

**KAKSI- JA KOLMIKAISTAISEN TIEN LIIKENNEVIRRRAN
SIMULOINTI TRARR-OHJELMALLA**

Heli Siimes

Teknillisen korkeakoulun rakennus-
ja maanmittaustekniikan osastolla
apul.prof. Matti Pursulan valvomana
ja ohjaamana vuonna 1992 tehty dip-
lomityö.

Tekijä: Heli Siimes

Diplomityö: Kaksi- ja kolmikaistaisen tien liikennevirran simulointi TRARR-ohjelmalla

Päivämäärä: 15.12.1992

Sivumäärä: 158

Professori: Liikennetekniikka

Koodi: Yhd-71.

Valvoja: Apul.prof. Matti Pursula

Ohjaaja: Apul.prof. Matti Pursula

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää australialaisen TRARR-ohjelman soveltuvuus Suomen oloihin ja kalibroida ohjelma kaksi- ja kolmikaistaisen tien simulointiin sekä arvioida yksittäisen ohituskaistan ja ohituskaistaparin liikenneteknistä mitoitusmoottoriliikennetiellä.

Työssä kuvataan ohjelman toiminta ja filosofia. Työ sisältää myös kirjallisuustutkimuksen, jossa esitellään TRARRista saatuja kokemuksia Nigeriassa ja Kaliforniassa sekä arvioita kolmikaistaisen teiden vaikutuksista.

Suomessa tarkasteltavana tienä oli Lahden moottoriliikennetie kaksi- ja kolmikaistaisena. Ohjelman kalibrointi tehtiin kahteen kertaan. Ensin tarkasteltiin tapausta, jossa ajoneuvot generoitiin TRARRilla. Tämän jälkeen tarkasteltiin tapausta, jossa ajoneuvojen syöttötiedostona käytettiin moottoriliikennetiellä vuonna 1991 tehtyjä analysointimittauksia. Ratkaiseviksi muuttujiksi kalibroinnissa ilmenivät ajoneuvojen tavoitenopeudet ja niiden keskihajonnat sekä turvallisuusmarginaali, joka vaikuttaa ohituskaistassa, joissa on näkemäesteitä.

Kolmikaistaisen tien liikenneteknistä mitoitusmoottoriliikennetiellä selvitettiin simuloidulla yksittäisen kolmikaistaisen tieosan vaikutusta liikenteeseen ja etsimällä sille optimipituus. Simulointitulosten mukaan ohituskaistan lisääminen nosti matkanopeuksia ja ohitustiheyksiä sekä pienensi viivytyksiä. Suurin vaikutus näytti olevan sillä, oliko tiellä ohituskaistaa vai ei. Sen sijaan tutkittujen ohituskaistan pituusvaihtoehtojen (1,0 - 2,5 km) välillä ei ollut suuria eroja.

Matka-aikatarkastelujen perusteella yksittäisen ohituskaistan optimipituus oli 1,5 - 2,0 km. Kun tiellä oli yksi ohituskaista samanaikaisesti kahteen ajosuuntaan, yhden ohituskaistan optimipituus oli noin 2,5 km. Kun tutkittiin ohitusten lukumääriä ohituskaistakilometrillä, olivat hiljaisessa liikenteessä 0,5 - 1,0 km:n ohituskaistat ja ruuhkaliikenteessä 2,5 - 3,0 km:n ohituskaistat tehokkaimmassa käytössä. Verrattaessa tuloksia muihin tutkimuksiin täytyy kuitenkin muistaa, että Lahden moottoriliikennetie on korkealuokkaisempi kuin tavalliset kaksikaistaiset tiet.

Utfört av: Heli Siimes

Diplomarbetet: Simulering av trafikflödet på två- och trefältsvägar med datorprogrammet TRARR

Datum: 15.12.1992

Sidoantal: 158

Professur: Trafikteknik

Kod: Yhd-71.

Övervakare: Bitr. prof. Matti Pursula

Handledare: Bitr. prof. Matti Pursula

Syftena med detta arbete var att klargöra huruvida det i Australien utvecklade datorprogrammet TRARR lämpar sig för förhållandena i Finland och kalibrera det för simulering av två- och trefältsvägar samt att uppskatta den trafiktekniska dimensioneringen av omkörningsfälten på en trefältsväg.

Programmet och dess filosofi beskrives i arbetet. Arbetet innehåller också en litteraturstudie, som refererar erfarenheter av TRARR från Nigeria och Kalifornien samt några uppskattningar om trefältsvägars lönsamhet.

Den undersökta vägen var Lahtis motortrafikväg både som två- och trefältsväg. Programmet kalibrerades två gånger. Först behandlades ett fall där fordonen genererades med TRARR. Därefter behandlades ett fall där fordonen inlästes i programmet från verkliga mätningar med trafikanalysator från året 1991. Det visade sig att de avgörande faktorerna för kalibreringen var fordonens önskade hastigheter och hastigheternas standardavvikelse samt en sk. säkerhetsmarginal, som inverkar på omkörningarna då det finns sikthinder.

Den trafiktekniska dimensioneringen av omkörningsfälten på en trefältsväg undersöktes genom att simulera inverkan på trafiken av ett enskilt vägavsnitt med tre körfält och genom att söka en optimal längd för omkörningsfälten. Enligt simuleringsresultaten medför ett omkörningsfält att reshastigheterna och omkörningarna ökar medan fördröjningarna minskar. Den största förändringen fanns mellan alternativen för inget körfält och ett 1,0 km långt omkörningsfält. Däremot förekom det inte stora skillnader mellan olika längdalternativ på omkörningsfälten (1,0 - 2,5 km).

Om man beaktar restid var den optimala längden för ett enskilt omkörningsfält 1,5 - 2,0 km. För ett alternativ med två omkörningsfält (ett åt vardera hållet efter varandra) var den optimala längden för ett omkörningsfält 2,5 km. Då man undersökte antalet omkörningar per kilometer på omkörningsfälten var de 0,5 - 1,0 km långa omkörningsfälten de effektivaste i dagstrafik och de 2,5 - 3,0 km långa i rusningstrafik. Då man jämför resultaten med andra undersökningar, måste man dock komma ihåg att den nu undersökta vägen är en motortrafikväg och inte en vanlig tvåfältsväg.

Author: Heli Siimes

Thesis: Simulation of traffic flow on two- and three-lane roads with the TRARR program

Date: December 15, 1992

Number of pages: 158

Professorship: Transportation
Engineering

Code: Yhd-71.

Supervisor: Associate Professor Matti Pursula

Instructor: Associate Professor Matti Pursula

The purpose of this research was to find out whether the Australian simulation model TRARR can be applied to simulation of Finnish rural roads. The aim was also to calibrate the model to the conditions on Finnish two- and three-lane rural roads and find the optimal length for a single overtaking lane.

A brief description of the program and its philosophy is included in this study. The research also includes a review of the experiences of using TRARR in Nigerian and Californian traffic conditions and some results about the feasibility of three-lane rural roads.

In Finland the high-class two-lane rural road between Helsinki and Lahti was studied as a two-lane and a three-lane road, respectively. The program was calibrated twice. In the first case traffic was generated with TRARR and in the second case the traffic generation routines were bypassed and the input traffic was read from real measurements with traffic analyzer in 1991. The most significant parameters in the calibration proved to be the mean desired speeds, the standard deviations of desired speeds and a safety factor for sight-restricted overtaking when there are no auxiliary lanes.

The design of the three-lane rural road from the traffic engineering point of view was analyzed by simulating a single three-lane section and seeking its optimal length. According to the simulation the journey speed and overtaking rate were increasing when the overtaking lane was present and the percent of time spent following was decreasing. The biggest change was between the alternatives no overtaking lane and 1.0 km overtaking lane. However, there were no big differences between the options 1.0 - 2.5 km overtaking lanes.

As far as travel times are concerned the optimal length for a single overtaking lane was 1.5 - 2.0 km. For two overtaking lanes the optimal length was about 2.5 km for both directions. When studying the number of overtakings per kilometer on the overtaking lanes, the most effective solution was a 0.5 - 1.0 km overtaking lane in weekday traffic and a 2.5 - 3.0 km in weekend traffic. When comparing the results with other studies one must remember that high-class rural road differ from ordinary two-lane rural roads.

ALKUSANAT

Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratoriossa on jo usean vuoden ajan tutkittu kaksikaistaisten teiden liikennevirran ominaisuuksia. Vuodesta 1990 lähtien on tarkasteltu moottoriliikenne- ja ohituskaistateitä. Tutkimusmenetelminä ovat olleet mm. analysaattorimittaukset ja rekisteritunnustutkimukset sekä nyt myös simulointi.

Esitän parhaimmat kiitokseni Matti Pursulalle työn hyvästä ohjauksesta, Åsa Enbergille neuvoista ja mittaustuloksien antamisesta sekä koko liikennelaboratorion henkilökunnalle miellyttävästä työympäristöstä. Kiitän myös saamistani tiedoista ja neuvoista kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat myötävaikuttaneet työni valmistumiseen.

Espoossa 15.12.1992



Heli Siimes

SISÄLLYSLUETTELO

KAKSI- JA KOLMIKAISTAISEN TIEN LIIKENNEVIRRRAN SIMULOINTI TRARR-OHJELMALLA

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SAMMANDRAG

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LIITELUETTELO

1	JOHDANTO	15
2	OHJELMAN KUVAUS	17
	2.1 Johdanto	17
	2.2 Ohjelman kuvaus	18
	2.2.1 Lähtötiedostot	18
	2.2.2 Liikenteen generointi	19
	2.2.3 Simulointi	20
	2.2.4 Havainnointi	20
	2.2.5 Tulostus	20
	2.2.6 Ohjelman kulku	21
	2.2.7 Optiot	22
	2.2.8 TRARRin käyttämät tiedostot	23
	2.3 Ohjelman ajo	24
	2.3.1 Ohjelman koeajo standarditiedostojen avulla	24
	2.3.2 Lähtötiedostojen yksinkertaiset muu- tokset	29
	2.4 Simulointikoe	30
	2.5 Tulosten tulkitseminen	32
3	OHJELMAN FILOSOFIA	34
	3.1 Näkökohtia ohjelman filosofiasta	34

3.1.1	Mitä ohjelma tekee?	34
3.1.2	Yksinkertaistuksia ajoneuvon ja ajajan käyttäytymisissä	38
3.2	Tietokoneohjelma	39
3.2.1	Ohjelmaan liittyvät käsitteet	39
3.2.2	Ajoneuvotapahtumien määrittely	42
3.2.3	Polttoaineen kulutuksen mallintaminen	43
4	TRARR-OHJELMASTA MUUALLA SAADUT KOKEMUKSET	45
4.1	Nigeria	45
4.1.1	Taustaa	45
4.1.2	Simuloinnin kulku	46
4.1.3	Kapasiteettianalyysi	49
4.1.4	Nigerian tutkimuksen tulokset	53
4.2	Kalifornia	55
4.2.1	Tien kuvaus	56
4.2.2	Simuloinnin lähtötiedot	57
4.2.3	Simuloinnin tulokset	58
4.2.4	Herkkyysanalyysi	59
4.2.5	Ohituskaistojen pituuksien kokeilu	62
4.2.6	Kustannussäästöt kalliin leikkauksen kohdalla	64
4.2.7	Tutkimuksen yhteenveto	65
4.2.8	Kalifornian tutkimuksen johtopäätökset	67
4.3	Mallin arviointi	68
5	OHJELMAN MUOKKAUS	69
5.1	Ohjelman parametrien herkkyyksien kokeilu	69
5.2	Simuloinnin ja mittausten vertailu	72
5.2.1	Lähtöoletukset	72
5.2.2	Tulokset	73
5.2.3	Turvallisuusmarginaalien muutokset	75
5.2.4	Turvallisuusmarginaalin ja henkilöautojen vapaiden nopeuksien muutokset	77
5.5	Mitatun liikenteen käyttö simuloinnissa	83
5.5.1	ITRAF-tiedoston muokkaus	83
5.5.2	Simulointi ITRAF-tiedostolla	86
5.6	Kalibroinnin yhteenveto	92

6	OHITUSKAISTAN PITUUDEN OPTIMOINTI	95
6.1	Taustaa	95
6.2	Yksi ohituskaista	95
6.3	Kaksi ohituskaistaa	123
6.4	Tuloksia kirjallisuudesta	136
7	YHTEENVETO	139
	KIRJALLISUUSLUETTELO	142
	LIITTEET	145

KUVALUETTELO

Kuva 1.	Simulointimallin komponentit (Hoban et.al 1991).	18
Kuva 2.	TRARR-simuloinnin yksinkertaistettu kulku (Hoban et.al 1991).	21
Kuva 3.	TRARR 3.2:n koeajo (Hoban et.al 1991).	25
Kuva 4.	Esimerkkiajon tulostus (Hoban et.al 1991).	27
Kuva 5.	Haamuaajoneuvojen sijainnit (Hoban et.al 1991).	41
Kuva 6.	Nigerian koetien suuntaus (Akinyemi et.al 1990).	47
Kuva 7.	Ohituskaistojen ryhmittely Nigeriassa (Akinyemi et.al 1990).	47
Kuva 8.	Vaihtoehtojen 0 ja 1 nopeudet ja viivytysprosentit (Akinyemi et.al 1990).	48
Kuva 9.	Vaihtoehtojen 2 ja 3 nopeudet ja viivytysprosentit (Akinyemi et.al 1990).	49
Kuva 10.	Tie SR 299 Kaliforniassa (Noguerón-Espinosa, May 1992).	55
Kuva 11.	Uuden ja vanhan SR 299 -tien suuntaus (Noguerón-Espinosa, May 1992).	56
Kuva 12.	SR 299 -tien ohituskaistat, korkeuserot, nopeudet, ohitukset ja jonoprocentit (Noguerón-Espinosa, May 1992).	59
Kuva 13.	Herkkyysanalyysin tulokset ajosuuntien länteen ja itään yhdistelmälle (Noguerón-Espinosa, May 1992).	61
Kuva 14.	Herkkyysanalyysin tulokset ajosuunnassa länteen (ylämäki) (Noguerón-Espinosa, May 1992).	62
Kuva 15.	Viivytysprosentti, kun ohituskaistojen pituutta muutettiin (Noguerón-Espinosa, May 1992).	63
Kuva 16.	Keskimääräinen nopeus, kun ohituskaistojen pituutta muutettiin (Noguerón-Espinosa, May 1992).	64

Kuva 17. Eri vaihtoehtojen viivytysprosentit (Noguerón-Espinosa, May 1992).	66
Kuva 18. Eri vaihtoehtojen keskimääräiset nopeudet (Noguerón-Espinosa, May 1992).	66
Kuva 19. Eri koeajoissa saadut matkanopeudet.	71
Kuva 20. Simuloitujen matkanopeuksien vertailu mittattuihin matkanopeuksiin.	74
Kuva 21. Simuloitujen ohitustiheyksien vertailu mittattuihin ohitustiheyksiin.	74
Kuva 22. Matkanopeudet, kun turvallisuusmarginaaleja on muutettu.	76
Kuva 23. Ohitustiheydet, kun turvallisuusmarginaaleja on muutettu.	77
Kuva 24. Matkanopeudet, kun sekä turvallisuusmarginaalia että henkilöautojen vapaata nopeutta on muutettu.	78
Kuva 25. Ohitustiheydet, kun sekä turvallisuusmarginaalia että henkilöautojen vapaata nopeutta on muutettu.	78
Kuva 26. Pistenopeudet moottoriliikennetiellä.	79
Kuva 27. Jonoprosentit liikennemäärän funktiona moottoriliikennetiellä.	81
Kuva 28. Jonoprosentit etäisyyden funktiona moottoriliikennetiellä.	81
Kuva 29. Simuloitujen matkanopeuksien sopivuus kolmikaistaisen tien mittauksiin.	82
Kuva 30. Simuloitujen ohitusten sopivuus kolmikais- taisen tien mittauksiin.	82
Kuva 31. Matkanopeudet, kun simuloinnissa on käytetty mitattua liikennettä.	89
Kuva 32. Ohitustiheydet, kun simuloinnissa on käytetty mitattua liikennettä.	89
Kuva 33. Matkanopeudet kalibroinnin jälkeen.	90
Kuva 34. Ohitustiheydet kalibroinnin jälkeen.	90
Kuva 35. Simuloidut matkanopeudet ja vuosien 1990 ja 1991 vertailusuorat.	92
Kuva 36. Yhden ohituskaistan simulointijärjestelyt.	95
Kuva 37. Matkanopeudet ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	101

Kuva 38. Matkanopeudet ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	102
Kuva 39. Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	103
Kuva 40. Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.	104
Kuva 41. Ohitustiheydet ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	105
Kuva 42. Ohitustiheydet ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	106
Kuva 43. Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	107
Kuva 44. Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä sekä ohitusten lukumäärät ohituskaistakilometrillä.	108
Kuva 45. Viivytysprosentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	109
Kuva 46. Viivytysprosentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	110
Kuva 47. Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	111
Kuva 48. Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.	112
Kuva 49. Keskiviikon 22.5.91 aineistolla simuloidut matka-ajat eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	113
Kuva 50. Perjantain 7.6.91 aineistolla simuloidut matka-ajat eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	114
Kuva 51. Simuloidut matka-ajat molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä sekä päivä- että ruuhkaliikenteellä.	115
Kuva 52. Päiväliikenteen jonoprosentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	116
Kuva 53. Päiväliikenteen jonoprosentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	117
Kuva 54. Päiväliikenteen jonoprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	118
Kuva 55. Päiväliikenteen jonoprosentit molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.	119

Kuva 56.	Perjantairuuhkan jonoprosentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	120
Kuva 57.	Perjantairuuhkan jonoprosentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	121
Kuva 58.	Perjantairuuhkan jonoprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.	122
Kuva 59.	Perjantairuuhkan jonoprosentit molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.	123
Kuva 60.	Kahden ohituskaistan simulointijärjestelyt.	124
Kuva 61.	Matkanopeudet eri ohituskaistojen pituuksilla.	126
Kuva 62.	Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla.	127
Kuva 63.	Ohitustiheydet eri ohituskaistojen pituuksilla.	128
Kuva 64.	Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla sekä ohitusten lukumäärät ohituskaistakilometrillä.	129
Kuva 65.	Viivytysprosentit eri ohituskaistojen pituuksilla.	130
Kuva 66.	Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla.	131
Kuva 67.	Matka-ajat päivä- ja ruuhkaliikenteessä eri ohituskaistojen pituuksilla.	132
Kuva 68.	Päiväliikenteen jonoprosentit eri ajosuunnissa.	133
Kuva 69.	Päiväliikenteen jonoprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä.	134
Kuva 70.	Ruuhkaliikenteen jonoprosentit eri ajosuunnissa.	135
Kuva 71.	Ruuhkaliikenteen jonoprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä.	136

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	TRARRin tiedostot (Hoban et.al 1991).	24
Taulukko 2.	Simulointikokeen runko (Hoban et.al 1991).	31
Taulukko 3.	TRARRin tapahtumat (Hoban et.al 1991).	42
Taulukko 4.	Polttoaineen kulutuksen laskemiseen tarvittavat parametrit (Hoban et.al 1991).	44
Taulukko 5.	Simuloinnin lähtötiedot Nigerian tutkimuksessa (Akinyemi et.al 1990).	48
Taulukko 6.	Palvelutason määrittäminen HCM:n mukaan.	49
Taulukko 7.	Simulointituloksista johdetut palveluliikennemäärät (Akinyemi et.al 1990).	50
Taulukko 8.	Simulointituloksista johdetut henkilöautoyksikköekvivalentit (Akinyemi et.al 1990).	51
Taulukko 9.	HCM:n avulla johdetut palveluliikennemäärät ja henkilöautoyksikköekvivalentit (Akinyemi et.al 1990).	52
Taulukko 10.	Erot perusajoon, kun ohituskaistat on jätetty pois kalliin leikkauksen kohdalta (Noguerón-Espinosa, May 1992).	65
Taulukko 11.	Koeajon lähtötiedot.	70
Taulukko 12.	Lähtötiedot koeajo2:ssa, jossa verrataan simuloituja ja mitattuja tuloksia keskenään.	73
Taulukko 13.	Lähtötiedot kolmikaistatien simuloinnissa.	80
Taulukko 14.	Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen vapaat nopeudet sekä näiden määrittämiseen käytetyt parametrit.	85
Taulukko 15.	ITRAF-tiedostoissa käytetty mittausaineisto.	87
Taulukko 16.	Kevään 1991 rekisteritunnustutkimukset Järvenpään ja Mäntsälän välillä.	91
Taulukko 17.	Eri ajoneuvotyyppien osuus simuloinnissa.	93
Taulukko 18.	Simuloinnin lähtötiedostoina käytetyt analysaattoriaineistot.	96

Taulukko 19. Simuloidut liikennemäärät ja raskaiden ajoneuvojen osuudet.	97
Taulukko 20. Tutkitut ohituskaistavaihtoehdot.	97
Taulukko 21. Tutkitut ohituskaistavaihtoehdot.	123

LIITELUETTELO

Liite 1. Esimerkki TRAF-tiedostosta (Hoban et.al 1991).	145
Liite 2. Esimerkki VEHS-tiedostosta (Hoban et.al 1991).	146
Liite 3. Esimerkki ROAD-tiedostosta (Hoban et.al 1991).	149
Liite 4. Esimerkki OBS-tiedostosta (Hoban et.al 1991).	150
Liite 5. Valtatie 4 Järvenpäästä Mäntsälään.	151
Liite 6. Ohjelma, joka muuttaa analysaattoriaineiston ITRAF-tiedostoksi.	152
Liite 7. Esimerkit muutosohjelman lähtötiedoista.	157
Liite 8. Esimerkki muutosohjelman tulostustiedoista.	158

1 JOHDANTO

Työ liittyy kesällä 1991 Lahdentiellä käynnistyneeseen kolmikaistaisen tien kokeilun liikennevirtatutkimuksiin. Näissä tutkimuksissa pyritään selvittämään kolmikaistaisen tien liikennevirran ominaisuuksia, teknistaloudellista kannattavuutta ja liikenneteknisiä suunnitteluperiaatteita. Tutkimusmenetelminä käytetään liikennevirran ominaisuuksiin kohdistuvia ennen-jälkeen -tutkimuksia, teoreettisia liikennevirtatutkimuksia sekä simulointia.

Tässä työssä tarkastellaan lähemmin simulointitutkimusten sisältöä, tavoitteita ja suoritustapaa. Työ tehdään australialaisella TRARR-ohjelmalla.

Tämän ohella on tavoitteena selvittää hankitun TRARR-ohjelmiston soveltuvuus ja kalibroida ohjelma kaksi- ja kolmikaistaisen tien liikenteen simulointiin Suomen oloissa. TRARR-ohjelmiston kalibrointi- ja soveltuvuustutkimus tehdään kuvailemalla ohjelman toiminta ja vertailemalla sen antamia tuloksia mittausten mukaisiin havaintoihin. Keskeisiä havaittavia suureita ovat matkanopeudet, jonoprosentit ja ohitusten määrät sekä tien geometrian vaikutukset tuloksiin. Vertailuaineistoina käytetään Lahden moottoriliikenteen mittaustuloksia sekä kaksi- että kolmikaistaisena.

Kolmikaistaisen tien liikenneteknistä mitoitususta selvitetään simuloimalla yksittäisen kolmikaistaisen tieosan vaikutusta liikenteeseen ja etsimällä sille optimipituutta. Optimilla tarkoitetaan tässä yhteydessä pituutta, jonka ylittämisen jälkeen vaikutukset liikennevirtaan ohituskaistan ajosuunnassa ovat suhteellisen vähäiset ja vastakkaisen ajosuunnan olosuhteet eivät huonone olennaisesti.

Työ sisältää myös kirjallisuustutkimuksen, jossa esitellään TRARR-ohjelman käytöstä muualla saatuja kokemuksia sekä kirjallisuuteen perustuvia arvioita kolmikaistaisten teiden

kannattavuudesta ja liikennevirtaan liittyvistä vaikutuksista.

Kiinnostavia tarkastelukohteita olisi ollut myös kolmikais-
taisen tien liikennetaloudellinen kannattavuus ajoneuvo- ja
aikakustannusten osalta, kolmikaistaisten osuuksien ryhmit-
tely, vaihtuvasuuntaisen kolmikaistaisen tien tutkiminen
sekä liikenteen palvelutasovertailut. Olisi ollut myös
mielenkiintoista verrata TRARRia muihin simulointimalleihin.
Valitettavasti nämä tarkastelut eivät mahtuneet tähän diplo-
mityöhön.

2 OHJELMAN KUVAUS (Hoban et.al 1991)

2.1 Johdanto

TRARR on maantieliikenteen simulointiohjelma. Lyhenne muodostuu sanoista TRAffic on Rural Roads. Ohjelman kehitti Dr. Geoff Robinson vuosina 1978 - 1980 Australian Road Research Boardissa.

Ohjelmalla voidaan simuloida liikenteen käyttäytymistä "todellisella" tiellä ja tutkia tien ja liikenteen koostumuksen vaikutusta. Tien geometriaa muuttamalla voidaan verrata eri vaihtoehtoja keskenään. Liikenteen koostumusta muuttamalla voidaan tutkia liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen määrän, ajoneuvokoon ja tehon vaikutuksia. Tutkittavia liikennevirran ominaisuuksia ovat mm. nopeus, matka-aika, jononmuodostus, jonossa-ajoaika, ohitusten määrä ja polttoaineen kulutus.

Simuloitavat tiet ovat pääasiassa kaksikaistaisia ja -suuntaisia teitä. Teillä ei ole liittymiä eli ajoneuvot saapuvat ja poistuvat ainoastaan tien päätepisteistä. Tielle voidaan lisätä ylimääräisiä kaistoja, esimerkiksi ryömimis- ja ohituskaistoja. Myös kolmi- tai nelikaistaisia teitä voidaan mallintaa. Tiellä voi olla ohituskieltoja, lisäkaistoja, kaarteita sekä erilaisia näkemiä ja pituuskaltevuuksia. Ajoneuvojen suorituskyky ja ajajien käyttäytyminen voivat vaihdella, kun ajoneuvo on vapaa, jonossa, ohittamassa tai liittymässä muuhun liikennevirtaan.

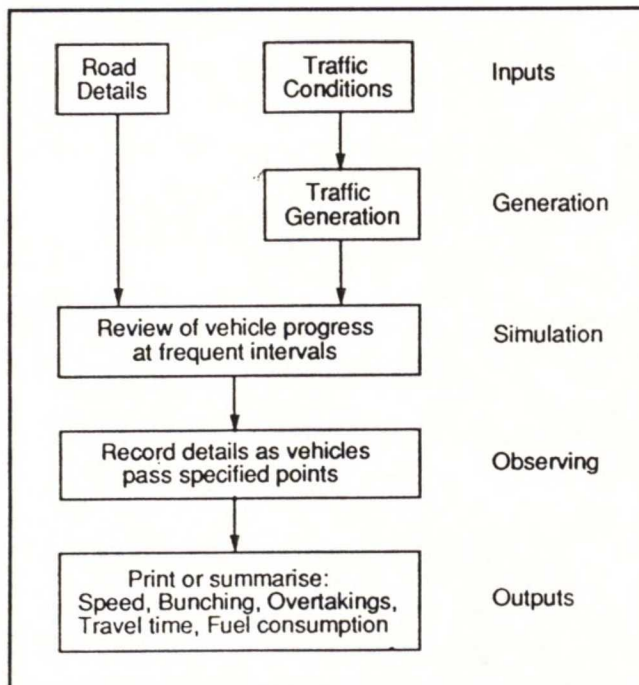
Simuloinnin suurin etu on, että sen avulla voidaan tarkastella samaa liikennettä erilaisilla teillä tai päinvastoin. Ohjelma on laadittu siten, että

- a) ajoneuvojen käyttäytymistä voi vaihdella huomattavasti muuttamatta itse ohjelmaa,
- b) ohjelma on riittävän tehokas ja
- c) ohjelmaa voidaan muuttaa helposti.

2.2 Ohjelman kuvaus

Kuvassa 1 on esitetty TRARRin simulointiprosessin viisi pääkomponenttia:

- a) Tie-, liikenne- ym. tiedostojen lukeminen.
- b) Liikennevirran nopeuden, koostumuksen ja suuntajakauman generointi
- c) Jokaisen ajoneuvon kulun simulointi tiellä.
- d) Liikennevirran ominaisuuksien yksityiskohtien kirjaaminen tietyssä pisteessä tai tieosalla.
- e) Yhteenvedon teko liikenteen käyttäytymisestä.



Kuva 1. Simulointimallin komponentit (Hoban et.al 1991).

2.2.1 Lähtötiedostot

TRARRissa on lähtötiedostoja, joita käyttäjä voi muuttaa koskematta itse ohjelmaan. Ohjelman mukana toimitetaan perustiedostot, joita muutetaan tarpeen mukaan eri sovelluksissa. Useimmiten tarvitaan neljä lähtötiedostoa:

- a) TRAF: määrittelee liikenteen koostumuksen, määrän, kais-tajakauman, tavoitenopeuden, havaintojen keräily-ajan ja simuloinnin keston.
- b) VEHS: määrittelee 18 ajoneuvotyyppin ominaisuuksia, kuten pituuden, kiihtyvyyden, jono- ja ohituskäyttäytymisen.
- c) ROAD: antaa yksityiskohtia tien pituuskaltevuuksista, kaarteista, sulkuviivoista, näkemäalueista ja lisä-kaistoista. Tietiedot määritellään säännöllisin (esimerkiksi 100 metrin) välein.
- d) OBS: määrittelee tulostustiedot, jotka talletetaan tulostustiedostoon. Lisäksi määritellään havainnointipisteiden sijainnit tiellä.

Liitteissä 1-4 on esimerkit näistä tiedostoista.

2.2.2 Liikenteen generointi

Liikenteen generoinnissa luvut valitaan satunnaisesti määritellyistä saapumisajan, tavoitenopeuden ja ajoneuvotyyppin jakaumista. Tämän jälkeen ajoneuvon kulku tiellä riippuu ajoneuvon ja ajajan ominaisuuksista, jotka annetaan lähtötiedoissa.

TRARRissa uusi ajoneuvo generoidaan, kun edelläajava ajoneuvo saapuu simulointitielle. Vaihtoehtoisesti on mahdollista ohittaa liikenteen generointi ja lukea ohjelman ulkopuolinen liikennetiedosto. Tämä tiedosto voidaan luoda edellisen simuloinnin avulla tai lukea todellisesta liikennetiedostosta tai erillisestä liikenteen generointiohjelmasta. Tämä piirre on hyödyllinen silloin, kun simuloidaan tietyn tyyppistä saapuvaa liikennettä, kuten esimerkiksi liikennevalojen jälkeistä liikennettä.

2.2.3 Simulointi

Jokaisen ajoneuvon etenemistä tiellä tarkastellaan pienin aikaväleihin (useimmiten 1 s:n välein), jolloin voidaan tehdä muutoksia ajoneuvon nopeuteen, kiihtyvyyteen tai sijaintiin.

Simulointikierron sisältää lukuisia kirjaustehtäviä. Näin ylläpidetään ja päivitetään listaa ajoneuvojen sijainnista ja suhteellisesta järjestyksestä jokaisella kaistalla ja esimerkiksi ohituskaistojen välillä.

2.2.4 Havainnointi

Ajoneuvoja koskevan informaation keräily on erotettu simulointirutiinista, joten lähtötietoja voidaan muuttaa ilman, että vaikuttaa ajoneuvon käyttäytymiseen. Tielle voidaan määrittellä yhteensä 100 havainnointipistettä. Näissä pisteissä voidaan kerätä pistetietoa (esim. nopeus ja jonot) ja kahden pisteen väliltä voidaan kerätä mm. matka-aikatietoja ja polttoaineen kulutustietoja. Käyttäjä voi myös määrittellä ajoneuvotyypeistä ryhmiä, joille halutaan erotella tulostustietoja.

2.2.5 Tulostus

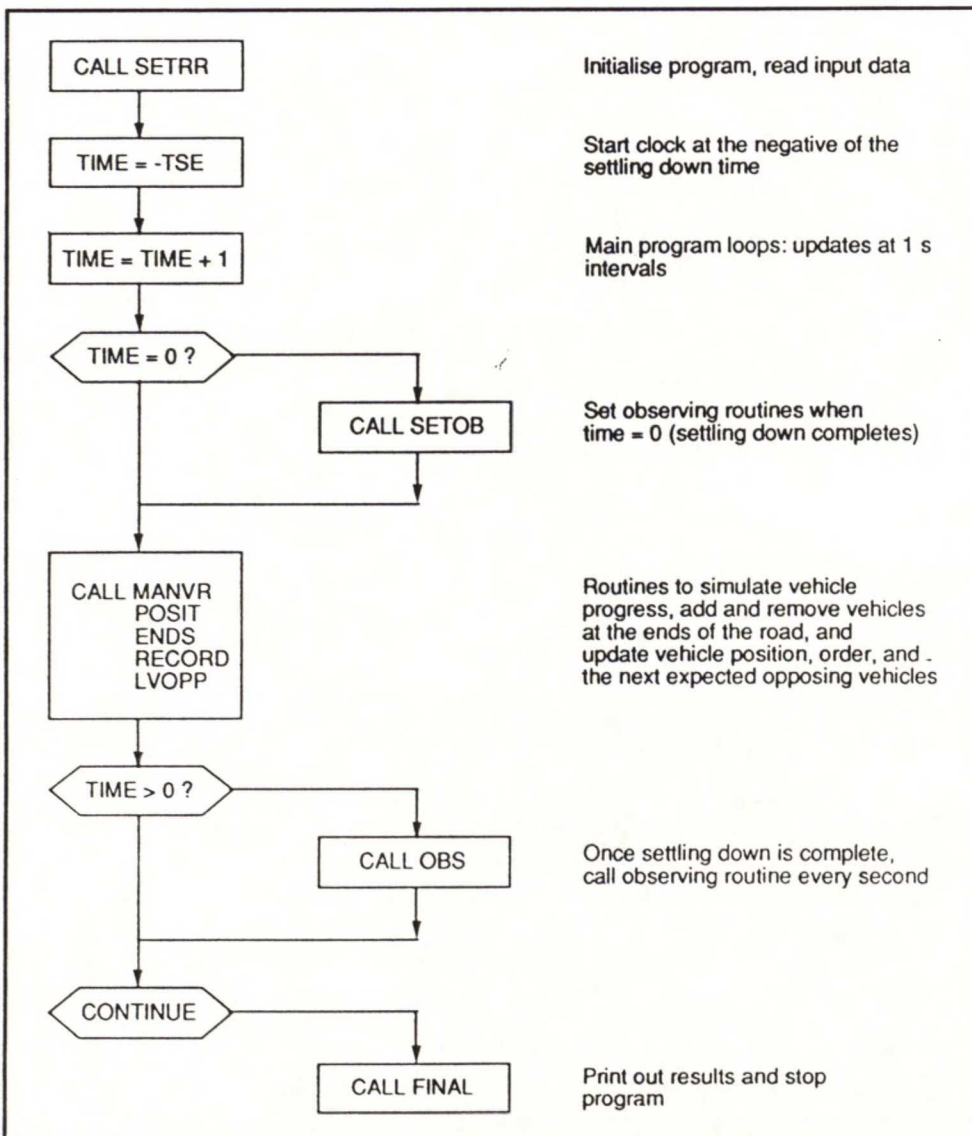
Simuloinnin tulokset kirjoitetaan tiedostoon OUT. Vaihtoehtoisia tulostusoptioita ovat mm.

- a) nopeusjakaumat, jonojen pituudet ja ohitukset sekä
- b) yksityiskohtaiset ajoneuvotiedostot jokaisessa havainnointipisteessä.

Optioita on käsitelty lähemmin kappaleessa 2.7.

2.2.6 Ohjelman kulku

Ohjelman kulku on kuvattu yksinkertaistettuna kuvassa 2. Ohjelma alkaa aliohjelmalla SETRR, joka lukee lähtötiedostot ja määrittelee kaikki vakiot. Simuloinnin "kellon" stabilisointisaika on asetettu negatiiviseksi. Havainnointi alkaa, kun kellon aika on nolla.



Kuva 2. TRARR-simuloinnin yksinkertaistettu kulku (Hoban et.al 1991).

Pääohjelman silmukassa simulointikelloon lisätään aikayksikkö (tavallisesti 1 s) ja kutsutaan seuraavat rutiinit:

- a) MANVR, joka määrittelee jokaisen ajoneuvon sijainnin ja ottaa huomioon mahdolliset sijainnin muutokset, jotka johtuvat tien muista ajoneuvoista.
- b) POSIT, joka päivittää ajoneuvon nopeuden ja paikan.
- c) ENDS, joka generoi simulointitielle saapuvan uuden ajoneuvon tien alkupisteessä ja tuhoaa sen, kun se poistuu tieosuuden loppupisteessä.
- d) REORD, joka ylläpitää ajoneuvojen suhteellisen sijainnin kullakin kaistalla.

SETOB kutsutaan yhden kerran, kun keräilyaika on täysi (kello = 0). SETOB määrittelee havaintojoukot ja vakiot. Sen jälkeen aliohjelma OBS kirjaa ajoneuvot jokaisessa määritellyssä havaintopisteessä tietyin aikaväleihin. Kun simulointiaika on täysi, aliohjelma FINAL tulostaa tarvittavan informaation.

2.2.7 Optiot

TRARRissa on useita optioita. Näistä kuusi on määritelty TRAF-tiedostossa IOPT-parametreinä. Näitä ovat:

- a) IOPT=1 STANDARDIsyöttö ja -tulostus
- b) IOPT=2 Syötetty liikenne (INPUT TRAFFIC), joka ohittaa liikenteen generoinnin ja lukee käyttäjän laatiman ITRAF-tiedoston.
- c) IOPT=3 Väistöalue (PASSING BAY) on hyvin lyhyt lisäkaista, jolle raskaat ajoneuvot voivat väistyä ohituksen ajaksi. Lisäinformaatiota voidaan kutsua tiedostosta PBAYS.
- d) IOPT=5 GRAAFINEN NÄYTTÖ. Näytölle voidaan generoida ajoneuvojen liikkeitä.
- e) IOPT=6 AJAN NÄYTTÖ. Ajan lisäys näytetään kuvaruudulla.

f) IOPT=7 Lukee nopeustaulukon kertoimet.

ICHECK-option avulla voidaan tulostaa TRAF-tiedoston forma-
tointivirheet. Optioita ovat:

- a) ICHECK=0 Ei tulostusta.
- b) ICHECK=1 Tulostus tiedostoon CHKOUT.

Havannointitiedosto (OBS) sisältää myös IFILE-parametrin.
Näitä tulostusoptioita ovat:

- a) IFILE=0 Ei ylimääräisiä tulostuksia.
- b) IFILE=1 Nopeuksien frekvenssijakaumat, ohitukset
ja jononpituudet.
- c) IFILE=2 Jokaisen havannointipisteen ohittavan ajo-
neuvon ominaisuudet (mukaan lukien matka-
aika ja ohitusten määrä havannointivälin
päätepisteissä).
- d) IFILE=3 Ainoastaan havannointivälin päätepisteet
ohittavien ajoneuvojen ominaisuudet.
- e) IFILE=4 Jokaisen ajoneuvon sijainti, aika ja kais-
tainformaatio tietyin aikajaksoin, jotta
niistä voidaan myöhemmin tehdä graafinen
esitys.
- f) IFILE=5 Jokaisen ajoneuvon polttoaineen kulutus,
sijainti, aika, nopeus ja kiihdytys aika-
jaksoittain.

Optioilla 2, 3 ja 5 tulokset kirjataan XOUT-tiedostoon,
arvolla 1 tiedostoon OUT ja arvolla 4 tiedostoon GRAFO.

2.2.8 TRARRin käyttämät tiedostot

Ohjelma käyttää useita eri kanavia syöttö- ja tulostustie-
doille. Nämä on esitetty taulukossa 1. Neljää viimeistä
tiedostoa tarvitaan ainoastaan optioita käytettäessä.

Taulukko 1. TRARRin tiedostot
(Hoban et.al 1991).

Channel	File Name	Description
5	INPUT	Interactive inputs (eg title of run)
6	OUTPUT	Interactive outputs (screen messages)
11	OUT	Summary output information
12	XOUT	Extended output information
13	TRAF	Traffic characteristics
14	VEHS	Vehicle/driver characteristics
15	ROAD	Road description
16	OBS	Observing requirements
17	ITRAF	Input traffic file
18	PBAYS	Passing bay locations and requirements
20	GRAFO	Position time information file
22	CHKOUT	Echo print file

2.3 Ohjelman ajo

2.3.1 Ohjelman koeajo standarditiedostojen avulla

Ohjelma käynnistetään käskyllä "TRARR". Kuvassa 3 on esimerkkiajo. Käyttäjän antamat tiedot on kirjoitettu lihavoidulla tekstillä. Kuvassa 4 on esimerkkiajon tulostus. Tuloksissa "overtakings no. of" tarkoittaa passiivisten ohitusten lukumäärää ja "overtakings no. by" aktiivisten ohitusten lukumäärää. "Overtakings rate by" tarkoittaa ajoneuvon ohitustiheyttä (ohit./km h), joka on virran ohitustiheyden suhde liikennemäärään. Esimerkiksi kuvassa 3 ajoneuvon ohitustiheys $0,129 = (9 * 600 / 3,5) / (20 * 600)$.


```

C:\>TRARR

***** TRARR 3.2 - Rural Traffic Simulation *****
** INPUT title for this run (max. 50 characters)
TRIAL RUN

Current parameter values;

DIRECTION 1:      FLOW (VEH/H):      600.0
                  % FOLL:          33.0
                  % TRUCKS :       25.0

DIRECTION 2:      FLOW (VEH/H):      300.1
                  % FOLL:          66.0
                  % TRUCKS :       10.0

SIMULATION TIME (SEC):      600.0
SETTLING DOWN TIME (SEC):   300.0
RANDOM SEED (ANY NUMBER):   127.0

Do you wish to modify these values interactively? (yes or no) Y

For this run input the following parameters:

FLOW IN DIRECTION 1 (VEH/H): 400
% FOLL IN DIRECTION 1: 55
% TRUCKS IN DIRECTION 1: 10
FLOW IN DIRECTION 2 (VEH/H): 250
% FOLL IN DIRECTION 2: 35
% TRUCKS IN DIRECTION 2: 10

** SIMULATION TIME REQUIRED (SEC): 600

** TO ESTABLISH SETTling DOWN TIME, INPUT ROAD LENGTH (KM): 5.2

-> SETTling DOWN TIME=      312.0 SEC

** RANDOM SEED (ANY NUMBER):      154

DIRECTION 1:      FLOW (VEH/H):      400.0
                  % FOLL:          55.0
                  % CARS :         90.0
                  % TRUCKS :       10.0

DIRECTION 2:      FLOW (VEH/H):      250.0
                  % FOLL:          35.0
                  % CARS :         90.0
                  % TRUCKS :       10.0

SIMULATION TIME (SEC):      600.0
SETTLING DOWN TIME (SEC):   312.0
RANDOM SEED (ANY NUMBER):   154.0

Are the revised values O.K.? (yes or no): Y

```

Kuva 3. TRARR 3.2:n koeajo (jatkuu seuraavalla sivulla) (Hoban et.al 1991).

** DATA FILES READ; SIMULATION PROCEEDING **

** SETTLING DOWN COMPLETE; OBSERVING COMMENCES **

** SIMULATION TIME COMPLETE; KEEP OBSERVING TILL THESE VEHICLES LEAVE **

ACTUAL FLOWS - DIRECTION 1: 450. VEH/H
 - DIRECTION 2: 336. VEH/H
 - COMBINED: 786. VEH/H
 ACTUAL COMPLETION TIME: 890. SEC
 MAXIMUM NUMBER OF VEHICLES ON ROAD: 97

* INTERVAL INFORMATION FOR BOTH DIRECTIONS COMBINED *
 (ASSUMES MATCHING LENGTHS OF 3500.M)

VEHICLE CATEGORY	TRAVEL TIME		JOURNEY SPEED		%TIME SPENT FOLL.	OVERTAKINGS			FUEL CONS. ML	NUMBER
	MEAN SEC	S.D. SEC	MEAN KM/H	S.D. KM/H		NO. OF	NO. BY	RATE BY		
TRUCKS	168.4	20.5	76.0	10.1	47.8	43	9	.129	.0	20
CARS	157.5	18.8	81.1	9.6	59.0	98	132	.340	503.4	111
ALL	159.2	19.4	80.3	9.8	57.3		141	.308	503.4	131

----- MORE DETAILED OUTPUT INFORMATION IS GIVEN IN FILE "OUT" -----
 Stop - Program terminated.

Kuva 3. TRARR 3.2:n koeajo (Hoban et.al 1991).

1Short Demonstration

TRARR 3.1

TRAFFIC PARAMETERS SPECIFIED AT INPUT:

TIME OF SIMULATION = 600.0
 SETTLING DOWN TIME = 312.0
 RANDOM SEED NUMBER = 254.0

 % FOLLOWING, DIRECTION 1 = 55.0
 % FOLLOWING, DIRECTION 2 = 35.0

STREAM	DIR1 FLOW (VEH/H)	DIR2 FLOW (VEH/H)	TOTAL
CARS	360.0	225.0	585.0
TRUCKS	40.0	25.0	65.0
TOTAL	400.0	250.0	650.0

ACTUAL FLOWS - DIRECTION 1: 450. VEH/H
 - DIRECTION 2: 336. VEH/H
 - COMBINED: 786. VEH/H
 ACTUAL COMPLETION TIME: 890. SEC
 MAXIMUM NUMBER OF VEHICLES ON ROAD: 97

**** DIRECTION 1 ****

POINT OBSERVATIONS: POSITIONS MEASURED FROM START IN DIRECTION OF TRAVEL

POSITION M	OVERTAKINGS COMMENCED	SPEED (KM/H)		%FOLL	NUMBER	MEAN SPEED BY CATEGORY		
		MEAN	S.D.			1	2	3
500.	0	71.1	10.4	66.7	75	67.1	71.9	
1000.	6	70.0	11.1	65.3	75	64.2	71.2	
1500.	0	70.1	11.9	66.7	75	64.1	71.4	
2000.	1	72.8	10.5	69.3	75	73.2	72.8	
2500.	5	74.4	12.3	73.3	75	73.5	74.6	
3000.	21	87.9	14.3	57.3	75	80.7	89.5	
3500.	23	92.0	16.1	41.3	75	80.4	94.4	
4000.	3	83.2	14.8	28.0	75	74.1	85.1	
4500.	0	84.3	14.1	48.0	75	75.5	86.1	
4900.	2	84.2	14.8	48.0	75	75.9	85.9	

* INTERVAL OBSERVATIONS BETWEEN 1000.M AND 4500.M (3500.M)

VEHICLE CATEGORY	TRAVEL TIME		JOURNEY SPEED		%TIME SPENT FOLL.	OVERTAKINGS			FUEL CONS. ML	NUMBER
	MEAN SEC	S.D. SEC	MEAN KM/H	S.D. KM/H		NO. OF	NO. BY	RATE BY		
TRUCKS	175.9	15.1	72.1	6.5	53.6	31	5	.110	.0	13
CARS	163.4	18.9	78.1	8.9	63.9	61	87	.401	558.2	62
ALL	165.6	18.8	77.1	8.8	62.1		92	.350	558.2	75

Kuva 4. Esimerkkiajon tulostus (jatkuu seuraavalla sivulla) (Hoban et.al 1991).

1Short Demonstration		TRARR 3.1								
**** DIRECTION 2 ****										
POINT OBSERVATIONS: POSITIONS MEASURED FROM START IN DIRECTION OF TRAVEL										
POSITION M	OVERTAKINGS COMMENCED	SPEED (KM/H)		%FOLL	NUMBER	MEAN SPEED BY CATEGORY				
		MEAN	S.D.			1	2	3		
500.	0	85.9	11.7	48.2	56	79.0	86.9			
1000.	0	84.8	10.9	55.4	56	78.9	85.6			
1500.	26	88.9	13.5	33.9	56	83.8	89.6			
2000.	2	89.3	16.3	28.6	56	81.4	90.4			
2500.	2	84.6	12.1	37.5	56	82.3	85.0			
3000.	3	85.9	12.8	37.5	56	86.0	85.9			
3500.	0	81.2	12.0	46.4	56	83.1	81.0			
4000.	0	81.2	12.9	53.6	56	83.6	80.8			
4500.	0	76.9	10.4	57.1	56	78.5	76.7			
4900.	5	82.4	12.8	53.6	56	76.6	83.2			
* INTERVAL OBSERVATIONS BETWEEN 1000.M AND 4500.M (3500.M)										
VEHICLE CATEGORY	TRAVEL TIME		JOURNEY SPEED		%TIME SPENT	OVERTAKINGS			FUEL CONS.	NUMBER
	MEAN SEC	S.D. SEC	MEAN KM/H	S.D. KM/H		NO. OF	NO. BY	RATE BY		
TRUCKS	154.3	22.9	83.2	12.2	37.0	12	4	.163	.0	7
CARS	150.0	16.0	84.9	9.3	52.7	37	45	.262	433.9	49
ALL	150.6	16.8	84.7	9.6	50.8		49	.250	433.9	56
* INTERVAL INFORMATION FOR BOTH DIRECTIONS COMBINED * (ASSUMES MATCHING LENGTHS OF 3500.M)										
VEHICLE CATEGORY	TRAVEL TIME		JOURNEY SPEED		%TIME SPENT	OVERTAKINGS			FUEL CONS.	NUMBER
	MEAN SEC	S.D. SEC	MEAN KM/H	S.D. KM/H		NO. OF	NO. BY	RATE BY		
TRUCKS	168.4	20.5	76.0	10.1	47.8	43	9	.129	.0	20
CARS	157.5	18.8	81.1	9.6	59.0	98	132	.340	503.4	111
ALL	159.2	19.4	80.3	9.8	57.3		141	.308	503.4	131
** FREE SPEED DISTRIBUTIONS: DESIRED SPEEDS IGNORE ROAD CHARACTERISTICS; UNIMPEDED SPEEDS TAKE ACCOUNT OF ROAD SPEED INDICES, BUT NOT GRADES OR TRAFFIC.										
VEHICLE CATEGORY	DESIRED SPEED		UNIMPEDED SPEED		NUMBER					
	MEAN	S.D.	MEAN	S.D.						
TRUCKS	84.5	10.4	82.9	10.4	20					
CARS	94.8	14.5	92.5	14.2	111					
ALL	93.2	14.4	91.0	14.1	131					

Kuva 4. Esimerkkiajon tulostus (Hoban et.al 1991).

