, pysäköintiä, liikenneturvallisuutta ja liikenteen päästöjä.

Tarkastelun näkökulmissa ei ole nykyisin enää merkittäviä rajoitteita, vaan lähes mitä tahansa liikenteen ilmiötä on mahdollista simuloida. Liikennevirtojen ja -yksiköiden toiminta ja tulokset voidaan esittää tiiviin mutta sisällöltään rajallisen tekstimuodon ohessa myös mikrosimulointiohjelmien avulla joko kuvallisessa tai videomuodossa; järjestelmän toimivuuden havainnollistaminen käytännölliseen ja kokonaisvaltaisempaan esitysmuotoon helpottaa jatkotoimenpiteiden määrittämistä ja päätöksentekoa.

8.2 Mikrosimulointiohjelmat

Yleisimpiä käytössä olevia mikrosimulointiohjelmia ovat Vissim, Paramics ja Synchro/Simtraffic. Vissim on näistä ylivoimaisesti kehittynein ja sen käyttö on yleistynyt viime vuosina. Tarvittava mikrosimuloinnin taso voi joissain tapauksissa vaikuttaa projektissa käytettävän ohjelman valinnassa; pääosin käytössä on kehittynein mikrosimulointiohjelma Vissim.

Mikrosimulointiohjelmilla tuotettava liikenteen mallinnus on aina osittainen yksinkertaistus ja arvio todellisuudesta. Ohjelmien käyttöön sisältyy aina arviointia, minkä vuoksi niiden soveltuvuus erilaisiin käyttötarkoituksiin ja ohjelmissa käytettävät parametrit on tärkeä valita niin, että ne jäljentävät liikennevirtojen toimivuutta mahdollisimman tarkasti ja uskottavasti. Mikrosimulointiohjelmien parametriarvot ja muut tarkasteluissa käytettävät asetukset on käsitelty Liikenneviraston Tieliikenteen toimivuuden arviointi –ohjeissa 36/2013. Vissim sisältää kattavan ja ajantasaisen ohjekirjan, jonka avulla mikrosimuloinnin parametrit voidaan määritellä tarkasti.

8.2.1 Synchro/SimTraffic

Synchro/SimTraffic on ohjelmista yksinkertaisin ja nopein käyttää. Se on kehitetty liikennevalo-ohjattujen liittymien tarkasteluihin ja sen vahvuutena on valojen optimointi ja vihreiden aaltojen suunnittelu. Synchro on käytännössä analyyttinen menetelmä, joka rakentaa kohdemallin ja Simtraffic toistaa sen toiminnon animoiduilla liikenneyksiköillä.

Synchro/SimTraffic ei siten ole varsinainen simulointiohjelma, ja sen tuottama toimivuustieto on näistä ohjelmista epätarkinta. (Liikennevirasto 2013, s. 12–13.)

Synchro/SimTrafficin parametriarvot perustuvat Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston tekemiin tutkimuksiin. Ohjelman asetuksissa määritellään ajoneuvon pituus sekä valoliittymien kiertoaika, keltaisen valo-opasteen kesto, liittymän kokopunaisen suoja-ajan kesto sekä opastimien minimivihreän ajat. Synchrossa vierekkäisten liittymien liikennemäärien on täsmättävä keskenään; jos liikennemäärät eivät ole yhtä suuret, ohjelma hävittää ylimääräiset ajoneuvot tai synnyttää puuttuvat ajoneuvot liittymien välillä, mikä voi vääristää tuloksia. Raskaan liikenteen määrä määritellään kullekin liittymän liikennevirralle prosenttiosuuksien avulla. (Liikennevirasto 2013, liite 3 / s. 1–3.)

Synchro esittää tulokset valmiiksi määritellyillä väleillä ajosuunnittain. Synchrosta saatavat graafiset tulosteet ovat:

- keskimääräinen ajoneuvojen viivytys
- ajoneuvojen pysähdyksissä olemiseen kulunut keskimääräinen aika
- pysähtymään joutuneiden ajoneuvojen osuus koko liikennemäärästä
- keskinopeus
- polttoainetehokkuus
- kääntymiskaistalle pyrkivien ja estettyjen ajoneuvojen osuus
- malliin pääsemättömien ajoneuvojen lukumäärä ylikuormitustilanteessa
- jononpituudet

Synchron jononpituuden esittäminen ja tulosteiden laskutapa poikkeavat hieman Vissim-simuloinnin tuottamasta tiedosta. Keskimääräinen jononpituus saadaan simuloinnista jakamalla simulointiajo kahden minuutin jaksoihin ja laskemalla keskiarvo näiden jaksosten maksimijononpituuksista. Lisäksi Synchro laskee jononpituuden, joka ei ylity 95 % varmuudella, joka saadaan lisäämällä edellä mainittujen kahden minuutin simulointijaksosten maksimijononpituuksien keskiarvoon keskihajonta, joka on kerrottu vakiolla 1,65. Synchron kolmantena jononpituuden mittarina on absoluuttinen maksimijononpituus. (Liikennevirasto 2013, liite 3 / s. 5.)

8.2.2 Paramics

Paramics on alun perin kehitetty 1990-luvun alkupuolella Edinburghin yliopistossa. Se on edelleen käyttökelpoinen simulointiohjelma, vaikka viimeisimmät ohjelmapäivitykset ovat yli kymmenen vuoden takaa. Koska ohjelman kehitystyö on lopetettu, myös sen käyttö on vähentynyt ja simulointiprojektit toteutetaan yhä useammin Vissim-ohjelmalla. Arkistoituja Paramics-malleja voidaan hyödyntää uusimpien simulointimallien lähtötietoina, jotka saadaan tarvittaessa käännettyä kehittyneempään Vissim-muotoon.

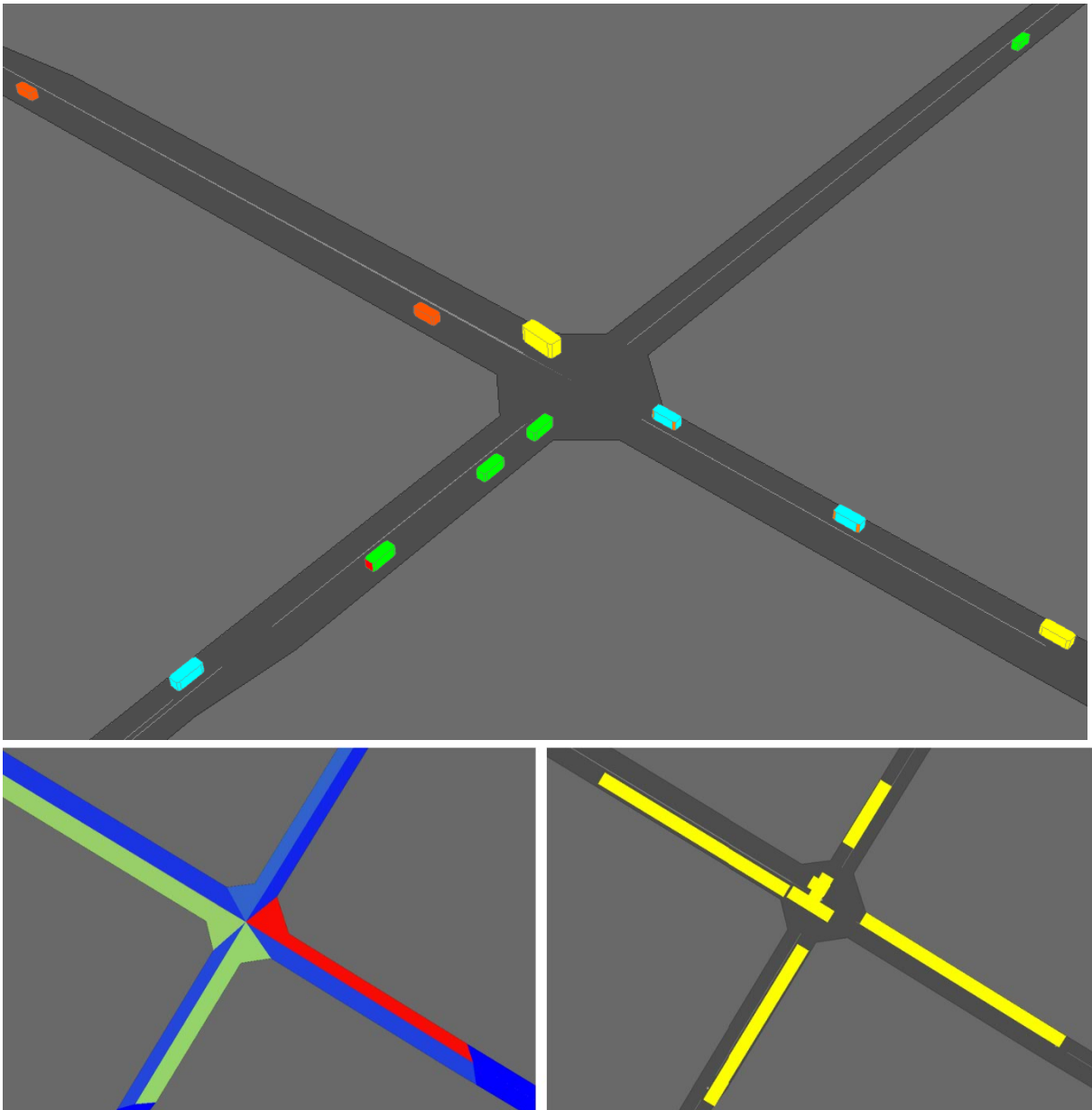
Paramics-simulointiin soveltuvia parametriarvoja on esitetty tarkemmin Liikenneviraston ohjeissa (Liikennevirasto 2013, liite 2 / s. 1–6). Paramics-simulointimallin rakennusvaiheessa toimivuuteen vaikuttaa liittymäympäristöjen tarkempi mallinnus, kuten pysähtymiskohtiin vaikuttavat Kerbs ja Stoplimes –elementtien sijoittaminen. Ohjelma sijoittaa elementit yleensä liian kauas liittymistä, mikä heikentää liikenteen välityskykyä, jos korjauksia ei tehdä. Mallin rakennusvaiheessa suunnittelijan on siksi huomioitava liikennevirtojen toimivuus käytännön simulointiajossa ja tehtävä tarkennuksia ohjelman liittymämallinnukseen, kuten ajoneuvojen pysähtymiskohtiin sekä liikennevirtojen ryhmittymisiin ja kaistanvalintoihin. Liikenneviraston ohjeissa on mainittu, että yksiselitteisiä ohjeita Paramics-mallin rakentamiseksi elementtien sijainnista ei voida antaa (Liikennevirasto 2013, liite 2 / s. 1). Paramics-mallien rakentamisessa on joissain tilanteissa kierrettävä ohjelman rajoitteita pakottamalla tiettyjen liikennevirtojen kaistanvalinnat kaistan sulkevalla lisäsäännöllä, mikä lisää simulointiprojektin työmäärää ja heikentää ohjelman käytettävyyttä monimutkaisempien kohteiden mallintamisessa.

Paramicsissa liittymäalueen mallinnus on hieman epätarkempi kuin Vissimissä, minkä vuoksi ohjelma soveltuu parhaiten suurten liikenneverkkojen ja maantieympäristön tarkasteluihin. Paramicsissa on mukana myös mahdollisuus kevyen liikenteen simulointiin, mutta käytännössä liikennevirtojen tarkemman tason simulointi toteutetaan nykyisin lähes poikkeuksetta Vissimillä. Paramicsin etuna on simulointimallinnuksen nopeus ja tulosten, kuten ajoneuvoliikenteen jononpituuksien ja palvelutasojen, valmis visualisointi ohjelman sisällä. Kaikki Paramics-tulosten visualisoinnissa käytettävät värit on mahdollista valita erikseen ja hyödyntää niitä valmiina pohjana tulevissa simulointiprojekteissa, joten haluttu

toimivuuden esitystapa on helposti uudelleenkäytettävissä ja muokattavissa. Paramics-malli ja sen simuloinnin tulostietoja on esitetty kuvassa 12.

Kuva 12: Paramics-simulointi (SYSTRA Ltd. 2022).

Paramics tuottaa simulointiajoista automaattista visualisointia, jota voidaan käyttää joko sellaisenaan tai pienin muutoksin toimivuustarkasteluraportissa. Yläkuvassa Paramics-mikrosimulointimalli kolmiulotteisessa tilassa; ajoneuvojen värit kuvaavat niiden määräpaikkoja. Alhaalla simulointiajon tulokset; vasemmalla risteyksen tulosuuntien keskimääräinen viivytys erikseen määritellyine värikoodeineen, oikealla hetkelliset maksimijononpituudet.



Paramics-ohjelmaan kuuluu Analyser-työkalu, joka esittää simulointitulokset graafisessa muodossa. Tarkasteltavat simulointitulokset valitaan Display Control –valikosta. Tulokset saadaan myös numeromuodossa erilaisina tekstitiedostoina. Paramics-simuloinnin tuloksia ovat:

- Links: ajoneuvojen lukumäärä, viivytykset ja keskinopeudet kahden pisteen välillä
- Queues: jonopituustietoja, joista merkittävimpänä maksimijonopituudet
- Turning Movements: ajosuunnittaisia tietoja kääntyvistä virroista, sisältää tarkemman tason links-valikon tietoja
- OD: Reittikohtaiset liikennemäärätiedot
- Trips: matkamäärät ja matka-ajat
- Loop Detector: Simulointimalliin erikseen asennettavan ilmaisimen keräämät pistekohtaiset tiedot liikenteen nopeudesta, ilmaisimen aktiivisuudesta sekä ajoneuvojen välimatkoista, lukumäärästä ja etenemisestä
- Intersection LOS: liittymän palvelutasotiedot
- Intersection performance: liittymäkohtaisia toimivuustietoja, kuten liikennevalojen vaiheiden pituuksia ja liittymän kuormitustietoa

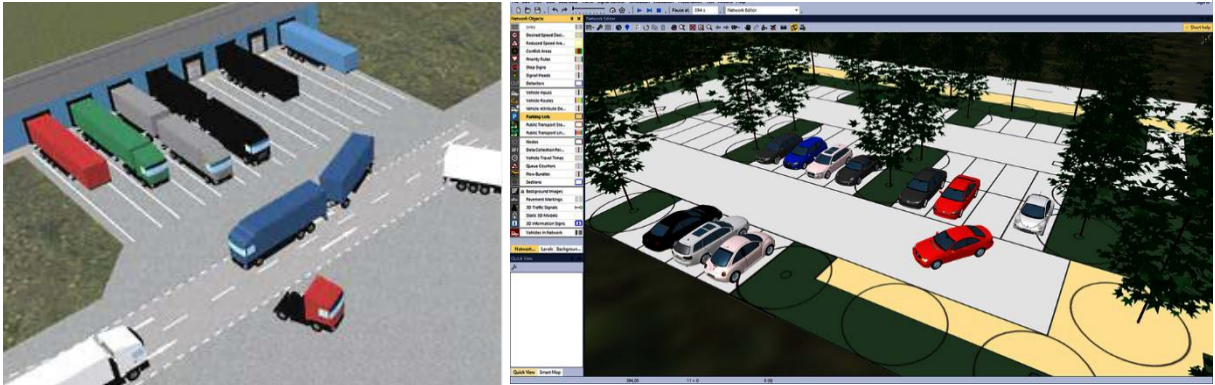
Paramics Analyserin tuottamia tietoja on mahdollista suodattaa (Filter) ja rajata (Limits), jotta tulosten esittämisessä saadaan käyttöön mahdollisimman havainnollinen väriskaala. Esimerkiksi rajauksen ylittävät erittäin pitkät viivytykset voidaan määritellä esitettäväksi yhtenäisellä värillä, jotta tarkastelualueen pienten viivytyserojen havaittavuus on parempi.

8.2.3 Vissim

Vissim on simulointiohjelmista ylivoimaisesti kehittynein ja sen käyttö on yleistynyt viime vuosina. Tarkkuustasonsa ansiosta se soveltuu erityisen hyvin kaupunkiympäristön mallintamiseen, mutta se pystyy käsittelemään myös muita ympäristöjä. Vissim mahdollistaa tarkimpien yksityiskohtien mallintamisen sellaisenaan, kuten kävely-, pyöräily- ja joukkoliikenteen, liikennevalot käytössä olevien valo-ohjelmakaavioiden mukaisina, valo-ohjelmien joukkoliikenne-etuudet tai pysäköintialueet yksittäisten autopaikkojen ja ajoneuvojen tarkkuudella. Vissim sisältää muun muassa erillisen VisVap-ohjelman liikennevalojen ohjelmointiin. Sisäänrakennetun tarkkuutensa vuoksi Vissim ei tarjoa

oikoreittejä – mallinnuksessa on tärkeää heti aluksi hahmottaa alueen liikenteelliseen toimivuuteen vaikuttavat tekijät ja oleelliset tarkastelukohteet, koska simulointimallin yksityiskohtaisuus kasvattaa aina työ määrää. Esimerkki Vissim-simuloinnista on esitetty kuvassa 13.

Kuva 13: Vissim-simulointimallin yksityiskohtaisuutta (PTV GROUP 2022).



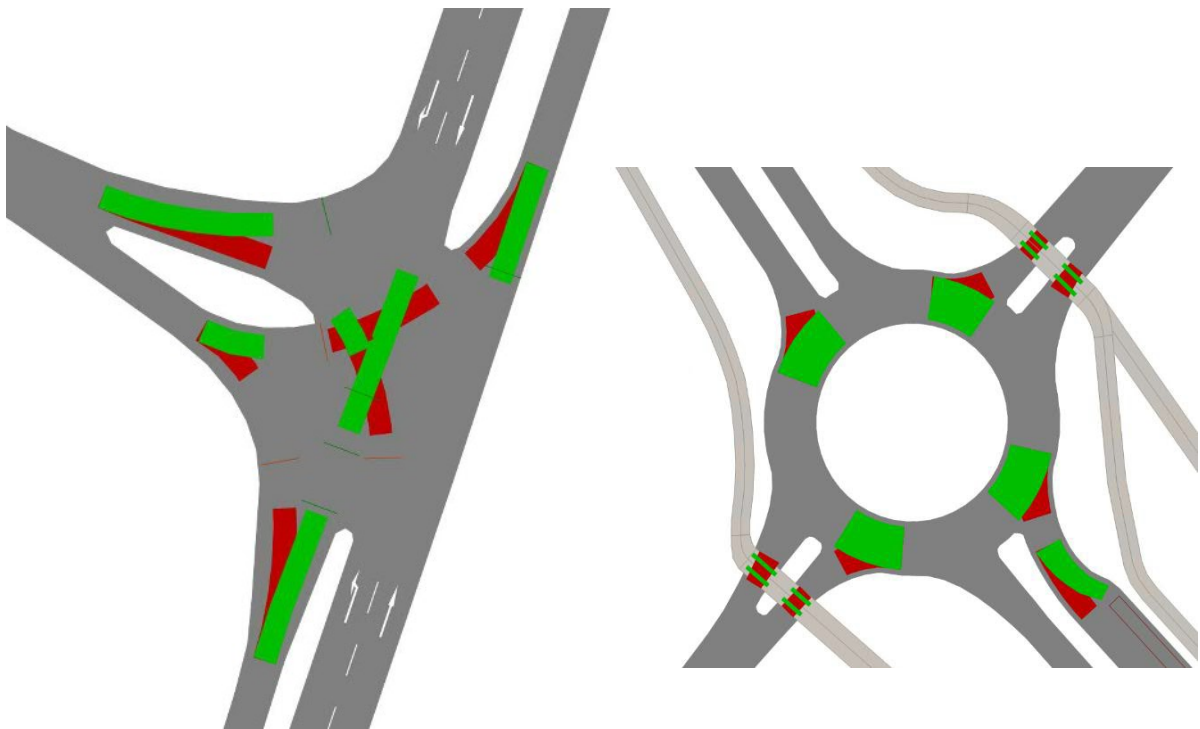
Logistiikkakeskuksen tai pysäköinnin liikenneyksiköiden ja -järjestelyjen tarkka simulointi tuo mallinnukseen näyttävyyttä, havainnollisuutta sekä mahdollisuuksia simulointimallin toiminnan esittämiseen liikkuvan kuvan kautta. Vaikka suunnitelmien visualisointi ei varsinaisesti vaikuta toimivuustarkastelun tuloksiin, se on nopea ja tiivis toimivuuden esittämisen tapa, jonka havainnollisuus voi parhaimmillaan tuoda jatkokehitysideoita. Koska toimivuustarkastelu on aina arviointia ja simulointi todellisuuden jäljittelyä, mallin yksityiskohtaisuuden ei tule olla suunnitteluprojekteissa itseisarvo.

Vissim-simuloinnissa on kaksi ajoneuvoseurantaan vaikuttavaa mallia: Wiedemann 74 soveltuu kaupunkiolosuhteisiin ja Wiedemann 99 moottoriteille. Molemmat mallit sisältävät parametreja, joiden muuttaminen vaikuttaa välityskykyyn. Wiedemann 74 –mallin parametreja ovat pysähtyneiden ajoneuvojen välinen keskimääräinen etäisyys ja tavoitteellisen turvavälin säätely suhteessa edellä olevaan ajoneuvoon. Mitä suurempia arvot ovat, sitä pienempi on välityskyky. Parametrien suositeltavat arvot riippuvat liittymätyypistä ja liikenneympäristöstä. (Liikennevirasto 2013, liite 4 / s. 1–2.)

Vissim-liittymien ajoneuvojen toiminta malliintuu etuajo-oikeussäännöin (Priority Rules) ja konfliktialuein (Conflict Areas). Liikenneviraston ohje suosittelee konfliktialue-toimintoa

käytettäväksi suurimmassa osassa tilanteista. Konfliktialue-toimintoon sisältyy parametreja, jotka määrittävät hyväksytyt ajoneuvojen aikavälit konfliktialueella eteen ja taakse, linkin havaittavuuden välimatkan sitä lähestyvälle kuljettajalle sekä sivusuunnasta pääsuunnan liikennevirtaan liittyvän ajoneuvon turvavälin pääsuunnan edellä ajavaan ja taakseen tulevaan ajoneuvoon. Etuajo-oikeustoiminto ei määrittele edellä mainittuja kriittisiä aikavälejä; etuajo-oikeustoimintoa käytetään konfliktialueiden sijaan silloin, kun on tarkka tieto siitä, mitä aikavälejä liittymässä hyväksytään. (Liikennevirasto 2013, liite 4 / s. 2.) Etuajo-oikeus- ja konfliktialueiden käyttö Vissim-simulointimallin liittymissä on esitetty kuvassa 14.

Kuva 14: Etuajo-oikeus- ja konfliktialueet (PTV GROUP 2022).



Etuajo-oikeustoiminnolla (vasemmassa kuvassa ohuet vihreät ja punaiset viivat) määritetään malliin pysäytysviivat sekä väyläosuudet, joiden välillä kulkeva etuajo-oikeutettu liikenne pysäyttää väistämisvelvollisesta suunnasta saapuvat ajoneuvot. Konfliktialueet on suositeltavampi toiminto, joka hyödyntää laajemmin valmiita ohjelman parametreja. Kuvissa punaiselle alueelle suuntaavat ajoneuvot väistävät vihreiden alueiden ajoneuvoja, suojateiden liikennettä sekä pysäkiltä poistuvia linja-autoja. Ohjelmaan voidaan lisäksi

määritellä ajoneuvon pysähtymisen todennäköisyys konfliktialueen päälle sekä liittymästä poistuvien ja sinne saapuvien ajoneuvojen keskinäinen reagointi liittymäalueella.

Ajoneuvoille määritellään halutut nopeustasot ja –jakaumat ajoneuvotyyppin mukaisesti eri nopeusrajoituksilla. Vissim-simulointimallissa ajoneuvojen nopeutta rajoitetaan myös paikoittain kaarrenopeuksilla; esimerkiksi kiertoliittymässä ajoneuvojen enimmäisnopeus on noin 30 km/h. Vissimin uusimmassa versiossa kaarrenopeuksien yläraja määrittyy automaattisesti. Nopeuksien lisäksi voidaan säätää ajoneuvojen parametriarvoja, kuten pituutta, muotoa ja painoa sekä jakaumia, jotka vaikuttavat ajoneuvojen nopeuteen, kiihtyvyyteen ja hidastuvuuteen. Vissim-simuloinnin parametrisuosituservoja on esitetty tarkemmin Liikenneviraston ohjeissa. (Liikennevirasto 2013, liite 4 / s. 3.)

Vissimin tuottama tulostieto on enimmäkseen teksti- ja taulukkomuodossa. Ohjelmasta on saatavilla laajaa tulostietoa yksittäisistä ajoneuvoista tai simuloinnissa erotelluista ajoneuvoryhmistä. Simulointiajoilla kerätään liikenteen toimivuustietoa alueellisesti liittymistä (node), pistekohtaista (data collection points) tietoa toteutuneista liikennemääristä ja nopeuksista tai matka-aikatietoa (travel time) kahden tarkastelupisteen väliltä. Lisäksi yksittäisiä jononpituuksia ja ajoneuvojen määrää jonossa voidaan mitata Queue counters –työkälulla. Liikenteen toimivuutta voi tutkia myös koko verkon laajuisesti (vehicle network performance), jota kautta voi selvittää ja vertailla skenaarioiden välillä verkon keskimääräistä viivytystä, ajoneuvojen määrää ja nopeutta sekä kuljettua kokonaismatkaa ja matka-aikakertymää. Matka-aikojen kertymästä voidaan laskea tarkasteluvaihtoehtojen tuoma matka-ajan säästö esimerkiksi vuorokauden tai vuoden ajanjaksolta – liikennevirtojen simulointi on yksi tapa laskea ja arvioida liikennehankkeiden kannattavuutta ja hyöty–kustannussuhdetta saavutetun matka-aikahyödyn kautta.

Vissim kerää runsaasti tulostietoa; esimerkiksi liittymäalueen (node) tulostaulukossa yksi rivi vastaa yksittäistä liittymäalueelle saapuvaa ja sieltä poistuvaa liikennevirtaa. Ohjelma laskee liittymää ympäröivän alueen rajoista tulo- ja poistumissuunnittain mm. saapuvan liikennevirran keskimääräisen jononpituuden, jononpituuden huippuarvon, ajoneuvojen määrät luokittain, palvelutason (LOS), keskimääräiset viivytykset, pysähdykset ja niiden kestot, ajoneuvojen päästöt ja polttoaineen kulutuksen. Ajoneuvot voidaan jakaa tuloksissa erilaisiin luokkiin ja tarkastella esimerkiksi raskaan liikenteen tai joukkoliikenteen yksiköiden

keskimääräistä toimivuutta. Liikenteellisen toimivuuden lisäksi tarkastelun tulosliuskalle voidaan sisällyttää myös ympäristötavoitteita ja kestävä kehityksen näkökulmaa. Ohjelma tarjoaa siten monipuoliset lähtökohdat tarkastelukokonaisuuden rakentamiseen sekä mahdollistaa toimivuustarkastelun sisältöön erilaiset näkemykset ja painotukset ilman merkittäviä teknisiä rajoitteita. Esimerkki Vissim-simulointiajon tuottamasta taulukkomuodosta on esitetty kuvassa 15.

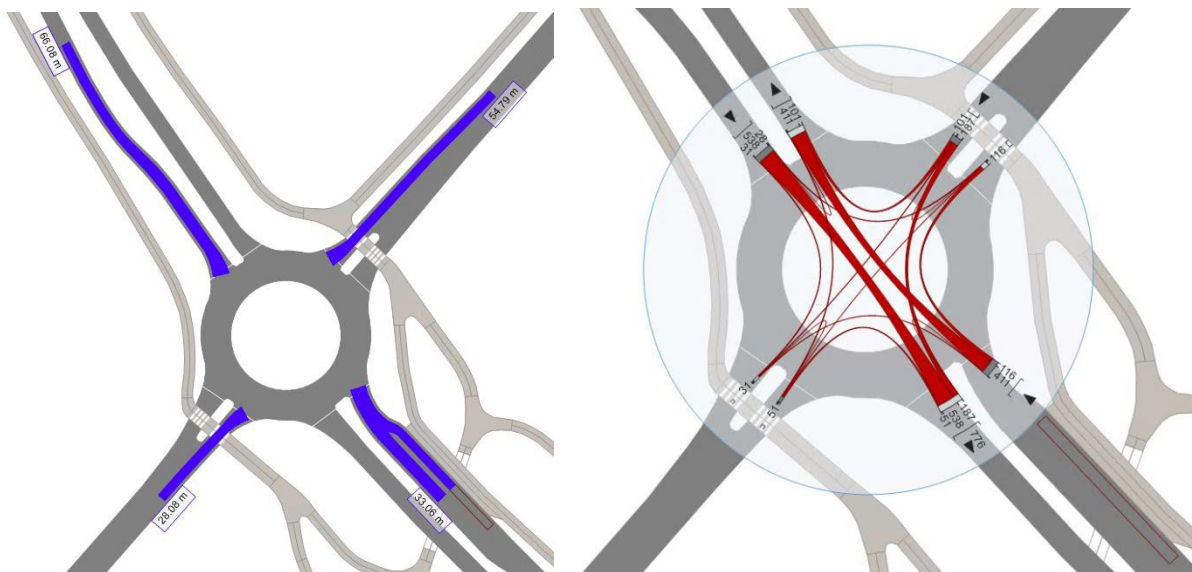
Kuva 15: Vissim-simulointiajojen tulostietoa taulukkomuodossa (PTV GROUP 2022).

