

S12 Pääteiden parantamisratkaisut

Valtatien 4 liikennevirran ominaisuudet välillä Lahti–Heinola

Tiehallinnon selvityksiä 19/2004



S12 Pääteiden parantamisratkaisut

**Valtatien 4 liikennevirran ominaisuudet
välillä Lahti–Heinola**

Tiehallinnon selvityksiä 19/2004

Kansikuva: Åsa Enberg

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-249-1
TIEH 3200869

Verkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-250-5
TIEH 3200869-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2004

Julkaisua myy:
asiakaspalvelu.prima@edita.fi



Tiehallinto
Tekniset palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 2211

Paula Tuovinen, R. Tapio Luttinen, Åsa Enberg: Valtatien 4 liikennevirran ominaisuudet välillä Lahti–Heinola. Helsinki 2004. Tiehallinto, liikennetekniikka. Tiehallinnon selvityksiä 19/2004. 87 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-249-1, TIEH 3200869.

Asiasanat: liikennevirta, liikennetutkimukset, nopeus, ohituskaistat, ohitus, jonoutuminen, liikeneruuhka
Aiheluokka: 21, 25

TIIVISTELMÄ

Lahden ja Heinolan välisen 25 km pituisen ohituskaistatien (vt 4) koko vuoden keskimääräinen liikennemäärä (KVL) on yli 12000 ajon/vrk ja kesäkauden keskiliikenne yli 15000 ajon/vrk. Tie ruuhkautuu viikonlopun meno- ja paluuliikenteessä usean tunnin ajaksi. Perjantain menoliikenteen ruuhkan aiheuttajiksi on suuren liikennemäärän ja epäedullisen tiegeometrian lisäksi epäilty Vierumäen 2,7 km pituisen ohituskaistan loppupäässä peruskaistalle palaavia "kiilaajia", jotka saavat aikaan häiriöitä liikennevirtaan.

Tässä työssä on selvitetty ohituskaistatien matkanopeuksia ja ohitusmääriä sekä perjantain menoliikenteen ruuhkautumisen syitä. Tulokset perustuvat maastomittauksiin. Mittausmenetelminä on käytetty rekisteritunnustutkimusta, pistemittausta HI-STAR -laskentalaitteilla, perjantain menoliikenteen videokuvausta ylikulkusilloilta sekä analysaattoriautolla ajoa. Lisäksi käytettiin Vierumäen eritasoliittymän eteläpuolella olevan LAM-pisteen aineistoja.

Ohituskaistatien matkanopeus on arkipäiväliikenteessä molempiin ajosuuntiin yli 95 km/h ($Q < 600$ ajon/h/suunta). Viikonlopun meno- ja paluuliikenteessä matkanopeus on vilkkaampaan ajosuuntaan huomattavasti alhaisempi: perjantaina 40–50 km/h klo 17.00–19.15 ($1100 < Q < 1650$ ajon/h) ja sunnuntaina 65–75 km/h klo 16.00–19.30 ($1000 < Q < 1750$ ajon/h). Nopeustason lasku näkyy perjantaina eri kohdassa kuin sunnuntaina: perjantaina ruuhkautuu Ahtialan ja Vierumäen väli, sunnuntaina Heinolan ja Vierumäen väli. Nopeustason lasku heijastuu perjantaina myös ohitusmääriin, sillä liikennevirran ohitustiheys on Ahtialan ja Vierumäen välillä moninkertainen Vierumäen ja Heinolan väliin verrattuna.

Videokuvauksista, analysaattoriautolla ajoista ja pistemittauksista saadut tulokset osoittavat, että Heinolan suunnan välityskyvyn kannalta kriittinen kohta on ennen Vierumäen liittymää sijaitseva noin 2 km pitkä ylämäki, joka on Heinolan suuntaan yksikaistainen. Mäen keskimääräinen kaltevuus on 1,5 %. Jyrkin kohta, jonka pituus on noin 200 m ja kaltevuus 2,5 %, alkaa heti Vierumäen LAM-pisteen (LAM 601) jälkeen.

Raskaiden ajoneuvojen nopeudet hidastuvat ylämäessä merkittävästi: mittausajojen perusteella nopeudet olivat alimmillaan 69–84 km/h, eikä hitaiden ajoneuvojen ohittaminen ole mahdollista. Perjantain menoliikenteen videokuvauksista (22.8.2003) voitiin selvästi havaita, että yhtenäisen jonon muodostuminen alkoi klo 16.17 asuntovaunua vetäneen henkilöauton ajettua mäkeä ylös nopeudella 75 km/h (LAM-piste). Videokuvauksista havaittiin myös, että Vierumäen 2,7 km pitkän ohituskaistan loppupäässä ei ollut ruuhkan syntyhetkellä enempää "kiilaajia" kuin ennen ruuhkautumista.

Vierumäen ylämäen välityskyky pohjoiseen päin on ruuhkautumattomissa olosuhteissa noin 1500 ajon/h. Suurilla liikennemäärillä raskaista ajoneuvoista aiheutuvat häiriöt ruuhkauttavat ajosuunnan helposti, jolloin välityskyky putoaa noin 1150 ajoneuvoon tunnissa. Kun yksikaistaisen osuuden eteläpuolella välityskyky pohjoiseen on noin 1700 ajon/h, alkaa yksikaistaiselle osuudelle ja siitä etelään päin kertyä jonoa, jonka keskimääräinen matkanopeus on vain noin 20–30 km/h. Olettaen ruuhkan tiheydeksi 50 ajon/km, saadaan jonon pituudeksi shokkiaaltoteorian avulla noin 9 kilometriä.

Elokuun lopussa (29.8.2003) kerätyn pistemittausaineiston perusteella ruuhka-ajan keskimääräiseksi viivytykseksi Seestan eritasoliittymän ja yksikaistaisen osuuden välillä arvioitiin noin 8,5 minuuttia. Ruuhkan aiheuttamiksi aikakustannuksiksi kyseisellä välillä arvioitiin noin 8500 €. Ruuhkan aikakustannuksiksi kokonaisuudessaan voidaan siten arvioida noin 10000 € suuruusluokka.

Kyseisen tiejakson välityskykyä olisi voitu parantaa muuttamalla ohituskaistojen sijoittelua niin, että ainakin ylämäen jyrkin osa on ohituskaista-alueella. Välityskyvyn parannukseksi sekä ruuhkautumattomissa olosuhteissa että ruuhkassa voidaan arvioida noin 150 ajon/h. Lisäksi muutos vähentää ruuhkautumisesta aiheutuvia liikenteen häiriöitä. Parannuksella voitaisiin merkittävästi lyhentää ruuhkan aiheuttamia jonoja ja ruuhkan kestoja. Sujuvuutta voitaneen parantaa myös rajoittamalla raskaiden ajoneuvojen pääsyä tieosalle vilkkaimpana aikana. Välityskykyongelmia ei voida kuitenkaan kokonaan poistaa ennen moottoritien valmistamista.

Nyckelord: trafikflöde, trafikundersökningar, hastighet, omkörningsfält, omkörning, köbildning, trafikstockning

SAMMANFATTNING

Den 25 km långa trefältsvägen på riksväg 4 mellan Lahtis och Heinola har en ÅDT på över 12000 f/dygn och en SDT på över 15000 f/dygn. Trafiken stockar sig för flera timmar under veckoslutens rusningstrafik. Förutom stora trafikflöden och ofördelaktig väggeometri har man framfört misstankar om att fredagarnas trafikstockningar kan bero på fordon som "kilar" in sig i köerna på höger körfält i slutet av det 2,7 km långa omkörningsfältet före Vierumäki.

I denna utredning undersöktes reshastigheter och omkörningar på trefältsvägen samt orsaker till fredagarnas trafikstockningar. Resultaten baserar sig på fältmätningar: registernummerundersökningar, punktmätningar, videofilmning av rusningstrafik från broar samt körning efter långträdare med instrumenterad bil. Dessutom användes data från den automatiska trafikmätningpunkten (LAM 601) strax söder om Vierumäki trafikplats.

I dagstrafik är reshastigheten mellan Lahtis och Heinola över 95 km/h i båda körriktningarna ($Q < 600$ f/h). I veckoslutens rusningstrafik är hastigheten i den livligare riktningen klart lägre: på fredagar 40–50 km/h kl. 17.00–19.15 ($1\,100 < Q < 1\,650$ f/h) och på söndagar 65–75 km/h kl. 16.00–19.30 ($1\,000 < Q < 1\,750$). Hastighetsminskningen inträffar på olika sträckor beroende på om det är fråga om fredags- eller söndagstrafik: på fredagar stockar sig sträckan mellan Ahtiala och Vierumäki, på söndagar sträckan mellan Heinola och Vierumäki. Sänkning av hastighetsnivån återspeglar sig på fredagar också på omkörningarna. Omkörningsmängden mellan Ahtiala och Vierumäki är mångfaldig jämfört med sträckan mellan Vierumäki och Heinola.

Resultaten pekar på att det kritiska stället i riktning mot Heinola från kapacitetssynpunkt sett är den cirka 2 km långa enfältiga uppførsbacken strax innan Vierumäki trafikplats. Uppførsbackens lutning är i medeltal 1,5 %. Det brantaste stället, vars längd är cirka 200 m och lutning 2,5 %, börjar genast efter den automatiska trafikmätningpunkten.

De tunga fordonens hastigheter minskar avsevärt i uppførsbacken: de tunga fordonens hastigheter var som lägst 69–84 km/h i den enfältiga uppførsbacken, där det är omöjligt att köra om. På videobanden från en augustifredags rusningstrafik kunde man klart se, att en sammanhängande kö började bildas kl. 16.17, då en personbil med husvagn kört uppför backen med en hastighet av 75 km/h i LAM-punkten. Videobanden visade också, att det inte fanns flera "kilande" fordon i slutet av det långa omkörningsfältet före Vierumäki (strax före uppførsbacken) vid tidpunkten för stockningens uppkomst, jämfört med vad det fanns innan.

Kapaciteten i uppførsbacken före Vierumäki är cirka 1500 f/h i ostörd trafik. Vid höga trafikflöden leder störningar förorsakade av tunga fordon lätt till att körriktningen norrut uppför backen stockar sig, varvid kapaciteten sjunker till cirka 1150 f/h. Då kapaciteten söder om den enfältiga sträckan är cirka 1700 f/h, börjar det bildas en kö på den enfältiga sträckan och därifrån bakåt söderut. Köns genomsnittliga reshastighet är endast 20–30 km/h. Om man antar, att trafiktätheten i kön är 50 f/km, får man med hjälp av stötvägsteori en kölängd på cirka 9 km.

Enligt mätningarna från en fredag i slutet av augusti 2003 kunde man uppskatta den genomsnittliga fördröjningen på sträckan mellan Seesta trafikplats och den enfältiga flaskhalsen vid Vierumäki under rusningstid till cirka 8,5 minuter. Tidskostnaderna förorsakade av stockningen på ifrågavarande sträcka uppskattades till cirka 8500 euro. De totala tidskostnaderna för fredagsstockningen kan därmed uppskattas vara av storleksordningen 10000 euro.

Kapaciteten på ifrågavarande vägsträcka kunde förbättras genom att ändra placeringen av omkörningsfälten, så att åtminstone den brantaste delen av uppførsbacken skulle ha omkörningsfält. Kapacitetsförbättringen både i ostörda trafikförhållanden och under rusningstid kan uppskattas till cirka 150 f/h. Dessutom skulle trafikstörningar orsakade av trafikstockningen minska. Förbättringen skulle avsevärt förkorta köerna och vägen skulle vara stockad en kortare tid. Framkomligheten kunde troligen också förbättras genom att begränsa tunga fordons tillträde till vägsträckan under den livligaste tidpunkten. Kapacitetsproblemen kan dock inte helt avlägsnas innan motorvägen blir färdig.

Keywords: traffic flow, traffic studies, speed, passing lanes, overtaking, platooning, congestion

SUMMARY

The average daily traffic on the 25 km long three-lane road section between Lahti and Heinola on main road 4 is over 12,000 veh/day and the summer average daily traffic is over 15,000 veh/day. During weekend peaks the traffic is very congested for several hours. Besides high traffic flows and poor road geometry, car drivers cutting in from the passing lane into the platoon in the basic lane at the end of the 2,7 km long passing lane at Vierumäki have been suggested to be the causes for the congestion.

In this research work travel speeds and overtaking rates on the three-lane road and causes for the congestion during Friday peak traffic were investigated. The results are based on field measurements. The measurement methods were the license plate method, point measurements, video recording from bridges over the three-lane road, and driving behind trucks with an instrumented car. In addition, data from an automatic traffic measurement point just south of the Vierumäki interchange were used.

In daytime traffic the travel speeds on the three-lane road are higher than 95 km/h in both directions of ($Q < 600$ veh/h). In weekend peak traffic the travel speed in the main direction is remarkably lower: on Fridays 40–50 km/h at 17:00–19:15 ($1100 < Q < 1650$ veh/h) and on Sundays 65–75 km/h at 16:00–19:30 ($1,000 < Q < 1,750$ veh/h). The decrease of the speed level is observed on different road sections on Fridays and Sundays. On Fridays the road section between Ahtiala and Vierumäki is congested, on Sundays the section between Heinola and Vierumäki. The decrease of the speed level on Fridays is also affecting the overtaking rates. On Fridays the overtaking rate between Ahtiala and Vierumäki is multifold compared to the overtaking rate between Vierumäki and Heinola.

The results showed that the critical section towards Heinola from the capacity point of view is the about 2 km long uphill road section with only one lane in the uphill direction just before Vierumäki interchange. The average grade of the uphill is 1,5 %. The steepest section, which is about 200 m long and has a grade of 2,5 %, begins immediately after the automatic traffic measurement point (LAM 601).

The speeds of the heavy vehicles decrease remarkably on the uphill road section: the lowest speeds of the trucks were 69–84 km/h on the single lane, where overtaking of slower vehicles is not allowed. From the video tapes from Friday peak traffic it can clearly be seen, that a continuous platooning begins at 16:17, after a passenger car with a caravan trailer moving uphill has passed the automatic measurement point with a speed of 75 km/h. It can also be observed, that the number of vehicles, cutting in from the passing lane into the platoon in the basic lane at the end of the 2,7 km long passing lane just before the uphill section, were about the same when the congestion started as it was before the congestion.

The capacity of the uphill road section just south of the Vierumäki interchange is about 1,500 veh/h at free flow. At high flow rates low-performance heavy vehicles easily cause congestion in the uphill direction, in which case the capacity of the uphill road section decreases to about 1,150 veh/h. As the capacity upstream of the single lane road section is about 1,700 veh/h, the platoon formation starts from the bottleneck on the single lane section moving upstream. The average travel speed of the platoon is only 20–30 km/h. If it is assumed that the traffic density is 50 veh/km, the length of the platoon is about 9 km according to shock wave theory.

The average delay caused by the congestion on the road section between Seesta interchange and the bottleneck on the uphill road section at Vierumäki was estimated to be about 8,5 minutes. The time costs caused by the congestion on this road section were estimated to about 8,500 €. As a whole, the time costs of the congestion can therefore be estimated to the magnitude of about 10,000 €.

The capacity of the road section in question could be improved by changing the three-lane highway design so that the steepest section of the uphill would have a passing lane. The improvement in capacity can be estimated to be about 150 veh/h, both in free flow traffic and during congestion. In addition, the change would reduce incidents caused by the congestion. The improvement would also remarkably shorten the platoons and the duration of the congestion. The traffic performance could also possibly be improved by prohibiting trucks from entering the road section during peak traffic. However, the capacity problems cannot be completely removed until the three-lane road section is widened to a freeway cross-section.

ESIPUHE

Moottoriliikennetiellä välillä Lahti–Heinola on vuodesta 1993 ollut käytössä ohituskaistatie, jolla on yhteensä 14 ohituskaistaa (7 pohjoiseen ja 7 etelään). Tieosan KVL on yli 12000 ajon/vrk ja KKVL yli 15000 ajon/vrk. Ohituskaistatien on havaittu ruuhkautuvan erityisesti kesäperjantaisin Vierumäen eteläpuolella usean tunnin ajaksi, varsinkin sen jälkeen kun moottoritie välille Järvenpää–Lahti valmistui vuonna 1999. Rakennustyöt tien muuttamiseksi moottoritieksi onkin suunniteltu alkaviksi kesällä 2004 ja moottoritie avattavaksi liikenteelle viimeistään vuonna 2006.

Tämän työn tavoitteena on selvittää Lahti–Heinola ohituskaistatien matkanopeudet ja ohitusmäärät sekä arvioida Vierumäen kohdalla perjantain menoliikenteessä tapahtuvan ruuhkautumisen syitä ja kuvata ruuhkautumisprosessia. Tulokset perustuvat maastomittauksiin. Saadun tiedon perusteella Tiehallinto voi arvioida mahdollisuuksia parantaa tiestön toimivuutta ja välityskykyä vastaavan tyyppisissä tilanteissa.

Selvitys on osa Tiehallinnon strategista projektia S12 Pääteiden parantamiskorkeakoulun liikennelaboratoriolta. Tilaajan yhdyshenkilönä toimi Pauli Velhonoja. Selvityksen ovat TKK:ssa tehneet DI Paula Tuovinen, TkT R. Tapio Luttinen ja DI Åsa Enberg. Maastomittauksiin ja videoaineistojen käsittelyyn on osallistunut lisäksi laboratoriohenkilökuntaa ja tutkimusapulaisia.

Helsingissä huhtikuussa 2004

Tiehallinto
Liikennetekniikka

Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANFATTNING	4
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
1 TAUSTA	11
2 MAASTOMITTAUSMENETELMÄT JA -AJANKOHDAT	13
2.1 Tiejakson kuvaus	13
2.2 Rekisteritunnustutkimus	15
2.3 Perjantain menoliikenteen videokuvaus	15
2.4 Ajot ajoanalysointiautolla	19
2.5 Pistemittaukset HI-STAR -laskentalaitteilla	19
2.5.1 Mittausmenetelmän kuvaus	19
2.5.2 Liikennetiheys	21
3 TULOKSET	25
3.1 Rekisteritunnustutkimus ja LAM-pisteen tiedot	25
3.1.1 Liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen osuuden ajallinen vaihtelu	25
3.1.2 Matkanopeuden ja pistenopeuden ajallinen vaihtelu	29
3.1.3 Matkanopeuden ja pistenopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä	35
3.1.4 Ohitusmäärät ja -jakaumat	40
3.1.5 Ohitustiheydet	44
3.2 Perjantain menoliikenteen videokuvaus	48
3.2.1 Ruuhkan muodostumisen ja purkautumisen seuranta videonauhoilta ja LAM-pisteen tiedoista	48
3.2.2 Vierumäen ohituskaistan loppuosan käyttö	52
3.3 Ajot analysointiautolla	53
3.4 Pistemittaukset HI-STAR -laskentalaitteilla	54
3.4.1 Keskinopeudet	54
3.4.2 Liikennemäärät	61
3.4.3 Liikennetiheys	71
3.4.4 Nopeus-liikennemäärä -kuvaajat	73
3.4.5 Liikennetiheys-liikennemäärä -kuvaajat	79
3.4.6 Jonon pituus	82
4 PÄÄTELMÄT	85
5 KIRJALLISUUSLUETTELO	87

1 TAUSTA

Moottoriliikennetiellä Lahden ja Heinolan välillä on ollut vuodesta 1993 lähtien käytössä ohituskaistatie (kuva 1). Ohituskaistatien pituus on noin 25 km ja sillä on seitsemän ohituskaistaa molempiin ajosuuntiin. Tiesosa on vilkasliikenteinen: KVL on yli 12000 ajon/vrk ja KKVL yli 15000 ajon/vrk.



