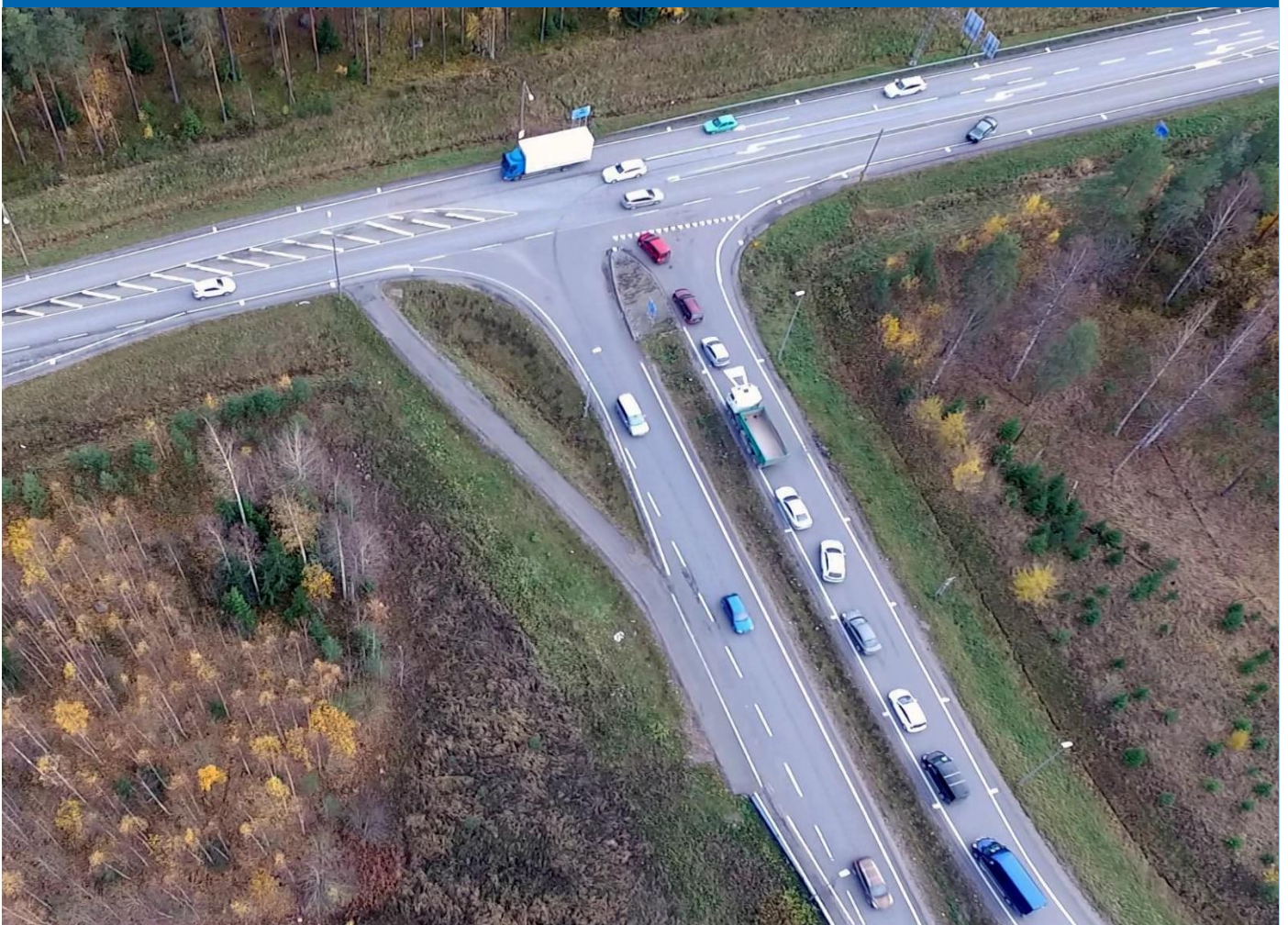




Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
81/2021

Valo-ohjaamattomien tasoliittymien välityskyky ja välityskykytarkastelu



Aapo Lumikoivu, Claudio Roncoli, Åsa Enberg, Julia Wasenius

Valo-ohjaamattomien tasoliittymien välityskyky ja välityskykytarkastelu

Väyläviraston julkaisuja 81/2021

Kannen kuva: Aapo Lumikoivu, 2019

Verkkójulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-937-0

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Aapo Lumikoivu, Claudio Roncoli, Åsa Enberg, Julia Wasenius: Valo-ohjaamattomien tasoliittymien välityskyky ja välityskykytarkastelu. Väylävirasto Helsinki 2021. Väyläviraston julkaisuja 81/2021. 37 sivua ja 19 liitettä. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-937-0.

Avainsanat: Tasoliittymät, välityskyky, simulointi, ilmakehuvaus, kuormitus.

Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan valo-ohjaamattomien tasoliittymien välityskykyä. Tutkimus suoritettiin kuvaamalla ilmasta liikennettä viidessä ruuhkautuvassa liittymästä läntisellä Uudellamaalla. Kuvatun aineiston avulla rakennettiin kolme erilaista liikenteen mikrosimulaatiomallia, makrosimulaatiomalli ja analyyttinen malli jokaisesta liittymästä. Kuvatuista, simuloituista ja analyyttisesti mallinnetuista liikennevirroista laskettiin liikenteen kriittisten aikavälien ja välityskykyjen estimaatit. Lisäksi arvioitiin tutkimuksessa käytettyjen menetelmien soveltuvuutta ja luotettavuutta suomalaisessa liikenneympäristössä.

Tässä tutkimuksessa havaittiin kaikkien tarkasteltujen menetelmien tuottavan oikeansuuntaisia estimaatteja kriittiselle aikavälille, mutta keskimäärin yliarvioivan väistämivelvollisten liikennevirtojen välityskykyä. Etenkin makrosimuloinnissa ja analyyttisessä mallinnuksessa virhe on systemaattinen ja merkittävä. Tässä tutkimuksessa tasoliittymien välityskykytarkasteluissa luotettavimmaksi osoittautui mikrosimulointiin perustuva VISSIM-ohjelmisto Väyläviraston ohjeistuksen mukaisin välityskykyparametrein käytettynä.

Aapo Lumikoivu, Claudio Roncoli, Åsa Enberg, Julia Wasenius: Kapacitet och kapacitetsberäkningar i korsningar utan trafiksignaler. Trafikledsverket. Helsingfors 2021. Trafikledsverkets publikationer 81/2021. 37 sidor och 19 bilagor. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-937-0.

Sammanfattning

I denna utredning undersöktes kapaciteten hos vägkorsningar utan signalreglering. Fältmätningarna gjordes med hjälp av flygfotografering. Fem livligt trafikerade korsningar i västra Nyland filmades med hjälp av drönare. Med hjälp av det insamlade materialet byggdes för varje korsning tre olika mikrosimuleringsmodeller, en makrosimuleringsmodell och en analytisk modell. Från de filmade, simulerade och analytiskt modellerade trafikflödena beräknades estimat för det kritiska tidsavståndet och kapaciteten. Dessutom uppskattades de använda metodernas tillämplighet och tillförlitlighet i den finska trafikmiljön.

Enligt resultaten i denna undersökning ger alla använda metoder rätt storleksordning för det kritiska tidsavståndet, men i medeltal en för stor kapacitet för de väjningspliktiga trafikströmmarna. Detta gäller i synnerhet makrosimuleringsmetoden och den analytiska metoden. I denna undersökning fick man de bästa resultaten för att uppskatta korsningars kapacitet genom att använda mikrosimulering med VISSIM och de parametrar som getts av Trafikledsverket.

Aapo Lumikoivu, Claudio Roncoli, Åsa Enberg, Julia Wasenius: An assessment of the capacity and capacity estimation models of unsignalized intersections. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2021. Publications of the FTIA 81/2021. 37 pages and 19 appendices. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-937-0.

Abstract

This study focuses on the capacity of unsignalized intersections, specifically the applicability of simulation and analytical tools for assessing capacity. In this study, a dataset was collected by aerial filming in five congested intersections in western Uusimaa. The video material was then used to build three different microsimulation models, a macrosimulation model and an analytical traffic model of each of the intersections. These models were used to produce datasets for the purpose of comparison and evaluation. For each of the yielding lanes, estimates of the critical gap time and capacity were calculated and compared to the filmed traffic. The suitability and reliability of the methods used in the study in the Finnish traffic environment were also assessed.

In this study, all chosen methods produce a usable estimate for the critical gap, but generally overestimate the capacity of each yielding lane. Particularly macrosimulation and analytical method produce a systematic and significant error in capacity estimates. In this study, the most accurate method for estimating capacity in unsignalized intersections was microsimulation with the Finnish Transport Infrastructure Agency VISSIM-parameters.

Esipuhe

Valo-ohjaamattomien tasoliittymien suunnitteluun liittyvät välityskykytarkastelut pohjautuvat Suomessa edelleen osin 1970- ja 1980-luvuilla kehitettyihin menetelmiin ja liikennemittauksiin. Tarkasteluohjeita on 2000-luvulla päivitetty pääosin ulkomaisen tutkimuksen ja kirjallisuuden avulla. Lisäksi suunnittelussa on otettu käyttöön ohjelmistoja, joiden toimivuutta suomalaisessa liikenneympäristössä on tarkasteltu verrattain vähän. Tässä tutkimuksessa suoritetaan yleisesti käytössä olevien välityskykytarkastelumenetelmien ja -ohjelmistojen toimivuuden arviointia vuonna 2019 kerätyn suomalaisen maastomittausaineiston pohjalta. Tämä tutkimus täydentää aiemmin tehtyjä välityskykytutkimuksia kiertoliittymissä (Ridanpää, 2016) ja moottoritie liittymissä (Anwar, 2015).

Työtä on ohjannut Väylävirastossa Jorma Saarelainen ja työ on suoritettu Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Rakennetun ympäristön laitoksella Maankäytön suunnittelun ja Liikennetekniikan tutkimusryhmässä.

Tutkimuksen vastuhenkilö on professori Claudio Roncoli ja päätoteutuksesta sekä -raportoinnista vastaa DI Aapo Lumikoivu. Liikennetekniikan asiantuntijana on toiminut DI Åsa Enberg ja tutkimusapulaisena Julia Wasenius.

Matti Kiljunen Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta on suorittanut tutkimuksessa käytetyt Synchro/Simtraffic -simuloinnit Aallon maastomittausmateriaalin pohjalta.

Helsingissä joulukuussa 2021

Väylävirasto
Väylien suunnittelu

Sisältö

1	JOHDANTO.....	9
1.1	Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusmenettely.....	9
1.2	Tutkimuksen teoriapohja ja taustatiedot.....	10
1.2.1	Kriittinen aikaväli.....	10
1.2.2	Suurimman uskottavuuden menetelmä.....	10
1.2.3	Kriittisen aikavälin menetelmä.....	11
2	TUTKIMUSMENETELMÄT JA OHJELMISTOT.....	13
2.1	Tutkimusliittymien ilmakuvaukset.....	13
2.2	Tutkimusaineiston käsittelyohjelmistot.....	14
2.2.1	Videokäsittely DataFromSky-palvelussa.....	14
2.2.2	Ajoneuvoaineistojen käsittely R-ohjelmoinnilla.....	15
2.3	Liikenteen simulointi- ja analyysiohjelmistot.....	17
2.3.1	Simulointi- ja analyysiohjelmistojen yleiskuvaus.....	17
2.3.2	PTV VISSIM 21.....	17
2.3.3	AIMSUN Next 20.....	19
2.3.4	SYNCHRO 10.....	19
2.3.5	DANKAP 3.1.....	20
3	TUTKIMUSKOhteET.....	21
3.1	Tutkimuskohteiden valinta.....	21
3.2	Tutkimuskohteet.....	22
3.2.1	Kolmihaaraliittymä kt50 – Sundsbergintie, Kirkkonummi.....	22
3.2.2	Kolmihaaraliittymä kt51 – Purokummuntie, Kirkkonummi.....	23
3.2.3	Vt2 pohjoinen ramppitasoliittymä, Lohja.....	24
3.2.4	Kt51 pohjoinen ramppitasoliittymä, Kirkkonummi.....	24
3.2.5	Nelihaaraliittymä kt51 – st 115, Siuntio.....	25
4	VÄLITYSKYKYTARKASTELUT.....	26
4.1	Tutkimusliittymien mitatut liikennevirrat ja välityskyky.....	26
4.2	Simuloidut ja analyttisesti mallinnetut liikennevirrat.....	28
4.3	Kriittiset aikavälit ja välityskyvyt.....	31
4.4	Välityskyvyn laskentamenetelmien vertailu ja arviointi.....	34
5	YHTEENVETO JA JATKOTUTKIMUSTARPEET.....	36
	LÄHDELUETTELO.....	37

LIITTEET

Liite 1	DANKAP kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 2	DANKAP kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu
Liite 3	DANKAP neliharaliittymä kt51, Siuntio, aamu
Liite 4	DANKAP kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 5	DANKAP ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltapäivä
Liite 6	DANKAP ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 7	SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 8	SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu

-
- Liite 9 SYNCHRO nelihaaraliittymä kt51, Siuntio, aamu
Liite 10 SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 11 SYNCHRO ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltapäivä
Liite 12 SYNCHRO ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 13 Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 14 Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu
Liite 15 Nomogrammi nelihaaraliittymä kt51, Siuntio, aamu
Liite 16 Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 17 Nomogrammi ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltapäivä
Liite 18 Nomogrammi ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä
Liite 19 Liittyvän liikenteen kuljettajien käyttäytyminen

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tutkimusmenettely

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan valo-ohjaamattomien tasoliittymien välityskykyä. Aiemmin on tutkittu kiertoliittymien ja moottoriteliittymien välityskykyä. Tutkimus toteutettiin kuvaamalla liikennettä ruuhkautuvissa liittymissä ja tarkastelemalla eri simulointiohjelmistojen ja laskentamenetelmien liittymien samoilla liikennemäärillä antamia välityskykytuloksia. Eri välityskykytarkastelumenetelmien soveltuvuutta suomalaisiin liikenneolosuhteisiin on näin pystytty arvioimaan.

Tutkimusta varten valittiin viisi risteystä Länsi-Uudeltamaalta, joiden liikenteestä ilmakuvaattiin videoaineisto välityskykytarkastelua varten. Liittymät valittiin ennalta tiedetyn ruuhkautumisherkkyyden perusteella Uudeltamaalta sekä tarkastelemalla niitä lisäksi liikennemäärien ja/tai kohdevierailujen avulla. Merkittävästi ruuhkautuvien liittymien löytäminen tutkimusta varten oli osin haastavaa, sillä liikennemääriltään suurilla tieosuuksilla on verrattain vähän valo-ohjaamattomia tasoliittymiä ja päätiellä alennettu nopeusrajoitus risteysalueella.

Liikennemittausten jälkeen valitut viisi risteystä mallinnettiin kahdella mikrosimulaatio-ohjelmistolla, yhdellä makrosimulaatio-ohjelmistolla ja yhdellä analyttisellä kapasiteetinlaskentaohjelmistolla. Mallinnettujen aineistojen avulla estimoitiin väistämisvelvollisten liikennevirtojen kriittistä aikaväliä ja liittymien välityskykyä. Tutkimuksen estimaatit mitattujen, simuloitujen ja laskennallisten kriittisten aikavälien ja välityskykyjen osalta sekä menetelmävertailu on esitetty luvussa 4.

Yhteenveto tutkimuksesta ja liittymien eri välityskyvyn laskentamenetelmien toimivuudesta suomalaisissa tieliikenneolosuhteissa sekä muut tutkimuksen johtopäätökset ja suositukset ovat luvussa 5.

Tämä tutkimus täydentää aiemmin tehtyjä välityskykytutkimuksia kiertoliittymissä (Ridanpää, 2016) ja moottoriteliittymissä (Anwar, 2015).

1.2 Tutkimuksen teoriapohja ja taustatiedot

1.2.1 Kriittinen aikaväli

Kriittisellä aikavälillä kuvataan väistämisvelvollisen ajoneuvon keskimääräistä mahdollisuutta ajaa läpi tai liittyä risteävään etuajo-oikeutettuun liikennevirtaan. Tässä tutkimuksessa mitattujen ja mikrosimuloitujen liikennevirtojen kriittiset aikavälit laskettiin *suurimman uskottavuuden menetelmällä*. Menetelmä on yleisin käytetty tapa kriittisten aikavälien estimointiin ja mm. amerikkalainen ohjekirja (HCM 2000) sekä saksalainen ohjekirja (HSB 2001) käyttävät suurimman uskottavuuden menetelmää (Luttinen, Pursula, & Innamaa, 2005). Menetelmää varten tarvittavat väistämisvelvollisten virtojen kuljettajien hylkäämät ja hyväksymät päävirtojen aikavälit saadaan havaitun ajoneuvoaineiston aikaväleista R-ohjelmoinnin avulla (luku 2.2.2).

1.2.2 Suurimman uskottavuuden menetelmä









Tutkimuksessa mittaamalla ja mikrosimuloimalla kerätyt ajoneuvoaineistot aikaväleineen ajettiin liittymäkohtaisen R-koodin läpi. Tulosteena saatiin jokaiselle ajoneuvolle aineistokohtainen kokonaispalveluaika, hyväksyty liittymisaikaväli, hylättyjen liittymisaikavälien määrä, suurin hylätty liittymisaikaväli ja jonotusaika. Kaikki aikavälit ovat bruttoaikavälejä eli ne on mitattu päävirran ajoneuvojen keulasta seuraavan ajoneuvon keulaan. Hyväksyty liittymisaikavälin ja suurimman hylätyn aikavälin avulla laskettiin kullekin sivuvirralla kriittinen aikaväli suurimman uskottavuuden menetelmällä.