Count	SimRun	TimeInt	Movement	QLen	QLenMax	Vehs(All)	Vehs(10)	Vehs(20)	Vehs(30)	LOSVal(All)	VehDelay(All)	StopDelay(All)	Stops(All)	EmissionsCO	FuelConsumption
1	1	300-3900	1: Ramppi P - 9@1225.5 - 9@1260.5	0,00	0,00	581	532	48	1	1	0,40	0,00	0,00	117,114	1,675
2	1	300-3900	1: Ramppi P - 10@497.9 - 10@538.8	0,00	0,00	424	381	42	1	1	0,12	0,00	0,00	87,407	1,250
3	1	300-3900	1: Ramppi P - 22@63.3 - 21@0.6	0,10	16,57	47	45	2	0	1	3,65	0,62	0,21	17,205	0,246
4	1	300-3900	1: Ramppi P - 23@96.2 - 10@24@17.5	0,00	0,00	233	201	32	0	1	0,23	0,00	0,00	47,818	0,684
5	1	300-3900	1: Ramppi P - 10025@5.9 - 9@1260.5	2,17	33,29	61	46	15	0	3	21,67	13,80	1,25	125,887	1,801
6	1	300-3900	1: Ramppi P - 10026@18.1 - 10026@24.1	0,07	23,74	27	26	1	0	1	3,94	0,94	0,22	13,419	0,192
7	1	300-3900	1: Ramppi P	0,39	33,29	1373	1231	140	2	1	1,41	0,65	0,07	391,578	5,602
8	1	300-3900	2: Ramppi E - 9@1000.8 - 9@1037.2	0,00	0,00	395	379	15	1	1	0,66	0,00	0,00	81,947	1,172
9	1	300-3900	2: Ramppi E - 10@721.1 - 10@757.4	0,00	0,00	407	372	34	1	1	0,23	0,00	0,00	81,865	1,171
10	1	300-3900	2: Ramppi E - 16@44.7 - 14@0.4	0,06	11,95	44	36	8	0	1	3,10	0,50	0,20	15,922	0,228
11	1	300-3900	2: Ramppi E - 17@42.2 - 10005@15.1	0,00	0,00	42	33	9	0	1	0,19	0,00	0,00	8,348	0,119
12	1	300-3900	2: Ramppi E - 10007@9.5 - 10007@36.8	12,53	86,59	235	200	35	0	4	27,26	14,73	1,77	653,294	9,346
13	1	300-3900	2: Ramppi E - 10008@11.0 - 10008@19.4	10,39	89,38	42	38	4	0	2	13,28	5,59	0,79	56,727	0,812
14	1	300-3900	2: Ramppi E	3,83	89,38	1165	1058	105	2	1	6,41	3,19	0,39	877,748	12,557

Vissim-toimivuustarkastelussa korostuvat suuren tietomassan käsittely, tärkeimpien tietojen määrittely, tiedon suodattaminen sekä tiedon soveltaminen ja sen esitystapa toimivuustarkasteluraportissa. Koska simulointiajojen toimivuuteen liittyvät tulokset ovat pääosin numeromuodossa, Vissim-käyttäjän tehtäväksi jää kerätä ja muokata simuloinnilla tuotettu tietomassa toimivuustarkasteluraporttiin parhaaksi mahdolliseksi tulosten esitystavaksi.

Vissimin pienenä heikkoutena on simulointitulosten visualisointi, johon ohjelma ei tarjoa valmista pohjaa tai erillistä ohjelmaa. Kuvallisessa muodossa on saatavilla tuloksia, kuten nopeustasot, liittymäkohtaiset liikennevirrat sekä jononpituuksien esittäminen joko keskimääräisessä tai maksimimuodossa. Vissimin automatisoitu visualisointi rajoittuu käytännössä liikennevirtojen nopeustason, jononpituuksien keskiarvon ja huipun esittämiseen liikenneverkolla; muilta osin simulointitiedon visualisointi jää suunnittelijan tehtäväksi. Esimerkki Vissim-simuloinnin tuottamista liittymän maksimijononpituuksista ja liikennemäärätiedoista on esitetty kuvassa 16.

Kuva 16: Vissim-simuloinnin tulostietoa (PTV GROUP 2022).



Vissim-simuloinnin jononpituudet lasketaan liittymän (node) rajalla sijaitsevista linkeistä ulospäin. Ohjelma laskee jonoutumisen tapahtuvan määritelmällisesti ajoneuvoille, joiden nopeus on oletusarvoisesti enintään 5–10 km/h. Tulostiedoissa käytetään yleisesti useamman simulointiajon keskiarvoa, jotta tulostietojen satunnaisvaihtelun vaikutusta saadaan tasattua.

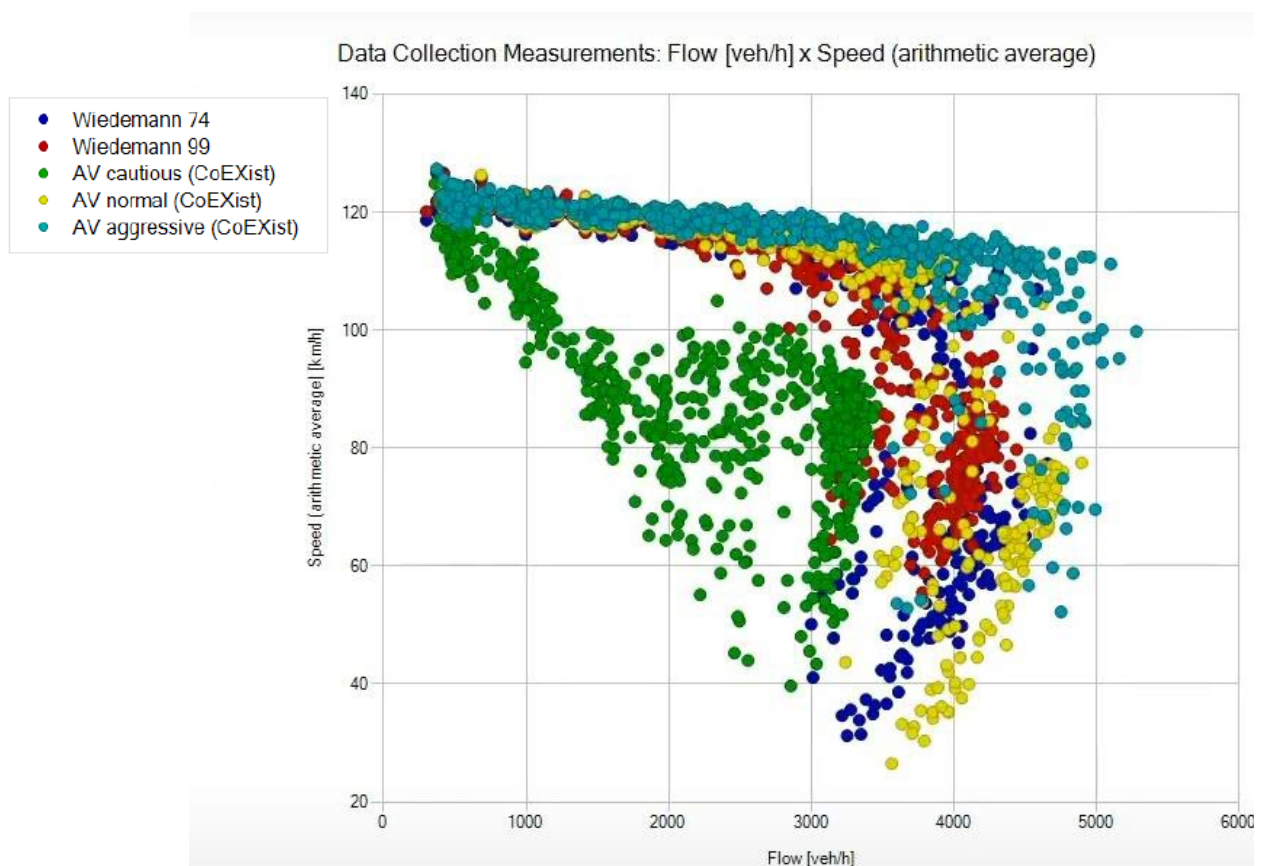
Vissim-ohjelmistoa päivitetään jatkuvasti. Viimeisimmät ohjelmaversiot vaativat käyttöjärjestelmäksi vähintään Windows 10:n. Uusimmissa ohjelmapäivityksissä todenmukaisten yksityiskohtien simulointi on entisestään tarkentunut: esimerkiksi pysäköintialueen toiminnan tarkassa simuloinnissa on mahdollista huomioida peruuttavat ajoneuvot tai kuljetusten toimivuustarkasteluissa raskaiden ajoneuvojen perävaunujen jättö ja yhdistäminen. Uudet ominaisuudet helpottavat toimivuuden havainnointia ja tiedon visualisointia tuoden uusia mahdollisuuksia tiedon esittämiseen; varsinaisiin toimivuustarkastelun tuloksiin ja tietojenkäsittelyyn ne eivät juurikaan tuo lisäarvoa.

Käyttäjäläpauksen myötä viimeisimmät Vissim-päivitykset ovat kehittäneet simuloinnin tulosten automaattista visualisointia ohjelman sisällä. Esimerkkinä tästä on dynaaminen x- ja y- taulukointi eli Scatterplot, joka vertaa kahta valittua muuttujaa, kuten liikenteen nopeutta ja liikennevirtaa, päivittäen jatkuvasti tietoja simulointiajon aikana taulukkomuotoiseen

pistepilveen (kuva 17). Visualisoinnin kehittämisellä ja automatisoinnilla pyritään nopeuttamaan tulosten data-analysointivaihetta ja siten vähentämään simulointiprojektien Excel-taulukointiin liittyvää työkuormaa. Vissim-ohjelman tuottamat uudet toimivuuden esittämisen tavat tulisi huomioida myös tulevaisuuden toimivuustarkasteluohjeistuksessa.

Kuva 17: Vissim-simulointiajon tulosten taulukointi (PTV GROUP 2022).

Kuvassa simuloinnin tuottama liikennevirran välityskyky erilaisilla ajoneuvoseurantaan vaikuttavilla malleilla ja kuljettajien ajotavoilla. Malleista Wiedemann 74 soveltuu kaupunkiolosuhteisiin ja Wiedemann 99 moottoriteille. Simuloidun liikennevirran keskimääräiseen nopeuteen ja laskentapisteen ohittavaan ajoneuvomäärään voidaan vaikuttaa ajoneuvoseurannan malleilla tai säätämällä kuljettajien ajotapaa joko aggressiiviseen tai varovaiseen suuntaan.



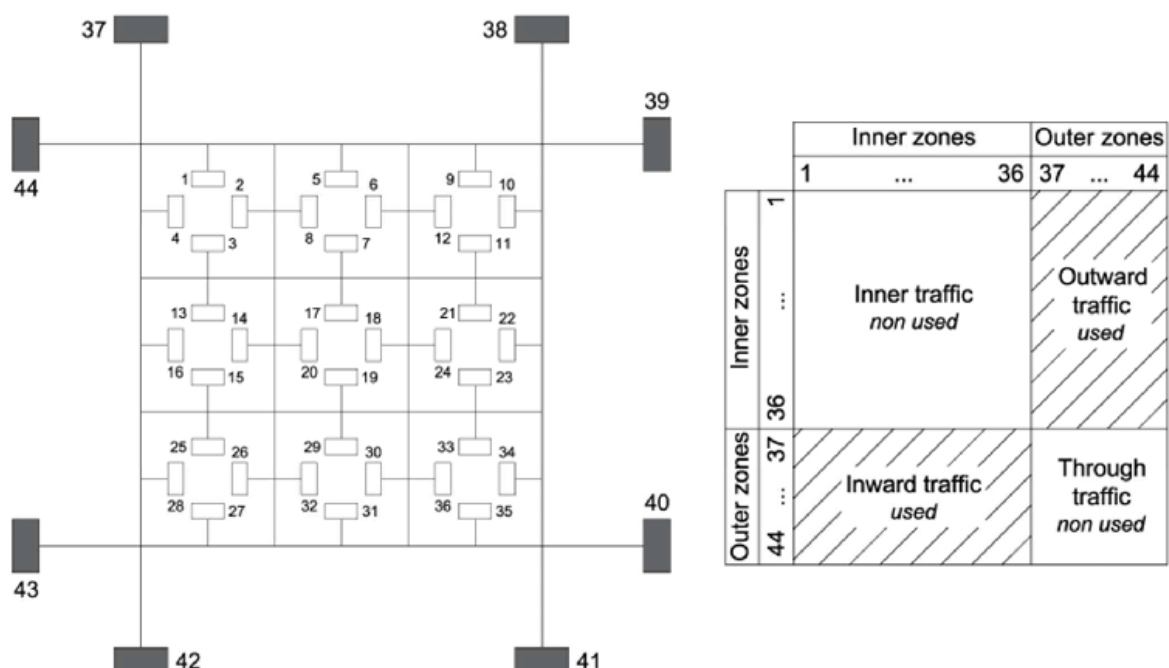
9 Simulointimalli

9.1 Simulointimallin rakenne

Liikenteen simulointimalli on liikennejärjestelmän osaa yksinkertaistava malli, jolla tutkitaan ja havainnollistetaan liikennevirtojen toimintaa. Simulointimallinnuksen lähtökohtana on tarve liikenteelliselle selvitykselle, jolle tulee määritellä tavoitteet, tarkoitus sekä liikenteen toimivuuteen liittyvä tieto, jonka simulointi tuottaa. Tarkasteltavaan järjestelmään määritellään sen tärkeimmät osat, osien vuorovaikutukset, tarvittavat lähtötiedot, simulointiajoilla kerättävä tulostieto sekä alueen maantieteellinen raja.

Simuloitavaa aluetta rajaavat portit, jotka toimivat liikenteen lähtö- ja määräpaikkoina. Toimivuustarkastelualue koostuu useimmiten noin 1–10 liittymästä sekä niiden välisestä katuverkosta. Liikennevirrat saapuvat ja poistuvat alueelta porttien kautta, joiden väliset liikennevirrat voidaan mallintaa joko yksittäisien liittymien kääntyvien ja suoraan kulkevien virtojen suuntajakaumana tai taulukkomuotoisena liikennemäärämatriisina, jonka reitit kattavat koko kohdealueen. Esimerkki matriisimuotoisesta liikennevirtamallinnuksesta on esitetty kuvassa 18.

Kuva 18: Simulointimalli matriisimuodossa (Háznagy 2016, Fig. 3).



Kuvassa simulointialueen katuverkkoa rajaavat saapuvan ja poistuvan liikenteen portit 1–44. Alueen jokainen liikennevirta lähtö- ja määräpaikkoineen käsitellään esimerkissä matriisimuodossa. Kuvassa liikennettä on ainoastaan ulkoreunan porttien (37–44) sekä sisäosan tonttien (portit 1–36) välillä molempiin suuntiin. Kahden tontin välistä liikennettä tai alueen ulkoreunan läpikulkuliikennettä ei ole mallinnettu.

9.2 Lähtötiedot yleisesti

Liikennevirtojen simuloinneissa ja toimivuustarkastelussa tarvittaviin lähtötietoihin lukeutuvat kohdealueen liikenteelliset ominaisuustiedot sekä liikennemäärätiedot. Ominaisuustietoja ovat alueen nykyiset liikennejärjestelyt sekä tulevaisuuden maankäyttö- ja aluehankkeiden suunnitelmat, joiden kautta arvioidaan uuden maankäytön liikennetuotos maankäyttötyypeittäin. Liikennemäärätiedot koostuvat tarkastelualueen liikennevirroista lähtö- ja määräpaikkoineen; simulointimalliin syötettävät tiedot sisältävät mahdollisimman tarkat liikennemäärät huipputuntitasolla ajosuunnittain. Liikennevirrat koostuvat henkilöautoista, raskaasta liikenteestä, joukkoliikenteestä, jalankulkijoista ja pyöräilijöistä. Tarvittavia liikennemäärätietoja ovat ajoneuvoliikenteen määrä tuntitasolla ajosuunnittain, raskaan liikenteen osuus, joukkoliikenteen määrät ja reitit sekä jalankulun ja pyöräilyn määrät.

Liikenteellisen toimivuustarkastelun ajallisena rajauksena käytetään yleisesti liikenneinfraa mitoittavaa vuorokauden ruuhkatuntia, joka on useimmissa tapauksissa iltahuipputunti (IHT). Aamuruuhkan tarkastelu voi olla tarpeen työmatkaliikenteen lähtö- tai määräpaikoissa tai kaupungin sisääntuloväylillä. Joissain tapauksissa voidaan tutkia suunnitellun maankäytön aiheuttamaa tapahtumaliikennettä, joka poistuessaan tuottaa hetkellisesti merkittävän paikallisen ruuhkahuipun ja voi siten vaikuttaa laajasti verkon liikennevirtojen toimivuuteen.

Alueen liikenteellisen yleiskuvan hahmottamiseksi on usein tarpeen selvittää myös alueen aiemmat liikenneselvitykset ja niissä esiin nostetut huomiot, jotka toimivat seuraavan liikenteellisen toimivuustarkastelun lähtötietoina. Projektin alussa tehtävä liikenteellisten taustatietojen kerääminen selventää työn tavoitteita ja nopeuttaa projektin etenemistä.

Nykyinen ohjeistus ei ota yksityiskohtaista kantaa tarvittaviin simuloinnin lähtötietoihin, koska ne määräytyvät pääosiltaan projektikohtaisesti. Sen sijaan Liikenneviraston ohjeiden mukaan (2013, s. 26) projektin tarjouspyyntö- ja tilausvaiheessa tulee mainita, mitä lähtötietoja tilaajalta löytyy valmiiksi ja mitkä on hankittava. Yleisin kohdealueen liikenteestä tarvittava lähtötieto on liikenne-ennustemallin tai laskennan tuottama liikennemäärätieto järjestelyä mitoittavalta ruuhkatunnilta. Joissain tilanteissa tarjoukseen pitää liittää esimerkiksi kohdealueen liikennelaskennan suorittaminen, joka kasvattaa projektityön tuntimäärää. Tarkastelualue ja kaikki suoritettavat tarkastelut on hyvä kirjata asiakirjoihin jo tarjousvaiheessa, jotta työmäärän arviointi helpottuu.

9.3 Ominaisuustiedot

Simulointimallinnuksessa tarvittavia ominaisuustietoja ovat muun muassa kaistajärjestelyt kuten kaistojen määrät liittymäväleillä, suoraan kulkevien ja kääntyvien kaistat, mahdollisten kaistanvaihtojen ja niihin liittyvien opasteiden sijoittuminen, ryhmittymiskaistojen pituudet, kaistojen leveydet, suojatiet, nopeusrajoitukset, liikennevaloliittymien toiminta mahdollisine ohjelmointitietoineen sekä joukkoliikenteen reitit, vuorotiedot ja pysäkkien sijainnit. Liittymissä on tarkistettava etuajo-oikeudet ja väistämisvelvolliset ajosuunnat.

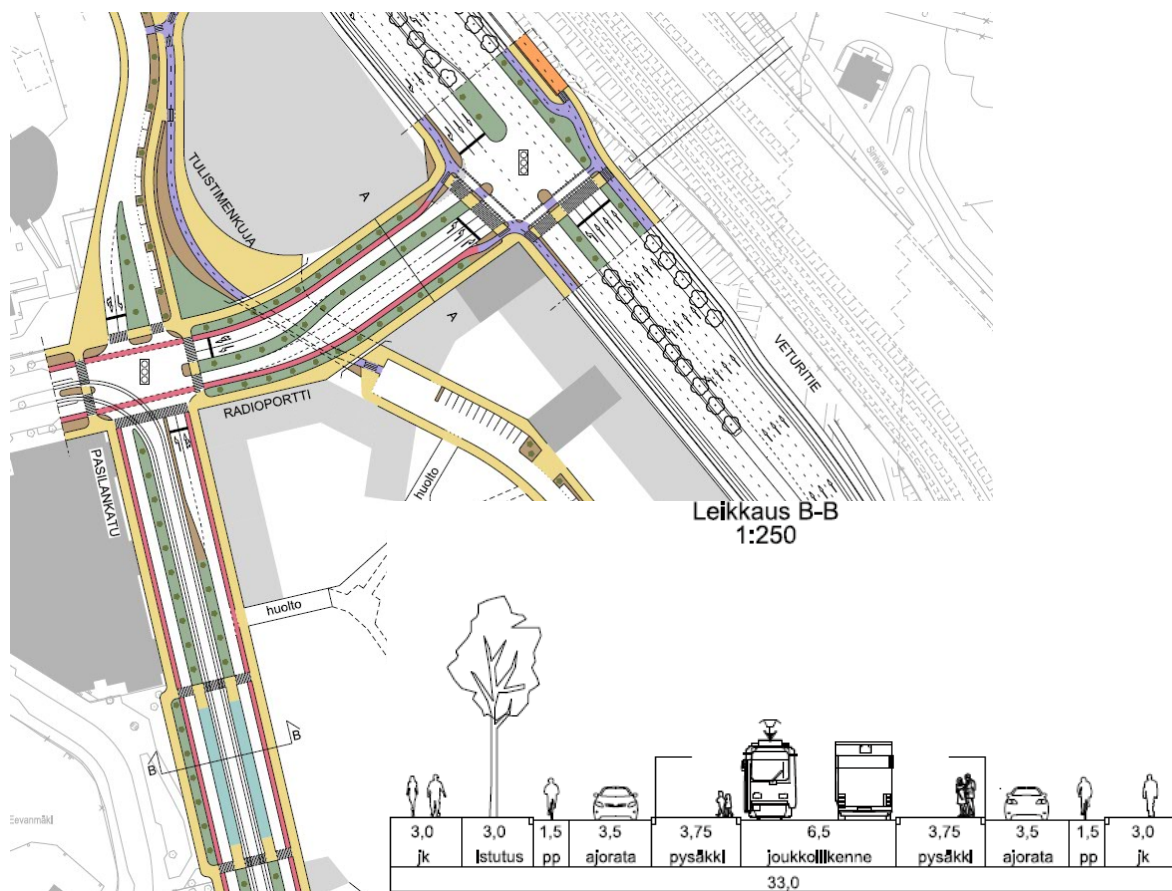
Liikennevaloliittymä on esimerkki tarkemman tason ominaisuustietojen mallintamisesta. Liikennevaloliittymien ohjelmointi ja niiden ohjausperiaatteet, kuten valojen yhteenkytkentä, vaikuttavat merkittävästi liikennevirtojen toimintaan ja sitä kautta simulointiajajojen tuloksiin. Simulointi liittyy monessa tapauksessa valoliittymien suunnitteluun ja liikenteellisesti toimivimman valo-ohjelmoinnin selvittämiseen.

Liikennevaloista Vissim-simulointimalliin on mahdollista lisätä nykyinen valo-ohjaussuunnitelma, vaihejako ja ajoitustiedot. Keskeisiä ominaisuustietoja ovat valojen kiertoaika, valo-ohjelman vaiheet sekä ilmaisimet ja niiden sijainti. Todellisessa käytössä olevat ohjelmointitiedot lisäävät simulointimallin tulosten tarkkuustasoa ja toimivuustulosten varmuutta. Jos tarkkaa valojen ohjelmointitietoa ei ole, voidaan valoliittymien toiminta tarvittaessa mallintaa tasapainottamalla vihreän ajat tulosuuntien liikennemäärien suhteen; tällöin käytettävä valo-ohjelma määrittyy simuloitavien liikennevirtojen parhaimmaksi katsotun kokonaistoimivuuden perusteella.

Nykytilanteen ominaisuustietojen päälle lisätään hankesuunnitelman lähtötietoaineisto. Suunnitelman lähtötietojen ei tarvitse olla valmiita; ne voivat olla simulointimallinnusta aloittaessa myös alustavia tai keskeneräisiä suunnitelmia, joita on tarkoitus tarkentaa vaiheittain liikenteen simuloinnin ja toimivuustarkastelun tulosten avulla.

Esimerkki lähtötietona hyödynnettävästä katuverkon suunnitelmien fyysisistä ominaisuustiedoista on esitetty kuvassa 19.

Kuva 19: Katuverkon ominaisuustietoja (Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2017).



Ominaisuustiedot toimivat simuloinnin pohjana. Katupoikkileikkauksen kaistanleveyksien avulla saadaan varmistettua, että simulointimallissa on oikea mittakaava. Simuloinnin lähtötiedoissa noin puolen metrin tarkkuustaso on käytännössä riittävä.

9.4 Liikennemäärätiedot

Liikennemäärä on merkittävin toimivuustarkastelujen tuloksiin ja luotettavuuteen vaikuttava lähtötieto. Liikennemäärät vaihtelevat huomattavasti eri vuodenaikoina, viikonpäivinä ja vuorokaudenaikoina. Liikennemäärän vaihtelu aiheutuu sääolosuhteiden, työ- ja loma-ajan sekä liikennettä synnyttävän maankäytön, kuten työn, palvelujen ja vapaa-ajan toimintojen seurauksena. Vaihtelu on erilainen kaupungin tai taajaman eri osissa väylien ja liittymien toimintojen mukaan. Suurinta vaihtelu on kaupungin reuna-alueilla. (Liikennevirasto 2016, s. 51.)

Kohdealueen liikennemäärä vaikuttaa suoraan liikennejärjestelyiden mitoitukseen sekä tarkasteluun valittaviin vaihtoehtoihin. Liikennemäärän lähtötietoina käytetään nykytilanteen liikennelaskentatietoja, ilmaisintietoja, maankäyttötoimintojen matkatuotoslaskelmia, suuremman mittakaavan Emme-ennustemalleja tai näiden yhdistelmiä. Nykytilanteen liikennelaskennoilla pienille ja keskisuurille kohteille, kuten yksittäiselle liittymälle, saadaan tarkin ja luotettavin simuloinnin liikennemäärätieto; laajoissa simulointikohteissa hyödynnetään kaupunkiseutujen liikenne-ennustemalleja.

Liikennemäärätieto on tärkeää saada määriteltyä mahdollisimman luotettavasti oikein, koska se toimii monissa tapauksissa kohdealueen liikennevirtojen yleiskertoimena, jonka vaikutus korostuu ja kertautuu mahdollisissa jatko- ja herkkystarkasteluissa. Liikennemäärätiedon epävarmuus lisää arvioinnin tarvetta, mikä vaikuttaa projektityön seuraaviin työvaiheisiin, simuloinnin tuloksiin ja johtopäätelmien tarkkuuteen. Jos kohdealueen saatavilla olevat liikennemäärätiedot jäävät vuorokausiliikenteen tarkkuustasolle, tiedot on muokattava järjestelyjä mitoittavan huipputilanteen ajankohdalle, joka on useimmissa tapauksissa iltahuipputunti. Tämän lisäksi on selvitettävä tai arvioitava tarkasteluajankohdan liikennevirtojen tulosuunnittainen jakauma.

Varmin liikennemäärätieto saavutetaan nykytilanteen järjestelyjä mitoittavan huipputunnin liikennelaskennoilla. Liikennelaskennan kohteena on usein tarkastelualueen liikennevirtojen toimivuuteen laajasti vaikuttava keskeinen yksittäinen liittymä tai liittymäalue. Nykytilanteen tarkat liikennemäärätiedot voidaan laskea ilmakuvauksella, käsin laskemalla tai hyödyntää liittymien silmukkillmaisintietoja. Laskennat suoritetaan tyyppillisenä ruuhkatunnin

ajankohtana; laskentapäiväksi valitaan yleisesti lomakausien ulkopuolinen arkipäivä tiistain ja torstain välillä tai kaupallisissa kohteissa perjantai-iltapäivä. Nykytilanteen liikennemäärätietoa saadaan kerättyä laskennan lisäksi myös tie- ja katuverkon ilmaisimista valoliittymien kohdilta sekä Väyläviraston avoimesta aineistosta.

Tieverkon liikennemäärätietoa saadaan Fintrafficin keräämillä liikenteen automaattisilta mittausasemilta (LAM). LAM-laite rekisteröi pisteen ylittävät ajoneuvot, jolloin jokaisesta ajoneuvosta saadaan ohituksen kellonaika, ajosuunta, ajonopeus, ajoneuvon pituus, peräkkäisten ajoneuvojen aikaero ja ajoneuvoluokka. Asemia on Suomessa yli 450. Fintrafficin palvelussa on tarjolla reaaliaikaista ja historiadataa LAM-asemilta joko raporteina tai raakadatana koneluettavassa csv-muodossa. (Fintraffic 2022.) Lisäksi Väyläviraston palvelussa on yleisesti saatavilla tieverkon vuorokausiliikennetietoa (Väylävirasto 2022).

Nyky- tai ennustetilanteen liikennemäärät toimivat simulointimallissa kohdealueen taustaliikenteenä, jota muokataan kasvukertoimilla tai johon lisätään uusien toimintojen liikennetuotoslukuja. Uuden maankäytön lisäliikenne simuloidaan tarkastelualueelle yleensä täysin muusta maankäytöstä riippumattomana uutena liikenteenä, koska liikenneteknisen mitoituksen kannalta pyritään välttämään liikennetuotoksen aliarviointia. Lisäksi päällekkäisten matkojen eli matkaketjujen todellisen määrän arviointi on vaikeaa. Uusien toimintojen saapuville ja poistuville liikennevirroille on myös määriteltävä suuntajakauma, joka yleensä vastaa nykyisten liikennevirtojen määrällistä suuntajakaumaa verkolla.