© Genimap Oy, Lupa L4356

Kuva 1. Lahden ja Heinolan välisen ohituskaistatien sijainti.

Lahden ja Heinolan välillä on mitattu matkanopeuksia ja ohitusmääriä vuonna 1995. Tämän jälkeen Järvenpään ja Lahden välille on valmistunut moottoritie, joten liikennetilanne Lahden pohjoispuolella on muuttunut. Liikennemäärät ovat myös kasvaneet 1990-luvun puolivälin lukemista ja liikenteen sujuvuus on huonontunut entisestään erityisesti kesäviikonloppuisin.

Lahti–Heinola ohituskaistatien on havaittu ruuhkautuvan perjantain menoliikenteessä Vierumäen eteläpuolella usean tunnin ajaksi. Hitaasti mateleva ajoneuvojono saattaa olla kilometrien mittainen ja noin 2 km Vierumäen eteläpuolella olevan LAM-pisteen mukaan nopeustaso on ajoittain alle 50 km/h. Ruuhkan aiheuttajiksi on suuren liikennemäärän lisäksi epäilty pitkän ohitus-

kaistan loppupäässä peruskaistalle palaavia "kiilaajia", jotka saavat aikaan häiriöitä liikennevirtaan. Toinen epäily on, että Vierumäen eteläpuolella oleva noin 2 kilometrin pituinen ylämäki pudottaa raskaan liikenteen ajonopeudet alhaisiksi. Ylämäki on yksikaistainen pohjoiseen päin, joten ohittaminen ei ole mahdollista ja vilkasliikenteisenä aikana vaikutus ulottuu nopeasti liikennevirrassa taaksepäin.

Tiejakson ruuhkautumisella tarkoitetaan tilannetta, jossa liikenteen kysyntä ylittää välityskyvyn. Välityskyky puolestaan tarkoittaa suurinta liikennemäärää, jonka tiejakso voi ylläpitää vallitsevissa tie- ja liikenneolosuhteissa. Ylikysyntätilanne voi tapahtua kyseisellä tiejaksolla, tai edempänä sijaitsevan "pullonkaulan" aiheuttama ruuhkautuminen voi ulottua tarkasteltavalle tiejaksolle. Ruuhkautuminen näkyy suurena ajoneuvotiheytenä ja alhaisena keskinopeutena. Ruuhka päättyy, kun liikenteen kysyntä palaa välityskykyä alhaisemmalle tasolle ja ylikysynnän aiheuttama jono on purkautunut.

Tien palvelutason nostamiseksi koko tieosuus Lahti–Heinola on tarkoitus parantaa moottoritieksi rakentamalla nykyisen tien viereen toinen ajorata. Hankkeen tiesuunnitelma on valmistunut syyskuussa 2002 ja se on tielain mukaisessa käsittelyssä. Eduskunta on myöntänyt hankkeelle aloitusrahaa miljoona euroa vuodelle 2003. Uusi moottoritie avattaneen liikenteelle vuonna 2005. Moottoritie tarjoaa liikenteelle riittävän välityskyvyn.

Kaksikaistaisten teiden välityskykyä on aiemmin selvitetty Suomessa mm. keräämällä mittaustietoa LAM-pisteistä vuosilta 1997 ja 1998 (Luttinen 2001). Tutkimuksen perusteella arvioitiin kaksikaistaisen tien yhden kaistan välityskyvyksi noin 1700 ajon/h, joka saavutetaan kriittisellä ajoneuvotiheydellä noin 20 ajon/km. Huonot ohitusmahdollisuudet alentavat välityskykyä niin, että kaksikaistaisella tiellä molempien kaistojen yhteinen välityskyky voi olla maksimissaan 3200 ajon/h. Arviot perustuvat sekä amerikkalaiseen Highway Capacity Manualliin (Transportation Research Board 2000) että suomalaisiin mittaustuloksiin. Ruuhkautuneissa olosuhteissa välityskyky näyttäisi putoavan noin 1300 ajoneuvoon tunnissa. Esitetyt välityskykyarviot perustuvat kuitenkin hyvin vähäiseen mittausaineistoon. Niinpä tässä tutkimuksessa kerätyllä aineistolla tarkastellun tiejakson liikennevirran ominaisuuksista on laajempaa mielenkiintoa.

Tämän työn tavoitteena on selvittää Lahti–Heinola ohituskaistatien matkanopeudet ja ohitusmäärät sekä arvioida Vierumäen kohdalla perjantain menoliikenteessä tapahtuvan ruuhkautumisen syitä ja kuvata ruuhkautumisprosessia. Työn tulokset perustuvat maastomittauksiin. Saadun tiedon perusteella Tiehallinto voi arvioida mahdollisuuksia parantaa välityskykyä pienillä toimenpiteillä vielä ennen moottoritien valmistumista.

Maastomittausmenetelminä käytettiin rekisteritunnustutkimusta, pistemittauksia HI-STAR -laskentalaitteilla sekä perjantain menoliikenteen videokuvausta ylikulkusilloilta. Lisäksi tarkasteltiin koeluontoisesti raskaiden ajoneuvojen nopeuksia seuraamalla niitä ajoanalysointiautolla. Tarkasteluissa käytettiin myös Vierumäen eteläpuolella olevan LAM-pisteen aineistoja.

2 MAASTOMITTAUSMENETELMÄT JA -AJANKOHDAT

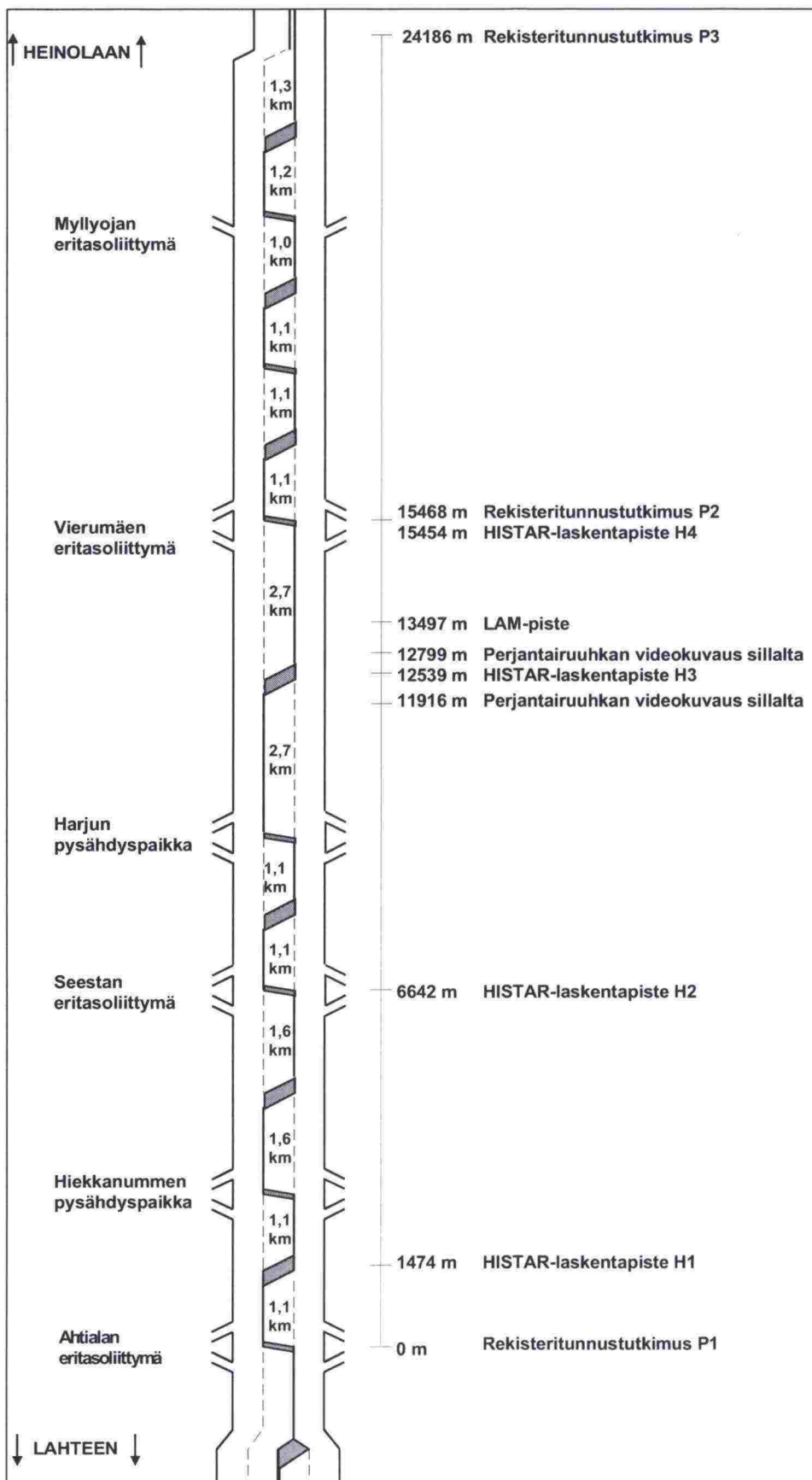
2.1 Tiejakson kuvaus

Lahden ja Heinolan välisen ohituskaistatien pituus on noin 25 kilometriä. Ohituskaistatie alkaa etelässä moottoritiestä. Poikkileikkaus kapenee kolmikaistaiseksi siten, että Heinolan suunnan toinen kaista päättyy. Kolmikaistaisen tiejakson alku on noin 1,7 km Ahtialan eritasoliittymän eteläpuolella ja ensimmäinen ohituskaista Heinolan suuntaan alkaa Ahtialan liittymän kohdalla. Ahtialan liittymästä etelään päin on kaksi kaistaa, jotka jatkuvat moottoritiele Lahden suuntaan. Pohjoisessa kolmikaistainen tieosuus alkaa kaksikaistaiselta osuudelta. Poikkileikkaus levenee kolmikaistaiseksi Lahden suunnan ensimmäisen ohituskaistan alkaessa.

Ohituskaistatiellä on seitsemän ohituskaistaa molempiin ajosuuntiin (*kuva 2*). Ohituskaistojen pituudet vaihtelevat 1,0–2,7 km. Molempiin ajosuuntiin on viisi ohituskaistaa, joiden pituus on 1,0–1,3 km sekä yksi 1,6 km:n ja yksi 2,7 km:n pituinen ohituskaista.

Kolmikaistaisella tiejaksolla on neljä eritasoliittymää (Ahtiala, Seesta, Vierumäki ja Myllyoja) ja kaksi pysähdyspaikkaa tien molemmin puolin (Hiekanummi ja Harju). Ohituskaistat on sijoitettu siten, että kaikkien liittymien kohdalla on alkavien ohituskaistojen välinen sulkualue. Siten kiihdytyskaistojen kohdalla on aina kaksi kaistaa saapuvan liikenteen suuntaan, mikä helpottaa tielle liittymistä.

Tiejakson geometria on tasaukseltaan pääosin melko loiva. Jyrkin tiekohta on Vierumäen eritasoliittymän kohdalla oleva mäki, jossa pituuskaltevuus on suurimmillaan 2,5 % mäen etelärinteessä. Jyrkin kohta alkaa heti Vierumäen LAM-pisteen (LAM 601) jälkeen Heinolan suuntaan ajettaessa ja sen pituus on noin 200 m. Heinolan suuntaan ylämäki on koko pituudeltaan (noin 2 km) yksikaistainen.



Kuva 2. Lahden ja Heinolan välinen ohituskaistatie vt 4:lla ja maastomittauspisteiden sijainti.

2.2 Rekisteritunnustutkimus

Rekisteritunnustutkimus tehtiin videokuvaamalla molempien ajosuuntien liikennettä kolmessa poikkileikkauksessa. Kohteena oli koko ohituskaistatie. Videokamerat sijoitettiin tien reunaan kaksikaistaisiin poikkileikkauksiin heijastintolpan tai kaiteen taakse. Eteläisin kamerapiste (P1) oli Ahtialan eritasoliittymän kohdalla juuri ennen ensimmäistä ohituskaistaa pohjoiseen päin ajettaessa. Keskimmäinen kamerapiste (P2) oli Vierumäen eritasoliittymän kohdalla ja pohjoisin kamerapiste (P3) noin 200 metriä ennen ensimmäistä ohituskaistaa etelään päin ajettaessa. Kamerapisteiden sijainti on esitetty *kuvassa 2*.

Rekisteritunnustutkimuksen videokuvaukset tehtiin tiistaina 3.6. noin klo 09.30–15.30 sekä perjantaina 13.6. ja sunnuntaina 15.6. noin klo 13.30–21.30. Kaikkina päivinä säätila oli aurinkoinen ja lämpötila yli +20 °C. Alun perin viikonlopun meno- ja paluuliikenteen videokuvaukset tehtiin perjantaina 6.6. ja sunnuntaina 8.6., mutta perjantaina satoi ja sunnuntaina poliisi valvoi ohituskaistalla ajavien nopeuksia klo 15.00–17.00, joten kuvaukset uusittiin seuraavana viikonloppuna.

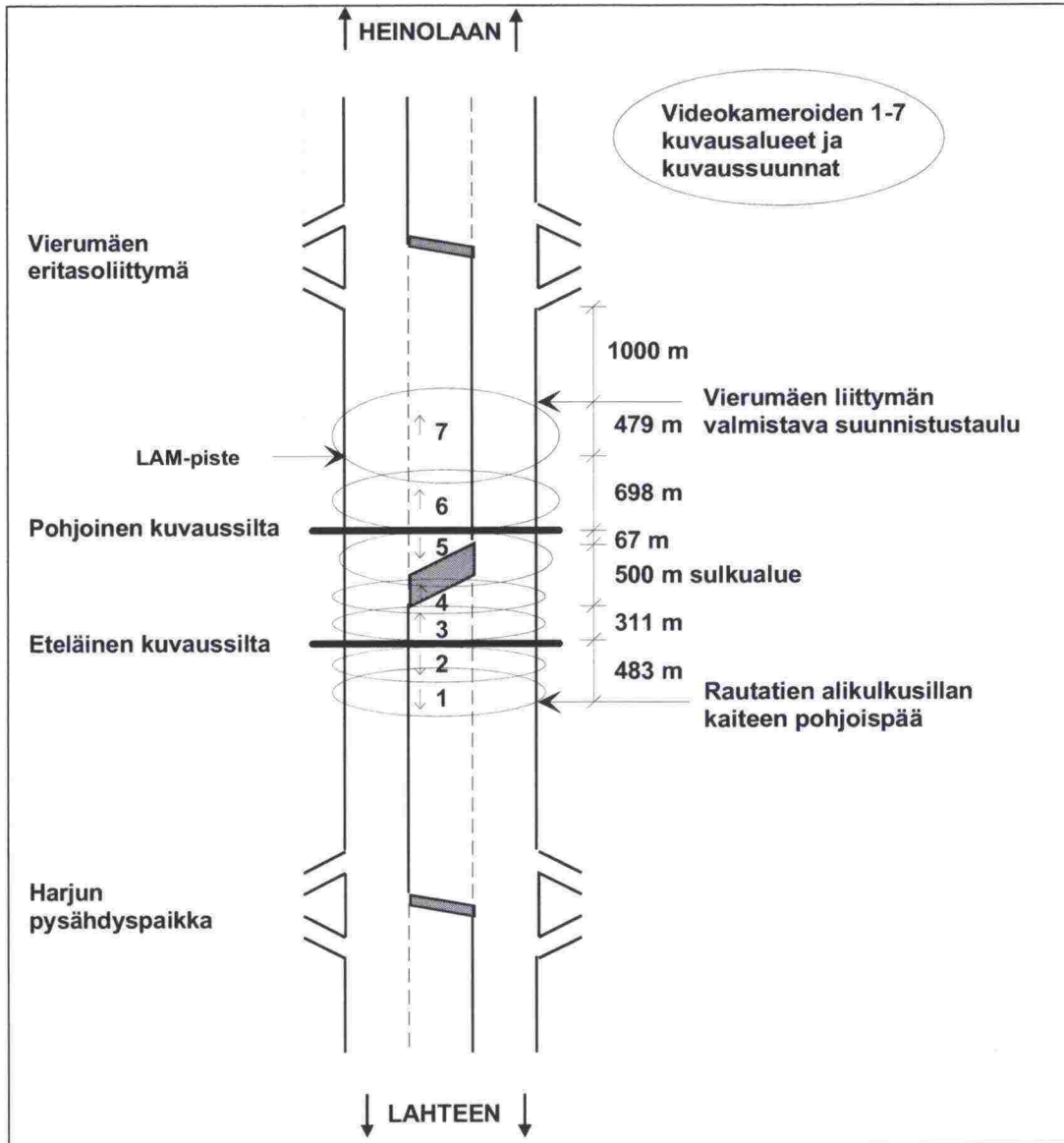
Rekisteritunnustutkimuksella saatiin tietoja ajoneuvojen matkanopeuksista sekä ohitusmääristä.

2.3 Perjantain menoliikenteen videokuvaus

Harjun pysähdyspaikan ja Vierumäen eritasoliittymän välissä on kolme ylikulkusiltaa, joista kahdelta pohjoisimmalta kuvattiin perjantain menoliikennettä 22.8. noin klo 14.00–21.00. Sillat sijaitsevat kahden pitkän erisuuntaisen ohituskaistan välisen sulkualueen molemmin puolin (*kuva 2*). Silloilta on hyvä näkyvyys molempiin suuntiin. Pohjoiselta sillalta kuvattiin kolmella videokameralla, kahdella pohjoiseen ja yhdellä etelään. Eteläiseltä sillalta kuvattiin kahdella kameralla molempiin suuntiin. Samaan suuntaan kuvanneet kamerat tarkennettiin eri etäisyyksille.

Videonauhoilta tarkasteltiin Heinolan suunnan pitkän ohituskaistan loppuosan käyttöä ruuhkan muodostumisvaiheessa. Nauhoilta on myös mahdollista tarkkailla ruuhkan syntymistä ja jonopituuden kasvamista.

Ruuhkan muodostumista kuvanneiden 7 videokameran kuvausalueet ja -suunnat on esitetty *kuvassa 3*. Kuvausalue oli noin 2,5 km pituinen ulottuen etelästä rautatien alikulkusillalta pohjoiseen Vierumäen eritasoliittymän valmistavaan suunnistustauluun asti.