2.3.2 Lähtötiedostojen yksinkertaiset muutokset

Käyttäjä haluaa todennäköisesti muuttaa lähtötiedoston arvoja omien tarpeidensa mukaan. Lähtötiedostot on kuitenkin kirjoitettu kiinteään muotoon, joten käyttäjän täytyy olla huolellinen, kun hän muuttaa niitä. Datatiedostoon voi lisätä kommentteja niille varatuille alueille. Seuraavassa on muutama esimerkki lähtötiedostojen muuttamisesta.

Vuorovaikutteiset syötöt

Käyttäjä voi muuttaa liikennemääriä, kaistajakaumia, raskaiden ajoneuvojen määrää, jononprosenttia, simulointiaikaa ja epäsuorasti myös keräilyaikaa. Nämä muutokset voi tehdä ohjelman käynnistyksen jälkeen (esimerkki kuvassa 3).

TRAF

Yllämainittuja ominaisuuksia voi myös muuttaa TRAF-tiedostossa. Lisäksi siellä voidaan muuttaa liikenteen nopeutta, suoritettavia optioita, satunnaislukua, liikennemäärää ja liikennevirran koostumusta.

VEHS

Tämän tiedoston sisältämiä ajoneuvon ja ajajan ominaisuuksia ei käyttäjän tulisi normaalisti muuttaa, koska muutokset saattavat vaikuttaa simuloinnin luotettavuuteen.

ROAD

Tietiedostoa on suhteellisen helppo muuttaa tai luoda kokonaan uusi tie. Pituuskaltevuuksien, näkemien, sulkuviivojen ja lisäkaistojen muutoksilla voi olla huomattavia vaikutuksia liikenteen käyttäytymiseen, joten tietiedosto on kriittinen tekijä useimmissa simulointitehtävissä. Tietiedostoa ymmärtääkseen tulee kiinnittää huomiota seuraaviin seikkoihin:

a) Sulkuviivat on koodattu siten, että -1 tarkoittaa sulkuviivaa ja 1 aluetta, jolla ohitus on sallittua. Välissä

olevaa arvoa 0 voidaan käyttää sellaisissa tilanteissa, joissa toiset ajajat voivat ohittaa ja toiset eivät (esimerkiksi kapealla sillalla) tai joissa halutaan tutkia ohituskäyttäytymistä tarkemmin. Tiedostossa VEHS ja parametrilla LLA on määritelty käyttäytymissäännöt ajoneuvoille, jotka voivat ohittaa nolla-koodin aikana.

b) Lisäkaistat on koodattu siten, että T tarkoittaa aluetta, jossa on lisäkaista ja F aluetta, jossa ei ole lisäkaistaa.

c) Näkemät on koodattu etäisyytenä, josta ajaja voi nähdä annetun pisteen. Etäisyys ei yleensä ole sama eri suunnista katsottuna.

OBS

Tämän tiedoston yleisimmät muutokset ovat havaintopisteiden sijainnit ja väli, jolta mitataan mm. matka-aika. On mahdollista muuttaa myös informaation tulostusten luokkia. Parametria NCT (Number of vehicle observation categories) täytyy myös muuttaa samanaikaisesti.

2.4 Simulointikoe

Erilaisten liikennevirran koostumusten, jonoutumisen ja suuntajakaumien yhdistelmien kokeiluun voi käyttää mallina olevia lähtötiedostoja. Seuraavana tehtävänä on rakentaa tietiedosto (ROAD) ja muuttaa OBS-tiedosto tietiedostoon sopivaksi. Yksinkertaiset pituuskaltevuuksien, sulkuviivojen, näkemien ja ohituskaistojen muutokset voidaan testata annettujen liikenneolosuhteiden avulla.

Käyttäjä voi muuttaa editorin avulla myös TRAF-tiedostoa. Eräs muutos voi olla uuden ajoneuvoluokan lisääminen. Tällöin täytyy muuttaa myös NSTR:n (Number of vehicle generation categories) tietoja. IOPT:n avulla voidaan lisätä

joitakin erikoisuuksia kuten lyhyitä väistöalueita (IOPT=3) tai ajoneuvojen liikkeiden näyttö kuvaruudulla (IOPT=5).

Simulointikoe voi sisältää useiden tievaihtoehtojen ja liikenneolosuhteiden vertailun. Ajatellaanpa esimerkiksi olemassaolevaa tietä, jolle on harkittu lisäkaistoja ja tien uudelleen suuntaamista. Yhdeksi vaihtoehdoksi halutaan ehkä ottaa kaksikaistainen tie, jotta erilaisten vaihtoehtojen hyödyn suuruutta voitaisiin verrata.

Jokaista tievaihtoehtoa tulee verrata samoissa liikenneolosuhteissa. Useista vaihtoehdoista voidaan valita vain pieni otos. Taulukossa 2 on esimerkki, jossa on viisi tievaihtoehtoa, kolme erisuuruista liikennemäärää ja kaksi liikenteen koostumusta. Tämän esimerkin läpikäymiseen tarvitaan $5 \times 3 \times 2 = 30$ simulointia.

Taulukko 2. Simulointikokeen runko (Hoban et.al 1991).

Road Options

- 1 Existing two-lane road
- 2 Overtaking lanes at 16 km spacings
- 3 Overtaking lanes at 8 km spacings
- 4 Realign to a 100 km/h design speed
- 5 Reconstruct as a four-lane divided road

Traffic Volumes

- 1 200 veh/h in each direction
- 2 400 veh/h in each direction
- 3 600 veh/h in each direction

Traffic Composition

- 1 10 per cent trucks
 - 2 20 per cent trucks
-

Esimerkkiin tarvitaan viisi kopiota ROAD-tiedostosta ja kuusi TRAF-tiedostosta. Erilaiset liikennevirran ominaisuudet voidaan vaihtoehtoisesti syöttää ajon aikana. Kolmekymmentä simulointia voidaan "ketjuttaa" siten, että toinen simulointiprosessi käynnistyy edellisen loppuessa.

2.5 Tulosten tulkitseminen

Kuinka simuloinnin tulokset tulisi tulkita? Seuraavassa on muutamia ohjeita, joista voi olla apua. Esimerkkinä on käytetty kuvaa 4.

Matka-aika

Simulointi antaa matka-ajan ja hajonnan kahden pisteen välillä, jotka käyttäjä on määritellyt. Matka-aika lasketaan myös ajoneuvoluokissa kuten "kevyet" ja "raskaat".

Matka-aikaa voidaan käyttää tie-ehdotuksen taloudellisen hyödyn laskemiseen ja verrata erilaisten teiden aikasäästöjä ja viivytyksiä. Kun matka-aikoja mitataan eri luokissa, voidaan tutkia, mihin tienkäyttäjärühmiin tien parantaminen vaikuttaa.

Matkanopeus

Jokaisen ajoneuvon matkanopeus V_j lasketaan matka-ajan $TT[s]$ ja etäisyyden $L[km]$ avulla:

$$V_j = 3600L/TT \text{ (km/h)} \quad (1)$$

85 %:n matkanopeus voidaan laskea keskiarvon ja hajonnan avulla. 85 %:n matkanopeutta käytetään usein Highway Capacity Manualissa (1985) käyttönopeutena.

Ajoneuvon ohitustiheys

Ohitusten lukumäärä ja ohitustiheys lasketaan samalta välimatkalta kuin matkanopeuskin. Nämä tulokset ovat hyödylli-

siä, kun halutaan tutkia liikenteen käyttäytymistä ja verrata simuloituja ja havaittuja tuloksia keskenään.

Jonossa-ajoaika

Simuloidun tien jokaisesta ajoneuvosta tarkistetaan sekunnin välein onko se "vapaa" vai "jonossa". Sen jälkeen lasketaan viivytysprosentti (percent time spend following) jokaiselle ajoneuvoluokalle eri ajosuunnissa. Tämä viivytysprosentti vastaa HCM:n viivytysprosenttia (percent time delay).

Polttoaineen kulutus

Kuvan 5 tulokset sisältävät myös ajoneuvoluokkien polttoaineenkulutuksen (ml) annetulla välimatkalla. Polttoaineen kulutus lasketaan jokaisen ajoneuvon nopeuden ja kiihtyvyyden sekä tien tasauksen avulla. Tällä hetkellä kuitenkin polttoaineen kulutus voidaan laskea vain henkilöautoille.

Pistekeskinopeus ja jonoutuminen

Jokaisessa pisteessä lasketaan pistenopeus ja -keskinopeus eri ajoneuvoluokille. Ohjelma laskee myös ajoneuvojen jono-prosentin jokaisessa pisteessä ja alkaneiden ohitusten lukumäärän peräkkäisten pisteiden välillä. Tämä on hyödyllistä silloin, kun halutaan tutkia liikenteen etenemistä tiellä ja etsiä tien ongelmakohdat.

3 OHJELMAN FILOSOFIA (Hoban et.al 1991)

3.1 Näkökohtia ohjelman filosofiasta

3.1.1 Mitä ohjelma tekee?

TRARRin logiikan täydellinen kuvaaminen on vaikeaa. Yksityiskohtaisen kuvauksen saa ainoastaan itse ohjelmasta. Tarkemmin ajoneuvojen ja ajajien käyttäytymisestä saa tietoa ajoneuvotiedostosta VEHS. Ohjelman runko on sellainen, että useita käyttäytymisominaisuuksia voidaan muuttaa, yksinkertaistaa tai poistaa.

Vapaat ajoneuvot

Ajoneuvojen sanotaan olevan vapaita, jos ne eivät ole vuoro-vaikutuksessa toisten kanssa. Jokaisella ajoneuvolla on tavoitenopeus ideaalisella tieosalla ja vapaiden ajoneuvojen oletetaan ajavan tavoitenopeutta. Ajoneuvon nopeutta voivat kuitenkin rajoittaa tien geometria, ajoneuvon teho tai jarrutusominaisuudet. Jokaiselle tiejaksolle on määriteltä nopeuskerroin, joka kuvastaa tien horisontaalista suuntausta, päällysteen leveyttä ja karkeutta sekä nopeusrajoitusta. Pituuskaltevuus ja ilmanvastus vaikuttavat myös ajoneuvojen käyttäytymiseen. Tavoitenopeuden arvo annetaan lähtötiedoissa.

Jonot

Kun ajoneuvo saavuttaa hitaamman ajoneuvon, sen täytyy joko ohittaa se tai jäädä sen taakse jonoon. TRARRissa jokaisella ajoneuvolla on tietty pituus ja jonossa oleva ajoneuvo yrittää pitää tietyn etäisyyden edessä ajavaan ajoneuvoon. Haluttu etäisyys riippuu jonossa olevan ajoneuvon nopeudesta. Mikäli ajoneuvojen välinen etäisyys on liian pieni, takimmainen pudottaa nopeutensa sellaiseksi, että kun edessä ajava ajaa tasaista nopeutta, niin takimmainen saavuttaa haluamansa etäisyyden turvallisesti ja tasaisesti.

Ajoneuvot voivat ajaa tavanomaista lähempänä toisiaan tilanteessa, jossa ohittava ajoneuvo palaa jonoon ohituksen

jälkeen. Ne voivat ajaa tavanomaista lähempänä myös silloin, kun ne aikovat ohittaa. Kun useampi kuin yksi ajoneuvo on ohittamassa samanaikaisesti, ajoneuvot voivat olla jonossa ohituskaistalla. Tällöin niiden käyttäytyminen jonossa noudattaa samoja yhtälöitä kuin tavallisella kaistalla paitsi, että ne eivät voi ohittaa toisiaan.

Ohitukset

Ennen kuin ohitus voi alkaa, ajaja tutkii mahdollisen ohituksen turvallisuusmarginaalin. Hän aloittaa ohituksen, jos estimoitu aika on riittävä. Hän voi varata ohituksen lopettamiseen ylimääräistä aikaa, jos ohitettavan ajoneuvon edellä ei ole kovin suurta aukkoa. Ajajat ajavat yleensä ohittaessaan nopeammin kuin heidän tavoitenopeutensa on. Useampi ajoneuvo voi ohittaa samanaikaisesti, mutta ajoneuvoa, joka on ohittamassa, ei voi ohittaa. Käytetty maksimiteho voi olla suurempi ohitettaessa kuin tavallisessa vapaassa ajossa.

Jokaisella ajajalla on kiinteä aggressiotaso. Jotkut ajajat eivät ole tarpeeksi aggressiivisia ohittamaan lainkaan elleivät he ole toisena jonossa tai tiellä ei ole ohituskaistaa. Aggressiokertoimella voi helposti tarkastella tavallista jonokäyttäytymistä. Jos edellä ajava ajaa lähes samaa nopeutta kuin takana ajava, ei takaa tuleva halua ohittaa.

Silloin kun edessä ei näy vastaantulevia ajoneuvoja, ajaja olettaa, että vastaan tulee auto juuri näkemäalueen takaa tietyllä nopeudella. Tällöin turvallisuustekijät saattavat olla erilaiset kuin silloin, kun vastaantulevan ajoneuvon voi nähdä. Toiset ajajat tarkistavat ensin, että heillä on mahdollisuus saavuttaa edellä ajava turvallisesti ja olettavat sen jälkeen, että näkemäalueen takana on ajoneuvo. Jos vastaan tulee ajoneuvo ennen kuin ohittaja on saavuttanut edellä ajavan, ohittaja voi joutua keskeyttämään ohituksensa. Tätä kutsutaan ohituksen epäonnistumiseen liittyväksi

paluuksi takaisin omalle kaistalle (overtaking-aborted merge). Jos tiellä on ohituskaista, ei vastaantulevaa ajoneuvoa tarvitse välttämättä ottaa huomioon.

Ohitusta kutsutaan yksinkertaiseksi ohitukseksi (simple overtaking), jos yksi ajoneuvo ohittaa toisen ilman, että lähellä on toista ohitusta, lisäkaistaa tai toista ajoneuvoa, joka olisi myös ohittanut, jos olisi ollut tarpeeksi aikaa. Yksinkertaisen ohituksen oletetaan olevan ohi, kun ohittaja on kaukana ohitettavan edellä. Monimutkaisempaa ohitusta tarkastellaan silloin, kun ohittavia ajoneuvoja on kaksi tai useampia. Ajaja, joka seuraa ohituskaistalla tarkistaa, että hänellä on aikaa lopettaa ohitus ennen kuin edessä ajava lopettaa ohituksensa.

Kun tiellä on ohituskaista, ohituskaistalla ajava siirtyy peruskaistalle, jos sillä on runsaasti tilaa tai ohittajaa seurataan ja peruskaistalla on vähintään tietty tila vapaina. Ajoneuvo, joka on peruskaistalla, siirtyy ohituskaistalle, jos se saavuttaa itseään hitaamman ajoneuvon. Jos ohituskaista alkaa mäen juurelta, ajaja tarkistaa ennen ohituskaistalle siirtymistään, ettei siellä ole ennestään raskasta ajoneuvoa, jonka nopeus laskee huomattavasti mäessä.

Peruskaistalle palaaminen ohituksen jälkeen (merging)

Ohjelmassa on kahdenlaisia ohituksen lopettamistilanteita. Toinen on paluu ohituskaistan päättyessä peruskaistalle ja toinen palaaminen takaisin omalle kaistalle ohituksen epäonnistuessa. Ajaja yleensä aloittaa paluun peruskaistalle tietyn etäisyyden päässä ohituskaistan päätymisestä. Ajaja saattaa myös jatkaa ohitusta ohituskaistan päätyttyäkin, jos se on turvallista ja sallittua. Palatessaan peruskaistalle ajaja valitsee peruskaistan liikenteestä sopivan aikavälin ja yrittää päästä oikealle paikalleen. Molempien kaistojen ajoneuvoille voi tulla viivytyksiä liittymisen takia.

Pienintä haluttua seurantaetäisyyttä käytetään ohituksen lopettamistilanteessa usealla tavalla hyväksi, kun hyväksytään pienintä aikaväliä kahden ajoneuvon välillä. Ajaja voi hyväksyä pienemmän etäisyyden kuin tavallisesti ja haluttu etäisyys kasvaa sen jälkeen, kun palaaminen peruskaistalle on tehty. Jos ajoneuvon nopeus laskee tietyn arvon alle, niin ajaja yrittää palata lähimmän ajoneuvon taakse mieluummin kuin selvittää minkä ajoneuvon taakse hän pääsisi helpoiten. Kuitenkaan ajoneuvojen nopeus ei voi laskea tietyn minimiarvon alle. Näiden tekijöiden toivotaan antavan kohtalaisen likiarvon matka-ajalle ohituksesta palaamisen alun ja lopun aikana.

Ohituskaistalla ajavat voivat jatkaa ohitusta ohituskaistan päätyttyäkin, jos näkemäalue on hyvä tai liikenteen muutokset ovat sellaiset, että ohituksen jatkaminen on mahdollista eikä ohitusta ole kielletty sulkuviivoin. Ohitusta lopettavat ajoneuvot seuraavat edessä ajavaa ajoneuvoa ja valmistautuvat samaan aikaan seuraamaan ajoneuvoa, jonka taakse ne ovat ajatelleet palata.

Väistöalueet (passing bays)

Joillakin alhaisen standardin teillä, joilla on pieni liikennemäärä eikä ole ohituskaistoja, on lyhyitä väistöalueita. Hidas ajoneuvo voi väistää väistöalueelle nopeampien päästessä ohi. TRARRissa on optio, jolla voi käsitellä tällaisia tilanteita. Tällöin oletetaan, että jokaisella ajoneuvolla on eri kriteeri, jonka perusteella se siirtyy väistöalueelle. Tämä kriteeri riippuu jonossa olevien ajoneuvojen lukumäärästä. Suomen teillä ei ole tällaisia väistöalueita.

Käyttäytyminen

Lähes kaikki käyttäytymisparametrit ovat erilaisia eri ajoneuvotyypeillä. Ohjelma on kirjoitettu tältä osin joustavaksi aina, kun se on ollut mahdollista tekemättä ohjelmasta

paljon pidempää tai hitaampaa. Tämän takia ohjelmassa on paljon syöttötietoja.

3.1.2 Yksinkertaistuksia ajoneuvon ja ajajan käyttäytymisissä

Kaikkia ajajan ja ajoneuvon käyttäytymisiä ei ole mallinnettu TRARRissa kovin hyvin. Alla on listattu näkökohtia, jotka kuitenkin voivat olla mielenkiintoisia. Kun mietitään, onko TRARR nykyisessä muodossaan riittävän hyvä, täytyy harkita näiden mahdollisten puutteiden tärkeyttä. Termi "ajoneuvon käyttäytyminen" sisältää tässä joskus myös ajajan käyttäytymisen.

a) Yksittäisten ajajien oletetaan olevan johdonmukaisia ja tuntevan ajoneuvojensa ominaisuudet täydellisesti. Epäjohdonmukaisen käyttäytymisen ei ole ajateltu vaikuttavan merkittävästi matka-ajan estimointiin.

b) Ajajat eivät ennakoita tilanteita eikä heillä ole reagointiaikaa. Erikoisesti ohituskäytäntöä, missä ohittava ajoneuvo ajaa olennaisesti nopeammin kuin ohitettava siitä asti, kun ohittava on ylittänyt keskiviivan (nk. lentävä ohitus), ei ole mallinnettu.

c) Ajokäyttäytyminen ei ole erilaista eri liikennemäärillä. Ainoastaan seurantaetäisyys vaihtelee sen mukaan, kuinka kauan takana ajava on odottanut ohitusmahdollisuutta.

d) Mallissa on usein tarpeettomasti käytetty autojen maksimisuorituskykyä.

e) Keskimääräinen liikennevirta on vakio, jollei liikennettä syötetä ITRAF-tiedostosta.

f) Liikenteen häiriöitä, kuten tietöitä, onnettomuuksia ja konerikkoja, ei ole mallinnettu.

g) Mallissa ajajat ottavat aina huomioon ohituskieltoalueet sekä ohituksen alkaessa että päättyessä.

h) Takana tulevat ajajat tarkkailevat edessä ajavan ajoneuvon sijaintia ja nopeutta, mutta eivät kiihtyvyyttä. Jos tämä muutettaisiin, simuloinnissa voisi käyttää suurempaa aikayksikköä kuin nykyisessä ohjelmassa. Tällöin voitaisiin estimoida tarkemmin myös polttoaineenkulutuksen eroa, kun ajoneuvo ajaa yksin tai on vuorovaikutuksessa toisten kanssa.

i) Tietiedoston tiedot annetaan tasavälein. Todellisuudessa tien ominaisuudet eivät vaihdu tasaisesti.

j) Ajoneuvojen suorituskykyjen malli ei ole kovin täsmällinen.

k) Kaistan vaihtamiseen kuluva aikaa ei ole mallinnettu.

3.2 Tietokoneohjelma

3.2.1 Ohjelmaan liittyvät käsitteet

Tapahtumat

Simulointi voidaan yleisesti tehdä kahdella eri tavalla. Toisessa lähestymistavassa systeemi päivitetään tietyin aikavälein. Toinen tapa on päivittää systeemi tiettyjen tapahtumien jälkeen. Molemmilla lähestymistavoilla on etunsa. TRARRissa systeemi päivitetään tietyin aikavälein. Päivitys on suhteellisen yksinkertaista, jollei tiettyjä tapahtumia kuten ohituksen alkamisia esiinny. Tapahtumat simuloidaan siten, että tietyin aikavälein tarkistetaan, onko esiintynyt merkittäviä tapahtumia.

TRARRissa kahdella ajoneuvolla on eri tapahtumanumero (ks. kohta 3.2.2), jos niiden toimintasarja ajoneuvon tilan muuttamiseksi on erilainen. Jos kaksi ajoneuvoa ovat molemmat jonossa, mutta toinen odottaa jonon johtajan ohitusmahdollisuutta ja toinen jonoon toiseksi pääsyä, on näillä ajoneuvoilla eri tapahtumanumerot. Tällöin ohitusta odottava voi testata ohituksen mahdollisuuden.

Perus- ja ohituskaistat

Jos ajoneuvoilla on yhteen suuntaan käytettävissään kaksi kaistaa, kutsutaan näitä perus- ja ohituskaistoiksi. Australiassa peruskaista on vasemmanpuoleinen kaista ja ohituskaista toinen kaista vasemmalta, jollei tiellä ole lisäkaistaa toiselle tai molemmille ajosuunnille. Yleisesti, jos ajosuunnassa ei ole lisäkaistaa, ajetaan normaalisti peruskaistaa ja ohituskaista on vastakkaisen liikenteen käytössä. Kun on käytössä lisäkaista, peruskaistaa käyttävät hitaat ja ohituskaistaa nopeat ajoneuvot.

Kolmikaistaisia teitä, joilla molemmilla ajosuunnilla on yhtäläiset oikeudet käyttää keskimmäistä kaistaa, ei ole mallinnettu. TRARR ei myöskään käsittele sellaisia teitä, joissa yhteen suuntaan on enemmän kuin kaksi kaistaa.

Haamujoneuvot

Jos halutaan tutkia uudelleen ajoneuvon tapahtumanumero tai päivittää sen sijainti esimerkiksi ohituksessa, voidaan joutua tarkastelemaan edessä ajavan nopeutta ja vastakkaisen suunnan ajoneuvojen sijainteja. Jotta kaikki ajoneuvot voitaisiin käsitellä samalla logiikalla, täytyy kaikkien asianomaisten ajoneuvojen esiintyä ohjelmassa. Voi käydä niin, että vastakkaiselle kaistalle ei ole simuloitu yhtään ajoneuvoa (esimerkiksi ajoneuvo saapuu tyhjälle tielle). Ohjelmassa kuitenkin varmistetaan haamujoneuvojen avulla, että tällainen ajoneuvo on olemassa. Näitä ajoneuvoja kutsutaan haamuiksi, koska niitä ei simuloida samalla tavalla kuin muita ajoneuvoja.

Ohjelmassa on normaalisti kaksitoista haamua (kuva 5). Simulointisegmentillä on molempiin ajosuuntiin haamua ajoneuvo ohitus- ja peruskaistalla simulointisegmentin edessä ja takana. Nämä ajoneuvot on sijoiteltu kauaksi simulointisegmentistä, jotta ne eivät vaikuttaisi merkittävästi simuloituihin ajoneuvoihin.

Start road in Direction 1	Start of simulated segment	End of simulated segment	End of road Direction 2
6	4	direction 1	3
	5		2
	8		11
		direction 2	
7	9		10
			12

Kuva 5. Haamua ajoneuvojen sijainnit (Hoban et.al 1991).

Osoittimet

Ohjelman joitakin muuttujia kutsutaan osoittimiksi. Nämä muuttujat ovat pääasiassa yksidimensionaalinen joukko, jotka määrittelevät joko ajoneuvon numeron tai ajoneuvojen keskinäisen sijainnin tiellä. Tärkeimmät osoittimet ovat:

- a) LVB(J) lähin ajoneuvo J:n takana,
- b) LVF(J) lähin ajoneuvo J:n edessä,
- c) LV5(J) lähin ajoneuvo J:n edessä vastakkaisella kaistalla,
- d) LV7(J) lähin ajoneuvo J:n takana peruskaistalla,
- e) LV8(J) lähin ajoneuvo J:n takana ohituskaistalla.

Ajoneuvotyypit

Monet ajoneuvojen ominaisuudet on liitetty mieluummin ajoneuvotyyppihin kuin yksittäisiin ajoneuvoihin. Näin saadaan

tallennettujen tietojen määrä mahdollisimman pieneksi. Ajoneuvot, joilla on sama tyyppi, reagoivat samalla tavoin eri tilanteissa, mutta niillä on eri tavoitenopeus.

3.2.2 Ajoneuvotapahtumien määrittely

Ajoneuvon kulloinkin sijainti simuloinnissa määritellään tapahtumanumeron LMR avulla. Tietyn tyyppiselle tapahtumalle annetaan eri numeroita, kun päätöksenteko on erilainen tai kriteeri, jolla päätös tehdään, on erilainen. Taulukossa 3 on esitetty ohjelman käyttämät tapahtumat ja niiden numerot.

Taulukko 3. TRARRin tapahtumat (Hoban et.al 1991).

MANOEUVRE NUMBER	MANOEUVRE DESCRIPTION	BLOCK	WORKING VECTORS			LANE
			LWR	LWV	VUS	

FREE: NOT INTERACTING WITH OTHER VEHICLES						

1	watching the distance to the vehicle in front	1-1	-	-	-	b
2	watching the speed of the vehicle in front	1-2	-	-	-	b

FOLLOWING IN THE BASIC LANE: TEMPORARILY UNABLE TO OVERTAKE						

3	waiting for aggressive driver behind to overtake first	2-1	-	beh	*	b
4	as above, happy to follow at this speed	2-1 h	-	beh	*	b
5	waiting for the aggressive driver in front to overtake first	2-2	-	fro	*	b
6	as above, happy to follow at this speed	2-2 h	-	fro	*	b
7	currently being overtaken	2-3	-	-	*	b
8	as above, happy to follow at this speed	2-3 h	-	-	*	b
9	waiting to become second in queue	2-4	-	-	*	b
10	as above, happy to follow at this speed	2-4 h	-	-	*	b
11	waiting for a break in the opposing traffic stream	2-5	opp	-	*	b
12	as above, happy to follow at this speed	2-5 h	opp	-	*	b
13	waiting for the right position to revise the manoeuvre	2-6	road	fro	*	b
14	as above, happy to follow at this speed	2-6 h	road	fro	*	b
15	waiting for overtaking to become legal or optional	2-7	-	-	*	b
16	as above, happy to follow at this speed	2-7 h	-	-	*	b
17	waiting for the start of an auxiliary lane	2-8	-	-	*	b
18	as above, happy to follow at this speed	2-8 h	-	-	*	b
35	there is an auxiliary lane but expectations are better in the basic lane	2-9	-	-	-	b

FOLLOWING IN THE OVERTAKING LANE						

19	there is an auxiliary lane, merging is not being considered	3-1	-	fro	-	o
20	there is no auxiliary lane	3-2	-	fro	-	o
21	there is an aux. lane and merging would normally be considered	3-3	-	fro	-	o

OVERTAKING: LEADING A PLATOON OF VEHICLES IN THE OVERTAKING LANE						

22	performing a simple overtaking of a single vehicle	4-1	-	bo	-	o
23	complex overtaking where there is no auxiliary lane	4-2	-	bo	-	o
24	towards end of auxiliary lane where merging might be considered	4-3	-	bo	-	o
25	there is an auxiliary lane, not merging area, vehicle following	4-4	-	-	-	o
26	there is an auxiliary lane, not merging area, no vehicle following.	4-5	-	-	-	o

MERGING INTO THE BASIC LANE AFTER ABORTING AN OVERTAKING MANOEUVRE						

27	merging ahead of a particular vehicle	5-1	-	veh	-	o
28	merging behind a particular vehicle	5-2	-	veh	-	o

THINKING PRIMARILY ABOUT THE MERGE AT THE END OF AN AUXILIARY LANE						

29	in the basic lane	6-1	-	veh	-	b
	in the overtaking lane; might consider o'taking beyond end of aux. lane					
30	to become free after merge	6-2	-	bo	-	o
31	waiting for a break in the opposing traffic	6-3	opp	veh	-	o
32	waiting for a particular point on the road	6-4	road	veh	-	o
33	waiting for overtaking to become legal enough	6-5	road	veh	-	o
34	reconsider when vehicle in front is no longer merging	6-6	fro	veh	-	o

Notes: Working vectors refer to - road, unit of road; beh, vehicle behind; fro, vehicle in front; opp, opposing vehicle. Lanes are - b, basic; o, overtaking. h is 'happy to follow'.

3.2.3 Polttoaineen kulutuksen mallintaminen

Polttoaineen kulutus lasketaan hetkellisen nopeuden ja kiihtyvyyden avulla. Polttoaineen kulutus lasketaan havainnoinnin yhteydessä, koska kulutus ei vaikuta ajoneuvon käyttäytymiseen. Ideaalisessa tapauksessa polttoaineen kulutuksen parametrit sisältyisivät OBS-tiedostoon, mutta selkeyden vuoksi ne on laitettu VEHS-tiedostoon. Polttoaineen kulutus tietyssä aikana lasketaan seuraavasti:

$$f_i = \alpha + [\beta_1 v R_T]_{R_T > 0} + [\beta_2 Ma^2 v / 1000]_{a > 0} \quad (\text{ml/s}), \quad (2)$$

missä a = tyhjäkäyntikulutus (ml/s),
 β_1 = polttoaineen kulutus tuotettua energiayksikköä kohti (ml/kJ),
 β_2 = polttoaineen kulutus kiihdytyksessä (ml/kJ m/s²),
 α = hetkellinen kiihtyvyys (m/s²),
 R_T = kokonaisvetovoima, joka tarvitaan ajoneuvon liikuttamiseen (kN).

$$R_T = R_D + R_I + R_G, \quad (3)$$

missä $R_D = b_1 + b_2 v^2$,
 $R_I = Ma/1000$,
 $R_G = 9,81M(G/100)/1000$,
 v = nopeus (m/s),
 G = ylämäen kaltevuus prosentteina,
 M = ajoneuvon massa (kg, mukaanlukien kuorma ja matkustajat),
 b_1 ja b_2 ovat vakioita.

Täten kokonaisvetovoimaksi saadaan:

$$R_T = b_1 + b_2 v^2 + Ma/1000 + 9,81 * 10^{-5} MG \quad (4)$$

Jos M' on ajoneuvon massa tuhansina kiloina ja G' on kiihtyvyyks, joka johtuu pituuskaltevuudesta ($-9,81 G/100$), voidaan polttoaineen kulutuksen yhtälö kirjoittaa seuraavaan muotoon:

$$f_i = a + b_1 v [b_1 + b_2 v^2 + M'(a-G')] R_{i>0} + b_2 [M'a^2 v] a > 0 \quad (5)$$

Taulukossa 4 on esitetty TRARRin vastaavat parametrit ja tyypilliset arvot VEHS-tiedostossa. Käytetyssä ohjelmassa polttoaineen kulutus voidaan laskea vain henkilöautoille.

Taulukko 4. Polttoaineen kulutuksen laskemiseen tarvittavat parametrit (Hoban et.al 1991).

Parameter	TRARR Name	Description	Typical value	
α	VFCA	Idle fuel rate	0.4	mL/s
β_1	VFCB	Energy efficiency parameter	0.09	mL/kJ
β_2	VFCC	Energy-acceleration efficiency parameter	0.05	mL/kJ.m/s ²)
b_1	VFCD	Drag force parameter mainly related to rolling resistance	0.3	kN
b_2	VFCE	Drag force parameter related to aerodynamic resistance	.001	kN/(m/s) ²
M'	VFCF	Vehicle mass	1.2	1000 kg

4 TRARR-OHJELMASTA MUUALLA SAADUT KOKEMUKSET

4.1 Nigeria

(Akinyemi et.al 1989 ja 1990)

Uusien teiden suunnittelussa ja vanhojen toiminnan parantamisessa tarvitaan tietoja mm. tien liikennöitävyydestä ja kustannuksista. Teollisuusmaissa tarvittavat tiedot ovat tavallisesti käytettävissä tai ne voidaan hankkia helposti. Kehitysmaissa tilanne on päinvastainen. Usein siellä luotetaan heikkoon ammattitaitoon tai esimerkiksi Highway Capacity Manualiin, joka on kehitetty Yhdysvalloissa.

Kehitysmaiden liikenneolosuhteen eroavat teollisuusmaista. Eroja on esimerkiksi

- (1) ajoneuvojen suorituskyvyissä (raskaiden ajoneuvojen teho-paino -suhde, ajoneuvojen kunnossapito)
- (2) liikenteen ohjauksen tasossa ja
- (3) ajajien ominaisuuksissa (ohituskäyttäytyminen, ajonopeus).

Joten mikä on näiden tekijöiden vaikutus, kun tien geometria, liikennemäärä ja liikenteen koostumus on sama kuin teollisuusmaissa? Tätä on pyritty selvittämään Nigeriassa simuloimalla kaksikaistaisia maanteitä.

4.1.1 Taustaa

Eräs käytetyin tien liikennöitävyyden mitta on liikennemäärän maksimi tietyllä palvelutasolla. Vaikka tien liikennöitävyyttä on tutkittu laajalti, ovat eräät asiat ratkaisematta:

- (a) Mitkä ovat liikenteen palvelutason toivotuimmat mitat,
- (b) miten liikennemäärä muuttuu, kun palvelutasoa muutetaan ja
- (c) mikä on tulosten ja tekniikoiden käyttömahdollisuus kapasiteettia analysoitaessa?

Palvelutason mitoiksi on ehdotettu keskimääräistä nopeutta, jonoprosenttia ja ohitustiheyttä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää voidaanko Nigeri-an kaksikaistaisten teiden palveluliikennemäärä arvioida eri käsikirjojen avulla. Lisäksi tutkittiin miten tien kapasiteetti muuttuu, kun palvelutason mitta määritellään eri tavoilla ja mikä on mahdollisen virheen suuruus, kun Nigeriassa sovelletaan HCM:n ohjeita palveluliikennemäärän laskemisessa.

4.1.2 Simuloinnin kulku

Tutkittava tieosuus oli 10 km pitkä ja maasto oli mäkistä. Simulointi tehtiin TRARRilla, joka on kalibroitu ja jonka tuloksen johdonmukaisuus on tarkistettu aiemmin.

Simuloitavia vaihtoehtoja oli neljä:

0-vaihtoehto: Tien mitoitusnopeus on 90-120 km/h. Tien suuntaus on esitetty kuvassa 6.

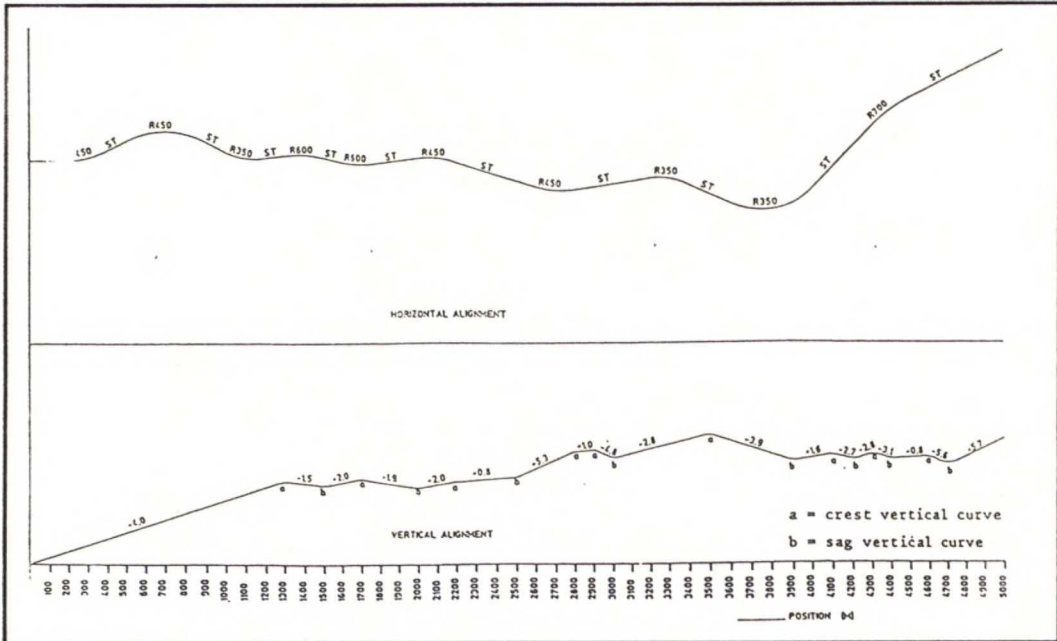
Vaihtoehto 1: Näkemän pituus on vähintään 500 metriä. Tässä vaihtoehdossa on leveämmät pientareet kaarteissa ja suuremmat pyöristykset kuin 0-vaihtoehdossa.

Vaihtoehto 2: 0-vaihtoehtoon on lisätty kaksi 1 km:n pituista ohituskaistaa.

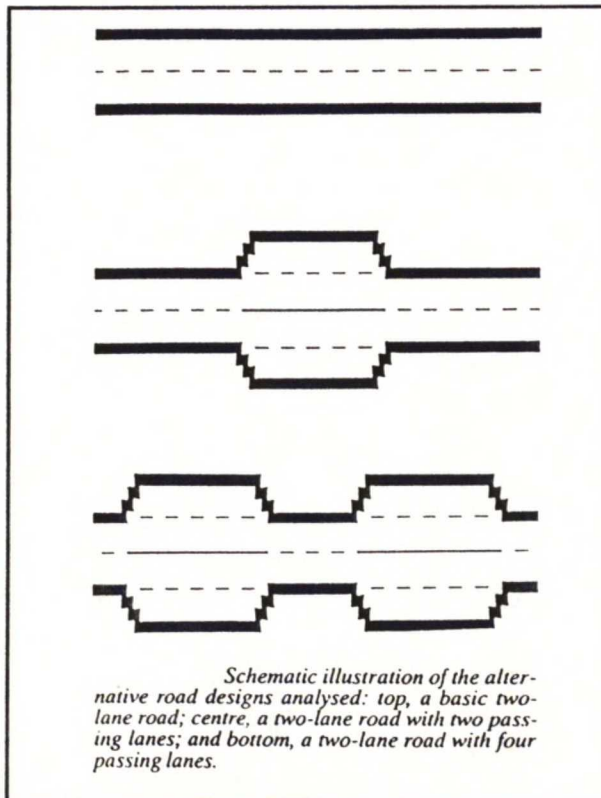
Vaihtoehto 3: 0-vaihtoehtoon on lisätty neljä 1 km:n pituista ohituskaistaa.

Ohituskaistojen ryhmittely on esitetty kuvassa 7.

Jokaisessa neljässä vaihtoehdossa mitoitusliikennemäärä vaihteli 400-2000 ajon/h (kahden suunnan liikennemäärä) ja kaistajako oli 1:1. Simuloinnin lähtötiedot on esitetty taulukossa 5.



Kuva 6. Nigerian koetien suuntaus (Akinyemi et.al 1990).



Kuva 7. Ohituskaistojen ryhmittely Nigeriassa (Akinyemi et.al 1990).

Taulukko 5. Simuloinnin lähtötiedot Nigerian tutkimuksessa (Akinyemi et.al 1990).

Vehicle categories:

Heavy vehicles: 90 per cent low-powered 38-tonner trucks + 10 per cent (12-m long) buses

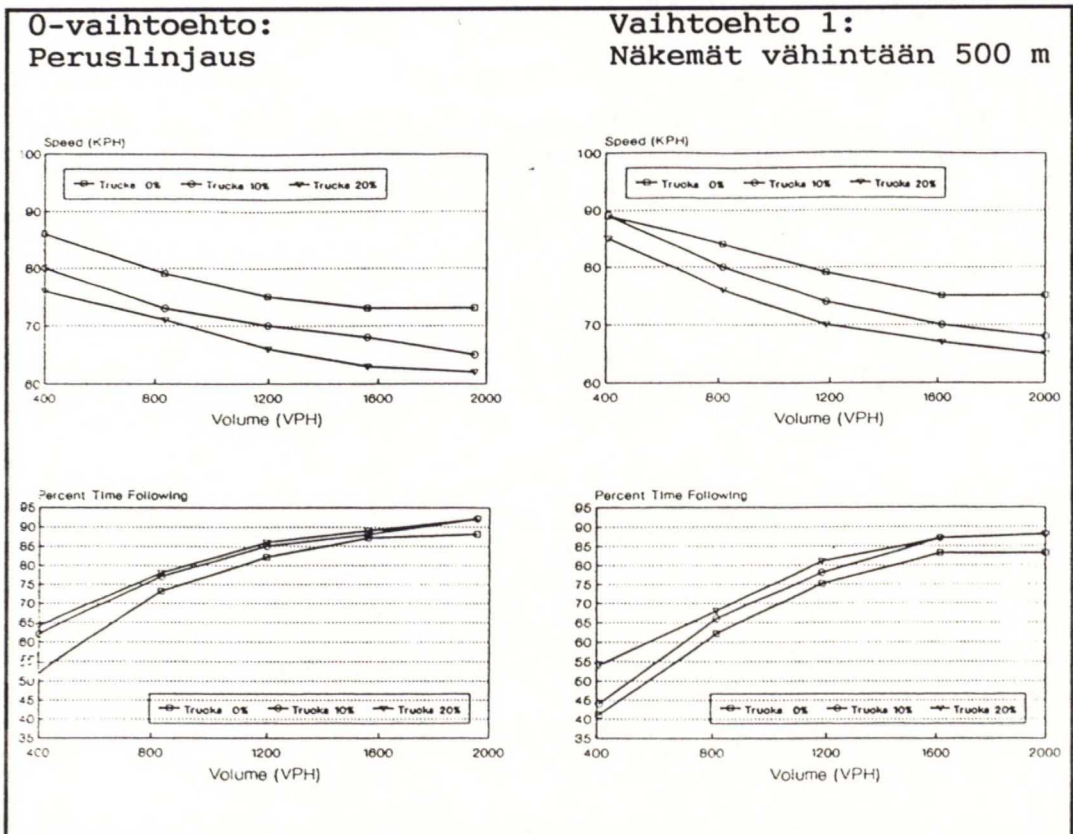
Light vehicles: 10 per cent cars with unaggressive drivers
40 per cent low-powered cars
50 per cent average cars with drivers who do not obey optional overtaking restrictions on the road

Desired speed of light vehicles = 100 km/h

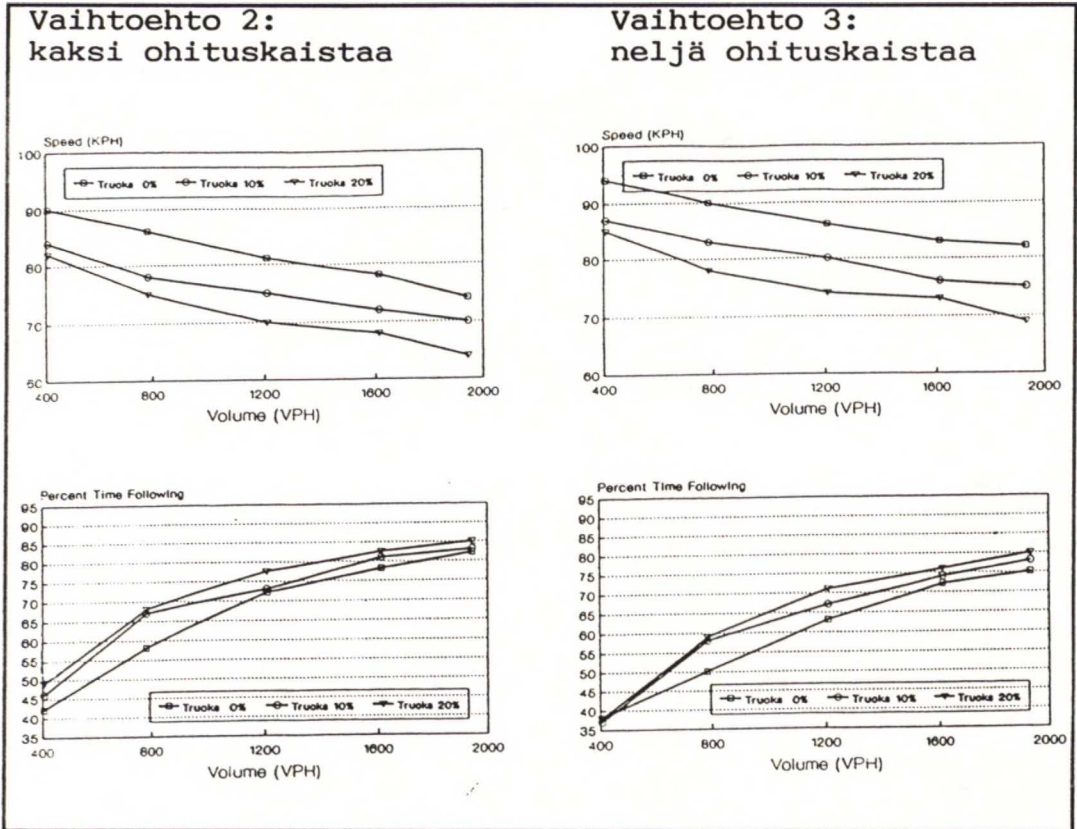
Desired speed of heavy vehicles = 80 km/h

Percentage number of heavy vehicles in traffic: 0, 10, 20

Simulointiaika määriteltiin siten, että jokaisella simulointikierroksella havaittiin lähes yhtä monta ajoneuvoa. Stabiiloitumisajan minimi oli 10 minuuttia ja simulointiajan 60 minuuttia. Jokainen vaihtoehto on simuloitu erilaisilla liikenteen yhdistelmillä. Tulokset on esitetty kuvissa 8 ja 9.



Kuva 8. Vaihtoehtojen 0 ja 1 nopeudet ja viivytysprosentit (Akinyemi et.al 1990).



Kuva 9. Vaihtoehtojen 2 ja 3 nopeudet ja viivytysprosentit (Akinyemi et.al 1990).

4.1.3 Kapasiteettianalyysi

Tässä tutkimuksessa kapasiteettianalyysi rajoitettiin palvelutason maksimin ja henkilöautoyksikköekvivalenttien määrittämiseen. Palvelutaso määritettiin keskimääräisen nopeuden ja jonoprocentin avulla taulukon 6 mukaan. Palveluliikennemäärät ja henkilöautoyksikköekvivalentit johdettiin sekä simulointituloksista että HCM:n avulla.

Taulukko 6. Palvelutason määrittäminen HCM:n mukaan.

Level of service	Average speed (km/h)	Per cent time following (%) *)
A	≥ 91	≤ 30
B	≥ 86	≤ 45
C	≥ 82	≤ 60
D	≥ 78	≤ 75
E	≥ 64	> 75
F	< 64	100

*) Based on the assumption that Per cent time following = Per cent delay defined in the HCM.

Palveluliikennemäärien maksimit ja henkilöautoyksikköekvivalentit simulointitulosten avulla

Palveluliikennemäärä johdettiin kuvien 8-9 ja taulukon 6 avulla ja palvelutasoksi saatiin "C" ja "D". Tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Simulointituloksista johdetut palveluliikennemäärät (Akinyemi et.al 1990).

Road design alternative	Per cent of heavy vehicles in traffic (%HV)	Service volume at level of service C based on		Service volume at level of service D based on	
		Av. speed	% time foll.	Av. speed	% time foll.
Base design	10	300	370	550	700
	20	—	300	300	650
Design with decision sight distance	10	600	700	920	1 070
	20	400	600	600	970
Basic design with two 1-km passing lanes	10	550	750	900	1 200
	20	370	650	650	1 100
Basic design with four 1-km passing lanes	10	900	900	1 400	1 550
	20	550	820	900	1 450

Raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalentit voidaan laskea Huberin kaavan avulla:

$$E_{hvi} = \frac{1}{P_{hv}} \left[\frac{q_{oi}}{q_{xi}} - 1 \right] + 1 \quad (6)$$

missä E_{hvi} = raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalentti (PCE), kun palvelutaso on i,

P_{hv} = raskaiden ajoneuvojen osuus ja

q_{oi}/q_{xi} = liikennemäärien suhde ilman raskasta liikennettä ja raskaan liikenteen kera, kun palvelutaso on i.

E_{hvi} -arvot on esitetty taulukossa 8. q_{oi} - ja q_{xi} -arvot on saatu kuvista 8-9.

Taulukko 8. Simulointituloksista johdetut henkilöautoyksikköekvivalentit (Akinyemi et.al 1990).

Road design alternative	Per cent of heavy vehicles in traffic (%HV)	PCE at level of service C based on		PCE at level of service D based on	
		Av. speed	% time foll.	Av. speed	% time foll.
Base design	10	—	4.5	8.2	4.0
	20	—	4.3	11.8	3.5
Design with decision sight distance	10	6.8	2.0	6.2	2.0
	20	7.9	2.4	7.3	2.0
Basic design with two 1-km passing lanes	10	10.6	1.7	8.0	1.8
	20	10.5	2.2	7.8	1.9
Basic design with four 1-km passing lanes	10	11.0	3.0	—	2.0
	20	12.4	2.6	—	1.9

Taulukoista 7 ja 8 nähdään, että palveluliikennemäärät ja henkilöautoyksikköekvivalentit vaihtelevat huomattavasti sen mukaan, onko ne laskettu keskimääräisen nopeuden vai jono-
prosentin avulla. Vaihtoehto 1:n (näkemän pituus vähintään 500 metriä) ja vaihtoehto 2:n (kaksi 1 km:n pituista ohitus-
kaistaa) tulokset ovat kohtuullisen lähellä toisiaan.