Kriittisten aikavälien estimointi suoritettiin tässä tutkimuksessa suurimman uskottavuuden menetelmällä käyttämällä Rod Troutbeckin 2001 kehittämää kaavaan 1 perustuvaa numeerista laskentatyökalua. Suurimman uskottavuuden menetelmä on estimointimenetelmä, jonka mukaan jonossa ajavien ajoneuvojen aikavälien on havaittu noudattavan hyvin lognormaalijakaumaa. Menetelmässä lasketaan numeerisesti hyväksytyjen aikavälien ja suurimpien hylättyjen aikavälien avulla suurimman uskottavuuden omaavan jakauman odotusarvon parametrit μ ja σ . Näiden parametrien avulla voidaan laskea aikavälijakaumaa kuvaavan lognormaalijakauman odotusarvo $E(T)$, jonka on havaittu olevan hyvä estimaatti kriittisen aikavälin odotusarvolle. Odotusarvo t_c voidaan siten laskea kaavalla 1 (Luttinen, Pursula, & Innamaa, 2005).

$$t_c = E(T) = e^{2\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} \quad (1)$$

Taulukossa 1 on esitetty suomalaisissa liikenneolosuhteissa havaitut kriittisten aikavälien odotusarvot valo-ohjaamattomassa tasoliittymässä.

Taulukko 1: Kriittisten aikavälien oletusarvot kirjasta Liikennevirran ominaisuudet. (Luttinen, Pursula, & Innamaa, 2005)

	Päätien nopeusrajoitus (km/h)							
	50 km/h		60 km/h		80 km/h		100 km/h	
Liikennevirta								
Päävirta oikealle	4.0	-	4.5	-	5.5	-	6.0	-
Sivuvirta vasemmalle	4.0	5.0	4.5	5.5	6.5	7.0	7.0	7.5
Sivuvirta suoraan	5.0	6.0	5.5	6.5	7.0	7.0	7.0	7.5
Sivuvirta oikealle	5.5	6.3	6.0	6.8	7.0	8.0	8.0	8.8

Tässä tutkimuksessa tarkasteltujen liittymien välityskyvyn estimaatti liittymän läpäiseville sivuvirroille laskettiin *kriittisen aikavälin menetelmällä* laskemalla tarvittavat kriittiset aikavälit kaavalla 1.

1.2.3 Kriittisen aikavälin menetelmä

Kriittisen aikavälin menetelmässä liikennevirtaa mallinnetaan nestevirtausanalogialla, jossa ajoneuvojen oletetaan aina käyttävän järjestelmässä oleva tila. Menetelmä perustuu oletukseen, että ajoneuvjoukko on homogeeninen ja johdonmukainen, jolloin liikennevirtaan liittyvän tai sen kanssa risteävän ajoneuvon oletetaan siis aina hyväksyvän tai hylkäävän väistettävässä virrassa olevan aikavälin kriittisen aikavälin perusteella (Luttinen, Pursula, & Innamaa, 2005). Oletusten paikkansapitävyyttä voidaan arvioida mm. vertaamalla mitattujen maksimiliikennevirtojen suuruuden ja lasketun välityskyvyn suhdetta.

Menetelmässä päävirtojen ajoneuvojen aikavälit oletetaan eksponentiaalisesti jakautuneiksi, jolloin sivuvirtojen välityskyvyille voidaan laskea estimaatit jakauman tiheys- ja kertymäfunktioiden avulla. Kaavassa 2 on esitetty tässä tutkimuksessa käytetty sivuvirran korjaamattoman välityskyvyn C_i laskentatapa. Valo-ohjaamattomissa tasoliittymissä sivuvirroilla on yleensä useampia väistettäviä päävirtoja, jotka kaikki tulee ottaa huomioon välityskykyä estimoitaessa. Tämä suoritetaan summaamalla kaikkien väistettävien päävirtojen liikenne yhdeksi väistettäväksi virraksi välityskykyä laskettaessa ja korjaamalla saatua tulosta korjauskertoimilla X_i (kaava 3). Tämän tutkimuksen tuloksissa esitetyt välityskykyestimaatit on laskettu käyttämällä päävirtojen välityskyvyn mukaista korjauskerrointen tuloa ja raskaan liikenteen vaikutusta estimoivaa korjausfunktiota f_{RL} (kaavat 4 ja 5) (Luttinen, Pursula, & Innamaa, 2005) (HCM 2000).

$$C_i = \frac{\sum q_i e^{-\lambda t_c}}{1 - e^{-0.6\lambda t_c}} \quad (2)$$

q_i on väistettävän liikennevirran liikennemäärä (ajon./h), λ saapumisintensiteetti (ajon./s) ja t_c sivuvirran kriittisen aikavälin estimaatti.

$$X_i = \frac{1 - \frac{q_i}{2000}}{\frac{-q_i}{e^{2000}}} \quad (3)$$

$$C = C_i \prod X_N f_{RL} \quad (4)$$

$$f_{RL,i} = \frac{1}{1 + \frac{q_{RL,i}}{q_i}} \quad (5)$$

Kriittisten aikavälien estimaatit ja niiden pohjalta lasketut välityskyvyt on esitetty luvussa 4.

2 Tutkimusmenetelmät ja ohjelmistot

2.1 Tutkimusliittymien ilmakuvaukset

Tutkimusta varten kuvattiin videoaineisto viidestä tasoliittymästä ja niiden liikenteestä. Videomateriaali kuvattiin ilmakuvauksena kahdella kauko-ohjatulla miehittämättömällä ilma-aluksella (jatkossa nelikopteri). Käytetyt nelikopterit ovat kevyitä (omamassa noin 1 kg) ja niiden korkein sallittu lentotaso on 150 m merenpinnasta. Nelikoptereissa on kiinteällä laajakuvaobjektiivilla varustettu korkearesoluutioinen (4k) ja vakautusripustuksella kiinnitetty videokamera. Liikkuvia objekteja kuten liikenteen kuvaamista varten on kameran valotusaika ja muut ominaisuudet oltava laajasti säädettävissä. Käytetyillä kameroilla saatiin kuvattua käyttökelpoinen aineisto myös syysaamujen vaikeissa valaistusolosuhteissa, joissa ajoneuvojen valot ja katuvalot vaikuttavat kuvaukseen merkittävästi.

Nelikoptereissa on nimensä mukaisesti neljä vaakatasoon asennettua sähkömoottoreilla toimivaa propellia. Propellit pyörivät pareittain myötä- ja vastapäivään, jolloin propellien aiheuttama kiertovoima voidaan minimoida ja nelikopteri soveltuu siten hyvin kiinteään kohteeseen kuten liittymän ilmakuvaukseen. Käytetyissä nelikoptereissa on satelliittipaikannukseen perustuva ohjausohjelmisto, joka pyrkii pitämään laitteen paikallaan ilman ulkopuolista ohjausta. Näin mm. tuulen aiheuttamaa siirtymä pyritään estämään automaattisesti. Asentokorjauksista aiheutuu kuva-alaan pieniä muutoksia, joiden vaikutus kuvan geometriaan voidaan korjata jälkikäsitteilyssä pakottamalla kuvan suorat linjat (reunaviivat, kaiteet, lyhtypylväät, jne.) pysymään paikoillaan. Korjauksessa kuva-ala rajautuu hieman reunoilta, joka huomioidaan kuvausvaiheessa kuvakulman valinnassa.

Käytettyjen nelikoptereiden pisin kuvausaika on 15–25 minuuttia kerrallaan, jonka jälkeen laite lasketaan maahan akun vaihtoa varten. Kuvattu videomateriaali koostuu siten 15–25 minuutin jaksoista. Yhtenäisen tutkimusaineiston keräämistä varten kuvaus suoritettiin kahdella nelikopterilla siten, että toinen nelikopteri tuotiin kuvausasemaan ennen kuvaamassa olleen ohjaamista alas akunvaihtoon. Tällä menetelmällä kuvattiin videoaineisto, jossa videoiden alussa ja lopussa on päällekkäisyyttä seuraavan ja edeltävän videon kanssa. Videoiden alussa ja lopussa on myös jaksoja, joissa nelikopteria siirretään kuvausasemaan tai tuodaan alas akunvaihtoa varten. Kuvausten jälkeen videoille suoritettiin esikäsitteily, jossa aineistoista poistettiin nämä ylimääräiset osiot ja kuvausjaksot yhdistettiin yhtäjaksoiseksi kahden tunnin aineistoksi (kuva 1).



Kuva 1. Liikenteen ilmakuvasta kahdella nelikopterilla Kt51:n tutkimusliittymässä.

Videoiden esikäsittelyn jälkeen kuvattu materiaali syötettiin kaupalliseen DataFromSky -liikennemittauspalveluun.

2.2 Tutkimusaineiston käsittelyohjelmistot

2.2.1 Videokäsittely DataFromSky-palvelussa

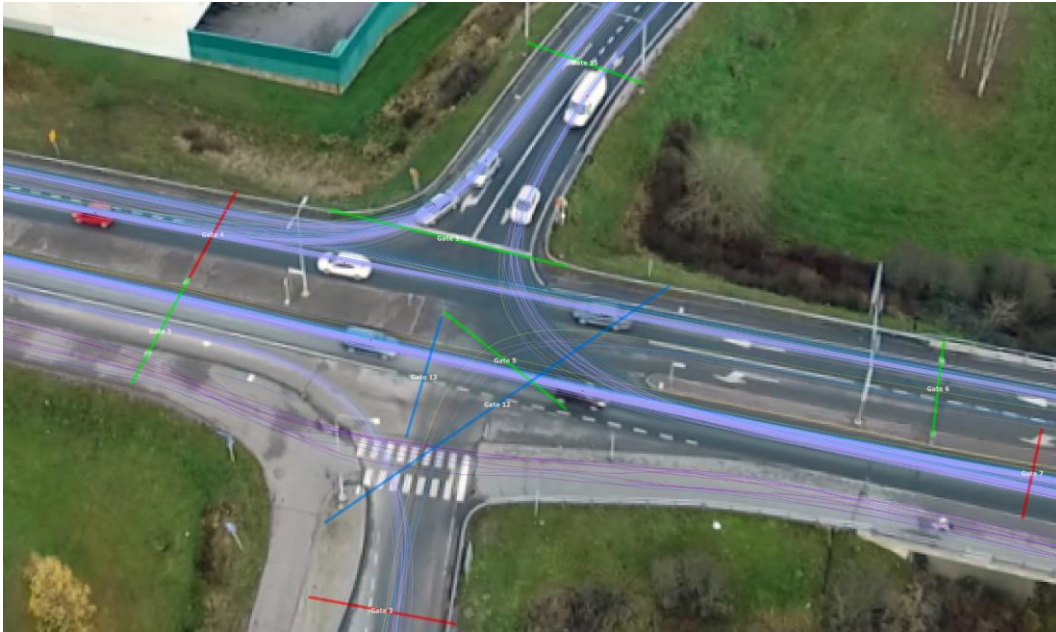
Tässä tutkimuksessa maastomittauksien tavoitteena oli tuottaa aineisto, josta tutkimusliittymien läpi ajavien liikennevirtojen aikavälit ja suuntautuminen voidaan selvittää yksittäisen ajoneuvon tarkkuudella tyypeittäin (kevyt ja raskas). Videoista yksittäiset ajoneuvot tunnistettiin konenäön avulla DataFromSky-palvelussa.

DataFromSky-palvelu on tsekkiläinen kaupallinen liikennemittauspalvelu, jonka Aerial-toiminto on suunniteltu juuri nelikoptereilla kuvatun aineistoin käsittelyyn (RCE Systems, 2021). Palvelu tunnistaa nelikopterin kääntyilemisen ja korjaa virhettä rajaamalla ja perspektiivikorjaamalla kuvaa videossa näkyvien suorien viivojen perusteella. Esimerkiksi tien reuna, silta tai valopylväät toimivat siis korjausalgoritmille kiintopisteinä kuvasiirtymän poistamiseksi. Korjattu video on hieman alkuperäistä rajatumpi näkymältään, joka huomioitiin kuvausvaiheessa jättämällä halutun kuvausalan reunoille tilaa nelikopterin kuvausnäkömää asetettaessa. Kuvassa 2 korjausrajaus näkyy vasemman reunan ja alareunan mustina kohtina.

Korjattu, paikallaan pysyvä ilmakehä mahdollistaa kuva-alalla näkyvän liikenteen tarkan mittaamisen. Ajoneuvot ja kevyt liikenne tunnistetaan kuvasta liikkeen ja muodon perusteella automaattisesti. Tunnistusalgoritmi perustuu optisen vuon menetelmään, jossa liikkuvan objektin pikselit saadaan erotettua paikallaan pysyvän taustan pikseleistä. DataFromSky-palvelu ottaa siis syötteeksi videon ja palauttaa jokaisen videolta löytämänsä liikkuvan objektin sijainnin ja koon jokaisessa videon kuvassa. Tässä tutkimuksessa palvelun jäljitystarkkuus todettiin erittäin hyväksi myös pimeässä kuvatusta aineistosta. Yksi sateella kuvattu aineisto jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska käytetty tunnistusalgoritmi ei toiminut riittävän tarkasti.

Objektien koon, muodon ja liikkeen perusteella palvelu tunnistaa myös ajoneuvo-tyypin (jalankulkija, kaksipyöräinen, henkilöauto, bussi tai kuorma-auto). Tässä tutkimuksessa tuloksissa on eritelty vain kevyet (henkilöautot) ja raskaat (bussit ja kuorma-autot) ajoneuvot. Palvelun tuottamasta datasta ja videosta voidaan lukea ajoneuvojen piste- ja matkanopeuksia sekä sijoittuminen tiellä ja liittymissä. Lisäksi

ohjelmaan voidaan erikseen piirtää tarkastuspisteitä, jotta saadaan halutut ajoneuvoyksilöt tarkempaan tarkasteluun (kuva 2).



Kuva 2. Kuvakaappaus DataFromSky-palvelun tuottamasta ajoneuvodatasta. Jokaisen kuva-alan läpi ajaneen ajoneuvon valitsema reitti on havainnollistettu väriiviivalla. Kuvassa näkyy myös ohjelmaan syötettyjä laskentaportteja.

Kuvassa 2 näkyy DataFromSky-palveluun asetettuja laskentaportteja Kirkkonummella sijaitsevassa ramppitasoliittymässä. Porttien avulla jokaisen liittymän läpi ajaneen ajoneuvon reitti tunnistettiin ja jokaiselle ajoneuvolle kirjattiin kuusi välityskylylaskennassa tarvittavaa ajankohtaa (lähestyminen, saapuminen, liittymisen aloittaminen, konfliktialueen ohitus, liittymisen päättymisen ja alueelta poistuminen).

Kuvassa 2 rampilla olevalle valkoiselle raskaalle ajoneuvolle saadaan palvelusta ajankohdat rampin liittymäalueelle saapumisesta (portti 15), liittymisen aloittamisesta (portti 1), konfliktialueen läpäisystä (portti 12) ja liittymisen päättymisestä (portti 7). Kaikille liittymän läpi ajaneille ajoneuvoille kirjattiin myös liittymäalueen lähestymis- ja poistumisajat (esimerkkipuolelta portit 16 ja 9 kuvan ulkopuolella). Videoista tuotetun ajoneuvojen aika-/paikka-aineiston käsittelyä varten kirjoitettiin käsittelykoodi R-ohjelmoinnilla.

2.2.2 Ajoneuvoaineistojen käsittely R-ohjelmoinnilla

R on ohjelmointikieli ja ohjelmointiympäristö tilastolliseen laskentaan ja grafiikan tuottamiseen. Kieltä käytetään data-analyysiin tieteellisessä tutkimuksessa ja kaupallisessa käytössä, kun tarkasteltava aineisto on kooltaan ja muodoltaan selvästi rajattu. Kielen ovat kehittäneet Aucklandin yliopistossa Uudessa-Seelannissa Ross Ihaka ja Robert Gentleman. Tekijät julkaisivat R:n avoimena lähdekoodina ja se on vapaasti saatavissa GNU GPL -lisenssin alaisena (Hornik, 2020).

Tässä tutkimuksessa tuotettiin jokaiselle liittymälle oma R-kielinen koodi. Koodi tarvitsee syötteekseen ajoneuvoaineiston, jossa kaikilla ajoneuvoilla on yksilöllinen tunniste ja tyyppi. Lisäksi ajoneuvoille tulee löytyä aineistosta luvussa 2.2.1 kuva-

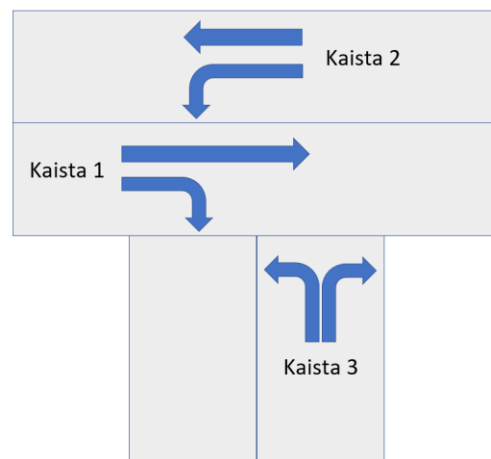
tut kuusi ajankohtaa. Koodi palauttaa syötteestä lasketun aineiston, jossa jokaiselle risteuksen läpi ajaneelle väistämisvelvolliselle ajoneuvoyksilölle on laskettu kokonaispalveluaika, hyväksyty liittymisaikaväli, hylättyjen liittymisaikavälien määrä, suurin hylätty liittymisaikaväli ja jonotusaika. Syötteenä koodille käytettiin liikennemittauksista saatua kokonaisaineistoa, viidentoista minuutin maksimiliikennemäärään perustuvaa tuntiliikenneainestoa ja VISSIMillä sekä AIMSUNilla mikro-simuloimalla saatuja tuntiliikenneaineistoja.