Kuva 3. Perjantain menoliikenteen videokuvauspaikat Harjun pysähdyspaikan ja Vierumäen eritasoliittymän välissä.

Seuraavilla kahdella sivulla on esitetty näkymä jokaisesta kamerasta. Kameroiden numerot ovat ylläolevasta kuvasta 3. Kuvausnäkyymiin on myös lisätty joitakin etäisyysmittoja perspektiivin havainnollistamisen vuoksi.

ETELÄINEN KUVAUSSILTA, KUVAUS ETELÄÄN

Kamera 1:



Rautatiesillan kaiteen pohjoispäästä opastusmerkkiin 262 m.

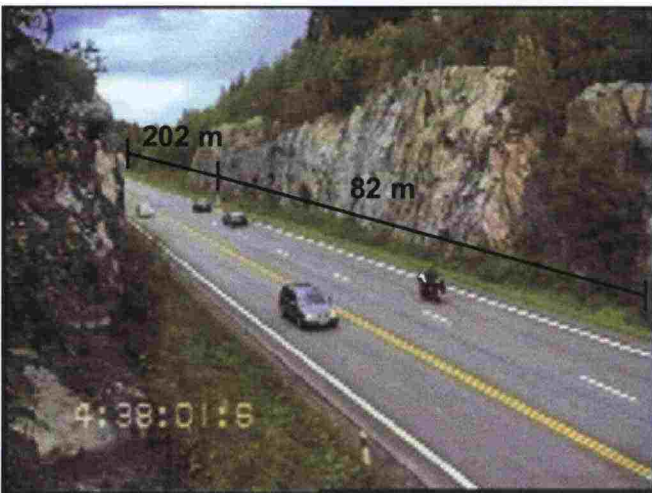
Kamera 2:



Opastusmerkistä ajokaistaopastusmerkkiin 122 m josta, kuvausalueen etualalle 64 m.

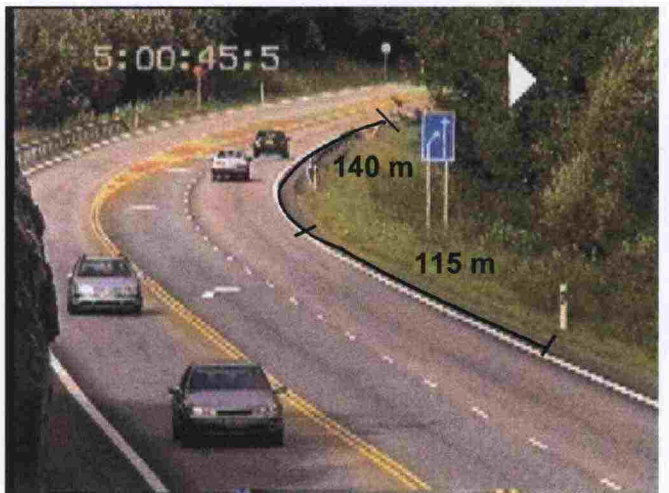
ETELÄINEN KUVAUSSILTA, KUVAUS POHJOISEEN

Kamera 3:



Kuvausalueen etureunasta heijastintolppaan 82 m, josta ohituskaistan päättymismerkkiin 202 m.

Kamera 4:



Heijastintolpasta (eri tolppa kuin viereisessä kuvassa) ohituskaistan päättymismerkkiin 115 m, josta loppukii-
lan kohdalla olevan kaiteen loppuun 140 m.

POHJOINEN KUVAUSSILTA, KUVAUS ETELÄÄN

Kamera 5:



Loppukiilan kohdalla olevan kaiteen lopusta heijastintolppaan 259 m, josta vastakkaisen ajosuunnan ohituskaistan päättymismerkkiin 103 m.

POHJOINEN KUVAUSSILTA, KUVAUS POHJOISEEN

Kamera 6:



Kuvausalueen etualalta heijastintolppaan 64 m, josta seuraavaan heijastintolppaan 88 m, josta vastakkaisen ajosuunnan ajokaistaopastusmerkkiin 151 m.

Kamera 7:



Heijastintolpasta vastakkaisen ajosuunnan ajokaistaopastusmerkkiin 151 m (sama kuin viereisen kuvan viimeinen osuus), josta Vierumäen eritasoliittymän valmistavaan suunnistustauluun 850 m.

2.4 Ajot ajoanalysointiautolla

Raskaiden ajoneuvojen nopeuksia tarkasteltiin kokeiluluontoisesti seuraamalla ajoneuvoja analysointiautolla. Mittaukset tehtiin tiistaina 12.8. ja perjantaina 15.8. vähäliikenteisenä aikana. Lähtöpaikkana oli useimmiten Seestan eritasoliittymän risteysilta, jolla odotettiin sopivaa kohdetta ja lähdettiin ajamaan perään. Toinen lähtöpaikka oli Harjun pysähdyspaikka, jolla on raskaiden ajoneuvojen kuljettajien suosima taukopaikka. Mittausajot päätettiin ajamalla ulos Vierumäen eritasoliittymästä.

Mittausajoilla saatiin tietoja raskaiden ajoneuvojen nopeuksista Vierumäen eritasoliittymää edeltävässä ylämäessä.

2.5 Pistemittaukset HI-STAR -laskentalaitteilla

2.5.1 Mittausmenetelmän kuvaus

Mittaukset toteutettiin kahtena perjantai-iltana: 29. 8. 2003 ja 5. 9. 2003. Ensimmäisenä perjantaina mittaus alkoi kello 15. Koska ruuhkautuminen alkoi juuri samaan aikaan, seuraavana perjantaina mittaus aloitettiin jo kello 14. Mittaus kesti kello 22:een. Ilmaisimien toimintahäiriöiden vuoksi jälkimmäisenä perjantaina saatiin ilmaisintietoja vain kahdelta ilmaisimelta (H3 ja H4). Toinen näistä ilmaisimista (H4) vioittui kello 21 jälkeen.

Mittauslaitteina käytettiin neljää päällysteeseen ruuvaamalla kiinnitettävää HI-STAR -ilmaisinta. Ensimmäinen ilmaisimien (H1) sijaitsi Lahdessa Ahtialan eritasoliittymän pohjoispuolella (kuva 2). Seuraava ilmaisimien (H2) asennettiin Seestan eritasoliittymän kohdalle. Kolmas ilmaisimien (H3) oli Vierumäen eritasoliittymää edeltävän yksikaistaisen osuuden alussa. Neljäs ilmaisimien (H4) oli Vierumäen eritasoliittymän kohdalla, ohituskaistaosuuden alussa. Lisäksi vastaavilta ajanjaksoilta kerättiin myös tietoa LAM-pisteestä, joka sijaitsi yksikaistaisella osuudella HI-STAR -ilmaisimien H3 ja H4 välissä. Jälkimmäiseltä mitauspäivältä saatiin siten tietoa ilmaisimelta H3 ja H4 sekä LAM-pisteestä. Ilmaisimien väliset etäisyydet on esitetty taulukossa 1. Eritasoliittymissä ilmaisimet sijaitsivat ramppien välissä niin, että poistuva ja saapuva liikenne eivät ylittäneet ilmaisinta.

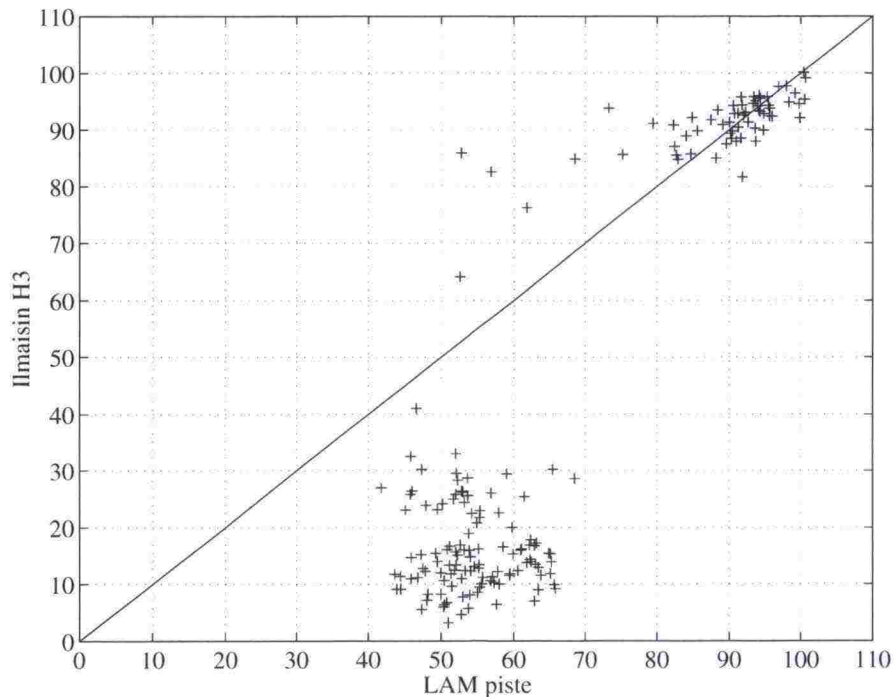
Taulukko 1: Ilmaisimien keskinäiset etäisyydet

Ilmaisimien	Etäisyys H1:stä (m)	Etäisyys edellisestä (m)	Sijainti
H1	0	0	Ahtialan eritasoliittymästä pohjoiseen
H2	5 168	5 168	Seestan eritasoliittymä
H3	11 065	5 897	Yksikaistaisen osuuden alku
LAM	12 023	958	Yksikaistainen osuus
H4	13 980	1 957	Vierumäen eritasoliittymä

LAM-pisteiden keräämiä mittaustietoja voidaan pitää varsin luotettavina. Sen sijaan HI-STAR -ilmaisimien tietojen luotettavuudesta ei ollut käytettävissä selvitystä. Koska ilmaisimien H3 ja LAM-piste olivat samalla yksikaistaisella osuudella vajaan kilometrin etäisyydellä toisistaan, niiden välillä oli mahdollista tehdä karkea vertailu. Suurten nopeuksien osalta tiedoissa ei ollut merkittäviä poikkeamia, mutta HI-STAR -ilmaisimien ilmoitti ruuhka-ajalta huomattavasti alhaisempia nopeuksia kuin LAM-piste. *Kuvassa 4* on esitetty keskimatkanopeuksien vertailu. Tarkastelujakson pituus oli viisi minuuttia. HI-STAR -ilmaisimien kellot oli synkronoitu mutta ei LAM-pisteen kelloa.

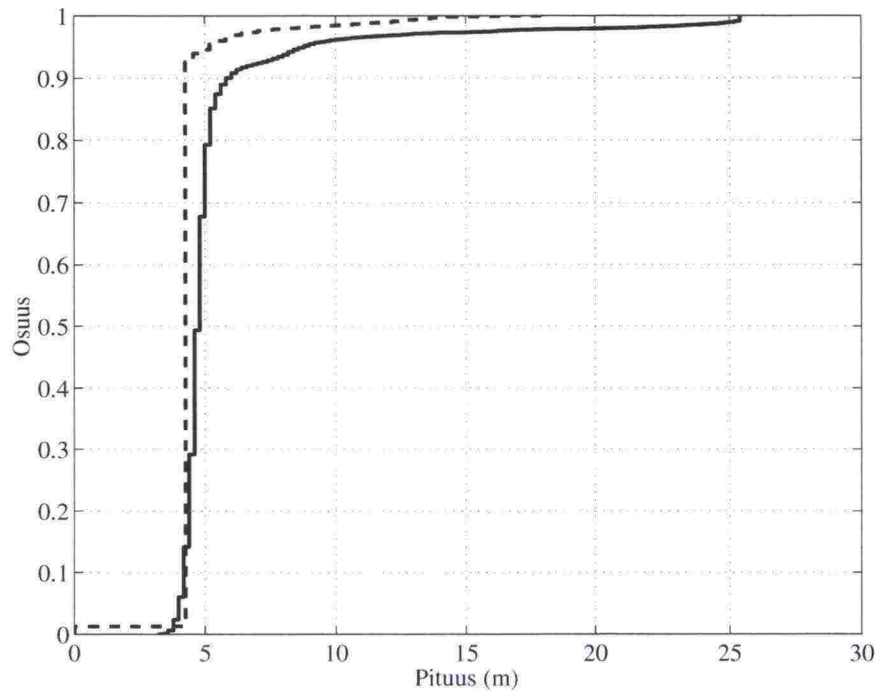
Myös HI-STAR -ilmaisimen antamat tiedot ajoneuvojen pituuksista poikkesivat LAM-pisteen tiedoista (*kuva 5*). Ajoneuvon pituuden aliarviointi johtaa liian alhaiseen nopeusestimaattiin. Koska myös laskennalliset ajoneuvotiheydet nousivat epärealistisen suuriksi (jopa yli 200 ajon/km), oli ilmeistä, että poikkeamat johtuivat pääosin ilmaisinvirheistä eivätkä poikkeavista liikenneolosuhteista. Vastaavanlaisia ongelmia oli muillakin HI-STAR -ilmaisimilla. Niinpä HI-STAR -mittauksiin perustuvia keskinopeuksia (v_m) korjattiin seuraavasti:

$$v_k = 40 + 0,6v_m$$



Kuva 4. Keskimatkanopeudet ohituskielto-osuuden alussa (H3) ja ohituskielto-osuudella sijaitsevassa LAM-pisteessä.

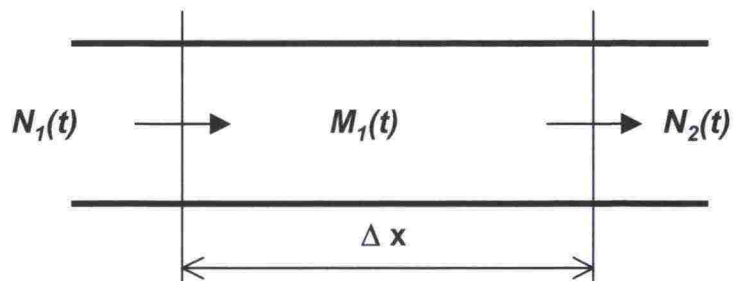
Lausekkeessa v_k tarkoittaa korjattua keskinopeutta (km/h). Tätä korjausta voidaan pitää riittävänä tämän tutkimuksen tarkoituksiin, mutta sitä ei voi yleistää muihin tilanteisiin. Tarkempi vertailu edellyttäisi vertailtavien ilmaisimien asentamista samaan paikkaan.



Kuva 5. Ajoneuvojen pituusjakaumat ohituskielto-osuuden alussa (H3, katkoviiva) ja ohituskielto-osuudella sijaitsevassa LAM-pisteessä (yhtenäinen viiva).

2.5.2 Liikennetiheys

Kuvassa 6 on esitetty tiejakso, jonka pituus on $\Delta x = x_2 - x_1$, ja jonka molemmissa päissä (x_1 ja x_2) on mittauspisteet. Ajanhetkellä t tiejaksolla on $M(t)$ ajoneuvoa. Mittausaika T koostuu n :stä Δt :n pituisesta mittausjaksosta. Yhden mittausjakson $(t - \Delta t, t]$ aikana tiejaksolle saapuu $N_1(t)$ ajoneuvoa ja sieltä poistuu $N_2(t)$ ajoneuvoa.



Kuva 6. Tarkasteltava tiejakso.

Liikennemäärän estimaatit mittauspisteillä ovat

$$q_1(t) = \frac{N_1(t)}{\Delta t}$$

$$q_2(t) = \frac{N_2(t)}{\Delta t}.$$

Liikennemäärän muutos mittauspisteiden välillä on siten

$$\Delta q(t) = q_2(t) - q_1(t) = \frac{N_2(t) - N_1(t)}{\Delta t}.$$

Jos mittauksen alkaessa ($t = 0$) tiejaksolla on $M(0)$ ajoneuvoa, liikennetiheys on

$$k(0) = \frac{M(0)}{\Delta x}.$$

Jos tiejaksolle saapuu tai sieltä poistuu ajoneuvoja vain mittauspisteiden kautta, liikennetiheys hetkellä t on

$$\begin{aligned} k(t) &= \frac{M(t)}{\Delta x} \\ &= \frac{M(t - \Delta t) + N_1(t) - N_2(t)}{\Delta x} \\ &= \frac{M(t - \Delta t) - \Delta q(t)\Delta t}{\Delta x} \\ &= k(t - \Delta t) - \frac{\Delta q(t)\Delta t}{\Delta x}. \end{aligned}$$

Liikennetiheys voidaan siten laskea tämän input–output -tekniikan (May 1990) avulla, kun tunnetaan liikennetiheys mittauksen alkaessa sekä liikennemäärät kullakin Δt :n pituisella tarkastelujaksolla.

Koska liikennetiheys mittauksen alussa ei ole tiedossa, se on arvioitava ilmaisintietojen perusteella. Liikennevirran perusyhtälön mukaan

$$q = kv_s,$$

jossa v_s on liikenteen matkajakauman keskinopeus. Se voidaan estimoida pistenopeuksien harmonisena keskiarvona. Liikennetiheys tiejakson päissä ensimmäisen tarkastelujakson lopussa voidaan siten arvioida liikennemäärän ja keskinopeuden perusteella:

$$k_1(\Delta t) = \frac{q_1(\Delta t)}{v_{s,1}(\Delta t)}$$

$$k_2(\Delta t) = \frac{q_2(\Delta t)}{v_{s,2}(\Delta t)}.$$

Jos liikennetilanne on stabiili (liikenne ei ole ruuhkautunut ja liikennemäärä tiejaksolla on vakio), tiejakson liikennetiheyden alkuarvona voidaan käyttää pistekohtaisten tiheystimaattien keskiarvoa:

$$k(\Delta t) = \frac{k_1(\Delta t) + k_2(\Delta t)}{2}.$$

Lahden ja Vierumäen välillä oli useita ramppiliittymiä, joiden liikennemääriä ei kyetty laskemaan. Lisäksi ilmaisimien laskentatiedoissa saattoi olla vähäisiä virheitä, joiden kumulatiivinen vaikutus saattaisi kuitenkin olla merkittävä. Niinpä tiheystimaattiin kumuloitui merkittäviä virheitä. Niiden eliminoimiseksi mittauspisteiden liikennemääriä korjattiin siten, että liikennetiheys mittauksen lopussa ($T = n\Delta t$) oli sama kuin pistekohtaisten tiheystimaattien keskiarvo

$$k(T) = \frac{k_1(T) + k_2(T)}{2}.$$

Ilmaisimien kumulatiiviset liikennemäärät aikavälillä ($\Delta t, T$) olivat

$$Q_1 = \sum_{i=2}^n N_1(i\Delta t) = \Delta t \sum_{i=1}^n q_1(i\Delta t)$$

$$Q_2 = \sum_{i=2}^n N_2(i\Delta t) = \Delta t \sum_{i=1}^n q_2(i\Delta t).$$

Mittauspisteiden laskentoihin perustuva ajoneuvojen määrän nettomuutos tiejaksolla aikavälillä ($\Delta t, T$) oli siten $Q_1 - Q_2$. Tiheystimaatteihin perustuva nettomuutos puolestaan oli $[k(T) - k(\Delta t)]\Delta x$. Jos ramppiliikenne jätetään huomioon ottamatta, pätee

$$Q_1 - Q_2 = [k(T) - k(\Delta t)]\Delta x.$$

Jos tiheystimaatit $k(\Delta t)$ ja $k(T)$ sekä toisen mittauspisteiden liikennemäärät tiedetään, toisen mittauspisteiden liikennemäärät voidaan korjata tämän yhtälön avulla niin, että kuvattu input-output -malli antaa viimeisen mittausjakson liikennetiheydeksi $k(T)$. Jotta alku- ja lopputilanteen tiheystimaateissakin olisi otettu huomioon mahdollinen ramppiliikenteen vaikutus, liikennemääriä korjattiin ensin niin, että saapuvien ja poistuvien ajoneuvojen kumulatiiviset määrät asetettiin yhtä suuriksi. Korjattava liikennemäärä oli näistä kahdesta pienempi.