Autoliikenteen lisäksi voidaan tarpeen mukaan mallintaa myös kävely- ja pyöräilyliikennettä, busseja ja raidejoukkoliikennettä sekä niiden saamia valoetuksia. Kohdealueelta tulee lisäksi huomioida kaupunkivyöhykkeen mukainen kulkutapajakauma, raskaan liikenteen osuus ajoneuvoista sekä kävely- ja pyöräilyliikenteen mahdollinen vaikutus liikennevirtojen toimivuuteen; katua ylittävän suojatieliikenteen hidastava vaikutus ajoneuvoliikenteeseen on usein riittävä simuloinnissa huomioitava tarkkuustaso. Jalankulun ja pyöräilyn määrä voidaan arvioida kohdealueen sijainnin ja reittien perusteella tai käyttää laskentatietoja.

9.5 Liikenneyksiköt

9.5.1 Raskas liikenne

Mikrosimulointimallin moottoriajoneuvot koostuvat tyypillisesti henkilöautoista ja raskaasta liikenteestä. Yleisimpänä simulointimallin ajoneuvoryhmien määrittelyä on raskaan liikenteen osuus ajoneuvojen kokonaismäärästä. Vissim-simulointimallissa raskaan liikenteen osuutena on oletusarvoisesti 2 %, jota käyttämällä raskaan liikenteen vaikutus liikennevirtojen toimivuuteen jää suhteellisen pieneksi. Raskaan liikenteen osuus vaihtelee tarkastelukohteen mukaan tyypillisesti 0–20 % välillä; osuus on tärkeää selvittää tai arvioida projektikohtaisesti lähtötiedoissa ja mainita se toimivuustarkasteluraportissa. Useimmissa tarkastelukohteissa kohdealueelle riittää yksi yleinen raskaan liikenteen suuruusluokka.

Tietyissä simulointikohteissa, kuten teollisuusalueilla, satamissa sekä joukkoliikenne- ja logistiikkakeskuksissa raskaan liikenteen merkitys liikenteen kokonaistoimivuuteen on keskimääräistä suurempaa tai jopa tarkastelun pääosassa; näissä tapauksissa raskas liikenne simuloidaan yleensä omina virtoinaan, erillisenä henkilöautoliikenteestä. Raskaan liikenteen ajoneuvot voidaan tarvittaessa mallintaa yksittäisten maankäytön toimintojen kapasiteetin tai matkatuotosten tarkkuudella, jolloin malliin sisällytetään ennalta aikataulutetut liikenneyksiköiden saapumis- ja poistumisajankohdat sekä reitit. Vissim-simuloinnissa raskaan liikenteen toimivuuden tuloksia voidaan tarkastella muista ajoneuvoryhmistä eriteltynä ja keskittyä esimerkiksi rekkaliikenteen näkökulman tarkastelussa matka-aikojen vertailuun tai vaihtoehtoisten liittymäjärjestelyiden sujuvuuteen.

Tarkasteltavia ajoneuvoryhmiä voivat olla rekkaliikenteen lisäksi myös joukkoliikenne, sen linjat, pysäkit ja vuoromäärät sekä hälytys- ja pelastusajoneuvoliikenne. Näissä tapauksissa sujuvuuden käytännönläheisenä mittarina on simuloinnin kautta määrittyvä matka-aika, joka tuottaa toiminnoista vastaaville tahoille jatkosuunnittelussa olennaista ja helposti hyödynnettävää matka-aikatieta.

9.5.2 Jalankulku- ja pyöräilyliikenne

Ajoneuvoliikenteen Vissim-simulointimallissa jalankulun ja pyöräilyn liikenteellisten toimivuusvaikutusten tarkastelu keskittyy katuja ylittävään suojatieliikenteeseen. Suojatien ja sen sijainnin vaikutus korostuu liikennevaloliittymissä, joissa suojatien tarvitsema vihreän vähimmäisaika määrittää valo-ohjelmassa tulosuunnan minimivihreän ajan; suojateiden tarvitsema pitkä vihreän aika toimii siten liittymän kokonaistoimivuutta määrittävänä ja rajoittavana tekijänä. Suojatieliikenne hidastaa yleensä samanaikaisesti valoista oikealle kääntyvää ja suojatieliikennettä väistävää ajoneuvoliikenteen virtaa. Ajoneuvoliikennettä hidastavan vaikutuksen vuoksi kävely- ja pyöräilyliikenteen väylät tulee aina ottaa jossain määrin huomioon ja arvioida niiden painoarvoa simuloitavien liikennevirtojen toimivuudessa, vaikka tarkkoja kävelyn ja pyöräilyn liikennemäärätietoja ei olisikaan lähtötiedoissa.

Vissim-simuloinnilla saadaan mitattua jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden keskimääräiset viivytykset valo-ohjatuilla suojateilla; tulokset noudattavat pitkälti suojatien vihreän vaiheen osuutta valokierrossa, joka on mahdollista selvittää myös yksinkertaisemmalla analyysillä. Vissim-simulointia tarkempaan kävelyvirtojen mallinnukseen on olemassa Viswalk-simulointiohjelma, jolla voidaan tutkia esimerkiksi joukkoliikenteen asemien tai tapahtumakeskusten kävelyvirtoja.

Jalankulun ja pyöräilyn suorat vaikutukset liikennevirtojen toimivuuteen jäävät simulointiprojekteissa usein piiloon mutta näkyvät epäsuorasti toteutuneissa liikennejärjestelyissä, niiden mitoituksessa ja katutilan käytössä erilaisten kulkumuotojen kesken. Esimerkiksi keskusta-alueilla ajoneuvoliikenteen kaistan poiston tai autoliikenteen yksisuuntaistamisen kautta kevyen liikenteen väylille saadaan lisätilaa, jos liikennevirtojen toimivuuden ei katsota muutoksen myötä heikkenevän liiaksi.

Jalankulku- ja pyöräilyliikenteeseen painottuvissa simulointikohteissa korostuvat ajoneuvoliikenteelle riittäväksi katsottu mitoitus sekä liikennejärjestelyiden turvallisuusnäkökulma. Monissa tapauksissa suunnittelulle voidaan valita jalankulkua ja pyöräilyä suosiva näkökulma, jolloin liikennevirtojen simuloinnin keinoin pyritään selvittämään ajoneuvoliikenteen katualueelta tarvitsema vähimmäistila ja hyväksyttävä

vähimmäiskapasiteetti. Toimivilla suunnitteluratkaisuilla jalankulusta ja pyöräilyä saadaan autoilua luontevampia ja houkuttelevampia kulkumuotoja erityisesti keskusta-alueilla, joissa matkojen keskipituudet ovat luonnostaan lyhyitä.

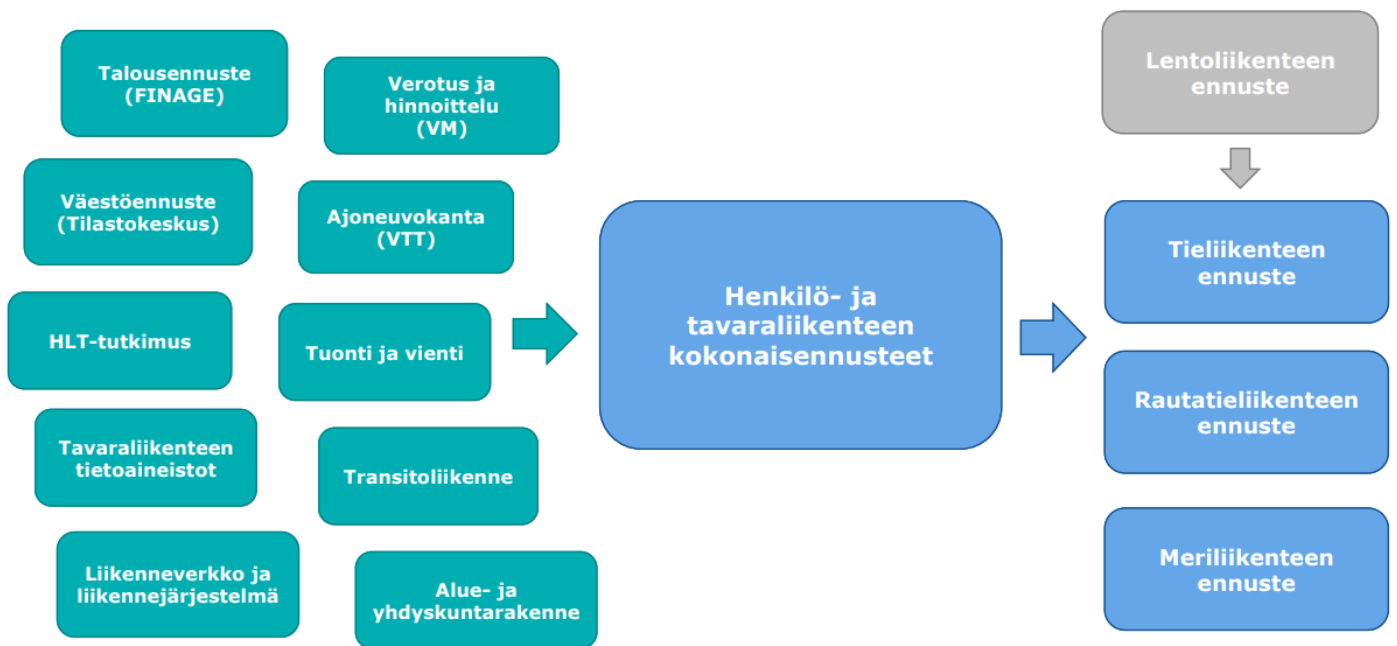
9.6 Liikenne-ennusteet ja kysynnän mallintaminen

9.6.1 Liikenne-ennustemallit

Liikenne-ennuste on yksi tärkeimmistä suunnittelun lähtötiedoista, koska liikenteen suunnitteluratkaisujen mitoitukset ja vaikutusarvioinnit katsovat 10–20 vuoden päähän tulevaisuuteen ja perustuvat ensisijaisesti ennusteen tuottamiin liikennemääriin. Liikenne-ennuste voidaan laatia joko käyttämällä valmista seudullista liikennemallia tai ennustamiseen soveltuvia perusmenetelmiä. Suomessa ei ole ollut käytössä liikenteen valtakunnallista liikenne-ennusteiden mallijärjestelmää toisin kuin muissa pohjoismaissa. Liikennevirasto on laatinut vuonna 2018 ensimmäistä kertaa valtakunnalliset tieliikenteen liikenne-ennusteet yhtenä hankekokonaisuutena (Liikennevirasto 2018b, s. 3). Traficomilta on valmistumassa hanke, jonka tarkoituksena on tuottaa uudet valtakunnalliset liikenne-ennusteet tie-, rautatie- ja meriliikenteelle. Ennusteet ulottuvat vuoteen 2050 asti. Ennusteiden laadinnassa käytetään yhtenäisiä toimintaympäristön muutostekijöitä sekä muodostetaan henkilö- ja tavaraliikenteen kokonaisennusteet, josta liikennemuotokohtaiset ennusteet johdetaan. (Traficom 2022, s. 2) Kuvassa 20 on esitetty tieliikenteen ennusteiden liikennemääriin vaikuttavat tiedot, tutkimukset ja ennusteet, jotka toimivat lähtökohtina valtakunnallisessa liikenne-ennustemallissa.

Nykyiset mikrosimuloinnissa hyödynnettävät liikenne-ennustemallit perustuvat kaupunki- ja työssäkäyntialueiden liikennetutkimuksiin, joista esimerkkeinä ovat vuosien 2007–2008, 2012, 2016 ja 2018 Helsingin seudun liikenteen liikkumistutkimukset. HSL selvittää Helsingin seudun asukkaiden liikkumistottumuksia muutaman vuoden välein laajalla kyselytutkimuksella. Vastaajien matkapäiväkirjojen avulla kartoitetaan esimerkiksi, kuinka monta matkaa alueen asukkaat tekevät päivässä, mistä ja minne ihmiset kulkevat ja mitä kulkutapoja he käyttävät. Tutkimuksen tuloksia käytetään muun muassa Helsingin seudun liikennejärjestelmäsuunnitelman laatimisessa sekä liikenne-ennustemallien ylläpidossa ja kehittämisessä. (Helsingin seudun liikenne 2018.)

Kuva 20: Valtakunnallisen liikenne-ennusteen lähtökohdat (Traficom 2022, s. 3).



9.6.2 Matkatuotoksen arviointi

Liikennemalli on yksinkertaistettu kuvaus todellisista matkustusvalinnoista. Sen avulla pyritään kuvaamaan nykytilanteen liikkumistottumuksia ja siirtämään mallinnettu kysyntä tulevien vuosien liikennetarjontaan. Liikennemalli kuvaa tavallisesti nykytilannetta sekä ennustetilannetta. Liikennemalleissa on kuvattu maankäyttötoimintojen, kuten asumisen ja palveluiden sijainnit, jolloin matkustaja valitsee kulkutavan, määränpään ja reitin parhaan vaihtoehdon mukaan. Mallit eivät ota huomioon muutoksia asenteissa, arvostuksissa tai

ajankäyttötottumuksissa, vaan olettavat liikkumisvalintojen toteutuvan nykyisten periaatteiden mukaisesti. (Kalenoja ym. 2008, s. 13.)

Ennustemallien perusyksikkö on matka, jonka määrittelevät lähtö- ja määräpaikka. Perinteisessä mallissa kukin matka mallinnetaan erillisenä, ilman että se liittyy muihin aktiviteetteihin tai paikkoihin. Meno ja paluu ovat erillisiä matkoja. Käynti puolestaan sisältää määritelmänä kaksi matkaa, jotka muodostuvat kohteeseen tulosta ja sieltä lähdöstä. (Kalenoja ym. 2008, s. 8.)

Liikenne-ennusteet ja mallit perustuvat yhden, useamman ja kaikkien neliporrasmallin vaiheiden ennustamiseen. Strategiset mallit ovat usein rakenteeltaan neliporrasmalleja, jotka sisältävät kaikki neljä vaihetta. Neliporrasmalli (Kalenoja ym. 2008, s. 13.) on esitetty kuvassa 21.

Kuva 21: Neliporrasmallin rakenne (Kalenoja ym. 2008, s. 13).



Neliporrasmallissa on takaisinkytkentä liikenneverkon kuormituksesta aiheutuvasta reitinvalinnasta matkojen suuntautumiseen ja kulkutapajakaumaan. Liikenne-ennusteen voi laatia yksinkertaisimmillaan yhden autoilevan asukkaan matkatuotosten perusteella, joka laajennetaan alueelliseksi kertomalla tarkastelualueen automatkat vuorokauden aikana asuinalueen asukasluvulla sekä jakamalla tulos autojen keskimääräisellä henkilömäärällä. Lopputulokseksi saadaan arvio pienen kokoojakadun liikennemäärästä vuorokaudessa. (Kalenoja ym. 2008, s. 14.)

Simuloinneissa käytetään matkatuotosten ohjemateriaalina Ympäristöministeriön julkaisua "Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa" (2008). Ohje tarjoaa laskukaavat suunnitellun tai olemassa olevan maankäytön liikennetuotoksen laskemiseen yksittäisten toimintojen perusteella. Ohjeessa esitellyt luvut ja kertoimet perustuvat pääosin vuosien 1998–1999 ja 2004–2005 henkilöliikennetutkimuksiin. Vaikka ohjeen tutkimustieto on vanhaa, se on edelleen riittävän tarkkaa, sen sisältö on aihealueen kattavaa ja laskukaavat ovat käyttökelpoisia simulointiprojektin matkatuotosten laskemiseen tai vähintäänkin liikenteen suuruusluokan arviointiin. Joissain tapauksissa ohjeen matkatuotoslukuja voidaan korjata uudemman lähdetiedon suuntaan, jos osittaista päivitettyä tietoa on saatavilla.

Koska ennuste sisältää monia oletuksia, se on parhaimmillaankin vain paras arvio tulevaisuuden kehityksestä. Malli kuvaa vain niitä asioita, jotka sisältyvät mallin muuttujiin. Liikenne ja maankäyttö ovat keskenään tiiviissä vuorovaikutuksessa, jonka yleispätevä mallintaminen ei ole yksinkertaista mutta on tarpeen tulevaisuudessa. Vuorovaikutusmallien tavoitteena on kuvata sitä, miten liikenteellinen saavutettavuus tai sen muutos vaikuttaa maankäytön kehittymiseen ja miten maankäytön kehittyminen vaikuttaa liikenteen kysyntään. (Kalenoja ym. 2008, s. 15.)

9.6.3 Matkatuotosluvut

Matkatuotoslukuja käytetään erilaisissa maankäytön ja liikenteen suunnittelu- ja arviointitehtävissä. Matkatuotosluvut perustuvat henkilöliikennetutkimuksiin, alueellisiin liikennetutkimuksiin, liikennelaskentoihin, aiempiin selvityksiin, kunnissa käytössä oleviin empiirisiin lukuarvoihin, kävijämäärätiedusteluihin sekä osittain asiantuntija-arvioihin. (Tiehallinto 2008, s. 20).

Tarkastelukohteen matkatuotos lasketaan yleisimmin maankäyttötiedosta, joita ovat erilaiset tilastot ja paikkatietoaineistot. Useimmiten matkatuotosluvut lasketaan toimintojen pinta-alan mukaan. Tärkeimpiä selvitettäviä maankäyttötietoja ovat rakennusten kerrosalat, alueittaiset asukas- ja työpaikkamäärät sekä kohteen sijainti yhdyskuntarakenteessa. Kaupunkialueen koko ja sijainti kaupunkirakenteessa määrittelee laskelmissa ajoneuvoliikenteen kulkutapaosuuden. Lähtötietojen avulla lasketaan uuden maankäytön liikennetuotos, joka lisätään olemassa oleviin simulointimallin liikennevirtoihin.

Matkatuotosluvut kuvaavat sitä, kuinka paljon tietty toiminto, kuten kauppa tai asuminen, tuottaa käyntejä vuorokaudessa. Yhteen käyntiin sisältyvät aina meno- ja paluumatkat.

Maankäytön päätoimintoja ovat asuminen, työssäkäynti ja erilaiset palvelut.

Ympäristöministeriön julkaisussa "Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa" (Kalenoja ym. 2008, s. 13) matkatuotosluvut on jaettu seuraaville päätoiminnoille:

1. Asuminen
2. Teollisuus ja elinkeinoelämän palvelut
3. Päivittäistavarakauppa
4. Erikoistavaran kauppa
5. Vapaa-ajan toiminnot
6. Yhteiskunnalliset palvelut
7. Muita palveluja
8. Maa- ja metsätalous

Matkatuotoslukujen laskennan kohteita ovat yleisimmin asuminen, toimistot ja työpaikat, kaupat, vapaa-ajan toiminnot ja yhteiskunnalliset palvelut. Muiden toimintojen tuotokset arvioidaan pääosin tapauskohtaisesti. Matkatuotos lasketaan henkilöliikenteen lisäksi myös tavaraliikenteelle niiden toimintojen osalta, jotka tuottavat merkittävästi molempia. Tärkeimpiä tavaraliikennettä tuottavia toimintoja ovat teollisuustoimipaikat, kaupan suuryksiköt, liikenneterminaalit ja jätteenkäsittelylaitokset (Kalenoja ym. 2008, s. 10).

Toimintojen matkatuotokset lasketaan useimmiten tonttikohtaisesti joko asukasmäärän tai kerrosalaneliömetrien ($k\text{-m}^2$) mukaan. Matkatuotosluvut esitetään pääosin pinta-alaan sidottuina. Toimintokohtainen rakennuksen kerrosalaneliömetri ($k\text{-m}^2$) on yleisin matkatuotoslaskelmissa käytettävä lähtöarvo. Jos kohteen kerrosalatieta ei ole, matkatuotos voidaan tarvittaessa laskea tai arvioida työntekijämäärän, asiakaspaikkojen tai vastaavien olemassa olevien esimerkkikohteiden matkatuotostietojen perusteella.

Matkatuotoksissa on suuria alueellisia eroja, koska kulikutapojen käyttömahdollisuudet ovat eri puolella maata erilaiset. Kulikutapajakauman erottelussa alueet on luokiteltu kuuteen ryhmään seutujen ja niiden vaikutusalueiden asukasluvun mukaisesti. Esimerkiksi Helsingin

seudun matkatuotoslaskelmissa käytetään tiettyä kulkutapajakaumaa, jossa henkilöautolla tehtyjen matkojen osuus kaikista seudun matkoista on muita seutuja pienempi.

9.6.4 Ennusteiden ja maankäyttötiedon soveltaminen

Simulointimallinnuksessa liikenne-ennustemääriä käytetään suuremman mittakaavan liikennevirtojen lähtötietoina. Maankäyttölukuihin, liikkumistottumuksiin ja laajempaan liikennejärjestelmään perustuvat liikenne-ennusteet ovat hyödyllistä lähtötietoa erityisesti simulointimalleissa, joissa on tarpeen määritellä laajan tarkastelualueen tulevaisuuden liikennemäärät. Simulointimallin ennustetilanteen liikennemääriä voi tämän jälkeen tarkentaa yksittäisten maankäyttötoimintojen matkatuotoslaskelmilla. Ennusteen huipputunnin liikennemäärät kuvataan usein noin viiden tai kymmenen ajoneuvon tarkkuudella, mikä on riittävä tarkkuustaso simulointiin ja liikennemäärän esittämiseen.

Matkatuotoslaskelmiin vaikuttavat rakennusten kerrosalan, niiden asukasmäärän tai käyntien lisäksi muun muassa toiminnon laatu, sijainti aluerakenteessa ja kaupunkirakenteen vyöhykkeillä, sijainnin mukaan määritelty henkilöautojen osuus kulkutapajakaumassa, auton kuormitusaste sekä matkatuotosten tuntivaihtelu. Yksinkertaisimmillaan lopulliseen matkatuotoslukuun vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen osaan, jossa ensimmäisenä vaikuttavana tekijänä on toiminto ja toisessa sen sijainti. Tiiviin maankäytön alueilla autoliikenteen osuus kokonaisuudesta on pienempi, mutta tilankäytön rajoitteiden aiheuttamat suunnittelutarpeet ovat harvempaa maankäyttöaluetta merkittävämpiä.

Tarkemmassa matkatuotoksen arvioinnissa, esimerkiksi pysäköintialueen mitoittamisessa, arviointiin otetaan mukaan keskimääräinen viipymä, tuntikohtainen pysäköintialueen täyttöaste sekä tarvittava pysäköintipaikkojen määrä. Uudelle maankäytölle laskettua matkatuotosta voidaan lisäksi arvioida ja suhteuttaa olemassa olevien tai suunniteltujen liikennejärjestelyjen perusteella, vaikkakin olemassa oleva kapasiteetti ei vaikuta suoraan matkojen kysyntään tulevaisuudessa. Nykyiset järjestelyt, kuten pysäköintipaikkojen määrä, toimivat laskelmien kokoluokkaa ja oikeellisuutta varmistavana tekijänä, johon uuden maankäytön matkatuotoslukuja ja kapasiteettitarpeita verrataan.

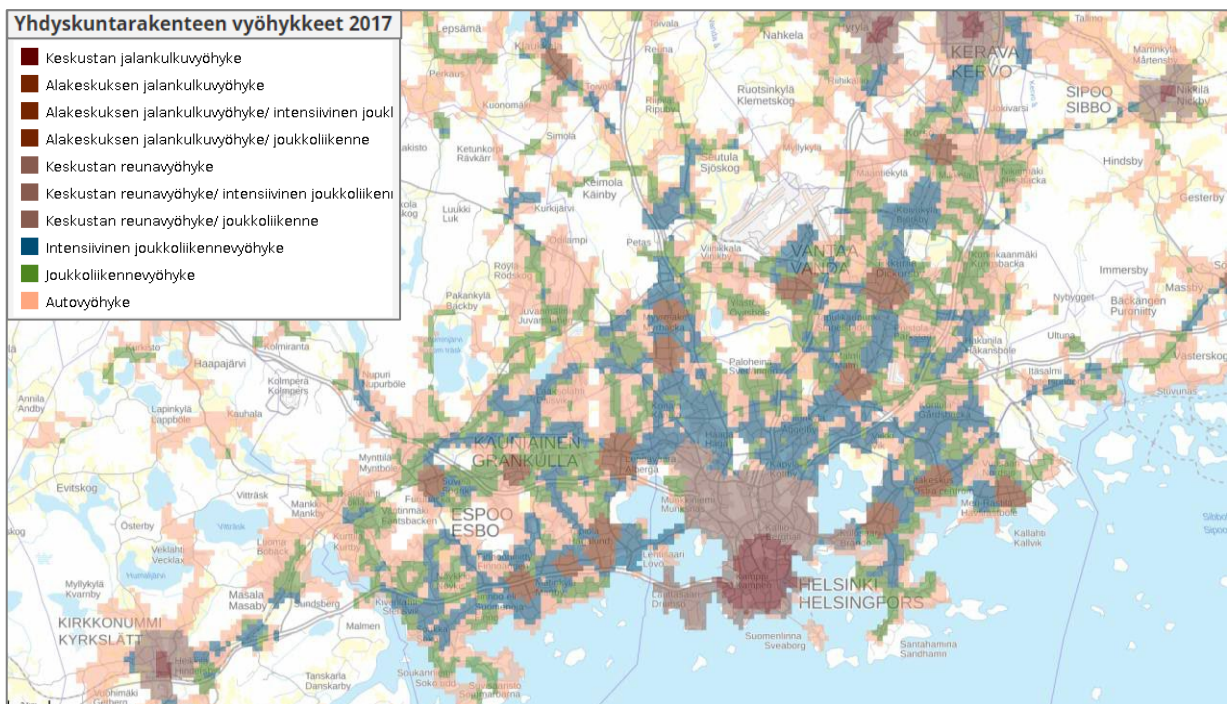
Uuden maankäytön toimintojen luonne vaikuttaa merkittävästi liikennetuotoksen määrään ja sitä kautta liikennejärjestelyiden mitoittamiseen. Kaupalliset toiminnot ja työpaikat tuottavat yleisesti asuinalueita enemmän liikennettä, vaikka kerrosalat olisivat samaa kokoluokkaa. Kaupallisissa kohteissa pysäköintialueen saapuvien ja poistuvien ajoneuvojen kierto on asumista nopeampaa, mikä selittää eroa toimintojen liikennetuotoksissa. Kaupan kohteissa keskimääräinen pysäköinnin kesto eli viipymä voi olla tarpeen arvioida erikseen.

Matkatuotoslaskelmaan vaikuttaa useampi muuttuja, joista tärkeimpiä ovat kävijöiden määrä kerrosalaneliömetrejä kohden, henkilöauton kulkutapaosuus ja henkilöauton keskimääräinen kuormitusaste. Toimivuustarkastelussa käytettävä kävijämäärä tulee aina arvioida tapauskohtaisesti; se voi perustua yksittäisten toimintojen tarkkoihin lähtötietoihin, ohjeissa esitettyyn vaihteluväliin tai näiden yhdistelmään. Toiminnon kävijämäärä, henkilöauton kulkutapaosuus ja henkilöauton kuormitusaste tuottavat käyntimäärän vuorokaudessa. Vuorokausitason liikennemäärätieto käännetään lopuksi simuloinnissa tarkasteltavan huipputunnin osuudeksi.

Moottorijoneuvoliikenteen matkatuotokseen vaikuttavat kaupunkiseudun koko sekä tarkastelukohteen sijainti kaupunkirakenteessa. Toimivuustarkastelun lähtötiedoiksi riittävät kunnan tai kaupunkiseudun asukasmäärä sekä arvio siitä, kuuluuko tarkasteltava alue jalankulkuvyöhykkeeseen, joukkoliikennevyöhykkeeseen tai autovyöhykkeeseen. Kaupunkirakenteen vyöhyke sekä kaupunkiseudun koko vaikuttavat laskelmissa henkilöautojen kulkutapaosuuteen. Kaupunkirakenne on jatkuvassa muutoksessa, minkä vuoksi vyöhykkeitten määrittelyssä tulee käyttää omaa harkintaa sekä huomioida kohdealueen erityispiirteet, kuten kaupunkiseudun suurimpien sisääntulovyöhylien sijainnit sekä joukkoliikenteen linjat ja pysäkit.

Kuvassa 22 on esimerkki yhdyskuntarakenteen vyöhykkeistä, joiden perusteella voidaan yleisesti arvioida ja määrittää kohdealueen henkilöautoliikenteen kulkutapajakauma joko jalankulun, joukkoliikenteen tai autoliikenteen vyöhykkeen mukaisesti. Tarkastelun kohdealueen sijoittaminen laajemmalle kartalle auttaa arvioimaan simulointimallin liikennetuotoslaskelmissa käytettävää kaupunkivyöhykettä, johon ajoneuvoliikenteen kulkutapaosuus perustuu.

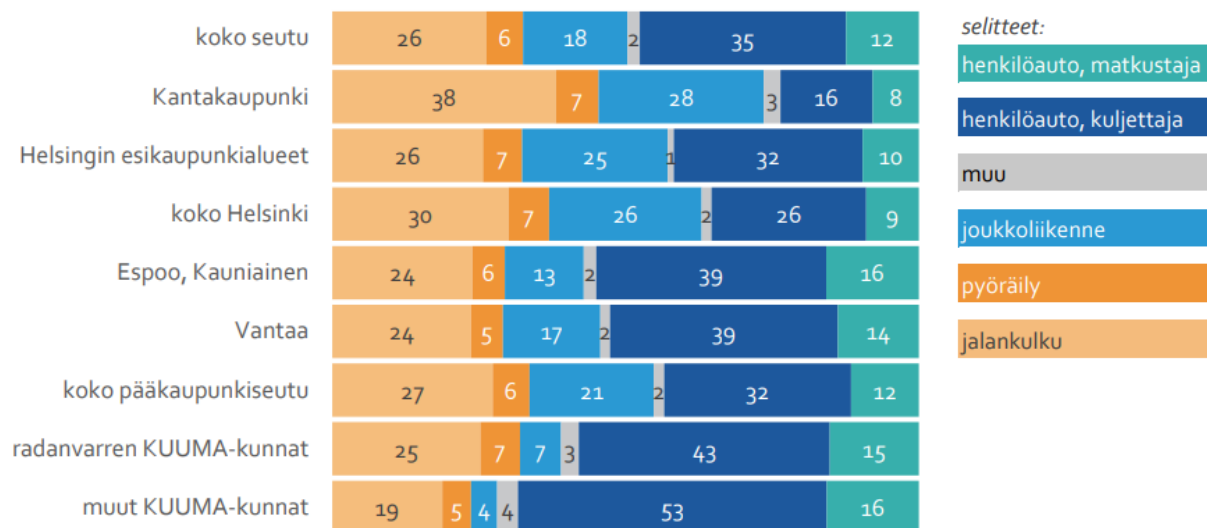
Kuva 22: Pääkaupunkiseudun yhdyskuntarakenne (Suomen ympäristökeskus 2017).