Luvussa 1.2.2 esitelty suurimman uskottavuuden menetelmä kriittisen aikavälin estimointiin perustuu ajoneuvon hyväksyty ja hylättyjen aikavälien tarkasteluun. Tämän takia tutkimuksen liikenneaineistoissa tyhjiin ja vapaaseen liittymään ajaneet ajoneuvot jätettiin huomioimatta kriittisiä aikavälejä estimoitaessa. Nämä ajoneuvot tunnistettiin aineistosta risteysalueella käytetyn nopeuden, päävirtojen aukkojen ja risteysalueiden näkemien perusteella liittymäkohtaisesti. Liittymäalue määriteltiin väistämisvelvollisen ajoneuvon kannalta tyhjäksi tilanteessa, jossa seuraava väistettävä ajoneuvo on näkyvän tiealueen rajalla tai ulkopuolella ja mahdollinen edellinen väistettävä on jo selvästi ohittanut liittymän. Määritelmän perusteella liittymä katsottiin tyhjäksi, kun edellinen liittymän ohittanut ja seuraava liittymän ohittava väistettävä ajoneuvo olivat liittymishetkellä 10 s päässä liittymästä päätieltä sivutielle kääntyvälle ja 12 s päässä sivutieltä päätielle kääntyvälle ajoneuvolle.

Liittyminen katsottiin vapaaksi ajoneuvojen liittymisen saapumis- ja päättymisajan kohtien perusteella taulukossa 2 esitettyjen aikarajojen mukaan. Nämä raja-arvot koostettiin maastomittausaineistosta erikseen tunnistamalla yksittäisiä tyhjän liittymän läpi pysähtymättä ajaneita ajoneuvoja. Esimerkiksi ramppitasoliittymässä kt51:llä Kirkkonummella rampilta saapuva ja vasemmalle kääntyvä ajoneuvo, jonka lähestymisen ja poistumisen välinen aikaväli on 7,3 s tai vähemmän, on ajanut yli 50 km/h keskinopeutta liittymäalueen läpi, jolloin ajoneuvon mahdollisen hylätyn ja hyväksyty aikavälin arvot eivät ole vertailukelpoisia muiden ajoneuvojen vastaavien kanssa. Kriittisen aikavälin estimoinnissa kaikki liittymään pysähtyneet, liittymän ohittavaan ajoneuvojonoon liittyneet tai liittymän selvästi hidastaen läpiajaneet ajoneuvot ovat mukana tarkastelussa.

Taulukko 2. Vapaasti liittyneiden ajoneuvojen aikarajat sekunteina ja liittymän kaistojen nimeämistapa. Ramppitasoliittymässä kt51:llä kaistajako on taulukon kuvasta poikkeava.

Kolmihaaraliittymä kt50	K2_vasemmalle	4
	K3_vasemmalle	7.5
	K3_oikealle	5.25
Kolmihaaraliittymä kt51	K2_vasemmalle	4
	K3_vasemmalle	11
	K3_oikealle	11
Ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen	K2_vasemmalle	4
	K3_vasemmalle	7.3
	K3_oikealle	8.54
Ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen	K2_vasemmalle	4
	K3_vasemmalle	10
	K3_oikealle	12
Nelihaaraliittymä kt51	K2_vasemmalle	5.6
	K3_vasemmalle	8.25
	K3_oikealle	8.9



2.3 Liikenteen simulointi- ja analyysiohjelmistot

2.3.1 Simulointi- ja analyysiohjelmistojen yleiskuvaus

Tämän tutkimuksen tavoitteena on vertailla simulointi- ja välityskykyohjelmistojen toteamaa tutkimusliittymien toimivuutta ja välityskykyä samoilla liikennemäärillä havaittuihin todellisiin toimivuus- ja välityskykyhavaintoihin. Tutkitut mikrosimulaatio-ohjelmistot ovat PTV VISSIM 21, AIMSUN Next 20, makrosimulaatio-ohjelmisto SYNCHRO 10 ja analyttiseen mallinnukseen perustuva ohjelmisto DANKAP 3.1.

Kaikki tämän tutkimuksen simuloinnit ja analyttinen mallinnus käyttävät syötteenään maastomittauksissa todetun ruuhkaisimman vartin liikennemääriä skaalattuna tuntiliikenteeksi. Simulointien suunnittelussa hyödynnettiin Väyläviraston vuonna 2013 julkaisemaa Tieliikenteen toimivuuden arviointi -ohjetta VISSIM-simuloinnin osalta (Liikennevirasto, 2013). Ohjeen perusteella oletettiin mikrosimuloinnin tarkkuuden parantuvan käyttämällä simulaatiomalleissa simuloiduille ajoneuvoille ohjeen mukaisia nopeuden ja ajoneuvoetäisyyksien parametriarvoja. Oletukselle haettiin vahvistus seuraamalla simulointimallin toimintaa simuloinnin aikana ja vertaamalla ilmakuvatun liikenteen ja simuloidun ajoneuvoliikenteen toimintaa perusasetuksin ja korjatuin parametrisetuksin. Väyläviraston ohjeessa on myös määritetty mikrosimulaatioissa käytettävä aika-askel, joka on PTV VISSIM 21 -ohjelmistossa vakiona sama (0,1 s) kuin ohjeessa.

Eri mikrosimulaatio-ohjelmissä ei käytetä simulointimallinnuksessa kaikilta osin samoja ohjausparametreja ja yhteistenkin parametrien laskenta- ja toimintalogiikka vaihtelee. Tarkasteltuihin kahteen mikrosimulaatio-ohjelmistoon voidaan kuitenkin määrittää omilla parametreillaan ajoneuvojen välisten etäisyyksien ja nopeuksien raja-arvoja. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että ohjelmistojen parametrien vakioasetukset tuottavat virhettä mallinnukseen mm. siten, että ajoneuvot voivat ajaa risteyksen läpi vakionopeudella kaarresäteestä riippumatta tai hyödyntää risteävän virran pienimmätkin vapaat välit. Parametrisetusten muuttaminen voi toisaalta kasvattaa virhettä mallin toiminnassa, joten VISSIM-ohjelmiston osalta muutokset rajattiin tässä tutkimuksessa olemassa olevan ohjeistuksen mukaisiksi.

DANKAP ja SYNCHRO antavat tulosteinaan suoraan ohjelmistojen keskinäiseen vertailuun soveltuvat liikennemäärät, kuormitusasteet, kriittiset aikavälit ja muut välityskykyä kuvaavat arvot. Tässä tutkimuksessa VISSIMillä ja AIMSUNilla mikrosimuloiduista liikennevirroista tunnistettiin maastomittausaineiston tapaan ohjelmakohtaisten laskentaporttien avulla jokaiselle liittymää käyttäneelle ajoneuvolle luvussa 2.2.1 kuvatut kuusi ajankohtaa. Näiden aika-aineistojen avulla jokaiselle mikrosimuloidulle ajoneuvolle laskettiin R-ohjelmointikielellä laadittujen liittymäkohtaisten koodien avulla kokonaispalveluaika, hyväksyty liittymisaikaväli, hylättyjen liittymisaikavälien määrä, suurin hylätty liittymisaikaväli ja jonotusaika. Näistä arvoista laskettiin ohjelmistojen vertailuun tarvittavat välityskykyestimaatit luvuissa 1.2.2 ja 1.2.3 kuvatuilla analyttisillä ja numeerisilla laskentamenetelmillä.

2.3.2 PTV VISSIM 21

PTV VISSIM 21 on saksalainen mikroskooppinen multimodaalinen simulointiohjelmisto, jota käytetään laajasti liikennetutkimuksessa ja -suunnittelussa. Jokaisesta viidestä tutkimusliittymästä rakennettiin VISSIM-simulaatiomalli (kuva 3), josta

ajettiin tunnin simulaatioaineisto sekä perusasetuksilla että Väyläviraston suositusasetuksilla (PTV VISSIM, 2021).



Kuva 3: VISSIM-mikrosimulaatio ramppitasoliittymästä Lohjalla (kansikuva on samasta liittymästä).

Ohjelmiston perusasetusten ja suositusasetusten eroa on tarkasteltu taulukossa 3. Tavoitenopeus liittymässä -parametrin suositusarvot on arvioitu kääntymisasteen perusteella tutkimuskohdekohtaisesti kaistoittain taulukon 2 mukaisella kaisamäärityllä.

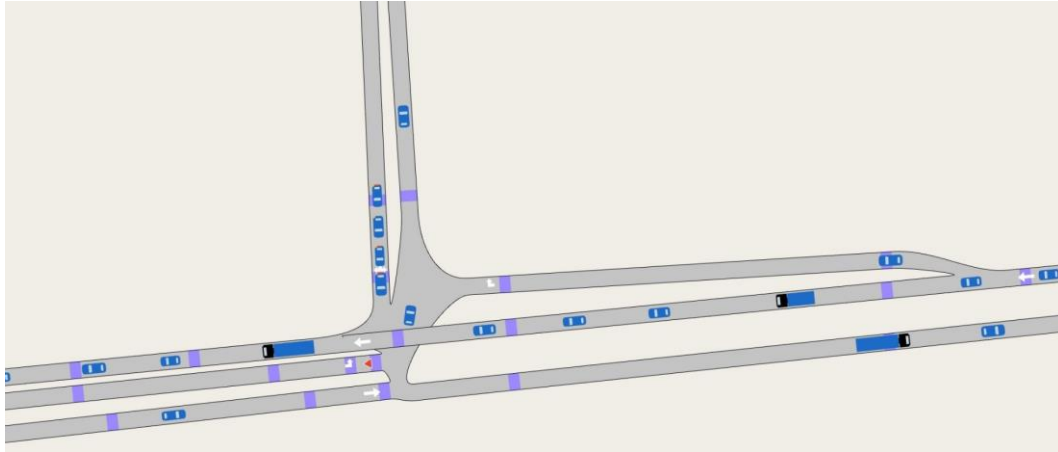
Taulukko 3: VISSIM-simulointiparametrit

Parametri	Parametriarvo	
	Oletus	Suositus
Aika-askel (s)	0,1	0,1
Pysähtyneiden ajoneuvojen keskietäisyys (m)	0,15–0,5	1,9
Tavoiteturvavälien lisäosuus	2	2,25
Tavoiteturvavälien lisäkerroin	3	3,25
Konfliktialueen turvavälin kerroin	0,6	1,5
Aikaväli eteen ja taakse (s)	0,5	0,5
Tavoitenopeus liittymässä (km/h)	Nopeusrajoitus	*

Tutkimuskohde	Tavoitenopeus liittymässä (km/h) *		
	Kaista 1	Kaista 2	Kaista 3
Kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi	40	20	37
Kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi	40	15	15
Ramppitasoliittymä kt51, Kirkkonummi	40	20	37
Ramppitasoliittymä vt2, Lohja	40	20	37
Nelihaaraliittymä kt51, Siuntio	40	20	37

2.3.3 AIMSUN Next 20

AIMSUN Next 20 on espanjalainen mikrosimulointiin perustuva liikennesuunnittelu- ja tarkasteluohjelmisto. Jokainen tutkimusliittymä mallinnettiin AIMSUNilla ja liikennettä simuloitiin tunnin verran ohjelmiston perusasetuksilla. Kuvassa 4 on näkymä kt51:llä Kirkkonummella sijaitsevan kolmihaaraliittymän simuloinnista AIMSUN Next -ohjelmistolla (AIMSUN Next, 2021).



Kuva 4. AIMSUN-mikrosimulaatio kolmihaaraliittymästä kt51:llä Kirkkonummella.

AIMSUNissa voidaan VISSIMin tapaan asettaa ajoneuvoille tavoitenopeuksia, etäisyysrajoituksia ja säätää simuloinnin aika-askelta. Käytettävät parametrit eivät kuitenkaan ole samoja ja laskentalogiikka ei myöskään ole sama kuin VISSIMissä. Tässä tutkimuksessa AIMSUNilla vakioasetuksilla simuloitaessa havaittiin parametriarvoissa virhettä etenkin liittymäalueen kaarrenoikeuksissa ja ajoneuvovälien pituuksissa verrattuna videokuvaamalla kerätyn todellisen liikenneaineiston havaintoihin. Näiden parametriarvojen korjaaminen olisi mahdollista niitä kokeellisesti muuttamalla, esimerkiksi käyttämällä VISSIMin suositusasetuksia soveltuvin osin. Tuloksissa todellista liikennettä suurempien nopeuksien ja pienempien välien tuottama virhe johtaa välityskyvyn yliarviointiin ja kriittisen aikavälin aliarviointiin. AIMSUN Next 20 -ohjelmiston vakioasetusten aika-askelen (0,8 s) lyhentäminen voisi myös pienentää välityskyvyssä ilmenevää virhettä.

2.3.4 SYNCHRO 10

SYNCHRO 10 on amerikkalainen makroskooppinen analyysi- ja optimointiohjelmistosovellus, jota käytetään liikenteen mallintamiseen ja liikenteen toimivuuden arviointiin. Synchron mallinnus perustuu amerikkalaiseen liikennestatistiikkaan (Highway Capacity Manuaali HCM 6 vuodelta 2010). Tätä tutkimusta varten Matti Kiljunen Varsinais-Suomen Ely-keskuksesta mallinsi kaikki viisi tutkimusliittymää suomalaiseseen liikenteeseen optimoiduilla asetuksilla ja suoritti simulointitarkastelut (Synchro, 2021). Näitä asetuksia käytettäessä ajoneuvojen pituus muutetaan lyhyemmäksi (vakioarvo 8 m muutetaan arvoon 6,5 m) ja simulointimalliin voidaan liittymän tarkastelun perusteella lisätä lyhyt (8–10 m) sivusuunnan lisäkaista, jos kaksi sivuvirran ajoneuvoa mahtuu todellisuudessa odottamaan liittymistä vierekkäin yksikaistaisella tiellä. Lisäksi pienin hyväksytty ajoneuvojen aikaväli asetetaan arvoon 0,4 s ja sivuvirran välityskyky asetetaan ohjelmiston minimiarvoon vasemmalle kääntyvien ajoneuvojen osalta, jos risteysalueella on näkemäesteitä.

2.3.5 DANKAP 3.1

DANKAP 3.1 on analyttinen laskentaohjelma, joka on kehitetty laskemaan mallinnettavan liittymän välityskyky, kuormitusaste, nopeudet, viiveet ja jonot. Kuvassa 5 on kolmihaaraliittymä kt50:ltä Kirkkonummelta mallinnettuna DANKAPilla. Kaikista tutkimusliittymistä laskettiin tunnin liikennemäärää vastaavan aineiston tunnusluvut ohjelman perusasetuksilla (Dankap, 2021).

Prioriteret kryds - Geometri og trafik

Masala

Vejgren Navn Afvikling af trafikstrømme i kørespor

Primærvej A Kehä3 itään

Primærvej B Kehä3 länteen

Sekundærvej C Ramppi Masalasta

Gradient 0 o/oo

Vejafmærkning Ubetinget vigepligt

Trafik Masala afternoon

Generel opskrivningsfaktor 1,00

Differentierede opskrivningsfaktorer

Tilbage Næste

Kuva 5. DANKAP-laskentaohjelmiston liittymämallinnus kolmihaaraliittymästä kt50:ltä Kirkkonummella.

3 Tutkimuskohteet

3.1 Tutkimuskohteiden valinta

Tutkimuskohteiden valintaa varten laadittiin lista mahdollisesti ruuhkautuvista tasoliittymistä läntisellä Uudellamaalla. Ruuhkautumista arvioitiin ensisijaisesti päätien ja liittyvän tien tai kadun liikennemäärien perusteella. Lisäksi suoritettiin maastokatselmuksia liittymissä, joiden arveltiin ruuhkautuvan. Näin liikennemäärien lisäksi ruuhkautumiseen mahdollisesti vaikuttava tiegeometria ja näkemät voitiin huomioida tutkimuskohteiden valinnassa.

Lopullista tutkimuskohteiden valintaa varten kuvattiin lyhytkestoinen koeaineisto (taulukko 4) kuudesta liittymästä. Ajankohdat valittiin arvioidun ruuhkautumisen perusteella ja koekuvauksen kesto oli noin 15 minuuttia jokaisessa kohteessa. Kantatien 51 liittymässä Kirkkonummella on STOP-merkki liittyville ja muissa liittymissä on kärkikolmiot. Näistä viisi ruuhkautuvinta liittymää valittiin varsinaisiksi tutkimuskohteiksi. Yhdestä liittymästä kuvattiin myös kahden tunnin yhtäjaksoinen aineisto ilmakuvausten pilotointia varten.

Taulukko 4. Koekuvatut liittymät.

Liittymä	Ajankohta	Nopeus päätiellä
Kt51 - st115, Siuntio	aamu 26.8.2019	60 km/h
Vt2 - yt1224, Vihti	aamu 27.8.2019	80 km/h
Kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi	iltapäivä 27.8.2019	80 km/h
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi	iltapäivä 27.8.2019	80 km/h
Kt51 pohjoinen ramppil. yt1191:lle, Kirkkonummi	iltapäivä 8.10.2019	60 km/h
Vt2 pohjoinen ramppiliittymä vt25:lle, Lohja	iltapäivä 8.10.2019	60 km/h

Tätä tutkimusta varten ei löydetty selvästi ruuhkautuvaa ja tyypiltään sopivaa liittymää, jossa päätien nopeusrajoitus olisi ollut 100km/h. Koekuvattu vt2:n risteys Vihdissä jätettiin tutkimuksesta pois, koska liikenteen ei havaittu siinä ruuhkautuvan. Muissa liittymissä havaittiin selvää ruuhkautumista ainakin yhden liittymää käyttävän liikennevirran osalta. Ennen valittujen viiden tutkimusliittymän liikennekuvauksia (taulukko 5) tehtiin vielä kahden tunnin yhtäjaksoinen koekuvaus Kirkkonummella kt50:n tutkimusliittymässä.