Jos mittaus on aloitettu ja lopetettu stabiileissa liikenneolosuhteissa, lausekkeessa $Q_1 - Q_2$ oleva virhe johtuu pääasiallisesti ramppiliikenteen vaikutuksesta. Tällöin kumulatiivisista liikennemääristä Q_1 ja Q_2 suurempi kuvaa luotettavammin tiejakson liikennemäärää. Niinpä korjaus tehdään kasvattamalla sen mittauspisteiden kumulatiivista liikennemäärää, joka lausekkeen $Q_1 - Q_2$ perusteella on liian alhainen. Korjattava liikennemäärä oli sama kuin edellä. Mittauspisteiden 2 korjaus oli

$$Q'_2 = Q_1 - [k(T) - k(\Delta t)]\Delta x.$$

$$q'_2(t) = q_2(t) \frac{Q'_2}{Q_2}, \quad t = 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$$

Vastaavasti mittauspisteen 1 korjaus oli:

$$Q'_1 = Q_2 + [k(T) - k(\Delta t)]\Delta x$$

$$q'_1(t) = q_1(t) \frac{Q'_1}{Q_1}, \quad t = 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$$

Lausekkeissa Q'_i ja $q'_i(t)$ ovat korjatut kumulatiiviset ja mittausjakson liikennemäärät. Tuloksia voidaan pitää kohtuullisen luotettavina silloin, kun ramppiliikenne on vähäistä.

3 TULOKSET

3.1 Rekisteritunnustutkimus ja LAM-pisteen tiedot

3.1.1 Liikennemäärän ja raskaiden ajoneuvojen osuuden ajallinen vaihtelu

Arkipäiväliikenteessä tiistaina klo 09.45–15.30 liikennemäärä oli Heinolan suuntaan 400–600 ajon/h (*taulukko 2*). Lahden suuntaan liikennemäärä oli vastaavana aikana hieman pienempi, 250–500 ajon/h. Suurimmat arvot havaittiin Heinolan suuntaan aamupäivällä (*kuva 7*), kun taas Lahden suuntaan liikennemäärä oli iltapäivällä suurempi kuin aamupäivällä.

Raskaiden ajoneuvojen (peräkärrylliset henkilö- ja pakettiautot, linja-autot, kuorma-autot perävaunulla tai ilman) osuus oli tiistaina molempiin ajosuuntiin koko mittausajan yli 10 %, vaihdellen pääasiassa 15 %:n ja 20 %:n välillä (*kuva 8*). Eniten raskaita ajoneuvoja havaittiin aikajaksossa klo 10.45–11.00, jolloin Heinolaan ajaneista ajoneuvoista joka neljäs ja Lahteen ajaneista joka kolmas oli raskas. Suurin osa raskaista ajoneuvoista oli molemmissa ajosuunnissa perävaunullisia kuorma-autoja. Niiden osuus kaikista ajoneuvoista vaihteli 10 %:n molemmin puolin.

Taulukko 2. Liikennemäärän Q ja raskaiden ajoneuvojen osuuden R vaihteluväli tutkimussuunnan ensimmäisessä mittauspisteessä rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskäytävällä vt 4:llä.

Mittauspäivä ja kellonaika	HEINOLAAN (P1)		LAHTEEN (P3)	
	Q (ajon/h)	R (%)	Q (ajon/h)	R (%)
Tiistai 09.45–15.30	412–584	11,6–26,3	252–476	12,5–31,7
Perjantai 13.30–21.30	488–1656	4,0–19,2	268–832	3,8–17,2
Sunnuntai 13.30–21.30	221–720	3,5–24,1	840–1752	3,9–10,1

Perjantaina liikennemäärä oli klo 13.30–21.30 Heinolan suuntaan 500–1650 ajon/h (*taulukko 2*). Jo ennen klo 14.00 liikennemäärä oli yli kaksinkertainen tiistain liikennemäärään verrattuna (*kuva 7*). Suurimmat menoliikenteen arvot, yli 1600 ajon/h, havaittiin klo 15.30–15.45 ja klo 17.00–17.15. Liikennemäärä oli yli 1000 ajon/h aina klo 19.30 saakka, jonka jälkeen se pieneni arvoon 500 ajon/h klo 21.30 mennessä.

Raskaiden ajoneuvojen osuus oli perjantaina ruuhkasuuntaan 10 %:n paikkeilla klo 15.00 saakka (*kuva 8*). Tästä eteenpäin raskaita oli pääasiassa 5–10 % aina klo 19.00 saakka, jonka jälkeen osuus alkoi taas kasvaa. Suurin osa raskaista ajoneuvoista oli klo 20.15 saakka perävaunullisia henkilö- tai pakettiautoja. Tämän jälkeen perävaunullisten kuorma-autojen osuus oli hieman suurempi. Klo 15.00–19.00 perävaunullisten kuorma-autojen osuus oli pieni, pääasiassa alle 2 % kaikista ajoneuvoista.

Perjantain menoliikennettä vastaan klo 13.30–21.30 ajoi 250–850 ajon/h (*taulukko 2*). Myös Lahden suuntaan liikennemäärä oli perjantaina iltapäivällä (klo 13.30–15.45) suurempi kuin tiistaina, noin puolitoistakertainen (*kuva 7*). Lahden suunnan suurin liikennemäärä, 832 ajon/h, havaittiin klo 15.30–15.45. Tämän jälkeen liikennemäärä pieneni melko tasaisesti arvoon 300 ajon/h mitausten loppuun mennessä.

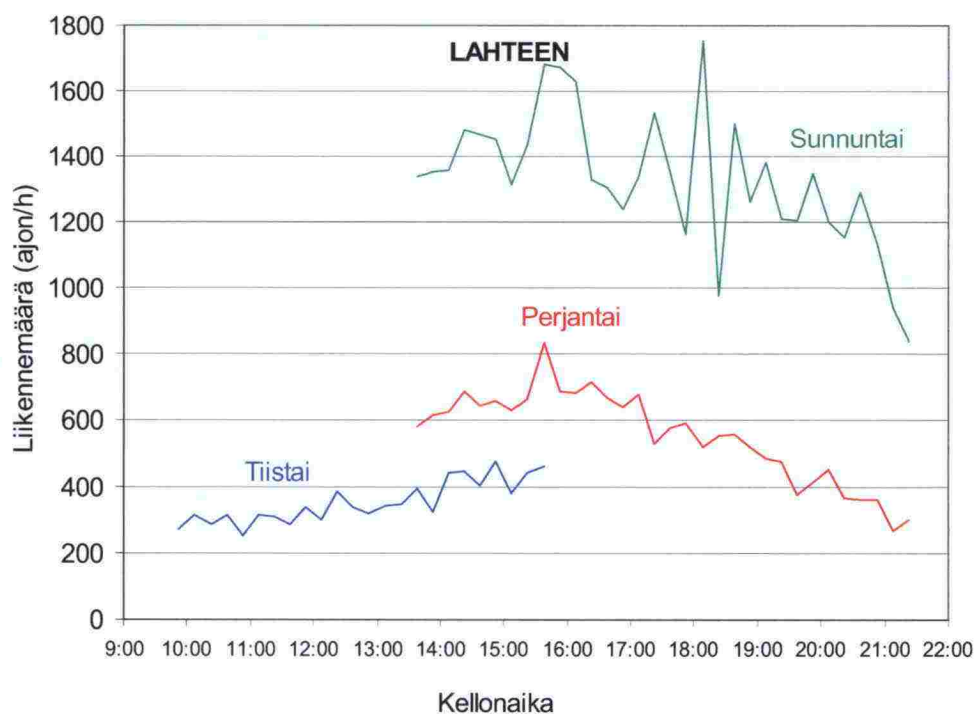
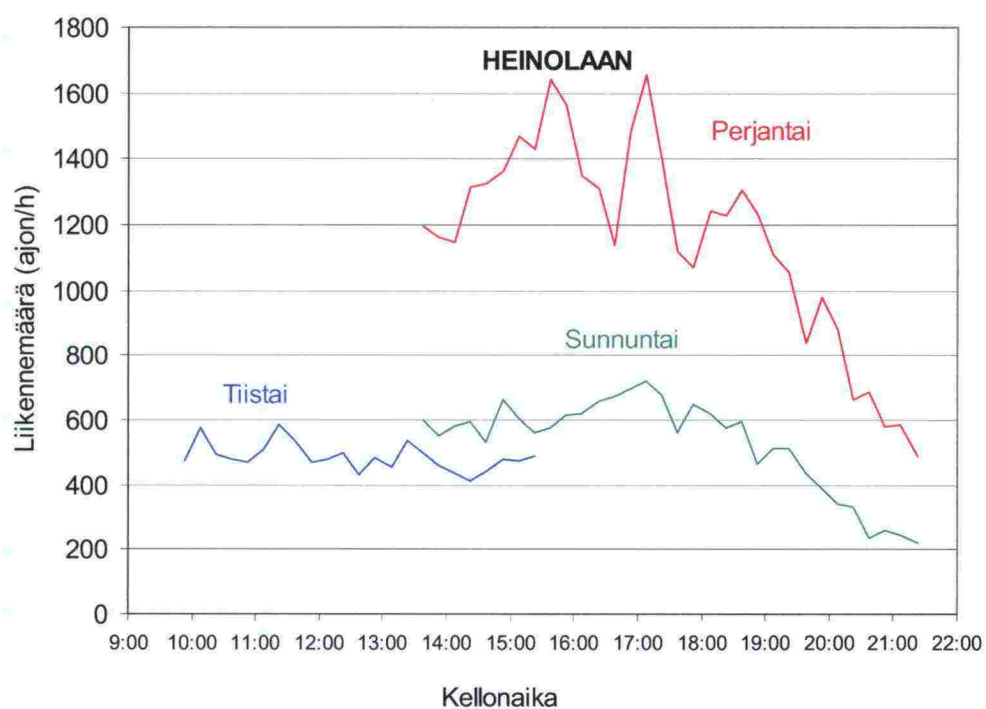
Raskaiden ajoneuvojen osuus oli perjantaina Lahden suuntaan 4–17 %. Klo 17.30 saakka osuus oli pääasiassa yli 10 % ja tämän jälkeen alle 10 % (*kuva 8*). Perävaunullisia kuorma-autoja oli liikkeellä enemmän kuin peräkärjyllisiä henkilö- tai pakettiautoja.

Sunnuntaina klo 13.30–21.30 liikennemäärä oli Lahden suuntaan 850–1750 ajon/h (*taulukko 2*). Liikennemäärä oli iltapäivällä (klo 13.30–15.45) noin kolmikertainen tiistain liikennemäärään verrattuna (*kuva 7*). Suurin paluuliikenteen arvo, 1752 ajon/h, havaittiin klo 18.00–18.15. Lisäksi liikennemäärä oli yli 1600 ajon/h klo 15.30–16.15. Sunnuntain paluuliikenne kesti pidempään kuin perjantain menoliikenne: liikennemäärä laski alle 1000 ajon/h vasta klo 21.00.

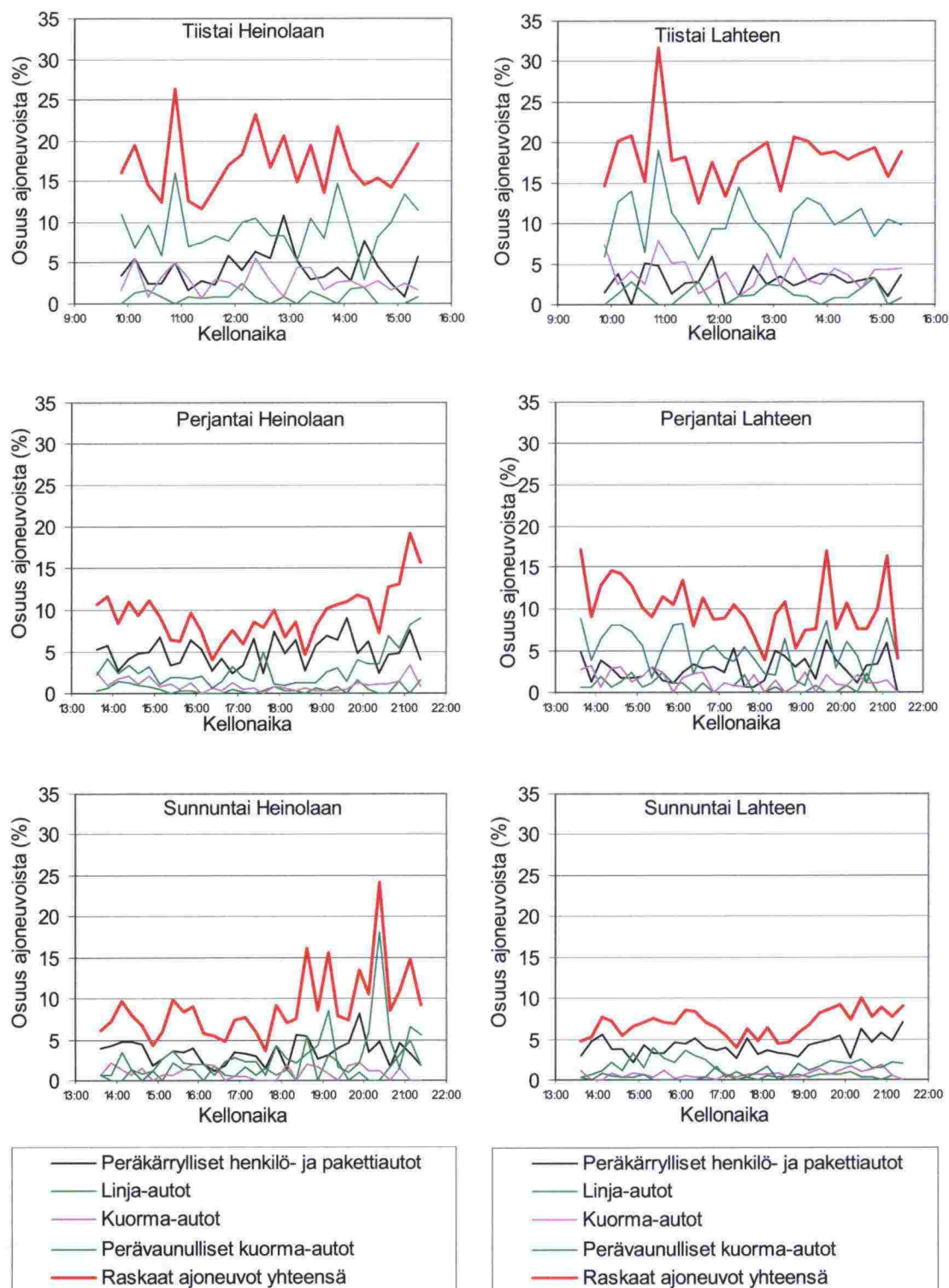
Raskaiden ajoneuvojen osuus oli sunnuntaina Lahden suuntaan 4–10 %. Pie-nimmillään osuus oli klo 17.00–19.00 (*kuva 8*). Suurin osa raskaista oli peräkärjyllisiä henkilö- tai pakettiautoja, kuten perjantain menoruuhkassa. Perävaunullisten kuorma-autojen osuus oli klo 19.00 saakka hyvin pieni, pääasiassa alle 1 % kaikista ajoneuvoista. Klo 19.00 jälkeen osuus vaihteli 2 %:n molemmin puolin.

Sunnuntain paluuliikennettä vastaan klo 13.30–21.30 ajoi 200–700 ajon/h. Ero tiistain liikennemäärään klo 13.30–15.45 ei ollut kovin suuri (*kuva 7*). Suurin arvo havaittiin klo 17.00–17.15, jolloin Heinolaan ajoi 720 ajon/h. Tämän jälkeen liikennemäärä pieneni melko tasaisesti arvoon noin 200 ajon/h mitausten loppuun mennessä.

Raskaiden ajoneuvojen osuus sunnuntain paluuruuhkaa vastaan ajavien joukossa oli klo 18.30 saakka pääasiassa 5–10 % ja siitä eteenpäin yli 10 % (*kuva 8*). Klo 15.00 saakka suurin osa raskaista oli peräkärjyllisiä henkilö- tai pakettiautoja. Klo 15.00 jälkeen perävaunullisten kuorma-autojen osuus oli samaa suuruusluokkaa kuin peräkärjyllisten henkilö- tai pakettiautojen (lukuunottamatta aikajaksoa klo 20.15–20.30, jolloin osuus oli poikkeuksellisen suuri).



Kuva 7. Ajosuunnan ensimmäisen mittauspisteen liikennemäärä rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä Ahtialan ja Heinolan välillä.



Kuva 8. Raskaiden ajoneuvojen osuudet ajosuunnan ensimmäisen mittauspisteen liikennemäärästä rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä Ahtialan ja Heinolan välillä.

3.1.2 Matkanopeuden ja pistenopeuden ajallinen vaihtelu

Tiistain mittauksen aikana matkanopeuden keskiarvo oli 15 minuutin aikajaksoissa Ahtialan ja Heinolan välillä Heinolan suuntaan 95–100 km/h ja Lahden suuntaan 95–101 km/h (taulukot 3 ja 4). Vierumäen ja Heinolan välillä havaittiin molemmissa ajosuunnissa hieman suurempia matkanopeuden keskiarvoja kuin Ahtialan ja Vierumäen välillä. Matkanopeuksien ajallista vaihtelua osoittavasta kuvasta 9 nähdään, että arkipäiväliikenteessä klo 09.45–15.30 matkanopeudessa ei ole havaittavissa mitään systemaattista muutosta. Matkanopeuden keskihajonta oli molemmissa ajosuunnissa pääasiassa 7–10 km/h (kuva 10).