Palveluliikennemäärien maksimit ja henkilöautoyksikköekvivalentit HCM:n avulla

HCM:n mukaan palveluliikennemäärä lasketaan seuraavasti:

$$SF_i = 2800 * (v/c)_i * f_{hvi} \quad (7)$$

missä SF_i = palvelutason i palveluliikennemäärä,
 $(v/c)_i$ = käyttösuhde ja
 f_{hvi} = raskaiden ajoneuvojen osuudesta aiheutuva korjauskerroin.
 $= 1 / [1 + P_t(E_t - 1) + P_b(E_b - 1)] \quad (8)$

missä P_t, P_b = kuorma-autojen ja bussien osuus liikennevirrasta ja

E_t, E_b = kuorma-autojen ja bussien henkilöautoyksikköekvivalentit.

Kaavassa 7 on oletettu, että suuntajakauma on 50/50 ja kaistojen lukumäärästä ja tien leveydestä johtuvat korjauskertoimet ovat 1,00. Tulokset on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. HCM:n avulla johdetut palveluliikennemäärät ja henkilöautoyksikköekvivalentit (Akinyemi et.al 1990).

Road design alternative	Level of service	Per cent heavy vehicles in traffic (P_{hv})	v/c^*	E_t^*	E_b^*	f_{hv}	Service volume S_f	PCE of heavy vehicles E_{hv}
Base design	C	10	0.37	5.0	3.4	0.723	750	4.8
		20	0.37	5.0	3.4	0.566	586	4.8
Base design	D	10	0.55	5.0	2.9	0.723	1 113	4.8
		20	0.55	5.0	2.9	0.567	873	4.8
Design with decision sight distance**	C	10	0.43	2.2	2.0	.895	1 078	2.2
		20	0.43	2.2	2.0	.809	974	2.2
	D	10	0.64	2.0	1.6	.912	1 634	2.0
		20	0.64	2.0	1.6	.839	1 504	2.0

* Assumed to be equal to level terrain with 100 per cent PSD
 ** Data from *Highway Capacity Manual*

Taulukossa 9 olevat raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalentit (E_{hv}) on laskettu seuraavasti:

$$E_{hv} = (P_t * E_t + P_b * E_b) / P_{hv} \quad (9)$$

missä P_{hv} = raskaiden ajoneuvojen osuus liikennevirrasta.

Tuloksista nähdään, että simuloitujen viivytysprosenttien avulla arvioidut raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalentit ovat huomattavan lähellä HCM:n avulla laskettuja arvoja. Kuitenkin HCM:n avulla lasketut palveluliikennemää-

rät ovat 1,5 - 2,5 kertaa suurempia kuin simuloimalla saadut arvot. Tähän voi olla syynä, että kaavassa 7 käytetty käytösuhde v/c tai maksimivälityskyky 2800 hay/h (henkilöautoyksikköä tunnissa) ihanteellisissa olosuhteissa eivät ole sopivia suureita kehitysmaita tarkasteltaessa.

4.1.4 Nigerian tutkimuksen tulokset

On ilmeistä, että tämän tutkimuksen tuloksia ei voida pitää ehdottoman luotettavina, koska TRARRin päätöksentekomallit (ohitukset, ohituksen lopetustilanteet ja muut ajajan käyttäytymiset) eivät kata kaikkia mahdollisia tapauksia.

Tulokset ovat kuitenkin tärkeitä, koska ne osoittavat, että tien palvelutaso voi kasvaa 50-100 % nollavaihtoehtoon nähden, kun tien näkemäalueita tai ohituskaistoja lisätään. Palvelutason kasvu voi olla jopa 120-200 %, kun tiestä tehdään nelikaistainen.

Raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalenttiin ei vaikuta merkittävästi raskaiden osuuden lisääminen 10 %:sta 20 %:iin eikä palvelutason muutokset. Sen sijaan henkilöautoyksikköekvivalentti näyttää olevan sidoksissa palvelutason mittaustapaan ja tien suunnittelustrategiaan.

Palvelutaso suurenee, kuten odottaa saattaakin, kun ohituskaistojen lukumäärää lisätään kahdesta neljään. Kuitenkin henkilöautoyksikköekvivalentti on suurempi, kun ohituskaistoja on neljä kuin tapauksessa, jossa ohituskaistoja on kaksi. Tämä ilmiö tarvitsisi lisätutkimuksia. Se saattaa osoittaa, että ohituskaistat lisäävät palveluliikennemäärää palvelutason ollessa "A":n ja "D":n välillä, mutta palvelutason ollessa "E", ohituskaistoilla ei ole vaikutusta tien kapasiteettiin.

Palvelutason laskemistavan määrittäminen näyttää vaikuttavan huomattavasti palveluliikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen henkilöautoyksikköekvivalentin suuruuteen. Tämä osoittaa, että suunnittelussa käytetyn palveluliikennemäärän määrittämisen tulee olla sidoksissa käytetyn palvelutason laskemistapaan.

HCM:n palveluliikennemäärän kaavan (kaava 7) kanssa tulisi olla varovainen kehitysmaissa. Kaavaa voi soveltaa kehitysmaissa siten, että siihen lisätään korjauskerroin r_i , jonka arvo on 0,4 - 0,7 maasta riippuen. Nyt palveluliikennemäärä saadaan seuraavasti:

$$SF_i = 2800 * (v/c)_i * f_{hv} * r_i \quad (10)$$

Tutkimuksen tuloksista nähdään myös, että palvelutaso voidaan mitata jonoprosentin avulla kapasiteettianalyysissä kaksikaistaisella maantiellä.

On myös huomattava, että etenkin kehitysmaissa on tiettyjä tekijöitä, jotka vaikuttavat siihen, että näkemäalueet pitäisi suunnitella kaksikaistaisilla maanteillä normaalia pidemmiksi:

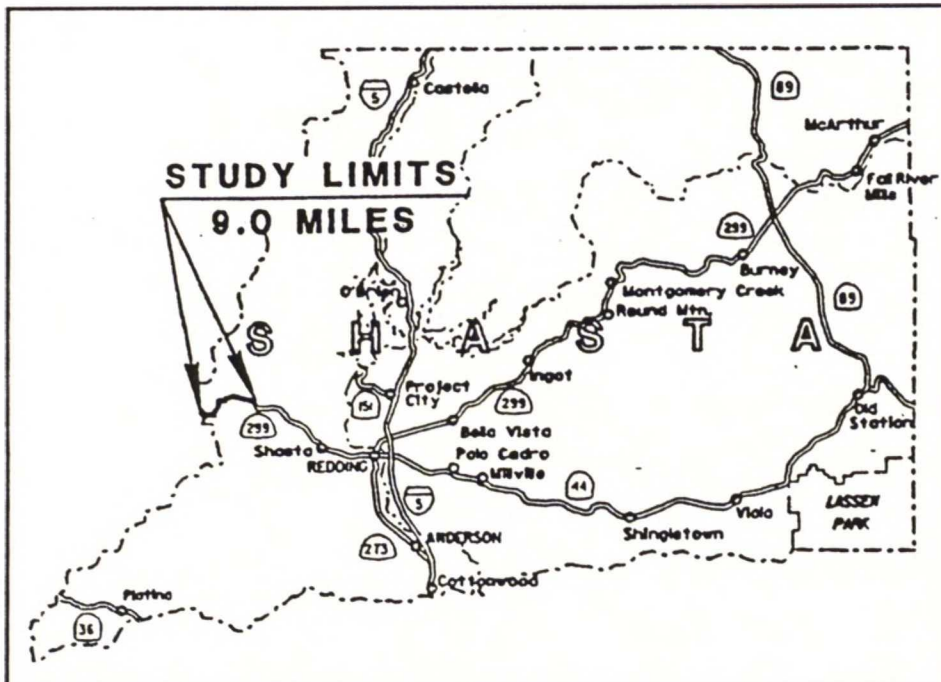
- a) yhteentörmäyksen mahdollisuus vastaantulevaan ajoneuvoon, edellä ajavaan hitaaseen ajoneuvoon tai paikallaan olevaan ajoneuvoon tai muuhun suureen esineeseen,
- b) ristiriitainen geometria (esim. kapeat sillat), sekä
- c) liikenteen ohjaus, liikennevalojen ja ajoratamaalausten ylläpito sekä liikennesääntöjen noudattaminen on puutteellista.

Voidaankin päätellä, että maanteiden näkemäalueiden suunnittelulla voidaan saavuttaa laadullisesti ja määrällisesti kohtuullinen palvelutaso kohtuullisin kustannuksin kehitysmaissa.

4.2 Kalifornia

(Noguerón-Espinosa, May 1992)

Kalifornian liikenneministeriö (The California Department of Transportation) suunnittelee SR 299 -tien uudelleen rakentamista (kuva 10). Tie kulkee Reddingistä länteen alueella, jossa maasto on vuoristoista. Tämän vuoksi uuden tien rakentaminen on kallista. Tarkasteltavina vaihtoehtoina oli kaksi-, kolmi- ja nelikaistainen tie. Kolmikaistaisella tiellä oli vaihtuvasuuntainen ohituskaista.

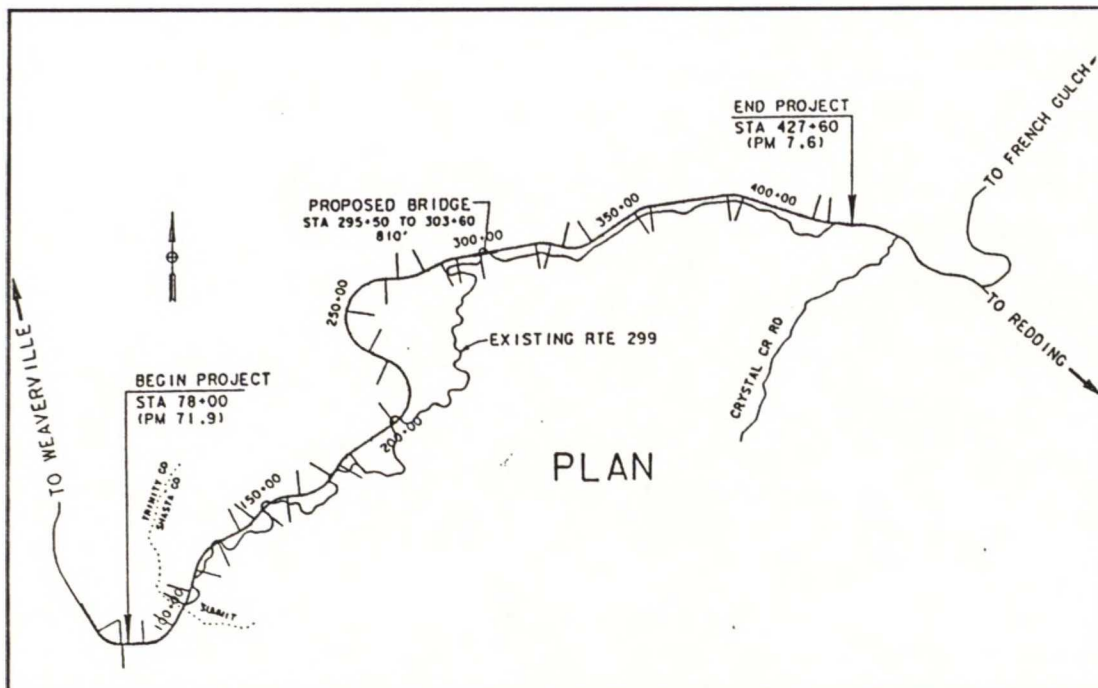


Kuva 10. Tie SR 299 Kaliforniassa
(Noguerón-Espinosa, May 1992).

Kalifornian yliopistossa tutkittiin eri vaihtoehtoja TRAR-Rin avulla. Vaihtoehtojen vertailussa simulointi oli sopivin mallintamismenetelmä, koska tie oli monimutkainen, tutkittavien vaihtoehtojen määrä oli suuri ja huomioonotettavien muuttujien tehokkuus vaihteli. Simulointimalleista valittiin TRARR, koska sen käytöstä oli myönteisiä kokemuksia Kaliforniassa, Australiassa ja Kanadassa.

4.2.1 Tien kuvaus

Kuvassa 11 on esitetty sekä vanhan että uuden SR 299 -tien suuntaus. Tien läntisessä osassa on Buckhornin vuori ja tien itäisessä osassa maasto on suhteellisen tasaista.



Kuva 11. Uuden ja vanhan SR 299 -tien suuntaus (Noguerón-Espinosa, May 1992).

Olemassaoleva tie on rakennettu 1920- ja 1930-luvuilla ja sen mitoitussnopeus on 25 mailia tunnissa (noin 40 km/h). Vanhalla tiellä on jyrkät kaarteet ja suuret korkeuserot. KVL on 3600 ajoneuvoa vuorokaudessa ja suuntajakauma on huipputuntien aikana 56-44 %. Tiellä on neljä lyhyttä ohituskaistaa länteen päin mentäessä (ylämäen suuntaan). Tien palvelutaso on "E". Vuonna 2020 ennustetaan KVL:n olevan 7800 ajoneuvoa päivässä, jolloin palvelutaso olisi "F", jos tietä ei paranneta.

Suunniteltu uusi tie kulkisi vanhan tien pohjoispuolella sen rinnakkaistienä. Uuden tien suuntausta on paranneltu huomattavasti vanhaan tiehen nähden, mutta korkeuserot ovat edel-

leen suuria. Tien parantaminen vaatii laajoja maansiirtoja ja etenkin tien leventäminen on kallista, koska alue on vuoristoista. Koska nelikaistaisen tien rakentaminen on liian kallista on suunnitelmissa päädytty kolmikaistaiseen tiehen, jonka keskikaista on vuorotellen eri suuntien käytössä.

4.2.2 Simuloinnin lähtötiedot

Seuraavissa kappaleissa on esitetty SR 299 -tien simuloinnissa käytetyt lähtötiedot. Simuloinnissa ei käytetty ITRAF-tiedostoa, vaan ajoneuvot generoitiin TRARRilla.

Liikenteen ominaisuudet (TRAF)

Simulointiaikana käytettiin 3600 sekuntia. Liikennemäärä oli mitoitusajossa 760 ajoneuvoa tunnissa ja suuntajakauma 56 % länteen (WB) ja 44 % itään (EB). Henkilöautoja oli 80 %, kuorma-autoja 10 % ja vapaa-ajan ajoneuvojen osuus oli 10 %. Jonokriteerinä käytettiin 5 sekunnin aikaväliä ja aikavälien oletettiin noudattavan negatiivista eksponentiaalijakaumaa.

Tietiedosto (ROAD)

Mitoitusajossa tien pituus oli 10 mailia (noin 16,0 km), josta 7,6 mailia (noin 12,2 km) käsitti uuden tien suuntauksen. Vallitseva kaltevuus oli 6,5 % ja nousu oli länteen päin mentäessä. Ajosuunnassa länteen oli kolme ohituskaistaa ja ajosuunnassa itään kaksi ohituskaistaa. Jokaisen ohituskaistan pituus oli 6250 jalkaa (noin 1905 m) ja ohituskaistoihin liittyvien sulkalueiden pituus oli 1000 jalkaa (noin 305 m).

Havaintopisteet (OBS)

Simulointitielle määriteltiin havaintopisteitä ja yksi välimatka, josta saatiin mm. matka-aika-tietoja.

Ajajan ja ajoneuvon ominaisuudet (VEHS)

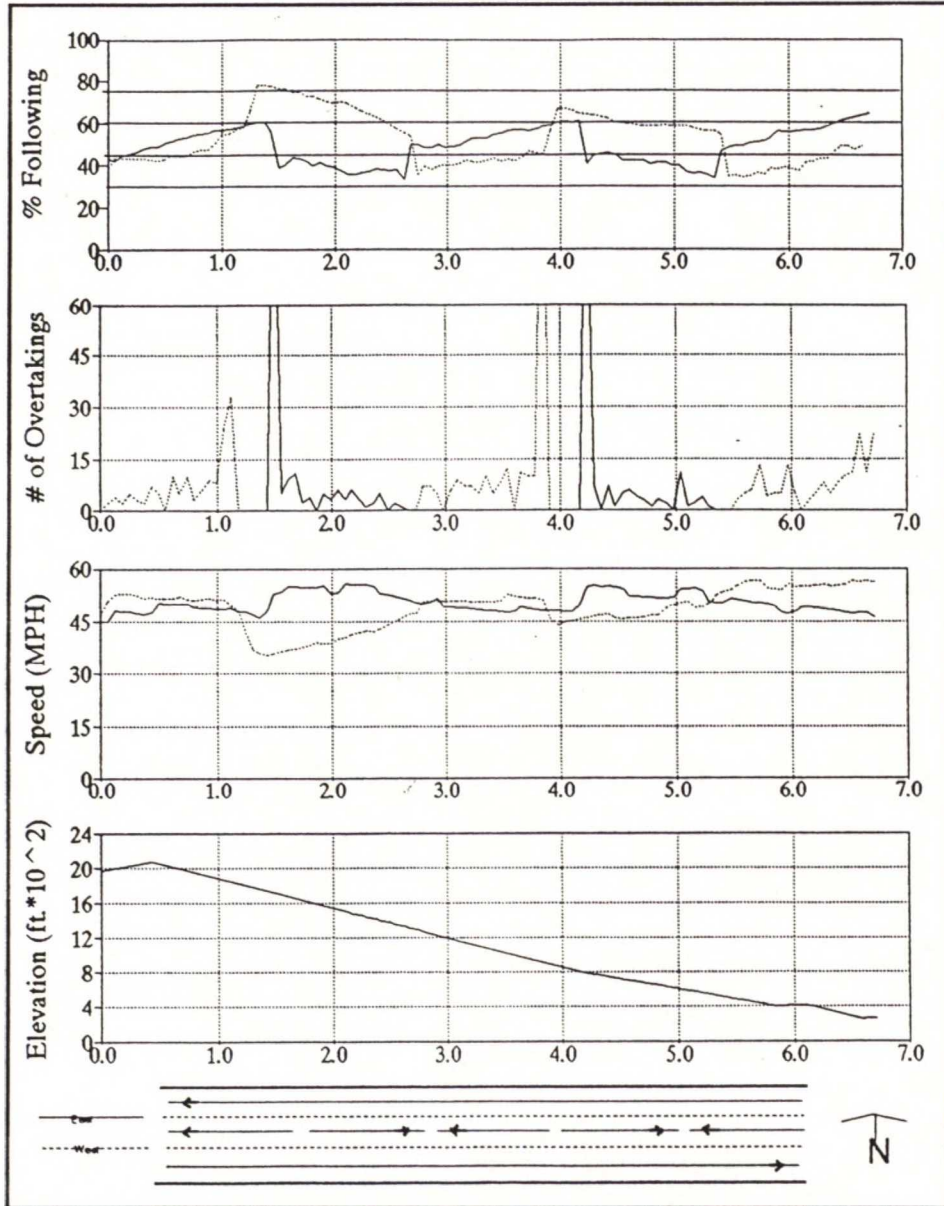
VEHS-tiedosto on kalibroitu Australiassa. Muutamien tarkistuksien jälkeen VEHS-tiedoston havaittiin sopivan myös amerikkalaisiin ajoneuvoihin.

4.2.3 Simuloinnin tulokset

Tulostustiedostoja oli kaksitoista (11 tien osaa ja yksi, jossa havaintomatkana oli koko tien pituus). Kuvassa 12 on esitetty ohituskaistojen sijainnit, tien korkeuserot sekä nopeudet, ohitukset ja jonoprosentit tiellä. Kuvan vaaka-akselien mitat ovat mailleja. Katkoviiva kuvaa ajosuuntaa länteen ja yhtenäinen viiva ajosuuntaa itään.

Kuvasta 12 nähdään, että nopeudet ovat korkeampia ohituskaistojen kohdalla kuin paikoissa, joissa ajosuunnalle ei ole ohituskaistoja. Suurin nopeusero on 1,2 - 2,9 mailia paikassa, jossa on ohituskaista idän suuntaan ja joka on lähellä tien korkeinta kohtaa.

Suurimmat ohitusmäärät havaitaan juuri ohituskaistan alettua ja jonoprosentti laskee jyrkästi. Tämän jälkeen jonoprosentti laskee vielä lähes vakioarvoon. Ohituskaistan päättyessä nousee jonoprosentti nopeasti, koska ohituskaistalta palataan takaisin peruskaistalle. Jonoprosentti saa suurimman arvonsa tien korkeimmalle kohdalle noustaessa ajosuunnassa länteen, kun tieosuudella ei ole ohituskaistaa.



Kuva 12. SR 299 -tien ohituskaistat, korkeuserot, nopeudet, ohitukset ja jonoproositit (Noguerón-Espinosa, May 1992).

4.2.4 Herkkyysanalyysi

Liikennemäärää, ohituskaistojen lukumäärää ja liikenteen koostumusta tutkittiin herkkyysanalyysin avulla.

Vuosien 2010, 2020 ja 2030 KVL-määriksi arvioitiin 6400, 7800 ja 9400 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vastaavien vuosien mitoittavat tuntiliikennemäärät olivat 625, 760 ja 910

ajoneuvoa tunnissa. Perusajossa käytettiin vuoden 2020 liikennettä.

Perusajossa oli viisi ohituskaistaa. Lisäksi tutkittiin vaihtoehtoja, jossa ohituskaistoja oli kolme ja seitsemän. Ohituskaistoja oli pariton lukumäärä, koska ylämäen ajosuuntaan (suunta länteen) haluttiin yksi ohituskaista enemmän kuin vastakkaiseen suuntaan. Toinen syy tälle oli turvallisuus, kun peruskaistalle palataan ohituksen jälkeen alamäessä. Mitä vähemmän alamäessä on ohituskaistoja, sitä vähemmän siellä on peruskaistalle palaamisia ohituksen jälkeen.

Liikenteen koostumus oli perusajossa 80 % henkilöautoja, 10 % kuorma-autoja ja 10 % vapaa-ajan ajoneuvoja. Herkkyysanalyysissä liikenteen koostumus oli alarajalla 90 % henkilöautoja, 5 % kuorma-autoja ja 5 % vapaa-ajan ajoneuvoja. Ylärajalla liikenteen koostumus oli 60 % henkilöautoja, 20 % kuorma-autoja ja 20 % vapaa-ajan ajoneuvoja.

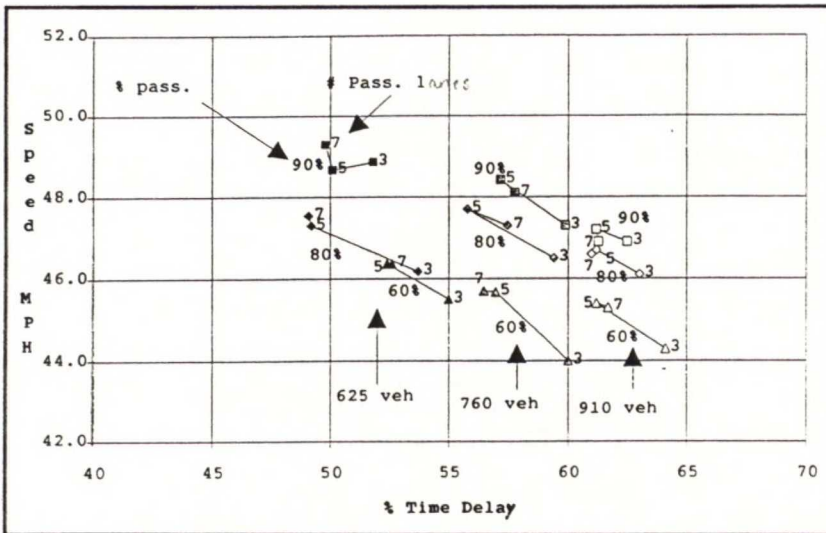
Herkkyysanalyysissä tehtiin 27 simulointikierrosta eri liikennemäärän, ohituskaistojen lukumäärän ja liikenteen koostumuksen yhdistelmillä. Tuloksia verrattiin perusajoon.

Tuloksena saatiin kolme tehokkuuden mittaa eri ajosuunnille ja ajosuuntien* yhdistelmälle. Tehokkuuden mittoja olivat viivytysprosentit, keskimääräiset nopeudet ja ohitusten lukumäärät. Ohitusten lukumäärät kuitenkin hylättiin tehokkuuden mittana, koska ne eivät olleet johdonmukaisia. Luultavasti parempi mitta olisi tehtyjen ohitusten suhde haluttuihin ohituksiin. Tällaista mittaa ei ole kuitenkaan vielä kehitetty.

Kuvassa 13 on esitetty herkkyysanalyysin tulokset molempien ajosuuntien yhdistelmälle. Pystyakselilla on keskimääräinen nopeus (mailia tunnissa) ja vaaka-akselilla viivytysprosentti. Täten paras palvelutaso sijaitsee kuvan vasemmassa ylänurkassa. Alareunan nuolilla on osoitettu ajot, joissa on

sama liikennemäärä. Kuvassa on esitetty myös jokaisen kolmik-
kon henkilöautojen liikennemäärät sekä ohituskaistojen
lukumäärät eri ajoissa.

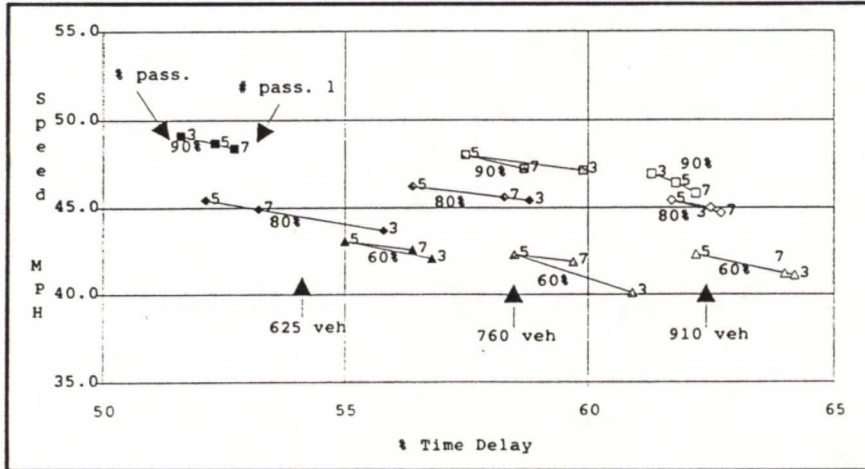
Kuvasta 13 voidaan erotella kolme suuntausta. Ensimmäisessä
kaksi tehokkuuden mittaa huononee liikenteen kasvaessa.
Tehokkuuden mitat ovat huonoja myös, kun henkilöautojen
osuus on pieni. Tällöin kuorma-autojen ja vapaa-ajan ajoneu-
vojen, jotka ovat hitaampia kuin henkilöautot etenkin ylämä-
en suuntaan ajettaessa, osuus on suuri. Kolmas suuntaus on,
että kolmen ohituskaistan vaihtoehto on huonompi kuin viiden
tai seitsemän ohituskaistan vaihtoehdot. Viiden ja seitsemän
ohituskaistan välillä ei ole selvää eroa. Viidessä yhdeksäs-
tä eri liikenteen koostumuksen vaihtoehdosta on viiden
ohituskaistan vaihtoehto paras ja neljässä vaihtoehdossa
antaa seitsemän ohituskaistaa parhaan tuloksen.



Kuva 13. Herkkyysanalyysin tulokset ajo-
suuntien länteen ja itään yhdis-
telmälle (Noguerón-Espinosa, May
1992).

Kuvassa 14 on esitetty herkkyysanalyysin tulokset ylämäen
suuntaan. Tieosuudella suorituskyky laskee sekä liikennemää-
rän kasvaessa että henkilöautojen osuuden laskiessa. Tulok-
sista ei kuitenkaan selviä ohituskaistojen optimaalinen

lukumäärä. Kahdessa eri liikenteen koostumuksen vaihtoehdos-
sa on kolmen ohituskaistan vaihtoehto paras ja seitsemässä
vaihtoehdossa on viisi ohituskaistaa paras lukumäärä.



Kuva 14. Herkkyysanalyysin tulokset ajo-
suunnassa länteen (ylämäki)
(Noguerón-Espinosa, May 1992).

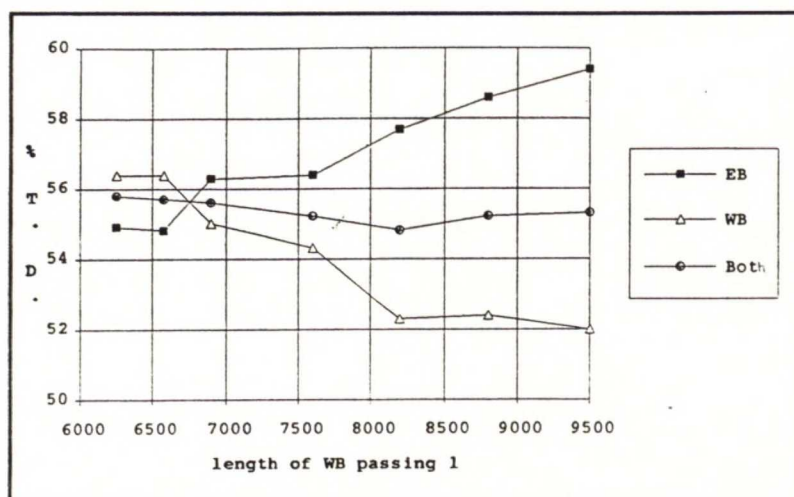
4.2.5 Ohituskaistojen pituuksien kokeilu

Millainen vaikutus on ohituskaistojen pituuksilla tien välityskykyyn? Tätä tutkittiin seitsemällä eri ohituskaistan pituudella. Ajosuunnassa länteen oli yksi ohituskaista enemmän ja pidemmät ohituskaistat kuin vastakkaisessa ajosuunnassa.

Ohituskaistojen lukumääräksi valittiin herkkyysanalyysin jälkeen viisi ohituskaistaa. Tutkittavan vuoden 2020 henkilöautojen osuus oli 80 %, kuorma-autojen 10 % ja vapaa-ajan ajoneuvojen 10 %. Ohituskaistojen pituudet vaihtelivat 6250-9500 jalkaa (noin 1905-2896 metriä) ylämäen suunnassa ja 6250-3000 jalkaa (noin 1905-914 metriä) alamäen suunnassa.

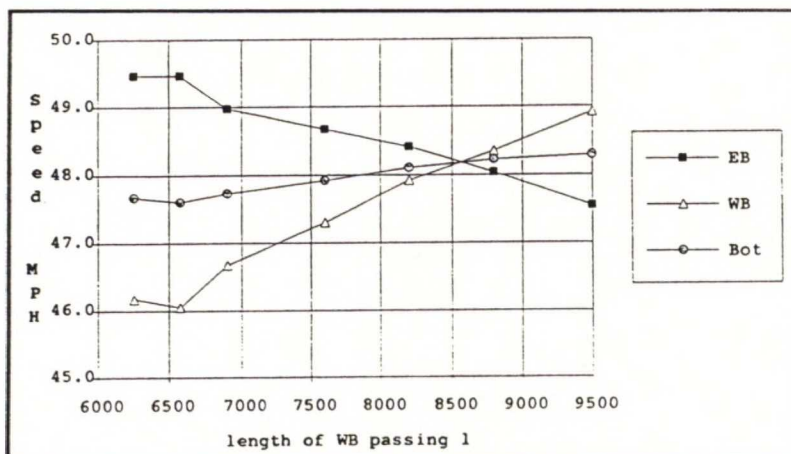
TRARRin ajojen tulokset on esitetty kuvissa 15 ja 16. Kuvassa 15 tarkastellaan viivytysprosenttia. Vaaka-akselilla on ohituskaistan pituus ajosuunnassa länteen. Viivytysprosentti

pienenee ohituskaistan pituuden kasvaessa ajosuunnassa länteen. Ajosuunnassa itään viivytysprosentti kasvaa, kun saman ajosuunnan ohituskaistojen pituudet pienenevät ja vastakkaisen ajosuunnan ohituskaistojen pituudet kasvavat. Kun viivytysprosentti on molempiin ajosuuntiin yhtä suuri, ohituskaistan pituudeksi saadaan 6800 jalkaa (noin 2073 metriä) ajosuunnassa länteen ja 5800 jalkaa (1768 metriä) ajosuunnassa itään. Molempien ajosuuntien yhteenlaskettu viivytysprosentti on minimissä, kun ohituskaistan pituus ajosuunnassa länteen on noin 8200 jalkaa (2499 metriä).



Kuva 15. Viivytysprosentti, kun ohituskaistojen pituutta muutettiin (Noguerón-Espinosa, May 1992).

Kuvassa 16 pystyakselilla on keskimääräinen nopeus (mailia tunnissa). Kuvasta nähdään, että nopeus kasvaa ajosuunnassa länteen ohituskaistan pituuden kasvaessa. Ajosuunnassa itään nopeus pienenee ajosuunnan länteen ohituskaistan pituuden kasvaessa. Nopeus on yhtä suuri molemmissa ajosuunnissa, kun ohituskaistan pituus ajosuunnassa länteen on 8200 ja 8800 jalan välillä (2499-2682 metriä). Molempien ajosuuntien yhteenlaskettu nopeus kasvoi ajosuunnan länteen ohituskaistan pituuden kasvaessa.



Kuva 16. Keskimääräinen nopeus, kun ohituskaistojen pituutta muutettiin (Noguerón-Espinosa, May 1992).

Kun tutkitaan molempien ajosuuntien yhdistettyä liikennettä, on ohituskaistan pituudella hyvin vähän vaikutusta viivytysprosenttiin ja keskimääräiseen nopeuteen. Jotta eri ajosuunnat olisivat samanarvoisia, täytyy ohituskaistojen olla pidempiä ylämäessä kuin vastakkaisessa suunnassa.

4.2.6 Kustannussäästöt kalliin leikkauksen kohdalla

Uutta tietä rakennettaessa joudutaan tekemään laajoja maansiirtoja etenkin paalujen 210+00 ja 235+00 välillä. Tämä tieosuus on myös kallein osuus koko tiestä.

Koska haluttiin parantaa projektin hyöty-kustannus -suhdetta, päätettiin tutkia vaihtoehtoa, jossa ohituskaistat on jätetty pois paalujen 203+00 ja 242+00 väliltä. Ylimääräinen etäisyys on lisätty turvallisuuden takia.

Alkuperäiseen tiehen (perusajo) verrattuna ohituskaistaosuutta on vähennetty 1300 jalkaa (noin 396 metriä) ajosuunnassa länteen ja 1700 jalkaa (noin 518 metriä) ajosuunnassa itään.

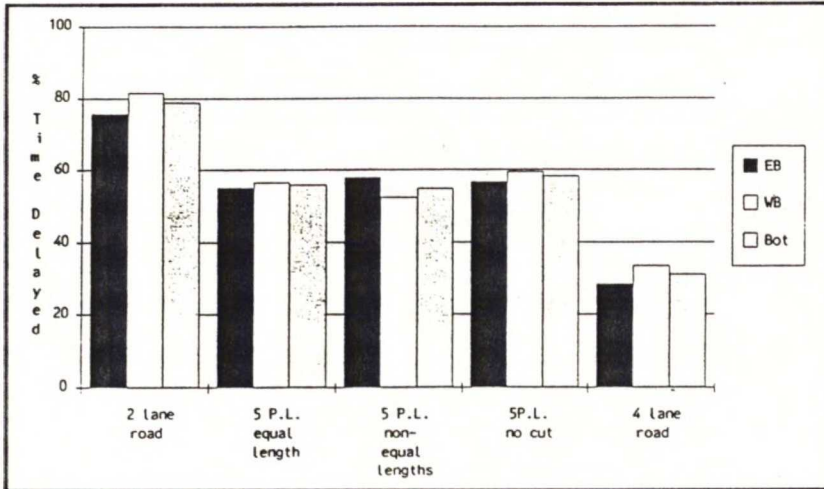
Tulokset on esitetty taulukossa 10. Ohituskaistojen poisto kalliin leikkauksen kohdalta vaikuttaa lievästi tien välityskykyyn. Ajosuunnassa länteen vaikutus on voimakkainta. Kuitenkaan viivytys ei nouse yli 60 %:n ja palvelutaso on edelleen "C".

Taulukko 10. Erot perusajoon, kun ohituskaistat on jätetty pois kalliin leikkauksen kohdalta (Noguerón-Espinosa, May 1992).

	Percent Time Delayed			Mean speed (MPH)		
	Eastbound	Westbound	Both	Eastbound	Westbound	Both
Base Run	54.9	56.4	55.8	49.5	46.1	47.7
Without passing lane on deep-cut	56.5	59.4	58.1	49.2	45.1	46.9
Absolute differences	1.6	3.0	2.3	0.3	1.0	0.8
Percentual differences	3%	5.3%	4.1%	0.6%	2.2%	1.7%

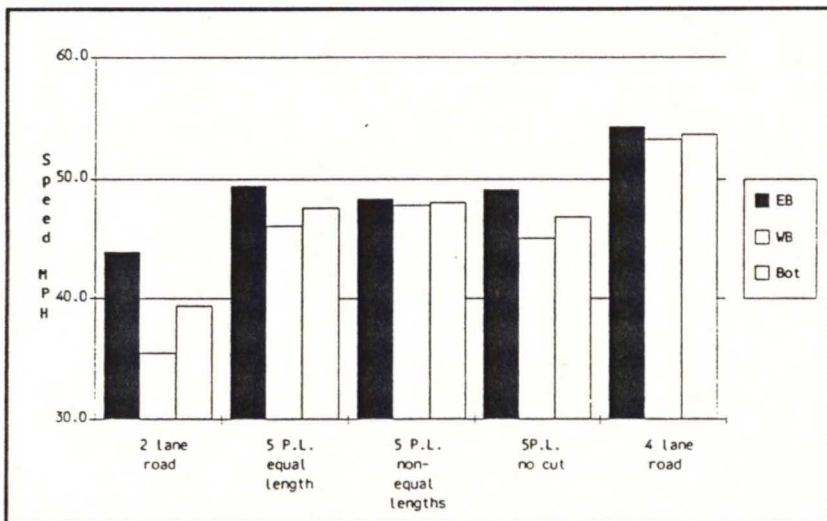
4.2.7 Tutkimuksen yhteenveto

Kuvassa 17 on esitetty viivytysprosentti erilaisilla tievaihtoehdoilla. Suurin arvo 80 % saatiin kaksikaistaiselta tieltä ja pienin 30 % nelikaistaiselta tieltä. Kolmikais- taisten teiden vaihtoehdot sijaitsevat kahden edellisen välillä. Viivytysprosentti on näissä lähes 60 %.



Kuva 17. Eri vaihtoehtojen viivytysprosentit (Noguerón-Espinosa, May 1992).

Kuvassa 18 on esitetty eri vaihtoehtojen keskimääräiset nopeudet. Kolmikaistaisten teiden arvot sijoittuvat jälleen kaksi- ja nelikaistaisten teiden arvojen väliin. Kolmikais-
taisilla teillä keskimääräinen nopeus on yli 45 mailia tunnissa (72,4 km/h).



Kuva 18. Eri vaihtoehtojen keskimääräiset nopeudet (Noguerón-Espinosa, May 1992).

4.2.8 Kalifornian tutkimuksen johtopäätökset

Tutkittavia vaihtoehtoja uudelle tielle olivat kaksikaistainen tie, jossa on rajoitettu ohitusmahdollisuus, kolmikaistainen tie, jossa ohituskaista on vuorotellen eri ajosuuntien käytössä, ja nelikaistainen tie. Kuten olettaa saattaa, kaistojen lisäys parantaa tien välityskykyä mutta myös lisää sen rakentamiskustannuksia.

Kaksikaistaisen tien palvelutaso mitoituvuonna 2020 on todennäköisesti "E". Viivytysprosentti on 75-80 % ja keskimääräinen nopeus 40-45 mailia tunnissa (noin 64-72 km/h) alamäkeen ja noin 35 mailia tunnissa (noin 56 km/h) ylämäkeen.

Kolmikaistaisella tiellä oli viisi yhtä pitkää ohituskaistaa (kolme ylämäkeen ja kaksi alamäkeen). Tällöin tien palvelutaso mitoituvuonna olisi "C". Viivytysprosentti on 55 % molempiin suuntiin ja keskimääräinen nopeus noin 50 mailia tunnissa (noin 80 km/h) alamäkeen ja 45 mailia tunnissa (noin 72 km/h) ylämäkeen. Tien välityskyky parani hiukan, kun ylämäen suunnan ohituskaistoja pidennettiin ja alamäen ohituskaistoja lyhennettiin. Ohituskaistojen poistamisella kalliin tieosan kohdalta oli vastakkainen vaikutus tien välityskykyyn. Kuitenkin kaikissa kolmessa vaihtoehdossa tien palvelutaso oli "C".

Nelikaistaisen tien palvelutaso mitoituvuonna on "A" tai "B". Viivytysprosentti on noin 30 % ja keskimääräinen nopeus noin 50-55 mailia tunnissa (noin 80-88 km/h).

Jotta paras vaihtoehto löydetään, tarvitaan yksityiskohtaista hyöty-kustannus -analyysiä.

4.3 Mallin arviointi

Kuten jokaisessa ohjelmassa, myös TRARRissa on hyviä ja huonoja ominaisuuksia. Afukaar (1989) on listannut niistä muutamia:

- + TRARRin vahvuus on sen ohjelman rakenteessa. Ohjelman modulinen rakenne mahdollistaa aliohjelmien muuttamisen ilman, että ohjelman peruslogiikka muuttuu.
- + TRARRissa on paljon ajoneuvotyyppisiä ja käyttäytymismalleja, mikä tekee maanteiden liikenteen simuloinnista joustavan.
- + Ohjelma tulostaa hyödyllisiä tehokkuusmittoja. Tällaisia ovat mm. keskinopeus, jonoprosentti, matka-aika, ohitus-tiheys ja polttoaineen kulutus.
- + Simulointia voidaan käyttää päätöksenteon apuvälineenä kaavoituksessa, teiden suunnittelussa ja kunnossapidossa.
- Ohjelmaan on melko vaikea tutustua ja siinä on paljon muuttujia, joiden keräämiseen ja analysoimiseen kuluu aikaa.
- Ohjelman ajoihin kuluu myös aikaa.

Kokemuksen myötä TRARRin simulointimallissa on ilmennyt useita parannusehdotuksia. On ehdotettu, että ohjelmaa kehitettäisiin sellaiseksi, että se opastaisi käyttäjää lähtötietojen syöttämisessä ja tarkistaisi niiden järkevyyden. Ohjelmassa voisi myös olla enemmän havaintovälejä. Eri-tyyppisistä ajoneuvoista voisi tulostaa nopeusratoja, jotta ajoneuvojen suorituskykyjä voisi muokata. Ohjelmaan voisi myös lisätä mahdollisuuden suorittaa hyöty-kustannus -analyysi. Graafisia tulosteita voisi kehittää, jotta tulokset olisivat entistä selkeämmässä muodossa. (Noguerón-Espinosa, May 1992)

TRARRin hyviin puoliin voisi lisätä sen alhaisen hankintahinnan (noin 1000 mk maahantuontikuluineen vuonna 1991) ja sen käyttömahdollisuuden tavallisessa mikrotietokoneessa, jossa on matikkaprosessori.

5 OHJELMAN MUOKKAUS

5.1 Ohjelman parametrien herkkyyksien kokeilu

Ohjelman parametrien herkkyyden mittaamiseksi tehtiin mielivaltainen tieosuus. Tämä koetie on karkea kuvaus Lahden moottoriliikennetiestä Järvenpään liittymästä Haarajoen liittymään (n. 5,3 km). Koetiellä ei ole ohituskaistoja, ei lisäkaistoja eikä raskaita ajoneuvoja. Tarkasteltavaksi suunnaksi valittiin ajosuunta Lahteen. Näkemäalueen pituus vaihteli 300-800 metriin ja mäkisyys -0,86 - +0,90 m/km.

Liitteeseen 5 on hahmoteltu valtatie 4 Järvenpäästä Mäntsälään ja paalulukemat tällä tiellä.

TRARRissa oletetaan, että tiellä ajetaan tiettyä tavoitenopeutta, kun ajoneuvo on vapaa eikä tie vaikuta sen käyttäytymiseen. Kun tiellä on kaarteita, nopeusrajoituksia tai tie on kapea, voidaan joutua käyttämään alhaisempaa tavoitenopeutta kuin hyvissä olosuhteissa. Tällaisia vaikutuksia voidaan korjata nopeusindeksillä. Koetiellä nopeusindeksi vaihteli yhdestä kolmeen. Nopeusindeksin arvo 1 kuvaa hyviä tieolosuhteita.

Koeajossa henkilöautojen tavoitenopeuksien keskiarvo oli 100 km/h. Raskaiden ajoneuvojen vastaava nopeus oli 90 km/h. Tavoitenopeuksien hajonnat olivat 10 km/h. Taulukossa 11 on lähtötiedoissa annetut liikennemäärät, kaistajaot ja jono-prosentit. Simulointiajat oli valittu siten, että havaittujen ajoneuvojen määrä on vähintään 1000.

Taulukko 11. Koeajon lähtötiedot.

Syötetty kahden suunnan liikennemäärä (ajon/h)	Simuloitu liikennemäärä ajosuunnassa Lahteen (ajon/h)	Ajosuunta Lahteen / Helsinkiin (%)	Jono-prosentti (%)
1000	486	50/50	66
1500	894	60/40	79
2000	1240	72/28	87

Koeajo simuloitiin useita kertoja muuttamalla eri parametreja. Simuloidut muutokset olivat mm. raskaiden ajoneuvojen osuuden lisääminen 5 ja 10 % :lla, näkemäalueen muuttaminen 200 ja 600 metriin, nopeusindeksin parantaminen ja huonontaminen, pienet pituuskaltevuuksien muutokset, 2 km:n ohituskaistakokeilu sekä satunnaisluvun ja simulointiaikojen muutokset.

Kuvaan 19 on piirretty ne muutokset, joilla oli eniten vaikutusta lopputulokseen. Tällaisia olivat raskaiden ajoneuvojen osuuden 10 % :n lisäys ja muutokset tien kaarteisuudessa.

Kanadassa on tutkittu näkemäalueiden vaikutuksia ohitusmahdollisuuteen (Hoban 1987). Tämän tutkimuksen mukaan ohitusten mahdollisuus riippuu näkemäalueen pituudesta ja vastaantulevan liikenteen aikaväleistä. Jotta ohitus olisi mahdollista, on näkemäalueen oltava yli 460 metriä ja aikavälin yli 25 sekuntia.

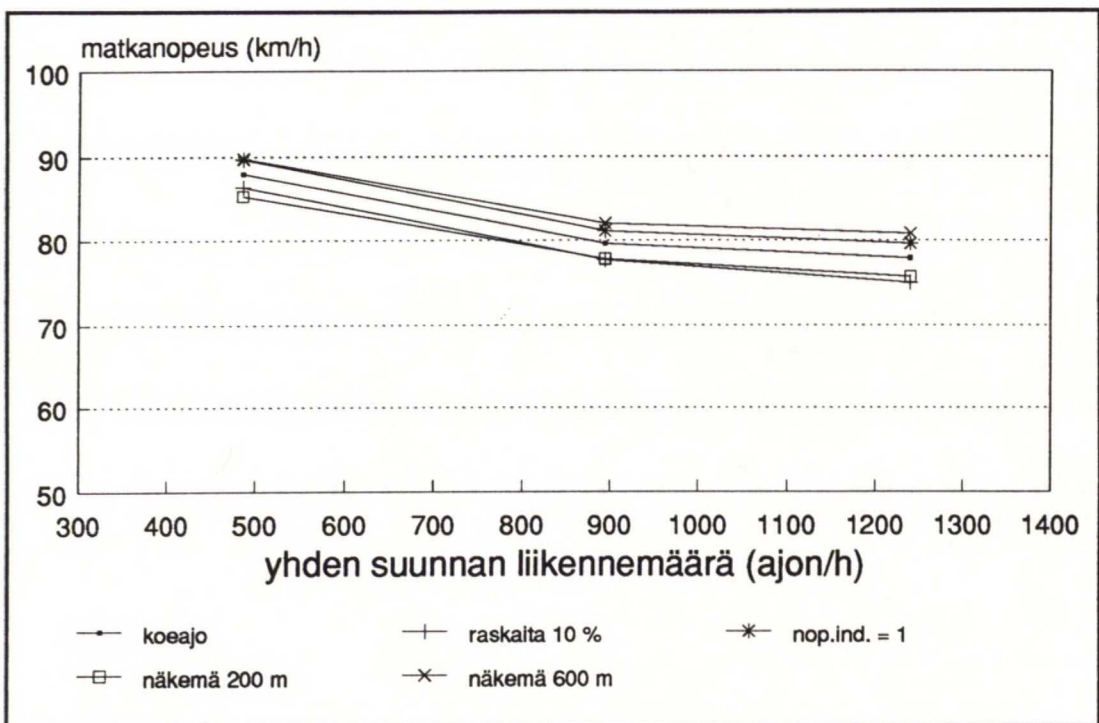
$$APO = GAO * APSD \quad (11)$$

missä APO = tien ohitusmahdollisuudet (%)
 GAO = 460 m:n näkemäprosentti
 APSD = ajan osuus, jolloin aikaväli on riittävän pitkä ohitukseen (yli 25 s).

$$GAO = e^{-0,0018626 \text{ OFLOW}} \quad (12)$$

missä OFLOW = vastaantuleva liikennemäärä (ajon/h).

Oletettavasti TRARRin ohitusten simulointi on laadittu samoja periaatteita noudattaen, jolloin on selvää, että näkemäalueen nostaminen 600 metriin lisää ohituksia ja matkanopeutta.



Kuva 19. Eri koeajoissa saadut matkanopeudet.

Satunnaislukuja vaihdellessa matkanopeuteen tuli jopa 6,3 km/h eroja. Simulointia kokeiltiin myös mahdollisimman suurilla keräily- ja simulointiajoilla. Saadut tulokset olivat lähes samansuuruisia kuin tulokset, jotka saatiin keskiarvoina simuloinneista, joissa vaihdeltiin satunnaislukuja.

5.2 Simuloinnin ja mittausten vertailu

5.2.1 Lähtöoletukset

Simuloitujen tulosten vertailemiseksi mitattuihin tuloksiin tehtiin koeajo2. Koeajo2:n lähtötiedot eri liikennemäärän funktioina on saatu vuoden 1990 moottoriliikennetiemittauksista Lahdentieltä (Enberg, Pursula 1992). Käytettyjä tuloksia olivat mm. kaistajako, jonoprosentti, vapaiden ajoneuvojen nopeudet ja nopeuksien hajonnat sekä raskaiden osuus.

Simuloitava tieosuus oli suunnilleen Ohkolan levähdysalueen ja Hirvihaaran palvelualueen välillä (paalut 40,1 - 50,0). Tietiedot mitattiin tie- ja vesirakennushallituksen yleiskartoista. Tiejaksolta valittiin kilometrin pituinen havainnointiväli ajosuunnassa Lahteen, joka valittiin myös ruuhkasuunnaksi. Tiellä ei ollut ohituskieltoja eikä lisäkaistoja.