Taulukko 5. Tutkimusliittymien ilmakuvaukset syksyllä 2019.

Tutkimusliittymä	Ajankohta	Nopeus päätiellä	Huomioita
Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi	18.9.2019 iltapäivä	80 km/h	Nopeusvalvontakamera päätiellä ennen liittymää.
Nelihaaraliittymä kt51 - st115, Siuntio	26.9.2019 aamu	60 km/h	Nopeusvalvontakamera päätiellä ennen liittymää. Nelihaaraliittymä.
Kolmihaaraliittymä kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi	7.10.2019 iltapäivä	80 km/h	STOP-merkki Purokummuntiellä.
Pohjoinen ramppiliittymä vt2 vt25:lle, Lohja	24.10.2019 iltapäivä	60 km/h	Erkanemis- ja liittymisramppiliittymä.
Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi	5.11.2019 aamu	80 km/h	Nopeusvalvontakamera päätiellä ennen liittymää.
Nelihaaraliittymä kt51 - st115, Siuntio	6.11.2019 aamu	60 km/h	Nopeusvalvontakamera päätiellä ennen liittymää. Nelihaaraliittymä.
Pohjoinen ramppiliittymä kt51 yt1191:lle, Kirkkonummi	12.11.2019 iltapäivä	60 km/h	Rampilla STOP-merkki. Nelihaaraliittymä.
Pohjoinen ramppiliittymä vt2 vt25:lle, Lohja	18.11.2019 iltapäivä	60 km/h	Erkanemis- ja liittymisramppiliittymä. Mitausajankohta sumuinen.

3.2 Tutkimuskohteet

3.2.1 Kolmihaaraliittymä kt50 – Sundsbergintie, Kirkkonummi

Liittymä (kuva 6) valikoitui tutkimuskohteeksi koekuvauksessa havaitun sivutien liikenteen jonoutumisen takia. Kuvan yläreunassa näkyvältä Sundsbergintieltä kt50:lle itään ja länteen suuntautuva liikenne ruuhkautuu päätien suuren liikennemäärän takia. Liittymässä kuvattiin kahden tunnin aineisto sekä aamu- että iltapäiväruuhkasta.



Kuva 6. Kolmihaaraliittymä kt50 – Sundsbergintie, Kirkkonummi.

3.2.2 Kolmihaaraliittymä kt51 – Purokummuntie, Kirkkonummi

Liittymä (kuva 7) on kt51:n ja Purokummuntie-nimisen kadun liittymä. Kt51 muuttuu noin puoli kilometriä ennen liittymää nelikaistaisesta kaksikaistaiseksi, mistä aiheutuu iltapäivisin lähes yhtäjaksoinen länteen (kuvassa vasemmalle) suuntautuva liikennevirta. Purokummuntieltä kt51:lle liittyminen on siten hankalaa ja aiheuttaa pitkät liittymisen odotusajat pienelläkin liittyvällä liikennemäärällä. Lisäksi pää- ja sivutien korkeusasemien eron ja päätiellä lännessä olevan mäen takia näkemät päätien suuntaan ovat rajalliset, joka osaltaan vaikeuttaa sivusuunnalta liittymistä. Purokummunttiellä on suojatie, jolla ei mittauksen aikana havaittu juuriakaan liikennettä ja STOP-merkki. Liittymästä kuvattiin aineisto iltapäiväruuhkasta.



Kuva 7. Kolmihaaraliittymä kt51 – Purokummuntie (katu), Kirkkonummi.

3.2.3 Vt2 pohjoinen ramppitasoliittymä, Lohja

Tutkimuskohteessa vt2:n erkanemisramppi päättyy liittymään ja liittymisramppi alkaa liittymästä (kuva 8). Liittymä valittiin tutkimuskohteeksi Helsingin suunnasta vt2:lta saapuvan ja vt25:lle pyrkivän liikenteen jonoutumisen takia. Tässä tutkimuskohteessa sekä pää- että sivutie ovat valtateitä ja siten liikennemääriltään suuria. Kuvassa näkyvät jonottavat ajoneuvot ovat pääosin Helsingin suunnasta vt25:lle pohjoiseen (kuvassa vasemmalle) kääntyviä ajoneuvoja. Liittymän havaittiin ajoittain ruuhkautuvan siten, että ajoneuvojono ulottuu rampilla vt2:lle saakka. Kuvassa erkanemisrampista ja autojonosta näkyy vain osa. Liittymän liikennettä kuvattiin kahtena päivänä iltapäiväruuhkan aikaan, joista jälkimmäisen kuvauspäivän aineisto jouduttiin jättämään käsittelemättä ilmakehuista häirinneen sumun takia.



Kuva 8. Vt2 pohjoinen ramppitasoliittymä, Lohja.

3.2.4 Kt51 pohjoinen ramppitasoliittymä, Kirkkonummi

Tutkimuskohteessa kt51:n erkanemisramppi päättyy nelihaaraliittymään ja liittymisramppi alkaa liittymästä (kuva 9). Liittymä valittiin tutkimuskohteeksi Helsingin suunnasta (kuvassa ylhäällä) kt51:ltä yt1191:lle saapuvan ramppiliikenteen jonoutumisen takia. Kuvan alareunassa näkyvä kt51:lle johtava liittymisramppi on liikennemäärältään vaatimaton, mutta sen liikenne on mukana mittaus- ja simulointitarkasteluissa. Kuvauksissa erkanemisrampin havaittiin ruuhkautuvan koko pituudeltaan. Liittymässä oli kuvaushetkellä STOP-merkki rampilta saapuvalle liikenteelle. Kuvausten jälkeen (2020) liittymä on muutettu liikennevalo-ohjatuksi. Liittymästä kuvattiin aineisto iltapäiväruuhkassa.



Kuva 9. Kt51:n pohjoinen ramppitasoliittymä, Kirkkonummi.

3.2.5 Nelihaaraliittymä kt51 – st 115, Siuntio

Liittymä (kuva 10) valittiin tutkimukseen sivutieltä Siuntiosta aamuisin kt51:lle Helsinkiin suuntautuvan työmatkaliikenteen jonoutumisen takia. Kuvan alareunassa näkyvä yksityistie on lähes liikennöimätön, joten se jätetiin huomioimatta liittymän liikennettä laskettaessa ja simuloitaessa. Kuvan yläreunasta Siuntiosta kt51:lle pääosin vasemmalle Helsinkiin suuntautuva liikenne ruuhkautuu aamuisin merkittävästi. Liittymässä kuvattiin kaksi aineistoa aamuruuhkassa, joista tutkimukseen valittiin ensin kuvattu liikennemäärältään suurempi aineisto.



Kuva 10. Nelihaaraliittymä kt51 – st115, Siuntio.

4 Välityskykytarkastelut

4.1 Tutkimusliittymien mitatut liikennevirrat ja välityskyky

Tutkimusliittymistä kuvattiin välityskyvyn määrittämistä varten yhteensä kahdeksan kahden tunnin liikennevirta-aineistoa (taulukko 5), jotka käsiteltiin DataFromSky-palvelussa (ks. luku 2.2.1). Palvelun avulla jokainen kuvausosalalla liikunut ajoneuvo tunnistettiin käytetyn kaistan, kääntymissuunnan ja ajoneuvotyyppin osalta. Tiedot havaituista ajoneuvoista on koottu taulukkoon 6. Vt2 pohjoisen ramppitasoliittymän myöhempi mittaus oli liikennemäärältään ensimmäistä pienempi ja sumun takia konenäön toiminta ei ollut täysin luotettavaa, joten tämä aineisto rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Kt51:n neliharaliittymän jälkimmäisen mittauksen aikainen liikennemäärä oli ensimmäistä selvästi vähäisempi ja mikään suunta ei ruuhkautunut merkittävästi, joten myös tämä aineisto jätettiin jatkokesittelemättä. Simuloinnit ja välityskykytarkastelut suoritettiin siten kuuden mittausaineiston liikennemäärien perusteella.

Taulukko 6. Tutkimusliittymien liikennemäärät. Liikennemäärä ilmoitetaan kahden tunnin mittauksen tuntikeskiarvona ja MAX15-liikennemäärä on mittausjakson päätien ruuhkaisimman 15 minuutin jakson arvosta skaalattu tuntiliikennemäärä. Raskaan liikenteen osuudet on yhdistetty ajosuuntien osalta kaistoittain simulointi- ja laskentaohjelmistojen välisen vertailun mahdollistamiseksi.

Tutkimusliittymä	Kaista (ks. taulukko 2)	Suunta	Liikennemäärä q (ajon./h)	Raskaan liikenteen osuus q_{RL} %	Liikennemäärä MAX15 q (ajon./h)	Raskaan liikenteen osuus q_{RL} %
Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	447	19 %	493	11 %
		Oikealle	79		87	
	2	Suoraan	594	17 %	678	17 %
		Vasemmalle	188		214	
	3	Oikealle	139	16 %	129	15 %
		Vasemmalle	60		55	
Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu	1	Suoraan	390	21 %	568	13 %
		Oikealle	69		100	
	2	Suoraan	321	24 %	342	21 %
		Vasemmalle	96		102	
	3	Oikealle	159	12 %	206	10 %
		Vasemmalle	32		42	
Kolmihaaraliittymä kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	786	14 %	897	15 %
		Oikealle	278		315	
	2	Suoraan	329	17 %	450	14 %
		Vasemmalle	77		106	
	3	Oikealle	92	10 %	84	8 %
		Vasemmalle	13		12	
Vt2 pohjoinen ramppi liittymä vt25:lle, Lohja, ilta-päivä	1	Suoraan	456	22 %	539	19 %
		Oikealle	43		53	
	2	Suoraan	390	17 %	523	15 %
		Vasemmalle	208		281	
	3	Oikealle	132	13 %	143	18 %
		Vasemmalle	154		121	
Kt51 pohjoinen ramppi liittymä yt1191:lle, Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	797	11 %	971	9 %
		Oikealle	152		185	
	2	Suoraan	270	14 %	274	12 %
		Vasemmalle	29		30	
	3	Oikealle	521	11 %	576	10 %
		Vasemmalle	172		192	
Nelihaaraliittymä kt51 - st115, Siuntio, aamu	1	Suoraan	174	25 %	192	17 %
		Oikealle	99		108	
	2	Suoraan	414	17 %	455	13 %
		Vasemmalle	25		29	
	3	Oikealle	18	18 %	19	19 %
		Vasemmalle	282		297	

4.2 Simuloidut ja analyttisesti mallinnetut liikennevirrat

Tutkimusliittymistä rakennettiin kustakin kolme mikrosimulointimallia ja yksi analyttinen laskentamalli. Mikrosimulaatiomalleista kaksi tehtiin VISSIMillä, yksi AIM-SUNilla ja analyttinen laskentamalli DANKAPilla. Lisäksi liittymistä tehtiin makrosimulaatiomallinnus SYNCHROlla. SYNCHRO-simuloinnit tähän tutkimukseen suoritti Matti Kiljunen Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta.

Kaikkien mallien liikennemääräsyötteinä käytettiin liikennemittauksista laskettuja MAX15-liikennemääriä tuntiliikenteeksi muunnettuna, liikennesuuntautumista ja raskaan liikenteen osuutta (taulukko 6). Tutkimusliittymien toiminnallisesti ruuhkaisin mitattu viidentoista minuutin jakso valittiin simulointien tuntiliikennemäärän syötteeksi, jotta saataisiin käsitys mallien toiminnasta erityisesti silloin, kun liittymän välityskyky ylittyy tai on lähellä ylittymä. Simuloinnin kestoksi valittiin yksi tunti ja simulointimallien muodostamien tarkasteluliikennevirtojen liikennemäärät ja raskaan liikenteen osuudet on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Mikrosimulointimallien liikennemäärät ja raskaan liikenteen osuudet. Simulointijakson pituus 1h ja syötteenä käytetty MAX15-mittauksen skaalattuja tuntiliikennearvoja.

Tutkimusliittymä	Kaista (ks. taulukko 2)	Suunta	Liikennemäärä ja raskaan liikenteen osuus (%)					
			VISSIM perusas.		VISSIM suositusas.		AIMSUN	
			q	q _{RL} %	q	%	q	q _{RL} %
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	500	11 %	497	11 %	443	9 %
		Oikealle	80		79		63	
	2	Suoraan	671	18 %	668	19 %	638	17 %
		Vasemmalle	216		212		221	
	3	Oikealle	123	15 %	122	15 %	121	20 %
		Vasemmalle	59		59		56	
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu	1	Suoraan	570	13 %	567	13 %	548	10 %
		Oikealle	99		97		104	
	2	Suoraan	342	23 %	341	24 %	339	28 %
		Vasemmalle	101		99		129	
	3	Oikealle	196	10 %	195	10 %	197	12 %
		Vasemmalle	50		50		37	
Kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	887	15 %	884	15 %	885	14 %
		Oikealle	325		322		324	
	2	Suoraan	459	14 %	452	14 %	478	13 %
		Vasemmalle	93		92		91	
	3	Oikealle	76	9 %	76	9 %	86	11 %
		Vasemmalle	17		16		15	
Vt2 pohjoisen ramppi-liittymä vt25:lle, Lohja, ilta-päivä	1	Suoraan	538	22 %	538	22 %	516	16 %
		Oikealle	54		54		61	
	2	Suoraan	520	15 %	520	15 %	528	14 %
		Vasemmalle	280		275		282	
	3	Oikealle	142	17 %	77	15 %	130	17 %
		Vasemmalle	120		66		117	
Kt51 pohjoisen ramppi-liittymä yt1191:lle, Kirkkonummi, ilta-päivä	1	Suoraan	966	9 %	964	9 %	960	8 %
		Oikealle	186		186		184	
	2	Suoraan	273	11 %	270	11 %	267	11 %
		Vasemmalle	32		31		27	
	3	Oikealle	517	11 %	482	10 %	480	10 %
		Vasemmalle	168		144		158	
Kt51 - st 115, Siuntio, aamu	1	Suoraan	182	16 %	180	16 %	184	16 %
		Oikealle	117		117		107	
	2	Suoraan	448	13 %	445	13 %	431	16 %
		Vasemmalle	33		33		34	
	3	Oikealle	18	22 %	18	22 %	18	16 %
		Vasemmalle	296		294		299	

Kuvissa 11 ja 12 on esitetty esimerkki väistämivelvollisen sivuvirran ruuhkautumisesta mikrosimulaatiomallissa ja oikeassa liikennetilanteesta. Kuvassa 11 VISSIM-simulaation valkoinen raskas ajoneuvo ei pääse liittymään päävirtaan ja ruuhkauttaa sivuvirran, vaikka liikennemäärä sivuvirrassa on verrattain pieni. Kuva 12 on samasta paikasta todellisessa liikennetilanteesta, jossa katu ruuhkautuu raskaan ajoneuvon takia koko pituudeltaan ja palveluajat nousevat minuutteihin.



Kuva 11. Kolmihaaraliittymän VISSIM-simulaatio käynnissä.



Kuva 12. Kolmihaaraliittymän sivusuunta jonoutuu raskaan ajoneuvon takia. Kadun pituus ei tilanteessa riittänyt jonottaville ajoneuvoille ja osa liikenteestä kääntyi jonosta pois käyttämään vaihtoehtoista reittiä.

4.3 Kriittiset aikavälit ja välityskyvyt

Mitattujen ja mikrosimuloitujen liikennevirtojen kriittisiä aikavälejä estimoitiin suurimman uskottavuuden menetelmällä (luku 1.2.2). Nämä ja DANKAPin sekä SYNCHRON tuottamat kriittisten aikavälien estimaatit on esitetty tutkimusliittymäkohtaisesti liikennemäärien mukaan järjestettynä taulukossa 8. Siuntion nelihaara-liittymässä kt51 - st115 liikenne suuntautuu aamuruuhkassa lähes kokonaan Helsinkiin, minkä seurauksena kerätyssä ja mikrosimuloidussa aineistossa ei ole tarpeeksi (> 10) väistämään joutuneita ajoneuvoja kriittisen aikavälin estimoimiseksi kaikille väistämisvelvollisille ajosuunnille. Samasta syystä muitakin liittymäkohtaisia yksittäisten suuntien kriittisen aikavälin estimaatteja puuttuu. Kriittisten aikavälien estimaattien keskihajonta on mitatussa aineistossa paikoin varsin suurta, mikä aiheutuu ainakin osin kuljettajista, jotka eivät liittyneet pitkäänkään vapaaseen liikennevirran aikaväliin vaan jäivät odottamaan edelleen liittymän vapautumista.

Taulukko 8. Kriittisten aikavälien estimaatit t_c ja keskihajonnat δ sekunneissa liittymien kokonaisliikennemäärän mukaisessa järjestyksessä. Osalle liittymien suunnista ei voitu laskea estimaattia liian pienen ajoneuvomäärän takia.