Taulukko 3. Liikennemäärän Q (tutkimusvälin ensimmäisessä pisteessä), matkanopeuden keskiarvon V ja keskihajonnan σ_v vaihteluväli rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohiuskaistatiellä vt 4:llä Heinolan suuntaan.

Mittauspäivä ja kellonaika	HEINOLAAN								
	Ahtiala-Heinola 24 186 m (P1-P3)*			Ahtiala-Vierumäki 15 468 m (P1-P2)*			Vierumäki-Heinola 8 718 m (P2-P3)**		
	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)
Tiistai 09.45–15.45	95,4– 100,4	6,8– 12,5	412– 584	95,7– 100,5	7,0– 11,9	412– 584	96,0– 100,7	6,8–9,5	348– 520
Perjantai 13.30–21.30	51,1– 99,4	3,4– 11,6	488– 1 656	40,7– 101,7	2,2– 11,8	488– 1 656	91,3– 100,8	4,3–8,8	524– 1 512
Sunnuntai 13.30–21.30	97,2– 104,8	5,7– 10,7	221– 720	95,4– 107,9	5,5– 11,4	221– 720	96,5– 108,5	5,5–9,0	180– 712

*Aikajakso tiistaina klo 15.30–15.45 puuttuu. ** Aikajakso tiistaina klo 09.45–10.00 puuttuu.

Taulukko 4. Liikennemäärän Q (tutkimusvälin ensimmäisessä pisteessä), matkanopeuden keskiarvon V ja keskihajonnan σ_v vaihteluväli rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohiuskaistatiellä vt 4:llä Lahden suuntaan.

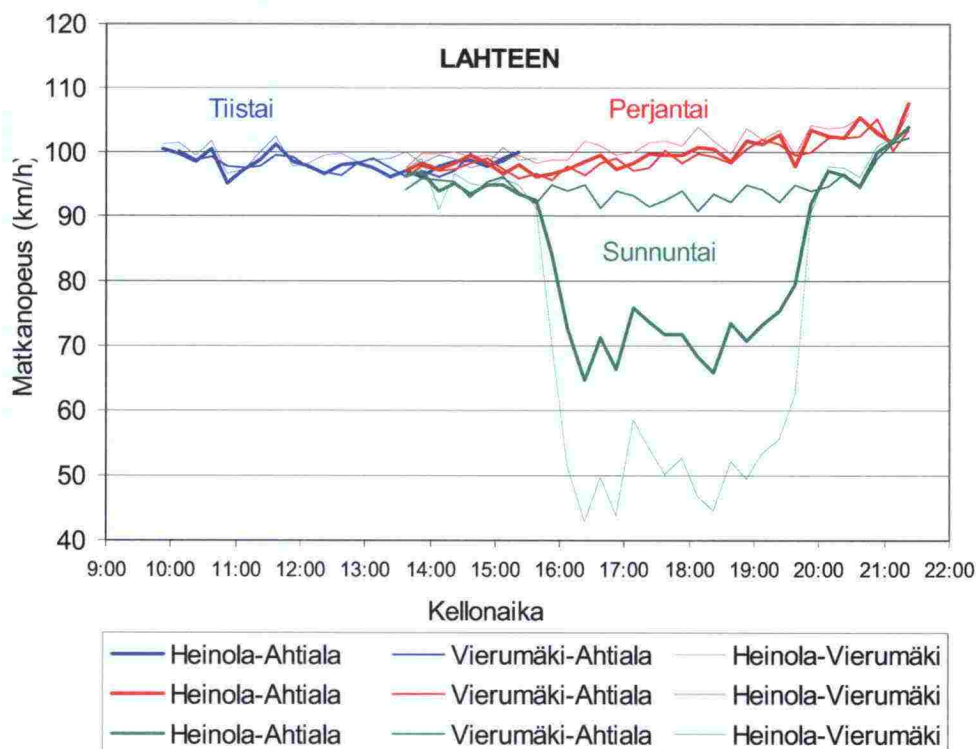
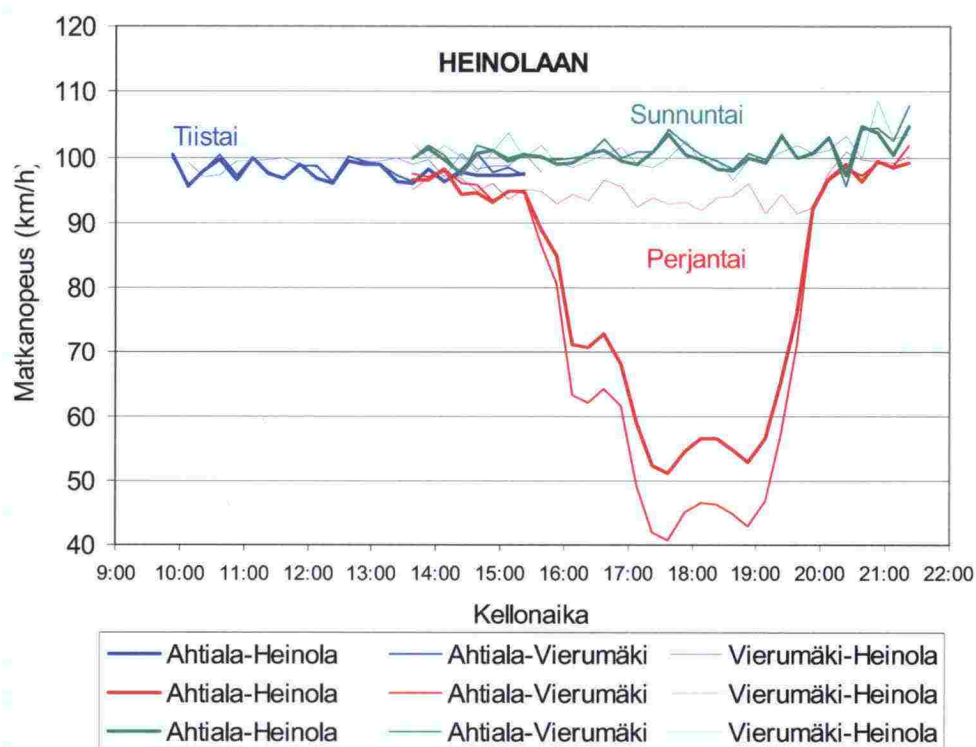
Mittauspäivä ja kellonaika	LAHTEN								
	Heinola-Ahtiala 24 186 m (P3-P1)*			Vierumäki-Ahtiala 15 468 m (P2-P1)**			Heinola-Vierumäki 8 718 m (P3-P2)		
	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)	V (km/h)	σ_v (km/h)	Q (ajon/h)
Tiistai 09.45–15.45	95,2– 101,2	6,3– 11,0	252– 476	96,1– 100,2	6,6– 11,5	268– 504	96,6– 102,5	6,3–9,3	252– 476
Perjantai 13.30–21.30	96,0– 107,6	5,8–9,3	268– 832	95,5– 105,2	6,6– 10,0	244– 764	97,5– 106,2	6,4–9,1	268– 832
Sunnuntai 13.30–21.30	64,7– 103,9	3,3–7,4	840– 1 752	90,7– 102,1	3,7–8,0	900– 1 548	42,9– 103,7	2,4–9,1	840– 1 752

* Aikajakso tiistai klo 15.30–15.45 puuttuu.

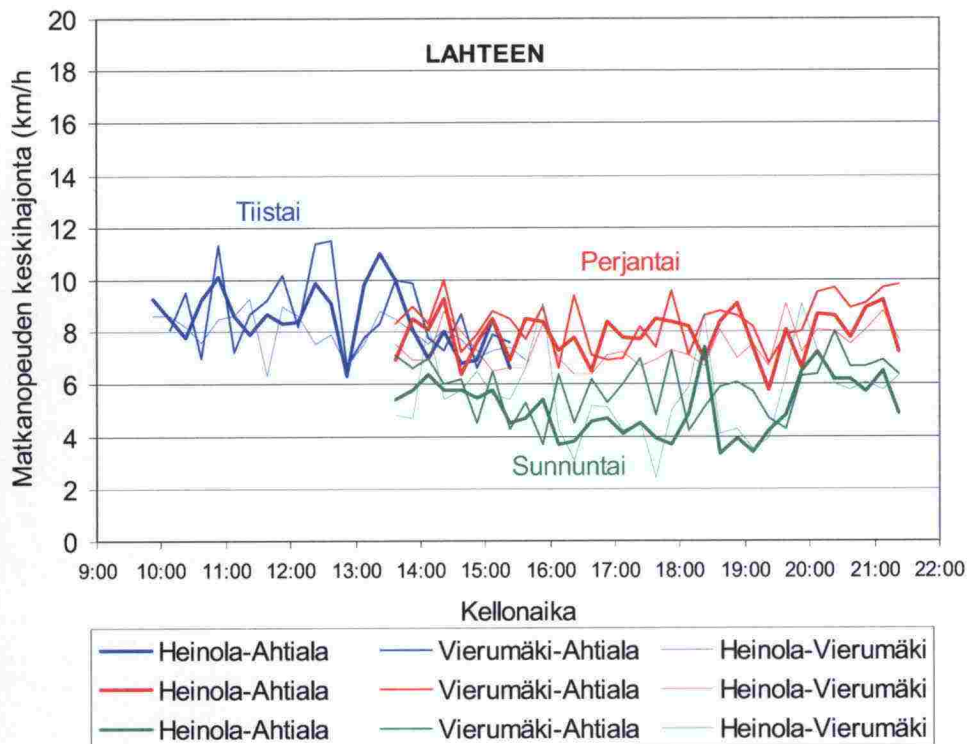
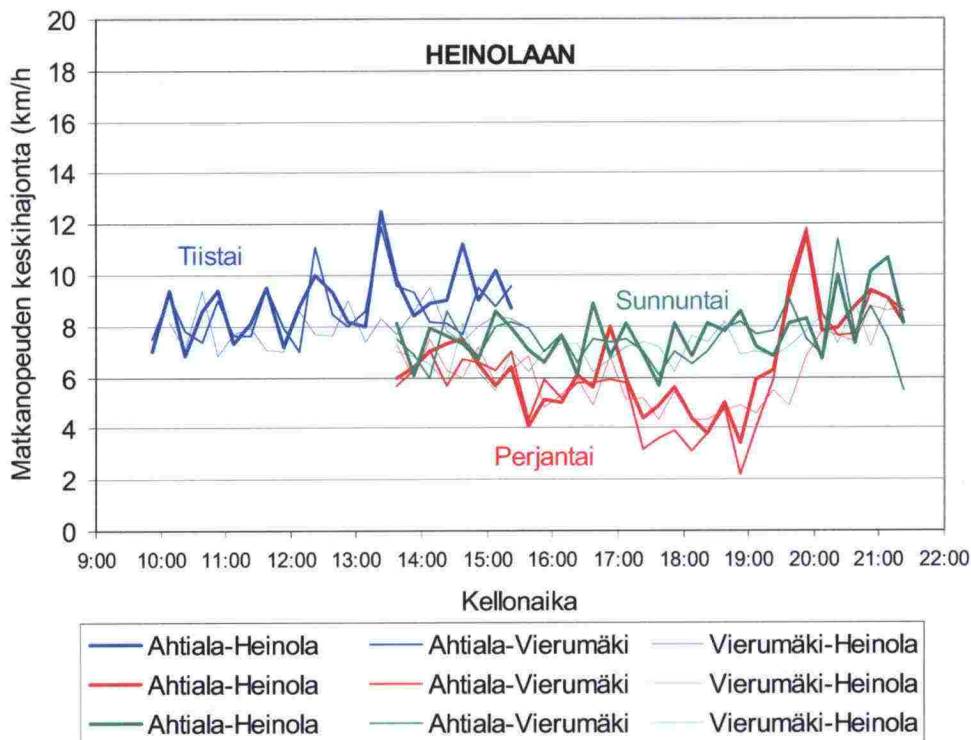
**Aikajaksot tiistaina klo 09.45–10.00 ja 15.30–15.45 puuttuvat.

Perjantaina Heinolan suuntaan koko tutkimusvälin matkanopeus oli klo 15.30 saakka yli 90 km/h (*kuva 9*). Tämän jälkeen matkanopeus laski voimakkaasti Ahtialan ja Vierumäen välillä ja klo 17.00–19.00 matkanopeus oli tällä välillä 40–50 km/h. Vastaavaa matkanopeuden muutosta ei ollut havaittavissa Vierumäen ja Heinolan välillä, jossa matkanopeus oli koko mittausajan yli 90 km/h. Klo 19.00 matkanopeus alkoi Ahtialan ja Vierumäen välillä kasvaa ja oli jälleen yli 90 km/h klo 19.45. Lahden suuntaan matkanopeus oli koko mittausajan 96–108 km/h. Matkanopeuden keskihajonta oli Heinolan suuntaan pääasiassa 4–8 km/h ja Lahden suuntaan 6–10 km/h (*kuva 10*). Heinolan suunnan kuvasta voidaan havaita, että matkanopeuden keskihajonta nousi voimakkaasti klo 19.30–20.00, kun matkanopeudet Ahtialan ja Vierumäen välillä alkoivat kasvaa.

Sunnuntaina Lahden suuntaan koko tutkimusvälin matkanopeus oli klo 15.45 saakka yli 90 km/h. Tämän jälkeen matkanopeus laski nopeasti Heinolan ja Vierumäen välillä ja vaihteli 50 km/h molemmin puolin klo 16.00–19.30. Vierumäen ja Ahtialan välillä ei ollut havaittavissa vastaavaa muutosta, vaan matkanopeus oli koko mittausajan yli 90 km/h. Heinolan ja Vierumäen välillä matkanopeus palasi normaalille tasolle klo 20.00. Sunnuntain paluuruuhkaa vastaan ajavien matkanopeus oli Ahtialan ja Heinolan välillä 15 minuutin aikajaksojen perusteella 97–105 km/h. Matkanopeuden keskihajonta oli Lahden suuntaan pääasiassa 4–8 km/h ja Heinolan suuntaan 6–9 km/h.



Kuva 9. Matkanopeus rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä kesäkuussa 2003.

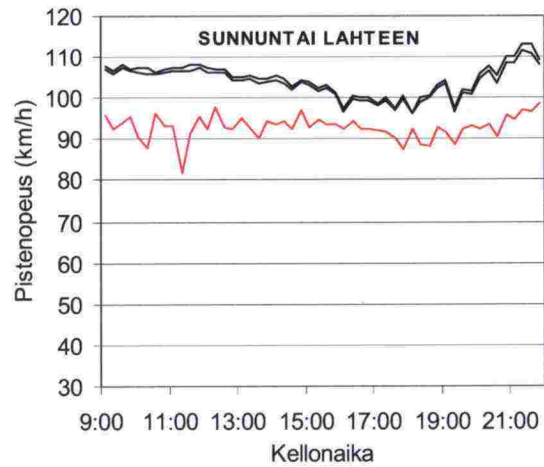
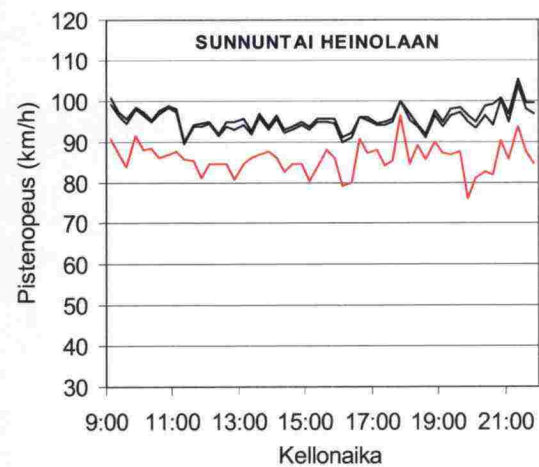
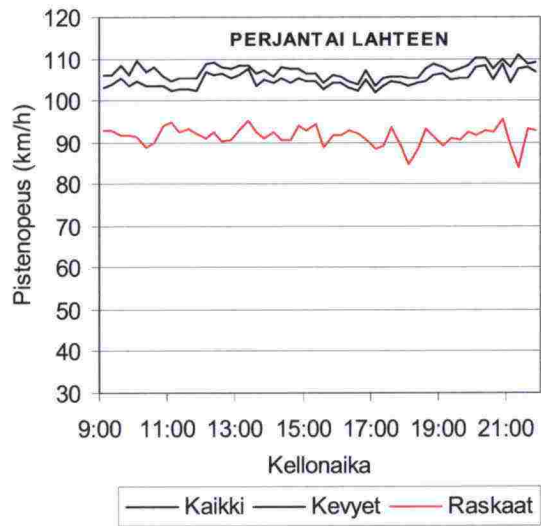
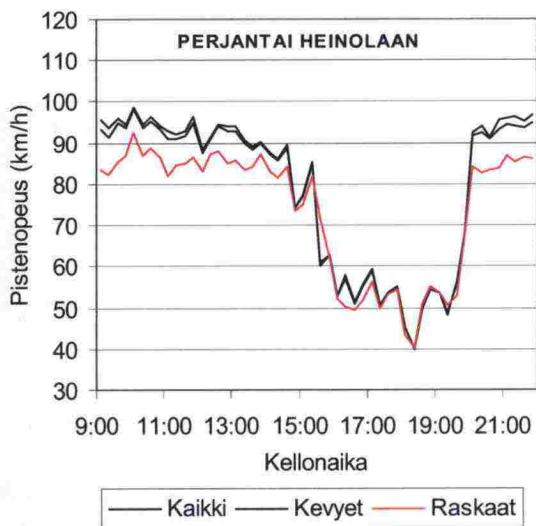
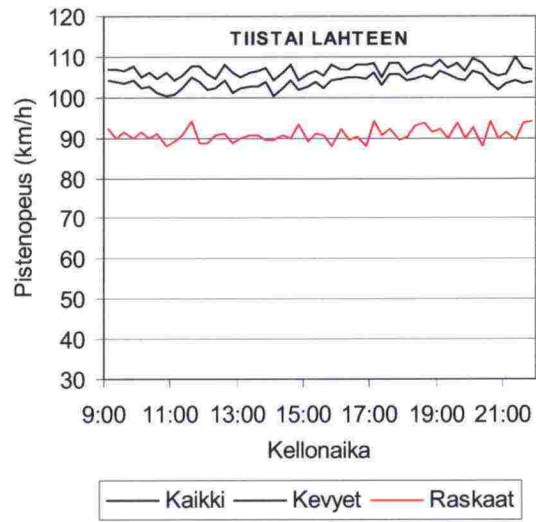
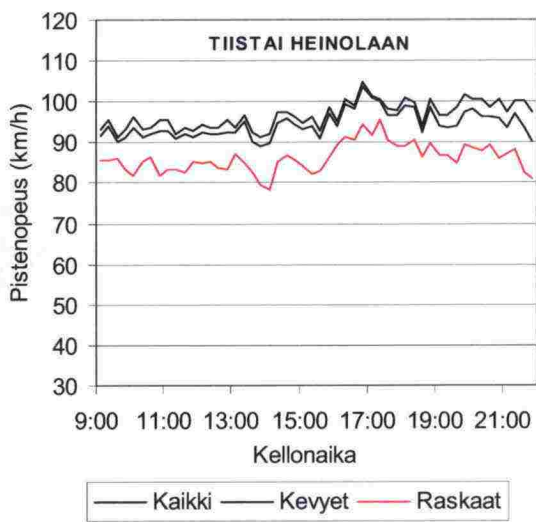


Kuva 10. Matkanopeuden keskihajonta rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä kesäkuussa 2003.