Koeajo2:ssa ajoneuvot generoitiin TRARRilla. Jonokriteeri oli 5 sekuntia ja ajoneuvot oli jaettu raskaisiin ja kevyisiin ajoneuvoihin. Raskaiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli 90 km/h ja kevyiden 100 km/h. molempien ajoneuvoryhmien tavoitenopeuden hajonta oli 10 km/h. Nopeudet noudattivat normaalijakaumaa. Generoitujen ajoneuvojen aikavälit noudattivat negatiivista eksponentiaalijakaumaa, ajoneuvotyyppit tasajakaumaa (specified probability distribution) ja jonojen pituudet Borel-Tanner -jakaumaa.

Koeajo2:ssa linja-autojen osuus raskaista ajoneuvoista muutettiin 13 % :iin TRARRin oletettaman 6 % :n sijasta. Stabiloitumisaika oli 1800 sekuntia, simulointiaika 7200 sekuntia ja satunnaisluku 3,0. Taulukossa 12 on esitetty koeajo2:n lähtötiedot.

Taulukko12. Lähtötiedot koeajo2:ssa, jossa verrataan simuloituja ja mitattuja tuloksia keskenään.

Syötetty kahden suunnan liikennemäärä (ajon/h)	Simuloitu liikennemäärä ajo-suunnassa Lahteen (ajon/h)	Ras-kaiden osuus (%)	Ajo-suunta Lahteen /Helsinkiin (%)	Jono-pro-sentti (%)
300	142	14	50/50	31
500	222	12	50/50	44
1000	534	10	50/50	66
1500	833	8	60/40	79
2000	1343	6	72/28	87
2200	1412	4	75/25	92

5.2.2 Tulokset

Matkanopeuksien vertailut tehtiin vuoden 1990 Lahden moottoriliikennetietutkimuksen (MOL90) regressiokäyrään (Enberg, Pursula 1991):

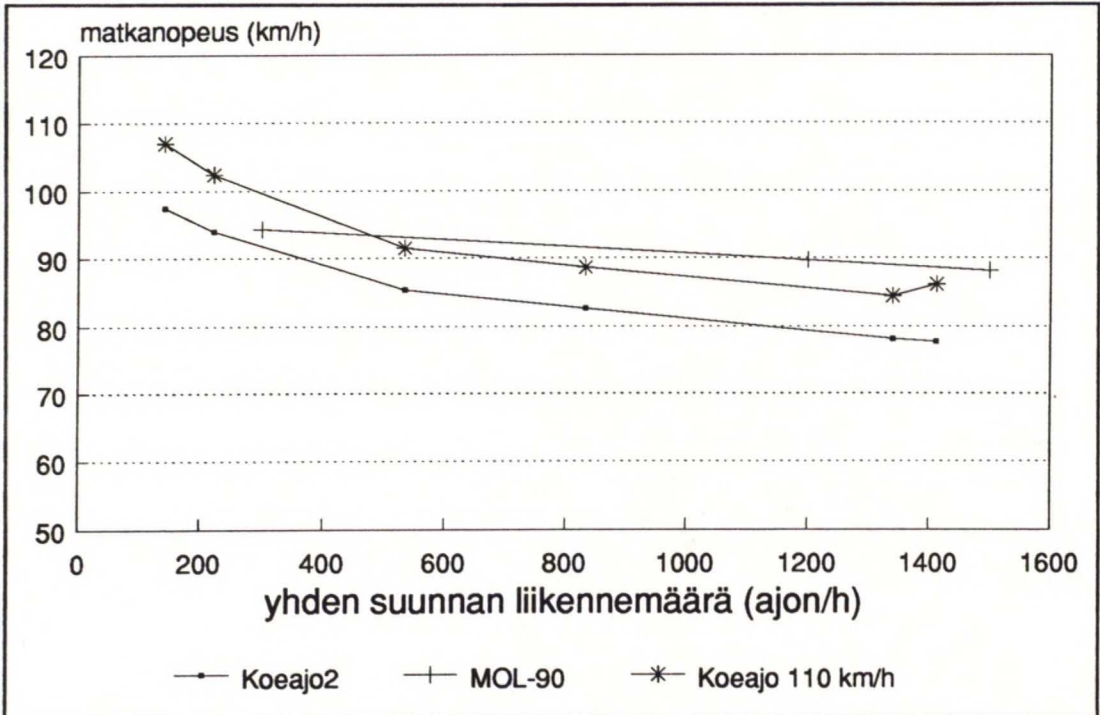
$$v = 95,9 - 0,0052 q, \quad (7)$$

$$R^2 = 0,401.$$

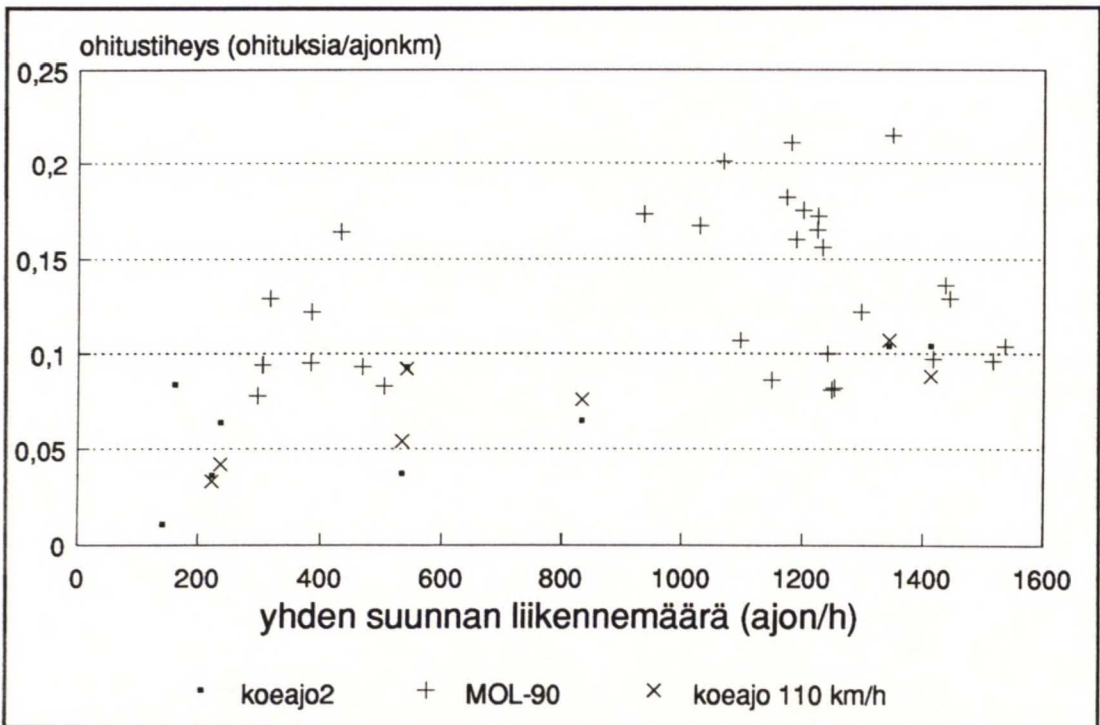
Koeajo2:n matkanopeudet ja ohitustiheydet jäivät selvästi alle mitattujen arvojen (kuvat 20 ja 21). Satunnaislukujen vaihtelut eivät muuttaneet tilannetta.

Tämän jälkeen vapaan nopeuden hajonnat muutettiin Tielaitoksen (Tiehallitus 1990) tutkimuksen mukaisiksi. Kevyillä ajoneuvoilla vapaan nopeuden hajonta oli 12 km/h ja raskaila 7 km/h. Tuloksena oli, että matkanopeudet laskivat hiukan koeajo2:n arvoista.

Seuraavaksi nostettiin henkilöautojen vapaa nopeus arvoon 110 km/h (koeajo 110 km/h kuvissa 20 ja 21). Tämän jälkeen matkanopeus oli pienillä liikennemäärillä liian suuri ja suurilla liikennemäärillä edelleen liian alhainen.



Kuva 20. Simuloitujen matkanopeuksien vertailu mitattuihin matkanopeuksiin.



Kuva 21. Simuloitujen ohitustiheyksien vertailu mitattuihin ohitustiheyksiin.

TRARRin ongelmaksi ilmeni, että ohjelmalla ei voi suoraan simuloida ohituskäyttäytymistä, kun ohitettavat ja vastaan tulevat ajoneuvot voivat väistää pientareelle ohituksen ajaksi, jos tie on riittävän leveä. Tällaiset nk. ruotsalaiset ohitukset ovat yleisessä käytössä Lahden moottoriliikennetiellä.

Helsingin yliopistossa on tutkittu ohittamista leveäpientareisilla teillä (Kaikkonen et.al 1991). Tutkimuksessa on tultu tulokseen, että ohitettavista henkilöautoista 20-40 % väistää pientareelle ja kuorma- tai muusta raskaasta kalustosta 40-80 %. Vastaantulijoista 10-30 % väistää tai joutuu väistämään ainakin osittain pientareelle.

Ruotsissa on tutkittu, että leveäpientareisilla teillä esiintyy enemmän lyhyitä turva-aikoja kuin kapeilla teillä ajajien käyttäessä tietoisesti hyväkseen pientareita ja olettaessa, että ohitettava ajoneuvo väistää pientareelle mahdollisen riskitilanteen syntyessä (Kaistinen, Summala 1991).

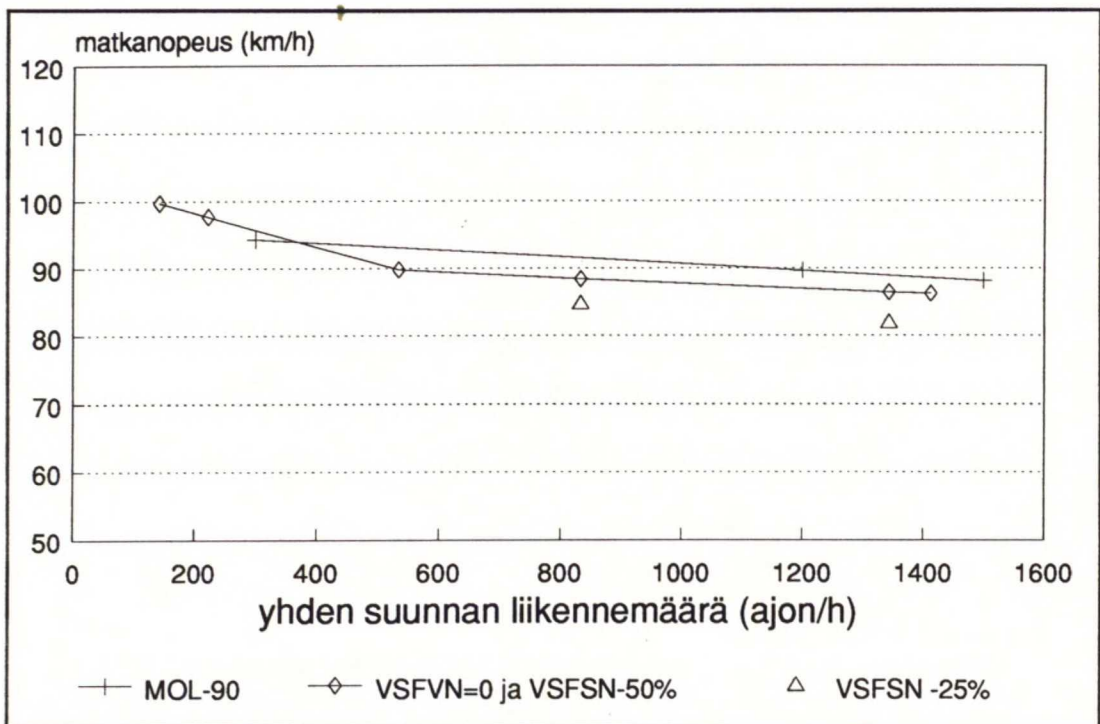
5.2.3 Turvallisuusmarginaalien muutokset

Simuloinnin tuloksena saatuja ohitusten lukumääriä ja matkanopeuksia haluttiin nostaa, jotta tulokset olisivat lähempänä mitattuja arvoja. Ratkaisua tähän etsittiin ajoneuvotiedoston turvallisuusmarginaaleista. Näistä kaksi sopi tähän tarkoitukseen. Toinen oli turvallisuustekijä ohituksissa, joissa on näkemäesteitä (VSFSN) ja toinen turvallisuustekijä, kun vastaan tuleva ajoneuvo on näkyvissä (VSFVN). Kummassakaan tapauksessa tiellä ei ole ohituskaistoja.

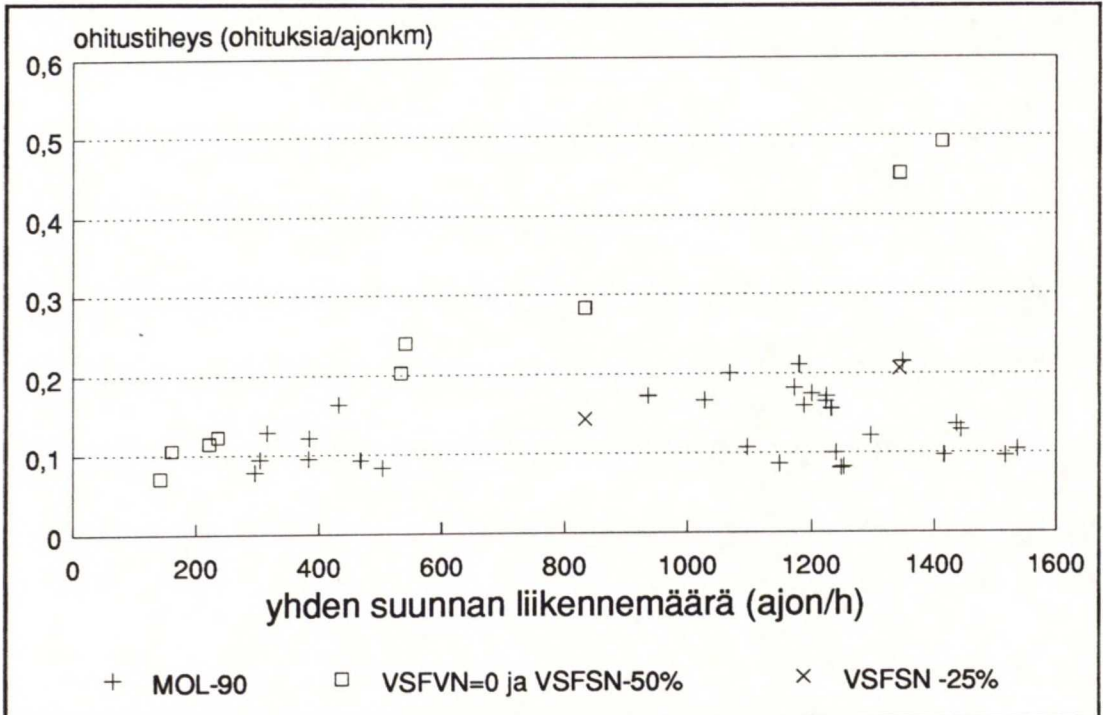
Ajoneuvotiedoston turvallisuusmarginaalit on annettu kertoina eri ajoneuvotyypeille. Näiden parametrien arvoja pienennettiin 20 prosenttiin ja nollaan oletustiedostojen arvoista. VSFVN:n muutokset eivät parantaneet olennaisesti

matkanopeuksien ja ohitusten arvoja. VSFSN osoittautui tehokkaammaksi muuttujaksi kuin VSFVN. Kun VSFSN muutettiin kaikille ajoneuvoille nolaksi, matkanopeudet jäivät noin 2 km/h alle mitatun arvon ja ohitustiheys oli kaksinkertainen mitattuihin arvoihin verrattuna.

Kuviin 22 ja 23 on piirretty tapaukset, joissa VSFSN:n arvoja on pienennetty 50 % ja 25 %. Ensimmäinen tapaus antaa matkanopeudelle paremman tuloksen ja jälkimmäinen ohitustiheydelle.



Kuva 22. Matkanopeudet, kun turvallisuusmarginaaleja on muutettu.

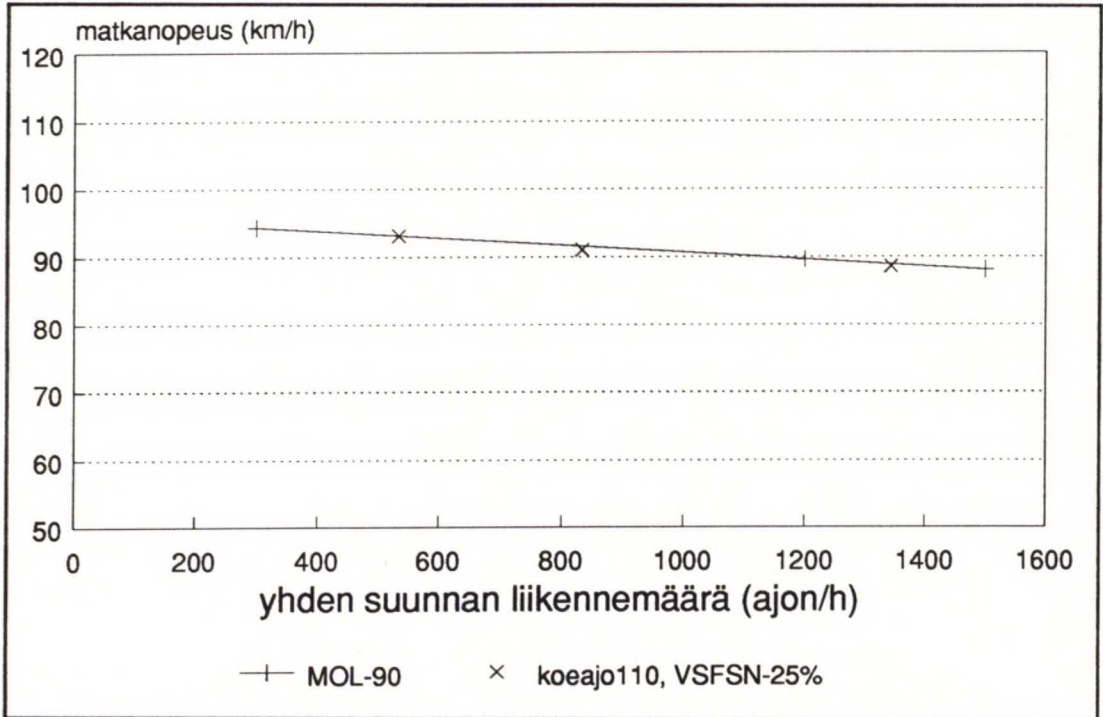


Kuva 23. Ohitustiheydet, kun turvallisuusmarginaaleja on muutettu.

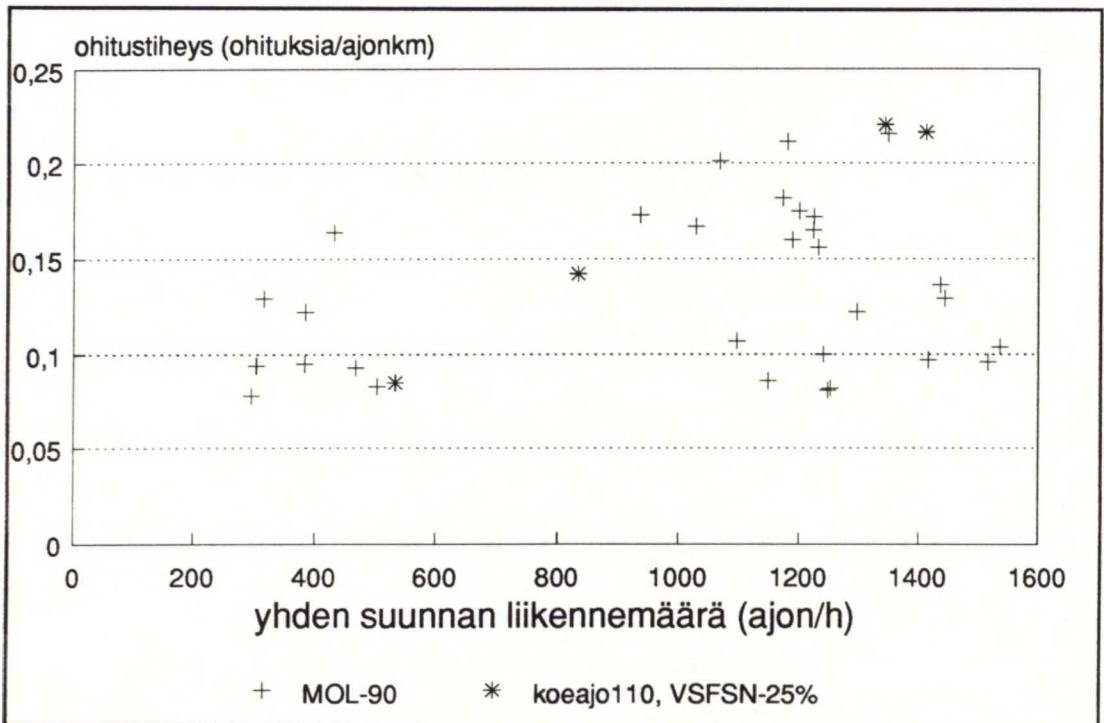
5.2.4 Turvallisuusmarginaalin ja henkilöautojen vapaiden nopeuksien muutokset

Yksistään turvallisuusmarginaalien muutokset eivät riittäneet matkanopeuksien nostamiseen halutulle tasolle. VSFSN:n avulla suoran kulmakerroin oli kuitenkin lähempänä havaittua ja koska henkilöautojen vapaan nopeuden nostaminen nosti koko simuloitua käyrää ylöspäin (kuva 20), päätettiin kokeilla näiden yhdistelmää.

Tarkasteltavaksi otettiin tapaus, jossa henkilöautojen tavoitenopeus on 110 km/h (koeajo 110 km/h) ja turvallisuusmarginaalia on laskettu 25 % ohituksissa, joissa on näkemäesteitä (VSFSN -25 %). Kuvista 24 ja 25 nähdään, että tällä kertaa simuloitujen matkanopeudet ja ohitustiheydet täsmäävät melko hyvin mitattujen arvojen kanssa.

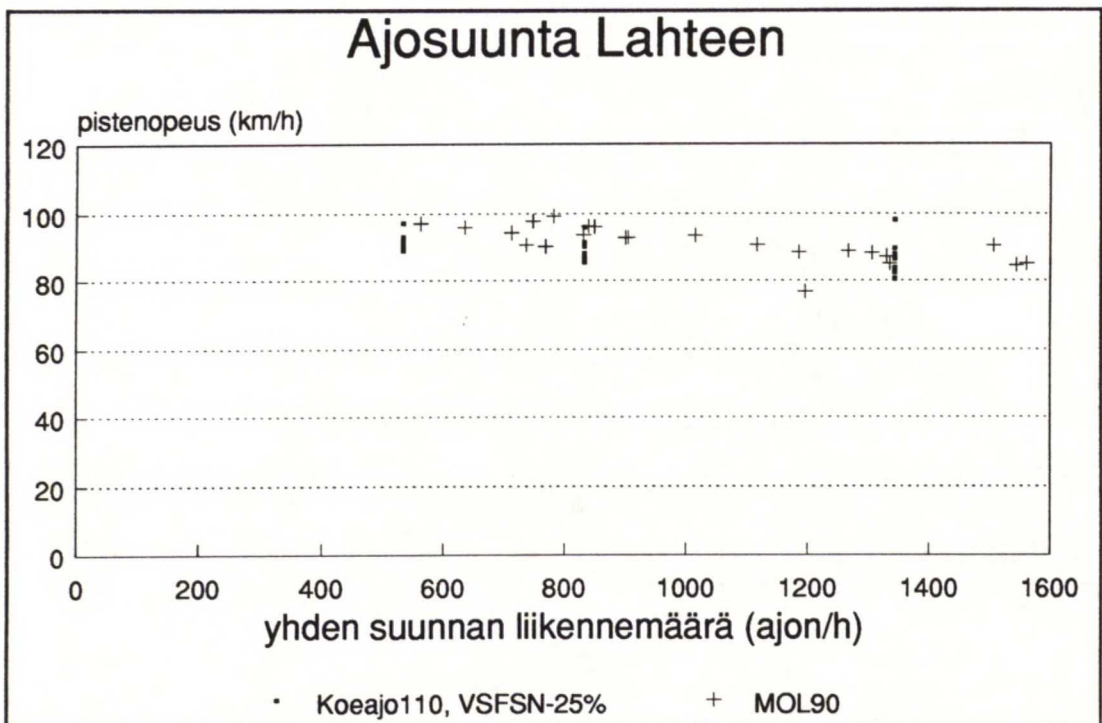


Kuva 24. Matkanopeudet, kun sekä turvallisuusmarginaalia että henkilöautojen vapaata nopeutta on muutettu.



Kuva 25. Ohitustiheydet, kun sekä turvallisuusmarginaalia että henkilöautojen vapaata nopeutta on muutettu.

Kuvassa 26 on testattu simuloitujen pistenopeuksien yhteensopivuutta moottoriliikennetieltä mitattujen kanssa. Moottoriliikennetien arvot on saatu torstain 30.8.1990 ja perjantain 31.8.1990 analysaattorimittauksista 15 minuutin keskiarvoina. Perjantain tuloksista on jätetty pois klo 16.45 - 17.18 saadut arvot, koska liikenne oli pysähdyksissä. Simuloidut pistenopeudet ovat paalujen 40,1 ja 50,0 väliltä ja analysaattorimittaukset paalun 47,4 kohdalta.



Kuva 26. Pistenopeudet moottoriliikennetiellä.

Kuvaan 27 on piirretty jonoprosentin muuttuminen liikennemäärän ja kuvaan 28 etäisyyden funktiona moottoriliikennetiellä. Kuvissa perjantain 15.6.90 tulokset ovat rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin keskiarvoja. Torstain 30.8.90 ja perjantain 31.8.90 ovat analysaattorimittausten 15 minuutin keskiarvoja. Perjantaina 15.6.90 mittauspiste oli paalun 42,0 kohdalla ja torstaina 30.8.90 sekä perjantaina 31.8.90 paalun 47,4 kohdalla. Simuloidut arvot on saatu paalujen 40,1 ja 50,0 väliltä.

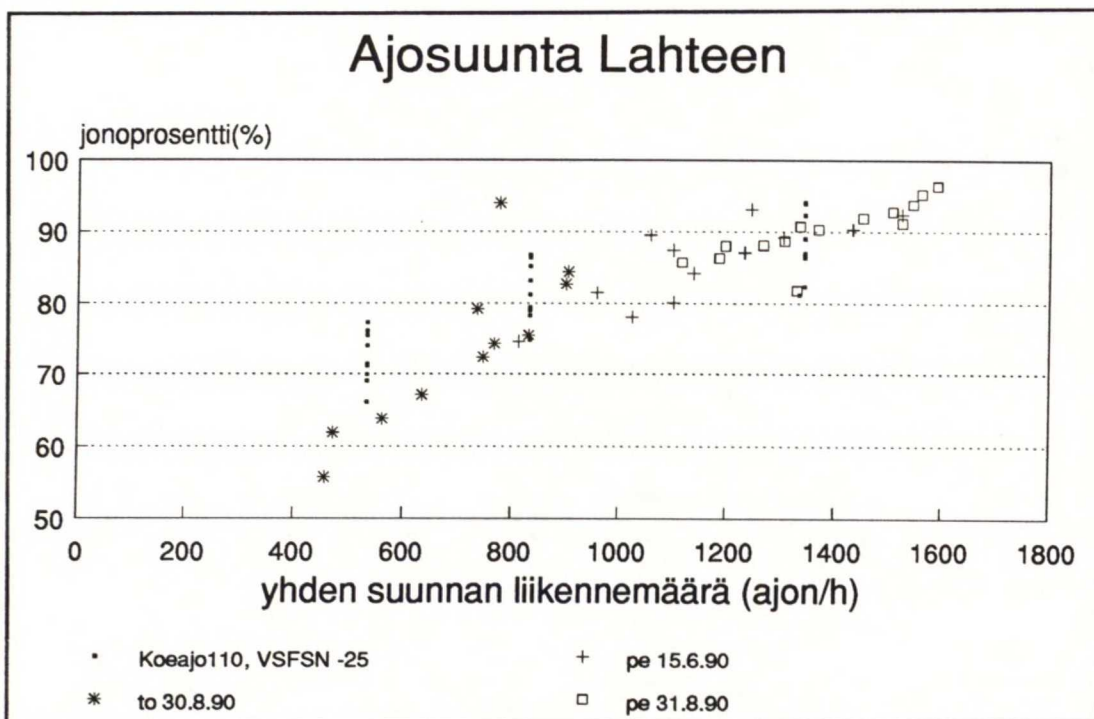
Kuvassa 28 etäisyyden nolllapiste on paalun 40,1 kohdalla. Koeajon yhden suunnan liikennemäärä on 833 ajon/h, joka vastaa taulukkon 12 kahden suunnan liikennemäärää 1500 ajon/h. Vertailupisteiksi (pe 15.6.90 ja to 30.8.90) on valittu ne jonoprosentit, joissa yhden suunnan liikennemäärä on 800 - 900 ajon/h.

Parametrien sopivuutta kokeiltiin koeajossa 3-k myös kolmikaistaiselle tielle. Tutkittavalla tieosalla oli kaksi ohituskaistaosuutta molempiin ajosuuntiin. Vertailutulokset on saatu sunnuntain ruuhkamittauksesta 1.9.1991. Koeajon 3-k lähtötiedot on esitetty taulukossa 13. Muut oletusarvot olivat samoja kuin edellisessä koeajossa eli kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli 110 km/h ja raskaiden ajoneuvojen 90 km/h. Tavoitenopeuksien keskihajonta oli molemmilla ajoneuvoryhmillä 10 km/h. Turvallisuusmarginaali VSFSN pidettiin edelleen 25 % TRARRin oletusarvoja alhaisempana.

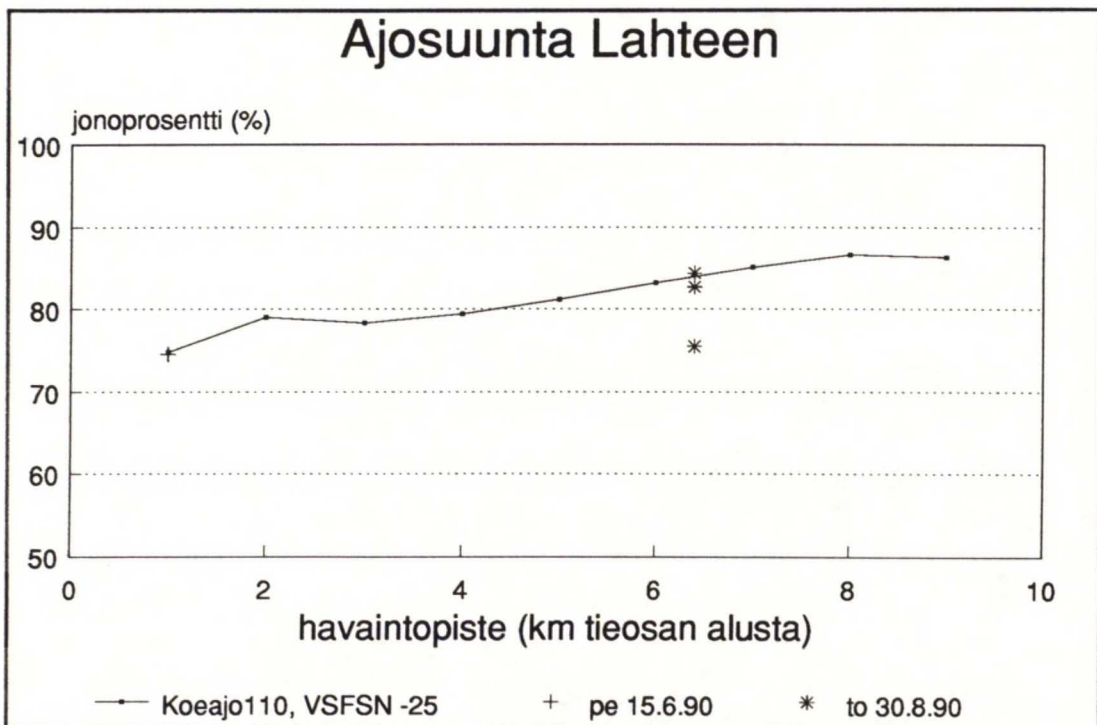
Taulukko 13. Lähtötiedot kolmikaistatien simuloinnissa.

Syötetty kahden suunnan liikennemäärä (ajon/h)	Simuloitu liikennemäärä ajo-suunnassa Helsinkiin (ajon/h)	Raskaiden osuus (%)	Ajosuunta Lahteen / Helsinkiin (%)	Jonoprosentti (%)
2000	1215	4	28/72	90
2100	1452	4	26/74	91
2200	1476	4	25/75	92

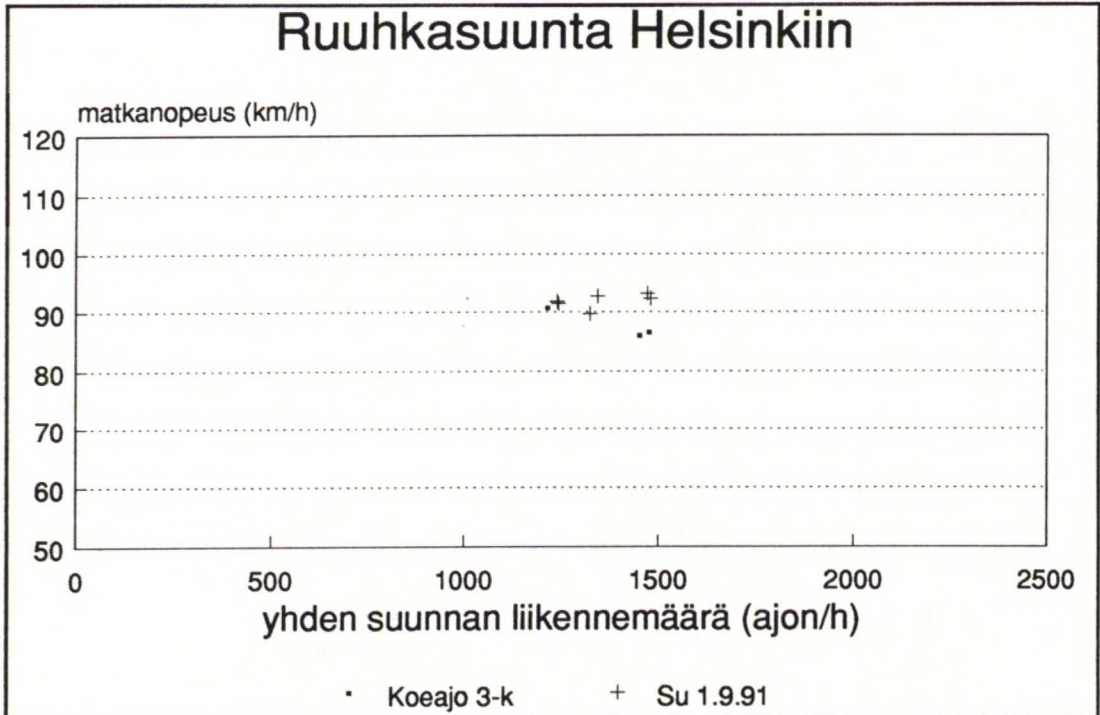
Simuloinnin vertailut kolmikaistatien tuloksiin on esitetty kuvissa 29 ja 30. Simuloidut matkanopeudet ja ohitustiheydet ovat kuvien mukaan melko lähellä mitattuja arvoja, joten oletusarvot näyttävät sopivan myös kolmikaistaisen tien tutkimiseen.



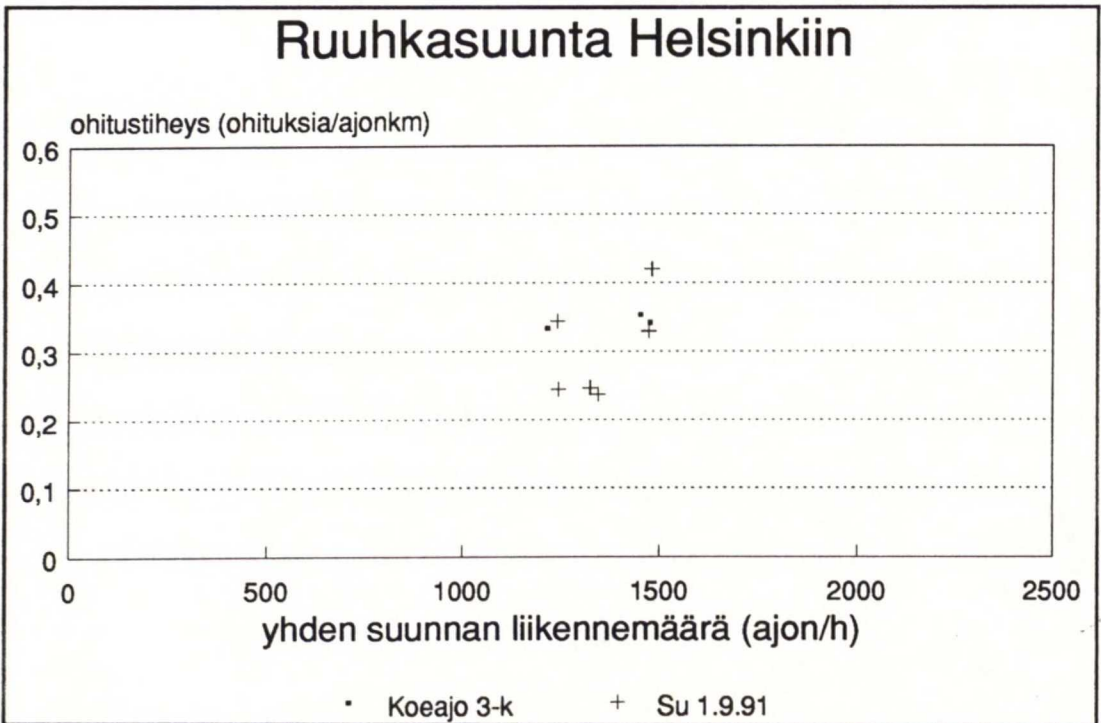
Kuva 27. Jonoprocentit liikennemäärän funktiona moottoriliikennetiellä.



Kuva 28. Jonoprocentit etäisyyden funktiona moottoriliikennetiellä.



Kuva 29. Simuloitujen matkanopeuksien sopivuus kolmikaitaisen tien mittauksiin.



Kuva 30. Simuloitujen ohitusten sopivuus kolmikaistaisen tien mittauksiin.

5.5 Mitatun liikenteen käyttö simuloinnissa

5.5.1 ITRAF-tiedoston muokkaus

TRARRissa on mahdollista ohittaa liikenteen generointi ja käyttää mitattua liikennettä lähtötiedostona. Tämä tapahtuu IOPT=2 -option ja ITRAF-tiedoston avulla (ks. 2.2.7 Optiot).

Liitteessä 8 on malli ITRAF-tiedostosta ja liitteessä 7 on esimerkki tiedostoista, jotka muutetaan ITRAF-tiedostoksi. Koska tiedostot poikkeavat melkoisesti toisistaan, on jouduttu tekemään muunnosohjelmia, jotta liikennelaboratorion analysaattorin mittauksia voisi käyttää TRARRin ajojen lähtötiedostoina.

Ensimmäiseksi analysaattorin tiedostoista piti poistaa nk. haamujoneuvot, jotka ovat virheellisiä havaintoja. Lisäksi analysaattorin havainnoilla ei ole "juoksevaa" havaintoaikaa, vaan ajoneuvoille on laskettu netto- ja bruttoaikaväli. Nämä on muutettu "haamunpoisto"- ja "reaaliaikaohjelmilla" ja tuloksina ovat liitteen 7 tiedostot.

Muut tarvittavat muutokset on tehty "muutosohjelmassa" (liite 6). Tässä ohjelmassa on otettu huomioon mm. seuraavat seikat:

- 1) Analysaattorin mittaamat tiedostot on eroteltu ajosuunnittain, mutta ITRAF-tiedostossa eri ajosuunnat ovat samassa tiedostossa aikajärjestyksessä.
- 2) ITRAF-tiedostossa ajoneuvoille on määritetty kaista (LADR), jota pitkin ne saapuvat tielle.
- 3) Analysaattori jakaa ajoneuvot kymmeneen ajoneuvotyyppiin. TRARR käyttää 18 ajoneuvotyyppiä.
- 4) Analysaattori mittaa pistenopeuden, mutta ITRAF-tiedostossa määritetään jokaiselle ajoneuvolle tavoitenopeus.

Jatkossa tavoitenopeutta on arvioitu vapaiden nopeuksien ja 85 %:n nopeuksien avulla.

Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen vapaat matkanopeudet voidaan arvioida seuraavien IVARin (Investointihankkeiden vaikutusten arviointiohjelmisto, Ristikartano 1992) kaavojen avulla. Vapaan nopeuden laskennassa määritetään kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen matkanopeus vapaissa olosuhteissa. Tällöin tuntiliikennemäärä on nolla. Väylätyypit on jaoteltu 2-kaistaisiin ja monikaistaisiin teihin. Ajoneuvojen vapaa nopeus määräytyy nopeusrajoituksen, päällysteen leveyden, päällystetyypin sekä väylän geometrisen ominaisuuksien perusteella.

$$V_{k(kev)} = a + b * V_{korj} + \frac{c * W * V_{korj}}{d} - \frac{V_{raj} * K * Pk}{e} \quad (14)$$

$$V_{k(rask)} = \frac{(a + b * V_{korj} + \frac{c * W * V_{korj}}{d}) * Pk}{1 + \frac{M}{e}} \quad (15)$$

Kaavoissa

- $V_{k(kev)}$ = kevyiden ajoneuvojen vapaa nopeus (km/h),
 $V_{k(rask)}$ = raskaiden ajoneuvojen vapaa nopeus (km/h),
 W = päällysteen leveys (m),
 V_{raj} = nopeusrajoitus (km/h),
 K = kaarteisuus (gon/km),
 M = mäkisyys (m/km),
 Pk = päällystekorjaus, joka määräytyy päällystetyypin perusteella ja
 V_{korj} = ajoneuvotyypistä ja nopeusrajoituksesta riippuva nopeuden korjaus.

a , b , c , d ja e ovat korjauskertoimia, jotka riippuvat väylätyypistä, ajoneuvotyypistä sekä päällysteen leveydestä.

Taulukkoon 14 on kerätty kaavoissa 14 ja 15 käytetyt lähtöarvot. Kevyiden ajoneuvojen vapaaksi nopeudeksi saatiin 104,0 km/h ja raskaiden ajoneuvojen vastaava arvo oli 86,0 km/h.

Taulukko 14. Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen vapaat nopeudet sekä näiden määrittämiseen käytetyt parametrit.

Parametri	Kevyet ajon.	Raskaat ajon.
W (m)	12,5	12,5
V_{raj} (km/h)	100	100
K (gon/km)	13	13
M (m/km)	7	7
Pk	1,0	1,0
V_{kori}	100	81
a	20	18
b	0,58	0,58
c	1,8	1,9
d	80	80
e	600	200
V_k	104,0	86,0

Tielaitos on tutkinut myös ajoneuvoryhmien pistenopeuksia eri nopeusrajoituksilla. Tielaitoksen tutkimuksen mukaan jonojen ulkopuolella ajavien henkilöautojen 85 %:n nopeus oli 104,3 km/h ja keskihajonta 10,5 km/h, kun nopeusrajoitus oli 100 km/h. Kuorma-autojen keskimääräinen 85 %:n nopeus oli 88,6 km/h ja keskihajonta 6,2 km/h (Tiehallitus 1990).

Moottoriliikennetien liikennevirtatutkimuksen (Enberg, Pursula 1992) mukaan vapaiden ajoneuvojen pistenopeus vaihtelee 99,4 - 104,2 km/h, kun liikennemäärä on nolla. Vapaiden nopeuksien keskiarvo on 100,4 km/h. Nopeuden keskihajonta on noin 10 km/h. Nämä luvut on saatu analysointimitauksista ja ne sisältävät sekä kevyet että raskaat ajoneuvot.

Tavoitenopeutta voidaan arvioida myös rekisteritunnustutkimuksen avulla, kun liikennemäärä on alhainen. Päivämittauksessa 22.5.1991 saatiin kevyille ajoneuvoille keskimääräi-

seksi nopeudeksi 100,2 km/h ja raskaille ajoneuvoille 86,7 km/h. Kevyiden ajoneuvojen nopeuksien keskihajonta oli 7,8 km/h ja raskaiden ajoneuvojen 4,4 km/h. Mittaukset on tehty Järvenpäästä Mäntsälään sekä Mäntsälästä Orimattilaan.

"Muutosohjelman" ajoissa on käytetty kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeuksien keskiarvona 104,0 km/h ja keskihajontana 10,5 km/h. Vastaavat arvot raskaille ajoneuvoille ovat 86,0 km/h ja 6,2 km/h. Tavoitenopeuksien keskiarvot on saatu IVARin (Ristikartano 1992) kaavojen avulla ja hajonnat tielaitoksen (Tiehallitus 1990) mittauksista.

5.5.2 Simulointi ITRAF-tiedostolla

ITRAF-tiedoston käyttö simuloinnissa päättyi virhetilanteeseen. Syynä oli, että TRARRissa on saapuvien ajoneuvojen lukumäärä NITVBD (Number of input traffic vehicles) määritetty liian pieneksi tarkasteltaville liikennemäärille. TRARRissa NITVBD:n arvo oli 450 ajoneuvoa. Virhetilanne syntyi, kun seuraavan kaavan ehto ei toteutunut:

$$VSAX(450) > TSI + TCLEAR \quad (16)$$

missä $VSAX(450)$ = 450. ajoneuvon taulukoitu saapumisaika (s) eli ITRAF-tiedostossa määritetyn saapumisajan ja stabiloitumisajan erotus,
 TSI = simulointiaika (s) ja
 $TCLEAR$ = aika, jossa hidas ajoneuvo ajaa tien läpi (s).

Jos kaavan 16 ehto ei toteudu, ohjelma pienentää simulointiaikaa. Käytännössä ruuhkamittauksissa simulointisaika meni negatiiviseksi ja simulointi epäonnistui.

NITVBD:n suuruus tarkastettiin ruuhkamittauksien avulla. Kaavan 16 ehto täyttyi vasta, kun NITVBD:n arvo nostettiin 2500 ajoneuvoon. Nyt käytetty simulointisaika on 3600 sekuntia ja stabiloitumisaika 900 sekuntia.

Taulukossa 15 on esitetty käytettyjen mittausainestojen päivämäärät ja mittauksen alkamisajankohdat. Tarkasteltava tieosuus on sama kuin koeajo 8:ssa eli 10 km:n pituinen alue Ohkolan levähdysalueen ja Hirvihaaran palvelualueen välillä. Tarkasteltavalla tiellä ei ole ohituskieltoja eikä ohituskaistoja. Havaintovälinä on 4 km:n matka simuloitavan tien keskellä.

Käytetty satunnaisluku on 3,0 ja etäisyys ajoneuvojen generoimispisteestä simuloitavan tien alkuun (DTS) on 1,0 m. Tämä DTS on matka, jolla ei ole ohitusmahdollisuutta, jotta muodostuisi jonoja. Kun lähtötiedostona käytetään mitattua liikennettä, on DTS tarpeeton. Turvallisuusmarginaalin VSFSN arvoja on pienennetty 25 % TRARRin alkuperäisistä arvoista.

Taulukko 15. ITRAF-tiedostoissa käytetty mittausaineisto.

Päivä	Mittaus	Pisteen:o	Sijaintipaalu	Mittauksen aloitusaika
Ke 22.5.91	Arkipäivä	P16	43,25	10.41
To 30.5.91	Arki-ilta	P03	33,37	14.30
Pe 31.5.91	Menoruuhka	P16	43,25	14.35
Su 2.6.91	Paluuruuhka	P16	43,25	14.20

Tulokset on esitetty kuvissa 31 ja 32. Simuloituja tuloksia (ITRAF-ajot) vertaillaan rekisteritunnustutkimuksen tuloksiin (MOL-90). Rekisteritunnustutkimuksen ohitustiheydet ovat 30 minuutin keskiarvoja torstain 14.6.90, perjantain 15.6.90 ja sunnuntain 17.6.90 mittauksista. Tuloksista nähdään, että matkanopeudet laskevat simuloinnissa liikennemäärän kasvaessa jyrkemmin kuin vertailusuora ja simuloidut

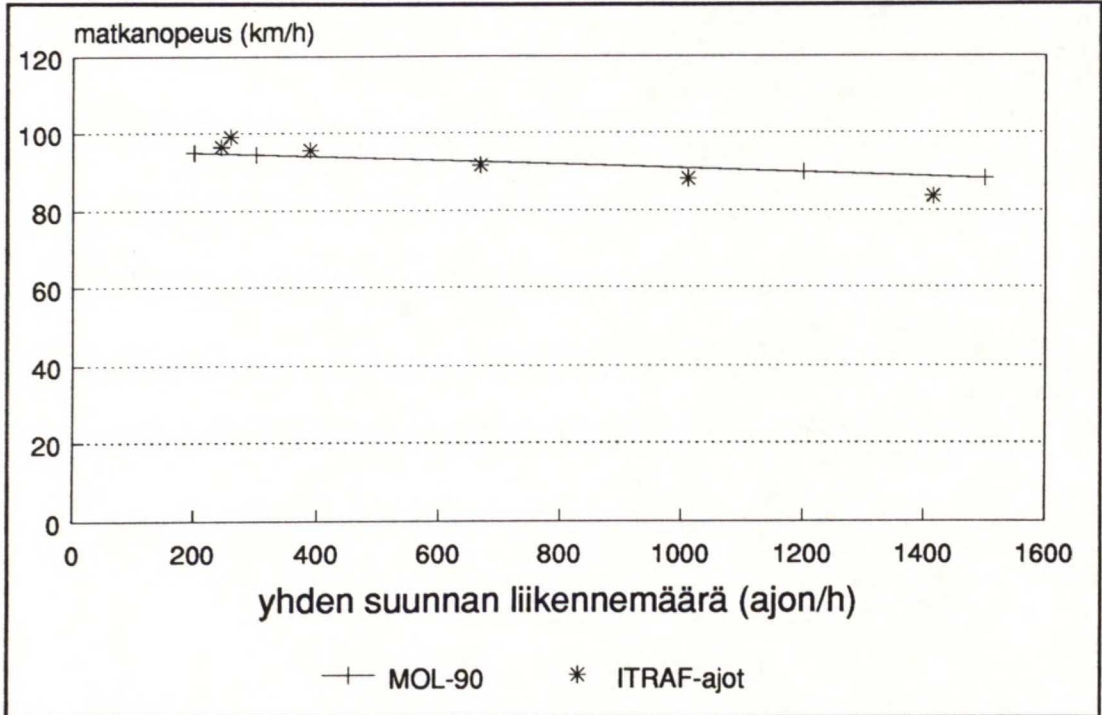
ohitustiheydet jäävät huomattavasti havaittujen arvojen alapuolelle. Lähempi tarkastelu osoittaa, että erityisesti ohituksia, joissa kevyet ajoneuvot ohittavat kevyitä ajoneuvoja tarvitaan lisää.