Keskimääräinen matkaluku on varsin tasainen eri puolilla Suomea. Sen sijaan kulkutapaosuudet ja matkojen keskipituudet vaihtelevat seudun maankäytöstä ja liikennejärjestelmästä riippuen. Henkilöliikennetutkimusten tuloksia hyödynnetään simulointimallin alueellisten liikennetuotosten määrittelyssä. Henkilöautoliikenteen kulkutapaosuus vaikuttaa merkittävästi simulointimallin liikennemäärään. Esimerkki alueellisen kulkutapajakauman taustatiedosta ja kulkutavan alueellisesta vaihtelusta vuoden 2016 henkilöliikennetutkimuksessa on esitetty kuvassa 23 (Liikennevirasto 2018a, s. 3).

Kuva 23: Kulikutapajakauma vuonna 2016 (Liikennevirasto 2018a, s. 3).

Kulikutapajakauma asuinalueen mukaan (prosenttia alueen asukkaiden matkoista).



Tärkein toimivuustarkasteluihin liittyvässä matkatuotoslaskelmissa hyödynnettävä lähtötieto on henkilöautoliikenteen kulutapaosuus liikenteen kokonaismäärästä, jota käytetään maankäytön toimintojen liikennetuotoksen laskukaavoissa. Jalankulun ja pyöräilyn osuudet osoittavat puolestaan suojatieliikenteen painoarvoa alueella, mikä auttaa arvioimaan katua ylittävän liikenteen määrää. Suojatieliikenne vaikuttaa liikennevirtojen toimivuuteen erityisesti suurissa kaupungeissa ja keskusta-alueilla.

10 Nykyisen ohjeaineiston sisältö

10.1 Lähtökohdat

Liikennevirtojen simulointia ja toimivuustarkastelua käsittelevää ohjeistusta, tutkimuksia ja muuta taustamateriaalia on julkaistu 1990-luvun alusta lähtien. Ohjeiden sisältö on kehittynyt liikenteen toimivuusmääritelmien selvittämisestä ja tieverkon palvelutason mittareista yhä enemmän simuloinnin kautta tuotetun tarkan toimivuustiedon analysointiin ja soveltamiseen. Toimivuusselvitysten näkökulma on siirtynyt laaja-alaisesta verkollisesta sujuvuudesta ja tien palvelukykyvystä tarkempaan asemakaavatason suunnitteluun, pääosin katuverkolle ja yksittäisten liittymien liikennevirtojen ja niiden vuorovaikutusten simulointiin. Mikrosimuloinnin tarkkuustasolla selvitetään yhä useammin yksittäisen maankäytön toiminnon liikenteellisiä vaikutuksia. Simulointiohjelmiston hyödyntäminen on jäänyt ohjeistuksessa aluksi vähemmälle huomiolle; ensimmäinen puhtaasti simulointiin ja toimivuustarkastelun sisältöön liittyvä Liikenneviraston virallinen ohjeistus on vuodelta 2012. Vuoden 2013 jälkeen simuloinnissa ja toimivuustarkastelussa käytettävää ohjeistusta ei ole päivitetty viralliselta taholta.

Tietotekninen kehitys on edennyt ohjeistusta nopeammin, mikä on tehnyt liikenteellisen toimivuustarkastelun käytännön toteuttamisesta hyvin vapaamuotoista; tarkastelun varsinaista rakennetta tai sisältöä ei ole ohjeissa valmiiksi määritelty, vaan se muodostuu projektityön aikana, kun selvitettävät asiat on saatu määriteltyä.

Alan ohjeiston perusteos on Yhdysvalloissa julkaistu liikenteen palvelutasotarkastelujen käsikirja Highway Capacity Manual (HCM), jonka vuoden 1985 painosta on käytetty suunnittelua ohjavan julkaisun lähteenä Tiehallituksen vuoden 1991 julkaisussa "Tien palvelutaso kuvina". Liikennesuunnittelussa lähtökohtana on ollut tien liikenteellisen palvelutason käsite sekä liikenteen käyttäytymismallit. Palvelutason käsitettä on käytetty liikenneverkkojen ja tiehankkeiden suunnitteluvaiheessa; julkaisussa on keskitytty palvelutason käsitteen määrittelyyn, selosteisiin, käyttötapoihin ja havainnollistamiseen. Palvelutaso on erikseen selostettu ja kuvattu tieosuuksille, tasoliittymille, liikennevaloille ja jalankulkuväylälle.

Mittareiden ja toimivuuden osittain arviointi, toimivuuden kuvailu sekä havainnollistamisen näkökulmat ovat olleet alusta asti tärkeä osa liikenteellisen toimivuuden ohjeistusta. Toimivuuden kuvallinen esittäminen antaa nopean ja helposti omaksuttavan tiedon liikennevirtojen toimivuudesta, mutta se ei ota tarkemmin kantaa selvityksissä käytettäviin sanallisiin käsitteisiin ja määritelmiin.

10.2 Toimivuuden mittarit ja määritelmät

Tieliikenteen toimivuuden sanastoa on käsitelty Tielaitoksen vuoden 1998 tutkimuksessa "Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen", joka täydentää ja tarkentaa toimivuustarkastelutyössä käytettäviä termejä, niiden merkityksiä ja prosessiin oleellisesti kuuluvaa arviointia sekä tienkäyttäjryhmien omista kokemuksista muodostuvaa subjektiivisuutta. Tutkimus selvittää, mitä tieliikenteen sujuvuudella tarkoitetaan, mitkä tekijät vaikuttavat sujuvuuteen, mitä sujuvuus tarkoittaa eri intressitahojen kannalta sekä miten sujuvuutta voidaan mitata.

Sujuvuustutkimuksen johtopäätöksenä on, että paikallisten pistenopeuksien mittaamisesta ollaan siirtymässä matka-ajan mittaamiseen, joka kuvaa huomattavasti paremmin yhteysvälikokonaisuutta. Tutkimuksen aineistossa on erikseen esitelty matka-aikaan perustuva mittausmenetelmä. Johtopäätöksenä esitettiin, että sujuvuuden ja palvelutason välinen yhteys on tärkeä, mutta koettua sujuvuutta on hankala yhdistää HCM:n liikenteellisen palvelutason käsitteeseen. HCM:n palvelutason luokitus kuvaa liikenteen sujuvuutta tekniseltä kannalta keskinopeuden, käyttösuhteen ja operointivapauden eli viivytettynä ajavien osuuden avulla, mutta jättää määritelmän ulkopuolelle tienkäyttäjän kokemuksen, johon vaikuttavat muun muassa tien olosuhteet, matkan tarkoitus ja vuorokaudenaika. Henkilöauton kuljettajan kokemaa sujuvuutta kuvaa hyvin kuljettajan tavoitenopeuden ja ajonopeuden välinen ero, mutta sen mittaaminen on tavoitenopeuden subjektiivisen luonteen takia erittäin hankalaa.

Sujuvuuden lisäksi keskeinen liikennevirran toimivuuden määritelmä on liikenteen palvelutason käsite, jota on tarkasteltu vuoden 2003 esiselvityksessä "Liikenteen palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita". Suoraviivainen ja mitattavissa oleva tekninen palvelutaso kuvaa liikenteen olosuhteita mitattavissa olevien muuttujien kautta.

Sen vastapainona selvityksessä korostuu kokemuksellinen palvelutaso, joka on muun muassa liikenneympäristön, tienkäyttäjryhmien ja kulkumuotojen näkökulmista riippuvainen. Palvelutasomääritelmän luonne on usein laadullinen ja se perustuu tavoitetilan sanalliseen kuvaukseen. Ohjeistukseen on tässä vaiheessa tullut mukaan liikenteellisen toimivuuden kokemuksellinen näkökulma, jota kuvataan lyhyesti sanallisesti.

Palvelutasoselvityksen johtopäätelmänä on, että yksiselitteistä tai kaikenkattavaa palvelutasolukua ei ole olemassa, minkä vuoksi palvelutasomääritelmiä yhdistävän menetelmän kehittämiseen tähtäävää suositusta ei voida perustella tai antaa. Käytettäviä mittareita on tarjolla runsaasti ja ne on valittava tarkastelunäkökulman ja käyttäjryhmien intressien mukaan. Palvelutason käsitteen kattavaa määritystä ei voida tuottaa, mutta käsitteen käyttöä tulee selkiyttää: "Liikenne- ja tietekniikan alalle tulisi luoda yhtenäiset palvelutasoa kuvaavat määritykset ja niihin liittyvä terminologia. Menetelmäkehityksen tulisi perustua eri näkökantojen sisäisten palvelutasomääritelmien selkeyden parantamiseen ja käytön yksinkertaistamiseen" (Nevala ym., 2003, s. 5).

Liikennevirran ominaisuuksista on julkaistu vuonna 2005 Teknillisen korkeakoulun oppimateriaalia. Liikennevirran ominaisuudet –opetusmoniste (Luttinen ym., 2005) toimii aihealuetta esittelevänä oppikirjana liikennevirran teorioihin ja –malleihin sekä liikenteen välityskyky- ja palvelutasolaskelmiin. Pääpaino on liikennevirran yleisten ominaisuuksien ja teorioiden sekä laskentamenetelmien esittelyssä. Materiaali esittelee myös simuloinnin käyttötarpeita, hyötyjä, periaatteita ja kehityssuuntia. Julkaisu toimii liikennevirtateorian hyvin jäsennehtynä järjestelmätason hakuteoksena.

Tieliikenteen palvelutasokäsitteen selvitystä on edelleen laajennettu Tiehallinnon vuoden 2007 julkaisussa "Tieliikenteen palvelutason määrittäminen. Katsaus Euroopan maiden käytäntöihin." Selvitys on otsikon mukaisesti aiempia tutkimuksia käytännönläheisempi, mutta tarkastelu on rajattu palvelutason tekniseen näkökulmaan. Selvityksessä palvelutason määrittämisestä ja mittareista sekä sujuvuudesta tiedottamisesta on koottu nykykäytäntö Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Saksassa, Sveitsissä, Alankomaissa ja Englannissa.

Palvelutasojen määrittämisen vertailu maiden kesken ei osoittanut välitöntä tarvetta menetelmien muuttamiseksi. Euroopan maissa käytetään yleisesti HCM:n mukaista

palvelutasoluokitusta, mutta missään tarkastellussa maassa palvelutasoluokituksella ei ole samanlaista merkitystä kuin HCM:n kotimaassa, Yhdysvalloissa. Euroopassa liikenteen sujuvuutta teiden linjaosuuksilla arvioidaan pääosin käyttösuhteen ja keskimääräisen matkanopeuden avulla; liittymien palvelutason mittarin osalta ollaan siirtymässä käyttämään käyttösuhteen sijaan liikenteen keskimääräistä viivytystä, joka on keskeinen simuloinnilla tuotettava toimivuustieto. Jatkotarkastelukohteena selvityksessä suositeltiin välityskyvyn satunnaisvaihtelun vaikutusten tarkastelua vuositason palvelutasoihin ja matka-aikojen ennustettavuuteen. Selvitys ei tuonut päätelmissään suositusta varsinaiseen palvelutasokäsitteen määritelmään tai sen käytännön hyödyntämiseen. Simulointiin liittyen on mainittu uusi Saksassa ja Alankomaissa toteutettu tutkimussuunta, jossa välityskykyä tarkastellaan stokastisena eli satunnaisena suureena, joka yhdistyy palvelusomittareiden koko vuoden kattaviin tarkasteluihin. Satunnaisuus saadaan liitettyä tarkastelun tuloksiin simuloinnin keinoin.

Toimivuuden käsitettä on edelleen tutkittu vuonna 2008 julkaistussa Tiehallinnon selvityksessä "Tieliikenteen toimivuuden määrittely, tunnusluvut ja mittaaminen". Toimivuustiedon käyttötarkoituksia on tarkasteltu tienpidon näkökulmasta strategisen tason, liikennejärjestelmätason, ohjelmoinnin, hanketason, operatiivisen tason ja hankintavaiheen tuottamalla vaatimuksilla. Selvityksessä tieliikenteen toimivuus on määritelty laaja-alaisesti liikenteellisen saavutettavuuden ja yhteyden toimivuuden tasoilla, joiden kautta mittareina toimivat matka-aika, liikkumisen sujuvuus ja matka-ajan ennustettavuus. (Tiehallinto 2008, ss. 21–22.) Liikenteen toimivuustietoa on tutkittu tieliikenneverkon hankkeiden toteutuksen, tietojärjestelmätason ja tietopalveluiden kautta. Kehittämistarpeena nähtiin sujuvuustietopalvelun mittariston ja raportoinnin kehittäminen. Liikenteen mikrosimuloinnin kannalta selvitys ei sisällä merkittävää uutta tietoa, jota voisi hyödyntää yksittäisten liittymien ja asemakaavatason katuverkon toimivuustarkasteluissa.

Välityskykytarkastelukäytäntöjen selvitystyön tuloksena esitettiin jatkotoimenpiteitä, joita ovat mm. ohjeet simulointien tekemiseen, välityskykyohjelmien kalibrointiin tarvittavien kenttämittaustarpeiden selvittäminen sekä laskentamenetelmien vertailu ja ohjeistus. (Lehtonen ym., 2012, s. 6.) Pitkän aikavälin (1–3 vuotta) kehitysprojekteiksi ehdotettiin mikrosimulointiohjeen tekemistä yleisimmille simulointiohjelmille sekä kohdemallien

koordinointia. (Lehtonen ym., 2012, s. 38.) Nämä projektit eivät ole toteutuneet laajassa mittakaavassa.

10.3 Ohjeiden tuottamat ratkaisut ja suositukset

Liikenneviraston vuonna 2012 julkaistussa "Suuria liikennevirtoja synnyttävien kohteiden liikenneselvitykset ja liikenteelliset ratkaisut" –tutkimuksessa on käsitelty liikenteellisiä selvityksiä, jotka jakautuvat liikenne-ennusteeseen, liikenteellisiin toimivuustarkasteluihin ja vaikutusten arviointiin. Huomionarvoista on, että julkaisussa liikenteellinen toimivuustarkastelu on sijoitettu suunnittelun vaiheistuksessa keskelle, liikenne-ennusteen ja vaikutusten arvioinnin väliin, mikä liittyy toimivuustarkasteluraportin sisältöön rajapintoina liikenne-ennusteet ja vaikutusten arvioinnit. Liikenne-ennusteet toimivat toimivuustarkastelun alkuosassa liikennevirtojen lähtötietoina ja vaikutusten arvioinnit puolestaan selvityksen lopun johtopäätelmissä tarkastelun tuloksia kokoavina vaihtoehtoina, toimenpidesuosituksina tai ratkaisuin.

Tutkimuksessa on mainittu, että nykyisin laadittaville liikenneselvityksille ei ole Suomessa ohjeistusta. Selvitysten hyödyntäminen kaavamääräyksissä on harvinaista; kaavamääräyksillä voidaan varmistaa esimerkiksi kävelyn ja pyöräilyn edellytykset polkupyöräpysäköinti- sekä reittivaatimusten avulla. (Jokela ym., 2012, ss. 44–45.)

Julkaisussa on esitetty suositus merkittävälle liikennekohteelle laadittavista liikenteellisistä selvityksistä ja sekä periaatteita liikennejärjestelyiden toteuttamiselle. Suositusten avulla pyritään varmistamaan, että tarvittavat selvitykset laaditaan vaikutusten selvittämiseksi ja suunnitteluratkaisujen perustaksi. Suositukset on määritelty noudatettavaksi soveltaen. Suosituksen avulla pyritään yhdenmukaistamaan sekä laadittavia selvityksiä että toteutettavia ratkaisuja. (Jokela ym., 2012, ss. 44.)

Selvityksen lopputuloksena mainitaan, että suuria liikennevirtoja aiheuttavien kohteiden suunnittelussa käytetyt ratkaisut riippuvat kohteen sijainnista ja liikenneympäristön erityispiirteistä, mistä johtuen yleisratkaisujen esittäminen on vaikeaa. Lähtökohtaisesti suunnittelussa määritellään mitoittavat tarkastelutilanteet, suunnittelualue ja sen vaikutusalueet sekä ajoneuvoliikenteen yhteydet henkilöautoliikenteelle, tavara- ja

huoltoliikenteelle, raskaalle liikenteelle sekä busseille ja takseille. Keskeisimpiä suunnitteluratkaisuja ovat liikenneverkon porrastettu hierarkia, liittymien riittävä etäisyys toisistaan, riittävät tilanvaraukset liittymille sekä suurten risteävien liikennevirtojen välttäminen. (Jokela ym., 2012, s. 44.)

Suuria liikennevirtoja aiheuttavien kohteiden selvitys tarjoaa ohjeistusta toimivuustarkastelun suunnitteluprosessiin, sen sisältöön ja tärkeimpiin suunnitteluvaiheisiin. Selvityksen suositus-kappaleessa (Jokela ym., 2012, s. 43.) kuvataan tärkeimpien suunnitteluvaiheiden sisältö, joka sopii hyvin liikenteellisen toimivuustarkastelun yleisohjeeksi:

- Projektin alussa on tärkeää sopia tarkasteluperiaatteista ja reunaehdoista.
- Vaihtoehtoisten tarkastelutilanteiden joukosta on löydettävä keskeisimmät liikennejärjestelyjä mitoittavat tilanteet.
- Selvitykset laaditaan vaiheittain liikenne-ennusteen ja toimivuustarkastelujen kautta.
- Merkittävimpien oletusten osalta tehdään herkkyystarkasteluja.
- Suunnittelun aikana on pystyttävä tarvittaessa palaamaan aiempiin suunnitteluvaiheisiin.
- Kävelyn, pyöräilyn ja joukkoliikenteen toimintaedellytykset on otettava tarkasteluissa huomioon heti alusta alkaen.
- Väylien tekniset ratkaisut pidetään mahdollisimman yhdenmukaisina.

Selvitysten tulokset tulee esittää tiiviisti käyttäen havainnollisia kuvia. Useiden selvitettävien asioiden osalta riittää maininta, että asia on otettu huomioon suunnittelussa. Selvitysten tuottamat suositukset toimivat suunnittelijalle muistilistana; viranomaisen voi puolestaan hyödyntää selvityssuosituksia arvioidessaan laadittujen tarkastelujen laajuutta ja hyvyttä. (Jokela ym., 2012, s. 28.)

10.4 Havaitut kehityskohteet käytännön projektityössä

Liikenneviraston vuoden 2012 esiselvitys "Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt" sisältää tilaajaosapuolten ja suunnittelijoiden haastatteluja, mikä tuo arvokasta käytännön

näkökulmaa projektityön ohjeistuksen kehittämiseen. Selvitysten perusteella tilaajilla on perusosaamista liikenteen välityskykytarkasteluihin ja mallintamiseen, mutta resurssien puutteen takia välityskykytarkastelut teetetään pääosin suunnittelutoimistoilla. Vaikka tarkasteluja tehdään vähän, tilaajilla on oltava riittävästi asiantuntemusta tulosten tulkintaan. Tilaaja on useimmiten määritelty kohdemallien omistajaksi jo tarjouspyyntövaiheessa. Konsultit luovuttavat kohdemallit tilaajalle, joka voi hyödyntää niitä seuraavissa suunnitteluvaiheissa. Tilaajilla ei useimmiten ole tarvetta omistaa ohjelmistoja: Puolella tilaajista ei ole ohjelmistoja lainkaan, puolella on joitakin ohjelmistoja (mm. Synchro, Emme). (Lehtonen ym., 2012, s. 11.) Töiden tilaamisessa nousi esiin tarve tilaajatahojen, kuten Liikenneviraston ja ELY-keskusten roolin selkiyttämiseksi sekä toimivuustarkasteluihin liittyvien raportointikäytäntöjen ja ohjeistuksen yhtenäistämiseksi (Lehtonen ym., 2012, s. 34).

Projektityössä suurimmaksi puutteeksi koettiin tehtyjen töiden raportointi. Sekä lähtötietojen että tulosten kirjaamiseen toivottiin yksiselitteisiä ohjeita, jotta raportteja on helppo lukea myös työn päättymisen jälkeen ja konsultin vaihtuessa. (Lehtonen ym., 2012, ss. 11–12.)

Erityisen tärkeäksi koettiin käytetyn liikenne-ennusteen ja sen lähtökohtien sekä maankäyttötietojen kuvaaminen. Lähtötietojen taso koettiin vaihtelevaksi (Lehtonen ym., 2012, s. 12.): "Tunnuslukujen tuottaminen on puutteellista: viivytyksiä, jononpituuksia jne. ei yleensä ole kerrottu. Nämä tulisi kertoa esim. kolmesta kriittisimmästä liittymästä, isossa verkossa ei tarpeen kuvata koko verkon tietoja."

Tilaajat ovat korostaneet myös raportin kirjoittamisen ja tulosten havainnollistamisen merkitystä (Lehtonen ym., 2012, s. 12.):

"Raporteissa käytetty kieli on usein huonoa tai niin vaikeasti kirjoitettua, että vain asiantuntija ymmärtää sen."

"Tulosten havainnollistaminen voi olla puutteellista, esimerkiksi kuvista ei löydy kaikkia liikennemääriä tai katujen nimiä. Kuvat ovat usein myös heikkolaatuisia."

Tekijöiden ja tilaajien asiantuntemus koettiin tärkeäksi, mutta vaihtelevaksi, mikä vaikuttaa tulosten tulkintaan. Suunnittelijoilta toivottiin kriittistä suhtautumista liikenne-ennusteisiin sekä perehtymistä liikennemääriin – esimerkiksi liikennemäärätietoja saatetaan käyttää virheellisesti sekoittamalla keskivuorokausiliikenne tuntiliikenteeseen. (Lehtonen ym., 2012, s. 12.)

Haastattelujen perusteella hankkeissa on tärkeää käyttää maalaisjärkeä ja pohdittava etukäteen tarkasteluiden kannattavuuteen ja työmäärään liittyvät asiat, kuten kohdealueen rajaus. Käytännössä tilaaja määrittää tavoitteet ja toimittaa lähtöaineiston, noudatettavien periaatteiden valinta jää konsultin vastuulle. Tilaajatahojen mielestä välityskykytarkastelujen ohjeistusta tulee tarkentaa: Mallien osalta tarvitaan käyttöohjeistusta varmistamaan luotettavat ja vertailukelpoiset tulokset. Lisäksi tilaajat pitivät tärkeänä suunnitteluohjeiden päivittämistä esimerkiksi liittymäväliden osalta. (Lehtonen ym., 2012, ss. 12-13.)

Tilaajahaastatteluissa ilmeni, että tilaajan ei tule suoraan määritellä, mitä ohjelmaa tarkasteluissa on käytettävä. Ohjelmiston valinta tapahtuu itseohjautuvasti jo tarjouspyyntövaiheessa, jossa tarjoajilta edellytetään tietynlaista osaamista ja/tai ohjelmistoja. (Lehtonen ym., 2012, s. 13.)

Julkaisussa määritellään toimivuustarkastelun kohdealue ja tavoite seuraavasti:
Liikenteellisissä toimivuustarkasteluissa laajemmat vaikutukset tarkastellaan Emme-mallilla, yksityiskohtaisemmat simuloidaan. Simulointimallien avulla saadaan tietoa erilaisista liikennejärjestelyiden muutostilanteista, joissa maankäyttö ja liikenneverkko muuttuu merkittävästi. Lisäksi voidaan tarkastella liikennevalo-ohjausta. (Lehtonen ym., 2012, s. 12.)

Simulointiohjelmistoissa on aiemmissa selvityksissä tutkittu parametreja, jotka vaikuttavat simulointitulosten muodostumiseen. Tärkeimpänä yksittäisenä parametrina selvityksessä on mainittu Vissim- ja Paramics-mikrosimulointiohjelmissa Time Steps -arvo, jonka säätämällä on merkittävä vaikutus simulointituloksiin. Selvityksen mukaan välityskyvyn simulointi Suomen liikenneoloissa valo-ohjatuissa ja -ohjaamattomissa liittymissä vaatii kalibrointia. Time Step -arvon lisäksi simulointiohjelmissa on useita kymmeniä parametreja, jotka vaikuttavat liikennevirtojen käyttäytymiseen ja sitä kautta simuloinnin tuloksiin. (Lehtonen ym., 2012, s. 35.)

10.5 Liikenneviraston jatkosuositukset

Liikenneviraston esiselvityksen ”Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt” (2012) yleisenä jatkosuosituksena on projektiohjeistuksen kehittäminen ja simulointiselvitysten laadun parantaminen. Työn laatua voidaan menettää jo lähtötietojen epätarkkuudessa tai väärässä tulkinnassa, mikä voi johtua puutteellisesta lähtötietojen dokumentoinnista. Käytäntöjä tulisi selkiyttää erityisesti raportoinnin osalta. (Lehtonen ym., 2012, s. 34, 36.)

Liikenneviraston suosituksena on lähtötietojen laadun varmistaminen kirjaamalla tärkeimmät lähtötietojen ominaisuudet laatukortille, joka sisältää riittävän tason kuvauksen lähtötietojen laadinnan menettelytavoista. Laadukkaissa lähtötiedoissa keskeistä on mallin epävarmuustekijöiden kuvaus. Tavoitteena on, että lähtötietojen kuvauksen perusteella voidaan varmistua niiden luotettavuudesta ja käyttökelpoisuudesta kyseisessä ja samaa tutkimusaluetta koskevissa tarkasteluissa. (Lehtonen ym., 2012, s. 36.)

Liikenneviraston välityskykytarkastelujen esiselvityksessä (Lehtonen ym., 2012, s. 36) on lueteltu seuraavia seikkoja, joita tarkastelumenetelmien laatukortissa tulee tapauskohtaisesti mainita:

- liikennelaskentojen ajankohta, kattavuus, virhemarginaalit, laskenta-aikana vallinneet poikkeukselliset tekijät (esim. lomaliikenne, yleisötapahtumat, reitinvalintaan vaikuttavat tietyöt)
- tarkasteluajankohdat (aamu, päivä, ilta, vuorokausi), sovelletut huipputuntikertoimet nyky- ja ennustetilanteissa
- maankäyttötietojen ja ennusteiden lähde, arvio realistisuudesta
- aluejaon sopivuus kysyntämatriisia hyödyntävissä sovelluksissa
- liikenteen kasvukertoimet, jollei ennuste perustu suoraan luotettaviin maankäyttötietoihin; autoistumiskehitys ja sen vaikutus kasvukertoimiin
- erityiskohteiden ominaisuudet (esim. kaupan tyyppi, kerrosala, arvioitu vuosimyynti, pysäköintipaikkamäärä)

10.6 Ohjeet tarjouspyyntöön ja tilausmenettelyyn

Liikenneviraston Tieliikenteen toimivuuden arviointi -ohjeissa (2013) on esitetty menettely projektityön aloitusvaiheessa. Liikenteellisen toimivuustarkastelun tarjouspyyntö- ja tilausvaiheessa tulee määritellä ne tutkimuskysymykset, joihin haetaan vastauksia. Tilaajan tulee määritellä, tutkitaanko toimivuutta etukäteen määritellyillä ratkaisulla, vai etsitäänkö tarkasteluilla parasta mahdollista ratkaisua. Parasta mahdollista lopputulosta etsittäessä tutkittavien tapausten määrää on vaikeampi määritellä etukäteen. (Liikennevirasto 2013, s. 26.)

Tarjouksessa on mainittava käytössä olevat ja hankittavat lähtötiedot. Erityisesti liikenneennusteen osalta tulee määritellä, voidaanko käyttää aiempaa ennustetta vai edellyttääkö työ liikenne-ennusteen laatimista. Tarjouksessa ja tilauksessa on syytä mainita, mitä toimivuustekijöitä työssä on tarkasteltava. Yleisiä tarkasteltavia asioita ovat jononpituudet, viivytykset ja palvelutasoluokat. Tarkasteltavien tekijöiden määrittely tilausvaiheessa voi karsia pois joitakin käytettäviä ohjelmia tai menetelmiä. (Liikennevirasto 2013, s. 26.)

Tarjouspyynnössä ja tilauksessa on lisäksi määriteltävä tarkasteltava alue sekä tarkasteluun kuuluvat vaihtoehdot. Asiakirjoista tulee ilmetä tarkasteluvuodet, ajankohdat sekä vaadittavat herkkyystarkastelut. Nämä tiedot helpottavat työmäärän arviointia. Hankintamuodon osalta tulee ottaa myös huomioon, että tapausten määrää voi olla aluksi vaikea määrittää; esimerkiksi herkkyystarkastelujen tarve selkiytyy usein vasta tarkastelujen yhteydessä. (Liikennevirasto 2013, s. 26.)