Vierumäen eteläpuolella olevan LAM-pisteen aineistoista piirrettiin pistenopeuden vaihtelu 15 minuutin aikajaksoissa rekisteritunnustutkimuksen päiviltä klo 09.00–22.00 (kuva 11). **Tiistain arkipäiväliikenteessä** kevyiden ajoneuvojen pistenopeus oli Heinolan suuntaan pääasiassa 90–100 km/h ja raskaiden ajoneuvojen pistenopeus 80–90 km/h. Klo 15.30 jälkeen pistenopeudet olivat hieman suuremmat kuin aikaisemmin päivällä. Lahden suuntaan sekä kevyiden että raskaiden ajoneuvojen pistenopeudet olivat suuremmat kuin Heinolan suuntaan: kevyiden ajoneuvojen nopeus oli 100–110 ja raskaiden 90 km/h paikkeilla. Ero johtuu todennäköisesti ainakin osittain siitä, että LAM-pisteen kohdalla on pitkä alamäki Lahden suuntaan.

Perjantain pistenopeuksissa Heinolan suuntaan on havaittavissa vastavanalainen nopeuden lasku kuin matkanopeuksissa Ahtialan ja Vierumäen välillä. Nopeustason lasku näkyy pistenopeuksissa aikaisemmin kuin matkanopeuksissa. Kaikkien ajoneuvojen pistenopeus laski alle 90 km/h jo klo 13.15, kun Ahtialan ja Vierumäen välisessä matkanopeudessa vastaava taso saavutettiin klo 15.30. Pistenopeudet olivat alimmillaan klo 15.30–19.45, jolloin nopeustaso oli 50–60 km/h lukuunottamatta kolmea aikajaksoa, jolloin nopeus oli alle 50 km/h. Klo 19.45 jälkeen nopeustaso nousi hyvin nopeasti: aikajaksossa klo 20.00–20.15 pistenopeus oli taas yli 90 km/h. Lahden suuntaan pistenopeudet olivat perjantaina samalla tasolla kuin tiistaina.

Sunnuntaina Lahden suuntaan pistenopeuksissa ei ole havaittavissa suurta nopeustason laskua, kuten ei ollut Vierumäen ja Ahtialan välisessä matkanopeudessaakaan. Klo 16.00–18.30 kaikkien ajoneuvojen pistenopeus laski kuitenkin hieman alle 100:aan km/h, tiistaina ja perjantaina pistenopeus oli vastaavana aikana yli 100 km/h. Heinolan suuntaan pistenopeudet olivat sunnuntaina samalla tasolla kuin tiistaina.



Kuva 11. Pistenopeus (matkajakauman keskinopeus) LAM-pisteen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä kesäkuussa 2003.

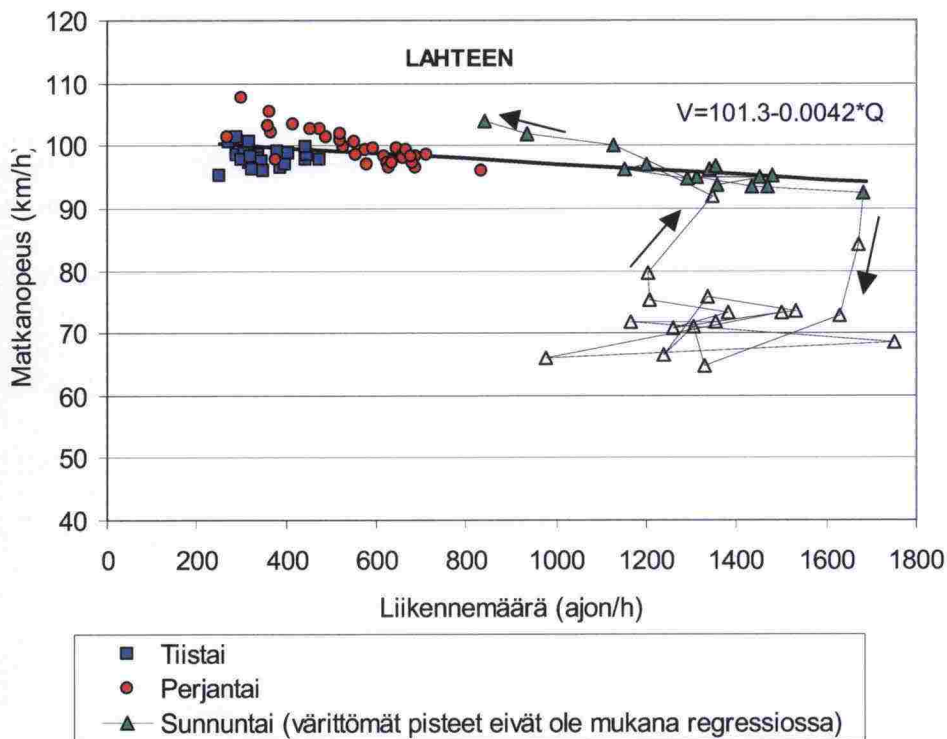
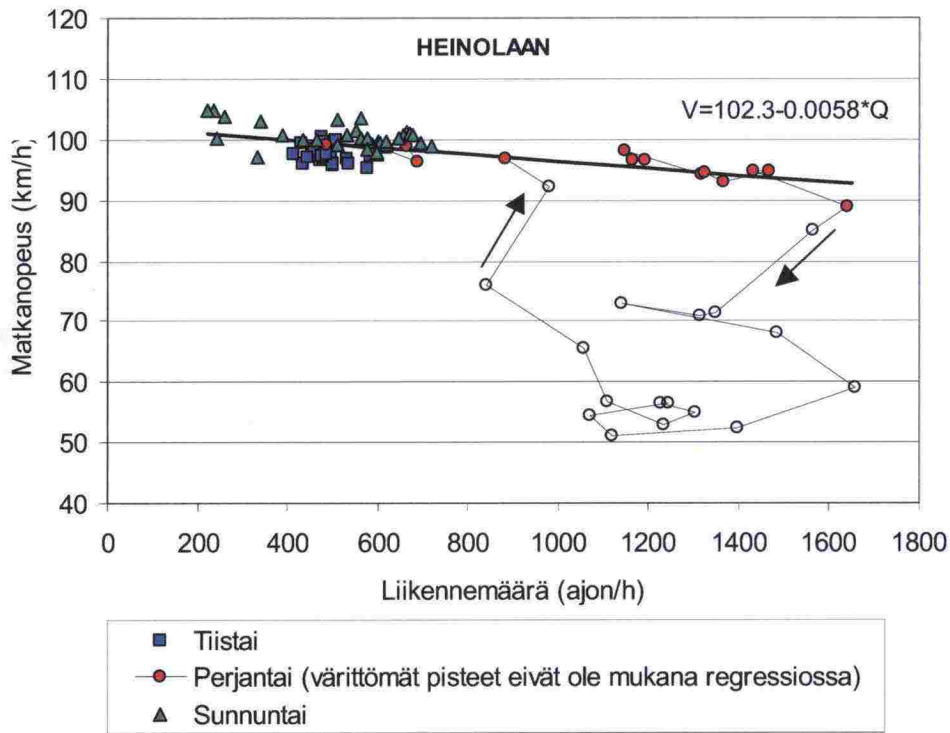
3.1.3 Matkanopeuden ja pistenopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä

Matkanopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä Ahtialan ja Heinolan välillä (P1–P3) Heinolan suuntaan on esitetty *kuvassa 12*. Regressiosuoran yhtälön mukaan matkanopeus laskee häiriöttömissä olosuhteissa 6 km/h liikennemäärän kasvaessa 1000 ajon/h. Kuvassa olevat nuolet osoittavat havaintojen aikajärjestyksestä. Kuvaan piirrettyyn regressiosuoraan ei otettu mukaan havaintoja perjantailta klo 15.45–20.00, jolloin tieosa oli ruuhkautunut tai ruuhka oli purkautumassa. Regressiomalli ($R^2=43,14$ %) ja yhtälön parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05.

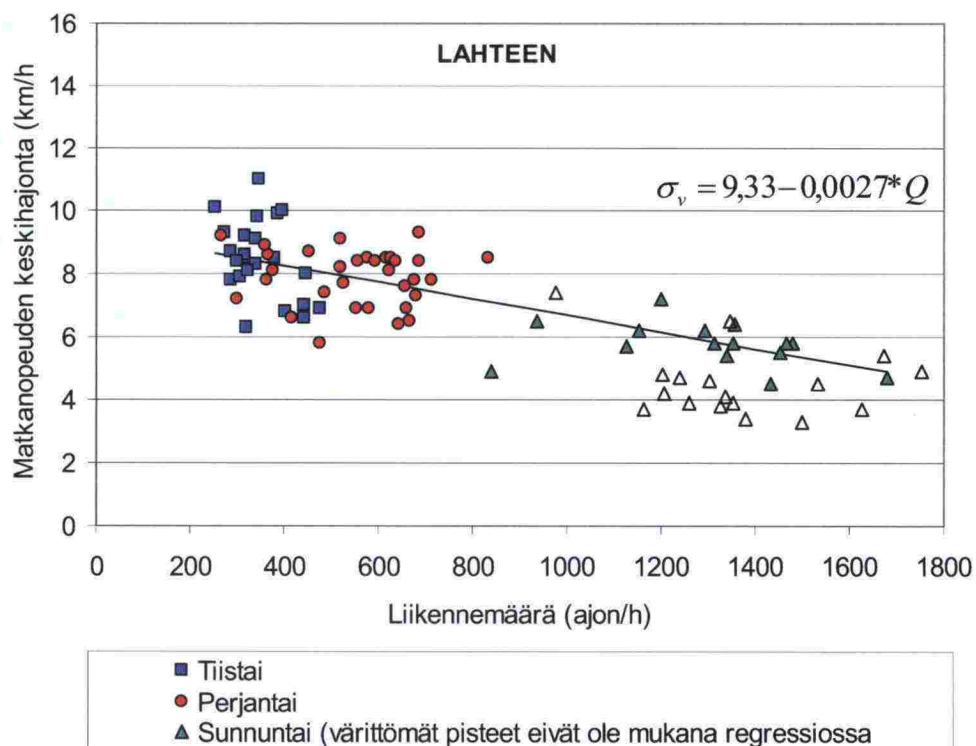
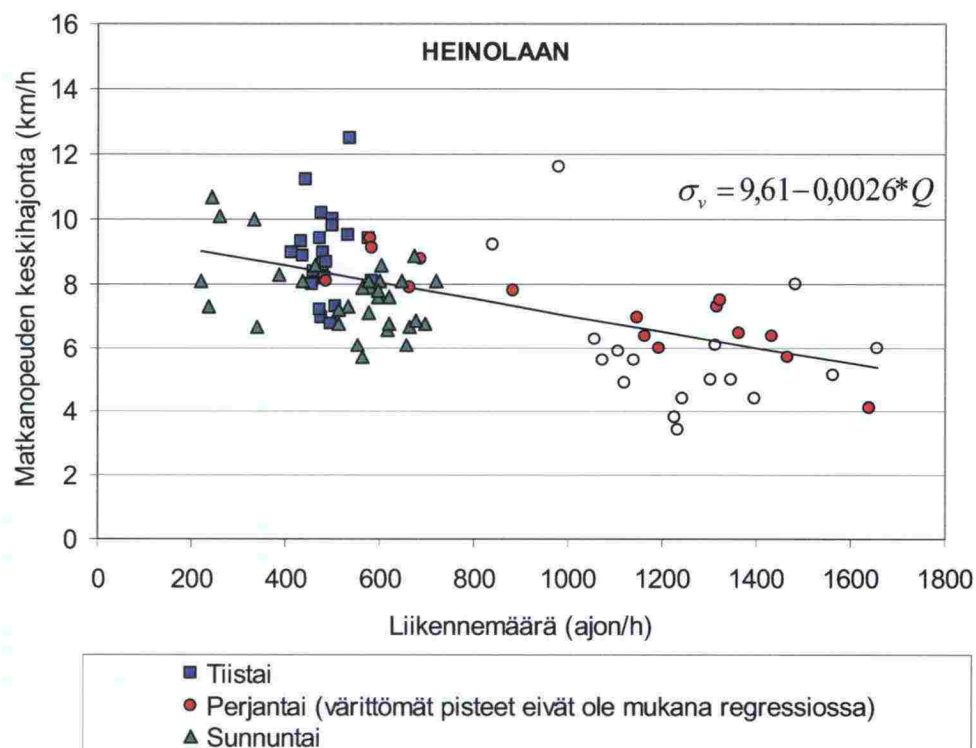
Lahden suunnan regressioyhtälön mukaan matkanopeus laskee 4 km/h liikennemäärän kasvaessa 1000 ajon/h, eli vähemmän kuin Heinolan suunnassa (*kuva 12*). Regressiosuoraa määritettäessä jätettiin pois havainnot sunnuntailta klo 15.45–20.00. Regressiomalli ($R^2=31,39$ %) ja yhtälön parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05.

Matkanopeus on hieman (< 1 km/h) suurempi Heinolan suuntaan kuin Lahden suuntaan, kun liikennemäärä on 250–600 ajon/h. Liikennemäärän ollessa 600–1750 on matkanopeus 0–2 km/h suurempi Lahden kuin Heinolan suuntaan

Matkanopeuden keskihajonnan riippuvaisuus liikennemäärästä Ahtialan ja Heinolan välillä on esitetty *kuvassa 13*. Regressiosuoria muodostettaessa on viikonlopun meno- ja paluuruuhkan havainnot klo 15.45–20.00 jätetty pois. Regressiosuorat (R^2 : Heinolaan=29,63 % ja Lahteen=51,12 %) ja niiden parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05. Regressiosuoran yhtälöiden mukaan matkajakauman keskihajonta pienenee häiriöttömissä olosuhteissa molempiin tutkimussuuntiin 3 km/h liikennemäärän kasvaessa 1000 ajon/h.



Kuva 12. Matkanopeuden V riippuvaisuus liikennemäärästä Q rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella vt 4:llä Heinolan ja Ahtialan eritasoliittymän välillä (P1–P3 ja P3–P1, 24186 m). Havainnot Heinolan suuntaan perjantailta ja Lahden suuntaan sunnuntailta klo 15.45–20.00 eivät ole mukana regressiossa. Nuolet osoittavat havaintojen aikajärjestyksestä.

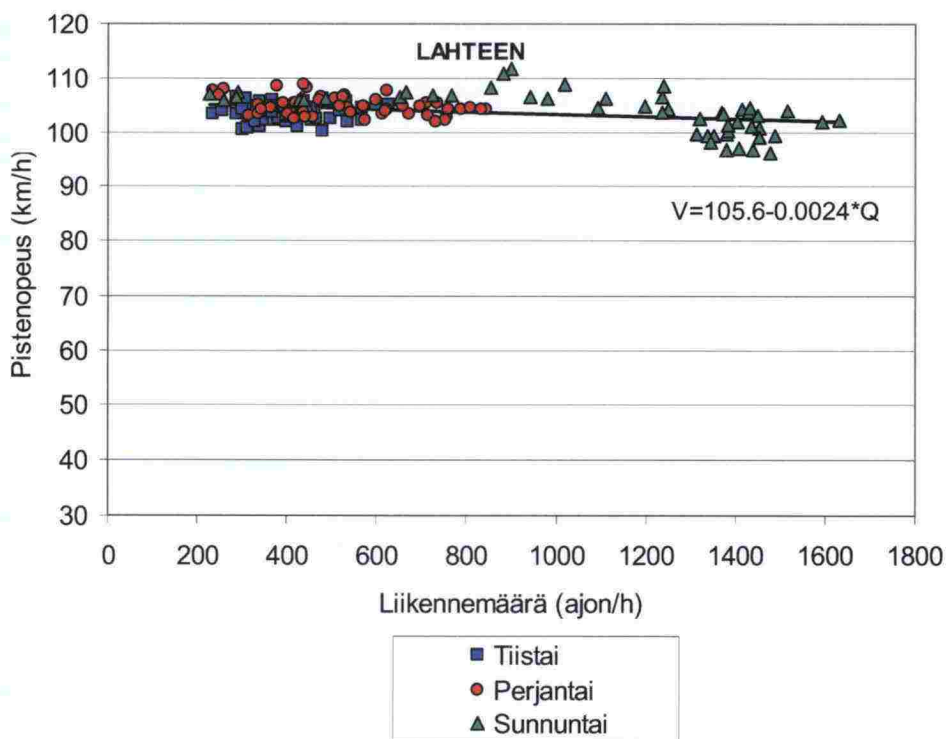
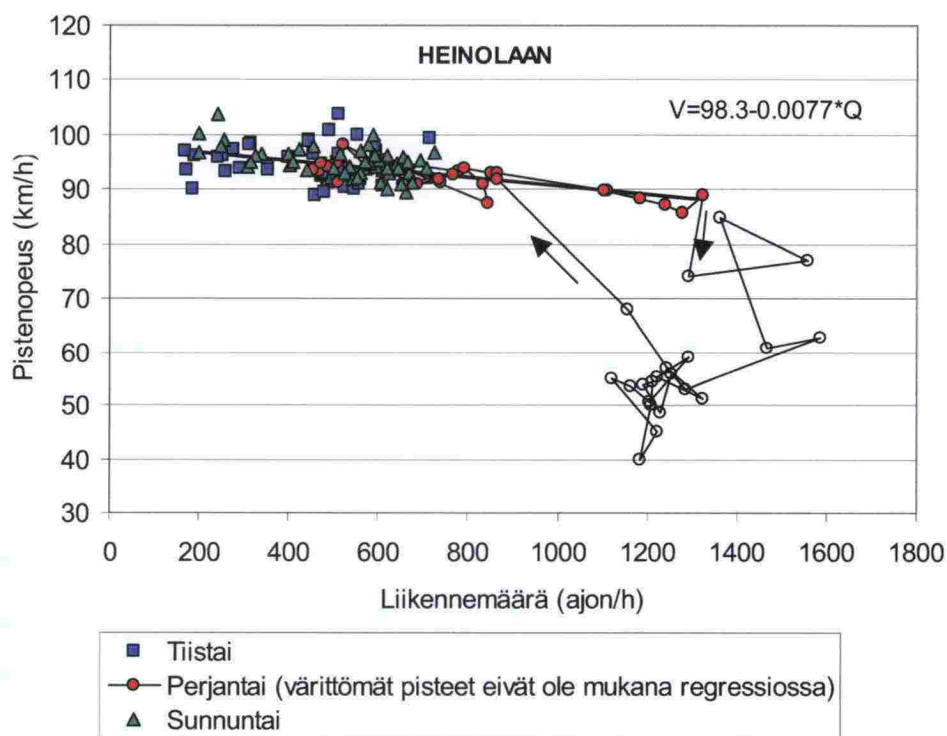


Kuva 13. Matkanopeuden keskihajonnan σ_v riippuvaisuus liikennemäärästä Q 15 minuutin aikajaksojen perusteella vt 4:llä Ahtialan eritasoliittymän ja Heinolan välillä (P1-P3 ja P3-P1, 24186 m). Perjantain ja sunnuntain ruuhkasuuntien havainnot klo 15.45–20.00 eivät ole mukana regressioissa.