Simulointituloksiin yritettiin vaikuttaa nostamalla ensin henkilöautojen tavoitenopeuksien keskihajonta 10,5 km/h:sta 15 km/h:iin. Kun ohitustiheydet eivät nousseet tarpeeksi, vähennettiin ohitusten turvallisuusmarginaalin VSFSN arvoa puoleen alkuperäisistä TRARRin oletusarvoista. Nyt kaikkien ajoneuvojen ohitustiheys kasvoi, mutta raskaiden ajoneuvojen ohitusmäärät olivat liian pieniä.

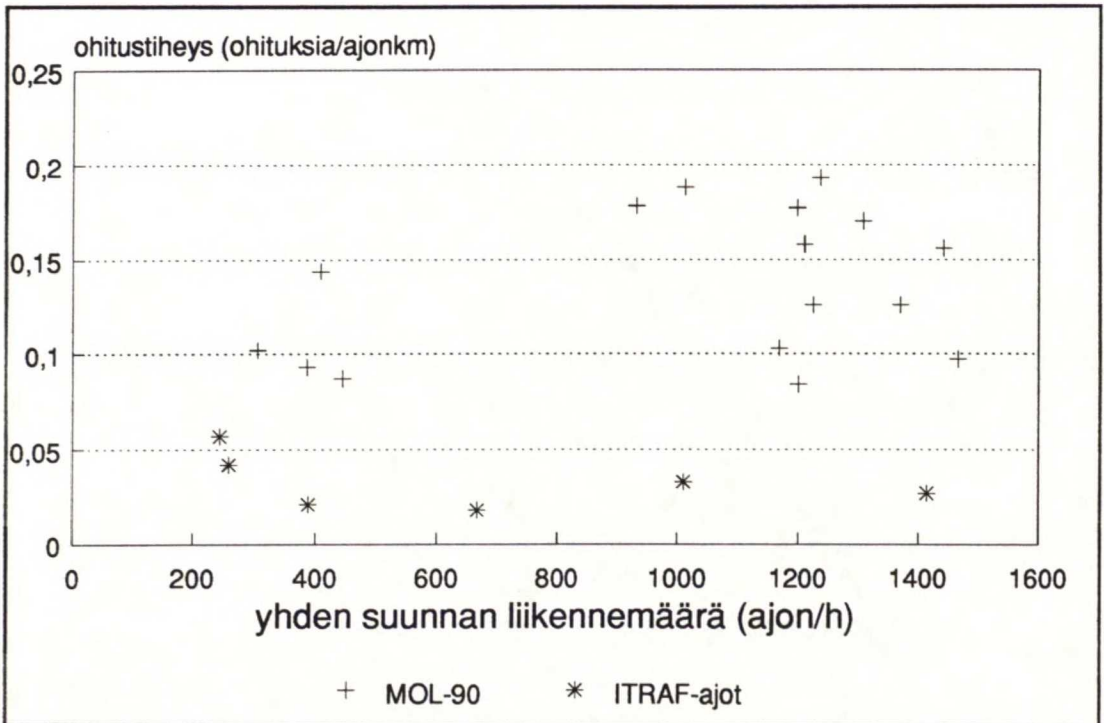
Seuraavaksi muutettiin raskaiden ajoneuvojen tavoitenopeutta ja keskihajontaa sekä kokeiltiin turvallisuusmarginaalille VSFSN 75 %:n pienennystä alkuperäisestä arvosta. Paras tulos saavutettiin, kun VSFSN:n vähennys oli 50 %, kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus 104 km/h ja keskihajonta 15 km/h sekä raskaiden ajoneuvojen tavoitenopeus 86 km/h ja keskihajonta 12 km/h (kuvat 33 ja 34).

Vaikka tavoitenopeuksien keskihajontoja on nostettu lähtötiedostossa, ovat simulointitulosten matkanopeuksien keskihajonnat lähellä mitattuja tuloksia. Simuloinnissa saatiin kevyille ajoneuvoille matkanopeuksien keskihajonnaksi 8,1 km/h ja raskaille 4,3 km/h ja rekisteritunnustutkimuksessa saadut keskihajonnat ovat kevyille ajoneuvoille noin 8 km/h ja raskaille noin 4 km/h.

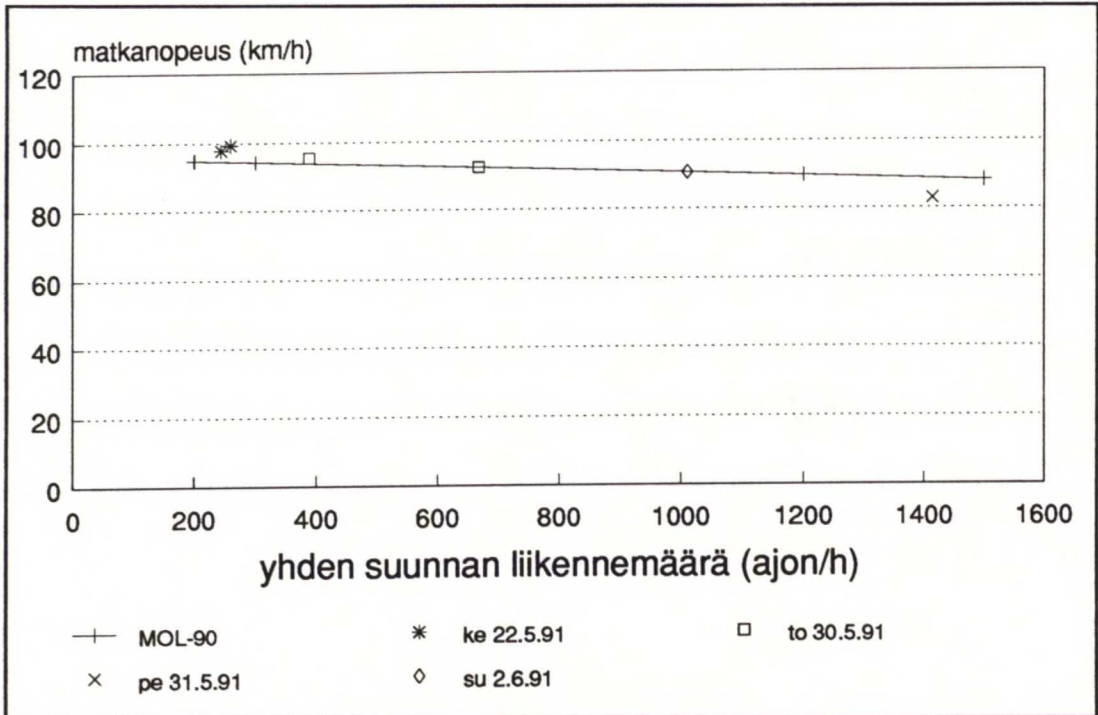
Kuvasta 33 nähdään, että matkanopeudet laskevat edelleen jyrkemmin simuloinnissa kuin mitatussa aineistossa. Tähän yritettiin vaikuttaa pienentämällä ajoneuvojen seuraamistaisyyksiä (parametrit VFDA1 ja VFDA2), mutta tällä ei ollut haluttua vaikutusta tuloksiin.



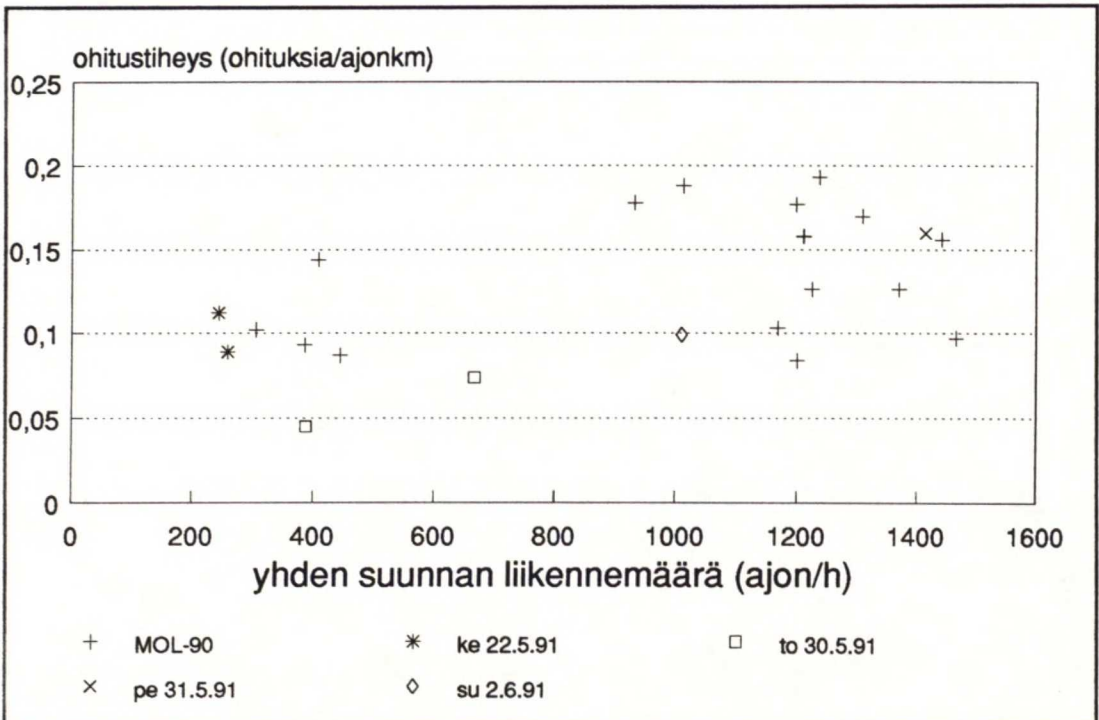
Kuva 31. Matkanopeudet, kun simuloinnissa on käytetty mitattua liikennettä.



Kuva 32. Ohitustiheydet, kun simuloinnissa on käytetty mitattua liikennettä.



Kuva 33. Matkanopeudet kalibroinnin jälkeen.



Kuva 34. Ohitustiheydet kalibroinnin jälkeen.

Aikaisempi vertailu tehtiin vuoden 1990 aineistoon, koska vuoden 1991 rekisteritunnusaineisto ei ollut vielä käytettävissä. Myös kuvan 33 vertailuaineisto oli vuodelta 1990.

Entä millainen tulos saadaan kevään 1991 aineistolla? Taulukossa 16 on kevään 1991 rekisteritunnustutkimuksen päivämäärät ja kelloajat. Rekisteritunnustutkimuksen ajot on tehty 30 minuutin jaksoina.

Taulukko 16. Kevään 1991 rekisteritunnustutkimukset Järvenpään ja Mäntsälän välillä.

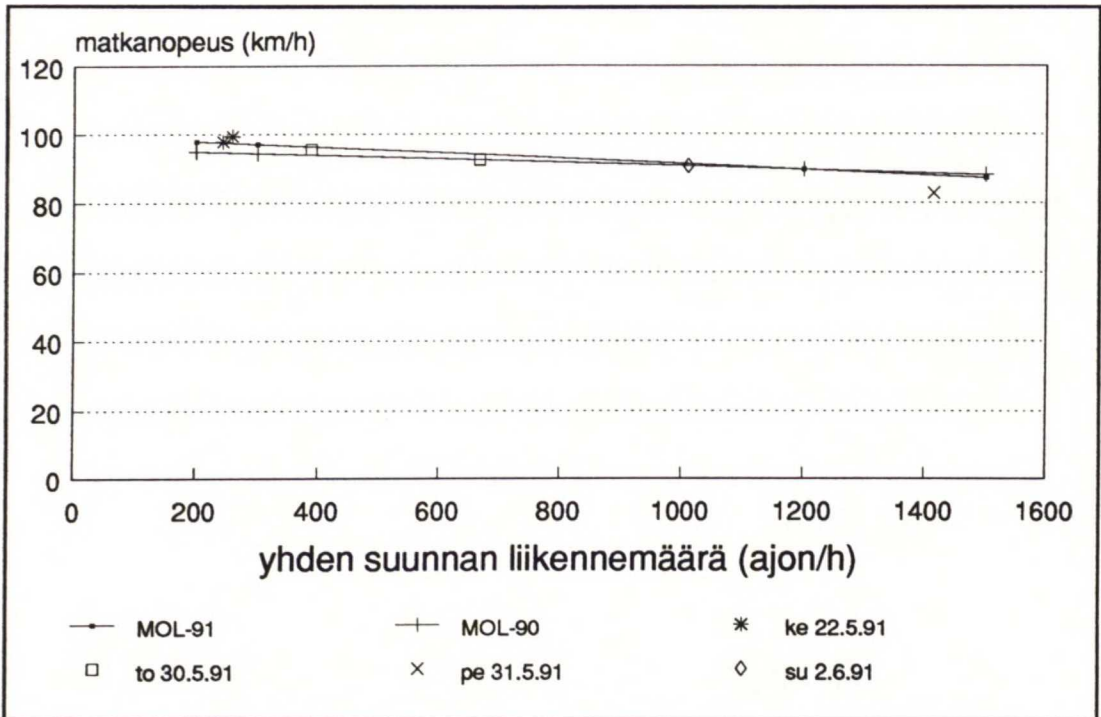
Päivä	Mittaus	Suunta	Kameroi- den etäi- syys (km)	Klo
Ke 22.5.91	arkipäivä	Lahteen	21,74	11-14
Pe 24.5.91	menoruuha	Lahteen	21,74	15-18
Su 26.5.91	paluuruuh- ka	Helsin- kiin	16,19	16.30- 19.30
Ti 28.5.91	arkipäivä	Helsin- kiin	16,19	11-14

Kevään 1991 rekisteritunnustutkimuksen aineistosta voidaan laskea matkanopeudelle seuraava regressiosuora:

$$v = 99,5 - 0,0082 q, \quad (17)$$

$$R^2 = 0,874.$$

Eri vuosien liikennemäärä-matkanopeus -riippuvaisuudet on piirretty kuvaan 35. Kuvasta nähdään, että vuoden 1991 regressiosuoran (MOL-91) kulmakerroin on suurempi kuin vuoden 1990 regressiosuorassa (MOL-90).



Kuva 35. Simuloidut matkanopeudet ja vuosien 1990 ja 1991 vertailusuorat.

5.6 Kalibroinnin yhteenveto

Mallin kalibroinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa tutkitaan yrityksen ja erehdyksen sekä herkkyyksanalyysin avulla yhden muuttujan muutoksen vaikutusta mallin antamiin tuloksiin (Afukaar 1989). TRARR on kalibroitu kahteen kertaan. Ensin muokattiin simulointimalli, jossa ajoneuvot generoitiin TRARRilla. Tämän jälkeen kalibroitiin malli, jossa ajoneuvojen syötössä käytettiin Lahden moottoriliikennetieltä mitattua analysaattoriaineistoa.

TRARRilla generoidut ajoneuvot

Kun ajoneuvot generoitiin TRARRilla, saatiin paras tulos silloin, kun kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli keskimäärin 110 km/h ja raskaiden 90 km/h. Sekä kevyiden että raskaiden ajoneuvojen tavoitenopeuden hajonta oli 10 km/h. Turvallisuusmarginaalin VSFSN (ohitukset, joissa on näkemäesteitä) arvoja vähennettiin 25 % TRARRin alkuperäisistä arvoista.

TRARRin esimerkkietiedostoista korjattiin myös jonokriteerin arvo 5 sekuntiin ja raskaiden ajoneuvojen jaottelussa tarkastettiin linja-autojen osuus. Lopullinen ajoneuvotyyppien jaottelu on esitetty taulukossa 17. Muut lähtötiedot on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 17. Eri ajoneuvotyyppien osuus simuloinnissa.

Raskaat ajoneuvot	(%)	Kevyet ajoneuvot	(%)
1. Erikoiskuljetus	0	11. Auto ja perävaunu	2
2. Suuri rekka	0	12. Agressiiviton henkilöauto	5
3. Pieni rekka	0	13. Auto, jossa on alhainen teho	18
4. Pienitehoinen 38 t rekka	4	14. Tavallinen henkilöauto	16
5. Suuritehoinen 38 t rekka	4	15. Suuri henkilöauto	18
6. Lastaamaton kuorma-auto	4	16. Tavallinen henkilöauto	8
7. Bussi	13	17. Tavallinen henkilöauto	16
8. 4 t kuorma-auto	15	18. Urheiluauto	17
9. 1 t kuorma-auto	20		
10. Pieni kuorma-auto	40		
Yhteensä	100	Yhteensä	100

Nopeusindeksi oli simuloinnissa kaikkialla 1, koska indeksin nostaminen olisi alentanut nopeutta kaarteissa liikaa. Kuitenkin malli näyttää alentavan systemaattisesti nopeutta tietä edettäessä ja samalla jonoprosentti kasvaa. Samaan tulokseen on tultu myös TRARRin kalibroinnissa Hollannissa (Afukaar 1989). Hollannin tutkimuksessa on arveltu, että TRARR saattaisi yliarvioida jonoutumista etäisyyden kasvaessa.

Mitattu liikenne syöttötiedostona

Kun syöttötiedostona käytettiin analysaattoriaineistoa, saatiin paras simulointituloks, kun kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli keskimäärin 104 km/h ja hajonta 15 km/h. Raskaiden ajoneuvojen vastaavat lähtöarvot olivat 86 km/h ja 12 km/h. Nyt parametrin VSFSN arvot puolitettiin alkuperäisistä arvoista. Muut lähtötiedot olivat samoja kuin edellisessä kalibroinnissa.

6 OHITUSKAISTAN PITUUDEN OPTIMOINTI

6.1 Taustaa

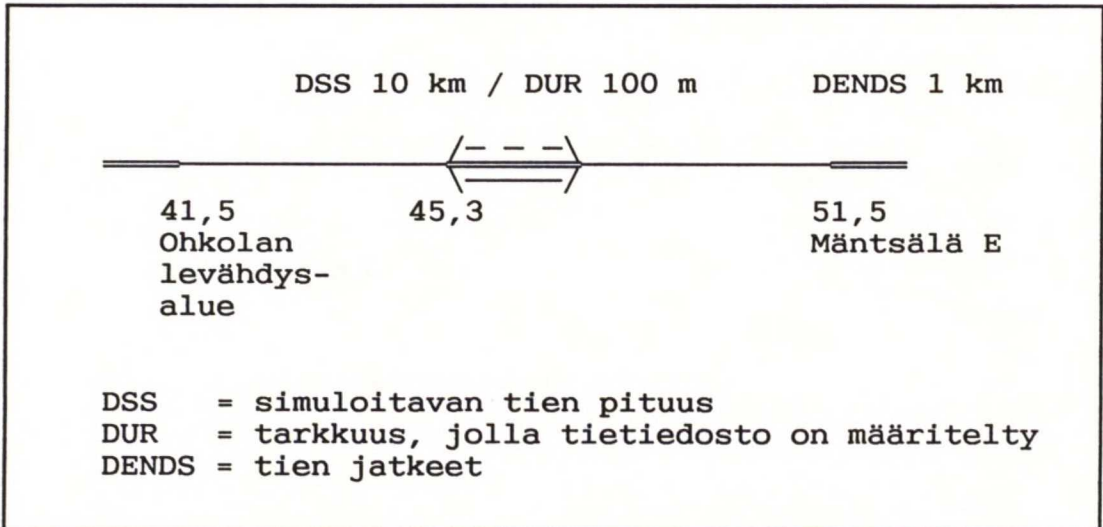
Kolmikaistaisen tien liikenneteknistä mitoitususta selvitetiin simuloimalla yksittäisen ohituskaistan vaikutusta liikenteeseen ja etsimällä sille optimipituus. Optimilla tarkoitetaan tässä yhteydessä pituutta, jonka ylittämisen jälkeen vaikutukset liikennevirtaan ohituskaistan ajosuunnassa ovat suhteellisen vähäiset ja vastakkaiseen ajosuuntaan olosuhteet eivät huonone olennaisesti.

Ensin tutkittiin tapaus, jossa oli yksi ohituskaista joko pääsuunnassa tai sitä vastaan. Toisessa tapauksessa simuloitiin samanaikaisesti yksi ohituskaista molempiin ajosuuntiin.

6.2 Yksi ohituskaista

Simuloitava ohituskaista sijoitettiin Ohkolan levähdysalueen ja Mäntsälä E:n liittymien puoliväliin (kuva 36, liite 5). Simuloitavalla tiellä oli ohituskiellot liittymissä ja ohituskaistan kohdalla vastakkaiselle ajosuunnalle. Piste-tietoja kerättiin simuloitavalta tieltä 500 metrin välein. Tiellä oli myös yksi 4 km:n pituinen havaintoväli ohituskaistan kohdalla.

Syötettävänä liikenteenä käytettiin kevään 1991 moottoriliikennetien analysaattorimittauksesta saatua aineistoa, jonka kalibrointi on esitetty edellisissä kappaleissa. Käytetyn mittausaineiston ominaisuuksia on esitetty taulukoissa 18 ja 19. Lähtötiedostoissa on mukana myös juhannusliikenne. Juhannuksen tulokset poikkeavat muista päivistä ainakin ruuhkan vastakkaisessa suunnassa, koska suuntajakauma poikkeaa huomattavasti muista päivistä.



Kuva 36. Yhden ohituskaistan simulointijärjestelyt.

Lähemmän tarkastelun kohteeksi valittiin ajosuunta Lahteen, koska eri ajosuuntien liikenteet olivat eri luonteisia eikä tämän haluttu vaikuttavan tulosten vertailukelpoisuuteen. Ajosuunnassa Helsinkiin mm. jonoprosentit olivat suurempia, raskaiden ajoneuvojen osuudet pienempiä ja havaitut liikennemäärät ruuhka-aikoina alhaisempia kuin ajosuunnassa Lahteen.

Taulukko 18. Simuloinnin lähtötiedostoina käytetyt analysaattoriaineistot.

Päivä	Mittaus	Piste n:o	Sijaintipaalu	Mittauksen aloitus-aika
Ke 22.5.91	Arkipäivä	P16	43,25	10.41
To 23.5.91	Arkipäivä	P16	43,25	10.45
To 30.5.91	Arki-ilta	P03	33,37	14.30
Pe 31.5.91	Menoruuhka	P16	43,25	14.35
Pe 7.6.91	Menoruuhka	P16	43,25	14.58
To 20.6.91	Juhannusruuhka	P16	43,25	13.09

Taulukko 19. Simuloidut liikennemäärät ja raskaiden ajoneuvojen osuudet.

Päivä	Simuloidut liikennemäärät (ajon/h)			Raskaiden osuus (%)
	Ajosuunta Lahteen	Ajosuunta Helsinkiin	Yhteensä	
Ke 22.5.91	259	244	503	15,9
To 23.5.91	288	271	559	13,8
To 30.5.91	667	388	1055	7,2
Pe 31.5.91	1453	505	1958	3,9
Pe 7.6.91	1544	507	2051	4,1
To 20.6.91	1380	280	1660	4,5

Ohituskaistan pituutta ja sijaintia ajosuuntaan nähden muutettiin eri simuloitukierroksilla. Eri vaihtoehdot on esitetty taulukossa 20. Käytetty simulointiaika oli 3600 sekuntia ja stabiloitumisaika 900 sekuntia. Yhteensä tehtiin 54 ajoa.

Taulukko 20. Tutkitut ohituskaista-
vaihtoehdot.

Ei ohituskaistoja:
1. MOL-tie (0 km)
Ohituskaista ajosuunnassa Lah- teen:
2. 1 km
3. 1,5 km
4. 2 km
5. 2,5 km
Ohituskaista ajosuunnassa Helsin- kiin:
6. 1 km
7. 1,5 km
8. 2 km

Eräissä erityistarkasteluissa on tutkittu myös 0,5 ja 3,0 km:n pituisia ohituskaistoja.

Kuviin 37 - 40 on piirretty matkanopeuden muutokset liikennemäärän funktiona, kun ohituskaistan pituutta ja sijaintia ajosuuntaan nähden on muutettu. Kuvassa 37 on esitetty tapaukset, joissa liikenteen pääsuunta on ylhäällä ohituskaistan suunnassa ja alhaalla pääsuunta on ohituskaistaa vastaan. Kuvassa 38 on esitetty ruuhkan vastainen liikenne ensin ohituskaistaa vastaan ja sitten ohituskaistan suunnassa. Kuvassa 39 on esitetty ajosuunnat yhteensä, pääsuunta on ensin ohituskaistan suunnassa ja sitten ohituskaistaa vastaan. Kuvaan 40 on piirretty keskiarvot kuvan 39 tapauksista, koska ajosuuntaan Helsinkiin ei ole simuloitu suuria liikennemääriä.

Kuvista 37 - 40 nähdään, että suurin ero matkanopeuksissa näyttää muodostuvan nollavaihtoehdon ja 1 km:n ohituskaistavaihtoehdon välille, kun ajetaan ohituskaistan suuntaan. Kuvassa 38 liikennemäärällä 280 ajon/h saadaan alhaisia arvoja matkanopeudelle. Syynä tähän on, että kyseinen mittaus on juhannuksen menoruuhkaa vastaan ja tällöin ajosuunnassa Helsinkiin liikennemäärä oli vain 17 % koko tien liikennemäärästä.

Kuvissa 41 - 44 on esitetty ohitustiheyden muutokset liikennemäärän funktiona, kun ohituskaistan pituutta ja sijaintia ajosuuntaan nähden on muutettu. Kuvista nähdään, että ohituskaistan pituus vaikuttaa ohitustiheyteen etenkin suurilla liikennemäärillä. Tarkasteltaessa ohitusten lukumääriä ohituskaistakilometriä kohden nähdään, että pienillä liikennemäärillä on alle 1 km:n ohituskaista tehokkaimmassa käytössä ja suurilla liikennemäärillä ovat pitkät ohituskaistat tehokkaimmassa käytössä (kuva 44).

Kuvissa 45 - 48 on tarkasteltu viivytysprosentin muutoksia eri ohituskaistavaihtoehdoilla. Kuvista nähdään, että ohituskaistan suunnassa eroa on lähinnä siinä, onko tiellä ohituskaistaa vai ei. Ohituskaistan pituudella ei näytä olevan merkittävää vaikutusta viivytysprosenttiin eikä tien palve-

lutasoon. Ainoastaan torstain 23.5.91 päiväliikenteellä simuloitaessa viivytysprosentin perusteella arvioitu palvelutaso nousee "C:stä" "B:hen", kun tielle lisätään ohituskaista. Ajosuunnassa ohituskaistaa vastaan ovat viivytysprosentit lähes yhtä suuria eri ohituskaistan pituuksilla.

Kuviin 49 - 51 on piirretty matka-aika ohituskaistan pituuden funktiona. Ohituskaistan pituudet vaihtelivat nyt 1000 metristä 3000 metriin. Matka-aika on laskettu 4 km:n matkalta keskiviikon 22.5.91 ja perjantain 7.6.91 aineistoilla. Keskiviikkona koko tien liikennemäärä oli 503 ajon/h ja perjantaina 2051 ajon/h. Keskiviikkona 51 % ajoneuvoista ajoi Lahteen ja 49 % Helsinkiin. Perjantaina Lahteen ajoi 75 % ja Helsinkiin 25 % ajoneuvoista.

Matka-aika -kuvista nähdään, että arkiliikenteellä matka-ajan minimi saavutettiin 1,5 km:n ohituskaistalla ja perjantairuuhkalla 2 km:n ohituskaistalla. Erot matka-ajoissa eri ohituskaistapituuksien välillä eivät kuitenkaan ole suuria arkiliikenteessä. Ruuhkaliikenteessä pääsuunnan matka-aika pienenee, kun ohituskaista on ruuhkasuunnassa ja sen pituutta lisätään. Samassa tapauksessa ruuhkan vastaisen suunnan liikenteen matka-aika ei kuitenkaan nouse. Kun ruuhkaliikenne on ohituskaistaa vastaan, kasvaa matka-aika selvästi.

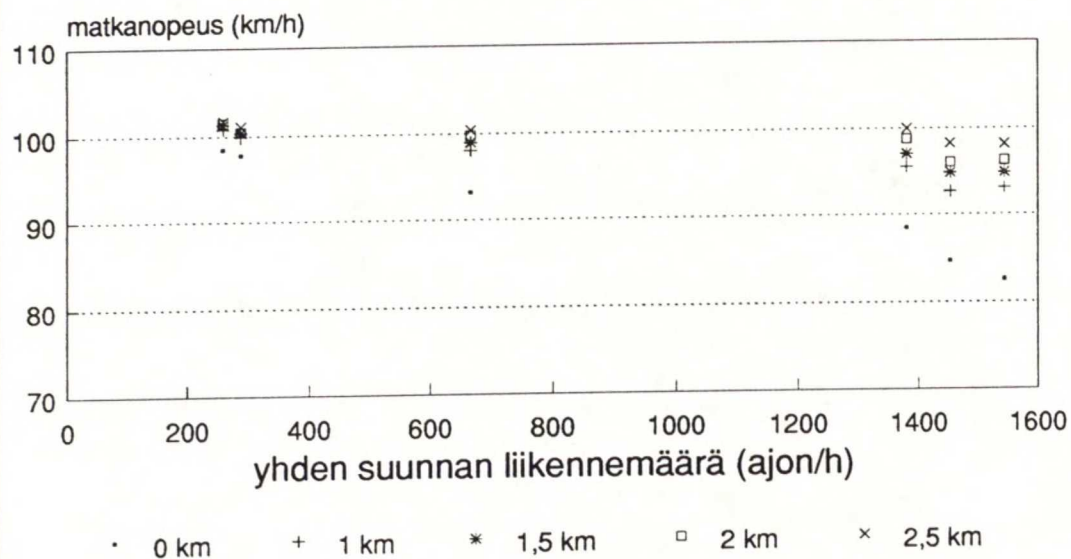
Kuvissa 52 - 59 on tarkasteltu ohituskaistojen vaikutusalueiden pituuksia jonoprocentin avulla. Kuvista nähdään, että ajettaessa ohituskaistan suuntaan, simuloitu jonoprocentti jää ohituskaistan loputtua alemmalle tasolle kuin nollavaihtoehdossa (0 km). Ruuhkaliikenteessä jonoprocentti ei muutu selvästi eri ohituskaistavaihtoehtoilla, kun ajetaan ohituskaistaa vastaan.

Kuvia tarkasteltaessa näyttää, että jo 1 km:n ohituskaista nostaa matkanopeutta ja ohitustiheyttä sekä pienentää viivytysprosenttia. Tarkasteltu tapaus on kuitenkin epätodellinen siten, että todellisuudessa ohituskaistatiellä ohituskielto-

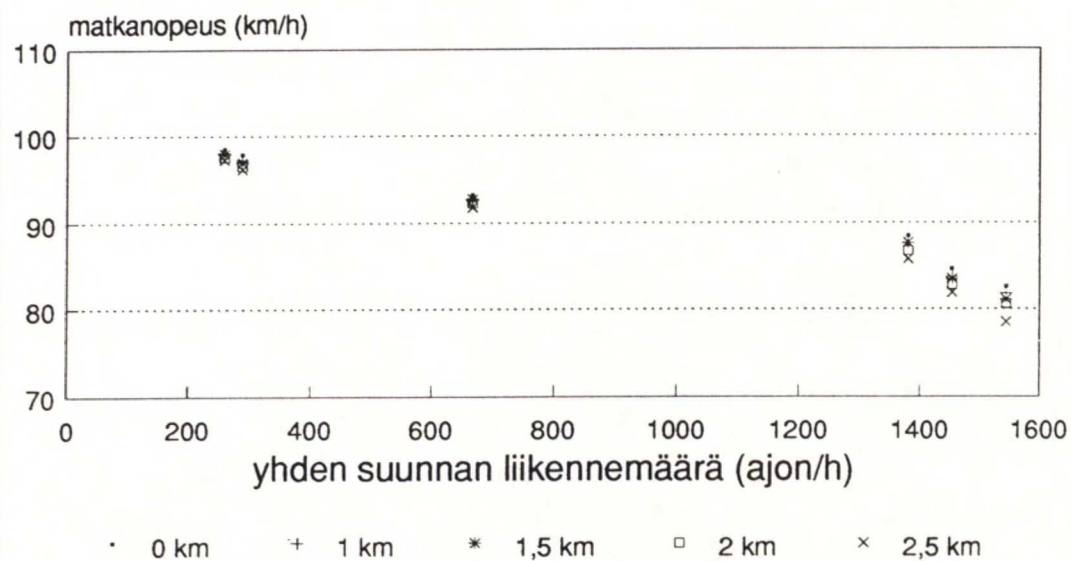
alueet voivat olla pidempiä kuin tässä simuloinnissa. Esimerkiksi Ohkolan levähdysalueen kohdalla on 3650 metrin ohituskieltoalue ajosuunnassa Lahteen ja 3450 metrin ohituskieltoalue ajosuunnassa Helsinkiin.

Myös ohituskaistojen perättäinen ryhmittely saattaa vaikuttaa tuloksiin. Hoban ja Morrall (1986) ja Hoban (1987) ovat tutkineet, että tie, jossa on monta lyhyttä (alle 1 km) ohituskaistaa, on tehokkaammassa käytössä ja hyöty-kustannussuhteeltaan parempi kuin tie, jossa on yksi pitkä ohituskaista.

Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Lahteen

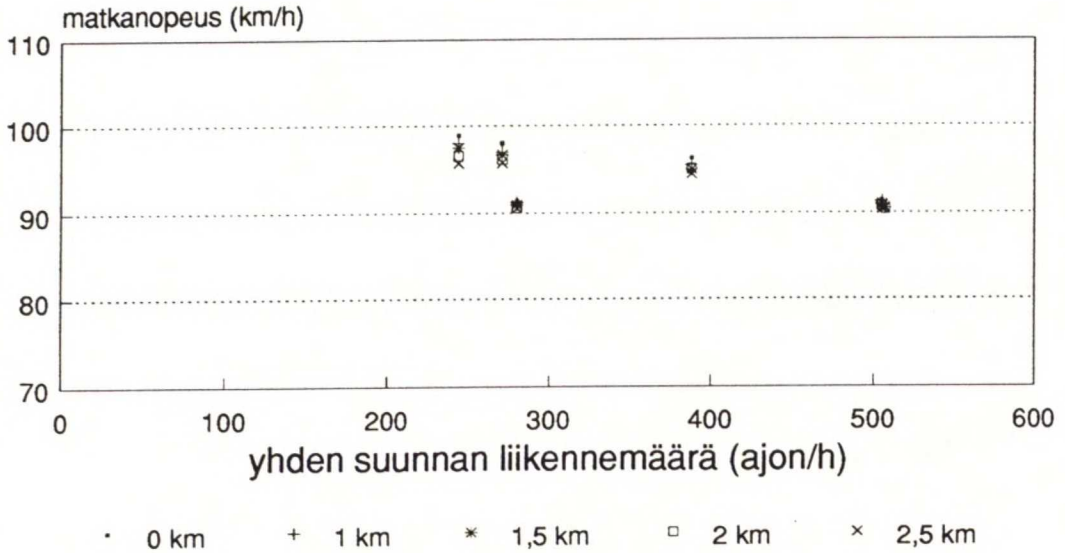


Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Helsinkiin

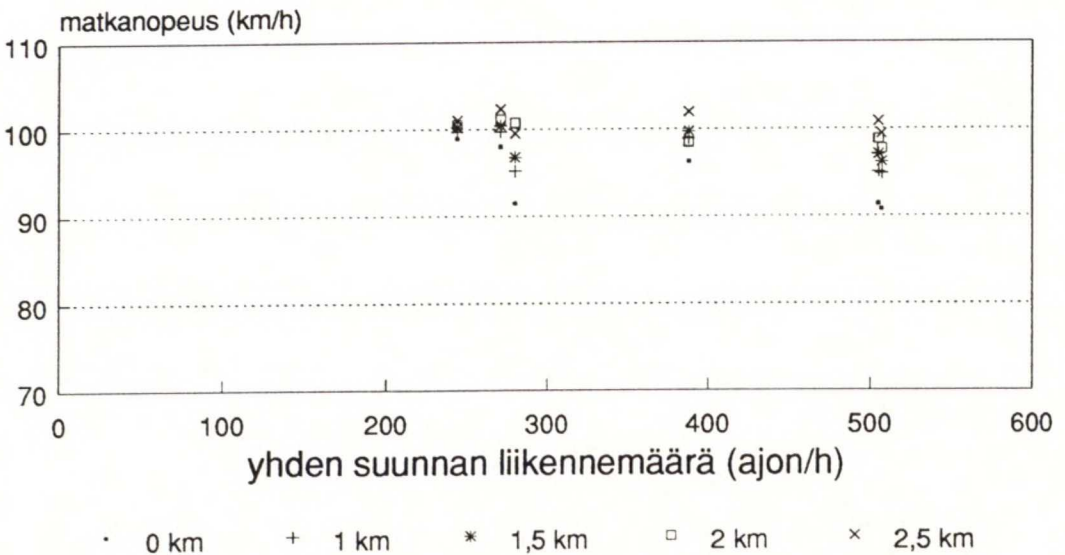


Kuva 37. Matkanopeudet ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Lahteen

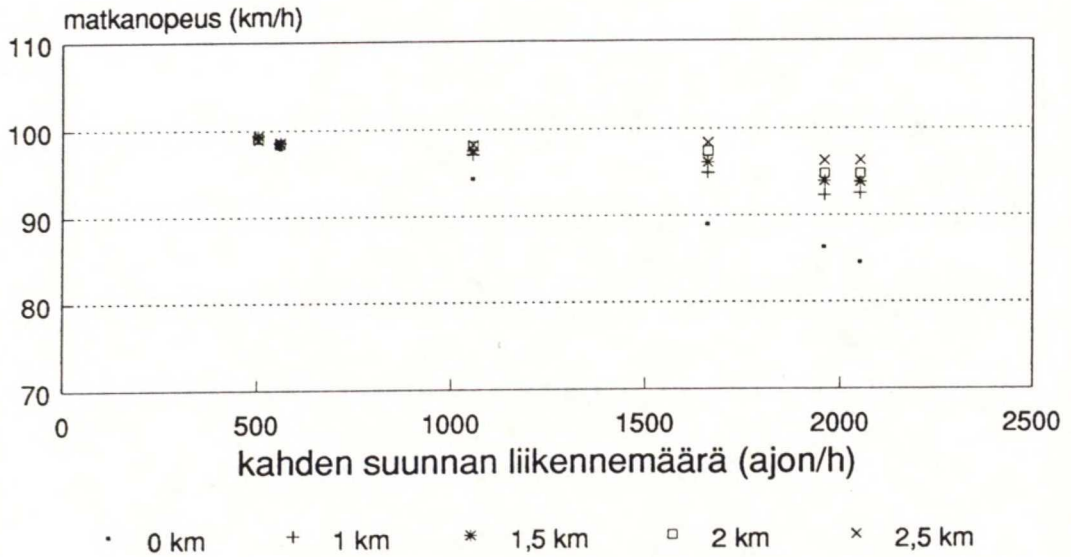


Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Helsinkiin

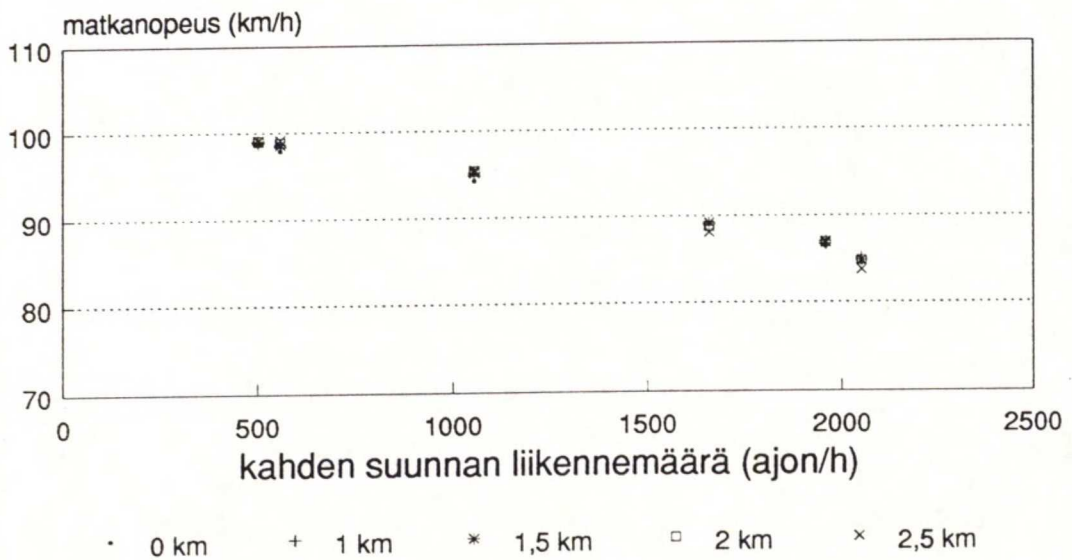


Kuva 38. Matkanopeudet ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

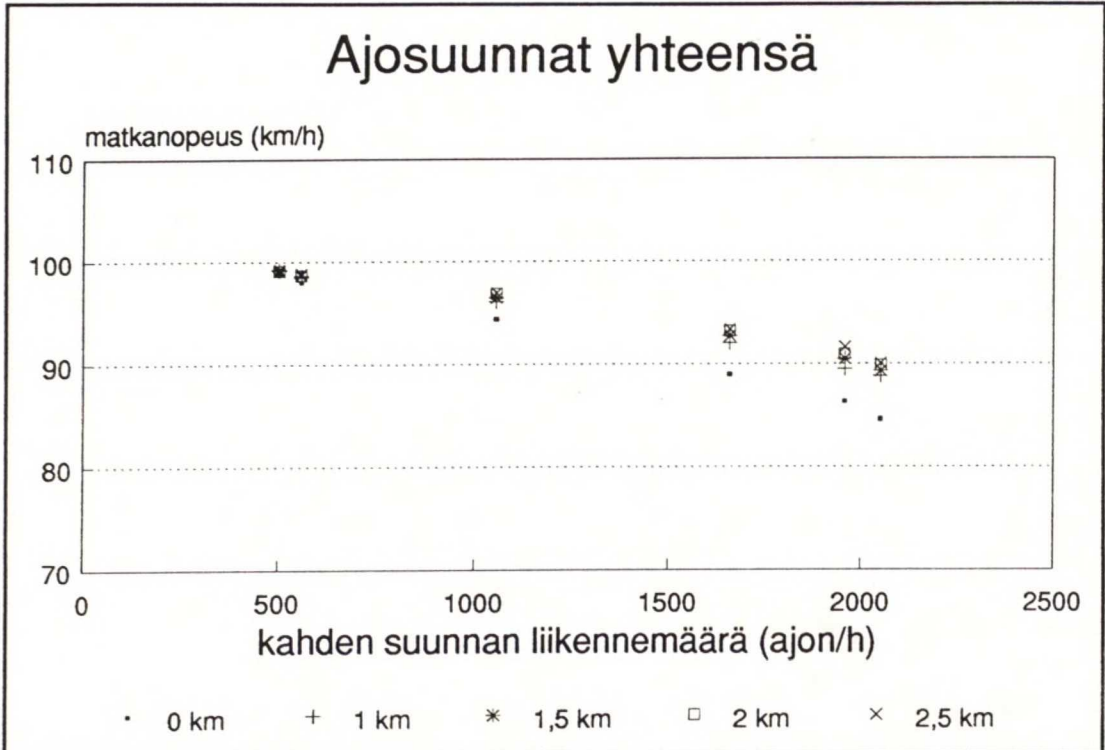
Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Lahteen



Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Helsinkiin

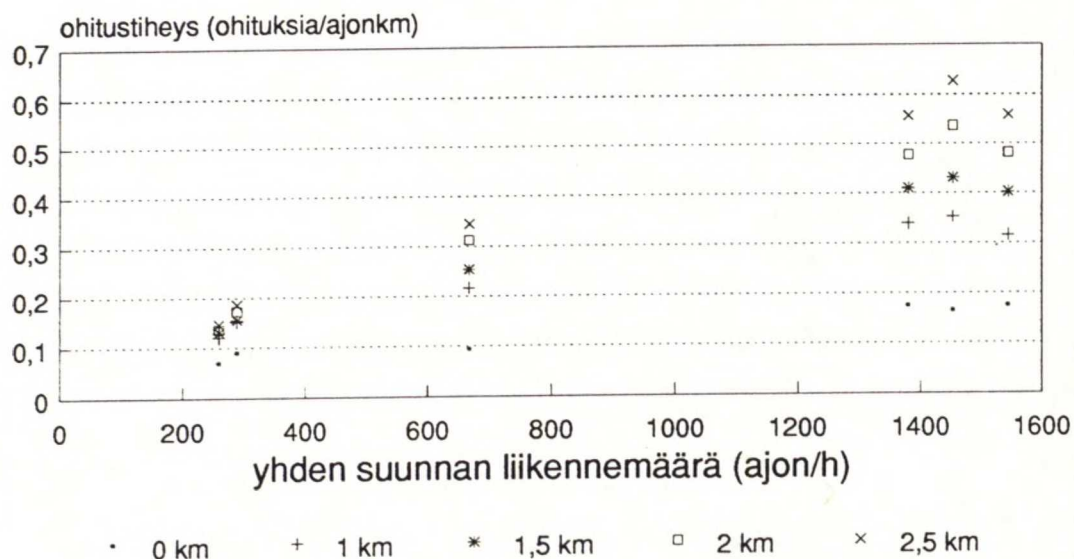


Kuva 39. Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.



Kuva 40. Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.

Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Lahteen

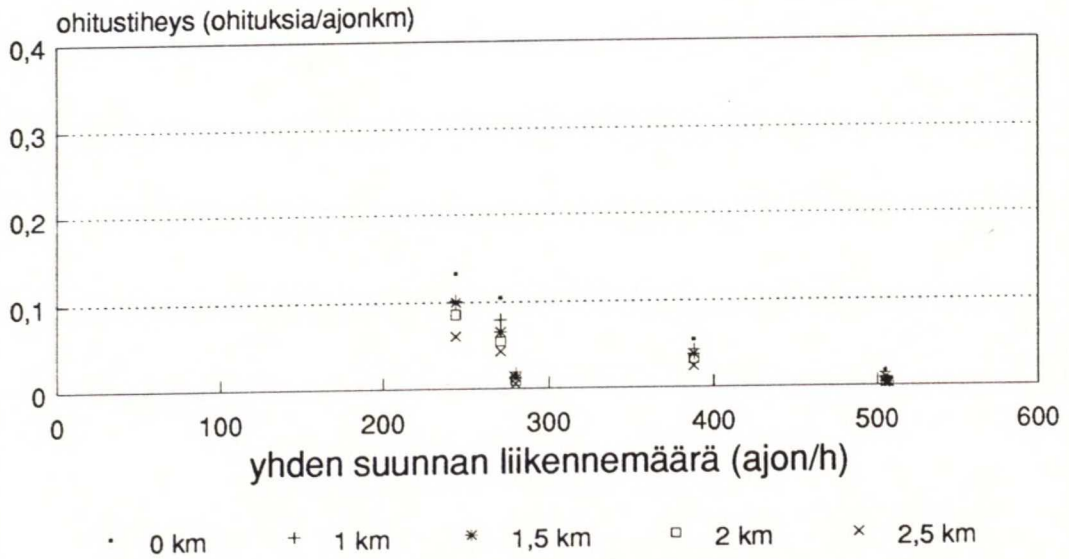


Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Helsinkiin

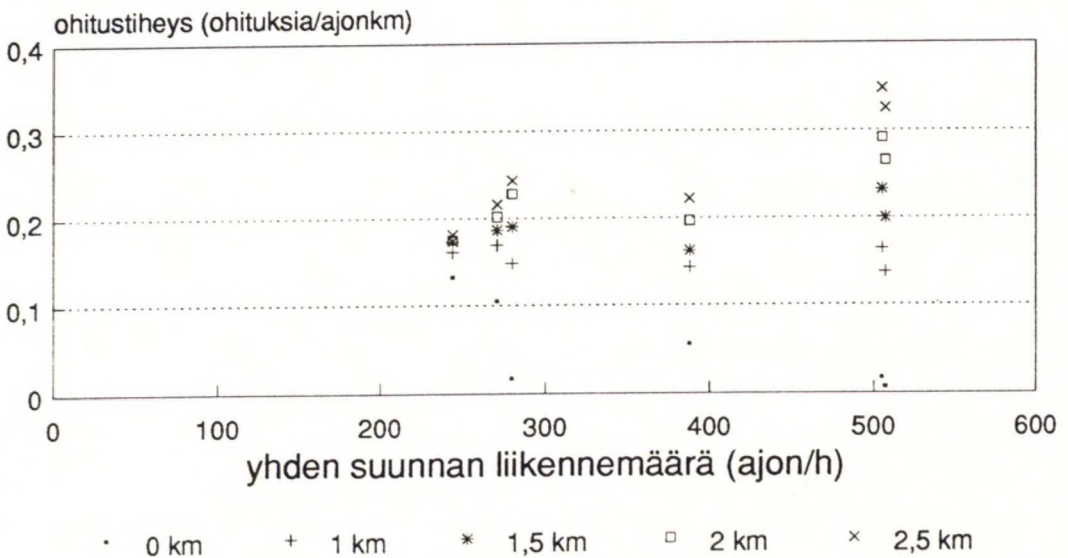


Kuva 41. Ohitustiheydet ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Lahteen

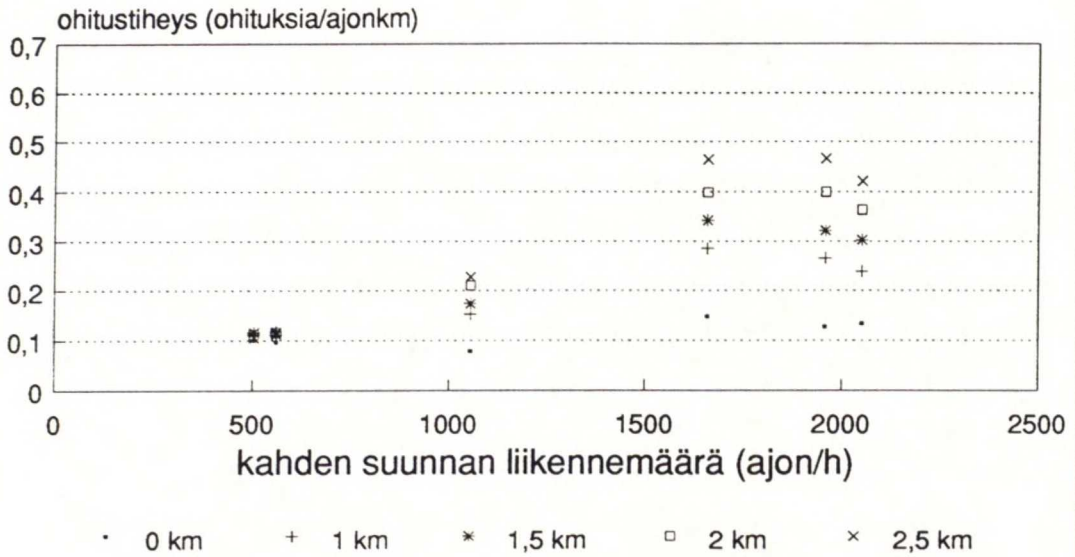


Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Helsinkiin

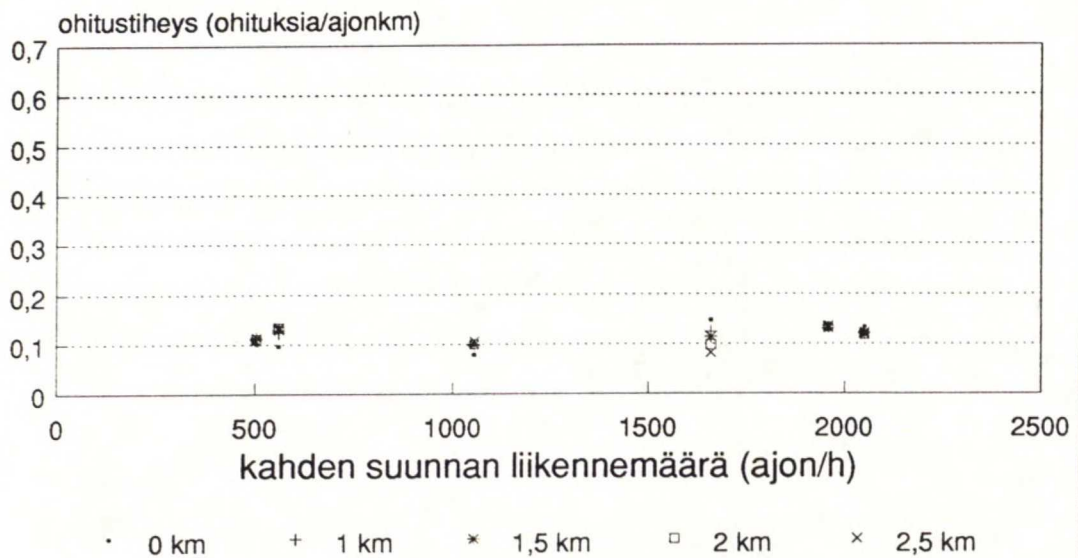


Kuva 42. Ohitustiheydet ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

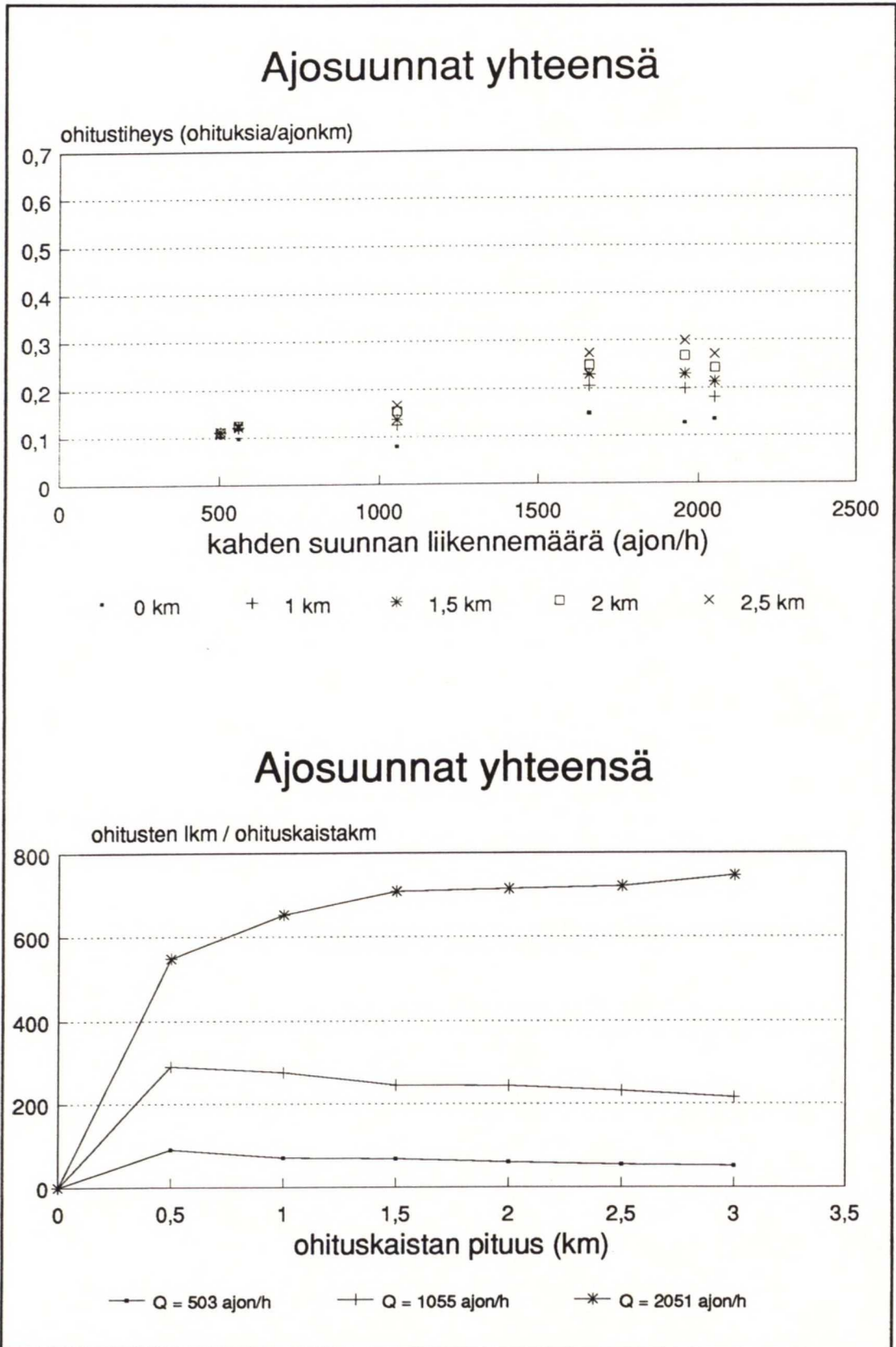
Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Lahteen



Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Helsinkiin

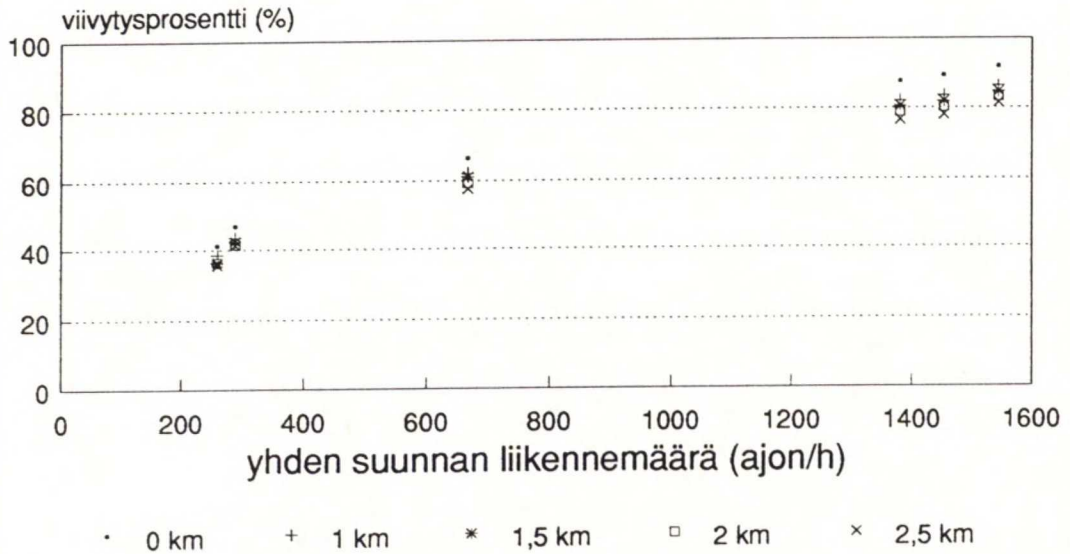


Kuva 43. Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

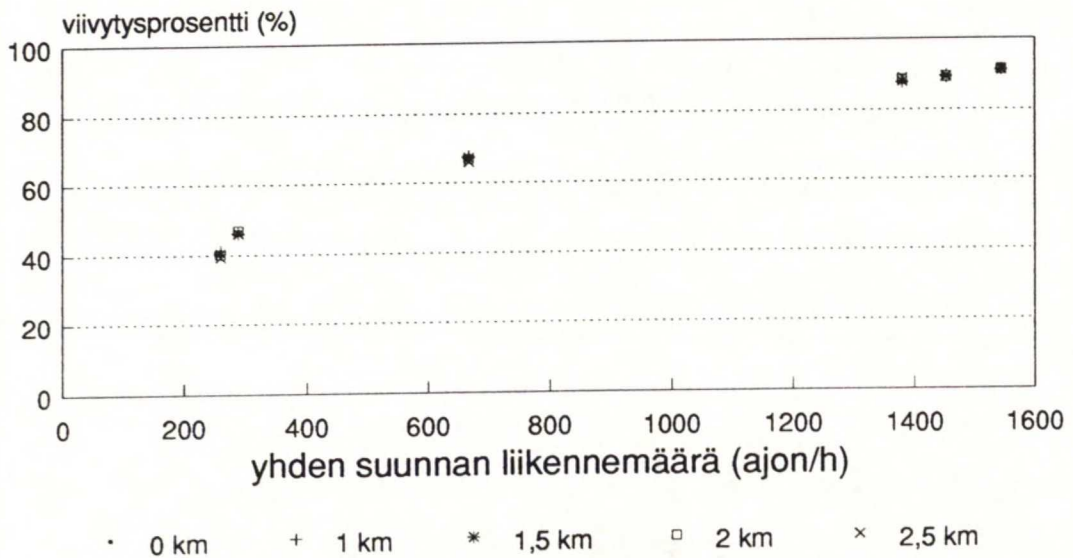


Kuva 44. Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä sekä ohitusten lukumäärät ohituskaistakilometrillä.

Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Lahteen

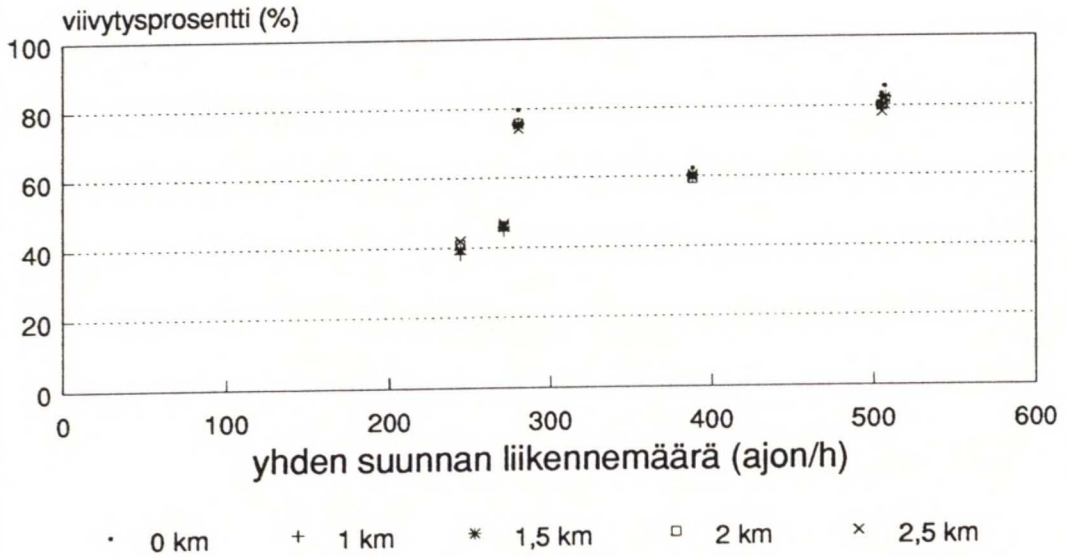


Ajosuunta Lahteen Yksi ohituskaista Helsinkiin

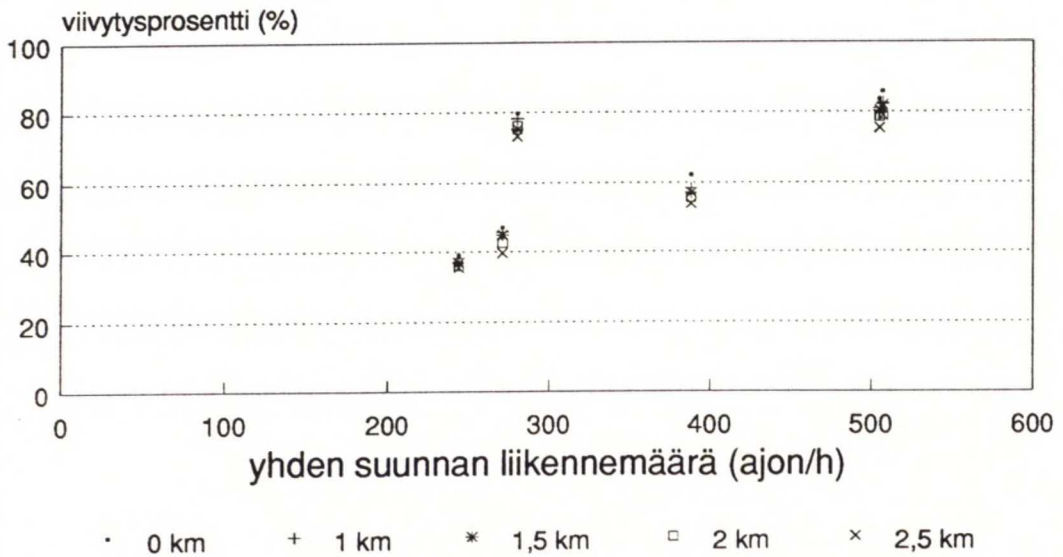


Kuva 45. Viivytysprosentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Lahteen

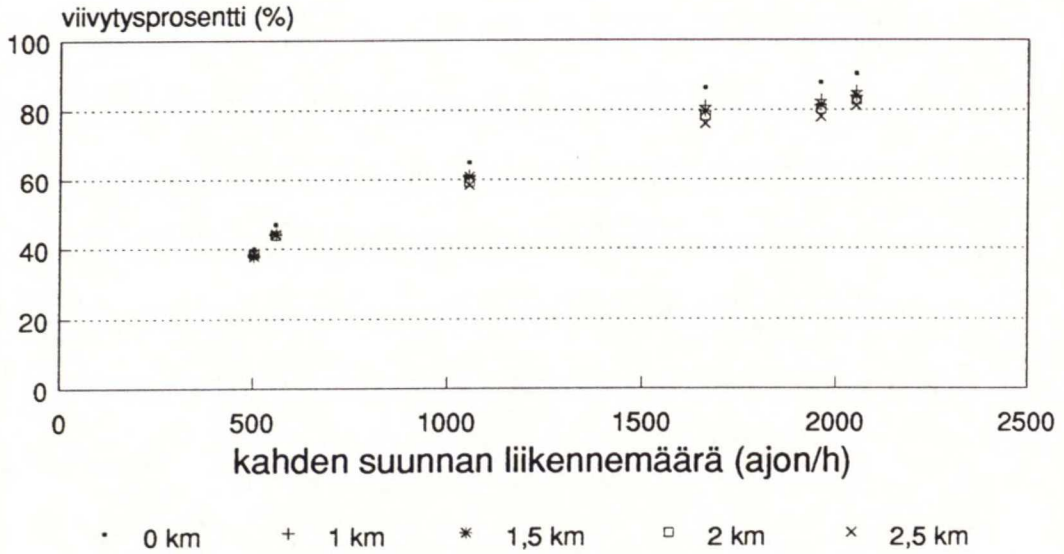


Ajosuunta Helsinkiin Yksi ohituskaista Helsinkiin

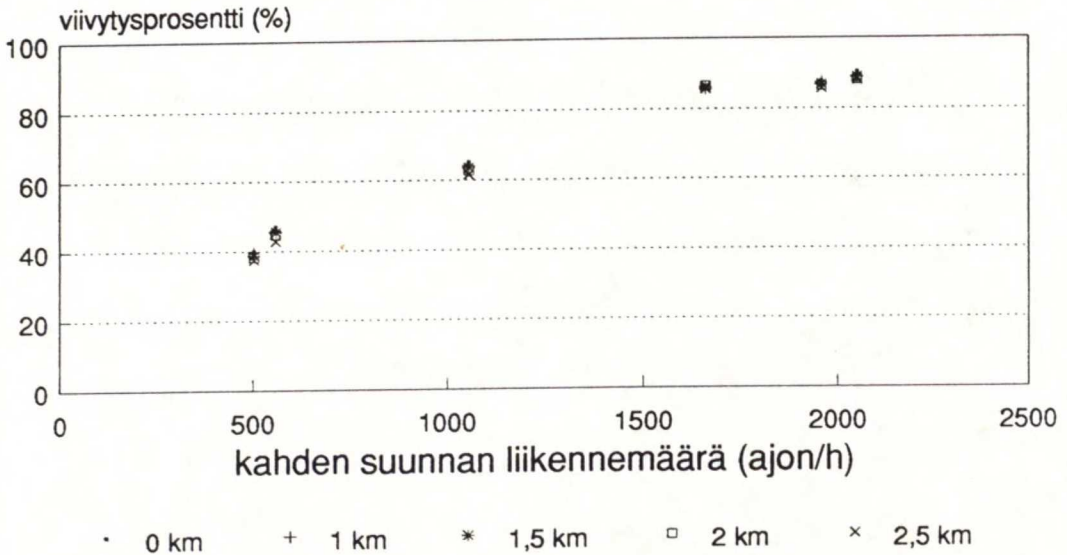


Kuva 46. Viivytysprosentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

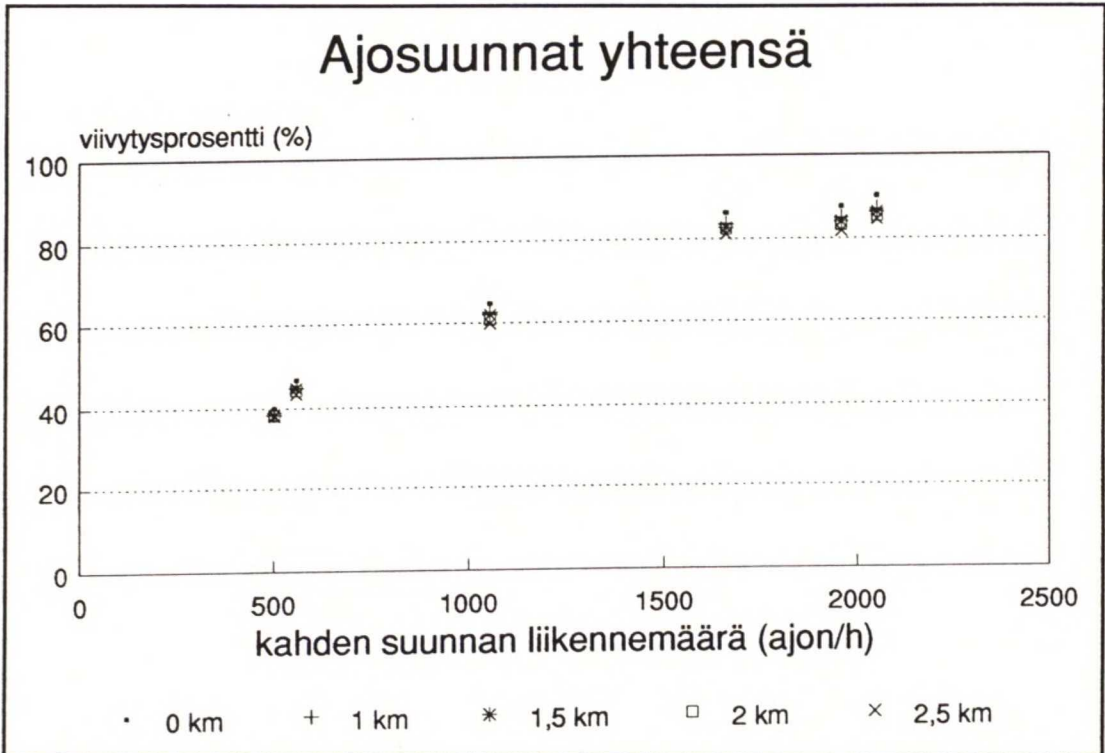
Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Lahteen



Ajosuunnat yhteensä Yksi ohituskaista Helsinkiin

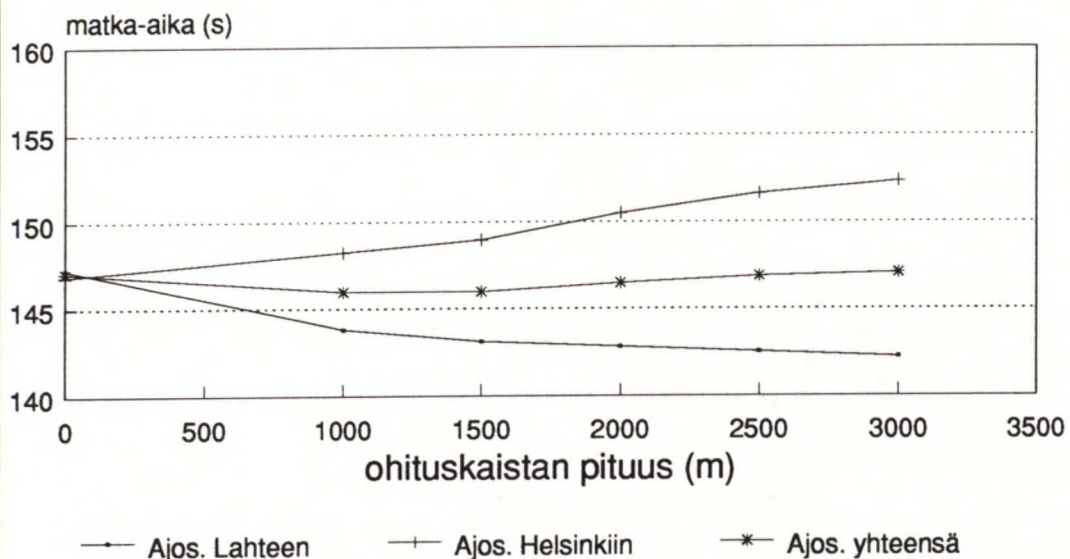


Kuva 47. Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

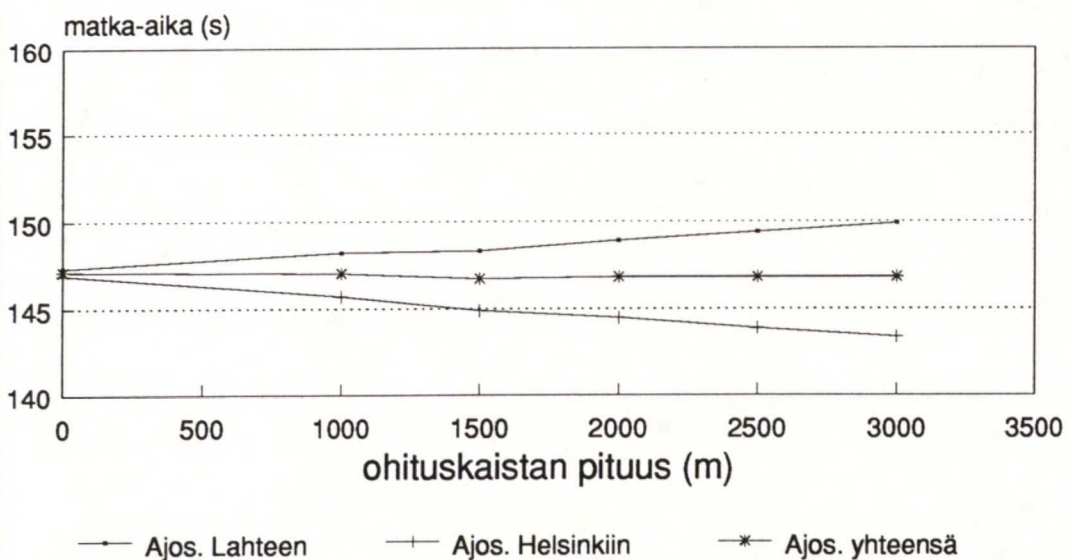


Kuva 48. Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin ja ohi-
tuskaidan suuntiin yhteensä.

Ohituskaista Lahteen Ke 22.5.91 (51/49)

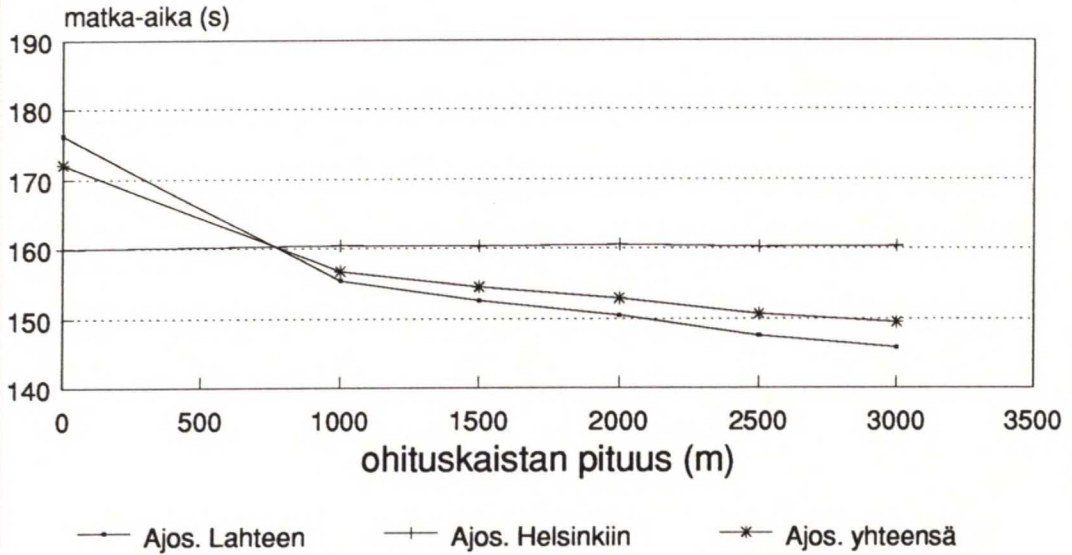


Ohituskaista Helsinkiin Ke 22.5.91 (51/49)

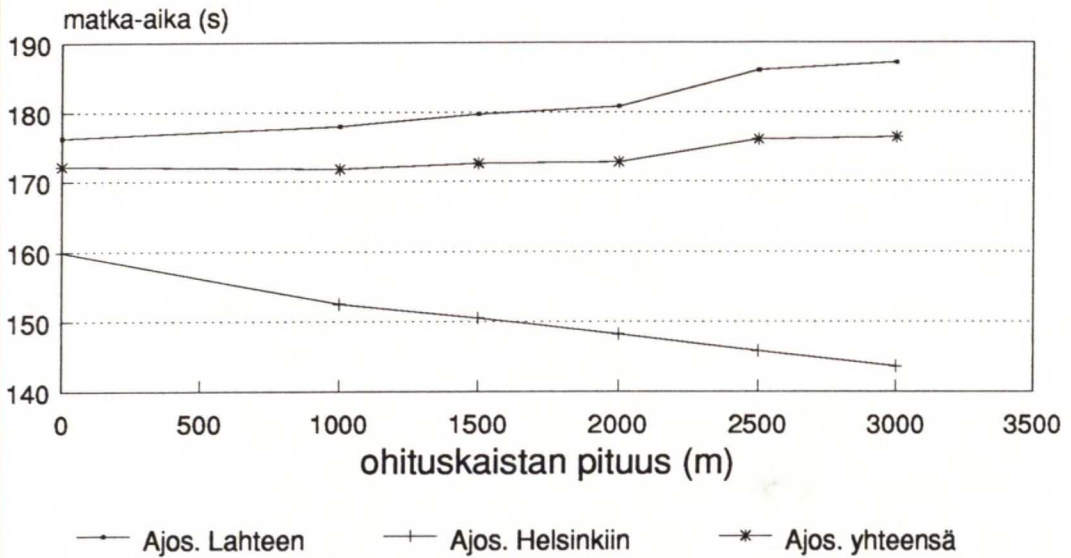


Kuva 49. Keskiiviikon 22.5.91 aineistolla simuloidut matka-ajat eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ohituskaista Lahteen Pe 7.6.91 (75/25)

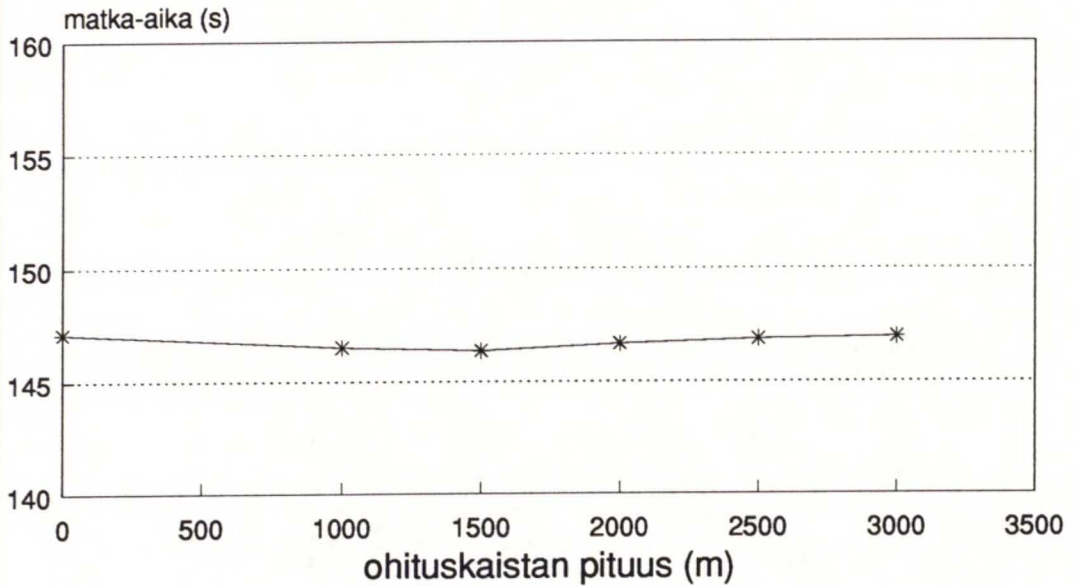


Ohituskaista Helsinkiin Pe 7.6.91 (75/25)

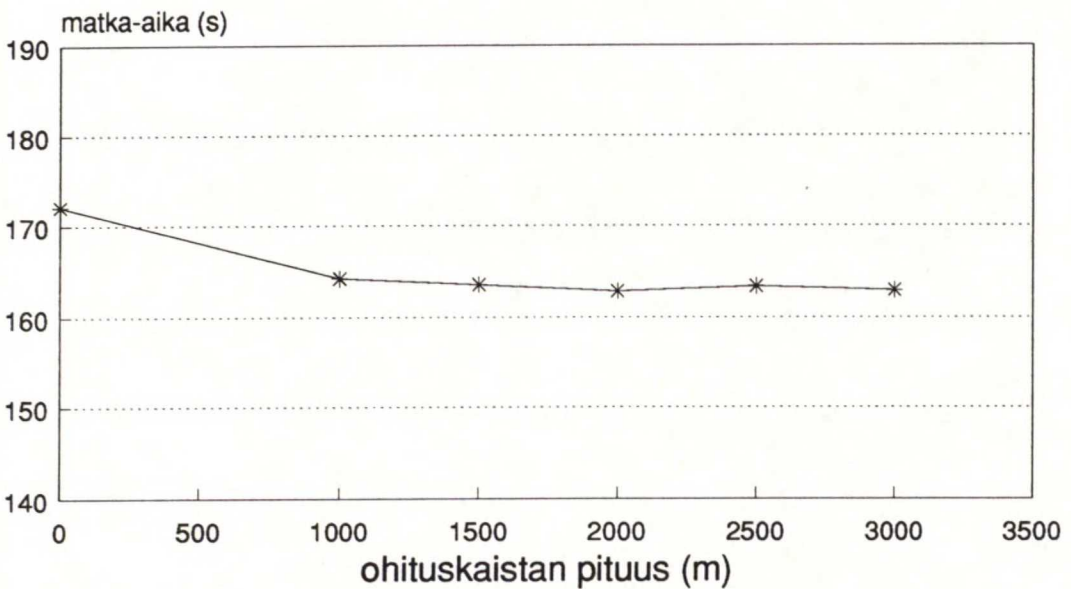


Kuva 50. Perjantain 7.6.91 aineistolla simuloitunut matka-ajat eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ajosuunnat yhteensä Ke 22.5.91 (51/49)

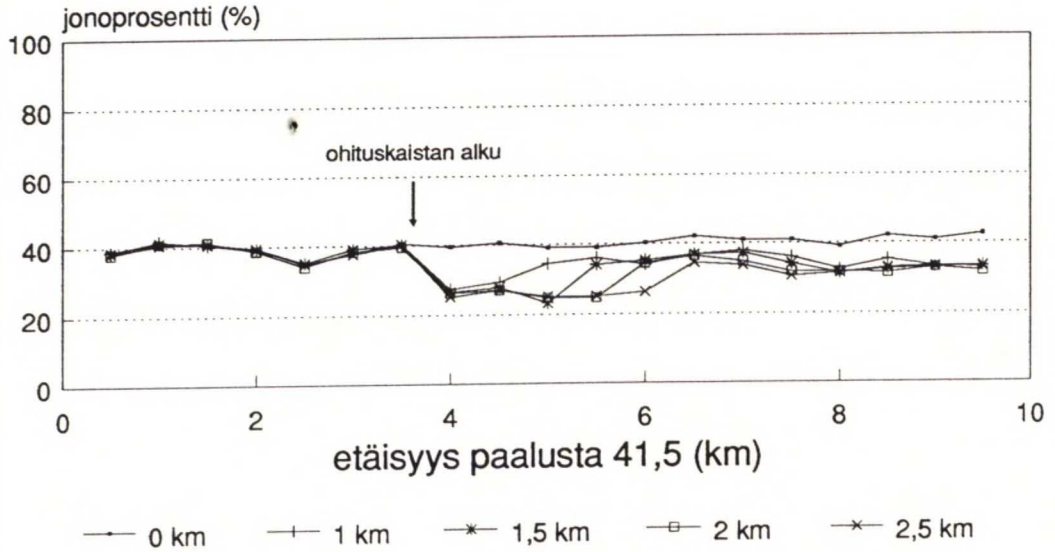


Ajosuunnat yhteensä Pe 7.6.91 (75/25)

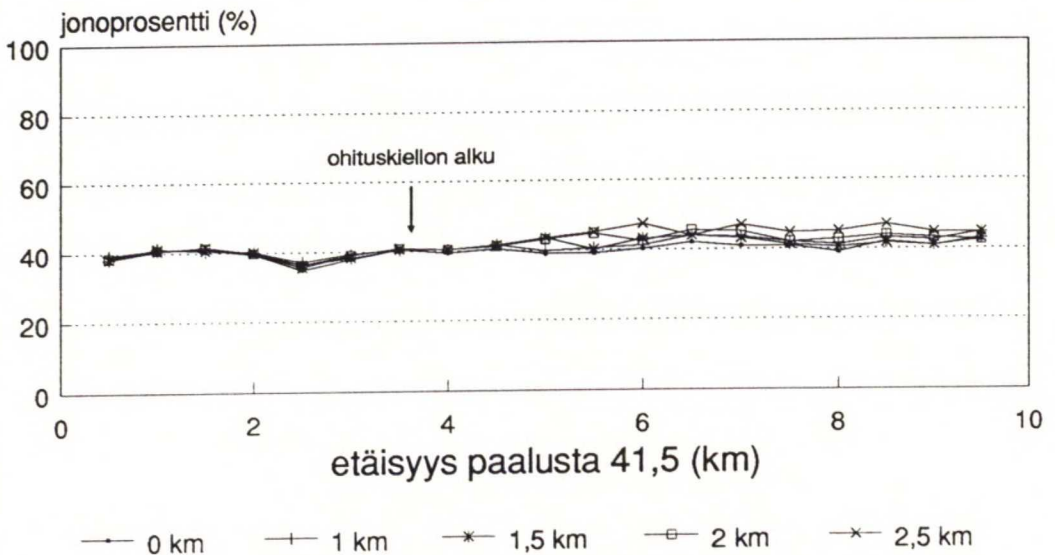


Kuva 51. Simuloidut matka-ajat molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä sekä päivä- että ruuhkaliikenteellä.

Ajosuunta Lahteen, ohituskaista Lahteen Ke 22.5.91

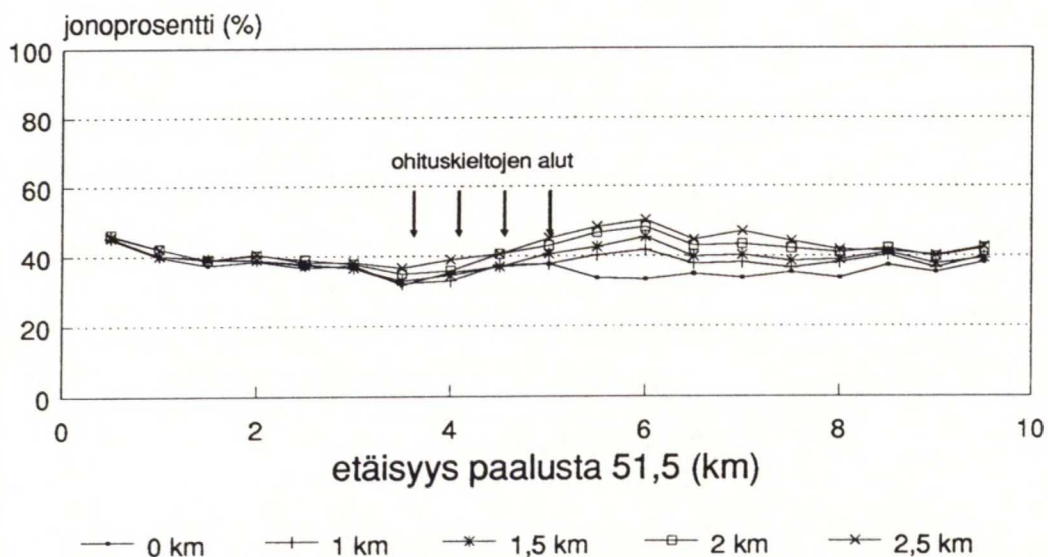


Ajosuunta Lahteen, ohituskaista H:kiin Ke 22.5.91

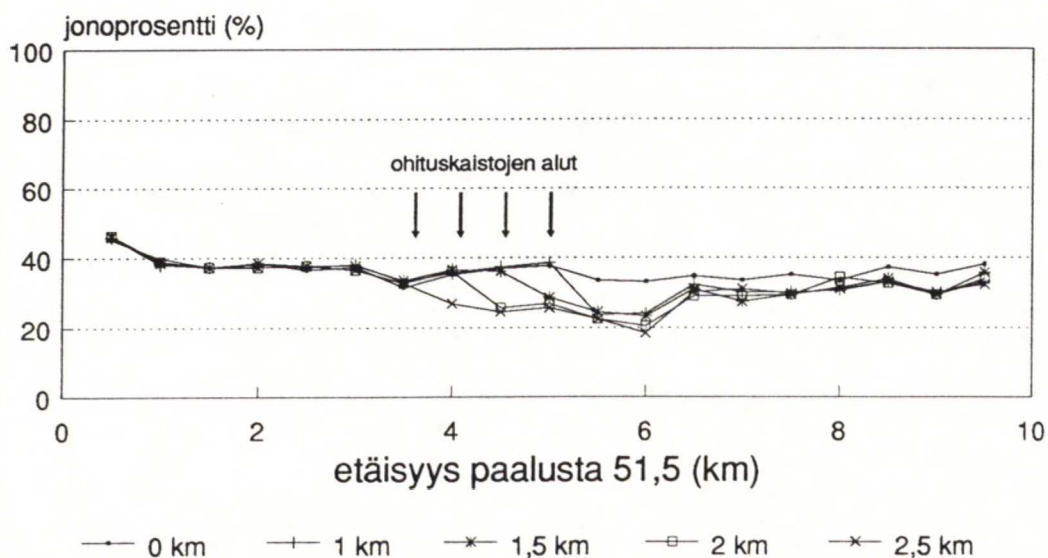


Kuva 52. Päiväliikenteen jonoprocentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehtoilla.

Ajosuunta H:kiin, ohituskaista Lahteen Ke 22.5.91

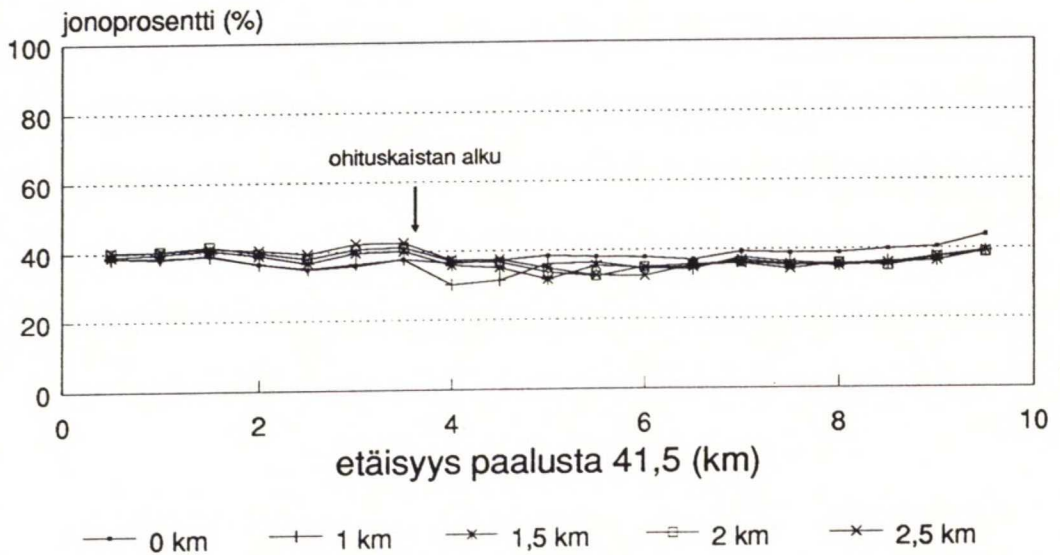


Ajosuunta H:kiin, ohituskaista H:kiin Ke 22.5.91

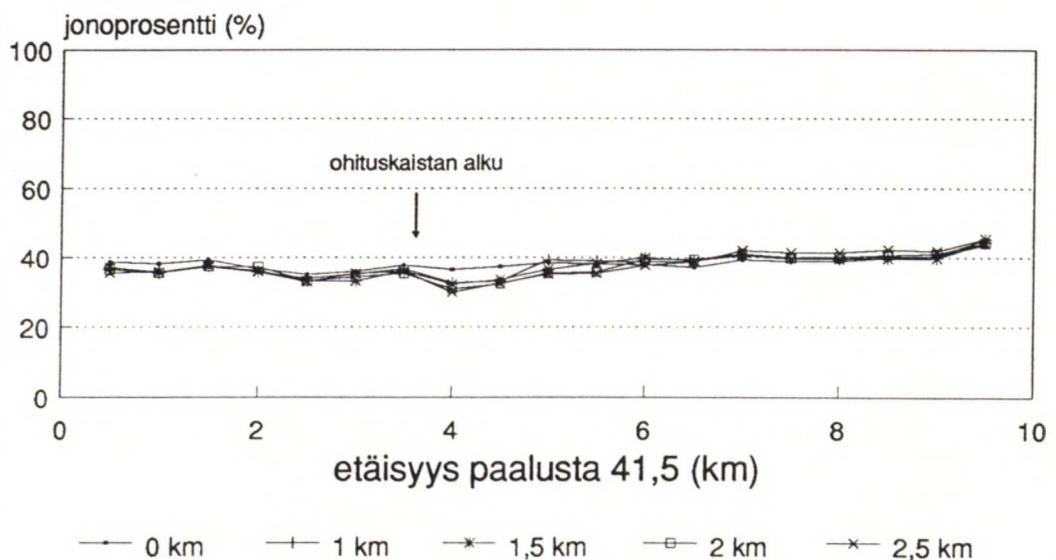


Kuva 53. Päiväliikenteen jonoprosentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

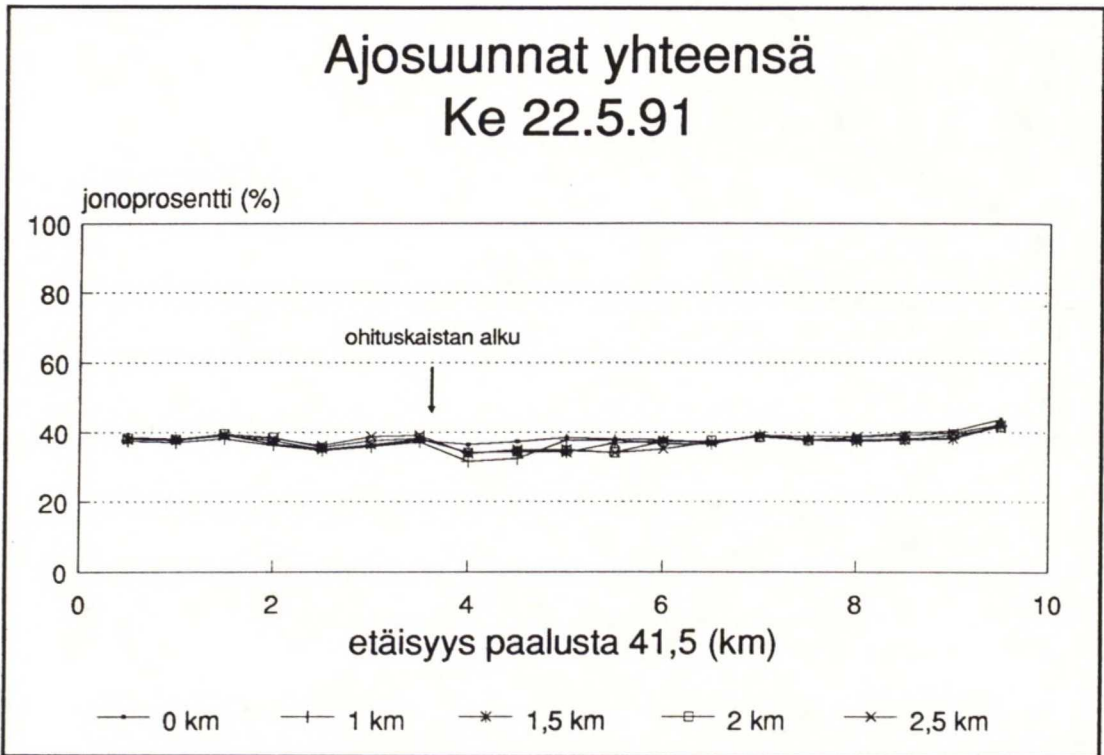
Ajosuunnat yhteensä, ohitusk. Lahteen Ke 22.5.91



Ajosuunnat yhteensä, ohitusk. Helsinkiin Ke 22.5.91

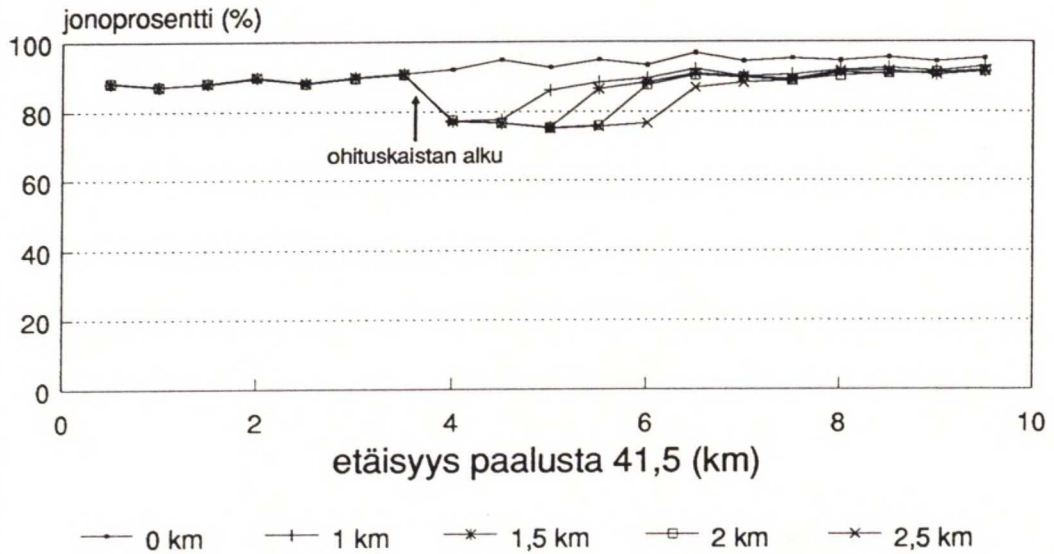


Kuva 54. Päiväliikenteen jonoprocentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaidavaihtoehdoilla.

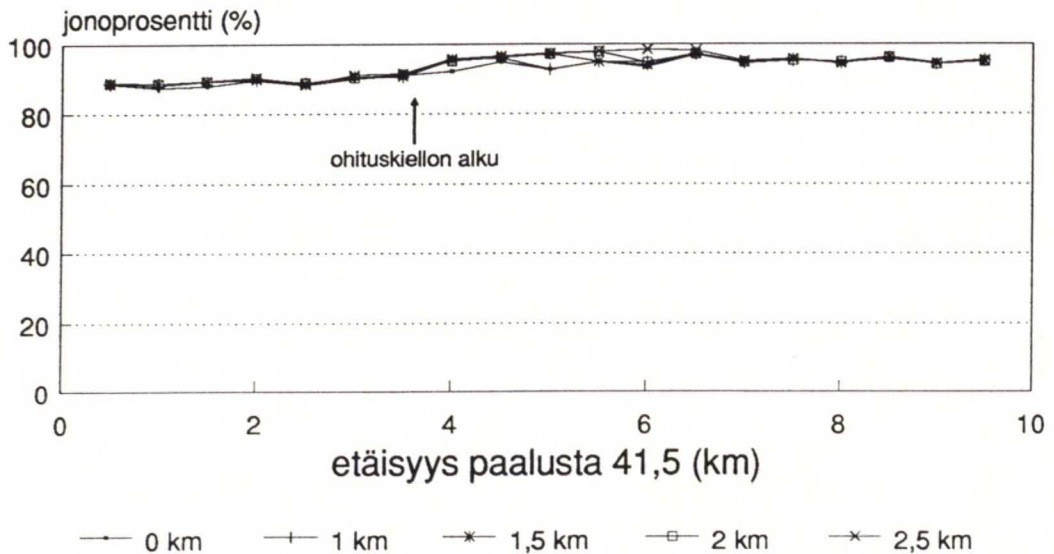


Kuva 55. Päiväliikenteen jonoprocentit molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.