10.7 Toimivuustarkasteluraportin sisällön ohjeistus

Toimivuustarkasteluraportissa noudatetaan pääpiirteittäin vuonna 2013 julkaistuja Liikenneviraston ohjeita tieliikenteen toimivuuden arviointiin. Liikenneviraston ohjeissa (Liikennevirasto 2013, s. 25) on määritelty seuraavat asiat, jotka tulee esittää toimivuustarkasteluraportissa:

- käytettävä ohjelma tai menetelmä
- tarkastelualue

- tarkasteltavat tilanteet ja liikennemäärät näissä tilanteissa
- liikenne-ennusteen muodostamisen lähtökohdat
- simulointiasetukset ja parametriarvot
- toteutetut herkkyystarkastelut
- tulokset
- johtopäätökset

Käytettävällä ohjelmalla tai menetelmällä tarkoitetaan joko varsinaista simulointiohjelmaa tai analyttistä menetelmää. Raportissa esitetään lyhyesti käytettävän simulointiohjelman perusominaisuudet ja tarvittaessa perusteet käytetyn ohjelman tai menetelmän valinnalle. (Liikennevirasto 2013, s. 25.)

Raportissa kuvataan tarkastelualue ja tarkasteltavat vaihtoehdot. Tarkastelutilanteista kuvataan vuorokauden ajankohta (mm. aamuhuipputunti) ja liikennemäärät. Laajemmissa verkkotarkasteluissa riittää, että esitetään koko verkon liikennemäärät. Kuormittuneiden tai olennaisten liittymien osalta on suositeltavaa esittää myös kääntyvät virrat. (Liikennevirasto 2013, s. 25.)

Liikennemääristä kuvataan liikenne-ennusteen muodostamisen lähtökohdat kuten nykytilanteen liikennemäärät, liikenne-ennusteen pohjalla oleva aikaisempi liikenne-ennuste tai perusteet liikenne-ennusteen laatimiselle sekä arvio ennusteen paikkaansa pitävyydestä ja mahdollisista epävarmuustekijöistä. Ennustetiedoista mainitaan esimerkiksi käytetyt kasvukertoimet, maankäyttötiedot, tuotosluvut, korjauskertoimet ja ajoneuvokuormitukset. Lisäksi arvioidaan ennusteen paikkansapitävyys ja mahdolliset epävarmuustekijät. (Liikennevirasto 2013, s. 25.)

Simulointiasetuksista kuvataan toistettujen simulointiajojen määrä sekä parametriarvot, joita on muutettu ohjelman oletusparametriarvoista. Raportissa kuvataan oletukset, joilla mahdolliset herkkyystarkastelut on toteutettu. (Liikennevirasto 2013, s. 25.)

Tarkastelun tuottamat liikenteellisen toimivuuden tunnusluvut ja niiden tarkkuustaso vaihtelevat menetelmittäin ja ohjelmittain. Koska kaikkia toimivuustietoja ei voida tuottaa, ruuhkautuminen voidaan kuvailla myös sanallisesti animaation perusteella. Tarvittaessa

voidaan esittää myös yksittäisiin ajoneuvoihin liittyviä tietoja. Liikenneviraston ohjeissa (s. 23) on lueteltu seuraavat toimivuustarkastelussa perinteisesti esitettävät tulokset:

- ajoneuvojen keskimääräiset viivytykset liittymissä tulosuunnittain
- jononpituudet (ajoneuvoja tai metrejä) tulosuunnittain ja kaistoittain
- nopeustason muutokset
- matka-ajat
- pysähtymään joutuneiden ajoneuvojen määrä tai osuus
- palvelutasoluokat

Toimivuustarkastelun tulokset esitetään raportissa vähintään sanallisesti. Olennaisista liittymistä tai alueista on suositeltavaa esittää myös toimivuutta kuvaavia tunnuslukuja kuten viivytykset ja jononpituudet kuvina tai numeerisina arvoina. Lopuksi raportissa esitetään, millaisiin johtopäätöksiin tarkastelu johti ja mitkä ovat suositeltavat jatkotoimenpiteet sekä mahdolliset riskitekijät. (Liikennevirasto 2013, s. 25.)

11 Raporttien tietosisältö

11.1 Simuloinnin lähtötiedot

Liikennevirtojen simulointia ja toimivuustarkastelua sisältävät projektityöt toteutetaan edellä käsitellyn ohjeistuksen periaatteiden mukaisesti. Simulointia sisältävän projektityön lopputuloksena muodostuu toimivuustarkasteluraportti. Tässä kappaleessa esitetään nykyisissä toimivuustarkasteluraporteissa yleisesti käsitelty ja usein toistuva tietosisältö pääpiirteittäin.

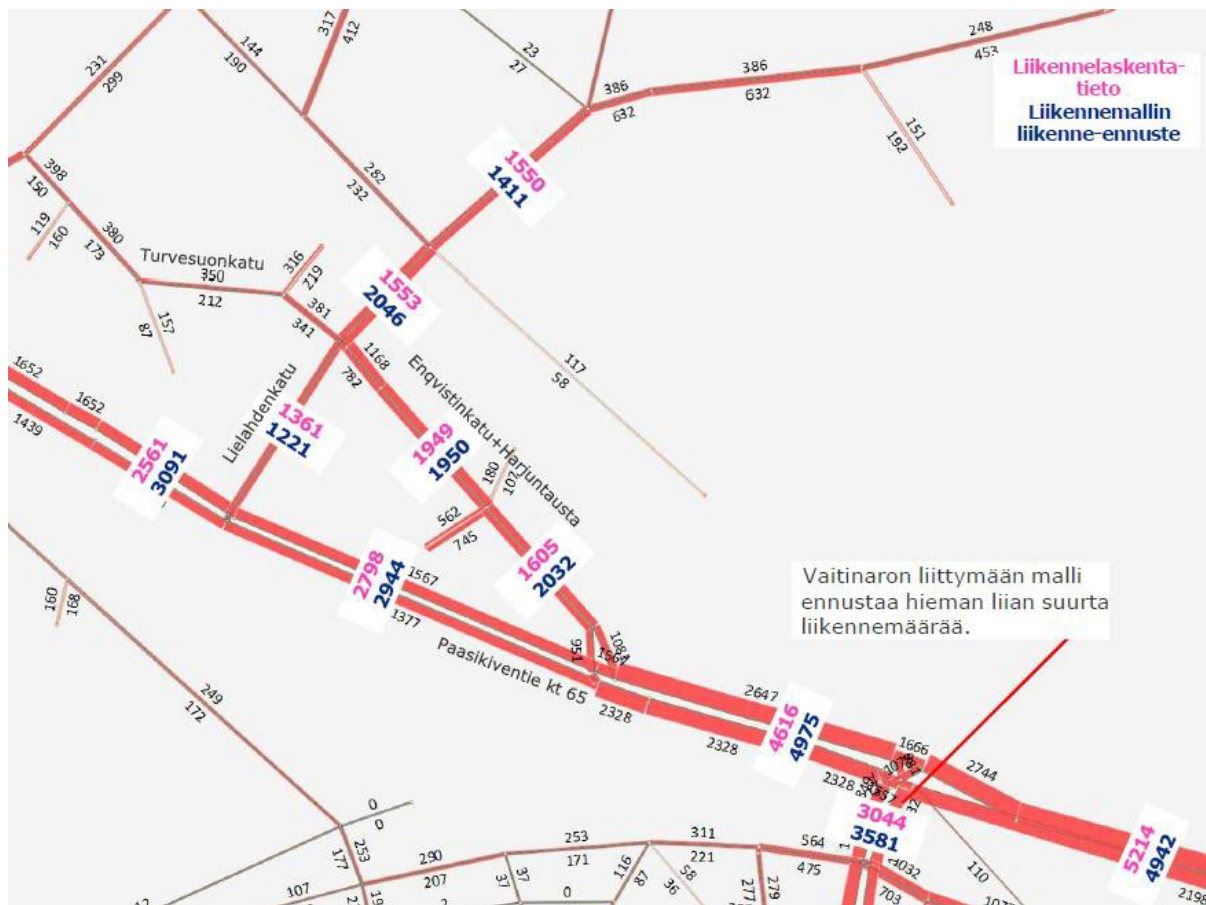
Raportti alkaa tarkastelun kohdealueen sekä simuloinnin lähtötietojen esittelyllä. Alueelta esitetään tarkasteltavan hankkeen liikennesuunnitelma, joka voi olla simulointivaiheessa valmis, alustava tai keskeneräinen; suunnitelmaa on mahdollista kehittää ja tarkentaa toimivuustarkastelun tulosten kautta. Lähtötiedot sisältävät kohteen simuloinnissa käytetyt ominaisuus- ja liikennemäärätiedot sekä tarkasteltavat tilanteet. Ominaisuustiedoissa esitetään tarkasteltavat liittymät ja kohdealueen rajaus. Liikennemäärän lähdemateriaalina on yleensä joko ennustemalli tai laskentatieto. Jos liikennemäärätiedon lähteitä on useampia, raportissa esitetään niiden tiedot keskenään verrattavassa muodossa mahdollisine kommentteineen. Simulointiajoissa toteutuneet liikennemäärät voidaan esittää jäljempänä raportissa vielä erillisessä kuvassa ennen varsinaisia tulostietoja, jos se katsotaan tarpeelliseksi sisällön luotettavuutta varmistavaksi tiedoksi.

Lähtötietojen tarkkuus vaikuttaa suoraan tiedon esittämistapaan ja yksityiskohtaisuuteen. Esimerkiksi laskentatuloksiin perustuvassa liikennemäärätiedossa voidaan liittymävälien lisäksi kuvata raskaan liikenteen osuudet sekä tarkasteltavien yksittäisten liittymien kääntyvät ja suoraan kulkevat liikennevirrat, mikäli ne ovat liikenteellisen toimivuuden kannalta merkityksellisiä. Alueen liikennevaloista voidaan tarvittaessa esittää simuloinnissa käytetyt ohjelmatiedot kaaviona, joka sisältää valojen vaihejaon ja ajoitustiedot.

Kuvassa 24 on esimerkki liikennemäärätietojen vertailevasta esittämisestä suurella mittakaavalla, jossa pohjakarttana toimii liikenne-ennustemalli. Ennustemallin liikennemäärätieto kuvaa alueen liikennemääriä simulointimallia laajemmin, mutta epätarkemmalla vuorokausiliikenteen tasolla.

Kuva 24: Ennustemalli ja liikennemäärätietojen vertailu (Ramboll 2020, s. 7).

Kuvassa liikenne-ennustemalliin on lisätty liittymäväljen vertailutietoja liikennemääristä laskentatiedon ja ennusteen välillä. Lähtötiedoista muokataan simuloinnissa käytettävät liikennemäärätiedot.



11.2 Simuloinnin tulostiedot

11.2.1 Tulostiedot yleisesti

Simulointiajojen kautta tarkastelukohteesta tuotetaan liikennevirtojen toimivuustietoa. Mikrosimuloinnilla kerättävä toimivuustieto on joko liittymäkohtaista liikennevirtojen tai yksiköiden nopeus-, viivytys- ja jononpituustietoa tai tietyn osuusvälin matka-aikatietoa. Toimivuuden tulokset ja mahdolliset ongelmakohdat esitetään raportissa kuvin ja kaavioin sekä lyhyesti sanallisessa muodossa.

Keskeisimpiä simulointituloksia ovat jononpituudet, liikennevirran keskimääräinen viivytys ja siihen liittyvä palvelutasoluokka, keskinopeudet, simuloinnissa toteutuneet liikennemäärät, nopeustason muutokset, pysähdysten määrä, matka-ajat sekä häiriötilanteet, kuten välityskyvyn ylitys ja ruuhkan leviäminen tarkastelualueen ulkopuolelle. Välityskyvyn ylitys jättää osan simuloidusta liikennevirrasta tarkastelualueen ulkopuolelle, minkä vuoksi simulointimalliin syötettyjä liikennemääriä on verrattava simulointiajon toteutuneisiin liikennevirtoihin. Välityskyvyn ylitys heikentää samalla suunnan muiden tulostietojen hyödynnettävyyttä, mutta on itsessään merkittävä verkolliselle tasolle heijastuva tulostieto.

Yleinen toimivuuden mittari on keskimääräinen viivytys, joka tarkoittaa muun liikenteen hidastavaa vaikutusta ajoneuvon vapaaseen nopeuteen (käytännössä nopeusrajoitukseen) verrattuna. Keskimääräinen viivytys määritellään liittymävälin tarkkuudella. Toinen yleisesti käytettävä mittari on jononpituus, joka tuottaa yleiskuvan liikennejärjestelyiden välityskyvyn rajoista ruuhkatilanteessa. Tulosten toimivuusvertailua tehdään erilaisten skenaarioiden välillä; yleisimmin skenaariovaihtoehto 0 esittää liikenneverkon nykytilaa joko nykyisellä tai ennustetulla liikennemäärällä. Liikennejärjestelyiden vaihtoehdot nimetään numerosta 1 alkaen.

11.2.2 Jononpituudet

Jononpituudet esittävät toimivuustarkasteluiden tuloksissa liikennejärjestelyiden välityskyvyn riittävyttä liikennejärjestelmässä sekä mahdollisten häiriöiden aiheutumismekanismia ja laajempia vaikutuksia. Jononpituustieto liikenneverkolla kuvaa toimivuustarkastelun määritteenä liikennevirran fyysisiä ominaisuuksia, rajoitteita sekä liikennevirtojen keskinäisiä vuorovaikutuksia liikennejärjestelmän tilankäytön suhteen.

Tarkastelualueella jonoutumisen riskikohteita ovat suuret risteävät liikennevirrat sekä lyhyet liittymävälit, jotka täyttyvät nopeasti liikenneyksiköistä ja vaikuttavat siten herkästi liikenneverkon toimivuuteen ja häiriöiden muodostumiseen. Jononpituuksia tarkastellaan yleisesti liittymäkohtaisesti – tilanne, jossa jonon häntä ylittää koko liittymävälin matkalle, on esimerkki simulointiverkossa aiheutuvasta mahdollisesta ruuhkan alusta, joka voi pitkittyessään levitä ja aiheuttaa välityskyvyn ylitystä sekä laajempia verkollisia häiriöitä. Valoliittymien tarkastelussa merkittävä toimivuustieto on, pääseekö jonoutunut liikennevirta

purkautumaan yhden vihreän vaiheen aikana. Riittämätön vihreän aika voi ilmetä simuloinnin tulostietojen kautta ylimääräisten pysähdysten määränä; käytännössä jonon purkautuminen valo-ohjelman vihreän suhteen on tarkistettava havainnoimalla liikennevirran kulkua simulointiajon aikana.

Jononpituudet kuvaavat liikenneyksiköiden simulointiajon aikana muodostamia jonoja, jotka voidaan kuvata tuloksissa joko keskimääräisinä tai hetkellisinä pituuden huippuarvoina. Toimivuustarkasteluissa käytetään yleisesti molempia määritelmiä, joista kumpikaan ei kuvaa liikennevirran jonoutumista täydellisesti. Simulointiohjelmat laskevat valoliittymissä keskimääräisen jononpituuden erilaisilla määritelmillä: SimTraffic laskee keskimääräistä jonoa ainoastaan punaisen valon aikana, kun yleisin simulointiohjelma Vissim laskee sitä jatkuvasti sekä punaisen että vihreän vaiheen aikana. Tulosten analysoinnin kannalta tärkeintä olisi tietää keskimääräinen jono valojen punaisen vaiheen aikana, mutta Vissim ei laske tätä tietoa. Tulosten raportoinnissa on siten huomioitava, että niiden tulkinta on riippuvainen käytetystä ohjelmasta sekä mittaustavan sisältämistä rajoitteista. Jononpituustiedon hyödyntämisessä etuna on tulostiedon sisäinen ja keskinäinen vertailukelpoisuus, jonka ansiosta tulokset tuottavat tarkasteluvaihtoehdoille erilaisia toimivuuden tasoja ja sitä kautta suositeltavia ratkaisuja.

Vissim-mikrosimulointiohjelman tuloksissa jononpituudet esitetään joko keskimääräisesti tai hetkellisinä maksimijononpituuksina. Kuten palvelutasossa, myös jononpituuksissa tulosten määrittelyyn jää jonkin verran tulkinnanvaraa. Maksimijononpituus määrittelee jononpituuden huippuarvon, joka toteutuu kertaalleen simulointiajossa.

Maksimijononpituuden käsitteen rajoitteena on, että se kuvaa hetkellistä huipputilannetta, joka ei tuo tietoa kuvatun jonon yleisyydestä koko tarkasteluajavälillä. Jonojen hetkellisyys korostuu kuvattaessa laajemman liikenneverkon toimintaa; käytännössä alueen jononpituuskuvassa esitettävät liittymien tulosuuntien maksimijononpituudet eivät koskaan muodostu koko verkolle samanaikaisesti. Maksimijononpituuksien esittäminen sellaisenaan voi antaa liikenteellisestä toimivuudesta liiankin heikon kuvan, minkä vuoksi raportoinnissa on hyvä korostaa maksimijononpituuksien hetkellisyyttä.

Tietojenkäsittelyssä yksittäisen simulointiajon maksimijononpituusarvo ei ole erityisen tarkka tai sellaisenaan hyödynnettävä tulos, koska se jättää paljon tilaa satunnaisuudelle.

Koska maksimijononpituus muodostuu hyvin sattumanvaraisesti, jonoutumisen huippuarvon määrittelyyn tarvitaan useampi simulointiajo. Ajamalla simulointi 5–10 kertaa erilaisilla liikenneyksiköiden satunnaisuutta tuottavilla siemenluvuilla maksimijononpituuden simulointitulokset saadaan tasapainotettua niin, että ne ovat hyvin lähellä todennäköisintä tilannetta vastaavaa jononpituuden enimmäisarvoa.

Keskimääräiset jononpituudet tuottavat yleiskuvan järjestelyjä mitoittavista liikennevirroista sekä liikenteellisen toimivuuden mahdollisista riskitekijöistä. Keskimääräinen jononpituus lasketaan Vissim-simulointiajon tarkasteluaikavälin jokaisen aika-askelen keskiarvon mukaisesti. Mittarin heikkoutena on, että se ei kerro valoliittymissä keskimääräistä jononpituutta punaisen valon aikana, mikä on järjestelyiden mitoituksen kannalta oleellinen tieto. Vissim-ohjelman keskimääräinen jononpituustieto antaa siten hieman liian hyvän kuvan valoliittymien toimivuudesta; kiertoliittymissä ja valo-ohjaamattomissa liittymissä tätä rajoitetta ei ole. Keskimääräinen jononpituus on rajoitteineenkin yksi tärkeimmistä liikennevirtojen mitoitustarpeita kuvaavista suureista, koska se kuvaa tulosuunnittain jonoutumisen säännöllisyyttä ja merkittävyyttä koko tarkasteluaikavälillä.

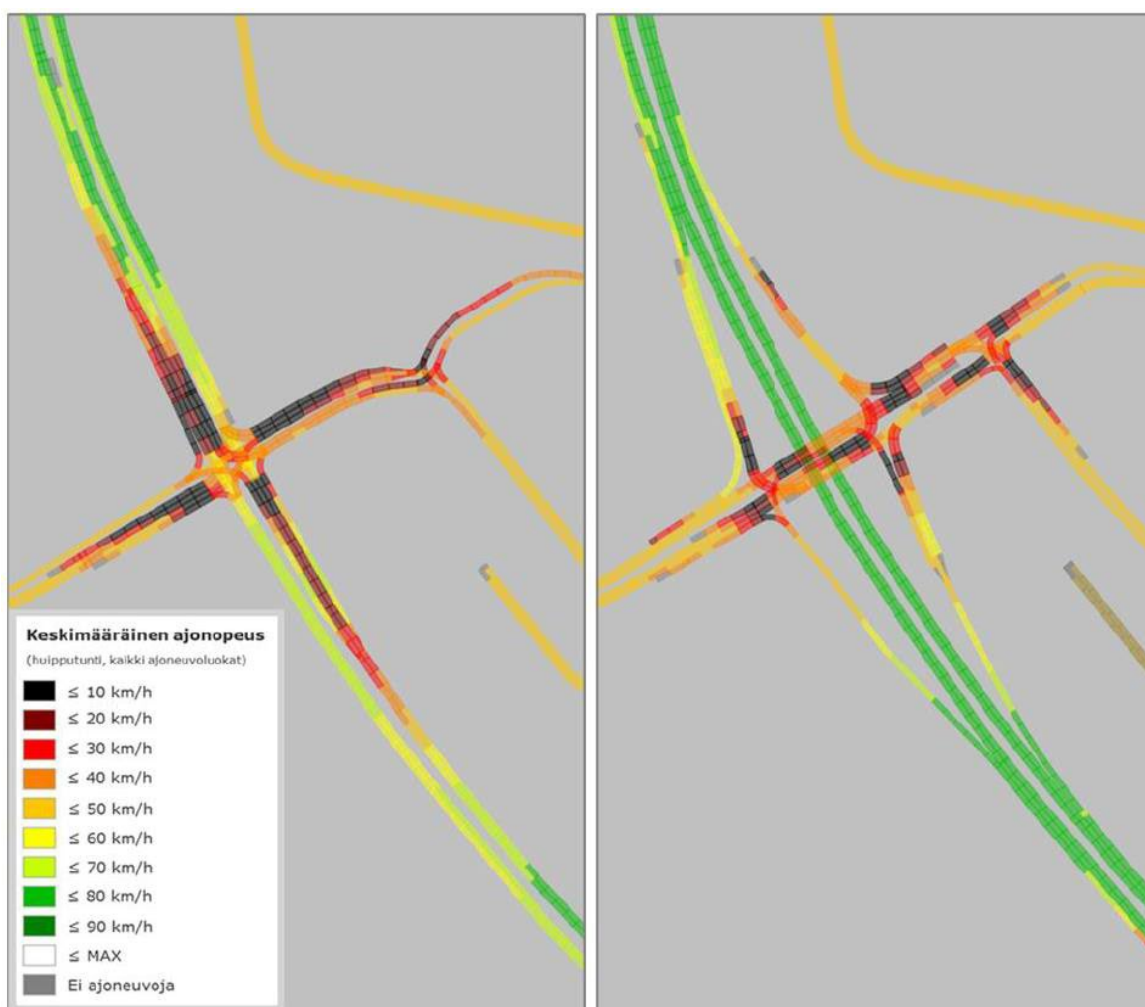
11.2.3 Liikenteen keskimääräinen nopeus, viivytys ja palvelutaso

Liikennevirran sujuvuutta voidaan tarkastella tutkimalla matka-aikoja, liikennevirran nopeustasoa, liikenteen keskimääräistä viivytystä ja palvelutasoa. Keskimääräinen viivytys tarkoittaa muun liikenteen sekä liikenneinfran, kuten liikennevalojen, liikenneyksikölle aiheuttamaa hidastumista sen vapaasta nopeudesta. Matka-ajat, nopeus, keskimääräinen viivytys ja palvelutaso kuvaavat liikennevirran sujuvuutta ja toimivuutta hieman erilaisista näkökulmista.

Simuloinnilla tuotettua matka-aikatietoa hyödynnetään esimerkiksi joukkoliikenteen suunnittelussa. Keskimääräinen ajonopeus kuvaa puolestaan liikennevirtojen toimivuutta pääosin väylän näkökulmasta. Nopeustason lasku suhteessa nopeusrajoitukseen toimii yleisenä tunnuslukuna, joka on käytössä erityisesti laajemmissa verkollisissa toimivuustarkasteluissa. Esimerkki nopeustietojen visualisoinnista ja nopeustason muutosten vertailusta toimivuustarkasteluraportissa on esitetty kuvassa 25.

Kuva 25: Keskimääräinen ajonopeus vertailussa (Ramboll Oy 2021, s. 10).

Liittymämuutoksen vaikutukset erottuvat kuvien keskimääräisessä ajonopeudessa. Kuvien esittäminen vieretysten tekee tuloksista helposti vertailtavia ja osoittaa liittymämuutoksen vaikutusalueiden rajat. Toimivuustuloksen esittäminen keskimääräisen nopeuden kautta auttaa myös hahmottamaan liittymien ja ramppien jonoutumista sekä liikennevirroille aiheutuvia viivytyksiä, vaikka näitä tietoja ei suoranaisesti esitetä kuvissa.



Toimivuustietoa saadaan tarkennettua ajoneuvo- ja käyttäjäkohtaiseksi tutkimalla liittymäkohtaisesti yksittäisten liikennevirtojen keskimääräisiä viivytyksiä. Viivytysten keskiarvon perusteella määritetään liittymän liikennevirroille palvelutasot, jotka kuvaavat toimivuustarkasteluissa liikennevirtojen yleistä toimivuutta yhden liittymävälillä tarkkuudella. Palvelutasojen määrittelyssä käytetään joko valo-ohjatun tai valo-ohjaamattoman liittymän palvelutasoluokituksia. Palvelutasoasteikot perustuvat Highway Capacity Manual –ohjeen

määritelmiin. Asteikko voidaan esittää raportin liikennevirroissa joko palvelutasoluokituksen asteikkona A-F tai hieman tarkemmin keskimääräisen viivytyksen sekuntimäärinä. Esimerkki liittymän tulosuuntien keskimääräisistä viivytyksistä ja palvelutasoista on esitetty kuvassa 26.

Palvelutaso on tarkoitettu kuvaamaan tienkäyttäjän kokemusta liikennevirran laadusta. Palvelutason määritelmä on sidoksissa yksittäisen väylänosan laatuun ja se sopii yleisesti kaikkiin liikenteellisiin toimivuustarkasteluihin. Koska palvelutason käsite on osittain subjektiivinen ja yksittäisen tulostiedon

Kuva 26: Liittymän palvelutasot (Sitowise Oy 2021, s. 42).



painoarvo on riippuvainen kyseisen virran liikennemäärästä, päättäjien ja tienkäyttäjien tehtäväksi jää joissain tapauksissa arvioida tulosten perusteella, onko väylän ja sen liikennevirtojen toimivuus hyväksyttävällä tasolla.

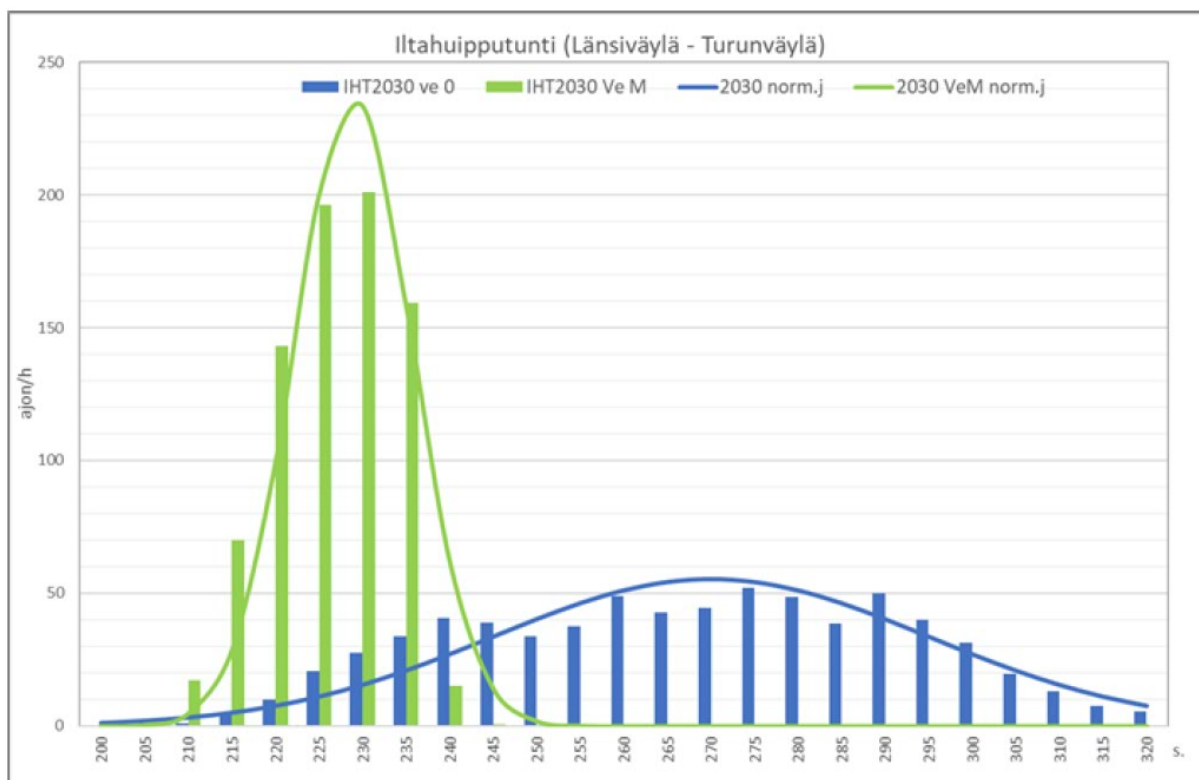
11.2.4 Matka-aika

Matka-aika kuvaa tietyn reitin sujuvuutta ja keskimääräistä nopeutta. Erityisesti suurissa kaupungeissa matka-aika on etäisyyttä tärkeämpi liikenteellisen toimivuuden mittari, joka kuvaa alueiden saavutettavuutta; yleensä matka-aikatarkastelun kohteena on kaupungin keskustaan suuntautuvan herkästi ruuhkautuvan suuren liikennevirran tai julkisen liikenteen matkan ajallinen kesto. Matka-aika sopii erilaisten liikennejärjestelyiden, kulkutapojen ja ajoneuvoryhmien vertailuun, erityisesti joukkoliikenteen ja raskaan liikenteen kuljetusten toimivuuden tunnusluvuksi. Matkojen ja kuljetusten toimivuutta tarkastellaan yleisesti matka-ajan kautta; matka-aikaa käytetään tunnuslukuna myös mikrosimulointia laajemmalla mittakaavalla tutkittaessa tietyllä yhteysvälillä kokonaisen matkan tai kuljetuksen palvelutasoa ovelta ovelle.