Tutkimusliittymä	Liittymän havaittu kokonaisliikennemäärä (ajon./h)	Kaista ja suunta (ks. taulukko 2)	Mit-tausai-neisto	Mit-tausai-neisto MAX15	VIS-SIM pe-rusas	VISSIM suosi-tusas.	AIM-SUN	DAN-KAP	SYNCHRO
			t_c (s) { δ (s)}						
Kt51 pohjoinen ramppiliittymä yt1191:lle, Kirkkonummi, iltapäivä	2228	K2 vasemmalle	5.1 {3.8}	-	5.7 {2.4}	5.5 {3}	-	5.7 {2.5}	4.2
		K3 vasemmalle	5 {4}	5.2 {4.7}	5.7 {1.8}	5.5 {1.8}	4.8 {3.4}	7.3 {3.7}	7.2
		K3 oikealle	6.7 {3.4}	6.3 {2.4}	5.2 {5.7}	5.3 {4.3}	5.9 {5}	7.5 {3.4}	6.3
Kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi, iltapäivä	1864	K2 vasemmalle	5.6 {2.5}	5.5 {2.2}	4.6 {3.3}	5.4 {3.6}	-	5.7 {2.5}	4.2
		K3 vasemmalle	7.7 {2.1}	-	5.5 {1.7}	6.5 {1.8}	-	7.3 {3.7}	6.5
		K3 oikealle	7.2 {2.4}	7.7 {2.3}	6.1 {2.6}	6.5 {2.3}	5.7 {2.6}	7.5 {3.4}	6.3
Vt2 pohjoinen ramppiliittymä vt25:lle, Lohja, iltapäivä	1660	K2 vasemmalle	5.5 {3}	5.2 {3.1}	4.4 {2.9}	5.3 {3}	5.7 {3.8}	5.7 {2.5}	4.2
		K3 vasemmalle	6.9 {4.8}	5.8 {4.6}	5.9 {2.2}	6.3 {2.3}	4.5 {2.9}	6.8 {3.7}	6.6
		K3 oikealle	7.3 {2.9}	6.6 {3.8}	6.9 {3.6}	6.7 {4.7}	6.9 {5.9}	7 {3.4}	6.4
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, iltapäivä	1656	K2 vasemmalle	5.7 {3.4}	6.5 {3.5}	-	5.6 {6.3}	-	5.7 {2.5}	4.1
		K3 vasemmalle	5.9 {4.1}	4.3 {2.4}	4.7 {2.2}	4.4 {2.1}	3.8 {3.3}	6.8 {3.7}	6.4
		K3 oikealle	7.5 {3.2}	7.2 {2.7}	5.9 {3.2}	6.7 {4}	6 {4.4}	7 {3.4}	6.2
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu	1360	K2 vasemmalle	5.5 {5.1}	5.2 {5.1}	-	6.1 {6.5}	4.3 {3}	5.7 {2.5}	4.3
		K3 vasemmalle	7 {3.8}	-	5.3 {3}	5.5 {2}	5 {5.2}	6.8 {3.7}	6.5
		K3 oikealle	7.6 {4.1}	7.6 {3.7}	5.8 {3}	6.3 {3.4}	6.3 {4.8}	7 {3.4}	6.3
Kt51 - st115, Siuntio, aamu	1100	K2 vasemmalle	-	-	-	-	-	5.7 {2.5}	4.2
		K3 vasemmalle	7.2 {10.6}	7 {10.8}	6.1 {2.5}	6.9 {2.5}	5.5 {4.9}	6.8 {3.7}	6.6
		K3 oikealle	-	-	-	-	-	7 {3.4}	6.4

Kriittisten aikavälien avulla mikrosimuloituille ja mitatuille liikennevirroille laskettiin välityskykyjen estimaatit kriittisen aikavälin menetelmällä (luku 1.2.3). Nämä ja vastaavat välityskyvät DANKAPista ja SYNCHRO-simuloinneista kuvataan tutkimusliittymäkohtaisesti liikennemäärien mukaan järjestettyinä taulukossa 9. Suunnille, joille ei voitu määrittää kriittisen aikavälin estimaattia ei voitu laskea myöskään välityskykyestimaattia. Taulukossa on myös Väyläviraston tasoliittymäohjeen nomogrammien (liitteet 13–18) avulla estimoidut välityskyvät.

Taulukko 9. Välityskykyestimaatit C (ajon./h) väistämisvelvollisille ajosuunnille tutkimusliittymien kokonaisliikennemäärän mukaan. Osalle suunnista ei voitu laskea estimaattia liian pienen tarkasteltavan ajoneuvomäärän takia.

Tutkimusliittymä	Liittymän havaittu kokonaisliikennemäärä	Kaista ja suunta (ks. taulukko 2)	Liikennemäärä MAX15	Mittausaineisto	MittausaineistoMAX15	VISSIM perusas.	VISSIM suositusas.	AIMSUN	DANKAP	SYNCHRO	NOMOGRAMMIT
Kt51 pohjoinen ramppliittymä yt1191:lle, Kirkko-nummi, iltapäivä	2228	K2_vasemmalle	30	343	-	250	208	-	231	500	310
		K3_vasemmalle	192	283	188	217	168	212	93	96	140
		K3_oikealle	576	246	208	391	325	208	613	662	365
Kt51 - Purokumuntie (katu), Kirkko-nummi, iltapäivä	1864	K2_vasemmalle	106	227	177	378	185	-	353	442	350
		K3_vasemmalle	12	75	-	194	69	-	32	71	70
		K3_oikealle	84	223	155	310	232	367	195	271	400
Vt2 pohjoinen ramppliittymä vt25:lle, Lohja, iltapäivä	1660	K2_vasemmalle	281	505	489	679	483	401	803	803	570
		K3_vasemmalle	121	137	118	178	95	223	48	48	100
		K3_oikealle	143	360	371	363	360	280	376	433	620
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, iltapäivä	1656	K2_vasemmalle	214	502	378	-	481	-	465	856	530
		K3_vasemmalle	55	141	215	288	208	269	61	61	120
		K3_oikealle	129	349	346	497	392	426	430	461	570
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu	1360	K2_vasemmalle	102	571	479	-	355	579	425	729	570
		K3_vasemmalle	42	203	-	320	241	216	145	140	195
		K3_oikealle	206	388	292	494	403	354	389	404	610
Kt51 - st115, Siuntio, aamu	1100	K2_vasemmalle	29	-	-	-	-	-	725	967	-
		K3_vasemmalle	297	288	273	384	293	337	301	309	380
		K3_oikealle	19	-	-	-	-	-	-	633	-

Taulukossa 10 on esitetty vertailtavien estimointimenetelmien tuottamat kuormitusasteet.

Taulukko 10. Kuormitusaste-estimaatit p liikennemäärän ja välityskyvyn suhteena väistämivelvollisille ajosuunnille liittymätyypin ja kokonaisliikennemäärän mukaan järjestettyinä. Osalle suunnista ei voitu laskea estimaattia liian pienen ajoneuvomäärän takia.

Tutkimusliittymä	Liittymän ha-vaittu kokonaisliikennemäärä	Kaista ja suunta (ks. taulukko 2)	Välityskyky	Mittausaineisto	Mittausaineisto MAX 15	VISSIM perusas.	VISSIM suositusas.	AIMSUN	DANKAP	SYNCHRO
Kt51 pohjoisen ramppi-liittymä yt1191:lle, Kirkkonummi, iltapäivä	2228	K2_vasemmalle	343	0.08	-	0.13	0.15	-	0.13	0.06
		K3_vasemmalle	283	0.61	1.02	0.78	0.86	0.74	2.06	2.00
		K3_oikealle	246	2.12	2.77	1.32	1.48	2.31	0.94	0.87
Kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi, iltapäivä	1864	K2_vasemmalle	227	0.34	0.60	0.25	0.50	-	0.30	0.24
		K3_vasemmalle	75	0.17	-	0.09	0.23	-	0.38	0.17
		K3_oikealle	223	0.41	0.54	0.25	0.33	0.23	0.43	0.31
Vt2 pohjoisen ramppi-liittymä vt25:lle, Lohja, iltapäivä	1660	K2_vasemmalle	505	0.41	0.57	0.41	0.57	0.70	0.35	0.35
		K3_vasemmalle	137	1.12	1.03	0.68	0.69	0.52	2.54	2.50
		K3_oikealle	360	0.37	0.39	0.39	0.21	0.46	0.38	0.33
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, iltapäivä	1656	K2_vasemmalle	502	0.37	0.57	-	0.44	-	0.46	0.25
		K3_vasemmalle	141	0.43	0.26	0.21	0.28	0.21	0.90	0.90
		K3_oikealle	349	0.40	0.37	0.25	0.31	0.28	0.30	0.28
Kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu	1360	K2_vasemmalle	571	0.17	0.21	-	0.28	0.22	0.24	0.14
		K3_vasemmalle	203	0.16	-	0.16	0.21	0.17	0.29	0.30
		K3_oikealle	388	0.41	0.71	0.40	0.48	0.56	0.53	0.51
Kt51 - st115, Siuntio, aamu	1100	K2_vasemmalle	-	-	-	-	-	-	0.04	0.03
		K3_vasemmalle	288	0.98	1.09	0.77	1.00	0.89	1.05	0.96
		K3_oikealle	-	-	-	-	-	-	-	0.03

DANKAPilla tehtyjen analyttisten laskentamallien tulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteissä 1–6 ja SYNCHROlla tehtyjen makrosimulaatiomallien tulokset liitteissä 7–12. Lisäksi liitteissä 13–18 ovat välityskykyestimaatit nomogrammeihin perustuvina.

4.4 Välityskyvyn laskentamenetelmien vertailu ja arviointi

Parhaiten maastomittauksia keskimäärin vastaavat estimaatit tasoliittymien välityskyvyille saatiin tutkimuksessa VISSIM-ohjelmistolla Väyläviraston liikenteen toimivuuden arviointiohjeen suositusparametrejä käyttämällä. Yleisesti voidaan arvioida, että kaikki simulointi- ja välityskykyohjelmistot – kuten myös nomogrammit – yliarvioivat välityskykyä paikoin selvästi, mutta kuitenkin tunnistavat ruuhkautuvat sivuvirrat (kuormitusaste lähellä tai yli 1) varsin hyvällä tarkkuudella. DANKAPin ja SYNCHRON kriittisten aikavälien estimaatit sivutieltä vasemmalle kääntyville olivat tarkkuudeltaan hyväksyttäviä, mutta vastaavat estimaatit välityskyvyille ja siten myös kuormitusasteelle olivat säännöllisesti selvästi virheellisiä. Tämän tutkimuksen perusteella nämä ohjelmat aliarvioivat välityskykyä selvästi ajosuunnille, joiden tulee väistää kahta muuta liikennevirtaa ja yliarvioivat muunlaisten väistämisvelvollisten ajosuuntien välityskykyä.

Erityisesti Kirkkonummen nelihaarisessa ramppitasoliittymässä sekä DANKAP että SYNCHRO tuottavat selvästi virheellisen lopputuloksen estimoidessaan ramppien välityskykyä ja kuormitusastetta. SYNCHRON osalta tuloksissa voidaan havaita vasemmalle kääntyvien liikennevirtojen systemaattinen virhe välityskykyestimaateissa. Pääsuunnan vasemmalle kääntyvien välityskyky arvioidaan SYNCHROssa noin kaksinkertaiseksi ja sivusuunnan vasemmalle kääntyvien noin puoleksi verrattuna vastaaviin muiden menetelmien estimaatteihin ja maastomittausten havaintoihin. Nomogrammeilla systemaattisia lähes kaksinkertaisia välityskyvyn arvoja havaittiin etenkin sivuvirrasta oikealle liittyville.

Mikrosimulaatiomalleista saadut välityskykytulokset vastaavat kokonaisuutena selvästi parhaiten maastomittausten havaintoja. Vaikka väistämisvelvollisten suuntien mikrosimuloidut välityskyvyt ovat todellisia suurempia, suuntien välityskykyjen keskinäinen suuruussuhde vastaa hyvin havaittuja todellisia välityskykyjen suhteita. Väyläviraston liikenteen toimivuuden arviointiohjeen suositusparametrejä käytettäessä kahdessa VISSIM-mikrosimulaatiomallissa pieni osuus (noin 5 %) syötteen mukaisesta liikenteestä ei simulointiaikana syntynyt ruuhkautuneen liittymän muun liikenteen täyttäessä niille tarkoitetut ajokaistat. Näistä kahdesta mallista saatiin simulaatiovirheestä huolimatta välityskykyestimaateille arvot, jotka ovat lähempänä liikennemittauksesta saatuja välityskykyarvoja kuin analyttisin menetelmin tai makrosimuloimalla tuotetut vastaavat.

Tutkimuksessa simulointien ja analyttisten menetelmien liikennemääräsyötteinä käytettiin päätien ruuhkaisimman havaitun vartin aikajakson mukaisia tuntiliikennemääriä. Osassa liittymistä yksittäisten sivuvirtojen liikenne ei ole huipussaan päätien huipputuntiliikenteen aikana, mikä voidaan havaita vertaamalla koko mitausjakson mukaista välityskykyestimaattia ruuhkaisimman vartin vastaavaan. Kun kahden tunnin tutkimusaineistosta laskettu välityskykyestimaatti on pienempi kuin pääsuunnan ruuhkavartin aikainen, on valittu ajanjakso ollut sivuvirtojen osalta vähemmän ruuhkainen. Pääsääntöisesti päätien huipputuntiliikenteen tarkastelujakso antaa kuitenkin realistisemmän kuvan koko liittymän välityskyvystä hetkinä jolloin kuormitus on suurinta.

Tässä tutkimuksessa suurimman uskottavuuden menetelmä tuotti kaikista liikenneaineistoista uskottavat estimaatit kriittisille aikaväleille. Estimaatit ovat hyvin lähellä voimassa olevia ohjearvoja (taulukko 1), vaikka keskihajonta onkin paikoin suurta. Mittauksissa osan kuljettajista havaittiin olevan epäloogisia valitessaan liittymisaikavälin, joka on suurinta hylättyä aikaväliä lyhyempi. Kuljettajien epäloogisuus on vastoin suurimman uskottavuuden ja kriittisen aikavälin estimointimenetelmien perusoletuksia, joten siitä aiheutuu virhettä estimaatteihin.

Merkittävän osan (paikoin yli 50%) kuljettajista havaittiin tietyissä liittymissä tiettyihin suuntiin kääntyessään odottavan koko liittymäalueen vapautumista, vaikka väistettävissä liikennevirroissa olisi muutenkin ollut riittävän pitkiä aikavälejä kääntymiseen. Tätä käytöstä havaittiin etenkin liittymissä, joissa näkemät ovat rajalliset. Kuljettajien liittymiskäyttäytymistä havainnollistetaan liitteessä 19. Kokonaisuutena arvioiden valittu tutkimusmenetelmä tuottaa kuitenkin uskottavat estimaatit tutkimusliittymien välityskyvystä ja mahdollistaa siten vertailun mittaushavaintojen sekä simuloitujen ja analyttisesti mallinnettujen estimaattien välillä.

5 Yhteenveto ja jatkotutkimustarpeet

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin viiden valo-ohjaamattoman tasoliittymän välityskykyä maastomittausaineiston pohjalta sekä välityskykytarkasteluihin tarkoitettujen liikenteen simulointi- ja analyysiohjelmistojen toimivuutta ja luotettavuutta yksittäisten tasoliittymien välityskykyä tarkasteltaessa. Tutkimuksessa parhaiten todellista liikennettä vastaavat estimaatit kriittiselle aikavälille, välityskyvylle ja kuormitusasteelle saatiin mikrosimuloinnilla käyttämällä simulointiohjelmistossa Väyläviraston liikenteen toimivuuden arviointiohjeen suositusparametriarvoja. Ajoneuvojen välistä etäisyysparametriarvoa kasvatetaan ja ajoneuvojen tavoitenopeusparametriarvoa liittymäalueella pienennetään perusarvostaan ajosuunnan kääntymisäteen pienentyessä. Tutkimuksen perusteella makrosimulointi ja analyttinen mallinnus antavat käyttökelpoiset estimaatit kriittiselle aikavälille, mutta ohjelmistojen estimaatit välityskyvylle ja kuormitusasteelle ovat selvästi virheellisiä. Nomogrammit yliarvioivat välityskykyä muita mallinuksia vastaavalla tavalla, etenkin sivuvirrasta oikealle liittyville ajoneuvoille menetelmä antaa systemaattisesti liian suuren välityskyvyn. Yleishavaintona voidaan todeta, että kaikki tutkimuksessa käytetyt mallinnusohjelmistot yliarvioivat liittymän välityskykyä.

Estimoinnissa käytetyt suurimman uskottavuuden menetelmä ja kriittisen aikavälin menetelmä antoivat liittymätyypin odotusarvojen mukaisia arvoja, joskin kriittisten aikavälien keskihajonta on paikoin suurta. Menetelmien perusoletukset kuljettajien loogisesta käyttäytymisestä eivät kaikissa liittymissä mittausten perusteella toteudu. Havaintojen perusteella merkittävä osa kuljettajista käyttäytyy liittymäalueella liikennevirtaan liittyessään epäloogisesti. Osa kuljettajista hylkää pidempiä välejä kuin lopulta hyväksyy tai odottaa risteysalueen vapautumista, vaikka etuajoi- oikeutetussa liikennevirrassa olisi pitkiäkin vapaita välejä liittymistä varten.

Tarkastelun perusteella tutkimusta kannattaisi laajentaa selvittämällä Väyläviraston liikenteen toimivuuden arviointiohjeen suositusparametriarvojen toimivuutta AIMSUN-ohjelmistossa ja tarkastelemalla muidenkin ajoneuvojen välisten etäisyyksien ja liittymäalueen tavoitenopeuden simulointiparametriarvojen säätämisen mahdollisuutta. VISSIM-ohjelmistossa käytettyjä suositusparametriarvoja varioimalla ja ohjelmakohtaisesti soveltamalla voisi parantaa muidenkin menetelmien estimointitarkkuutta. Myös simulointiajan kasvattaminen ja simuloinnin aika-askeleen lyhentäminen voisi parantaa menetelmien tarkkuutta. Lisäksi kriittistä aikaväliä voisi estimoida tässä tutkimuksessa käytetyn menetelmän sijaan esimerkiksi Raffin menetelmällä (Raff, 1950) ja laskea välityskykyestimaatteja näiden tulosten perusteella.