LAM-pisteen aineistoista saadun pistenopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä on esitetty *kuvassa 14*. Pistenopeus laskee häiriöttömissä olosuhteissa Heinolan suuntaan 8 km/h, kun liikennemäärä kasvaa 1000 ajon/h. Liikennemäärällä on siis suurempi vaikutus Heinolan suunnan pistenopeuteen LAM-pisteen kohdalla kuin suunnan matkanopeuteen koko tutkimusväliillä (P1-P3). *Kuvassa 14* olevaan regressiosuoraan ei otettu mukaan havaintoja perjantailta klo 14.45–20.00, jolloin tarkastelusuunta oli LAM-pisteen kohdalla ruuhkautunut. Regressiomalli ($R^2=26,83\%$) ja yhtälön parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05.

Pistenopeus laskee Lahden suuntaan 2 km/h liikennemäärän kasvaessa 1000 ajon/h (*kuva 14*), eli myös Lahden suuntaan liikennemäärällä on suurempi vaikutus pistenopeuteen LAM-pisteen kohdalla kuin suunnan matkanopeuteen koko tutkimusväliillä (P3-P1). Lahden suunnan regressiomalli ($R^2=14,06\%$) ja yhtälön parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05.

Pistenopeus on Lahden suuntaan selvästi suurempi kuin Heinolan suuntaan kaikilla havaituilla liikennemäärillä. Tämä johtunee ainakin osittain siitä, että Lahden suuntaan on mittauspisteen kohdalla alamäki. Esimerkiksi liikennemäärän ollessa 500 ajon/h on pistenopeus Lahden suuntaan 104 km/h ja Heinolan suuntaan 95 km/h. Liikennemäärän kasvu myös alentaa voimakkaammin Heinolan suunnan nopeutta: liikennemäärällä 1000 ajon/h on pistenopeus Lahden suuntaan 103 km/h ja Heinolan suuntaan 91 km/h. Vertailussa tulee tosin huomioda, että Heinolan suunnan regressioanalyysissä liikennemääräalue on pienempi kuin Lahden suunnan analyysissä. Matkanopeuksissa suuntien välillä ei havaittu yhtä suurta eroa.



Kuva 14. Pistenopeuden V riippuvaisuus liikennemäärästä Q vt 4:llä Vierumäen LAM-pisteen 15 minuutin aikajaksojen perusteella. Havainnot Heinolan suuntaan perjantailta klo 14.45–20.00 eivät ole mukana regressiossa. Nuolet osoittavat havaintojen aikajärjestyttä.

3.1.4 Ohitusmäärät ja -jakaumat

Kevyet ajoneuvot (moottoripyörät, henkilö- ja pakettiautot) tekivät tiistaina päiväläikenteessä koko tutkimusväällä Heinolan suuntaan keskimäärin 5,3 aktiivista ohitusta/ajoneuvo. Lahden suuntaan lukumäärä oli jonkin verran pienempi, 3,8 akt.ohit./ajon (taulukko 5). Raskaiden ajoneuvojen aktiiviset ohitusmäärät olivat odotetusti selvästi pienemmät kuin kevyiden ajoneuvojen, Heinolan suuntaan 1,5 ja Lahden suuntaan 0,8 akt.ohit./ajon. Kevyistä ajoneuvoista henkilöautot/moottoripyörät ja raskaista linja-autot tekivät vilkkaimmin ohituksia. Eniten ohitettiin perävaunullisia ja ilman perävaunua ajaneita kuorma-autoja (taulukko 6).

Taulukko 5. Aktiivisten ohitusten lukumäärät ajoneuvotyypeittäin vt 4:llä Ah-tialan ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä (P1–P3, P3–P1) rekisteritunnus-tutkimuksen perusteella.

Ajoneuvotyyppi	Aktiivisten ohitusten lukumäärän keskiarvot (aktiivisia ohituksia/ajon)					
	Tiistai klo 09.45–15.30		Perjantai 13.30–21.30		Sunnuntai 13.30–21.30	
	Heinolaan	Lahteen	Heinolaan	Lahteen	Heinolaan	Lahteen
Henkilöautot ja moottoripyörät	5,4	3,9	11,0	5,2	4,7	6,7
Pakettiautot	4,1	2,6	7,3	3,4	2,8	4,2
Peräkäräylliset henkilö- ja pakettiautot	1,8	0,6	4,4	1,4	1,1	1,9
Linja-autot	2,8	3,1	7,4	3,1	2,1	2,5
Kuorma-autot	1,5	0,8	3,7	1,3	1,3	1,7
Perävaunulliset kuorma-autot	1,2	0,6	2,9	0,9	0,7	1,4
Kevyet yhteensä	5,3	3,8	10,7	5,1	4,6	6,5
Raskaat yhteensä	1,5	0,8	4,0	1,3	1,1	1,9

Taulukko 6. Passiivisten ohitusten lukumäärät ajoneuvotyypeittäin vt 4:llä Ah-tialan ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä (P1–P3, P3–P1) rekisteritunnus-tutkimuksen perusteella.

Ajoneuvotyyppi	Passiivisten ohitusten lukumäärän keskiarvot (passiivisia ohituksia/ajon)					
	Tiistai klo 09.45–15.30		Perjantai 13.30–21.30		Sunnuntai 13.30–21.30	
	Heinolaan	Lahteen	Heinolaan	Lahteen	Heinolaan	Lahteen
Henkilöautot ja moottoripyörät	3,1	1,7	7,0	3,3	3,0	4,9
Pakettiautot	5,3	3,4	12,5	6,7	7,8	8,4
Peräkäräylliset henkilö- ja pakettiautot	12,7	9,8	21,9	14,2	16,1	17,1
Linja-autot	4,3	2,3	13,1	5,8	4,3	11,2
Kuorma-autot	13,3	10,1	26,5	14,9	19,0	24,1
Perävaunulliset kuorma-autot	15,9	9,6	33,9	16,2	17,4	22,9
Kevyet yhteensä	3,3	1,9	7,4	3,5	3,3	5,2
Raskaat yhteensä	13,8	9,2	25,3	14,5	14,9	17,4

Perjantaina Heinolan suuntaan kevyet ajoneuvot tekivät kaksi kertaa niin paljon ohituksia kuin tiistaina (10,7 akt.ohit./ajon). Raskaiden ajoneuvojen tekemät ohitukset yleistyivät vielä enemmän, 2,5-kertaisesti (4,0 akt.ohit./ajon). Ruuhkasuuntaan vastaan ohitusmäärät olivat samaa suuruusluokkaa kuin tiistaina.

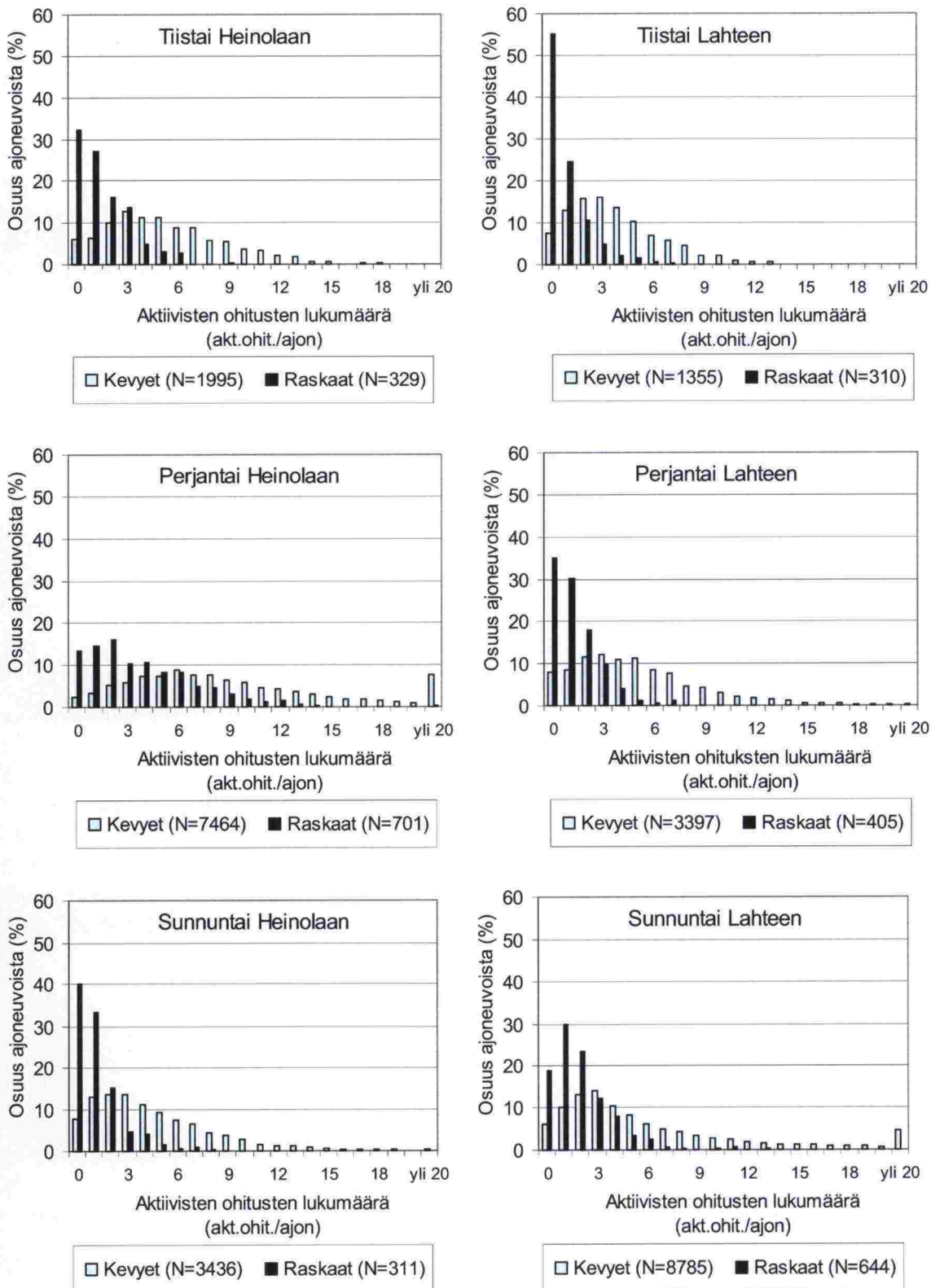
Sunnuntaina Lahden suuntaan kevyiden ajoneuvojen ohitusmäärät olivat 1,7-kertaiset ja raskaiden 2,4-kertaiset tiistain päiväliikenteeseen verrattuna. Kevyet ajoneuvot tekivät keskimäärin 6,5 ja raskaat 1,9 akt.ohit./ajon. Sunnuntain paluuliikenteessä ohitusmäärät olivat selvästi pienemmät kuin perjantain menoliikenteessä. Ruuhkasuuntaa vastaan tehtiin sunnuntaina hieman vähemmän ohituksia kuin tiistaina.

Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen ohitusjakaumat on esitetty *kuvissa 15 ja 16*. *Kuvan 15* perusteella tiistain päiväliikenteessä kevyiden ajoneuvojen aktiivisten ohitusten tyyppi-arvo oli molempiin ajosuuntiin 3 aktiivista ohitusta/ajoneuvo. Sen sijaan yli puolet Lahden suuntaan ja noin kolmannes Heinolan suuntaan ajaneista raskaista ajoneuvoista ei tehnyt yhtään ohitusta.

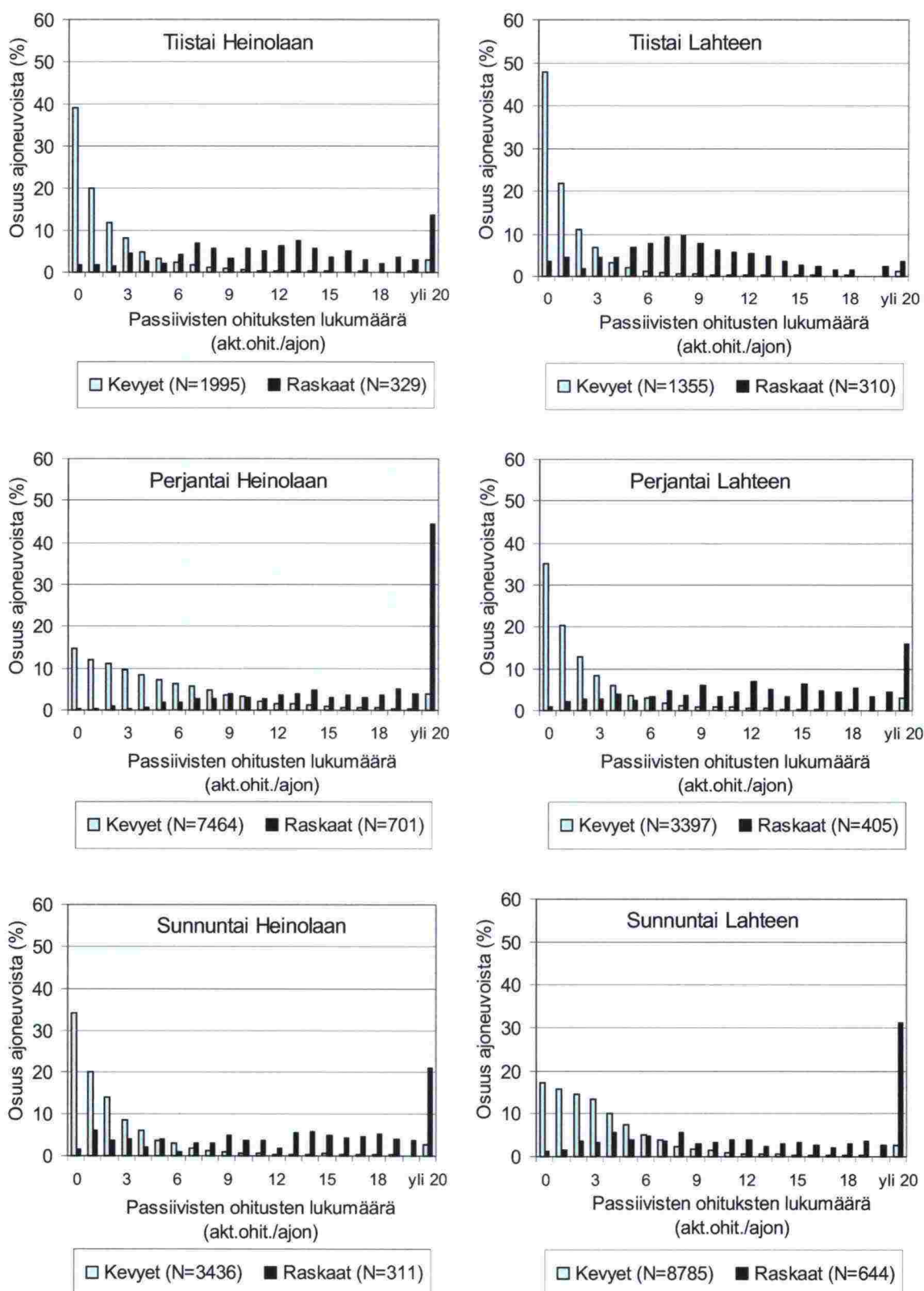
Perjantaina Heinolan suuntaan kevyet ajoneuvot tekivät tyyppillisesti 6 aktiivista ohitusta/ajoneuvo ja 8 % kevyistä ajoneuvoista teki yli 20 ohitusta. Raskaiden ajoneuvojen aktiivisten ohitusten tyyppi-arvo oli perjantaina ruuhkasuuntaan 2 akt.ohit./ajon. Perjantaina Lahteen päin ajaneet kevyet ajoneuvot tekivät tyyppillisesti saman verran ohituksia kuin tiistaina (3 akt.ohit./ajon), raskaista ajoneuvoista noin kolmannes ei tehnyt yhtään ohitusta.

Kevyiden ajoneuvojen aktiivisten ohitusten tyyppi-arvo sunnuntaina Lahden suuntaan oli 3 akt.ohit./ajon, eli yhtä suuri kuin tiistain päiväliikenteessä. Jakaumat eroavat kuitenkin toisistaan muodoltaan: sunnuntain jakauma on matalampi ja sillä on pidempi häntä. Esimerkiksi niiden kevyiden ajoneuvojen osuus, jotka tekivät yli 10 ohitusta, oli tiistaina 2 % ja sunnuntaina 17 %. Raskaiden ajoneuvojen aktiivisten ohitusten tyyppi-arvo oli sunnuntain paluuliikenteessä 1 akt.ohit./ajon. Sunnuntaina Heinolan suuntaan ajaneet kevyet ajoneuvot tekivät tyyppillisesti saman verran ohituksia kuin tiistaina, eli 3 akt.ohit./ajon, raskaista ajoneuvoista 40 % ei tehnyt yhtään ohitusta.

Passiivisten ohitusten jakaumista (*kuva 16*) voidaan havaita, että tiistain päiväliikenteessä ja viikonlopun meno- ja paluuliikennettä vastaan ajaneiden joukossa 34–48 % kevyistä ajoneuvoista ajoi siten, että niitä ei ohitettu kertakaan. Vastaavissa raskaiden ajoneuvojen jakaumissa erottuu lähes kaikissa korkeimpana pylväänä niiden osuus, joita ohitettiin yli 20 kertaa. Perjantain menoliikenteessä tässä luokassa oli noin 45 % ja sunnuntain paluuliikenteessä noin 31 % raskaista ajoneuvoista. Viikonlopun meno- ja paluuliikenteessä ohitettiin myös kevyitä ajoneuvoja: niiden osuus, joita ei ohitettu kertakaan, oli noin 15 %.



Kuva 15. Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen aktiivisten ohitusten jakaumat vt 4:llä Ahtialan ja Heinolan välillä rekisteritunnustutkimuksen perusteella.



Kuva 16. Kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen passiivisten ohitusten jakaumat vt 4:llä Ahtialan ja Heinolan välillä rekisteritunnustutkimuksen perusteella.