Matka-aika ja matkanopeus ovat tärkeitä suureita sekä liikkujan että liikennetaloudellisen laskelmien näkökulmasta. Matka-ajan hyvä ennustettavuus ja sen pieni vaihtelu on tärkeää elinkeinoelämän kuljetuksissa, sillä kuljetusyritysten liiketoiminnan kannalta kuljetusten ennustettavuus ja täsmällisyys ovat matka-ajan minimoimista tärkeämpää.

Matka-aika ei ole varsinainen palvelutasomittari, minkä vuoksi se soveltuu harvemmin kuusitasoisen HCM-palvelutasoluokituksen mittariksi. Mikrosimuloinnissa matka-aika täydentää tavallisesti käytettyjen keskimääräisen viivytyksen ja palvelutason tunnuslukuja tuottamalla kokonaiskuvan tietyn reitin sujuvuudesta. Matka-aikaa voidaan käyttää mittarina tarkastelukohteissa, joissa liikennejärjestelyjen toimivuutta tutkitaan esimerkiksi liittymäjärjestelyjen, sataman tai muun logistiikkakeskuksen toimintojen, joukkoliikennelinjojen, rekkaparkkien tai hälytysajoneuvoliikenteen liikenneyksiköiden toimivuuden näkökulmasta. Simuloinnilla toteutettu herkkyytarkastelu voi tutkia esimerkiksi ruuhkattoman tilanteen ja reitin ruuhkautumisen vaikutuksia matka-aikaan. Kuvassa 27 on esitetty kaaviomuodossa liittymämuutoksen vaihtoehtojen vaikutusvertailu pääsuunnan liikennevirran matka-ajalle.

Kuva 27: Matka-ajan jakauman esittäminen kaaviona (Ramboll Oy 2021, s. 11).



Matka-aikatieto on vertailukelpoinen reitin nopeusrajoituksen suhteen, mikä tuo mahdollisuuksia laskea erilaisten liikennejärjestelyiden tuottama matka-ajan säästö ennustetilanteessa. Koko simulointiverkon laajuisia kokonaismatka-ajan kertymiä voidaan puolestaan soveltaa liikennehankkeiden kannattavuuslaskelmissa.

11.2.5 Tulosten herkkyystarkastelu

Toimivuustarkastelussa voidaan tarpeen mukaan tehdä herkkyystarkasteluja, joissa vertaillaan ja analysoidaan toimenpiteiden tai liikennemäärän muutoksen vaikutuksia. Liikennemäärän suhteen voidaan tutkia koko tarkastelualueen liikennemäärän kasvattamista tietyllä kasvuprosentilla. Vaihtoehtoisesti liikennemäärän muutoksen herkkyystarkastelut voidaan rajata alueen yksittäiseen toimivuuden kannalta kriittiseen liikennevirtaan, uuden maankäytön liikennetuotoksen vaikutukseen tai alueen taustaliikenteen määrään kasvuun.

Herkkyystarkastelujen avulla pyritään selvittämään, kuinka paljon liikennejärjestelyt kestävät liikennemäärän kasvua tai liikennejärjestelyiden muutoksia ja millaisia häiriöitä muutokset voivat toteutuessaan aiheuttaa; yleensä tarkoitus on varmistaa liikennejärjestelyjen toimivuus ennustetta suuremmalla liikennemäärällä. Liikenteen herkkyystarkasteluja suoritetaan erityisesti ennustetilanteissa, joissa liikennemäärätiedot eivät ole lähtökohtaisesti erityisen tarkkoja. Herkkyystarkastelulla havainnoidaan, missä järjestelmän osassa liikenteen välityskyky ylittyy ensimmäisenä, kuinka liikenteen häiriötilanteet syntyvät ja kuinka yksittäiset toimenpiteet vaikuttavat toimivuuteen. Herkkyystarkastelun kautta päätöksentekijöille saadaan tarkkaa ja vertailukelpoista hankkeiden riskienhallintaan liittyvää tietoa erilaisten liittymäjärjestelyiden toimivuudesta ja mitoituksen vaatimuksista.

Yleisimmin liikenteellinen toimivuustarkastelu tehdään yksittäiselle järjestelyjä mitoittavalle ruuhkatunnille, joka on useimmissa tapauksissa iltahuipputunti. Herkkyystarkastelussa liikennejärjestelyiden toimivuus voidaan varmistaa myös toissijaiselle huipputunnille, kuten aamuhuipputunnin, tapahtumaliikenteen tai kauppakeskuksen huipputunnin ajalle. Herkkyystarkastelun tuloksena voi olla esimerkiksi tietty alueen kokonaisliikennemäärän tai yksittäisen liikennevirran kasvuprosentti, jonka tarkastelualueen liikennejärjestelyt kestävät; tulosten perusteella tehdään päätöksiä esimerkiksi tulevaisuuden liittymäratkaisusta tai kaistakapasiteetista.

11.2.6 Tulosten yhteenveto

Tulostiedon tiivistämisen loppuvaiheessa raportissa on esitettävä lyhyesti johtopäätelmät kohteen liikenteellisestä toimivuudesta. Toimivuustarkastelun tulokset, mahdolliset ongelmakohdat ja jatkosuositukset esitetään usein lyhyesti tekstimuodossa. Koska toimivuustarkastelu suoritetaan monessa tapauksessa erilaisten vaihtoehtojen välillä, tulokset esitetään tällöin yleensä tiiviissä taulukkomuodossa.

Tulosten tunnusluvuissa käytetään laajoja ja toimivuutta yhteenvetäviä mittareita, kuten koko verkon keskimääräistä viivettä, pysähdyksiä ja keskinopeutta sekä liittymän keskimääräistä tai tulosuuntakohtaista palvelutasoa. Palvelutaso on yleinen liikenteen toimivuutta kuvaava sumean logiikan yleismääritelmä, jonka etuna on nopea ja tiivis vertailukelpoisuus erilaisten vaihtoehtojen välillä. Palvelutasoluokkien värikoodilla saadaan lisättyä yhteenvedon tulosten havainnollisuutta.

Tulokset esitetään siten, että vaihtoehtojen paremmuusjärjestys selviää lukijalle yhdellä silmäyksellä. Kuvassa 28 on esimerkki toimivuustarkastelun tuloksia kiteyttävästä taulukkomuotoisesta esittämistavasta toimivuustarkastelun johtopäätösosiossa.

Kuva 28: Tulosten yhteenveto (Sitowise Oy 2019, s. 28).

Taulukko: Vaihtoehtojen liikenneverkon toimivuuden tunnuslukujen sekä liittymien palvelutasojen vertailutaulukko

	Suunnittelualueen liikenneverkko				Liittymät, keskimääräinen viive ja palvelutaso				
	Ajoneuvoja verkolla	Verkon keskimääräinen			Kiertoliittymät		Järvenpääntien valoliittymät		
		Viive / ajon.	Pysähdys / ajon.	Keskinopeus / ajon.	Eteläinen	Pohjoinen	Hyyryläkatu	Pataljoonant. – Nappulakatu	Klaavolantie – Autoasemank.
Nykytila +	5379	84,2 s	3,68	28,4 km/h	E (44s)	C (19,5s)	D (47s)	C (24,5s)	B (19s)
VE 0, 2040	6985 (85%*)	70,4 s	2,95	28,7 km/h	C (23,5s)	D (31,5s)	B (18s)	C (27s)	B (20s)
VE 1, 2040	6988 (85%*)	57,0 s	2,25	30,6 km/h	C (20,0s)	C (20,5s)	B (15s)	C (25,5s)	C (21,5s)
VE 3, 2040	6979 (85%*)	63,7 s	2,53	29,9 km/h	C (18,5s)	C (23,0s)	B (17s)	C (32s)	B (18,5s)

Palvelutasoluokitus:

- A Erittäin hyvä
- B Hyvä
- C Tyydyttävä
- D Välttävä
- E Huono
- F Erittäin huono

*osuus liikenne-ennusteen liikennemäärästä. Ennusteen mukaiset verkon liikennemäärät olisi n. 8220 ajoneuvoa.

12 Toimivuustarkastelun suunnitteluperiaatteita

12.1 Toimivuustarkastelutyön lähtökohdat

Liikenteellisten toimivuustarkasteluiden tavoitteena on selvittää liikennevirtojen simuloinnin keinoin kohdealueen toimivuus tietyillä ajan, paikan ja liikennejärjestelyiden parametreilla. Simuloinnin ja toimivuustarkastelun tuloksena muodostuu raportti, jossa liikennevirtojen toimintaa ja keskinäisiä vuorovaikutuksia kuvataan syy-seuraussuhteineen. Työn lopputuloksena kohteesta muodostetaan kuvien tai tekstin avulla sopivan pelkistetty liikenteellisen toimivuuden kokonaiskuva, joka ohjaa jatkosuunnitelmia sekä toimii päätöksenteon tukena. Toimivuustarkastelun työprosessiin kuuluu laaja-alaisten kokonaisuuksien ymmärrystä sekä oleellisen tiedon tiivistämistä toimiviksi ja toteuttamiskelpoisiksi ratkaisuksi. Tässä kappaleessa käydään läpi yleisiä lähestymistapoja ja havaintoja toimivuustarkastelutyön toteuttamiseen.

Tarkastelun näkökulma ja painotukset voivat vaihdella projektikohtaisesti paljonkin, riippuen kohdealueen ominaisuuksista, suunnittelijan omista mieltymyksistä ja tottumuksista sekä asiakkaan tavoitteista ja vuorovaikutuksen kautta saadusta palautteesta. Erilaiset lähestymistavat ja projektityön toimintamallit ilmenevät tehtävän ja ratkaisun esittävässä toimivuustarkasteluraportissa, joka on yhdistelmä tekstiä sekä havainnollisuutta tukevia kuvia, kaavioita ja liikkuvaa kuvaa.

Suunnittelutyössä käytetyille määritelmille luodaan projektityön aikana toimivuutta hahmottavia merkityksiä, joista toimivuustarkasteluraportin sisältö rakentuu. Merkityksiä luovat tarkastelussa mainitut alueen liikenteelliset olosuhteet, valitut toimivuuden mittarit, toimivuuden sanalliset määritelmät, simulointitulosten tarkastelutapa ja johtopäätelmät. Toimivuustarkasteluraportissa kuvien, kaavioiden ja tekstin painotukset vaihtelevat, minkä voi havaita tarkastelemalla, kuinka raportin teksti ja kuva vuorovaikuttavat keskenään tiedon esittämisen tasolla. Tärkeimmät tiedot kiteytyvät toimivuustarkasteluraportin sisällössä.

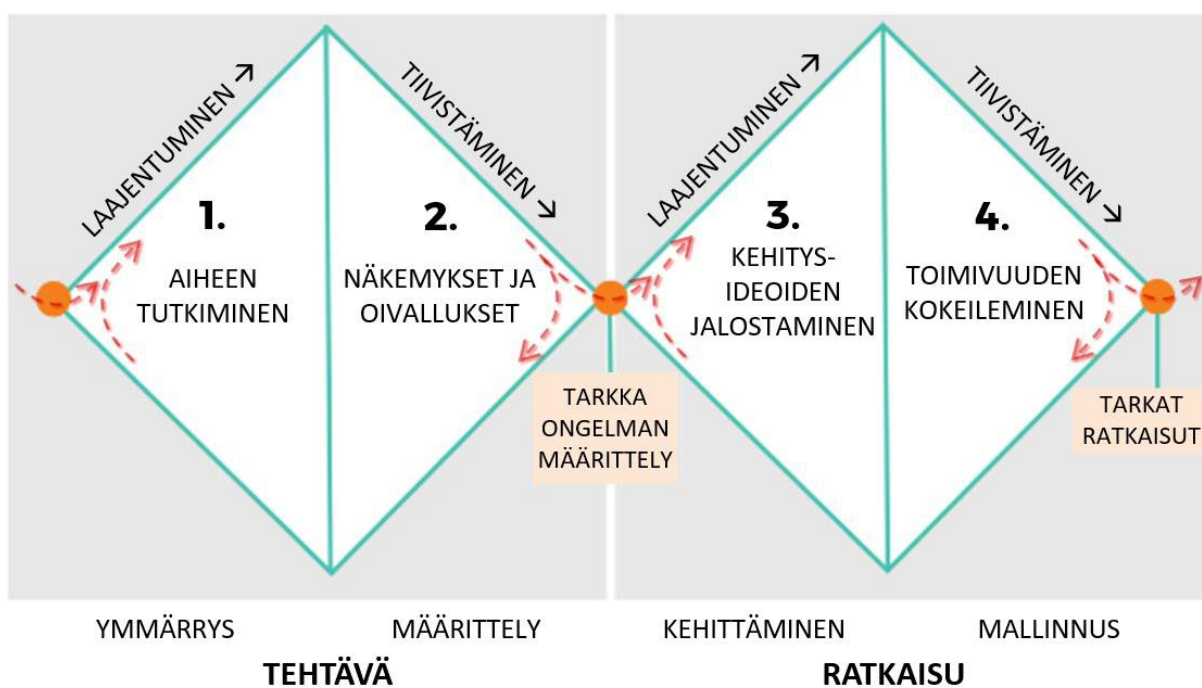
12.2 Suunnittelutyön vaiheet

Toimivuustarkasteluiden suunnittelutyötä voidaan ajatella neljänä erilaisena vaiheena, joissa työn sisältö vaihtelee kokonaiskuvan hahmottamisen ja olennaisten asioiden tiivistämisen välillä. Työ voidaan lisäksi jakaa kahteen osaan, jossa ensimmäisessä pyritään ymmärtämään ratkaistava ongelma tai tehtävä ja toinen osa sisältää ratkaisun kehittämisen. Prosessimalli perustuu niin sanottuun tuplatimanttiin, jonka on esitellyt British Design Council.

Prosessimalli on esitetty kuvassa 29.

Kuva 29: Tuplatimantti-prosessimalli (Innanen 2008)

Toimivuustarkasteluprojektin suunnittelutyön vaiheistusta voidaan hahmottaa tuplatimantti-prosessimallin avulla. Prosessimalli määrittelee, miten palveluiden kehittäminen tyypillisesti etenee. Laajentuminen ja tiivistäminen kuvaavat näkökulman laajuutta ja vaiheen tietomäärää. Kuvaa on muokattu lähteen Innanen 2008 pohjalta.



Vaiheessa 1 tunnistetaan ratkaistava tehtävä tai ongelma ja haetaan aihealueesta lisätietoa ja ymmärrystä. Vaiheessa 2 määritellään ja analysoidaan näkemykset ja oivallukset sekä valitaan toteuttamisen arvoiset ideat, joilla tarkasti määritelty ongelma voidaan mahdollisesti ratkaista. Vaiheessa 3 katsantokanta laajenee jälleen, kun tiettyyn ongelmaan jalostetaan kokeilumielessä kehitysideoita. Vaiheessa 4 tiivistyvät ratkaisut, joiden toimivuus

on vielä kokeiltava. Tutkimusprosessi voi myös kiertää kehää aiheen tutkimisen ja näkemysten ja oivallusten välillä (1.–2.) ennen kuin ratkaistava ongelma voidaan määritellä tarkasti. Toinen mahdollinen kehä syntyy kehitysideoinnin ja ratkaisun toimivuuden välille (3.–4.) tilanteissa, joissa tyydyttävää ratkaisua ei heti löydy.

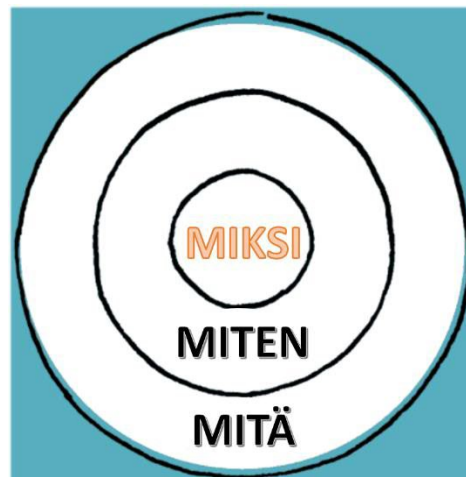
Liikenteelliset toimivuustarkastelut painottuvat nimensä mukaisesti vaiheeseen 4 eli mallinnukseen ja toimivuuden kokeilemiseen, mutta toimivuustarkasteluprojekteissa tulee kuitenkin huomioida myös muiden vaiheiden merkitys ja toimenpiteet. Vaihe 1 liittyy toimivuustarkasteluissa laajaan lähtötietojen kartoittamiseen ja keräämiseen sekä yhteiseen ymmärrykseen siitä, mitä tutkitaan. Vaiheessa 2 kiteytetään ratkaistava ongelmakohde yhteisen näkemyksen mukaiseksi; tässä vaiheessa toimivuustarkasteluraportin sisältö, mittarit ja esitystapa alkavat hahmottua. Vaiheessa 3 jatkojalostetaan ideoita mahdollisilla ratkaisuilla ja kokeiluilla, jotka liittyvät teoriassa hyvin toimivien liikennejärjestelyiden käytännön toteuttamismahdollisuuksiin. Valitut tarkasteluskenaariot tiivistyvät vaiheessa 4 valitun ratkaisumallin viimeistelyyn, liikenteen simulointiin, toimivuustarkastelun toteuttamiseen sekä toimivuuden pääpiirteiden ja oleellisten tulosten raportointiin. Tarkastelu päättyy tiivistetysti liikenteellisen toimivuuden johtopäätelmiin, suosituksiin ja parhaassa tapauksessa yksiselitteisiin ratkaisuihin.

Tuplatimanttimalli kuvaa luovaan ongelmanratkaisuun liittyvät laajenevan ja tiivistyvän ajatteluprosessin toiminnan. Laajenevissa vaiheissa suunnittelu tarkoittaa avointa suhtautumista aihealueeseen. Vaiheiden 1 ja 3 aikana kerätään tietoa ja ideoita ilman arviointia. Vaiheissa 2 ja 4 puolestaan kerättyä tietoa analysoidaan ja arvioidaan, jotta voidaan poimia siitä paras kiteytys tai näkökulma. (Innanen 2018.)

12.3 Sisällön merkitys ja kysymyksenasettelu

Toimivuustarkasteluraportin sisältöä ja rakennetta sekä myös projektityön suunnittelua voidaan hahmottaa vastaamalla yksinkertaisiin kysymyksiin. Simon Sinekin mukaan (Luoma-aho 2022) tärkeintä on vastata kysymykseen "Miksi?". Kirjassaan "Start With Why" Simon Sinekin ajatuksena on, että ihmiset eivät osta sitä, mitä yritys tekee, vaan sitä, miksi se tekee mitä tekee; yrityksen ja sen tuotteen olemassaololle on oltava uskottava tarkoitus. Viestinsä ytimen Sinek on visualisoinut ympyräksi, jossa sisimpänä on kysymys "miksi", kesimmäisenä kysymys "miten" ja uloimpana "mitä" (kuva 30).

Kuva 30: Kysymyksenasettelu suunnittelussa (Luoma-aho 2022).



Simon Sinekin "kultaisessa ympyrässä" lähtökohtana on miksi-kysymys, johon vastaaminen luo työhön merkityksiä ja yksilöllisiä tavoitteita. Sinekin mukaan merkityksen määrittelyssä ympyrän ulkoreunasta lähtevät yritykset tietävät vain, mitä ne tekevät ja miten ne tekevät sen, minkä vuoksi tuotteen tai palvelun on vaikea erottua muista ja herättää asiakkaiden kiinnostusta. "Miksi" on kestävä pohja kaikelle tekemiselle, vaikka maailma ympärillä muuttuisi.

Yritysjohtamiseen, strategiaan ja merkityksen määrittämiseen liittyvää miksi-kysymystä voi soveltaa myös liikenteellisen toimivuustarkasteluraportin rakenteen suunnittelussa. Aloittamalla projektin suunnittelu miksi-kysymyksellä toimivuustarkastelulle ja sen lopputuloksena syntyvälle raportille saadaan määritettyä yksinkertainen ja erottuva, juuri kyseiselle projektille räätälöity tavoite ja tarkoitus.

Miksi-kysymys on asiakkaan tarpeet huomioiva ja muutoksiin mukautuva suunnittelutapa. Vastauksia simulointiprojektin miksi-kysymykseen voivat olla esimerkiksi tarve selvittää liikenteellinen toimivuus uudella maankäytöllä tai liittymien liikennejärjestelyjä eniten kuormittavalla ajankohdalla, kuten iltahuipputunnin aikana. Toimivuuden määrittely liikennejärjestelyjä yksinkertaistavan liikennevirtojen simuloinnin kautta ohjaa puolestaan

asiakkaan jatkosuunnitelmia ja perusteltuja ratkaisuja. Miksi-kysymyksellä simulointiprojektille saadaan määriteltyä asiakaslähtöisesti tavoite, joka voi projektin edetessä muuttua tai tarkentua joko ensimmäisten simulointitulosten myötä tai kohteen ominaisuustietojen ja maankäytön suunnitelmien päivittyessä.

Miten- ja mitä-kysymykset sekä niihin liittyvät vastaukset ovat miksi-kysymystä yksinkertaisempia ja muuttumattomampia; ne ovat toimivuustarkasteluiden perusta, joka tuo projektityöhön sen vakiintuneet lähtökohdat ja toimintatavat. Miten- ja mitä-vastaukset määritellään usein kirjallisesti jo projektin tarjousvaiheessa. Ne kertovat yksinkertaisesti, mitä ja miten projektissa on tarjouduttu tekemään. "Mitä" ja miten" eivät tarjoa itsessään ratkaisuja, vaan ovat toimintatapoja ja työkaluja, joilla miksi-kysymyksen kautta syntyviin tarpeisiin vastataan.

Miten-kysymykseen vastataan esimerkiksi määrittelemällä käytettävä simulointiohjelma, kohdealue ja tarkasteluskenaariot; miten-kysymyksen vastauksissa voi olla pientä vaihtelua, mutta käytännön projektityössä sen avulla suunnittelija valitsee parhaat menetelmät ja työkalut useimmiten jo vakiintuneiden ja hyväksi havaittujen toimintatapojen listasta.

Mitä-kysymys on itsessään äärimmäisen pelkistetty ja yksinkertainen – se kertoo ainoastaan, mitä tehdään. "Mitä" ei tarvitse tuekseen asiakasta tai tarkoitusta, minkä vuoksi sen ottaminen lähtökohdaksi voi helposti johtaa harhaan ja tuottaa merkityksettömiä liukuhinnasuunnitelmia, jotka eivät vastaa tai ole yhteydessä miksi-kysymyksellä kartoitettaviin asiakkaan tarpeisiin. Mitä-kysymyksellä projektityö ei luo itselleen merkitystä; projektityön merkitys ja tavoite pitää etsiä miksi-kysymyksellä.

13 Ohjeistuksen soveltaminen projektityössä

13.1 Toimivuustarkasteluraportin sisältö

Toimivuustarkastelun sisältö vaihtelee projektikohtaisesti ja se muodostuu asiakkaan kanssa sovittavien tavoitteiden mukaisesti. Nykyisessä ohjeistuksessa määritellään raportissa yleisellä tasolla esitettävien asioiden minimivaatimukset, joiden lisäksi toimivuustarkastelun raportointiin sisältyy useita tässä kappaleessa esitettäviä toistuvia käytännön teemoja.

Ennen varsinaisen projektityön aloittamista asiakkaan kanssa käydyn keskustelun ja tarjouksen perusteella hahmotetaan selvittävä asiakokonaisuus, jota käsitellään toimivuustarkasteluraportin lopullisessa sisällössä. Projektin aikana asiakas voi ohjata kommentteillaan työtä ja raportointitapaa haluttuun suuntaan. Projektilla tulee olla selvä tavoite, jonka määrittelyn myötä kirkastuvat selvittävä asia ja liikenteelliset yksityiskohdat, joihin tarkastelussa kiinnitetään erityistä huomiota. Raportoinnin avulla etsitään ja esitetään ratkaisuja liikennejärjestelyiden ja maankäytön yhteensovittamiseksi mahdollisimman toimivalla, kustannustehokkaalla ja kaikkia osapuolia tyydyttävällä tavalla.

Liikenteellinen toimivuustarkasteluraportti voi olla rakenteeltaan joko itsenäinen raportti tai vaihtoehtoisesti toimia yhtenä aliotsikkona tai liitteenä osana laajempaa selvitystä, kuten liikennejärjestelmätason alueellista kaavarunkotyötä. Laajan selvityksen sisältöön voi kytkeytyä liikenteellisen toimivuuden lisäksi myös esimerkiksi katusuunnitelmia, arkkitehtien muodostamia maankäytön visioita, liikennejärjestelmän tavoitetilanteita, toimenpiteiden vaikutusten arviointia sekä liikenneturvallisuuden näkökulmia. Laajemmissa selvityskohteissa liikennevirtojen toimivuus on yksittäinen aliotsikko ja suunnitelmien arvioinnin kriteeri, jolla perustellaan valitut ratkaisut. Toimivuustarkasteluraportin tulokset ovat laajemmissa kohteissa liikenteellisten selvitysten tausta-aineistoa tai liitteitä – varsinaisessa raportissa kohteen liikenteellinen toimivuus käsitellään lyhyessä ja tiiviissä muodossa.

Yleisesti toimivuustarkastelun rakenne noudattaa suunnittelijan omaa olemassa olevaa kaavaa, joka muokkautuu otsikkotasolla projektikohtaisten painotusten mukaiseksi. Toimivuustarkastelun ytimessä on selvittävä asia, joka voi olla esimerkiksi erilaisten liikennejärjestelyjen toimivuusvertailu tai uuden maankäytön liikenteelliset vaikutukset.

Tarkastelukohteen taustatiedot saattavat muuttua tai tarkentua projektin edetessä, mikä tulee huomioida ja mahdollistaa simulointimallin rakentamisvaiheessa ja projektin ajankäytön suunnittelussa. Tavoitteena on tehdä projektin työvaiheet yksinkertaisesti, suoraviivaisesti ja kerralla oikein, vaikka se ei aina käytännön projektityössä ole aina mahdollista; liikenteelliset toimivuustarkastelut liittyvät usein monialaisiin projekteihin, joiden luonteeseen kuuluvat useat toimijat, vaihteellisuus sekä suunnitelmien tarkennukset, muutokset ja rakentuminen projektin aikana, minkä takia työvaiheiden ennustettavuus on erityisesti suurissa projekteissa ajoittain heikkoa. Tehtäväkentän monitahoisuuden vuoksi toimivuustarkasteluprojektit etenevät usein omaan ennalta arvaamattomaan tahtiinsa, mikä tarkoittaa suunnittelijan kannalta jatkuvan arvioinnin ja ennakkosuunnittelun tärkeyttä.

Raportin rakenteessa, sisällössä ja esitystavassa on mahdollisuuksia hyvin erilaisille projektikohtaisille painotuksille, kuten liikkuvan kuvan hyödyntämiseen liikennevirtojen toimivuuden havainnollistamiseksi tai liikennejärjestelmän riskien analysointiin ja tunnistamiseen. Joissain tapauksissa tehtävänä voi olla hyvin yksinkertaiseen toiminnalliseen kysymykseen vastaaminen, jonka selvittäminen vaatii monimutkaisten kohdealueen vuorovaikutussuhteiden mallintamista simuloinnin avulla. Yksityiskohtaisen ja tarkasti todellisuutta jäljittelevän simulointimallin valmistuttua on tärkeintä pystyä suodattamaan sen toiminnasta oleellista tietoa tehokkaasti siten, että kyseisen projektityön keskeisiin selvitettäviin kysymyksiin saadaan luotettavia vastauksia.

Laajemmissa toimivuustarkasteluissa tiedon määrä kasvaa helposti liian suureksi, joten raportoinnissa toissijainen tieto on tärkeää kyetä rajaamaan ulkopuolelle. Tekniset yksityiskohdat ja tausta-aineistot, kuten laajat suunnitelmapiirroksot, liikenne-ennusteen luvut ja valo-ohjauksen tarkempi toiminta, siirtyvät raportin liitteiksi, jos niiden julkaisu yleensä katsotaan tarpeelliseksi. Yksityiskohtia voidaan tarvittaessa käyttää myöhemmässä toimivuuden tarkistamisessa.

13.2 Raportin sisällysluettelo

Liikenteen toimivuustarkasteluraportin rakenne, sisältö ja esitystapa määräytyvät pitkälti projektikohtaisesti, mutta raportointitavoissa on myös tiettyjä toistuvia kokonaisuuksia, jotka seuraavat Liikenneviraston vuoden 2013 ohjeistusta toimivuustarkasteluraportin

sisällöksi. Osa sisältötiedoista on välttämättömiä, kuten tarkastelualueen fyysiset liikennejärjestelyt ja liikennemäärätiedot. Joidenkin tietojen tärkeys on riippuvainen simulointiprojektin kohteesta ja tarvittavasta mallin tarkkuustasosta. Sisällön otsikot ja yksityiskohdat määräytyvät osittain projektille määritettyjen tavoitteiden ehdoilla.