Lähdeluettelo

- /1/ AIMSUN Next. (2021). AIMSUN Next. Noudettu osoitteesta <https://www.AIMSUN.com/AIMSUN-next>
- /2/ Anwar, B. (2015). On-ramp merge capacity in Finland.
- /3/ Dankap. (2021). Værktøjer for professionelle. Noudettu osoitteesta <https://www.vejdirektoratet.dk/sektion/vaerktoejer-professionelle>
- /4/ HCM 2000. (ei pvm). *Highway Capacity Manual*. TRB.
- /5/ Hornik, K. (2020). *The R FAQ*. Noudettu osoitteesta <https://CRAN.R-project.org/doc/FAQ/R-FAQ.html>
- /6/ HSB 2001. (ei pvm). *German Highway Capacity Manual*. Cologne: HSB.
- /7/ Liikennevirasto. (2013). *Tieliikenteen toimivuuden arviointi*. Helsinki: Liikennevirasto.
- /8/ Luttinen, T.;Pursula, M.;& Innamaa, S. (2005). *Liikennevirran ominaisuudet*. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.
- /9/ PTV VISSIM. (2021). *PTV VISSIM Knowledge Base*. Noudettu osoitteesta <https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-VISSIM/knowledge-base/>
- /10/ Raff, M. (1950). A volume warrant for urban stops.
- /11/ RCE Systems. (2021). <https://ai.datafromsky.com/aerial>. Noudettu osoitteesta <https://ai.datafromsky.com/aerial>
- /12/ Ridanpää, M. (2016). Kiertoliittymien välityskyky.
- /13/ Synchro. (2021). *Synchro Studio*. Noudettu osoitteesta <https://www.trafficware.com/synchro-studio.html>

Välityskykytarkastelu: DANKAP kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä

Strøm / Gren		Trafikmængderne i det prioriterede kryds i beregningsperioden														
		Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/k}	H _M	H _{c/k}	H _{M+H_{c/k}}
		Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Kehä3 itään	L	449	1,0	44	1,7					493	524					
Kehä3 itään	H	79	1,0	8	1,7					87	93					
Kehä3 länteen	V	179	1,0	36	1,7					215	240	0,90		616		616
Kehä3 länteen	L	565	1,0	112	1,7					677	755	0,90				
Ramppi Masala	V	47	1,0	8	1,7					55	61	0,91		1519		1519
Ramppi Masala	H	109	1,0	20	1,7					129	143	0,90		524		524

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet			Middelforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet				
	τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	tf	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spor	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt	
Kehä3 itään	L			2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Kehä3 itää	1604	0,94	1509	0,38	4	3	
Kehä3 itään	H			2,5	1,00	1440	1440	0,94	1440	Kehä3 länt	624	0,90	559	0,38	10	3	
Kehä3 länteen	V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	667	667	0,62	624	Kehä3 länt	1636	0,90	1467	0,46		
Kehä3 länteen	L			2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Ramppi	67	0,91	61	0,90	294	7	
Ramppi Masala	V	6,8	2,5	6,8	3,7	1,00	109	109		67	Ramppi	485	0,90	437	0,30	12	2
Ramppi Masala	H	7,0	2,5	7,0	3,4	1,00	485	485	0,70	485							

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spor	(Strømnumre)
Kehä3 itään	Kombineret LH	(1+3)
Kehä3 länteen	Separat V	(5)
	Separat L	(2)
Ramppi Masala	Separat V	(11)
	Separat H	(7)

Välityskykytarkastelu: DANKAP kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu

Strøm / Gren	Trafikmængderne i det prioriterede kryds i beregningsperioden														
	Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/k}	H _M	H _{c/k}	H _M +H _{c/k}
	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Kehä3 itään L	493	1,0	75	1,7					568	621					
Kehä3 itään H	87	1,0	13	1,7					100	109					
Kehä3 länteen V	81	1,0	21	1,7					102	117	0,87		730		730
Kehä3 länteen L	271	1,0	71	1,7					342	392	0,87				
Ramppi Masalasta V	38	1,0	4	1,7					42	45	0,94		1129		1129
Ramppi Masalasta H	186	1,0	20	1,7					206	220	0,94		621		621

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet				Middelforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet		
	τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	tf	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spør	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
Kehä3 itään L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636							
Kehä3 itään H		2,5		2,5	1,00	1440	1440	0,92	1440							
Kehä3 länteen V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	578	578	0,78	534							
Kehä3 länteen L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636							
Ramppi Masalasta V	6,8	2,5	6,8	3,7	1,00	195	195		152							
Ramppi Masalasta H	7,0	2,5	7,0	3,4	1,00	419	419	0,47	419							
										Strøm/Spør	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
										Kehä3 itää	1604	0,92	1468	0,45	4	3
										Kehä3 länt	534	0,87	467	0,22	10	1
										Kehä3 länt	1636	0,87	1429	0,24		
										Ramppi	152	0,94	143	0,29	36	2
										Ramppi	419	0,94	392	0,53	19	4

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spør	(Strømnumre)
Kehä3 itään	Kombineret LH	(1+3)
Kehä3 länteen	Separat V	(5)
	Separat L	(2)
Ramppi Masalasta	Separat V	(11)
	Separat H	(7)

Välityskykytarkastelu: DANKAP nelihaaraliittymä kt51, Siuntio, aamu

Strøm / Gren		Trafikmængderne i det prioriterede kryds i beregningsperioden														
		Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/k}	H _M	H _{c/k}	H _M +H _{c/k}
		Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Hankoon	L	159	1,0	33	1,7					192	215					
Hankoon	H	89	1,0	19	1,7					108	121					
Hkiin	V	25	1,0	4	1,7					29	32	0,91		336		336
Hkiin	L	395	1,0	60	1,7					455	497	0,92				
Siuntioستا	V	241	1,0	56	1,7					297	336	0,88		744		744
Siuntioستا	H	15	1,0	4	1,7					19	22	0,87		215		215

Strøm / Gren		Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet				Middelforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet		
		τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	t _f	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spor	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
Hankoon	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Hankoon L	1636	0,89	1461	0,13		
Hankoon	H		2,5		2,5	1,00	1440	1440	0,92	1440	Hankoon H	1440	0,89	1282	0,08	3	1
Hkiin	V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	948	948	0,96	868	Hkiin V	868	0,91	792	0,04	5	0
Hkiin	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Hkiin L	1636	0,92	1498	0,30		
Siuntioستا	V	6,8	2,5	6,8	3,7	1,00	341	341		329	Siuntioستا	341	0,88	301	1,05	214	25
Siuntioستا	H	7,0	2,5	7,0	3,4	1,00	770	770	0,97	770							

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spor	(Strømnumre)
Hankoon	Separat L	(1)
	Separat H	(3)
Hkiin	Separat V	(5)
	Separat L	(2)
Siuntioستا	Kombineret VH	(7+11)

Välityskykytarkastelu: DANKAP kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltopäivä

Strøm / Gren		Trafikmængderne i det priorerede kryds i beregningsperioden														
		Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/k}	H _M	H _{c/k}	H _M +H _{c/k}
		Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Helsingistä	L	767	1,0	130	1,7					897	988					
Helsingistä	H	269	1,0	46	1,7					315	347					
Hangosta	V	90	1,0	15	1,7					105	116	0,91		1335		1335
Hangosta	L	386	1,0	65	1,7					451	497	0,91				
K-raudasta	V	11	1,0	1	1,7					12	13	0,94		1600		1600
K-raudasta	H	77	1,0	7	1,7					84	89	0,94		988		988

Strøm / Gren		Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet				Middelforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet		
		τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	t _f	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spor	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
Helsingistä	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Helsingist L	1636	0,91	1486	0,60		
Helsingistä	H		2,5		2,5	1,00	1440	1440	0,76	1440	Helsingist	1440	0,91	1306	0,24	4	2
Hangosta	V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	267	267	0,43	202	Hangosta V	202	0,91	184	0,57	45	4
Hangosta	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Hangosta L	1636	0,91	1486	0,30		
K-raudasta	V	7,3	2,5	7,3	3,7	1,00	77	77		33	K-raudasta	33	0,94	31	0,38	182	2
K-raudasta	H	7,5	2,5	7,5	3,4	1,00	208	208	0,57	208	K-raudasta	208	0,94	196	0,43	32	3

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spor	(Strømnumre)
Helsingistä	Separat L	(1)
	Separat H	(3)
Hangosta	Separat V	(5)
	Separat L	(2)
K-raudasta	Separat V	(11)
	Separat H	(7)

Välityskykytarkastelu: DANKAP ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltapäivä

Strøm / Gren		Trafikmængderne i det priorerede kryds i beregningsperioden														
		Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/k}	H _M	H _{c/k}	H _M +H _{c/k}
		Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Hyvinkäältä	L	437	1,0	102	1,7					539	610					
Hyvinkäältä	H	43	1,0	10	1,7					53	60					
Lohjalta	V	238	1,0	43	1,7					281	311	0,90		670		670
Lohjalta	L	442	1,0	81	1,7					523	580	0,90				
Ramppi	V	99	1,0	22	1,7					121	136	0,89		1501		1501
Ramppi	H	117	1,0	26	1,7					143	161	0,89		610		610

Strøm / Gren		Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet				Middelforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet		
		τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	tf	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spor	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
Hyvinkäältä	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636							
Hyvinkäältä	H		2,5		2,5	1,00	1440	1440	0,96	1440							
Lohjalta	V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	623	623	0,48	597							
Lohjalta	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636							
Ramppi	V	6,8	2,5	6,8	3,7	1,00	112	112		54							
Ramppi	H	7,0	2,5	7,0	3,4	1,00	425	425	0,62	425							

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spor	(Strømnumre)
Hyvinkäältä	Kombineret LH	(1+3)
Lohjalta	Separat V	(5)
	Separat L	(2)
Ramppi	Separat V	(11)
	Separat H	(7)

Välityskykytarkastelu: DANKAP ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä

Strøm / Gren		Trafikmængderne i det priorerede kryds i beregningsperioden														
		Pv/Vv		Lb/Busser		St.v./Ph.v-tog		MC		N _{M,kt}	N _M	of	N _{c/ik}	H _M	H _{c/ik}	H _M +H _{c/ik}
		Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	ÆPe	Kt/T	Pe/T		Pe/T	Pe/T	Pe/T	Pe/T
Prismaan	V	27	1,0	4	1,7					31	34					1228
Prismaan	L	241	1,0	32	1,7					273	295					
Prismaan	H															
Prismasta	V														295	295
Prismasta	L	884	1,0	87	1,7					971	1032	0,94				
Prismasta	H	169	1,0	16	1,7					185	196	0,94				
Ramppi Helsingistä	V	173	1,0	19	1,7					192	205	0,94			1361	1361
Ramppi Helsingistä	L														1557	1557
Ramppi Helsingistä	H	519	1,0	57	1,7					576	616	0,94			295	295
Ramppi Hankoon	V														1977	1977
Ramppi Hankoon	L														1361	1361
Ramppi Hankoon	H														1032	1032

Strøm / Gren		Kritisk interval / Følgetid				Tilfartssporets kapacitet ved én strøm i tilfartssporet					Tilfartssporets kapacitet ved en eller flere strømme i tilfartssporet				Middeforsinkelsen t og kølængden n i tilfartssporet		
		τ _M sek	τ _{c/k} sek	τ _{vægtet} sek	δ sek	tf	G _{time} Pe/tim	G Pe/T	s	N _{Max} Pe/T	Strøm/Spor	N _{Max} Pe/T	of	N _{Max,kt} Kt/T	B	t sek/KT	n _{5%} Kt
Prismaan	V	5,7	2,5	5,7	2,5	1,00	306	306	0,87	264	Prismaan V	264	0,92	243	0,13	17	1
Prismaan	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Prismaan	1636	0,92	1512	0,18	3	1
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	Prismasta	1636	0,94	1540	0,63	6	6
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	Prismasta	1440	0,94	1358	0,14	3	1
Prismasta	L				2,2	1,00	1636	1636	1,00	1636	Ramppi Hel	100	0,94	93	2,06	2015	52
Prismasta	H		2,5		2,5	1,00	1440	1440	0,86	1440	Ramppi Hel	656	0,94	613	0,94	65	21
Ramppi Helsingistä	V	7,3	2,5	7,3	3,7	1,00	114	114		100	Ramppi Han				0,00	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0							
Ramppi Helsingistä	H	7,5	2,5	7,5	3,4	1,00	656	656	0,06	656							
		0	0	0	0	0	0	0	0	0							
		0	0	0	0	0	0	0	0	0							
		0	0	0	0	0	0	0	0	0							

Strøm / Gren	Kritisk interval / Følgetid	
	Spor	(Strømnumre)
Prismaan	Separat V	(5)
	Kombineret LH	(1+3)
Prismasta	Kombineret VL	(2+6)
	Separat H	(4)
Ramppi Helsingistä	Kombineret VL	(9+11)
	Separat H	(7)
Ramppi Hankoon	Kombineret VLH	(8+10+12)

Välityskykytarkastelu: SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS					
		→	↘	↙	←	↖	↗
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	3						
Zone:							
X East (m):	2932.0						
Y North (m):	3430.9						
Z Elevation (m):	0.0						
Description							
Control Type	Unsig						
Max v/c Ratio:	0.90						
Intersection Delay (s):	8.7						
Intersection LOS:	A						
ICU:	0.60						
ICU LOS:	B						
Lanes and Sharing (#RL)		↗		↗	↗	↗	↗
Traffic Volume (vph)		493	87	214	678	55	129
Future Volume (vph)		493	87	214	678	55	129
Sign Control		Free	—	—	Free	Yield	—
Median Width (m)		3.6	—	—	3.6	3.6	—
TWLT Median		<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized		—	None	—	None	—	None
Critical Gap, tC (s)		—	—	4.1	—	6.4	6.2
Follow Up Time, tF (s)		—	—	2.2	—	3.5	3.3
Volume to Capacity Ratio		0.37	0.37	0.25	0.43	0.90	0.28
Control Delay (s)		0.0	0.0	10.1	0.0	186.8	14.8
Level of Service		A	A	B	A	F	B
Queue Length 95th (m)		0.0	0.0	6.3	0.0	28.3	7.2
Approach Delay (s)		0.0	—	—	2.4	66.4	—

Vasemmalle kääntymisen hyväksytty aikaväli 4,5 s. Liittymätyyppi: väistämivelvollinen. Yleisen käytännön mukaisesti, kun sivusuunnalla on yksi kaista ja saareke, asetetaan vasemmalle kääntyvien odotustilaksi 8 m. Tällöin 2 henkilöautoa pystyy olemaan vierekkäin.

Matti Kiljunen 1.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

Välityskykytarkastelu: SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS					
		→	↘	↙	←	↖	↗
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	3	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		Traffic Volume (vph)					
X East (m):	2932.0	568	100	102	342	42	206
Y North (m):	3430.9	Future Volume (vph)					
Z Elevation (m):	0.0	568	100	102	342	42	206
Description		Sign Control					
Control Type	Unsig	Free	—	—	Free	Yield	—
Max v/c Ratio:	0.51	Median Width (m)					
Intersection Delay (s):	5.2	3.6	—	—	3.6	3.6	—
Intersection LOS:	A	TWLTL Median					
ICU:	0.58	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
ICU LOS:	B	Right Turn Channelized					
		—	None	—	None	—	None
		Critical Gap, tC (s)					
		—	—	4.3	—	6.5	6.3
		Follow Up Time, tF (s)					
		—	—	2.4	—	3.6	3.4
		Volume to Capacity Ratio					
		0.43	0.43	0.14	0.22	0.30	0.51
		Control Delay (s)					
		0.0	0.0	10.3	0.0	37.9	21.2
		Level of Service					
		A	A	B	A	E	C
		Queue Length 95th (m)					
		0.0	0.0	3.1	0.0	7.6	18.1
		Approach Delay (s)					
		0.0	—	—	2.4	24.0	—

Vasemmalle kääntymisen hyväksyty aikaväli 4,5 s. Yleinen kaistavolyymi 1800 ajon./h, sivusuunnasta vasemmalle kääntyvillä 1300 ajon/h. Liittymätyyppi: väistämisvelvollinen. Yleisen käytännön mukaisesti, kun sivusuunnassa on yksi kaista ja saareke, asetetaan vasemmalle kääntyvien odotustilaksi 8 m. Tällöin 2 henkilöautoa pystyy olemaan vierekkäin.

Matti Kiljunen 4.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

Välityskykytarkastelu: SYNCHRO nelihaaraliittymä kt51, Siuntio, aamu

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS					
		→	↖	↙	←	↗	↘
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	3						
Zone:							
X East (m):	2932.0						
Y North (m):	3430.9						
Z Elevation (m):	0.0						
Description							
Control Type	Unsig						
Max v/c Ratio:	0.96						
Intersection Delay (s):	20.5						
Intersection LOS:	C						
ICU:	0.56						
ICU LOS:	B						
Lanes and Sharing (#RL)		1	1	1	1	1	1
Traffic Volume (vph)		192	108	29	455	297	19
Future Volume (vph)		192	108	29	455	297	19
Sign Control		Free	—	—	Free	Yield	—
Median Width (m)		3.6	—	—	3.6	3.6	—
TWLT Median		<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized		—	None	—	None	—	None
Critical Gap, tC (s)		—	—	4.2	—	6.6	6.4
Follow Up Time, tF (s)		—	—	2.3	—	3.7	3.5
Volume to Capacity Ratio		0.12	0.07	0.03	0.29	0.96	0.03
Control Delay (s)		0.0	0.0	8.2	0.0	74.6	9.7
Level of Service		A	A	A	A	F	A
Queue Length 95th (m)		0.0	0.0	0.5	0.0	66.0	0.5
Approach Delay (s)		0.0	—	—	0.5	70.7	—

Vasemmalle kääntymisen hyväksytty aikaväli 4,5 s. Yleinen kaistavolyymi 1800 ajon./h, sivusuunnasta vasemmalle kääntyvillä 1300 ajon./h. Liittymätyyppi: väistämisvelvollinen. Ilmakuvan mukaisesti, kun sivusuunnassa on yksi kaista ja saareke, asetettu vasemmalle kääntyvien odotustilaksi 15 m. Tällöin 2 henkilöautoa pystyy olemaan vierekkäin. Pääsuunnasta vasemmalle kääntyvien kaistapituudeksi ilmakuvan perusteella asetettu 200 m ja oikealle kääntyvien kaistapituudeksi 100 m.