Ajosuunta Lahteen, ohituskaista Lahteen Pe 7.6.91

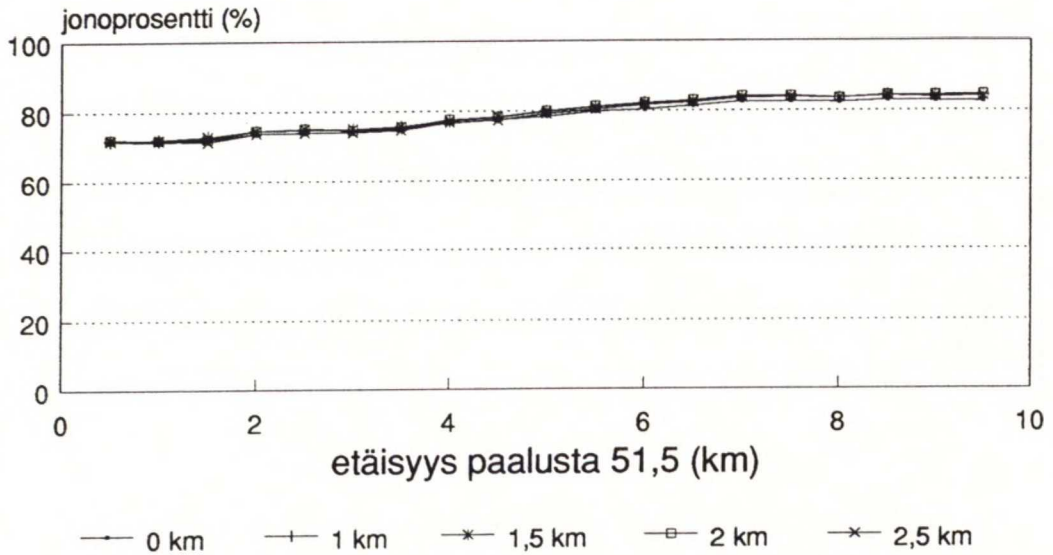


Ajosuunta Lahteen, ohituskaista H:kiin Pe 7.6.91

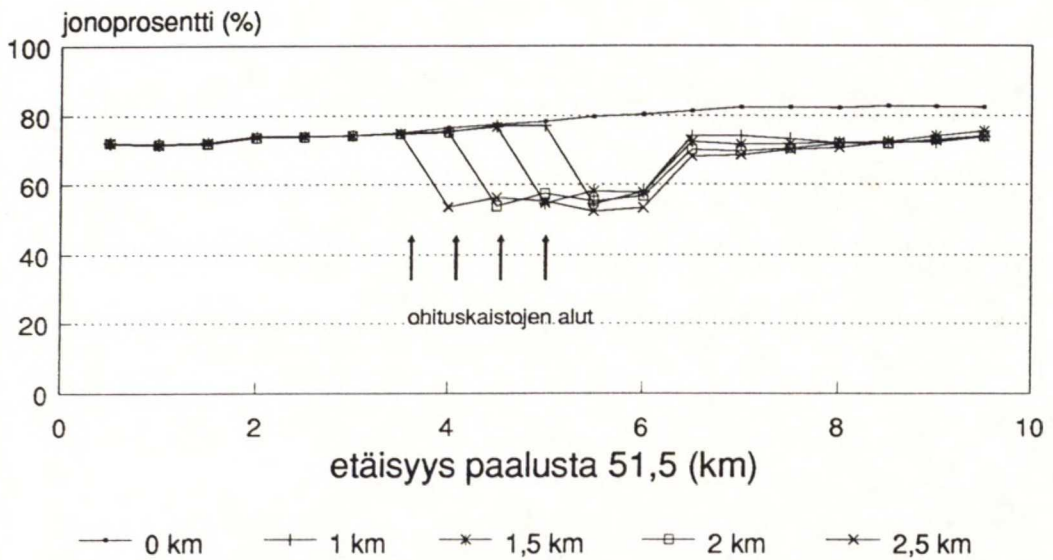


Kuva 56. Perjantairuuhkan jonoprosentit ajosuunnassa Lahteen eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

Ajosuunta H:kiin, ohituskaista Lahteen Pe 7.6.91

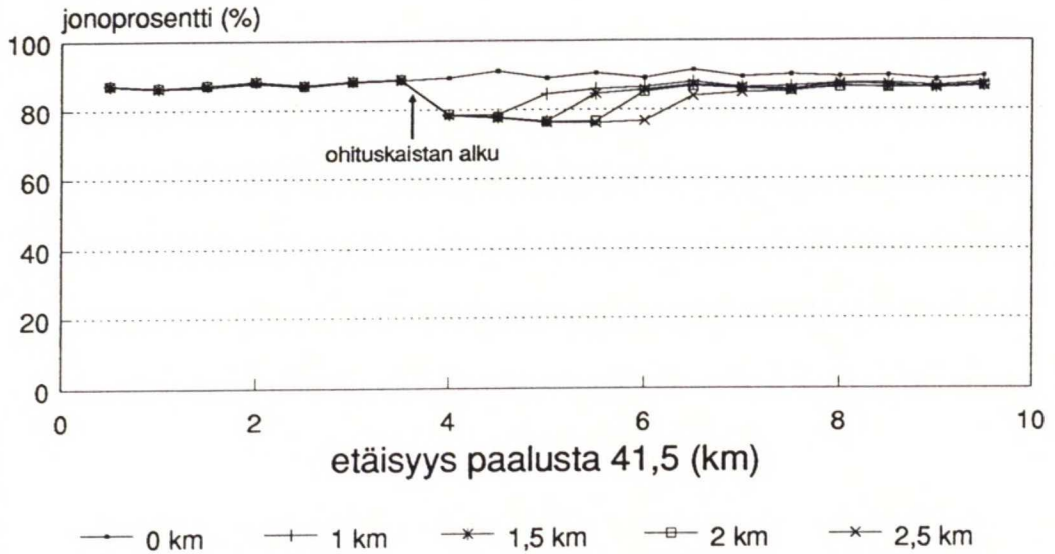


Ajosuunta H:kiin, ohituskaista H:kiin Pe 7.6.91

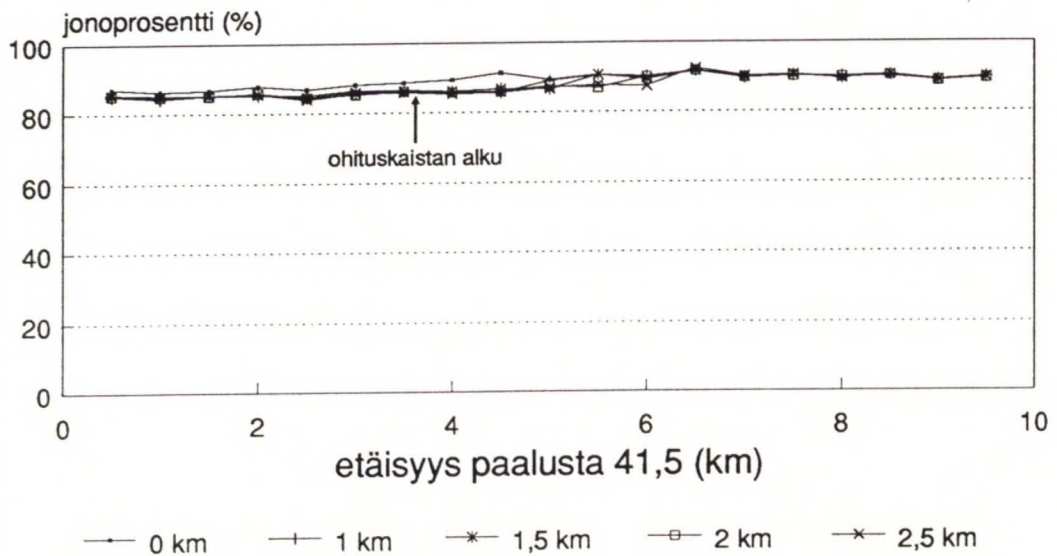


Kuva 57. Perjantairuuhkan jonoprocentit ajosuunnassa Helsinkiin eri ohituskaistavaihtoehdoilla.

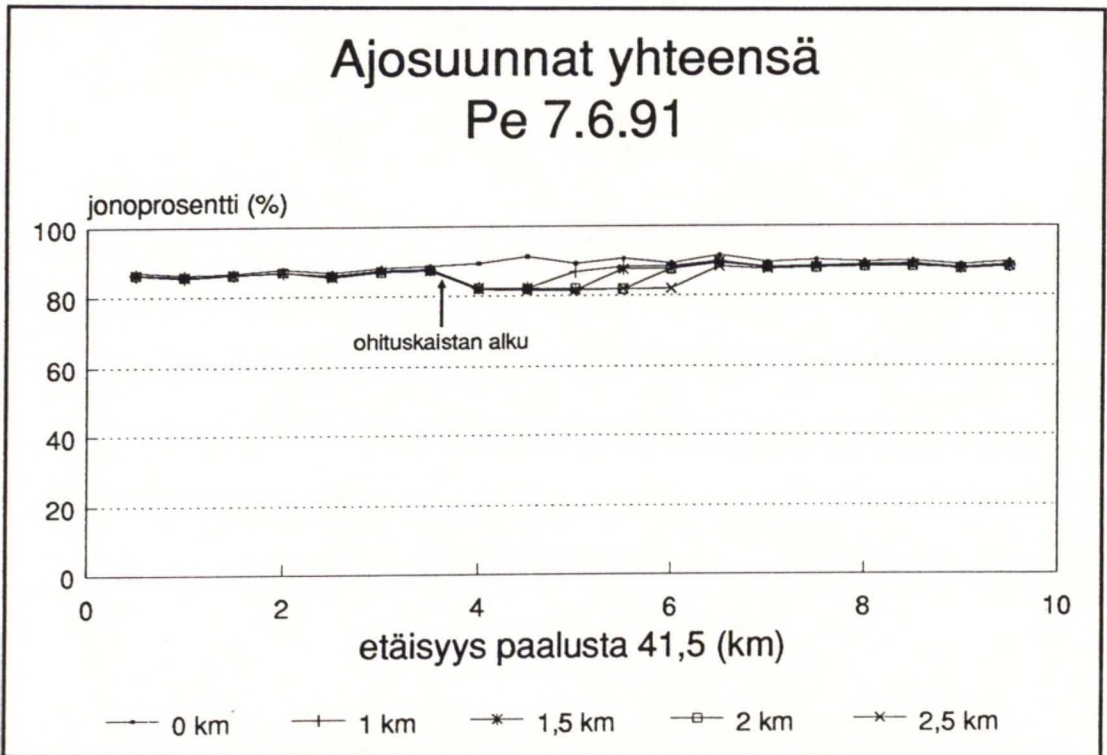
Ajosuunnat yhteensä, ohitusk. Lahteen Pe 7.6.91



Ajosuunnat yhteensä, ohitusk. Helsinkiin Pe 7.6.91



Kuva 58. Perjantairuuhkan jonoprocentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistavaihtoehtoil- la.

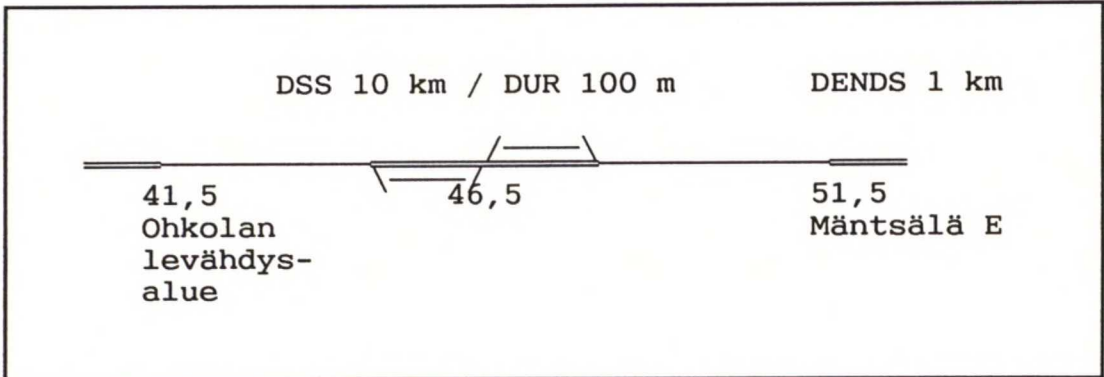


Kuva 59. Perjantairuuhkan jonoprocentit molempiin ajosuuntiin ja ohituskaistan suuntiin yhteensä.

6.3 Kaksi ohituskaistaa

Simuloitavat ohituskaistat sijoitettiin kuvan 60 osoittamalla tavalla. Simuloitavalla tiellä oli ohituskiellot Ohkolan levähdysalueen ja Mäntsälä E:n liittymissä sekä ohituskaistan kohdalla vastakkaiselle ajosuunnalle kuten yhden ohituskaistan tapauksessakin. Pistetietoja kerättiin 500 metrin välein, mutta nyt havaintoväli oli 6 km pitkä. Syötettävä liikenne oli sama kuin edellä (ks. taulukot 18 ja 19). Tutkittavat ohituskaistavaihtoehdot on esitetty taulukossa 21. Nyt tehtiin yhteensä 30 ajoa.

Eräissä erityistarkasteluissa on tutkittu myös 0,5, 3,0 ja 4,0 km:n pituisia ohituskaistoja.



Kuva 60. Kahden ohituskaistan simulointijärjestelyt.

Taulukko 21. Tutkitut ohituskais-
tavaihtoehdot.

Ei ohituskaistoja:	
1.	MOL-tie (0 km)
Ohituskaistat eri ajosuunnissa:	
2.	1 km + 1 km
3.	1,5 km + 1,5 km
4.	2 km + 2 km
5.	2,5 km + 2,5 km

Kuvissa 61 ja 62 on esitetty matkanopeudet, kun ohituskaistojen pituuksia on muutettu. Kuvista nähdään, että ohituskaistan pituuden lisääminen nostaa matkanopeutta etenkin suurilla liikennemäärillä. Kuitenkin suurin muutos matkanopeuksien arvoissa on nollavaihtoehdon ja 1 km:n ohituskaistan välillä.

Ohitustiheyksien muutoksia on tarkasteltu kuvissa 63 ja 64. Kuvista nähdään, että pienillä liikennemäärillä ohitustiheys on lähes saman suuruinen kaikilla ohituskaistan pituuksilla, mutta liikennemäärän kasvaessa suurin ohitustiheys saavutetaan, kun molemmat ohituskaistat ovat 2,5 km:n pituisia. Kun tarkastellaan ohitusten lukumääriä ohituskaistakilometriä kohti, on pienillä liikennemäärillä 1,0 km:n ohituskaista ja

suurilla liikennemäärillä 2,5 km:n ohituskaista tehokkain (kuva 64).

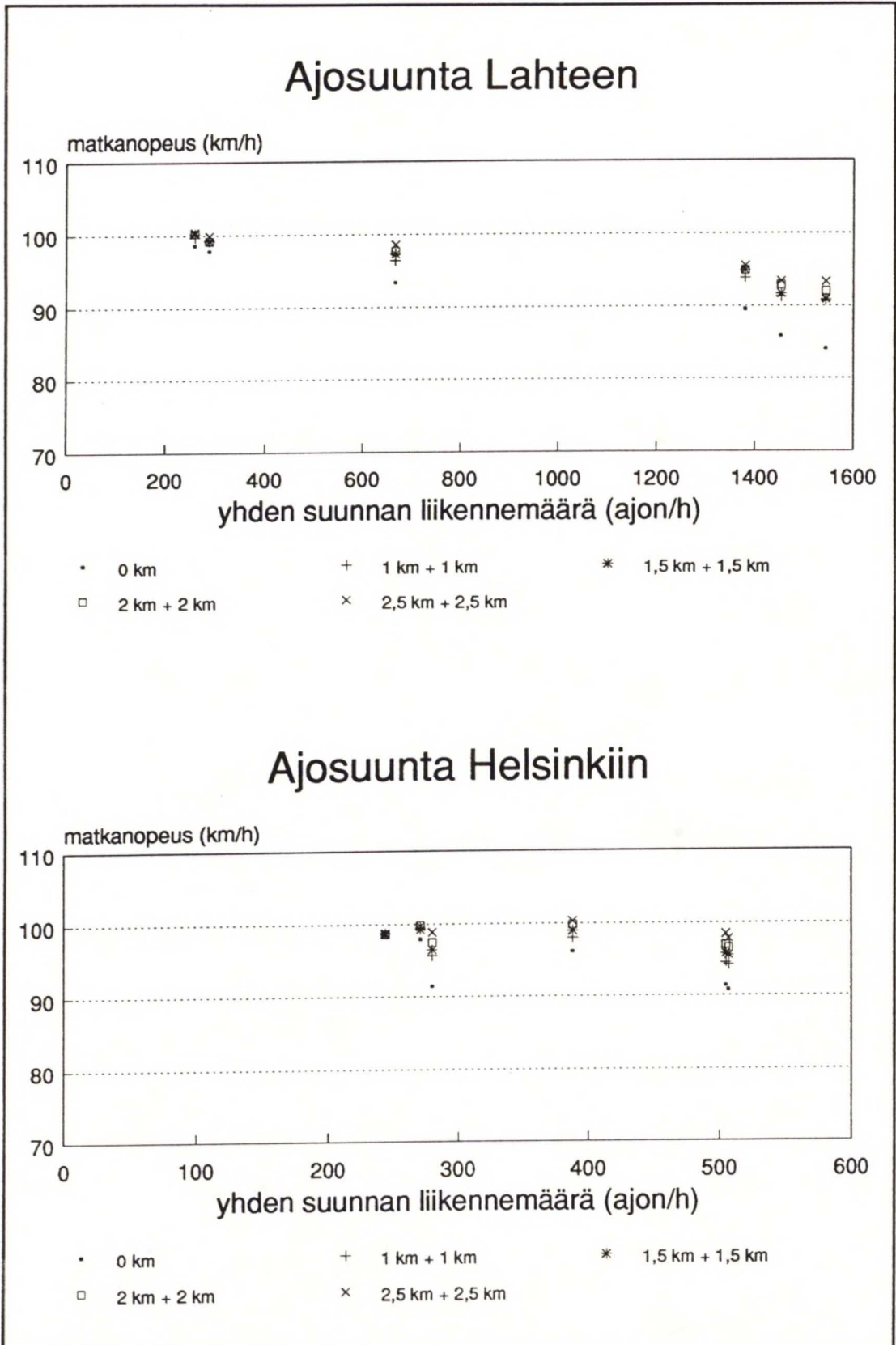
Kuviin 65 ja 66 on piirretty viivytysprosentin muutokset liikennemäärän funktiona. Kuvista nähdään, että nollavaihtoehdossa viivytysprosentit ovat suurimmat ja 2,5 km:n ohituskaistoilla pienimmät.

Matkanopeus-, ohitustiheys- ja viivytysprosenttikuvista nähdään, että kahden ohituskaistan ratkaisu antaa suurilla liikennemäärillä parempia tuloksia kuin yhden ohituskaistan vaihtoehto. Kun verrataan esimerkiksi kuvia 40 ja 62, huomataan, että matkanopeudet ovat suurilla liikennemäärillä suuremmat kahden ohituskaistan vaihtoehdossa. Pienillä liikennemäärillä eri vaihtoehdoilla ei ole juuri eroa.

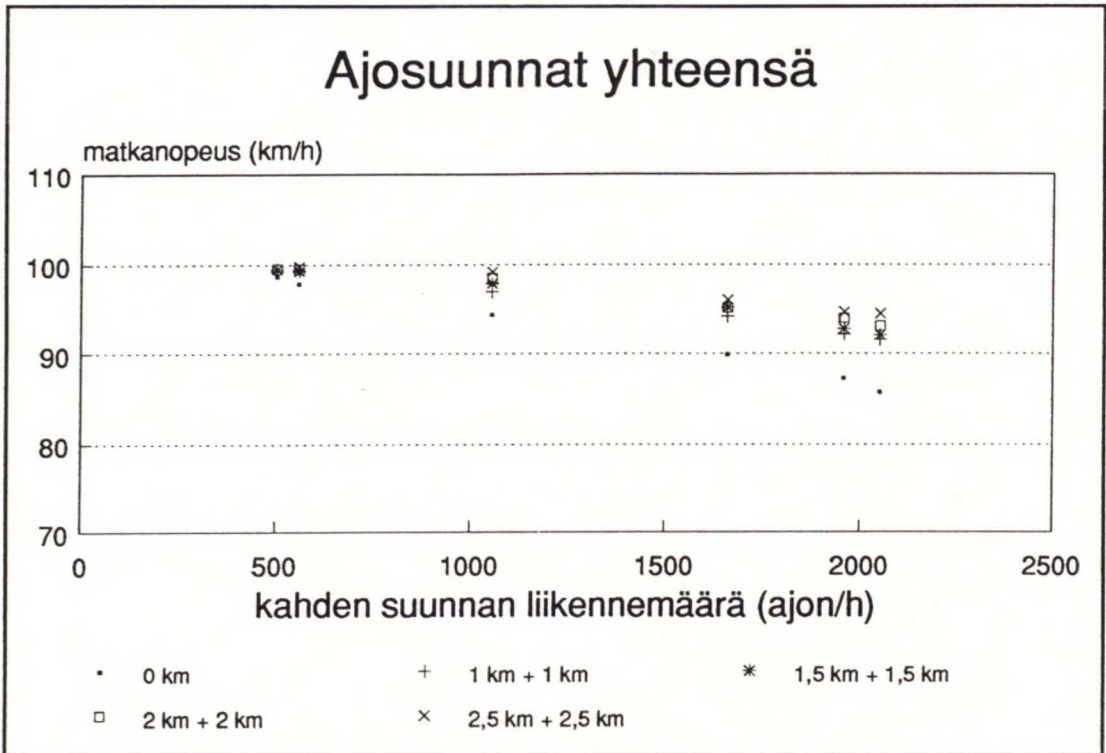
Kuvassa 67 on esitetty 6 km:n matkaan kuluva aika eri ohituskaistavaihtoehdoilla. Lisäksi on simuloitu 3 km:n ja 4 km:n ohituskaistat. Kuvasta nähdään, että arkipäivän liikenteessä matka-ajan erot eri ohituskaistan pituuksilla ovat pieniä. Matka-ajan minimi arkiliikenteessä on 1,5 - 2,5 km:n kohdalla. Ruuhkaliikenteessä matka-ajan minimi saavutetaan 2,5 km:n ohituskaistoilla.

Jonoprocentin muuttumista tietä edettäessä on tarkasteltu kuvissa 68 - 71. Kuvista nähdään, että jonoprocentti on suurin nollavaihtoehdossa lähes koko matkan.

Jonoprocenttikuvia 55 ja 69 vertailemalla nähdään, että arkiliikenteessä jonoprocentti on alhaisempi kahden ohituskaistan vaihtoehdossa paalun 47,5 kohdalla kuin yhden ohituskaistan vaihtoehdossa. Muualla jonoprocentit ovat lähes yhtä suuria eri ratkaisuisissa. Ruuhkaliikenteen kuvista 59 ja 71 nähdään, että jonoprocentit ovat alhaisemmat kahden ohituskaistan vaihtoehdossa kuin yhden ohituskaistan vaihtoehdossa.

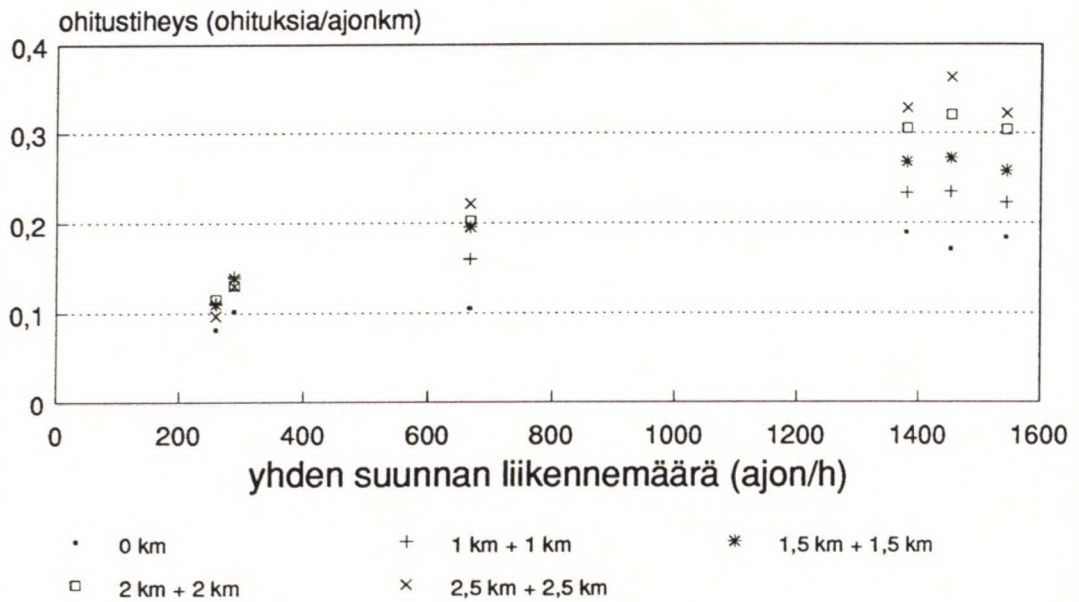


Kuva 61. Matkanopeudet eri ohituskaistojen pituuksilla.

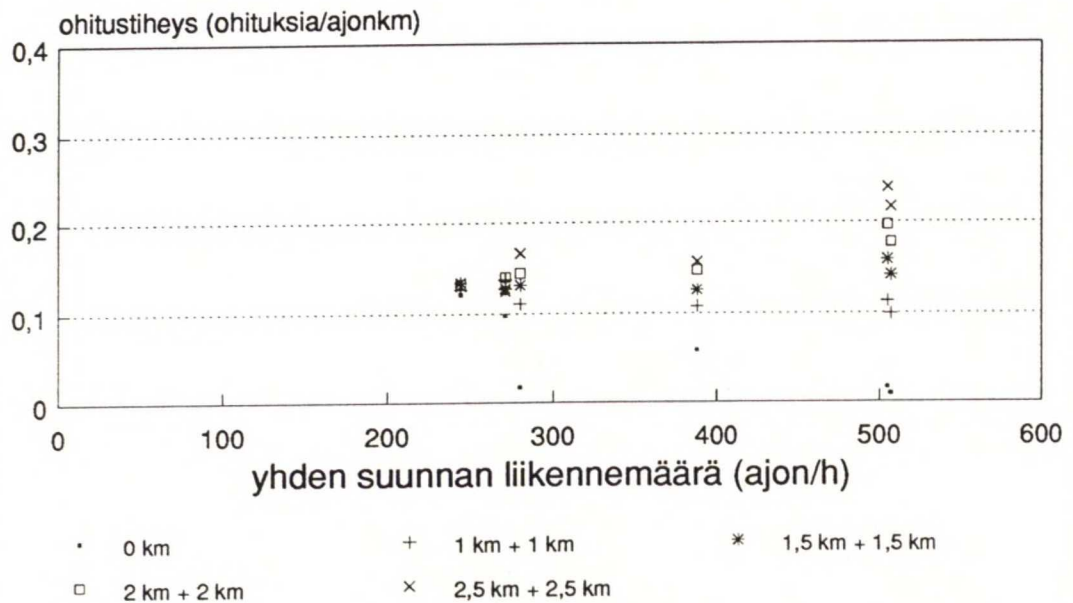


Kuva 62. Matkanopeudet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla.

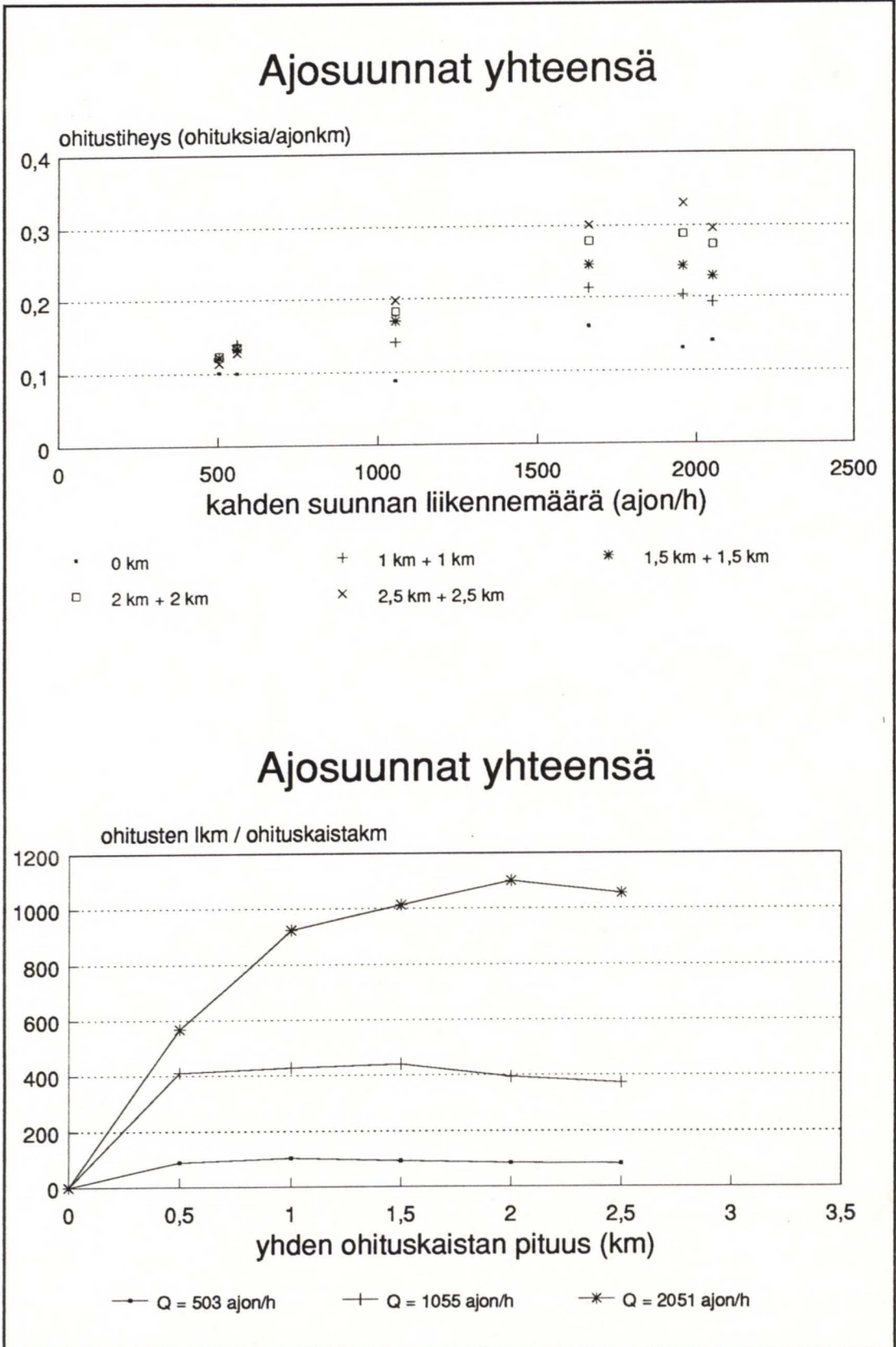
Ajosuunta Lahteen



Ajosuunta Helsinkiin

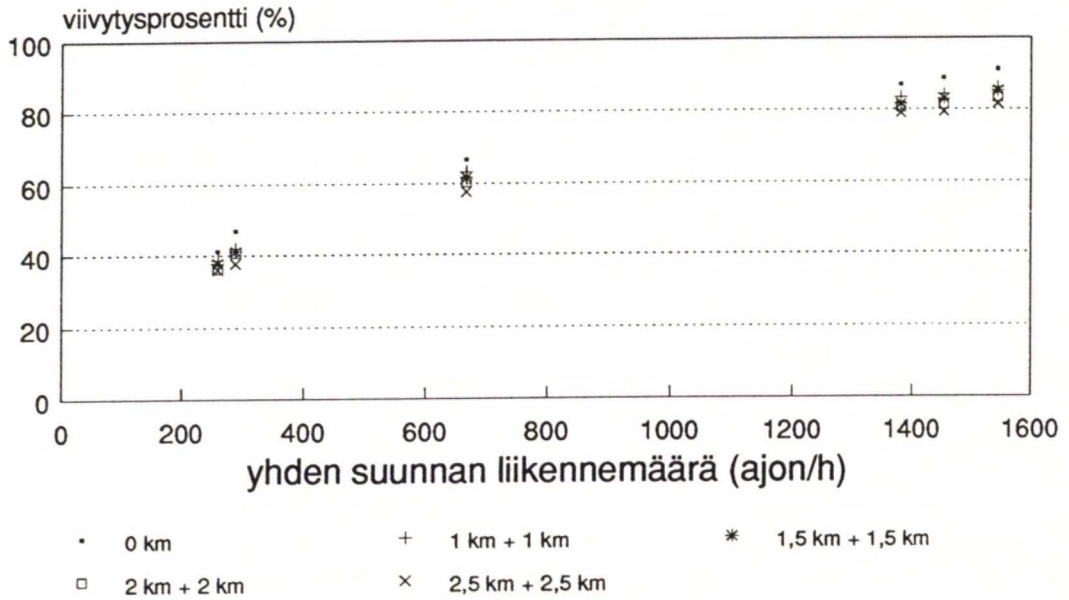


Kuva 63. Ohitustiheydet eri ohituskaistojen pituuksilla.

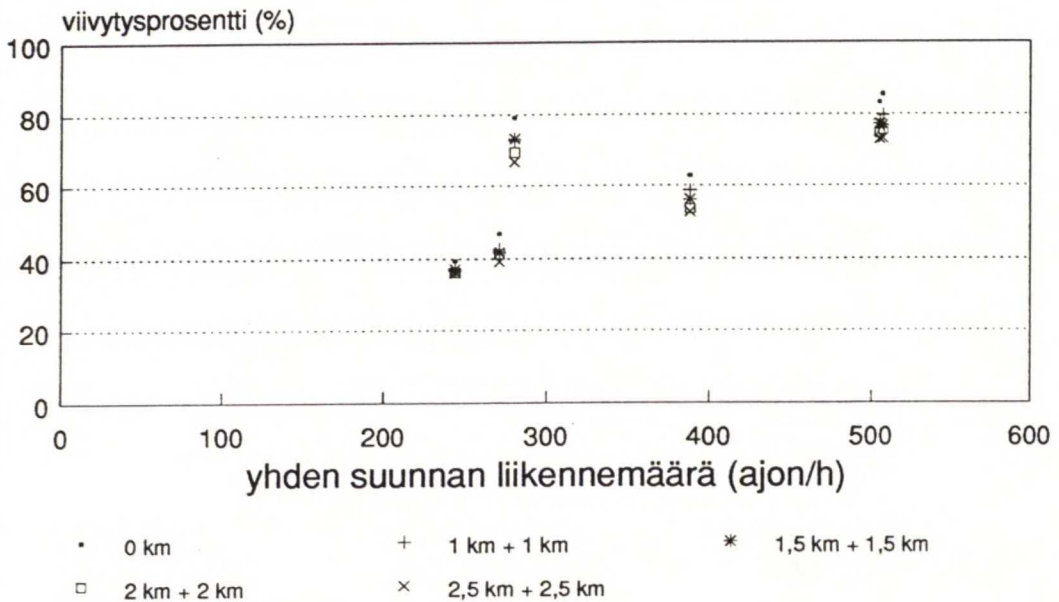


Kuva 64. Ohitustiheydet molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla sekä ohitusten lukumäärät ohituskaistakilometrillä.

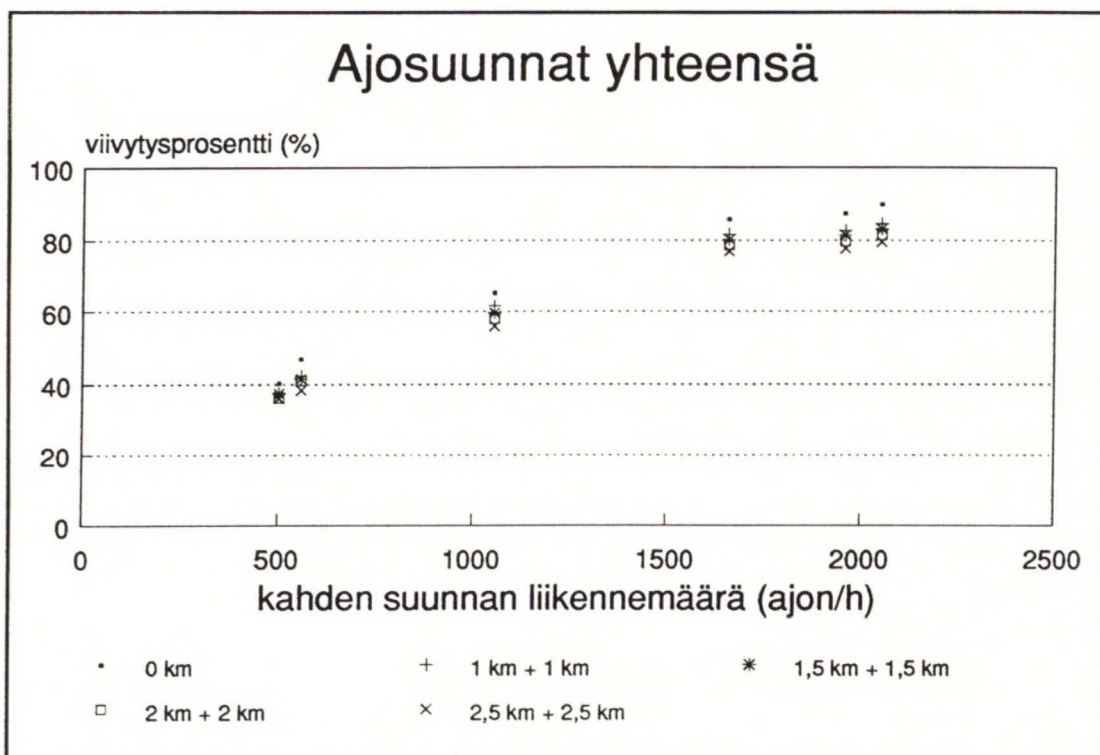
Ajosuunta Lahteen



Ajosuunta Helsinkiin

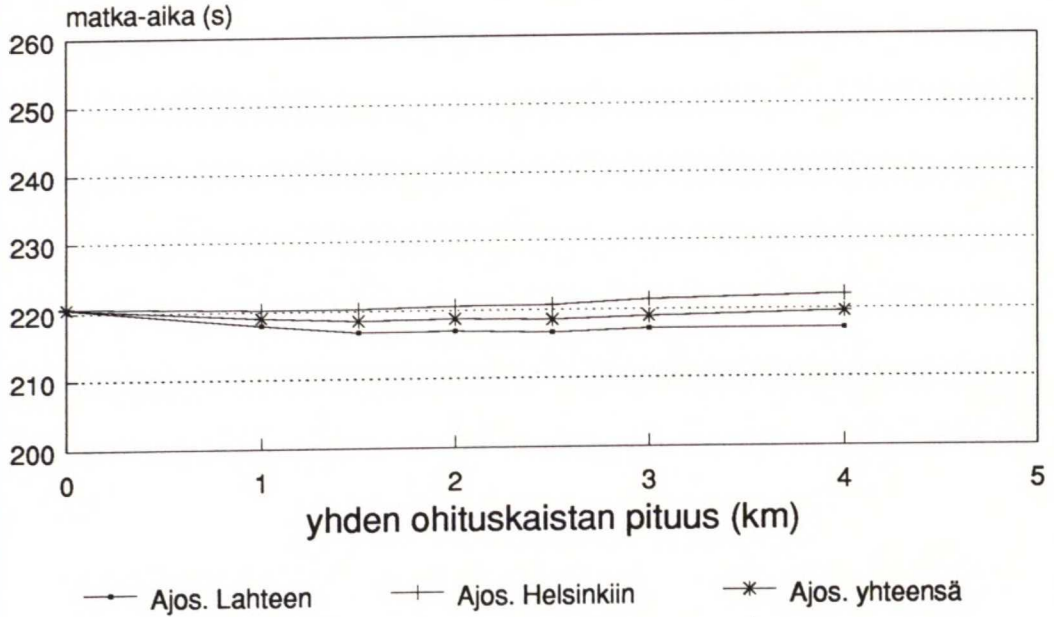


Kuva 65. Viivytysprosentit eri ohituskaistojen pituuksilla.

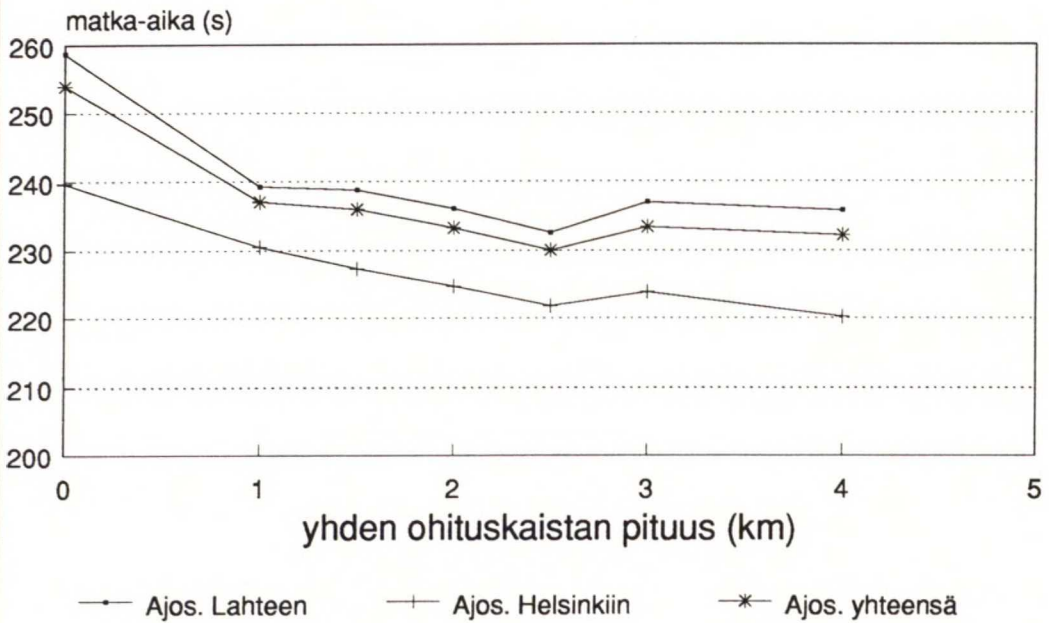


Kuva 66. Viivytysprosentit molempiin ajosuuntiin yhteensä eri ohituskaistojen pituuksilla.

Ke 22.5.91 (51/49)

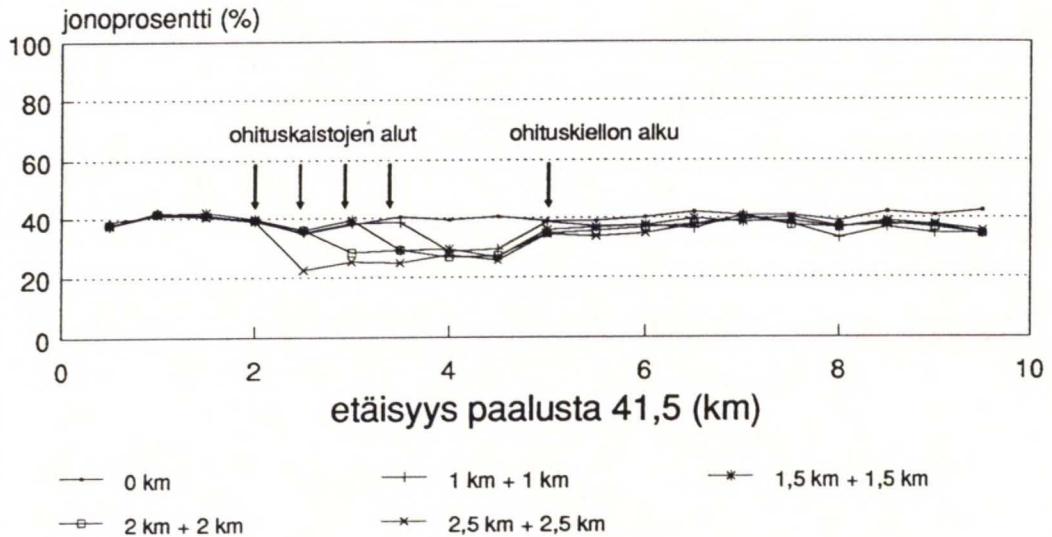


Pe 7.6.91 (75/25)

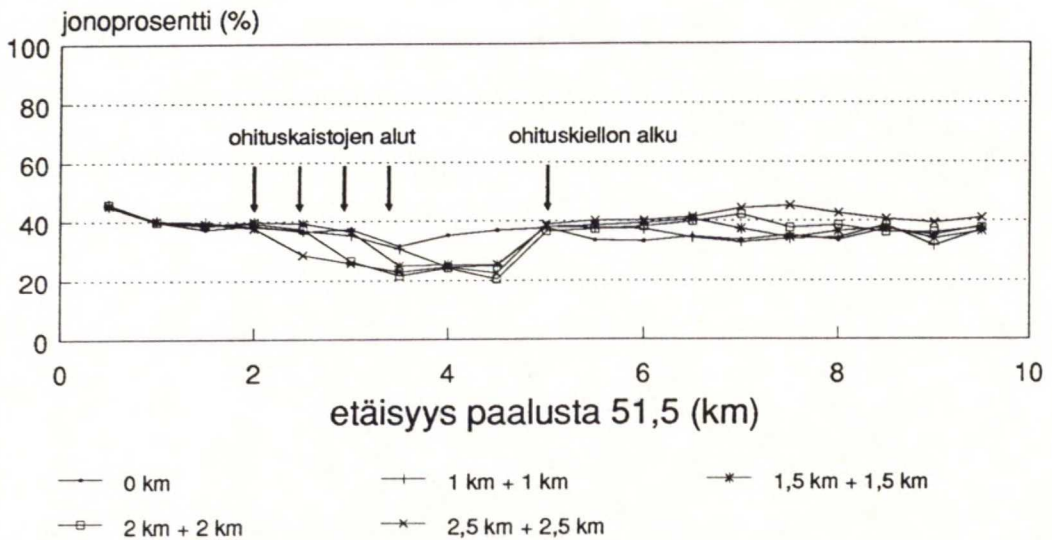


Kuva 67. Matka-ajat päivä- ja ruuhkaliikenteessä eri ohituskaistojen pituuksilla.

Ajosuunta Lahteen Ke 22.5.91

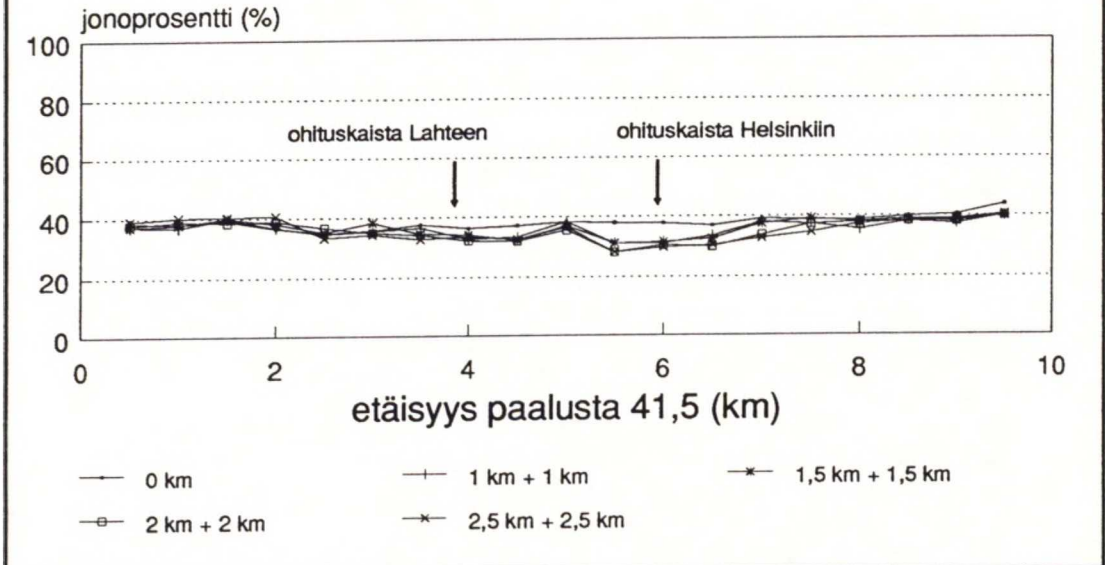


Ajosuunta Helsinkiin Ke 22.5.91



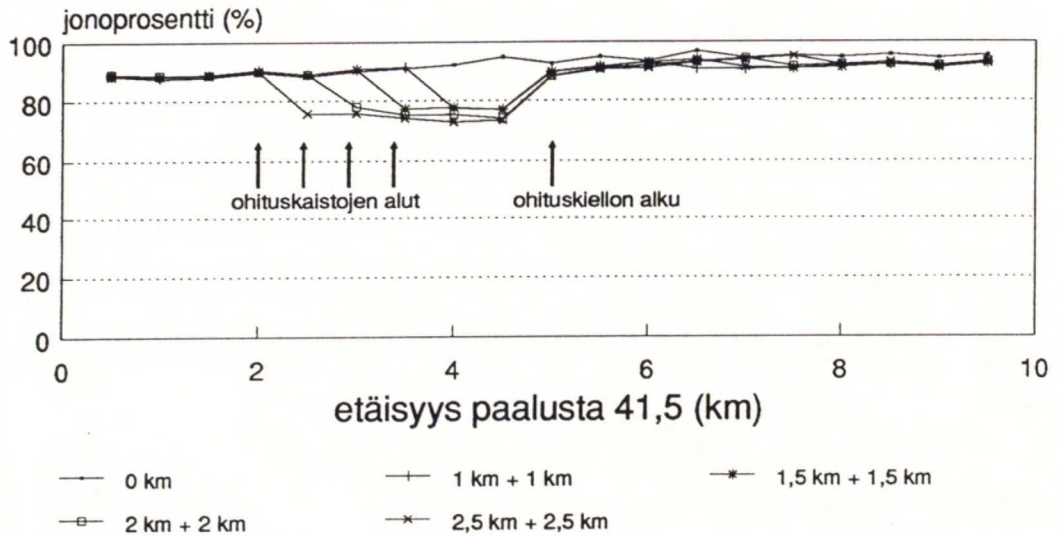
Kuva 68. Päiväliikenteen jonoprosentit eri ajosuunnissa.