Toimivuustarkastelukokonaisuus voidaan jakaa karkealla tasolla viiteen osaan: lähtötiedot, ominaisuustiedot, liikennemäärätiedot, tulokset ja johtopäätelmät. Varsinaisen liikenteellisen toimivuuden lisäksi raporttiin voidaan sisällyttää aiheeseen liittyviä asiakokonaisuuksia, kuten taustatietoja alueen maankäytön muutoksista ja aiemmista selvityksistä tai havaintoja liikennejärjestelyiden turvallisuudesta. Seuraavassa on esitetty tarkempi yhteenveto esimerkkinä tyypillisestä toimivuustarkasteluraportin rakenteesta ja tärkeimmistä sisältökokonaisuuksista otsikkotasolla:

1. Kansilehti ja johdanto
2. Tarkastelun lähtökohdat
 - a. Työn sisältö ja tavoitteet
 - b. Simuloinnin taustatiedot
 - c. Tarkastelutilanteet ja ajankohta
3. Tarkastelualueen liikennejärjestelyt
 - a. Nykytilanne
 - b. Suunnitelmat
 - c. Vaihtoehtotarkastelut
 - d. Valo-ohjelmakaaviot (tarvittaessa)
4. Liikennemäärätiedot
 - a. Liikennelaskenta- ja ennustetiedot
 - b. Uuden maankäytön liikennetuotos (tarvittaessa)
 - c. Oletukset liikennemäärän kasvusta (kasvuprosentti)
 - d. Kulkumuodot (tarvittaessa)
 - e. Simuloitava nykytilanne (tarvittaessa)
 - f. Simuloitava ennustetilanne (tarvittaessa)
 - g. Simulointimallissa toteutuneet liikennemäärät (tarvittaessa)
5. Toimivuustarkastelun tulokset
 - a. Vaihtoehtotarkastelut

b. Herkkyystarkastelut

6. Yhteenveto ja johtopäätelmät (tarvittaessa suositukset jatkotoimenpiteille)
7. Liitteet (tarvittaessa)

Lähtötiedot, ominaisuustiedot, liikennemäärätiedot, tulokset ja johtopäätelmät ovat sisällysluettelossa pääosin edellä mainitussa järjestyksessä, mutta rajanveto pääteemojen välillä on yleensä vaikeasti havaittavissa, minkä lisäksi pääotsikoiden sisällöt ovat tiiviissä vuorovaikutuksessa keskenään; esimerkiksi liikennemäärätiedot voidaan teoriassa esittää oman kappaleensa lisäksi myös lähtötietojen tai tulostietojen otsikon alla. Uuden maankäytön suunnitelmat liikennetuotoksineen on puolestaan yhteensovitettava liikenneteknisen mitoituksen vaihtoehtoihin tarkasteluihin ja fyysisten liikennejärjestelyiden suunnitelmiin. Suunnittelijan tehtävänä on valita projektiinsa parhaiten sopiva tarkastelun näkökulma, tiedon tarkkuustaso ja sisältökokonaisuus.

13.3 Raportin pääotsikot

Liikenteellisen toimivuustarkasteluraportin kansilehti on kohteen raporttikokonaisuuden yleisesti esittävä otsikkosivu ja johdanto-osio, joka sisältää yksinkertaisimmillaan projektin nimen, tekijän ja asiakkaan tiedot sekä päivämäärän. Kaikkiin asiakkaalle lähetettäviin materiaaleihin tulisi lisätä tekijän tunnistetiedot, jotta yhteydenpito on jatkossa vaivatonta. Tekijätiedoista mainitaan joko yritys tai tarkemmin toimivuustarkasteluun osallistuneiden suunnittelijoiden nimet. Kansilehdessä tai sitä seuraavalla sivulla voidaan lisäksi esittää yleiskuva tarkastelualueesta, lähtötiedoista ja työn tavoitteista.

Kansilehden jälkeen esitetään raportin sisältö, joka voidaan esittää sisällysluettelon muotoisena tai vaihtoehtoisesti johdantotyyppisesti työn taustat, lähtökohdat ja tavoitteet selostaen. Kansilehden ja johdantokappaleiden sisällön esittämistavassa on paljon erilaisia toteutusmahdollisuuksia, koska raportin alku kuvaa kyseisen projektin kokonaisuutta laajalla katsannolla ja varsinaista pakollista sisältöä on suhteellisen vähän. Esittelyosioiden sisällössä on merkittäviä projekti- ja tekijäkohtaisia eroja, jotka ilmenevät erilaisissa kuvan, tekstin ja kaavioiden käyttötavoissa ja painotuksissa. Raportin kansilehden ja sisällön yleisesittelyn tiedot voivat limittyä keskenään ilman, että se haittaisi raportin luettavuutta; esimerkiksi tiiviissä raportissa kansilehdessä voidaan esittää myös työn keskeiset sisältötiedot.

Lähtötiedoissa tulee lisäksi mainita käytetty simulointiohjelma, simulointiajojen määrä sekä mahdolliset tarkentavat tiedot ohjelmassa käytetyistä asetuksista. Simulointimallista voidaan mainita alueen liikenteelliseen toimivuuteen vaikuttavia ominaisuustietoja. Lisäksi mainitaan toimivuustarkasteltavat tilanteet tai vaihtoehdot sekä liikennejärjestelyjä mitoittava tarkastelun ajankohta, joka on useimmissa tapauksissa iltahuipputunti.

Seuraavaksi raportissa esitetään fyysisen tarkastelualueen kuvaus, johon sisältyvät alueen kaavoitustilanne, yksityiskohtaiset liikennejärjestelyt, tarkastelualueen rajaus, tarkasteltavat liikennetilanteet sekä suunnitelmapiirroksot, joiden mukaisesti simulointimalli rakennetaan. Järjestelyiden kuvaus voi rakentua joko suunnitelmasta, simulointimallista tai näiden yhdistelmästä. Yleensä suunnitelmissa esitetään asemakaavan tai katusuunnitelmien tarkkuustasolla liittymä- ja kaistamuutoksia, alueen havainnekuvia tai laajempia katuverkon muutoksia. Muihin alueen taustatietoihin kuuluvat esimerkiksi nopeusrajoitukset ja aiempien selvitysten sisältö. Järjestelyistä voidaan lisäksi esittää simuloitua valo-ohjelmaa yksinkertaistetussa ja havainnollisessa kaaviomuodossa.

Kun fyysinen tarkastelualue on määritelty ja mallinnettu, raporttiin lisätään alueen liikennemäärätiedot liikenne-ennusteen tai laskentojen perusteella. Laskentatietojen avulla liikenteen nykytilanteen toimivuus saadaan määritettyä tarkimmalla mahdollisella tavalla. Liikennemäärätiedoissa huomioidaan lisäksi toimivuutta tarkentavat tiedot, kuten alueen liikenteen kulkumuotojakauma ja uuden maankäytön liikennetuotos, joka lasketaan yleisimmin kerrosalaneliömetrien ($k\text{-m}^2$) perusteella. Toiminnon laskukaava on useimmissa tapauksissa suositeltavaa esittää raportissa yksityiskohtaisesti, jotta laskelmien oikeellisuus ja liikennetuotoksen suuruusluokka ovat jälkikäteen arvioitavissa ja tarkistettavissa.

Liikennemäärien lähtötietoihin tehdyt mahdolliset korjaukset sekä niiden perusteet tulee mainita raportissa. Ennustetilanteen liikennemäärä muodostetaan yleisesti Emme-liikenne-ennustemallin avulla sekä arvioilla nykyliikenteen kasvuprosentista. Nykytilanteen ja ennusteen liikennemäärätiedot esitetään raportissa yleensä omina kokonaisuuksinaan. Simulointimalliin lisättyjen liikennemäärätietojen oikeellisuus tarkistetaan tarvittaessa vertaamalla lähtötietoja simulointiajoissa toteutuneisiin liikennemäärätietoihin.

Toimivuustarkastelun tulokset esitetään ryhmitettyinä erilaisiin tilanteisiin. Yleisesti tarkastellaan ennustetilannetta uudella maankäytöllä ja liikennejärjestelyillä, minkä toimivuutta voidaan tarvittaessa verrata liikenteen nykytilanteeseen. Liikennejärjestelyiden toimivuutta on mahdollista tutkia myös herkkyystarkasteluilla kasvattamalla alueen kokonaisliikennemäärää tai tiettyjä keskeisiä liikennevirtoja valitulla kasvuprosentilla. Ennustetilanteen ja nykytilanteen keskinäinen vertailu tuottaa simulointituloksia liikennejärjestelyiden tai liikennemäärän muutosten vaikutuksista toimivuuteen, mikä toimii lähtökohtana raportin johtopäätelmien ja suositusten muodostamisessa.

Toimivuuden ja sujuvuuden tunnuslukuja esitetään raportissa joko yksittäin tai yhdistettynä; yleisimpiä tunnuslukuja ovat jononpituudet sekä tärkeimpien tulosuuntien keskimääräiset viivytykset ja palvelutasot. Liikenteellisen toimivuuden määritelmässä sovelletaan aiemmissa kappaleissa esitettyjä kuormituksen ja palvelutason ohjearvoja ja asteikkoja. Tarkastelualueen jononpituudet ja palvelutasot voidaan esittää joko erillisinä kuvina tai yhdistelmänä – raportin luettavuus ja sopiva tiedon määrä vaikuttaa valittuun esitystapaan. Toimivuus selvitetään kuvien yhteydessä myös sanallisesti; tekstiosiossa mainitaan merkittävimmät numeeriset tulokset sekä selvitetään sanoilla ja toimivuuden määritelmillä kohteen liikenteelliset ongelmakohdat ja toimivuuteen vaikuttavat tekijät.

Lopuksi toimivuustarkastelun tulokset kiteytetään johtopäätelmiin. Raportin johtopäätelmät sisältävät tiiviin yhteenvedon tarkastelun tuloksista, tarkasteluvaihtoehtojen vaikutusten arvioinnin, tarkasteluun mahdollisesti liittyvät epävarmuustekijät, merkittävimmät huomiot toimivuudesta sekä mahdolliset jatkotarkastelutarpeet, parannustoimenpide-ehdotukset ja suositeltavat ratkaisut. Johtopäätelmät esitetään pääosin tekstimuodossa; tiiviissä yhteenvedossa voi myös hyödyntää taulukkomuotoa tai kaavioita, mikäli tarkastelussa on tutkittu useita vertailuvaihtoehtoja. Yksityiskohtaisemmat liitteet ja suunnitelmapiirroksot, kuten asemapiirustukset, sijoitetaan raportin loppuun erillisiksi liitteiksi.

13.4 Sisällön tarkkuustaso

Toimivuustarkasteluraportin tarkkuustaso on riippuvainen selvitetävän asian lisäksi saatavilla olevasta lähtötietoaineistosta. Lähtötietojen epätarkkuudet tulee ottaa huomioon ja kirjata raporttiin erityisesti, jos niiden oletetaan vaikuttavan merkittävästi simulointiajojen

tuloksiin. Yleisin epätarkkuus on liikennemäärätiedoissa; lähtötiedot kuvaavat useimmiten tulevaisuuden tilannetta, ja ovat siten aina jonkin asteisia arvioita. Simulointimallissa pyritään huomioimaan tulevaisuuden maankäytön liikennetuotos ja liikennemäärän kasvuprosentti käyttämällä suurimpia liikennemääräarvioita, jotta toimivuus saadaan selvitettyä liikennejärjestelyjä eniten kuormittavassa mitoitustilanteessa. Epätarkkojen lähtötietojen tapauksissa on tärkeää käyttää liikennemääränä arvioidun vaihteluvälin suurinta arviota ja mainita se myös tarkasteluraportissa. Laajemmissa tarkasteluissa ei aina päästä tähän, jos lähteinä on useita erilaisia liikennemääriä, jotka on ennen simulointia tasapainotettava keskenään.

Liikenne-ennusteista saatavat liikennemäärätiedot soveltuvat parhaiten laajempiin verkollisiin simulointeihin. Luotettavin ja helposti todettavin liikennemäärien lähtötieto saadaan liittymäkohtaisilla laskennoilla, mutta koska liikenneinfraa suunnitellaan kymmenien vuosien aikaperspektiivillä, on tarkastelussa otettava huomioon tulevaisuuden liikennemääriin vaikuttavat maankäyttösuunnitelmat ja liikenteen kasvuennusteet, mikä usein vaatii ennustemallin hyödyntämistä. Tulevaisuuden liikennevirtoja mallinnettaessa ei yksiselitteisen tarkkoihin lähtötietoihin taikka tuloksiin voida koskaan päästä, eikä sen tule olla työn tavoitteenakaan, sillä toimivuustarkasteluprojektin työvaiheisiin sisältyy aina arviointia ja sitä kautta sumeaa logiikkaa.

13.5 Sumean logiikan periaate

Sumea logiikka soveltuu mallintamaan tiloja tai luokkia, joiden väliset rajat ovat epämääräisiä. Liikenteen simulointi ja siitä johdettu toimivuustarkastelu perustuvat osin sumeaan logiikkaan, jossa monimutkaisten järjestelmien sääntömäärää pienennetään murto-osaan todellisuudesta. Sumeassa systeemissä on tavallisesti enimmillään muutama kymmenen sääntöä, mikä nopeuttaa logiikkaa hyödyntävän systeemin rakennusprosessia. Sumeassa systeemissä johtopäätökseksi valitaan painotettu keskiarvo säännöistä, jotka osuvat lähimmäksi syöttöarvoa. (Kalliala 1996, s. 2.) Esimerkkinä autoliikenne itsessään noudattaa tie- ja katuverkolla liikkeessaan ja pysäköidessään ajan ja paikan suhteen sumeaa logiikkaa, jossa liikenneyksiköiden tarkka sijainti liikenneverkolla tietyllä hetkellä on lähes aina epämääräinen; simuloinnissa yksittäiset liikennetilanteet ovat ainutkertaisia ja toistettavissa ainoastaan käyttämällä samaa simulointiajon siemenlukua. Simuloinnissa

keskiarvotulosta ja sumeaa logiikkaa sovelletaan esimerkiksi jononpituuksien ja palvelutason määritelmässä ja tulosten mittaamisessa.

Toimivuustarkastelun tärkeimmät tulokset ovat johdettavissa keskimääräisyyksiin ja keskiarvoihin, kuten ajoneuvoliikenteen keskimääräiseen viivytykseen tai keskimääräiseen jononpituuteen. Raporttien johtopäätelmät perustuvat liikennevirtojen toimivuuden useamman simulointiajon tuottamiin keskimääräisiin numerotietoihin, joita edelleen tiivistetään ja käännetään suuntaa antaviksi yleispäteviksi arvioiksi kohdealueen liikenteen ruuhka-ajan keskimääräisestä palvelutasosta, toimivuudesta ja sujuvuudesta. Liikennevirran välttävä palvelutaso ei esimerkiksi estä liikenteellisten häiriöiden syntyä, mutta tekee niiden muodostumisen keskimäärin hyvin epätodennäköiseksi.

Raporttiin on valittava sopivan tasapainoinen tiedon tarkkuustaso, jonka oleelliset tulokset on ilmaistu selkeässä ja havainnollisessa muodossa. Simuloinnin lähtötiedon on oltava mahdollisimman tarkkaa, koska liikennemäärätiedon muokkaaminen, kasvukertoimet ja maankäyttötiedot ovat todellisen tilanteen päälle lisättyjä arvioita, jotka vaikuttavat kertautuvasti tuloksiin. Vaikka arviointi on välttämätön osa liikennevirtojen simulointia ja toimivuustarkastelua, sen osuutta raportoinnissa tulisi aina mahdollisuuksien mukaan vähentää, jotta tarkastelu pysyy sisällöltään puolueettomana. Toimivuustarkasteluraportin loppupäätelmiin tietoa on muokattava ja suodatettava yksinkertaisempaan muotoon, kuten simulointitulosten keskiarvoihin ja palvelutason määritelmiin; merkittävät yksittäiset toimivuushavainnot kirjoitetaan raporttiin lyhyesti tekstimuodossa.

Tulosten esittämisessä liiallinen tiedon määrä tai tarkkuustaso voi heikentää raportin luettavuutta ja tulostiedon ymmärtämistä. Vaikka tarkastelun kohteena on monimutkainen liikennejärjestelmä, esitettävän tietomäärän kasvattaminen ei yleensä tuo lopputulokseen lisäarvoa. Etukäteissuunnittelulla raportin sisältö ja tietomäärä saadaan suodatettua sopivalle tasolle. Esimerkiksi liikennemäärän lähtötiedoissa kymmenen ajoneuvon tarkkuustaso on riittävä toimivuuden simulointiin; sitä pienemmät muutokset tulosuuntien liikennemäärissä huipputunnin aikana eivät vaikuta simulointiajon tulokseen.

Tiedon jäsentelyssä olennaista ovat liikennevirtojen vuorovaikutusten ja syy-seuraussuhteiden havainnoinnin ja kirjaamisen lisäksi simulointitulosten keskiarvot, trendit

ja yleistyksiset liikennejärjestelyjen toimivuudesta. Simuloinnin tulokset ovat järjestelmän sisäisen logiikan tuottamina aina keskenään vertailukelpoisia.

13.6 Raportin teksti- ja kuvasisältö

Raportin tekstisisältö on toimivuustarkastelun osa, jossa liikenteellisen toimivuuden tärkeimmät lähtötiedot ja tulokset esitetään lyhyessä ja helposti ymmärrettävässä muodossa. Tarvittaessa tulostieto, sen yksityiskohdat ja oikeellisuus voidaan tarkistaa valmistuneen simulointimallinnuksen avulla.

Toimivuustarkastelun sisällön tulee olla loogisessa ja saavutettavassa muodossa; uusimmat PowerPoint-versiot tarjoavat mahdollisuuden raportin tarkistamiseen niin, että tekstin ja kuvien ominaisuudet määrittyvät hyvälle tasolle. Tiedoston sisällön saavutettavuuteen ja havainnollisuuteen vaikuttavat erityisesti tekstin koko, tekstin määrä ja sen sijoittelu sivun alueelle.

Raportin tekstissä ja kuvissa tulee huomioida esitettävän tiedon määrä. Tavoitteena on esittää kuvilla ja kaavioilla oleellimmat tulokset mahdollisimman havainnollistavassa muodossa, mikä vaatii suunnittelijalta tarpeellisen tiedon havaitsemista ja valintoja; koska simulointiajojen tulostietoa on saatavilla lähes loputtomasti, työn aikana on päätettävä tärkeimmät alueen tarkastelu kohteet, raportissa esitettävät tulostiedot sekä niiden esitystapa. Esimerkiksi jononpituudet voidaan esittää tekstissä ja kuvassa korostetusti, jos ne ovat liikenteellisen toimivuuden kannalta tärkeimmät tulostiedot.

Liikenteen toimivuuden esittäminen kuvallisessa muodossa tuo raporttiin runsaasti yleisluonteista tietoa kohdealueen ominaisuuksista, liikennevirtojen käytännönläheisestä toimivuudesta sekä toimivuustarkastelun tuloksista. Kuva voi tuoda kohdekuvauksen myötä esiin hiljaista tietoa, joka on jäänyt havaitsematta suunnitteluprosessin aiemmissa vaiheissa. Kuvissa esitettävään tietoon tulee siksi kiinnittää erityistä huomiota ja niiden sisältö kannattaa suunnitella ennalta sen mukaan, mitä liikennetietoa kuvassa on tarkoitus esittää.

Kuvat ovat suunnittelutyön ja simulointiajojen aikana suodatetun olennaisen tiedon havainnollinen esitystapa, jossa on aina tiedon suhteen omanlaisensa lähestymistapa ja

suunnittelijan valitsema näkökulma. Liikennevirtojen kuvaamisessa tulee pyrkiä objektiivisuuteen siten, että kuvaan valittu hetki esittää tyypillistä ja keskivertoa tarkasteluajankohdan, kuten iltaruuhkan, liikennetilannetta. Esimerkki simulointimallin kuvasisällöstä on esitetty kuvassa 31.

Kuvallisuus auttaa konkretisoimaan ja käytännöllistämään liikennevirtojen toimintaa; suunnitelmien toimivuuden näkeminen tärkeimmiltä osa-alueiltaan voi lisäksi tuoda projektin sidosryhmille uusia ideoita ja ratkaisuja kohdealueen jatkosuunnitteluun. Simulointimateriaalin havainnollisuutta voi entisestään korostaa esittämällä liikennevirtojen toimintaa videokuvan ja -tiedostojen avulla. Raportin kuviin voidaan tarvittaessa lisätä luettavuutta ja sijainnin hahmottamista parantavia tietoja, kuten katujen nimiä tai maankäyttötietoja. Lisäksi kuviin voidaan lisätä taustatietoja kuten liittymien ja liittymäväliden liikennemäärätietoja tai yksittäisiä huomioita liikenteen toimivuudesta.

Liittymien tarkempia liikennevirtoja ja -määriä kuvataan raportissa tulosuuntaakohtaisesti suoraan kulkevien ja kääntyvien yksittäisten virtojen liikennemääriä kuvaavilla nuolilla. Kuvissa voidaan esittää myös liittymäväliden tulo- ja poistumissuunnittaiset liikennemäärätiedot tai yksinkertaisemmin liittymäväliden liikennemäärä yhteensä, joka sisältää molemmat kulkusuunnat ilman liikennevirtojen suuntatietoja. Nuolilla voidaan lisäksi kuvata liikennevirtojen palvelutasoja joko asteikolla A-F tai viivytyssekuntien tarkkuudella.

Kuva 31: Havainnollistava kuva simulointimallista (WSP Finland 2022b, s. 6).

Liikennevirtojen toimivuutta havainnollistetaan simulointimallin 3d-kuvilla. Pelkkä simulointimallin tie- tai katuverkon esittäminen tuottaa monissa tapauksissa kaiken oleellisen toimivuustiedon. Kuvan kohteena on yleensä tarkastelualue kokonaisuutena tai yksittäinen liikenteelliseen toimivuuteen oleellisesti vaikuttava järjestelmän osa, kuten valoliittymä.



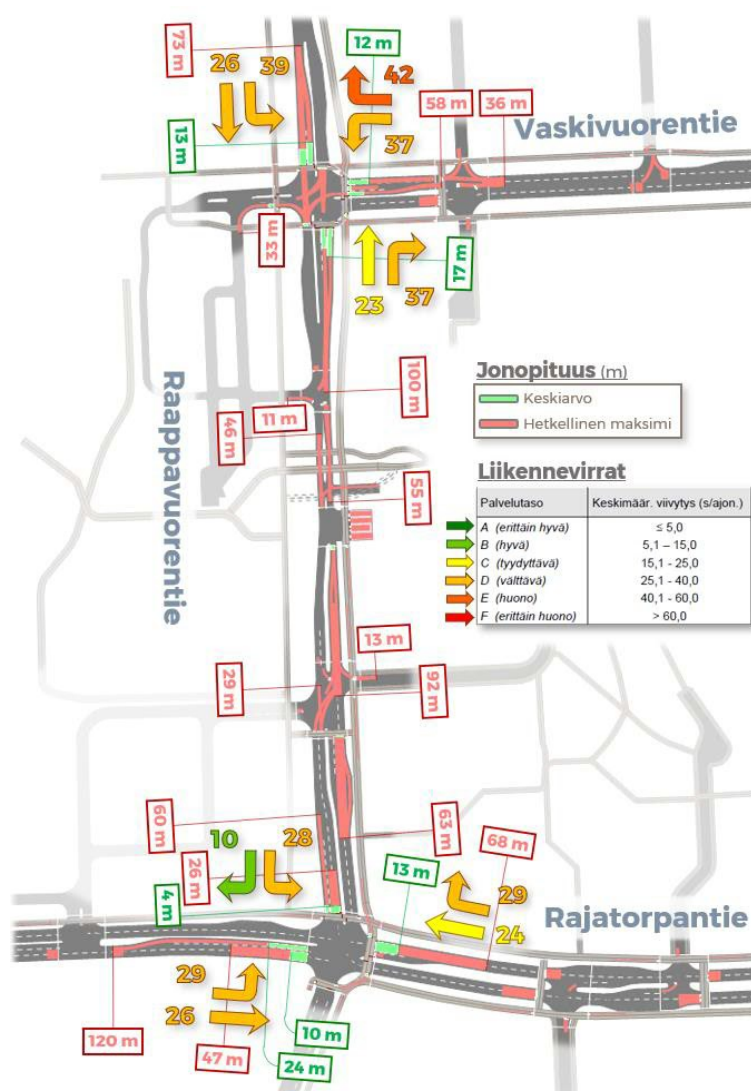
13.7 Raportointikokonaisuus ja tiedon yhdistäminen

Toimivuustarkasteluraportti on kokonaisuudessaan tiivis ja helposti ymmärrettävä yhteenveto projektityön lähtökohdista ja varsinaisista liikenteellisen toimivuustarkastelun tuloksista. Raportin sisältö

painottuu tilanteen mukaan joko teksti- tai kuvamuotoon; yleisimmin raportti on näiden kahden esitystavan havainnollinen yhdistelmä. Onnistuneessa ja tasapainoisessa raportissa tekstin ja kuvan sisällöt tukevat toisiaan; tekstin avulla nostetaan tärkeimmät toimivuustarkastelun tulokset, jotka eivät ole kuvassa muutoin korostetussa tai helposti ymmärrettävässä muodossa. Tekstimuodossa tarkastelukohteen toimivuus saadaan tiivistettyä useimmiten yhteen lauseeseen, joka voi itsessään toimia nopeana päätöksenteon ja jatkotoimenpiteiden käynnistäjänä. Toimivuustarkastelun kuvallinen osuus esittää monimutkaisen kokonaisuuden toimivuuden yksityiskohtaisessa muodossa ja saattaa sitä kautta tuoda asiakkaalle tai suunnittelijoille jatkojalostuskelpoisia ideoita. Kuvallinen esimerkki toimivuustarkastelun tuloksista on esitetty kuvassa 32.

Kuva 32: Jononpituus- ja palvelutasotietojen esittäminen (WSP Finland Oy 2022a).

Kuvan tietomäärää ei voi juurikaan lisätä tai kokoa pienentää ilman, että kuvan luettavuus heikkenee. Vaihtoehtoisesti tietomäärän voi puolittaa esittämällä jononpituustiedot ja palvelutasot erillisissä kuvissa. Epäoleellisten tietojen himmentäminen, läpinäkyvyys ja valittu tekstikoko suunnittelijan haluamalla tavalla määrittävät tiedon merkityksellisyyttä.



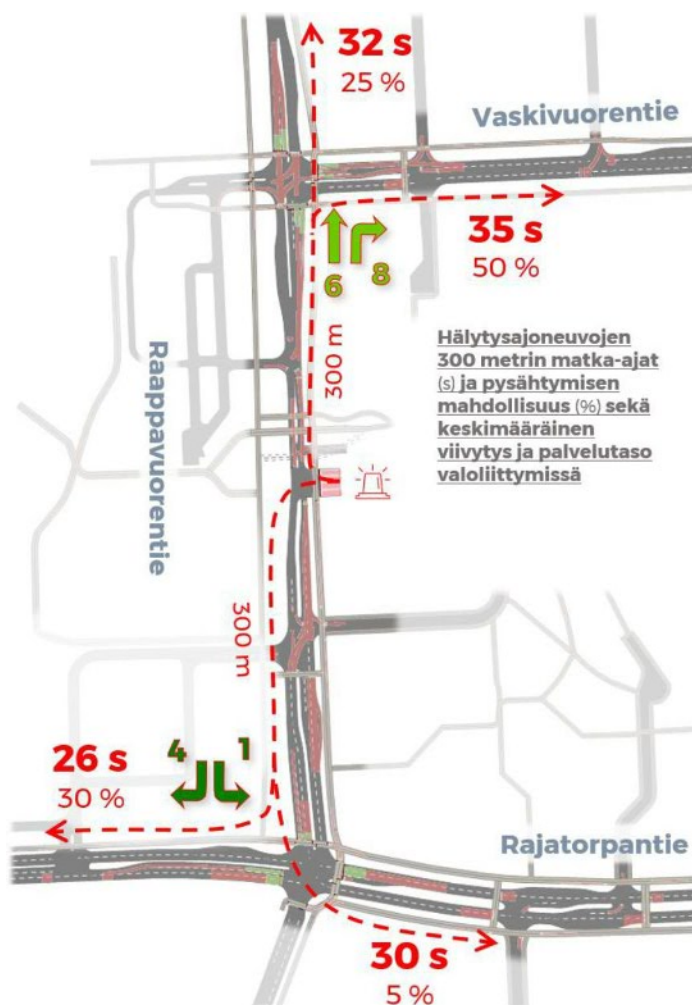
Raportin sanallista ja kuvallista ilmaisua suunniteltaessa on tärkeää määritellä, millaista toimivuutta on tarvetta esittää tai korostaa ja mitkä seikat ovat lopputuloksen kannalta toisarvoisia. Kuvallisen tiedon korostamisessa ja häivyttämisessä on hyvä käyttää tilanteen mukaisesti joko tärkeää tietoa korostavia värejä tai epäoleellisuuksia rajoittavia hillittyjä värejä, epäoleellisten taustojen häivyttämistä läpinäkyvyydellä sekä tiedon tärkeyden mukaisesti määrittyviä tekstikokoja.

Jokaisessa kuvassa esityskelpoisen tiedon määrälle on tietty yläraja, jonka ylittyessä tiedon luettavuus heikkenee ja kuvan sekavuus kasvaa. Erityisesti kehittyneessä Vissim-mikrosimuloinnissa tulosten tietomäärää on suodatettava ja toistoa karsittava. Oleellinen tieto tiivistetään ja havainnollistetaan esimerkiksi piktogrammien ja kaavioiden avulla. Raportointityön ydin on tietojenkäsittelyä, jossa simuloinnin kautta saatu raakadata, kuvat ja havainnot käännetään havainnolliseen, hallittavaan ja luettavaan muotoon. Esimerkki tietojen suodattamisesta on esitetty kuvassa 33.