Matti Kiljunen 4.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

Välityskykytarkastelu: SYNCHRO kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltapäivä

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS					
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	3	Lanes and Sharing (#RL)					
Zone:		Traffic Volume (vph)					
X East (m):	2932.0	897	315	106	450	12	84
Y North (m):	3430.9	Future Volume (vph)					
Z Elevation (m):	0.0	897	315	106	450	12	84
Description		Sign Control					
Control Type	Unsig	Free	—	—	Free	Stop	—
Max v/c Ratio:	0.57	Median Width (m)					
Intersection Delay (s):	2.2	3.6	—	—	3.6	3.6	—
Intersection LOS:	A	TWLTL Median					
ICU:	0.69	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
ICU LOS:	C	Right Turn Channelized					
		—	None	—	None	—	None
		Critical Gap, tC (s)					
		—	—	4.2	—	6.5	6.3
		Follow Up Time, tF (s)					
		—	—	2.3	—	3.6	3.4
		Volume to Capacity Ratio					
		0.57	0.20	0.24	0.29	0.17	0.31
		Control Delay (s)					
		0.0	0.0	14.7	0.0	62.5	22.4
		Level of Service					
		A	A	B	A	F	C
		Queue Length 95th (m)					
		0.0	0.0	5.9	0.0	3.8	8.2
		Approach Delay (s)					
		0.0	—	—	2.8	27.4	—

Vasemmalle kääntymisen hyväksytty aikaväli 4,5 s. Yleinen kaistavolyymi 1800 ajon./h, sivusuunnasta vasemmalle kääntyvillä 1300 ajon./h. Liittymätyyppi: STOP-sivusuunta. Ilmakuvasta arvioitu pääsuunnasta kääntyvien kaistapituudeksi 200 m. Sivusuunnasta 30 m arvioitu vasemmalle kääntyvien tilan pituudeksi. Suojatietä ei tässä ole huomioitu sijainnin ja arvioidun pienen käyttäjämäärän vuoksi.

Matti Kiljunen 10.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

Välityskykytarkastelu: SYNCHRO ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltaapäivä

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS					
		→	↘	↙	←	↖	↗
		EBT	EBR	WBL	WBT	NBL	NBR
Node #	3						
Zone:							
X East (m):	2932.0						
Y North (m):	3430.9						
Z Elevation (m):	0.0						
Description							
Control Type	Unsig						
Max v/c Ratio:	2.50						
Intersection Delay (s):	65.4						
Intersection LOS:	F						
ICU:	0.70						
ICU LOS:	C						
Lanes and Sharing (#RL)		↗		↖	↖	↖	↗
Traffic Volume (vph)		539	53	281	523	121	143
Future Volume (vph)		539	53	281	523	121	143
Sign Control		Free	—	—	Free	Yield	—
Median Width (m)		3.6	—	—	3.6	3.6	—
TWLT Median		<input type="checkbox"/>	—	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
Right Turn Channelized		—	None	—	None	—	None
Critical Gap, tC (s)		—	—	4.2	—	6.6	6.4
Follow Up Time, tF (s)		—	—	2.3	—	3.7	3.5
Volume to Capacity Ratio		0.38	0.38	0.35	0.33	2.50	0.33
Control Delay (s)		0.0	0.0	11.2	0.0	847.9	16.6
Level of Service		A	A	B	A	F	C
Queue Length 95th (m)		0.0	0.0	10.1	0.0	88.1	9.5
Approach Delay (s)		0.0	—	—	3.9	399.0	—

Vasemmalle kääntymisen hyväksytty aikaväli 4,5 s. Yleinen kaistavolyymi 1800 ajon./h, sivusuunnasta vasemmalle kääntyvillä 1300 ajon./h. Liittymätyyppi: STOP-sivusuunta. Ilmakuvasta arvioitu pääsuunnasta vasemmalle kääntyvien kaistapituudeksi 100 m. Sivusuunnasta tilanne on hankalampi arvioida, koska raskas ajoneuvo ja henkilöauto eivät kuvan perusteella mahdu vierekkäin. Arvioitu vasemmalle kääntyvien tilan pituudeksi 30 m.

Matti Kiljunen 21.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

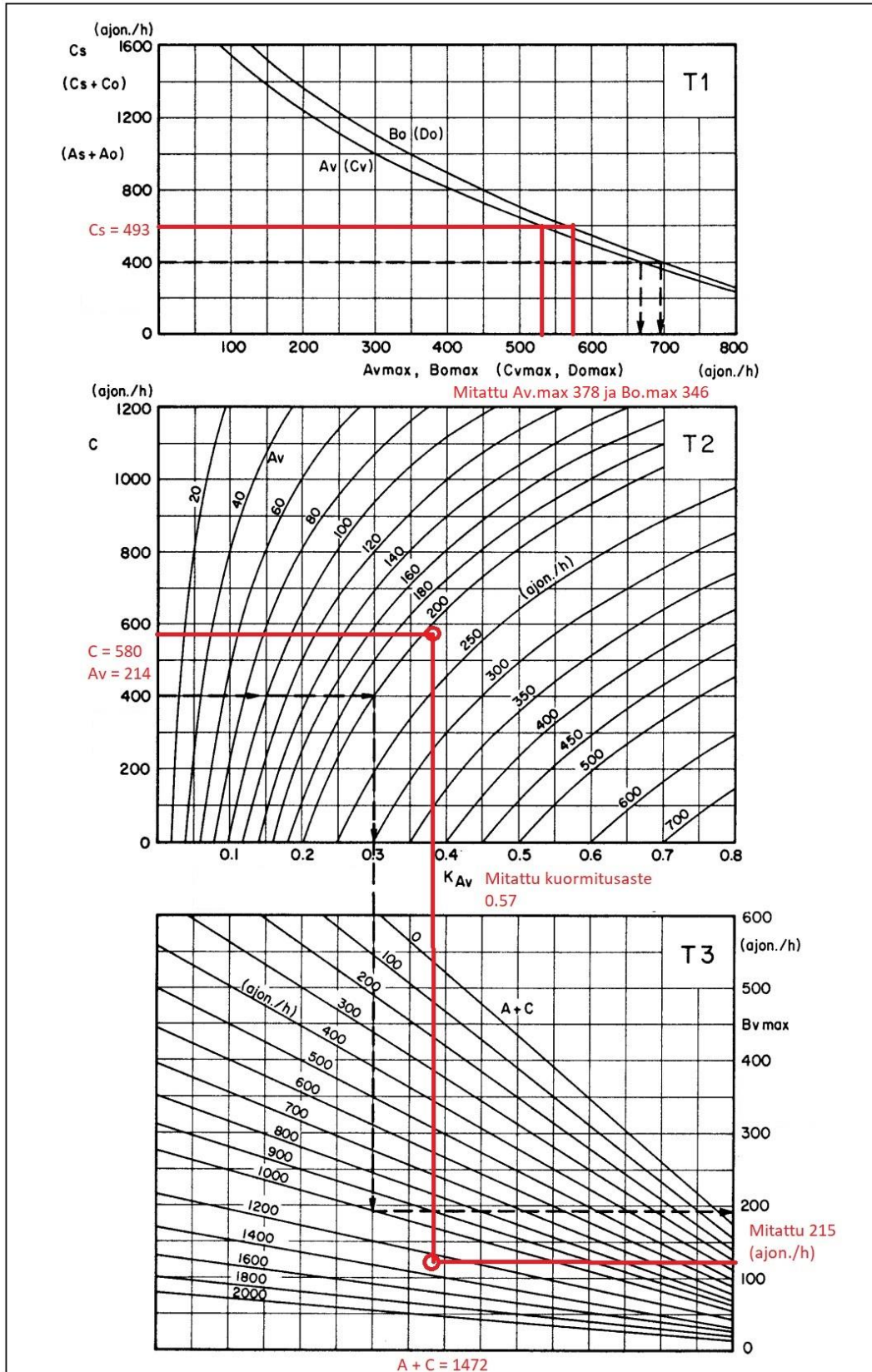
Välityskykytarkastelu: SYNCHRO ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä

NODE SETTINGS		HCM 2000 SIGNING SETTINGS											
		EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Node #	3	Lanes and Sharing (#RL)											
Zone:		Traffic Volume (vph)											
X East (m):	2932.0	30	274	0	0	971	185	192	0	576	0	0	0
Y North (m):	3430.9	30	274	0	0	971	185	192	0	576	0	0	0
Z Elevation (m):	0.0	Future Volume (vph)											
Description		Sign Control											
Control Type	Unsig	—	Free	—	—	Free	—	—	Stop	—	—	Stop	—
Max v/c Ratio:	2.00	Median Width (m)											
Intersection Delay (s):	56.3	—	3.6	—	—	3.6	—	—	3.6	—	—	3.6	—
Intersection LDS:	F	TWLTL Median											
ICU:	0.76	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>	—
ICU LOS:	D	Right Turn Channelized											
		—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
		Critical Gap, tC (s)											
		4.2	—	—	—	—	—	7.2	—	6.3	—	—	—
		Follow Up Time, tF (s)											
		2.3	—	—	—	—	—	3.6	—	3.4	—	—	—
		Volume to Capacity Ratio											
		0.06	0.18	—	—	0.62	0.12	2.00	—	0.87	—	—	—
		Control Delay (s)											
		12.4	0.0	—	—	0.0	0.0	551.4	—	33.2	—	—	—
		Level of Service											
		B	A	—	—	A	A	F	—	D	—	—	—
		Queue Length 95th (m)											
		1.3	0.0	—	—	0.0	0.0	114.0	—	67.7	—	—	—
		Approach Delay (s)											
		—	1.2	—	—	0.0	—	—	162.9	—	—	0.0	—

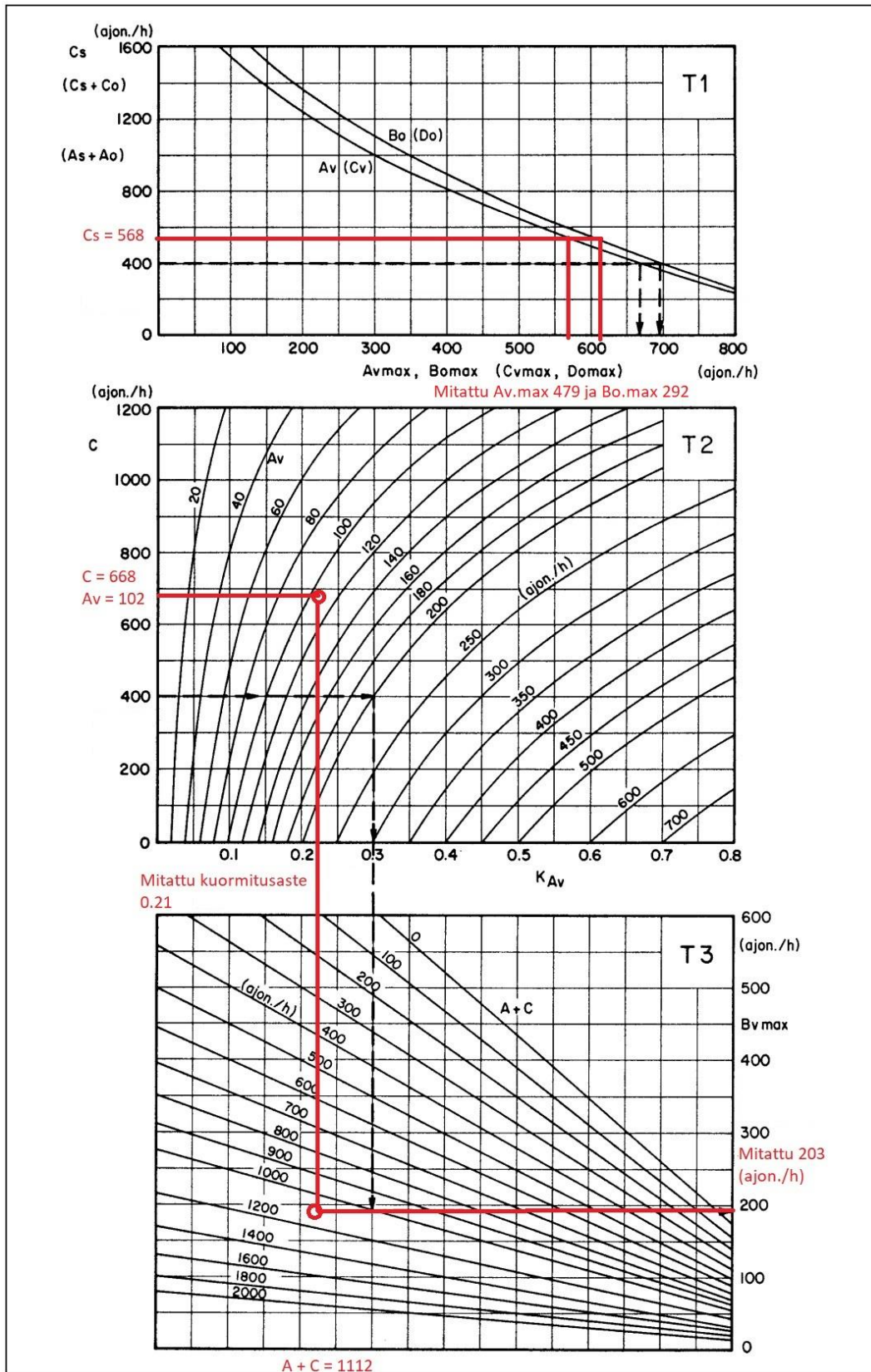
Vasemmalle kääntymisen hyväksytyt aikavälit 4,5 s. Yleinen kaistavolyymi 1800 ajon./h, sivusuunnasta vasemmalle kääntyvillä 1300 ajon./h. Liittymätyyppi: STOP-sivusuunnassa. Ilmakuvan perusteella arvioitu pääsuunnasta vasemmalle kääntyvien kaistapituudeksi 60 m ja oikealle kääntyvien kaistapituudeksi 100 m. Sivusuunnan molemmat kaistat 200 m pitkät.

Matti Kiljunen 5.3.2021 matti.kiljunen@ely-keskus.fi

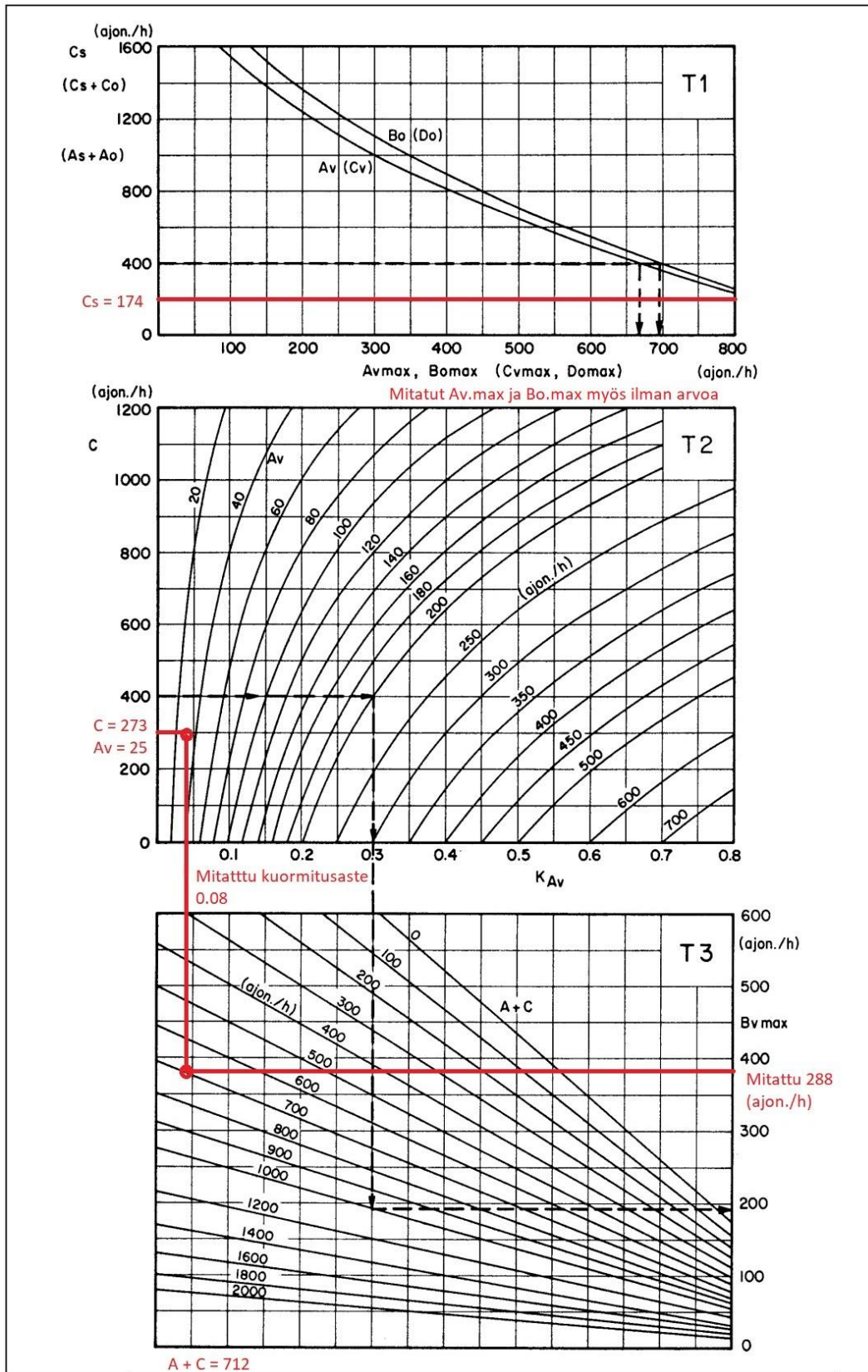
Välityskykytarkastelu: Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, iltapäivä