Ajosuunnat yhteensä Ke 22.5.91

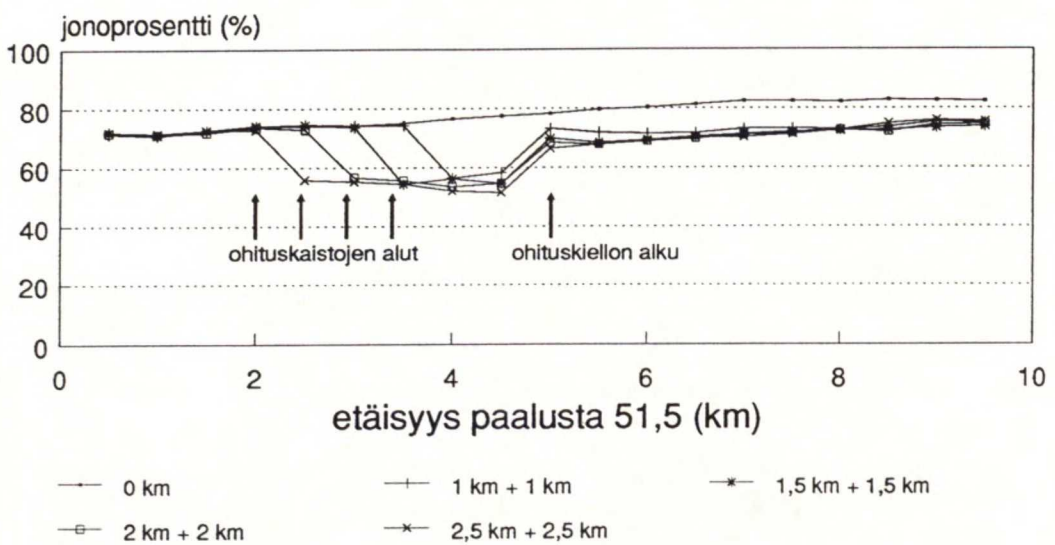


Kuva 69. Päiväliikenteen jonoprocentit molempiin ajosuuntiin yhteensä.

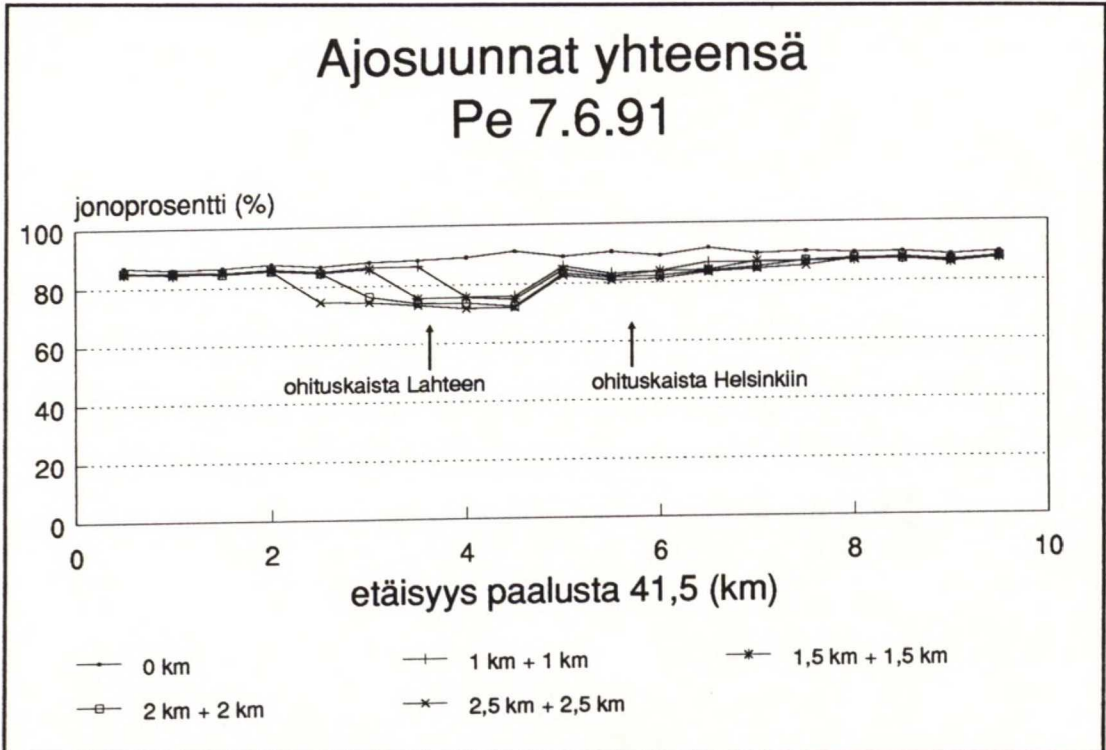
Ajosuunta Lahteen Pe 7.6.91



Ajosuunta Helsinkiin Pe 7.6.91



Kuva 70. Ruuhkaliikenteen jonoprosentit eri ajosuunnissa.



Kuva 71. Ruuhkaliikenteen jonoprocentit molempiin ajosuuntiin yhteensä.

6.4 Tuloksia kirjallisuudesta

Lahden moottoriliikennetiellä erot eri ohituskaistojen pituuksilla (1,0 - 2,5 km) eivät olleet suuria. Verratessa tuloksia muihin tutkimuksiin täytyy kuitenkin muistaa, että Lahden moottoriliikennetie on korkealuokkainen tie, jossa on leveämmät pientareet ja pidemmät näkemäalueet kuin tavallisella kaksikaistaisella tiellä.

Summala (1984) on tutkinut valtatie 1:llä kahden ohituskaistan toimivuutta. Tutkitut ohituskaistat olivat ylämäessä Turun suuntaan. Tutkimuksen aikavälialalyysit osoittivat, että lyhyempi, vajaan 1 km:n mittainen ohituskaista ei ollut riittävä jononmuodostuksen purkamiseen, kun sen sijaan pidempi, 1,8 km:n mittainen näytti pituudeltaan riittävältä.

Ensimmäisissä ulkomaalaisissa ohituskaistatiekokeiluissa ohituskaistat olivat vähintään 1,5 km:n pituisia. Tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että suuri ohitustiheys esiintyy ensimmäisten 500 metrin aikana ohituskaistan alettua. Lyhyet ohituskaistat ovat osoittautuneet myös hyötökustannus -suhteeltaan paremmiksi kuin pitkät ohituskaistat. Ohituskaistan minimipituudeksi on havaittu 400 metriä, jota lyhyemmistä ohituskaistoista ei ollut hyötyä. (McLean 1989.)

Harwood ja Hoban (1987) ovat todenneet, että ohituskaistan minimipituus on noin 300 metriä ilman sulkualueita. Tämä minimipituus tarvitaan, jotta jonossa ajavalla olisi mahdollisuus tehdä vähintään yksi ohitus ohituskaistan aikana. Jos ohituskaistan tarkoituksena on vähentää viivytyksiä tietyllä "pullonkaula-alueella", voi ohituskaista olla yhtä pitkä kuin pullonkaula-aluekin.

Kun ohituskaistan tarkoituksena on parantaa kaksikaistaisen tien liikennöitävyyttä yleensä, täytyy ohituskaistan olla riittävän pitkä, jotta jonoprosentti pieneneisi huomattavasti. Tällöin alle 400 metrin ohituskaista ei ole tarpeeksi tehokas. Optimipituus on yleensä 800 - 1600 metriä. Ohituskaistan tehokkuus alenee, kun pituus on yli 1600 metriä. (Harwood ja John 1986, Harwood ja Hoban 1987.)

Mayn (1991) mielestä ohitusten lukumäärä ohituskaistakilometriä kohti on hyvä tehokkuusmitta ohituskaistan pituudelle. Herkkyysanalyysien avulla on todettu, että 400 - 1200 metrin ohituskaistat ovat tehokkaimpia, kun oletetaan että kustannukset ovat suoraan verrannollisia ohituskaistan pituuteen (May 1991).

Hoban ja Morrall (1986) ovat listanneet havaintoja ohituskaistoista Australiassa, Kanadassa ja USA:ssa:

- a) Hyöty, joka saavutetaan, jonojen rikkoontumisen ansiosta, kestää monen kilometrin matkan liikenteen

alavirtaan, kunnes jonot alkavat vähitellen taas muodostua.

- b) Ohituskaistan alkaessa ajajat pyrkivät nostamaan nopeuttaan.
- c) Suurin osa ohituksista tehdään ennen ohituskaistan puoliväliä.
- d) Ohituskaista vähentää keskimääräistä jononpituutta ja viivytysprosenttia.
- e) Ohitustehokkuus (ohituksia/km) on suurempi 2 km:n kuin 3 km:n ohituskaistalla.
- f) Hyöty-kustannus -suhde on suurin ohituskaistan alussa.
- g) Monen lyhyen ohituskaistan (alle 1 km) vaihtoehto on tehokkaampi kuin yhden pitkän ohituskaistan vaihtoehto.
- h) Ohituskaistasta on hyötyä, vaikka tiellä olisi pitkät näkemäalueetkin, koska ohitusmahdollisuuksiin vaikuttaa myös vastaantuleva liikenne.

8 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa on selvitetty TRARR-ohjelman toimintaa sekä kuvattu sen käyttöä Nigeriassa ja Kaliforniassa. Lisäksi tutkittiin TRARRin soveltuvuutta Suomen oloihin, kalibroitiin ohjelma kaksi- ja kolmikaistaisen tien liikenteen simulointiin sekä arvioitiin yksittäisen ohituskaistan optimipituutta.

TRARR on hierarkkinen simulointiohjelma, jonka lähtötiedostoja käyttäjä voi muuttaa koskematta itse ohjelmaan. Käytetyimmät lähtötiedostot ovat TRAF, ITRAF, VEHS, ROAD ja OBS. TRAFissa määritellään liikennevirran ominaisuuksia, ITRAFia käytetään, kun simuloinnissa halutaan käyttää todellista liikennettä lähtötiedostona, VEHS määrittelee ajoneuvon ja ajajan käyttäytymistä, ROADissa kuvataan tien ominaisuudet ja OBS määrittelee mm. havaintopisteet.

TRARRista on saatu myönteisiä kokemuksia useissa maissa. TRARRia on käytetty Australian lisäksi mm. Hollannissa, Kaliforniassa, Nigeriassa ja Yhdysvalloissa.

Nigeriassa on tutkittu simuloinnin avulla, että tien palvelutasoa voidaan nostaa 50 - 100 %, kun tien näkemäalueita pidennetään ja ohituskaistoja lisätään. Palvelutason voi parantua jopa 120 - 200 %, kun kaksikaistainen tie muutetaan nelikaistaiseksi.

Kaliforniassa uuden tien vaihtoehtoja olivat kaksikaistainen tie, jossa on rajoitettu ohitusmahdollisuus, kolmikaistainen tie, jossa ohituskaista on vuorotellen eri ajosuuntien käytössä, ja nelikaistainen tie. Kaksikaistaisen tien palvelutasoksi saatiin "E" mitoitusvuonna 2020. Kolmikaistaisen tien palvelutasoksi tuli "C" ja nelikaistaisen tien palvelutasoksi "A" tai "B". Paras vaihtoehto täytyisi selvittää hyöty-kustannus -analyysillä.

Ohjelmaa kalibroitiin myös Suomen oloihin sopivaksi. Tarkasteltavana tienä oli Lahden moottoriliikennetie. Ohjelman kalibrointi tehtiin kahteen kertaan. Ensin tarkasteltiin tapausta, jossa ajoneuvot generoitiin TRARRilla. Tämän jälkeen tarkasteltiin tapausta, jossa ajoneuvojen syöttötiedostona käytettiin analysaattorimittausten tiedostoja. Kalibroinnin vertailuaineistona käytettiin moottoriliikennetiellä vuosina 1990 ja 1991 tehtyjä mittauksia.

Ohjelman parametrien herkkyyksiä muutettaessa huomattiin, että raskaiden ajoneuvojen osuuksilla ja tien kaarteisuuden muutoksilla oli suurin vaikutus matkanopeuksiin ja ohitustiheyksiin. TRARRin ongelmaksi ilmeni kuitenkin, ettei sillä voida suoraan simuloida ohituskäyttäytymistä, jossa ohitettavat ja vastaantulevat ajoneuvot voivat väistää leveille pientareille ohituksen ajaksi. Ratkaisua tähän etsittiin ajoneuvotiedoston turvallisuusmarginaaleista. Tehokkaimmaksi muuttujaksi ilmeni turvallisuusmarginaali VSFSN, joka vaikuttaa ohituksissa, joissa on näkemäesteitä.

Kun ajoneuvot generoitiin TRARRilla, saatiin paras tulos, kun kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli keskimäärin 110 km/h ja raskaiden 90 km/h. Sekä kevyiden että raskaiden ajoneuvojen tavoitenopeuksien hajonta oli 10 km/h. Turvallisuusmarginaalin VSFSN arvoja vähennettiin 25 % TRARRin alkuperäisistä arvoista.

Kun syöttötiedostona käytettiin analysaattoriaineistoa, saatiin paras tulos, kun kevyiden ajoneuvojen tavoitenopeus oli keskimäärin 104 km/h ja hajonta 15 km/h. Raskaiden ajoneuvojen vastaavat lähtöarvot olivat 86 km/h ja 12 km/h. Nyt parametrin VSFSN arvot puolitettiin alkuperäisistä arvoista.

Liikenneteknistä mitoitusta tehtäessä käytettiin syöttötiedostona kevään 1991 moottoriliikennetieltä analysaattorimittauksilla kerättyä aineistoa. Yksittäisen ohituskaistan

optimipituutta etsittiin matkanopeuksien, ohitustiheyksien, viivytysprosenttien, matka-aikojen ja jonoprocenttien avulla. Tarkasteltavina tapauksina oli yksi ohituskaista yhteen ajosuuntaan ja yksi ohituskaista samanaikaisesti kahteen ajosuuntaan.

Simulointituloksista nähdään, että ohituskaistan lisääminen kaksikaistaiselle tielle nosti matkanopeuksia ja ohitustiheyksiä sekä pienensi jonoprocenttia, kun tarkasteltiin molempia ajosuuntia samanaikaisesti. Usein paras tulos saavutettiin pitkällä ohituskaistoilla (2 km ja 2,5 km), mutta erot 1 km:n ohituskaistavaihtoehtoihin eivät olleet huomattavia. Suurin vaikutus näytti olevan sillä, oliko tiellä ohituskaistaa vai ei.

Matka-aikatarkastelujen perusteella yksittäisen ohituskaistan optimipituus oli 1,5 - 2,0 km. Ohituskaistaparille yhden ohituskaistan optimipituus oli noin 2,5 km. Kun tutkittiin ohitusten lukumääriä ohituskaistan pituutta kohti, olivat hiljaisessa liikenteessä lyhyet ohituskaistat (0,5 - 1,0 km) ja ruuhkaliikenteessä pitkät ohituskaistat (2,5 - 3,0 km) tehokkaimmassa käytössä.

Kirjallisuudessa ohituskaistan minimipituutena pidetään yleensä 400 metriä ja optimipituutena 800 - 1600 metriä. Ohituskaistan tehokkuuden katsotaan alenevan, kun pituus on yli 1600 metriä (Harwood ja Hoban 1987 ja McLean 1989). Verratessa tuloksia muihin tutkimuksiin täytyy kuitenkin muistaa, että Lahden moottoriliikennetie on korkealuokkaisempi kuin tavalliset kaksikaistaiset tiet.

KIRJALLISUUSLUETTELO

Afukaar F (1989). TRARR: Simulation of Traffic Operations on two-lane rural roads. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Delft. 51 s.

Akinyemi E, Papendrecht J, Botma H (1989). Effects of Geometric Design on Quality and Quantity of Service on Two-lane Rural Highways in Developing Countries. Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Delft. 26 s.

Akinyemi E, Papendrecht J, Botma H (1990). A case-study of the relationship of geometric design strategies to the capacity characteristics of two-lane rural highways. Traffic Engineering + Control July-August/1990, s. 426-430.

Enberg Å, Pursula M (1991). Traffic Flow and Level of Service on High-Class Two-Lane Rural Roads in Finland. Brannolte U (toim.). Highway Capacity and Level of Service. Proceedings of international Symposium on Highway Capacity. A.A. Balkema, Rotterdam. s. 119-126.

Enberg Å, Pursula M (1992). Moottoriliikennetien liikennevirran perusominaisuudet. Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 12/1992, TIEL 3200068, Helsinki. 85 s. + liitteitä 81 s.

Harwood D, Hoban C (1987). Low-Cost Methods for Improving Traffic Operations on Two-Lane Roads: Informational Guide. Federal Highway Administration, Virginia. 104 s.

Harwood D, John A (1986). Operational Effectiveness of Passing Lanes on Two-Lane Highways. Federal Highway Administration, Virginia. 40 s.

Hoban C, Morrall J (1986). Overtaking Lane Practice in Canada and Australia. Australian Road Research Board, Vermont STH. 48 s.

Hoban C (1987). Low Cost Methods for Improving Traffic Operations and Safety on Rural Roads. Australian Road Research Board, Vermont STH. 71 s.

Hoban C et.al (1991). A model for simulating traffic on two-lane roads: User guide and manual for TRARR version 3.2. Australian Road Research Board, Technical manual ATM 10B, Vermont STH. 83 s.

McLean J (1989). Two-Lane Highway Traffic Operations: Theory and Practice. Gordon and Breach Science Publishers, Transportation Studies 11, New York. 408 s.

Ristikartano J (1992). IVAR- Investointihankkeiden vaikutusten arviointiohjelmisto. Tiehallitus, Helsinki. Julkaisematon luonnos.

Kaikkonen A, Kaistinen J, Summala H (1991). Ohittaminen leveäpientareisilla teillä: seurantatutkimus pientareen käytöstä ohitustilanteissa 1987-91. Helsingin yliopisto, liikennetutkimusyksikkö, tutkimuksia 22:1991. Helsinki. 21 s.

Kaistinen J, Summala H (1991). Hyväksytty näkemä ohituksissa. Helsingin yliopisto, Liikennetutkimusyksikkö, tutkimuksia 23:1991. Helsinki. 36 s.

May A (1991). Traffic Performance and the Design of Passing Lanes. Esitys tilaisuudessa 70th Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington DC. 30 s.

Noguerón-Espinosa M, May A (1992). Investigating Rural Highway Design Alternatives with Simulation. Esitys tilaisuudessa 71st Annual Meeting of Transportation Research Board, Washington D.C. 23 s.

Summala H (1984). Ohituskaistojen toimivuustutkimus. Helsingin yliopisto, Yleinen psykologia, Raporttisarja N:o A18, Helsinki. 67 s.

Tiehallitus (1990). Autojen nopeudet pääteillä vuonna 1989 (1990). Tiehallitus. TIEL 741836-89, Helsinki. 38 s.

Liite 1. Esimerkki TRAF-tiedostosta (Hoban et.al 1991).

FILE TRAF

WHERE NOT SPECIFIED UNITS ARE IN SECONDS, METRES AND KM/H.

- 1.0 BASIC TIME UNIT FOR THE SIMULATION (TUN)
- 350.0 SETTling DOWN TIME FOR THE SIMULATION (TSE)
- 600.0 DURATION OF THE SIMULATION (TSI); NOTE THAT THE PROGRAM KEEPS RUNNING UNTIL ALL VEHICLES WHICH ARRIVED IN THIS TIME HAVE DEPARTED.
- 6 OPTION: 1=STANDARD; 2=USE ITRAF; 3=USE PBAYS; 5=GRAFIC DISPLAY; 6=TIME DISPLAY;
- 100.0 LENGTH OF NO OVERTAKING TO CREATE BUNCHING IN DIRECTION 1 (DTS1)
- 100.0 LENGTH OF NO OVERTAKING TO CREATE BUNCHING IN DIRECTION 2 (DTS2)
- 33.0 PERCENT FOLLOWING IN PLATOONS ON ARRIVAL IN DIRECTION 1 (PFOL1)
- 66.0 PERCENT FOLLOWING IN PLATOONS ON ARRIVAL IN DIRECTION 2 (PFOL2)
- NOTE ZERO %FOLL GIVES RANDOM ARRIVALS; NEG %FOLL USES DEFAULTS.
- 2 NUMBER OF VEHICLE GENERATION CATEGORIES (NSTR); CHECK FORMATS IN THIS FILE IF NSTR IS CHANGED. ONLY NSTR OF THE COLUMNS BELOW ARE READ.
- 3.0 RANDOM SEED NUMBER (NSEED0); RANGE IS 0. TO 999999.
- 0 ICHECK: 1=PRINT INPUT DATA TO FILE CHKOUT FOR CHECKING; 0=NO CHECK

THE REMAINING PARAMETERS DESCRIBE THE SIMULATED TRAFFIC STREAM
ADTV: PROPORTIONS OF VEHICLE TYPES IN VARIOUS CATEGORIES

* TRAFFIC GENERATION CATEGORIES * TYPE *

CARS	TRUCKS	RECVEHS	LTRUCK	HTRUCK	EXTRA1	EXTRA2	EXTRA3	*	TYPE	*
0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	0.	*	1	*
0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	*	2	*
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	*	3	*
0.	0.05	0.	0.	0.25	0.	0.	0.	*	4	*
0.	0.05	0.	0.	0.25	0.	0.	0.	*	5	*
0.	0.05	0.	0.	0.25	0.	0.	0.	*	6	*
0.	0.06	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	7	*
0.	0.16	0.	0.	0.25	0.	0.	0.	*	8	*
0.	0.21	0.	0.50	0.	0.	0.	0.	*	9	*
0.	0.42	0.	0.50	0.	0.	0.	0.	*	10	*
0.02	0.	1.	0.	0.	0.	0.	0.	*	11	*
0.05	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	12	*
0.18	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	13	*
0.16	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	14	*
0.18	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	15	*
0.08	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	16	*
0.16	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	17	*
0.17	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	*	18	*

ADVGC: PROPORTION OF FLOW IN EACH LANE AND DIRECTION

0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	DIR1	BASIC LANE
0.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		AUX. LANE
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	DIR2	BASIC LANE
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		AUX. LANE

VMIT: TWO-DIRECTIONAL TRAFFIC VOLUME(VEH/H) FOR EACH CATEGORY

1296.	144.	10.	0.	0.	0.	0.	0.
-------	------	-----	----	----	----	----	----

VMF: MEAN DESIRED SPEED(KM/H)

95.	85.	72.	85.	75.	45.	75.	75.
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

VSDF: STANDARD DEVIATION OF DESIRED SPEEDS(KM/H)

13.6	11.	10.	12.	10.	0.	0.	10.
------	-----	-----	-----	-----	----	----	-----

LFSDF: INDICES INDICATING TYPE OF SPEED DISTRIBUTION

1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

PFQ1: DEFAULT PLATOONING-FLOW DISTRIBUTION USED WHEN PFOL IS INPUT AS -1

0.	200.	400.	800.	1200.	1600.	2000.	2800.
0.	15.	30.	50.	65.	75.	90.	100.

#EOF

VFDB2 TIME SPACING

2.00	1.50	1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.70
.90	.70	1.00	.40	.50	.50	.50	.50	.50	.30

VFDA3: DISTANCE SPACING FOR OVERTAKING LANE WHERE THERE IS NO AUX. LANE

5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

VFDB3: TIME SPACING IN SAME SITUATION

3.00	2.00	2.00	.70	.70	.70	.90	.70	.70	.70
.70	1.00	1.30	.70	.70	.70	.70	.70	.70	.60

VFDA4: DIST. SPACING WHEN IN O'TAKING LANE WHERE THERE IS AN AUX. LANE

5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

VFDB4: TIME SPACING

4.50	2.50	2.50	1.00	1.00	1.00	1.30	1.00	1.00	1.00
1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

VSHA: FIXED DISTANCE COMPONENT OF MINIMUM DESIRED FOLLOWING DISTANCE

.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80
.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80

VSHB: TIME COMPONENT OF FOLLOWING SPACE WHEN HASSLED

1.00	.50	.50	.20	.20	.20	.40	.20	.20	.20
.20	.50	.50	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20

VFDF: FOLLOWING DISTANCE FACTOR (PER SECOND)

.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
.00	.005	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.01	.015

VFDFC: FOLLOWING DISTANCE FACTOR CUTOFF VALUE (MAXIMUM FACTOR)

1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.60	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	5.00

LAG: AGGRESSION NUMBER (0 = ONLY OVERTAKES WHERE THERE IS AN AUX. LANE)

3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	6	3	3	3	8

LAGB: WAIT FOR VEHICLE BEHIND IF ITS AGGRESSION NUMBER EXCEEDS THIS

7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
7	5	4	7	7	7	7	7	7	10

LAGF: WAIT FOR VEHICLE IN FRONT IF ITS AGGRESSION NUMBER EXCEEDS THIS

4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
4	4	4	4	4	9	4	4	4	9

LBS: WHETHER OVERTAKE WHEN BEYOND SECOND IN A PLATOON

F	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	F	T	T	T	T	T	T	T

LLA: WHETHER OBEYS OPTIONAL OVERTAKING RESTRICTIONS (T = YES, F = NO)

T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
F	T	T	T	F	F	T	T	T	F

LRO: WHETHER DO RISKY OVERTAKINGS

F	F	F	F	F	T	F	F	F	F
T	F	F	T	T	T	T	F	F	T

LUO: WHETHER USE OPPOSING AUXILIARY LANE TO ADVANTAGE

F	T	T	T	T	T	T	T	T	F
T	T	F	T	T	T	F	T	T	T

VTO: CONSIDER YOURSELF BEING O'TAKEN IF VEH WILL REACH YOUR REAR IN VTO

5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00

VSFSA: SAFETY FACTOR: SIGHT-RESTRICTED OVERTAKING, AUXILIARY LANE STARTS

2.00	2.00	1.80	1.60	1.60	1.60	2.00	1.60	1.60	1.60
1.60	1.80	2.50	1.50	1.70	1.70	2.00	1.40	1.40	1.40

VSFSN: SAFETY FACTOR FOR OTHER SIGHT-RESTRICTED OVERTAKINGS

2.00	2.00	1.80	1.60	1.60	1.60	2.00	1.60	1.60	1.60
1.60	1.80	2.50	1.50	1.70	1.70	2.00	1.40	1.40	1.40

VSFVA: SAFETY FACTOR: OPPOSING VEHICLE VISIBLE, AUXILIARY LANE STARTS

2.20	2.20	2.00	1.80	1.80	1.80	2.20	1.80	1.80	1.80
1.80	2.00	2.70	1.70	1.90	1.90	2.20	1.60	1.60	1.60

VSFVN: SAFETY FACTOR: OPPOSING VEHICLE VISIBLE, NO AUXILIARY LANE

2.00 2.00 1.80 1.60 1.60 1.60 2.00 1.60 1.60
 1.60 1.80 2.50 1.50 1.70 1.70 2.00 1.40 1.40

VSOA: DIST. COMPONENT OF SPACE TO BE LEFT AFTER O'TAKING (INCL. LENGTH)
 70.00 60.00 35.00 20.00 20.00 20.00 15.00 10.00 10.00
 10.00 20.00 13.00 10.00 10.00 10.00 10.00 10.00 10.00

VSOB: TIME COMPONENT OF SPACE TO BE LEFT AFTER OVERTAKING
 .20 .20 .20 .20 .20 .20 .20 .20 .20
 .20 .20 .20 .30 .30 .30 .30 .30 .30

VEXA: LEAST SPACING SUCH THAT NO EXTRA OVERTAKING TIME IS ALLOWED
 100.00 80.00 65.00 45.00 45.00 45.00 40.00 30.00 30.00
 30.00 40.00 35.00 25.00 25.00 25.00 25.00 25.00 15.00

VEXB: EXTRA OVERTAKING TIME PER METRE OF INSUFFICIENT SPACING
 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10
 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10 .10

VCLB: CHANGE LANE TIME WHEN SOMEONE BEHIND
 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00
 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00 15.00

VCLN: CHANGE LANE TIME WHEN NOONE BEHIND
 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00
 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00

VAM: TIME ALLOWED FOR MERGING AFTER OVERTAKING
 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00
 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00 5.00

VMGA: DISTANCE COMPONENT OF END-OF-AUX.-LANE MERGING DISTANCE ALLOWED
 50.00 50.00 30.00 20.00 20.00 20.00 20.00 20.00 20.00
 20.00 50.00 20.00 30.00 20.00 20.00 10.00 30.00 20.00

VMGB: TIME COMPONENT OF SAME
 10.00 10.00 10.00 8.00 8.00 8.00 8.00 5.00 6.00
 7.00 5.00 3.00 8.00 4.00 4.00 2.00 6.00 4.00

VTS: TIME UNTIL SETTLE AFTER MERGING
 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 30.00 10.00 30.00 30.00
 30.00 10.00 10.00 30.00 30.00 30.00 20.00 40.00 30.00

VSS: SPEEDS FOR WHICH END-OF-AUXILIARY-LANE MERGING IS STOP-START
 5.00 5.00 5.00 10.00 10.00 10.00 10.00 10.00 10.00
 10.00 14.00 14.00 10.00 10.00 10.00 13.00 7.00 10.00

VFE: IF ACCELERATION FOR SMOOTH MERGING EXCEEDS THIS, DO NOT DECELERATE
 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00 -1.00
 -1.00 -.80 -.50 -1.00 -1.00 -1.00 -1.20 -.80 -.50

VFCA: FUEL CONSUMPTION PER SECOND WHEN IDLING (ML/S)
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 .40 .30 .20 .15 .65 .50 .40 .60

VFCA: FUEL CONSUMPTION EFFICIENCY FACTOR BETA1 (ML/KJ)
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 .08 .09 .10 .13 .07 .09 .10 .11

VFCA: FUEL CONSUMPTION EFFICIENCY FACTOR BETA2 (ML/(KJ.M/S))
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 .05 .06 .05 .07 .04 .03 .06 .05

VFCD: DRAG FORCE PARAMETER (KN), MAINLY RELATED TO ROLLING RESISTANCE
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 .50 .28 .30 .33 .40 .30 .35 .25

VFCE: DRAG FORCE PARAMETER (KN/(M/S)), MAINLY RELATED TO AEROD. RESIST.
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 1.60 .80 1.20 1.80 1.40 1.00 1.10 .80

VFCF: VEHICLE MASS (KG*1000)
 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00 .00
 .00 2.50 .80 1.10 .95 1.65 1.40 1.20 1.10

VFCG: MULT. FACTOR FOR ROLLING RESISTANCE ACCORDING TO ROAD SPEED INDEX
 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00
 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00

SMX CIOV RTUHN SMN XMFH XMIPH MPS
 30.00 .80 10.00 1.00 1.8 4.0 35

#EOF

Liite 3. Esimerkki ROAD-tiedostosta (Hoban et.al 1991).

FILE ROAD

DSS		DENDS		DUR		NURD				
5200.00		1050.00		100.00		52				
CHAINAGE	BARRIER	AUXILIARY	ROAD	SIGHT	DISTANCE	GRADE				
KM	LINES	LANES	SPEED	M	M	(DIR 1)				
	(1 OR -1)	(T OR F)	INDICES			UP +VE				
305.0	1	1	F F	1	1	200.00	330.00	4.00		
305.1	1	1	F F	7	7	200.00	430.00	4.00		
305.2	1	1	F F	7	7	260.00	530.00	4.00		
305.3	-1	1	F F	1	1	190.00	630.00	4.00		
305.4	-1	-1	F F	7	7	200.00	200.00	4.00		
305.5	-1	-1	F F	7	7	200.00	300.00	4.00		
305.6	-1	-1	F F	7	7	220.00	140.00	4.00		
305.7	1	-1	F F	7	7	450.00	130.00	4.00		
305.8	1	1	F F	1	1	350.00	170.00	4.00		
305.9	1	1	F F	7	7	360.00	200.00	4.00		
306.0	1	1	F F	7	7	260.00	300.00	4.00		
306.1	1	1	F F	7	7	250.00	400.00	4.00		
306.2	1	1	F F	1	1	200.00	500.00	4.00		
306.3	-1	-1	F F	6	6	100.00	360.00	4.00		
306.4	1	-1	F F	6	6	300.00	270.00	4.00		
306.5	1	-1	F F	1	1	200.00	140.00	-1.50		
306.6	1	1	F F	6	6	100.00	150.00	2.00		
306.7	-1	-1	F F	6	6	420.00	250.00	2.00		
306.8	1	1	F F	1	1	320.00	350.00	-1.90		
306.9	1	1	F F	1	1	220.00	100.00	-1.90		
307.0	1	1	F F	7	7	200.00	200.00	2.00		
307.1	1	1	F F	7	7	170.00	300.00	2.00		
307.2	1	1	F F	1	1	500.00	400.00	.80		
307.3	1	1	F F	1	1	400.00	200.00	.80		
307.4	1	1	F F	1	1	330.00	220.00	.80		
307.5	-1	1	F F	1	1	230.00	320.00	5.30		
307.6	-1	1	F F	7	7	170.00	420.00	5.30		
307.7	-1	-1	F F	7	7	70.00	520.00	5.30		
307.8	1	-1	F F	1	1	520.00	110.00	1.00		
307.9	1	-1	F F	1	1	420.00	160.00	-4.80		
308.0	1	-1	T T	1	1	180.00	100.00	2.80		
308.1	1	1	T T	1	1	80.00	200.00	2.80		
308.2	1	1	T T	8	8	200.00	300.00	2.80		
308.3	1	1	T T	8	8	100.00	400.00	2.80		
308.4	1	1	T T	1	1	170.00	130.00	2.80		
308.5	1	1	T T	1	1	70.00	230.00	-3.90		
308.6	1	1	T T	8	8	480.00	120.00	-3.90		
308.7	1	1	T T	8	8	140.00	80.00	-3.90		
308.8	1	1	T T	8	8	180.00	180.00	-3.90		
308.9	-1	1	T T	8	8	180.00	100.00	1.60		
309.0	-1	1	F F	1	1	80.00	140.00	1.60		
309.1	-1	-1	F F	1	1	180.00	470.00	-2.70		
309.2	-1	-1	F F	1	1	80.00	60.00	2.80		
309.3	-1	-1	F F	5	5	200.00	160.00	-3.10		
309.4	-1	-1	F F	5	5	100.00	50.00	.80		
309.5	1	-1	F F	1	1	410.00	150.00	.80		
309.6	1	-1	F F	1	1	310.00	250.00	-5.60		
309.7	-1	1	F F	1	1	130.00	100.00	5.70		
309.8	-1	1	F F	1	1	110.00	200.00	5.70		
309.9	1	1	F F	8	8	130.00	380.00	-2.30		
310.0	1	1	F F	8	8	180.00	90.00	-2.30		
310.1	1	1	F F	8	8	230.00	110.00	-2.30		
310.2	1	1	F F	8	8	220.00	180.00	-2.30		

#EOF

Liite 4. Esimerkki OBS-tiedostosta (Hoban et.al 1991).

FILE OBS

20 NOB NUMBER OF OBSERVATION POINTS
 10 NOB1 NUMBER OF OBSERVATION POINTS IN DIRECTION 1

 2 LMSP INTERVAL STARTING POINT DIRECTION 1
 12 LMSP INTERVAL STARTING POINT DIRECTION 2

 9 LMFP INTERVAL FINISHING POINT DIRECTION 1
 19 LMFP INTERVAL FINISHING POINT DIRECTION 2

 2 NCT NUMBER OF VEHICLE OBSERVATION CATEGORIES

 4.0 TFOL TIME COMPONENT OF DEFINITION OF FOLLOWING
 0.0 DFOL DISTANCE COMPONENT OF DEFINITION OF FOLLOWING

 0 IFILE OPTION TO GENERATE ADDITIONAL OUTPUT INFORMATION

VEHICLE CATEGORY NAMES

1=TRUCKS ;2=CARS ;3= ;4= ;5= ;6= .

VEHICLE CATEGORIES FOR THE VARIOUS VEHICLE TYPES (LVC)

1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2

OBSERVATION POINTS FOR FIRST DIRECTION (RELATIVE TO START OF SIM. SEGMENT)

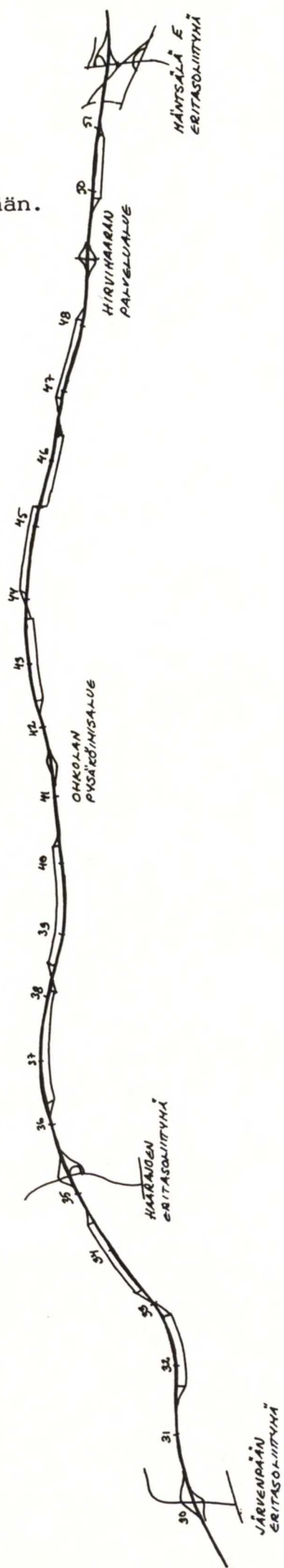
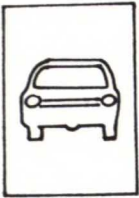
500. 1000. 1500. 2000. 2500. 3000. 3500. 4000. 4500. 4900.

OBSERVATION POINTS FOR SECOND DIRECTION (FROM START OF SIM. SEG. IN DIR 2)

500. 1000. 1500. 2000. 2500. 3000. 3500. 4000. 4500. 4900.

#EOF

Liite 5. Valtatie 4 Järvenpäästä Mäntsälään.



Liite 6. Ohjelma, joka muuttaa analysaattoriaineiston ITRAF-tiedostoksi.

```

program ITRAFmuutos (input, output, lahteen, hkiin, ifile);

{Tämä ohjelma muuttaa analysaattoriaineiston tiedostot TRARRin
käyttämäksi ITRAF-tiedostoksi. Ohjelma on kirjoitettu Turbo-
pascalilla. Analysaattoriaineisto on käsitelty Åsa Enbergin
haamunpoisto-ohjelmalla ja reaaliaikaohjelmalla AIKATA
(heli.for) ennen tämän ohjelman ajoa.}

var
  lahteen, hkiin, tulos : text; {Lähtö- ja tulostustiedostot}
  lahtinimi, hkinimi : string; {*.ai1- ja *.ai2-tiedostot}
  tnimi : string; {Tulostustiedoston nimi}
  nro1, nro2 : integer; {Tiedostomuuttujia}
  aikal, aika2, time : real;
  typ1, typ2 : integer;
  typ : integer; {Apumuuttuja ttys-aliohjelmassa}
  speed, tyyppi : real;
  ladr : integer;
  x, a, b : integer; {Apumuuttujat}
  nokake, nokara, nohake, nohara : real;
  {Vapaiden nopeuksien keskiarvot ja hajonnat
  kevyille ja raskaille ajoneuvoille}

procedure aloitus;
begin
  writeln('Anna tiedoston nimi ajosuunnassa Lahteen
(suunta 1) ');

  readln(lahtinimi);
  writeln('Anna tiedoston nimi ajosuunnassa Helsinkiin
(suunta 2) ');
  readln(hkinimi);
  writeln('Anna tulostustiedoston nimi (ITRAF) ');
  readln(tnimi);
  writeln('Mikä on vapaiden kevyiden ajon. nopeuksien
keskiarvo ');
  writeln('ja hajonta? ');
  readln(nokake, nohake);
  writeln('Mitkä ovat vastaavat arvot raskaille
ajoneuvoille? ');
  readln(nokara, nohara);

  assign(lahteen, (lahtinimi)); {Tiedostomuuttuja kytketään
ulkoiseen tiedostoon.}
  assign(hkiin, (hkinimi));
  assign(tulos, (tnimi));
  reset(lahteen); {Alustetaan lähtö- ja tulostustiedostot.}
  reset(hkiin);
  rewrite(tulos); {"append", jos lisätään vanhan tiedoston
perään.}

```



```

end;

procedure otsikko;
begin
  writeln(tulos, 'FILE ITRAF');
  writeln(tulos, '-----');
  writeln(tulos);
  writeln(tulos, 'VT 4 INPUT TRAFFIC DATA IN 1991');
  writeln(tulos, 'LADR HAS THE VALUES 1: LANE 1 DIRECTION 1');
  writeln(tulos, '                               2: LANE 2 DIRECTION 1');
  writeln(tulos, '                               3: LANE 1 DIRECTION 2');
  writeln(tulos, '                               4: LANE 2 DIRECTION 2');
  writeln(tulos);
  writeln(tulos);
  writeln(tulos, '          TIME    TYPE    SPEED    LADR');
end;

procedure ttys;          {Ajoneuvotyyppin muuttaminen}
  var sat : real;

begin
  sat := random;
  if (typ = 7) or (typ = 8) or (typ = 9) then {Raskaat ajon.}
    begin
      if sat <= 0.0532 then tyyppi := 4;
      if (sat > 0.0532) and (sat <= 0.1064) then tyyppi := 5;
      if (sat > 0.1064) and (sat <= 0.1596) then tyyppi := 6;
      if (sat > 0.1596) and (sat <= 0.3298) then tyyppi := 8;
      if (sat > 0.3298) and (sat <= 0.5532) then tyyppi := 9;
      if sat > 0.5532 then tyyppi := 10;
    end
  else {Kevyet ajoneuvot}
    begin
      if sat <= 0.051 then tyyppi := 12;
      if (sat > 0.0510) and (sat <= 0.2347) then tyyppi := 13;
      if (sat > 0.2347) and (sat <= 0.3980) then tyyppi := 14;
      if (sat > 0.3980) and (sat <= 0.5817) then tyyppi := 15;
      if (sat > 0.5817) and (sat <= 0.6633) then tyyppi := 16;
      if (sat > 0.6633) and (sat <= 0.8266) then tyyppi := 17;
      if sat > 0.8266 then tyyppi := 18;
    end;
  if typ = 4 then tyyppi := 11; {Henkilöauto + perävaunu}
  if (typ = 5) or (typ = 6) then tyyppi := 7; {Bussit}
end;

procedure ttysl;      {Ajoneuvotyyppin muuttaminen ajosuunnassa
                       Lahteen.}

begin
  typ := typ1;
  ttys;
end;

```

```

procedure ttys2;      {Ajoneuvotyyppin muuttaminen ajosuunnassa
                      Helsinkiin.}
begin
  typ := typ2;
  ttys;
end;

```

```

procedure nopeutus;
{Tavoitenopeuden simulointi mitatusta nopeudesta.
Tavoitenopeus noudattaa normaalijakaumaa ja se
määritetään ajoneuvotyyppin mukaan erikseen kevyille
ja raskaille ajoneuvoille.}

```

```

var
  sat, satsum : real;
  i : integer;
  normal : real;

```

```

begin
  satsum := 0;
  for i := 1 to 12 do
    begin
      sat := random;
      satsum := satsum + sat;
    end;
  normal := 6 - satsum;      {normaalijakautunut välillä -6...6}

  if (tyyppi >= 11) and (tyyppi <= 18) then
    speed := nokake + nohake * normal / 3
  else
    speed := nokara + nohara * normal / 3;
end;

```

```

procedure apulukul; {Luetaan tiedostosta "lahteen".}

```

```

begin
  laddr := 1;

  {Kutsutaan aliohjelma, joka simuloi tyyppin oikeaksi.}
  ttysl;

  {Kutsutaan aliohjelma, joka simuloi tavoitenopeuden.}
  nopeutus;

  {Muutetaan aika minuuteista sekunneiksi}
  time := aikal * 60;

  write(tulos, '      ', time:7:2, '      ', tyyppi:2:0, '      ',
        speed:6:2, '      ', laddr);

  {Mennään seuraavan rivin alkuun lähtö- ja tulotiedostoissa.}
  readln(lahteen);

  writeln(tulos);

```

```

{Edellinen "aikal" on kirjattu, luetaan uusi.}
read(lahteen,nro1,aikal,typ1);
end;

procedure apuluku2; {Luetaan tiedostosta "hkiin".}
begin
  laddr := 3;
  ttys2;
  nopeutus;
  time := aika2 * 60;

  write(tulos,' ',time:7:2,' ',tyyppi:2:0,' ',
speed:6:2,' ',laddr);

  readln(hkiin);
  writeln(tulos);
  read(hkiin,nro2,aika2,typ2);
end;

procedure luku;
begin
  for x:=1 to 5 do
    begin
      readln(lahteen); {Hypätään lähtötiedostossa otsikkojen yli.}
      readln(hkiin);
    end;

    {Luetaan ensimmäiset lähtötiedot. Seuraavat
    luetaan silmukoissa.}
    read(lahteen,nro1,aikal,typ1);
    read(hkiin,nro2,aika2,typ2);

    while not (EOF (lahteen) or EOF (hkiin)) do
      begin
        {Limitetään lähtötiedostot yhdeksi tiedostoksi.}
        if aikal <= aika2 then apulukul
        else apuluku2;
      end;

      {Kun toinen tiedosto loppuu ennen toista...}
      while (EOF (hkiin) and not EOF (lahteen)) do apulukul;
      while (EOF (lahteen) and not EOF (hkiin)) do apuluku2;
    end;

    {Tästä alkaa pääohjelma.}
    begin
      aloitus;      {Avataan tiedostot.}
      otsikko;      {Luetaan IFILE:n otsikkorivit.}

      Randomize;    {Satunnaisluvun siemenluku}
      luku;          {Lähtötiedostoja luetaan vuorotellen (apulukul

```

ja apuluku2) ja verrataan saapumisaikoja keskenään. Ajoneuvot kirjataan tulostustiedostoon saapumisjärjestyksessä ja niille määritetään kaista (ladr), ajoneuvotyyppi (ttys) ja tavoitenopeus (nopeutus).}

```
close(lahteen); {Suljetaan tiedostot.}
close(hkiin);
close(tulos);
writeln;
writeln('OK!');
end.
```

Ohjelman ajo:

Anna tiedoston nimi ajosuunnassa Lahteen (suunta 1)
lahteen.ai1

Anna tiedoston nimi ajosuunnassa Helsinkiin (suunta 2)
helsinkiin.ai2

Anna tulostustiedoston nimi (ITRAF)
itraf

Mikä on vapaiden kevyiden ajon. nopeuksien keskiarvo
ja hajonta?
105
10

Mitkä ovat vastaavat arvot raskaille ajoneuvoille?
95
10

OK!

Liite 7. Esimerkit muutosohjelman lähtötiedoista.

Lahteen.ai1

M#NTS#L# VT 4
 LAHTEEN Lahteen
 02.9.1990 14.10- (= 0 MIN)

..NRO.....	AIKA.....	TYP.....	NOPEUS.....	PITUUS
1	0.050	1	100.82	3.55
2	0.216	1	106.16	3.62
3	0.563	1	110.49	3.49
4	0.785	2	97.93	4.09
5	0.803	1	97.34	3.17
6	0.822	1	97.76	3.54
7	0.859	2	98.09	3.81
8	0.886	1	102.86	3.58
9	1.055	7	103.64	8.68
10	1.476	1	119.98	3.55
11	1.553	1	105.13	3.07
12	1.659	1	98.72	3.52
13	2.208	1	96.27	3.43
14	2.218	1	94.92	3.69
15	2.266	2	98.95	3.85
16	2.649	1	109.11	3.76
17	2.715	4	98.52	7.08

Helsinkiin.ai2

M#NTS#L# VT 4
 HELSINKIIN Helsinkiin
 02.9.1990 14.10- (= 0 MIN)

..NRO.....	AIKA.....	TYP.....	NOPEUS.....	PITUUS
1	0.018	1	109.08	3.14
2	0.044	1	118.23	3.35
3	0.089	1	109.00	3.55
4	0.165	4	90.24	7.26
5	0.719	4	92.51	9.64
6	0.766	2	90.76	3.91
7	0.786	1	89.89	2.97
8	0.805	1	88.81	3.39
9	0.850	1	88.09	3.57
10	0.870	1	96.67	3.04
11	0.901	1	99.27	3.18
12	0.937	1	98.86	3.67
13	0.949	1	103.37	3.69
14	0.991	1	102.67	3.37
15	1.042	1	104.49	3.40
16	1.086	1	96.91	3.59
17	1.111	1	96.77	3.52

Liite 8. Esimerkki muutosohjelman tulostustiedostosta.

FILE ITRAF

VT 4 INPUT TRAFFIC DATA IN 1991

LADR HAS THE VALUES 1: LANE 1 DIRECTION 1
 2: LANE 2 DIRECTION 1
 3: LANE 1 DIRECTION 2
 4: LANE 2 DIRECTION 2

TIME	TYPE	SPEED	LADR
1.08	17	106.07	3
2.64	13	105.61	3
3.00	16	99.40	1
5.34	13	107.69	3
9.90	11	105.23	3
12.96	18	103.16	1
33.78	17	104.38	1
43.14	11	102.19	3
45.96	17	104.79	3
47.10	15	108.06	1
47.16	13	105.40	3
48.18	15	99.93	1
48.30	14	107.50	3
49.32	18	107.35	1
51.00	14	93.60	3
51.54	14	101.26	1
52.20	16	103.70	3
53.16	13	107.90	1
54.06	13	108.25	3
56.22	13	102.11	3
56.94	14	103.34	3
59.46	18	105.18	3
62.52	18	100.66	3
63.30	6	87.80	1
65.16	17	110.06	3
66.66	13	110.51	3
69.12	15	97.85	3
70.20	15	105.06	3
72.84	15	98.28	3
74.76	17	105.30	3
77.58	18	101.82	3
79.56	6	88.99	3
81.84	16	104.64	3
83.28	13	107.55	3
85.32	17	110.67	3
88.56	18	108.67	1
89.46	16	104.42	3
93.18	14	105.77	1
94.02	15	104.13	3