Toimivuustarkasteluraportin tietomäärään on löydettävä sopiva tasapaino. Raportti voidaan tuottaa joko Word- tai PowerPoint-pohjaisena, riippuen projektikohtaisista valinnoista sekä siitä, halutaanko hallitsevaksi toimivuuden esitysmuodoksi teksti vai kuva. Word-raportointi soveltuu tekstiin painottuvaan esitysmuotoon;

Kuva 33: Toimivuustiedon näkökulman muokkaaminen (WSP Finland Oy 2022a).

Edellisen toimivuustarkastelukuvan hyödyntäminen hälytysajoneuvoliikenteen toimivuuden kannalta. Tunnuslukuina ovat hälytysajoneuvojen matka-ajat pääasiallisiin poistumissuuntiin sekä keskimääräiset viivytykset valoliittymissä, kun hälytysajoneuvojen etuudet ovat käytössä. Kuvan taustalle on jätetty aiemmat jononpituustiedot himmennettynä.



PowerPoint-muodossa raportin sisältö on hyödyllistä jakaa otsikkotasolla sopivan kokoiisiin osiin, jotka rakentuvat sivun laajuisista itsenäisistä kokonaisuuksista. Sivun koko asettaa tietyn minimi- ja maksimimäärän tekstin ja kuvan laajuudelle ja yksityiskohdille. Yksittäisen sivun merkittävyys ja sen sisällön tarpeellisuus liikenteellisen toimivuuden määrittelyssä on tärkeää arvioida jo ennen raportoinnin aloittamista, jotta raportin rakenne hahmottuu aikaisessa suunnitteluvaiheessa.

13.8 Raportin näkökulmat, hahmottaminen ja sisältö

Tarkasteluraportissa kohteen liikenteellinen toimivuus esitetään mahdollisimman loogisessa ja ymmärrettävässä muodossa. Asioiden yksinkertaistaminen vaatii suunnittelijalta tietyn näkemyksen valitsemista, jossa toimivuuden yksityiskohtia valitaan, korostetaan, rajataan ja häivytetään. Raportissa voidaan keskittyä tekstin osuuteen ja liikennesuunnittelun toimivuutta määrittäviin täsmällisiin termeihin, tai vaihtoehtoisesti esittää lyhyesti ja tiiviisti liikennejärjestelmän kokonaistoimivuutta ja tärkeimpiä vuorovaikutuksia kuvilla, kaavioilla ja liikkuvalla kuvalla. Sisällön sijoittelun tulee olla lukijalle looginen. Tasapainoisen raportin sivuilla tekstin, kuvien ja kaavioiden sisällöt ovat jokaisessa alaotsikossa omilla tavoillaan vuorovaikutteisesti toisiinsa yhteydessä.

Raportin sisältö ja näkökulma voivat valikoitua aiemmin käytetyistä ja hyväksi havaituista valmiista toimintatavoista, jotka ohjaavat projektityön vaiheita ja sen rakennetta; toisaalta jokainen toimivuustarkastelu on omalaisensa yksinkertaistettu mutta looginen kokonaisuus, jonka rakenteen suunnittelussa tulee heti alkuvaiheessa määritellä mahdollisimman tarkasti asiakkaan tarpeet ja selvitettävä asiakokonaisuus. Nykyinen ohjeistus tarjoaa tässä suhteessa riittävän tason ja lähtökohdat toimivuustarkasteluraportin luomiseen.

Raportin sisällössä voidaan käyttää tuplatimantti-prosessimallin mukaista sekä ylhäältä alaspäin että alhaalta ylöspäin –ajattelutapaa; tavan valinta riippuu projektin työvaiheesta ja käynnissä olevan työvaiheen tarkemmista tavoitteista. Koska simulointi on määritelmän mukaisesti asioiden jäljittelyä ja yksinkertaistamista, tarkasteluraportti on aina lopulta tiivistelmä monimutkaisen järjestelmän tarkastelun tuloksista ja mahdollisesti suositelluista jatkotoimenpiteistä.

14 Johtopäätelmät ohjeistuksen kehittämiseksi

14.1 Yleishavaintoja ohjeistuksesta ja toimivuustarkastelun sisällöstä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää liikenteellisessä toimivuustarkastelussa tarvittavaa tietoperustaa, ohjeistusta ja sen soveltamista toimivuustarkastelun käytännön projektityössä. Työn lähtötietoina olivat vuosina 1991–2013 julkaistut aihealueen ohjeistukset sekä yleisesti saatavilla olevat liikenteelliset toimivuustarkasteluraportit, joissa huomiota on kiinnitetty niiden sisältöön ja rakenteeseen. Tässä kappaleessa esitetään tärkeimmät johtopäätelmät liikenteen simulointia ja toimivuustarkastelua käsittelevän ohjeistuksen tulevaisuuden kehittämistarpeista työn lähdemateriaalin sekä kirjoittajan omien liikennealan projektityössä keräämien kokemusten perusteella.

Nykyinen liikennevirtojen simulointiin ja toimivuustarkasteluun liittyvä ohjeistus on pääosiltaan riittävällä tasolla liikennesuunnittelun projektityön suorittamiseen. Toimivuustarkastelun nykyinen ohjeistus käsittelee raporttien sisältöä yleisellä vähimmäistasolla – se ei ota kantaa tai tarjoa varsinaista toimintaohjetta raportin yksityiskohtiin, kuten sisällön otsikointiin tai liikennevirtojen kuvalliseen esittämiseen, minkä suunnittelija voi kokea omakohtaisesti joko ohjeistuksen heikkoutena tai vahvuutena. Ohjeiden suurpiirteisyyden vuoksi päätökset raportin sisällön toteutuksesta ja tulosten esittämistavasta jäävät suurelta osin raportin laatijalle. Käytännönläheisessä projektityössä tällainen lähestymistapa on toimiva ratkaisu, vaikka se ei toteutakaan täydellisesti vuoden 2012 haastatteluissa kehittämistarpeeksi koettua yhtenäisen raportoinnin periaatetta.

Liikenteellistä toimivuustarkastelua sisältävissä projekteissa ohjeet ja ohjeistuksen pääperiaatteiden noudattaminen ovat tärkeässä osassa, sillä työ on suurelta osalta nopeutta ja tarkkuutta vaativaa tietojenkäsittelyä, jonka työvaiheet on tunnistettava ja suunniteltava ennen niiden toteuttamista. Nykyiset ohjeet määrittävät projektityön rakenteen ja sisällön pääosiltaan, mikä helpottaa suunnitteluprosessin aloitusta, sen vaiheiden läpikäyntiä ja projektityön etenemistä.

14.2 Nykyisen ohjeistuksen kehittämistarpeet

Aiemmassa Liikenneviraston selvityksessä (Lehtonen ym., 2012 ss. 11–12) kävivät ilmi seuraavat töiden tilaajaosapuolten kokemat kehittämistarpeet:

- Yhtenäinen raportointi (simuloinnin lähtötiedot, tulokset)
- Tärkeimpien tunnuslukujen kertominen (viivytykset, jononpituudet)
- Oikein kirjoitettu ja helposti ymmärrettävä kieli
- Tulosten havainnollistaminen (kuvat, katujen nimet, liikennemäärät)
- Asiantuntijuus

Suurimmaksi puutteeksi vuoden 2012 haastatteluissa on koettu tehtyjen töiden raportointi sekä yhtenäisen käytännön puute ohjeistuksessa. Liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun ohjeistusta ja sisältöä kokoavaa selvitystä ei ole aiemmin tehty, mikä on osaltaan johtanut raportointikäytännön kirjavuuteen. Yhtenäisestä ohjeistuksesta on maininta palvelutasomääritelmän osalta jo vuoden 2003 selvityksessä, jossa kehitystarpeeksi mainittiin yhtenäiset palvelutasoa kuvaavat määritykset ja niihin liittyvä terminologia. Palvelutasomääritelmien tulisi olla selkeitä ja yksinkertaisia käyttää.

Yhtenäinen raportointi on aihealue, johon voidaan vaikuttaa virallista ohjeistusta päivittämällä. Haastatteluissa toistuvat tarpeet simuloinnin lähtötietojen, maankäytön ja tulosten kuvaamiseksi; lähtötietojen taso koettiin vaihtelevaksi ja osin puutteelliseksi. Käsiteltävät projektin lähtötiedot ja tulokset tulee määritellä tulevassa ohjeistuksessa tarkemmin ja entistä yhtenäisemmällä tavalla, jotta toimivuustarkasteluraportit vastaavat tilaajan odotuksia. Käytännössä tämä vaatimus saadaan toteutettua työn tarjousvaiheessa, jos simuloinnissa ja toimivuustarkastelussa käsiteltävä tieto kirjataan tehtäväksi riittävän tarkalla tasolla; tällöin ei kuitenkaan toteuteta raportoinnin yhtenäisen toimintatavan periaatetta, joka saavutetaan parhaiten liikennesuunnittelualaa koskevan yleisohjeistuksen kautta.

Yhtenäinen raportointi kehittää raportin sisältöä myös simuloinnin tunnuslukujen, kuten jononpituuksien ja viivytysten suhteen. Raportin tunnusluvut voivat jäädä puutteellisiksi, jos varsinaista ohjeistusta ei ole tai jos tunnuslukujen käytöstä ei olla tilaajan kanssa erikseen sovittu. Näistä tunnusluvuista ja niiden esittämistavasta ei ole nykyisin annettu tarkkaa

ohjeistusta; sen sijaan nykyinen raportointi muodostuu vakiintuneiden käytäntöjen, HCM-asteikon palvelutasomäärittelyn soveltamisen ja simulointiohjelmiston ominaisuuksien ja rajoitteiden ehdoilla.

Oikein kirjoitettu ja ymmärrettävä kieli tarkoittaa raporteissa sisältöä, jota on helppo lukea, vaikka lukija ei olisi aiheeseen aiemmin perehtynyt. Koska liikennevirtojen toimivuuteen liittyvät käsitteet ovat osittain tulkinnanvaraisia ja koska sidosryhmät käyttävät käsitteitä hieman eri merkityksissä, on niiden tarkemmalle ohjeistukselle tai vähintäänkin sanojen selitteille raportoinnin yhteydessä edelleen tarvetta. Tähän tavoitteeseen päästään käyttämällä raportoinnissa riittävän pelkistettyä ja selvää kieltä sekä havainnollisia kuvia. Toimivuustiedon tulee olla oleellista ja kaikkien saavutettavissa, mikä tarkoittaa liiallisen tietomäärän ja vaikeasti ymmärrettävän asiantuntijakielen välttämistä raportoinnissa; toimivuustarkasteluraportin yhteenvedossa monimutkaisen järjestelmän toimivuustiedon yksinkertaistaminen on avainasemassa.

Tulosten havainnollistamiseen ei ole olemassa varsinaista käytännön ohjeistusta, mikä on näkynyt raporteissa puutteellisina ja heikkolaatuisina kuvina. Liikennevirtojen toimivuuden kuvaamiseen ei ole nykyisin olemassa erillistä ohjeistusta, mikä jättää tilaa erilaisille toimintatavoille ja kokeiluille. Tulevaisuudessa toimivuustarkasteluraportin ohjeistusta tulisikin kehittää kuvien havainnollisuutta ja saavutettavuutta huomioivalla näkökulmalla.

Vaikka liikenteellinen toimivuustarkasteluraportti voi olla päällisin puolin helppolukuinen ja tiiviiksi yksinkertaistettu, tilaajat odottavat sen sisällöltä asiantuntevuutta. Tilaajat ovat aiemmin kokeneet asiantuntemuksen vaihtelevaksi, mikä on vaikuttanut tulosten tulkintaan ja on näkynyt virheissä esimerkiksi liikennemäärätietojen suhteen. Asiantuntijuus ja raportin laatu voidaan varmistaa tarkistuttamalla ja oikolukemalla raportti asiantuntijoilla joko sisäisesti tai ulkoisesti ennen sen julkaisua. Tarkemman ohjeistuksen kautta voidaan vähentää raportin sisällön tulkinnanvaraisuutta ja suoranaisten virheiden mahdollisuutta.

14.3 Raporttien vastaavuus ohjeistukseen

Yleisesti saatavilla olevat toimivuustarkasteluraportit noudattavat sisällöltään pitkälti ohjeistusta. Toimivuustarkasteluraporttien sisältö ja rakenne muodostuvat ohjeistuksen

periaatteiden mukaisesti; sen sijaan painotukset tarkasteltavan tiedon esittämisessä vaihtelevat raporteissa merkittävästi, koska ne määräytyvät pääosin projektin yksilöllisten tavoitteiden, simulointiohjelman sekä suunnittelijoiden vakiintuneiden toimintatapojen, mieltymysten ja kohteen ominaisuuksien mukaisesti. Raporttien sisällön rakentumisprosessista ei ole saatavilla tarkkoja tietoja, koska aihetta ei ole tutkittu; lisäksi valtaosaa projektien taustamateriaalista ei koskaan julkaista, mikä estää yhtenäisen toimintatavan muodostumista. Vaikka esimerkiksi palvelutasoille on jo pitkään ollut olemassa yhtenäinen HCM-asteikko, niiden esitystapaa raporteissa ei ole erikseen ohjeistettu tai yhdenmukaistettu.

Toimivuustarkasteluraportissa esitettävää asiasisältöä on ohjeistettu taulukkomuodossa Liikenneviraston Tieliikenteen toimivuuden arviointi –ohjeessa sivulla 25 sekä tiiviissä tekstimuodossa Suuria liikennevirtoja sisältävien kohteiden ohjeissa sivuilla 27–28. Jälkimmäisessä ohjeessa on erikseen mainittu, että sisältö on laadittu asiantuntijoiden käytettäväksi soveltaen, ei sitovana ohjeistuksena. Toimivuustarkastelutyön sitovaan ohjeistukseen ei ole nähty tarvetta; nykyohjeistuksen sisältövaatimukset käsittelevät sen sijaan aihealueen suuria kokonaisuuksia ja usein toistuvia liikennesuunnitteluperiaatteita.

Toimivuustarkastelun lähtötietojen osalta Liikenneviraston välityskykytarkastelujen esiselvitys tarjoaa tapauskohtaisen tarkastelumenetelmien laatukortin (Lehtonen ym., 2012, s. 36), jonka avulla lähtötietojen laatu pyritään varmistamaan. Laatukortti auttaa hahmottamaan projektityön vaiheiden lisäksi myös toimivuustarkasteluraportin sisältöä.

Liikennevirtojen välityskykytarkastelukäytännöt -esiselvityksessä (2012) ehdotettiin kansallisena kehitystarpeena mikrosimulointiohjeen tekemistä, mikä toteutui seuraavana vuonna Tieliikenteen toimivuuden arviointi -ohjeena. Ohjeistus ei ole päivittynyt kymmeneen vuoteen, minkä vuoksi uusimpia tietotekniikan sovelluksia, simulointiohjelmien kehittymistä tai sidosryhmien viimeisimpiä toiveita ja kommentteja raportoinnin kehittämiseksi ei ole niissä käsitelty; tältä osin ohjeistusta on mahdollista ajantasaistaa. Tulevaisuudessa muun muassa konenäön, paikannuksen ja tekoälyn kehittyminen luo uusia menetelmiä liikennevirtoihin liittyvän projektityön vaiheiden nopeuttamiselle ja automaatiolle, mikä tuo tarvetta ohjeiden jatkokehitykselle ja päivittämiselle. Viime vuosina esimerkiksi liikenteen käsinlaskenta on korvautunut lähes kokonaan drooneilla ja konenäköä

hyödyntävillä liikenteen laskentaohjelmistoilla, joiden ansiosta suurin osa liikennemäärätietojen keräämisurakasta ja siihen liittyvästä tietojenkäsittelystä on automatisoitunut.

Projektityön vaiheet ja sisältö on käsitelty nykyisessä ohjeistuksessa kattavasti; tekninen kehitys ei aiheuta merkittäviä muutoksia itse projektityön läpiviemiseen. Nykyinen ohjeistus käsittelee yleisiä ja usein toistuvia suunnitteluperiaatteita, mikä jättää suunnittelijalle riittävästi valinnan mahdollisuuksia projektin sisällön suunnitteluun ja tiedon soveltamiseen, vaikka olosuhteet ja apuvälineet muuttuisivatkin. Suunnittelijan näkökulmasta ohjeistuksen haasteena on nykyisellään tarvittavan tiedon sirpaleisuus ja tarvittavien yksityiskohtien löytäminen laajasta aineistosta; ohjeiden täysipainoinen hyödyntäminen projektityössä vaatii tämän vuoksi tietojenkäsittelytaitoa sekä pitkällistä aihealueeseen perehtymistä.

Liikenteellisen toimivuuden määritelmät, kuten palvelutaso ja jononpituudet, ovat luonteeltaan epämääräisiä, osin subjektiivisia ja monesta simulointimallin lähtöarvosta riippuvaisia mittareita, minkä vuoksi käsitteiden kattavia määrityksiä ei voida tuottaa ohjeistuksen avulla; toisaalta toimivuuden käsitteeseen oleellisesti liittyvää epämääräisyyttä voidaan lievittää selkiyttämällä työprosesseja ja tietojenkäsittelyä sekä tuottamalla laadukkaista ja helposti ymmärrettäviä liikenteen toimivuustarkasteluraportteja, joiden tietolähteet ovat luotettavia ja simulointimallinnus on jälkeenpäin oikeelliseksi tarkistettavissa. Teoreettisen tiedon ja ohjeistuksen hyödyntäminen toteutuu siten käytännössä raporttien selkeyden ja yksiselitteisyyden kautta.

14.4 Yhteenveto ja suositukset jatkotoimenpiteiksi

Koska liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun työnkuvaan kuuluu olennaisena osana tiedon soveltamisen ja jatkuvan arvioinnin elementit, aihealueen ohjeistusta ei voida laatia erityisen yksityiskohtaisella ja samanaikaisesti kaikkiin suunnittelutilanteisiin sopivalla tavalla. Nykyinen toimivuustarkastelun ohjeistus toimii hyvin liikennesuunnittelun yleistasolla ja auttaa suunnittelijaa määrittämään sisällön suuret linjat. Suurpiirteinen ohjeistus jättää suunnittelijalle tilaa tiedon soveltamiselle ja uusille ideoille.

Tarkasteluaineiston perusteella liikennevirtojen simuloinnin ja toimivuustarkastelun sitovaan ohjeistukseen ei ole tarvetta. Sen sijaan soveltavaa ohjeistusta voidaan päivittää projektityön nykytilanteen tarpeita ja teknologiaa vastaavaksi. Vaikka nykyinen simuloinnin ja toimivuustarkastelun ohjeistus on edelleen yleisohjeena käyttökelpoinen, se ei ole kaikilta osin ajantasainen tai nykyisen simulointiohjelmiston teknistä tasoa ja toimivuustarkastelun sisällön uusia mahdollisuuksia vastaava.

Jatkotoimenpidesuosituksena ohjeistuksen kehittämiseksi osapuolilta tulisi selvittää asiantuntija- ja tilaajahaastatteluin, miten toimivuustarkasteluraportit ovat kehittyneet viimeisen kymmenen vuoden aikana sekä selvittää kyselyillä, onko aiempiin kehitystarpeisiin vastattu ja onko raportoinnissa ilmennyt uusia kehitystarpeita. Raporttien laatua ja yhdenmukaisia käytäntöjä saadaan edelleen kehitettyä tietyin osin yleisellä ohjeistuksella: esimerkiksi toimivuuden sanastoa ja mittareita voidaan yhtenäistää ja raportin havainnollisuudelle voidaan määrittää tarkistettavissa oleva vaatimustaso, jos nämä toimenpiteet katsotaan sidosryhmien puolesta tulevaisuudessa tarpeellisiksi.

Lähteet

- Fintraffic. (2022). Liikenteen automaattiset mittaukset. Haettu 21.4.2022 osoitteesta <https://www.digitraffic.fi/tieliikenne/lam/>
- Hágnazy, A. (2016). Comparing the road networks of residential areas. Pollack Periodica. Fig. 3. Haettu 28.7.2022 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/311212057_Comparing_the_road_networks_of_residential_areas
- Helsingin seudun liikenne. (2018). Liikkumistutkimus. Haettu 2.11.2022 osoitteesta <https://www.hsl.fi/hsl/tutkimukset/liikkumistutkimus>
- Innanen, P. (2018). Palvelumuotoiluprosessin vaiheet. Haettu 3.1.2022 osoitteesta <https://www.palvelumuotoilupalo.fi/blogi/palvelumuotoilun-prosessin-vaiheet/>
- Inro Software. (2022a). Dynameq Traffic simulation software your city can plan on. Haettu 7.10.2022 osoitteesta <https://www.inrosoft.com/en/products/dynameq/>
- Inro Software. (2022b). Emme Multimodal Transport Planning Software. Haettu 7.10.2022 osoitteesta <https://www.inrosoft.com/en/products/Emme/>
- Jokela, J., Lehtomaa, J. (2012). Suuria liikennevirtoja synnyttävien kohteiden liikenneselvitykset ja liikenteelliset ratkaisut. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 3/2012. Haettu 15.5.2020 osoitteesta https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121588/lts_2012-03_978-952-255-096-5.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Kalenoja, H., Vihanti, K., Voltti, V., Korhonen A., Karasmaa, N. (2008). Liikennetarpeen arviointi maankäytön suunnittelussa. Suomen ympäristö 27/2008. Haettu 15.5.2020 osoitteesta https://www.motiva.fi/files/1986/Liikennetarpeen_arviointi_maankayton_suunnittelussa.pdf
- Kalliala, E. (1996). Sumea logiikka – portti pehmeään tietotekniikkaan. Akva-lehti 1/1996. Haettu 15.5.2021 osoitteesta <https://eijakalliala.fi/wp-content/uploads/sites/4/2019/09/sumea.pdf>
- Lehtonen, K., Saarelainen, J., Pitkänen, J., Vesajoki, T., Kauhanen, K. (2012). Liikenteen välityskykytarkastelukäytännöt. Esiselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 37/2012. Haettu 26.4.2017 osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-37_liikenteen_valityskyky_web.pdf

- Liikennevirasto. (2018a). Henkilöliikennetutkimus 2016: Helsingin seutu. Haettu 24.2.2022 osoitteesta <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Seutujulkaisu-HLT2016-Helsingin-seutu.pdf>
- Liikennevirasto. (2016). Maanteiden liikennevalojen suunnitteluohje LIVASU 2016. Liikenneviraston ohjeita 37/2016. Haettu 20.8.2020 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-37_livasu_web.pdf
- Liikennevirasto. (2013). Tieliikenteen toimivuuden arviointi. Liikenneviraston ohjeita 36/2013. Haettu 26.4.2017 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-36_tieliikenteen_toimivuuden_web.pdf
- Liikennevirasto. (2018b). Valtakunnalliset liikenne-ennusteet. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 57/2018. Haettu 3.11.2020 osoitteesta <https://www.doria.fi/handle/10024/164968>
- Luoma, S. (1998). Tieliikenteen sujuvuus ja sen mittaaminen. Tielaitoksen selvityksiä 21/1998. Helsinki: Tiehallinto, liikenteen palvelut.
- Luoma-aho, V. (2022). Voiko suklaapatukka pelastaa maailman, Simon Sinek? Helsingin Sanomat 28.5.2022, C14–15.
- Luttinen, T., Pursula, M., Innamaa, S. (2005). Liikennevirran ominaisuudet. Teknillinen korkeakoulu. Haettu 28.9.2020 osoitteesta https://www.researchgate.net/profile/Tapio-Luttinen/publication/312160236_Liikennevirran_ominaisuudet/links/58735db008ae329d621bcbf4/Liikennevirran-ominaisuudet.pdf
- Nevala, R., Niittymäki, J., Rautio, J., Penttinen M., Rämä, P. (2003). Liikenteen palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita. Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 42/2003. Haettu 28.9.2020 osoitteesta <https://www.tieh.fi/julkaisut/pdf/3200829vliikpalvelutaso.pdf>
- Niinikoski, M., Laine, T., Metsäranta, H. (2008). Tieliikenteen toimivuuden määrittely, tunnusluvut ja mittaaminen. Tiehallinnon selvityksiä 7/2008. Haettu 15.3.2021 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201088_Tieliikenteen_toimivuuden_maarittely.pdf
- Ojala, V., Enberg, Å., Luttinen, T. (2007). Tieliikenteen palvelutason määrittäminen. Katsaus Euroopan maiden käytäntöihin. Tiehallinnon selvityksiä 55/2007. Haettu 4.7.2020 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201080-vtieliikent_palvelutason_maarittam.pdf

- PTV GROUP. (2018). PTV Vissim 10 User Manual. Haettu 12.9.2018 osoitteesta <https://usermanual.wiki/Document/Vissim20102020Manual.1098038624.pdf>
- PTV GROUP. (2022). What is new in PTV Vissim/Viswalk 2022. Haettu 16.2.2022 osoitteesta https://ptvpartner.ro/sites/default/files/inline-files/Vissim_2022_-_what_s_new.pdf
- Ramboll Oy. (2020). Hiedanrannan yleissuunnitelma, Liikennetarkastelut 27.3.2020. Haettu 9.5.2021 osoitteesta https://www.tampere.fi/tiedostot/h/9hIT12IBv/2020_03_27_Hiedanrannan_liikennetarkastelut.pdf
- Ramboll Oy. (2021). Kehä I länsiosan liikenneselvitys. Maarinsolmun eritasoliittymä. Tiivistelmä 23.11.2021. Espoon kaupunki. Haettu 6.5.2022 osoitteesta <https://static.espoo.fi/cdn/ff/dArwjT137bub5uT1S7CzDvUtY8Ve5qT6tEif9nkIQk4/1653488279/public/2022-05/221400%20Maarinsolmu%20Keh%C3%A4%20I%20C3%A4nsiosan%20liikenneselvitys%202021.pdf>
- Salonen, M. (2010). Joukkoliikenteen valoetuksien toteuttaminen SYVARI-ohjauksella. Liikennevirasto. Espoon, Helsingin, Jyväskylän, Lahden, Oulun, Tampereen ja Vantaan kaupungit. Haettu 4.3.2020 osoitteesta https://salonen.info/wp-content/uploads/2012/09/SYVARI-ohjekirja_100215.pdf
- Sitowise. (2019). Hyrylän liikekeskuksen verkollinen toimivuustarkastelu. Haettu 9.5.2021 osoitteesta <https://tuusula.cloudnc.fi/download/noname/%7B8b23d81b-62d2-4868-ae1f-8cc731992fc1%7D/45413>
- Sitowise. (2021). Valtatien 25 parantaminen Mäntsälän kohdalla, aluevaraussuunnitelma. Haettu 12.5.2023 osoitteesta https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/186404/Vt25_M%3%a4nts%3%a4%3%a4_ELY_raportti_20220308.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Suomen ympäristökeskus. (2017). Liiteri-tietopalvelu. Yhdyskuntarakenteen vyöhykkeet 2017. Haettu 6.3.2022 osoitteesta <https://liiteri.ymparisto.fi/>
- SYSTRA Ltd. (2022). S-Paramics microsimulation. <https://www.paramics.co.uk/en/>
- Tiehallinto. (2001). Tasoliittymät. Suunnitteluvaiheen ohjaus. Haettu 2.5.2017 osoitteesta https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/tasoliittymat_ohje.pdf
- Tiehallinto. (2008). Tiehallinnon keinoja liikenteen kysynnän hallinnassa. Selvitys läntiseltä yhteistyöalueelta. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 52/2008. Haettu 29.6.2021

osoitteesta https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/4000651-v-tiehall_keinoja_liikent_kysynn_hallinta.pdf

Tiehallinto. (1991). Tien palvelutaso kuvina. Helsinki: Tiehallitus, kehittämiskeskus.

Traficom. (2023). Valtakunnallinen henkilöliikennetutkimus. Haettu 15.2.2023 osoitteesta <https://www.traficom.fi/fi/hlt?active=0&limit=20&offset=0>

Traficom. (2022). Valtakunnalliset liikenne-ennusteet. Hankkeen toteutuksen esittely. Analyysiverkosto 25.1.2022. Haettu 15.2.2023 osoitteesta <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Valtakunnalliset%20ennusteet%2025012022.pdf>

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. National Research Council. Haettu 10.9.2020 osoitteesta https://www.academia.edu/26524134/HIGHWAY_CAPACITY_MANUAL_TRANSPORTATION_RESEARCH_BOARD_National_Research_Council

WSP Finland Oy. (2022a). Myyrmäen paloaseman liikenneselvitys. Haettu 10.9.2022 osoitteesta <https://www.vantaa.fi/sites/default/files/matti/943741-942807-002493%20Liikenneselvitys%20WSP%2C%2013.4.2022.pdf>

WSP Finland Oy. (2022b). Technopolis Innopoli 4:n liikenteellinen toimivuustarkastelu. Haettu 10.9.2022 osoitteesta <https://static.espoo.fi/cdn/ff/YASUNrXqLtl1PRhGZIFriHEQ77sBTwavSVph81qwpY/1655721604/public/2022-06/Technopolis%20Innopoli%204n%20liikenteellinen%20toimivuustarkastelu%202022.pdf>

Väylävirasto. (2022). Väyläviraston avoin data. Päivitetty 18.1.2022. Haettu 25.4.2022 osoitteesta <https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata>