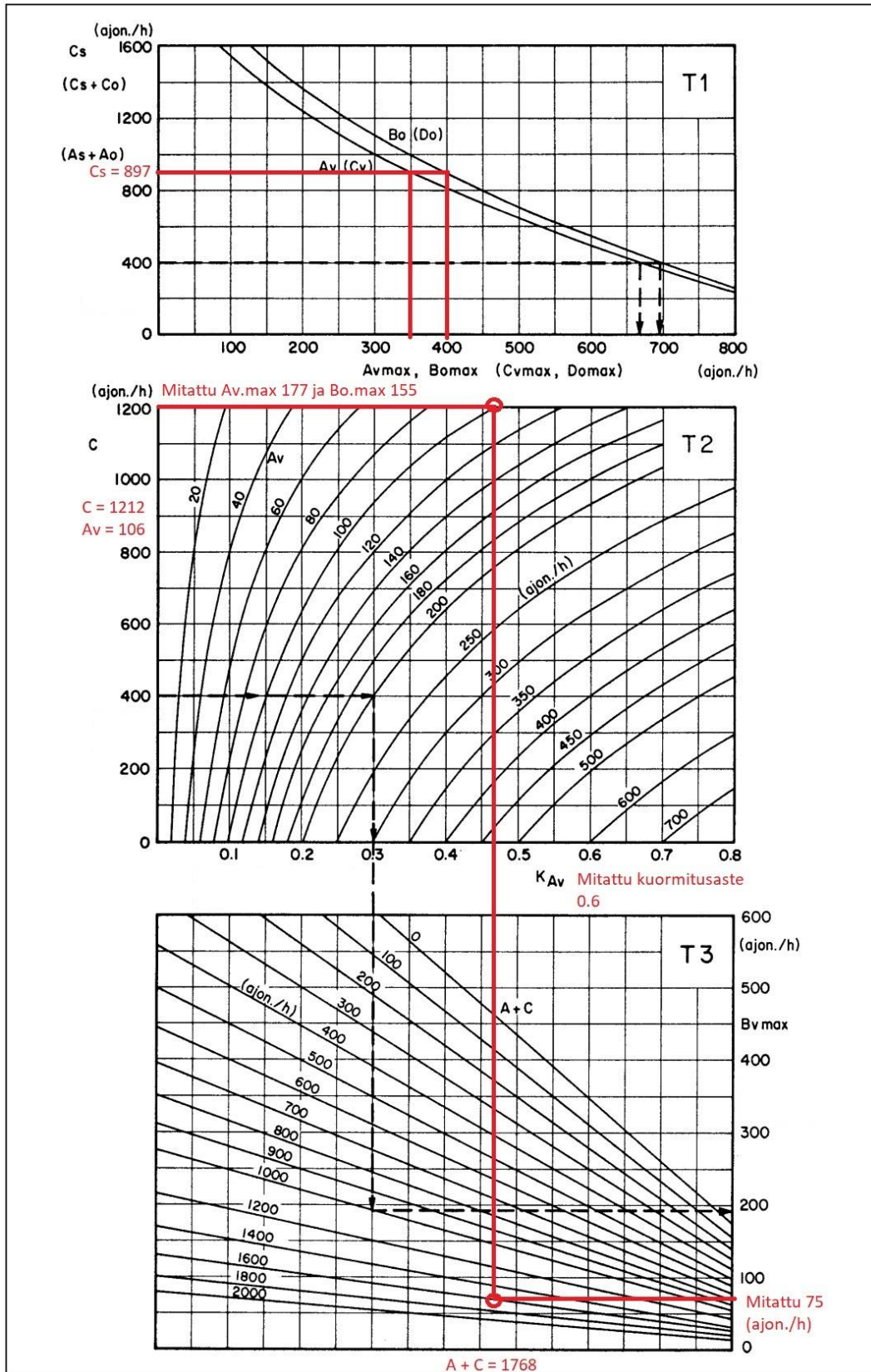
Välityskykytarkastelu: Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt50, Kirkkonummi, aamu



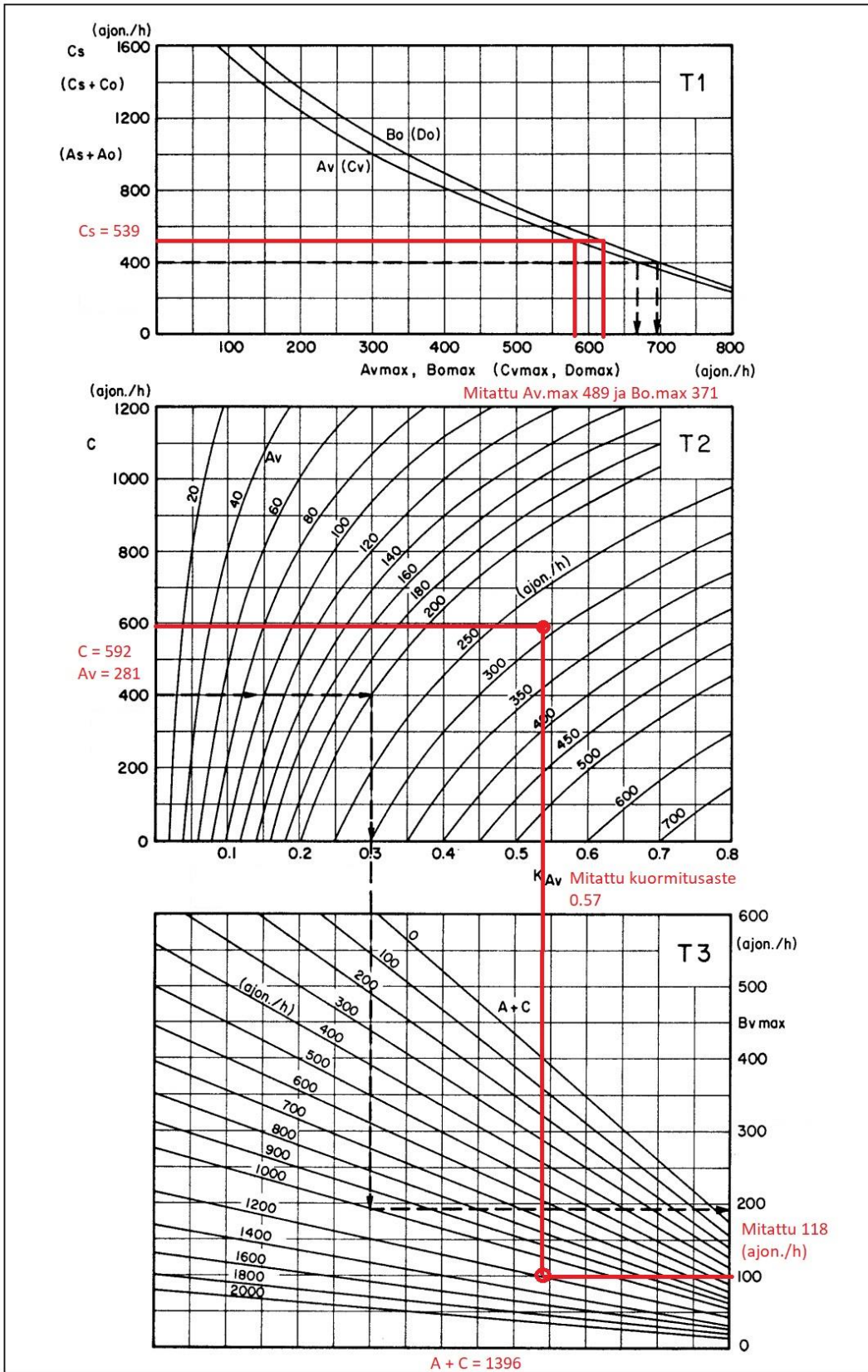
Välityskykytarkastelu: Nomogrammi nelihaaraliittymä kt51, Siuntio, aamu



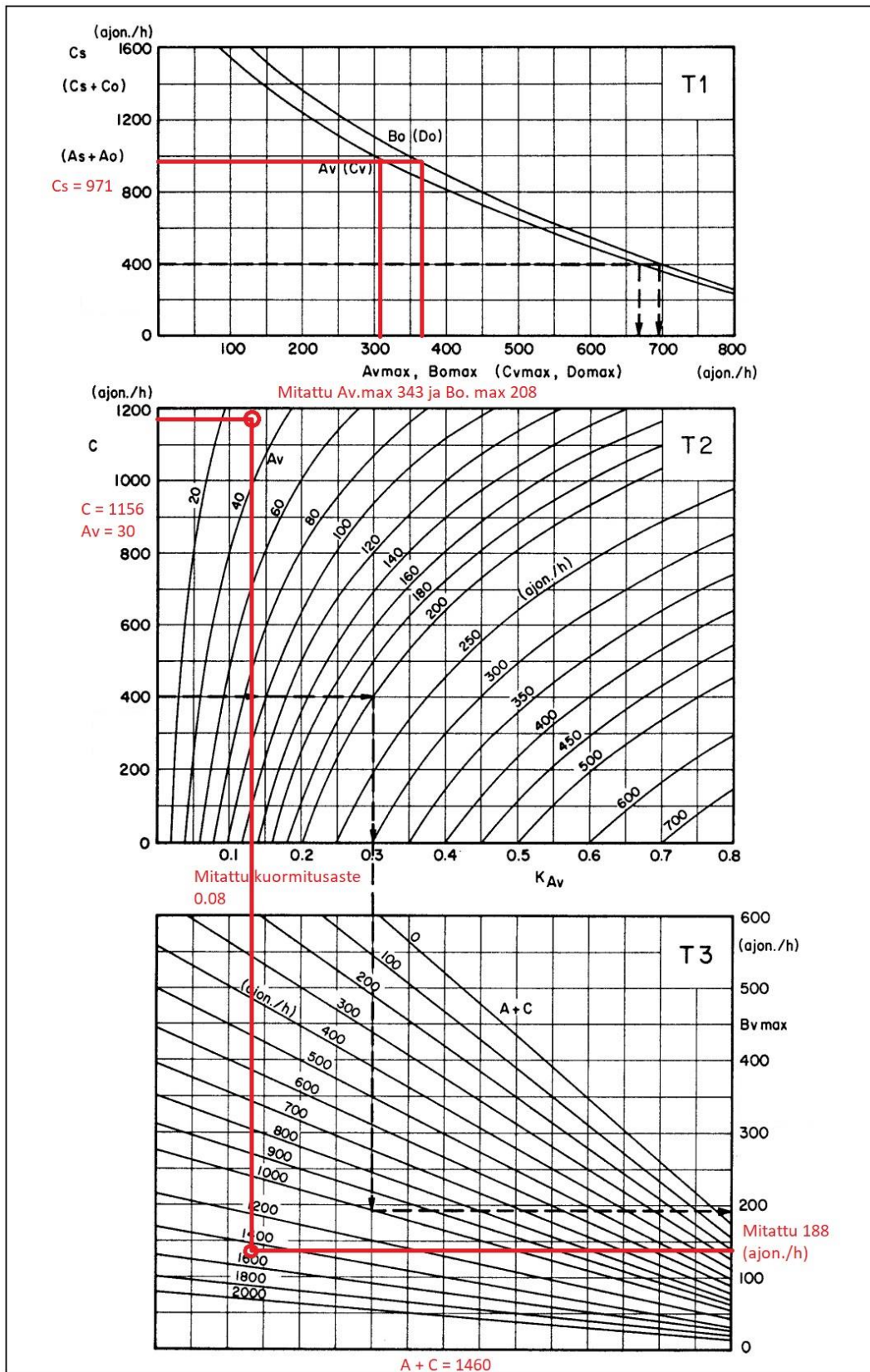
Välityskykytarkastelu: Nomogrammi kolmihaaraliittymä kt51, Kirkkonummi, iltapäivä



Välityskykytarkastelu: Nomogrammi ramppitasoliittymä vt2 pohjoinen, Lohja, iltapäivä



Välityskykytarkastelu: Nomogrammi ramppitasoliittymä kt51 pohjoinen, Kirkkonummi, iltapäivä



Liittyvän liikenteen kuljettajien käyttäytyminen

		Tutkimusliittymä																	
		Pohjoinen ramppliittymä kt51 yt1191:lle, Kirkko-nummi, iltapäivä			Pohjoinen ramppliittymä vt2 vt25:lle, Lohja, iltapäivä			Kolmihaaraliittymä kt51 - Purokummuntie (katu), Kirkkonummi, iltapäivä			Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, iltapäivä			Kolmihaaraliittymä kt50 - Sundsbergintie, Kirkkonummi, aamu			Nelihaaraliittymä kt51 - st115, Siuntio, aamu		
		Kaista ja suunta (ks. taulukko 2)																	
Liittymis- käyttäytymis- minen	Tutkimus- aineisto	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle	K3_oi kealle	K3_va semm alle	K2_va semm alle
Odotti vapaata liittymää	Mittaus- aineisto	18 %	16 %	14 %	32 %	18 %	26 %	22 %	21 %	24 %	36 %	30 %	42 %	39 %	46 %	38 %	-	29 %	-
Odotti epäloogisesti		5 %	39 %	14 %	2 %	15 %	5 %	9 %	43 %	5 %	4 %	27 %	4 %	1 %	15 %	3 %	-	0 %	-
Odotti loogisesti		59 %	29 %	72 %	17 %	25 %	20 %	59 %	36 %	47 %	25 %	24 %	14 %	25 %	23 %	14 %	-	21 %	-
Liittyi ensimmäiseen väliin		18 %	16 %	0 %	48 %	42 %	48 %	10 %	0 %	23 %	36 %	19 %	40 %	35 %	16 %	46 %	-	50 %	-
Odotti vapaata liittymää	Mittaus- aineisto MAX15	-	4 %	13 %	21 %	8 %	28 %	11 %	-	33 %	20 %	38 %	36 %	29 %	71 %	26 %	-	16 %	-
Odotti epäloogisesti		-	41 %	13 %	5 %	20 %	0 %	17 %	-	5 %	0 %	50 %	0 %	0 %	0 %	3 %	-	25 %	-
Odotti loogisesti		-	37 %	73 %	21 %	28 %	16 %	67 %	-	24 %	40 %	13 %	21 %	35 %	29 %	23 %	-	16 %	-
Liittyi ensimmäiseen väliin		-	19 %	0 %	52 %	44 %	56 %	6 %	-	38 %	40 %	0 %	43 %	35 %	0 %	49 %	-	43 %	-
Odotti vapaata liittymää	VISSIM perusas.	21 %	8 %	0 %	34 %	3 %	32 %	0 %	6 %	12 %	-	3 %	25 %	-	10 %	18 %	-	17 %	-
Odotti epäloogisesti		11 %	27 %	32 %	0 %	13 %	8 %	11 %	35 %	32 %	-	17 %	16 %	-	10 %	18 %	-	6 %	-
Odotti loogisesti		68 %	54 %	68 %	29 %	65 %	23 %	84 %	59 %	47 %	-	71 %	45 %	-	64 %	40 %	-	56 %	-
Liittyi ensimmäiseen väliin		0 %	11 %	0 %	37 %	20 %	38 %	5 %	0 %	9 %	-	8 %	13 %	-	16 %	24 %	-	22 %	-
Odotti vapaata liittymää	VISSIM suositusas.	26 %	5 %	0 %	24 %	9 %	35 %	24 %	0 %	18 %	31 %	5 %	29 %	24 %	18 %	24 %	-	21 %	-
Odotti epäloogisesti		19 %	35 %	28 %	3 %	15 %	5 %	18 %	44 %	28 %	1 %	42 %	9 %	2 %	18 %	5 %	-	5 %	-
Odotti loogisesti		32 %	56 %	73 %	19 %	55 %	13 %	37 %	56 %	38 %	39 %	44 %	34 %	36 %	56 %	38 %	-	28 %	-
Liittyi ensimmäiseen väliin		23 %	4 %	0 %	53 %	21 %	47 %	21 %	0 %	16 %	29 %	8 %	28 %	38 %	8 %	33 %	-	46 %	-
Odotti vapaata liittymää	AIMSUN	-	6 %	0 %	28 %	3 %	32 %	-	-	21 %	31 %	4 %	23 %	30 %	3 %	29 %	-	15 %	-
Odotti epäloogisesti		-	40 %	10 %	1 %	37 %	10 %	-	-	21 %	4 %	32 %	23 %	10 %	29 %	6 %	-	15 %	-
Odotti loogisesti		-	51 %	90 %	29 %	51 %	19 %	-	-	48 %	31 %	50 %	35 %	40 %	53 %	30 %	-	32 %	-
Liittyi ensimmäiseen väliin		-	4 %	0 %	42 %	9 %	40 %	-	-	9 %	35 %	14 %	19 %	20 %	16 %	36 %	-	38 %	-



Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-937-0
www.vayla.fi