3.1.5 Ohitustiheydet

Tiistaina aktiivisten ohitusten lukumäärä oli koko tarkasteluvälillä 15 minuutin aikajaksoissa Heinolan suuntaan ohituskaistakilometriä ja tuntia kohti laskettuna 135–350 akt.ohit./ohituskaistakmh (*taulukko 7*). Lahden suuntaan liikennevirran ohitustiheys oli selvästi pienempi ja se vaihteli 51–190 akt.ohit./ohituskaistakmh (*taulukko 8*). Lahden suuntaan ohitustiheys hieman kasvoi iltapäivää kohti, Heinolan suuntaan ei ollut havaittavissa selvää muutosta mittausaikana (*kuva 17*). Ohitustiheydessä ei ollut tiistaina juurikaan eroa Ahtiala–Vierumäki ja Vierumäki–Heinola tarkasteluväleillä kummassakaan ajosuunnassa. Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys ohituskaistakilometriä kohti laskettuna vaihteli tiistaina Heinolan suuntaan 0,308–0,653 akt.ohit./ajonkm ja Lahden suuntaan 0,176–0,455 akt.ohit./ajonkm.

Taulukko 7. Yksittäisen ajoneuvon ja liikennevirran ohitustiheyden vaihteluväli ohituskaistakilometriä kohti laskettuna rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä Heinolan suuntaan.

Ohitustiheydet ohituskaistakilometriä kohti laskettuna	Tarkasteluväli	HEINOLAAN		
		Tiistai	Perjantai	Sunnuntai
Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys (akt.ohit./ajonkm)	Ahtiala–Heinola (P1-P3)	0,308–0,653	0,466–1,539	0,187–0,588
	Ahtiala–Vierumäki (P1-P2)	0,242–0,584	0,399–1,510	0,071–0,499
	Vierumäki–Heinola (P2-P3)	0,216–0,541	0,189–0,676	0,189–0,514
Liikennevirran ohitustiheys (akt.ohit./kmh)	Ahtiala–Heinola (P1-P3)	135–350	228–2255	41–423
	Ahtiala–Vierumäki (P1-P2)	100–313	195–2156	16–359
	Vierumäki–Heinola (P2-P3)	75–262	205–992	34–327

Taulukko 8. Yksittäisen ajoneuvon ja liikennevirran ohitustiheyden vaihteluväli ohituskaistakilometriä kohti laskettuna rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä Lahden suuntaan.

Ohitustiheydet ohituskaistakilometriä kohti laskettuna	Tarkasteluväli	LAHTEEN		
		Tiistai	Perjantai	Sunnuntai
Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys (akt.ohit./ajonkm)	Heinola–Ahtiala (P3-P1)	0,176–0,455	0,195–0,696	0,325–0,799
	Vierumäki–Ahtiala (P2-P1)	0,172–0,459	0,187–0,689	0,301–0,832
	Heinola–Vierumäki (P3-P2)	0,132–0,342	0,158–0,553	0,211–1,105
Liikennevirran ohitustiheys (akt.ohit./kmh)	Heinola–Ahtiala (P3-P1)	51–190	57–579	374–1172
	Vierumäki–Ahtiala (P2-P1)	55–188	53–488	392–1066
	Heinola–Vierumäki (P3-P2)	38–163	42–460	285–1393

Perjantaina Heinolan suuntaan liikennevirran ohitustiheys oli koko tarkasteluvälillä 228–2255 akt.ohit./ohituskaistakmh. Suurimmat arvot, yli 2000 akt.ohit./ohituskaistakmh, havaittiin klo 16.45–17.15 (*kuva 17*). Klo 16.15–19.30 ohitustiheys oli jatkuvasti yli 1000 akt.ohit./ohituskaistakmh. Klo 20.00

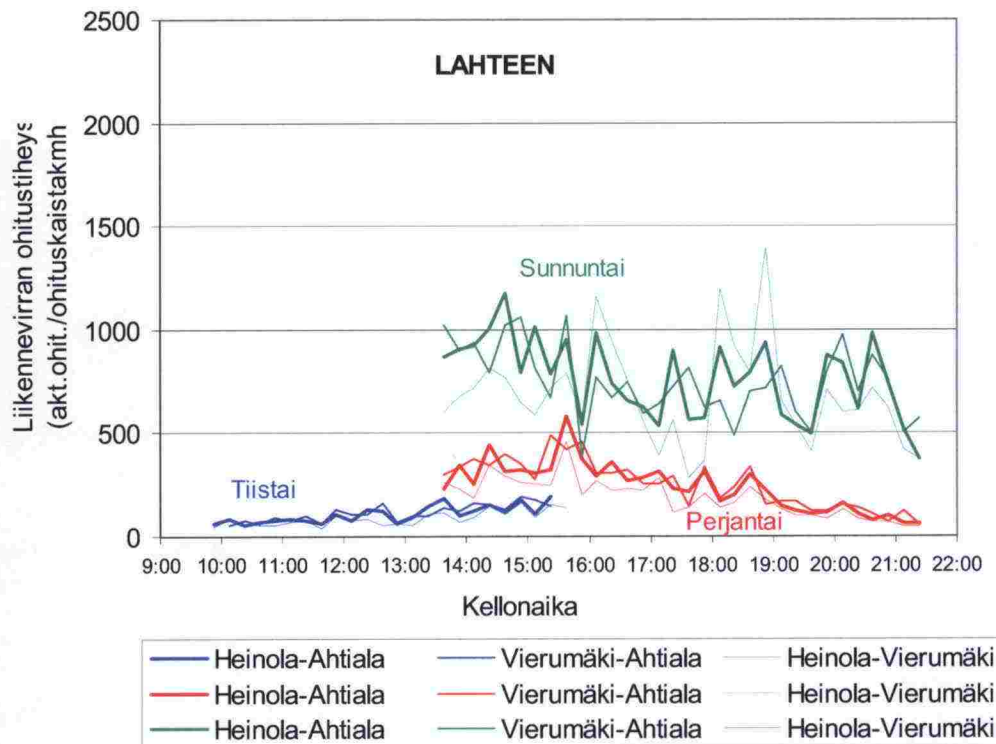
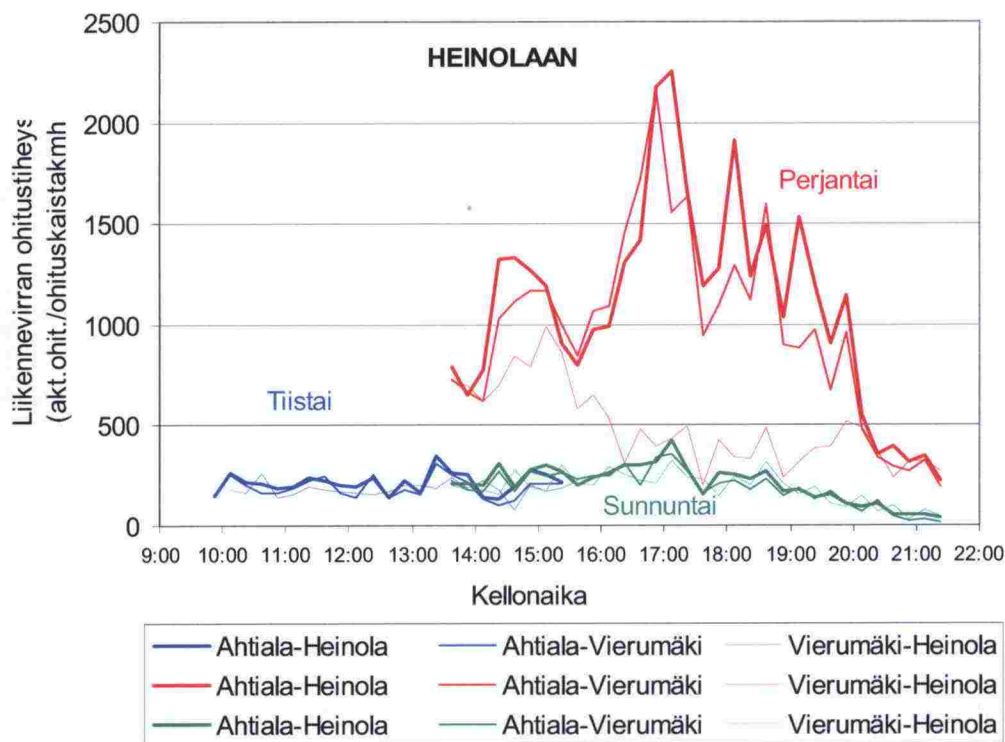
jälkeen ohitustiheys pieneni nopeasti alle 500:aan akt.ohit./ohituskaistakmh. Ahtialan ja Vierumäen välillä tehtiin perjantaina selvästi enemmän ohituksia kuin Vierumäen ja Heinolan välillä, jossa ohitusmäärät olivat vain hieman suuremmat kuin sunnuntaina. Klo 16.00–20.00 ohitustiheys oli Ahtialan ja Vierumäen välillä 2–5 -kertainen Vierumäen ja Heinolan väliseen ohitustiheyteen verrattuna. Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys ohituskaistakilometriä kohti laskettuna oli perjantaina Heinolan suuntaan 0,466–1,539 akt.ohit./ajonkm.

Perjantain menoliikennettä vastaan ajaneiden joukossa tehtiin mittausten aikana koko tarkasteluvälillä 57–579 akt.ohit./ohituskaistakmh (*taulukko 8*). Ohitustiheys oli suurimmillaan klo 15.30–15.45, josta se laski melko tasaisesti mittausten loppuun asti. Lahden suuntaan Heinola–Vierumäki ja Vierumäki–Ahtiala tarkasteluväleillä ei ollut ohitustiheyden arvoissa juurikaan eroa. Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys ohituskaistakilometriä kohti laskettuna oli perjantaina Lahden suuntaan 0,195–0,696 akt.ohit./ajonkm.

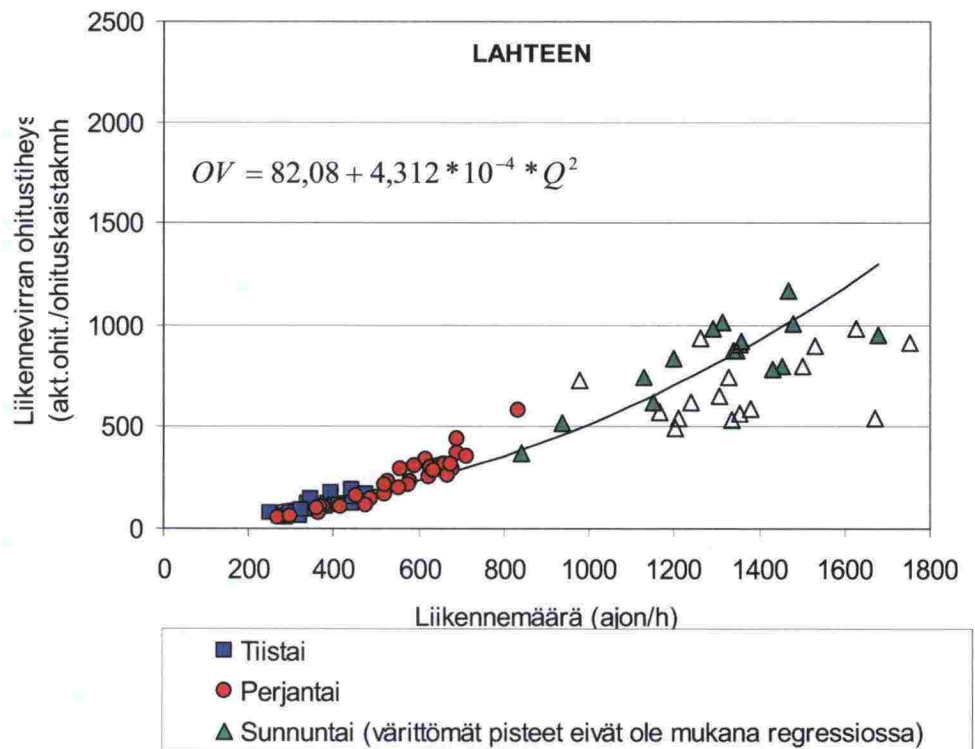
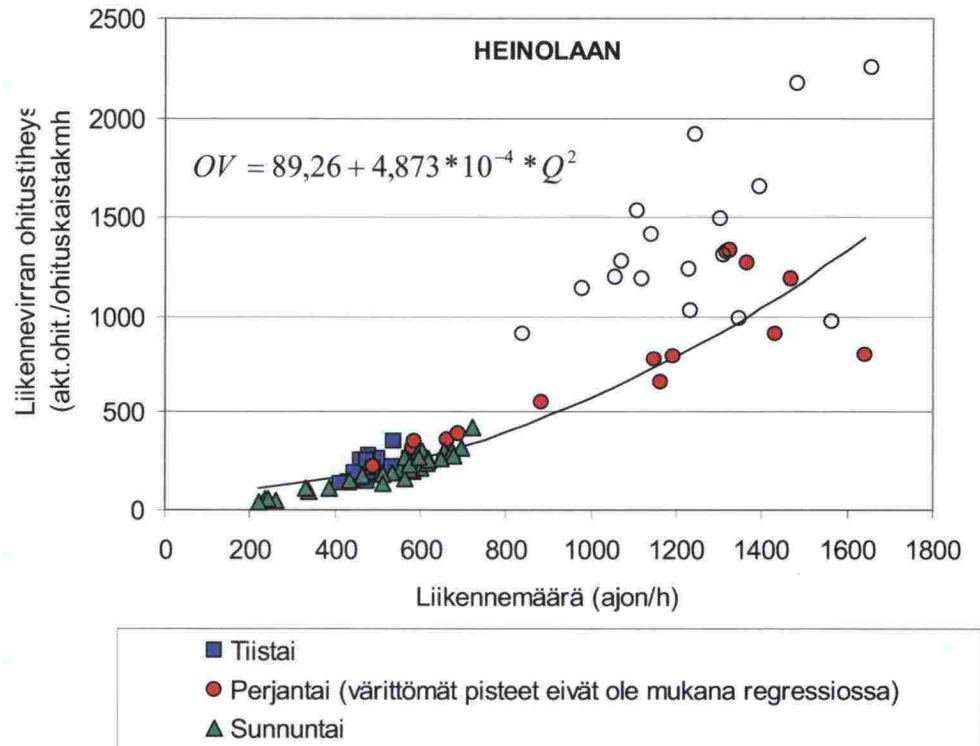
Sunnuntaina Lahden suuntaan liikennevirran ohitustiheys oli koko tarkasteluvälillä 374–1172 akt.ohit./ohituskaistakmh. Suurimmat arvot, yli 1000 akt.ohit./ohituskaistakmh, havaittiin mittausten alkupuolella klo 14.15–14.45 ja 15.00–15.15. Tämän jälkeen ohitustiheys oli 500–1000 lähes mittausten loppuun asti. Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys ohituskaistakilometriä kohti laskettuna oli sunnuntaina Lahden suuntaan 0,325–0,799 akt.ohit./ajonkm.

Sunnuntaina paluuliikennettä vastaan liikennevirran ohitustiheys oli koko tarkasteluvälillä klo 18.30 saakka 158–423 akt.ohit./ohituskaistakmh, eli samaa suuruusluokkaa kuin tiistain päiväliikenteessä. Klo 18.30 jälkeen ohitustiheys pieneni melko tasaisesti arvoon 41 akt.ohit./ohituskaistakmh. Yksittäisen ajoneuvon ohitustiheys ohituskaistakilometriä kohti laskettuna oli sunnuntaina Heinolan suuntaan 0,187–0,588 akt.ohit./ajonkm.

Liikennevirran ohitustiheyden riippuvaisuus liikennemäärästä Ahtialan ja Heinolan välillä on esitetty *kuvassa 18*. Regressioyhtälöiden mukaan liikennevirran ohitustiheys kasvaa häiriöttömissä olosuhteissa Heinolan suuntaan noin 5 akt.ohit./ohituskaistakmh ja Lahden suuntaan noin 4 akt.ohit./ohituskaistakmh liikennemäärän kasvaessa 100 ajon/h. Molempiin tutkimussuuntiin regressiokäyrä (R^2 : Heinolaan=84,13 % ja Lahteen=92,12 %) ja sen parametrit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05. Regressiokäyriä muodostettaessa jätettiin pois viikonlopun meno- ja paluuruuhkan havainnot klo 15.45–20.00. Kuvasta voidaan havaita, että ruuhka-ajan havainnot ovat perjantaina Heinolan suuntaan pääasiassa muita havaintoja suuremmat ja sunnuntaina Lahden suuntaan muita havaintoja pienemmät.



Kuva 17. Liikennevirran ohitustiheys rekisteritunnustutkimuksen 15 minuutin aikajaksojen perusteella Lahden ja Heinolan välisellä ohituskaistatiellä vt 4:llä kesäkuussa 2003.



Kuva 18. Liikennevirran ohitustiheyden OV riippuvaisuus liikennemäärästä Q vt 4:llä Ahtialan eritasoliittymän ja Heinolan välillä (P1-P3 ja P3-P1, 24186 m). Perjantain ja sunnuntain ruuhkasuuntien havainnot klo 15.45–20.00 eivät ole mukana regressioissa.

3.2 Perjantain menoliikenteen videokuvaus

3.2.1 Ruuhkan muodostumisen ja purkautumisen seuranta videonauhoilta ja LAM-pisteen tiedoista

Ruuhkan muodostumista kuvanneiden 7 videokameran nauhoituksista on muunnettu 40–60 minuutin pituiset videot digitaaliseen muotoon ruuhkan muodostumisajalta. Tiedostot on nimetty *kuvan 3* mukaisesti "Kamera1.mpg" jne. Tiedostoja voi katsella esimerkiksi Windows Media Player -ohjelmalla. Ruuhkan muodostumisen seuraaminen on havainnollisinta siten, että jokainen kuvaustiedosto avataan omaan Windows-ikkunaan ja videoiden katselu käynnistetään yksi video kerrallaan siten, että videoiden kellonajat täsmäävät. Ennen kuvausten aloittamista videoiden kellot nollattiin samanaikaisesti klo 10.27.

Kuvausperjantaina 22.8. ruuhkan muodostuminen alkoi videokuvausten perusteella klo 16.17. Tällöin Vierumäen eteläpuolella olevaa mäkeä ajoi ylös Heinolaan päin henkilöauto, joka veti asuntovaunua (tulee kamera 7:n kuvaan hetkellä 5:50:35:0). Ajoneuvoyhdistelmän takana oli pitkä jono, joka kasvoi nopeasti ja jonossa ajavien nopeus laski silminnähden. Klo 16.20 hitaasti etenevä jono ulottui pohjoiselle kuvaussillalle (videon hetkellä noin 5:53:20:0) ja klo 16.21 kameran 4 kuvausalueelle, Heinolan suunnan pitkän ohituskaistan loppupäähän (videon hetkellä noin 5:54:50:0). Klo 16.26 jono ulottui eteläiselle kuvaussillalle (videon hetkellä noin 5:59:30:0) ja klo 16.33 rautatien alikulkusillan päälle kameran 1 kuvausalueen eteläreunaan (videon hetkellä noin 6:05:45:0). Hitaasti etenevä jono kasvoi siis noin 2 kilometrin mittaiseksi noin 15 minuutissa.

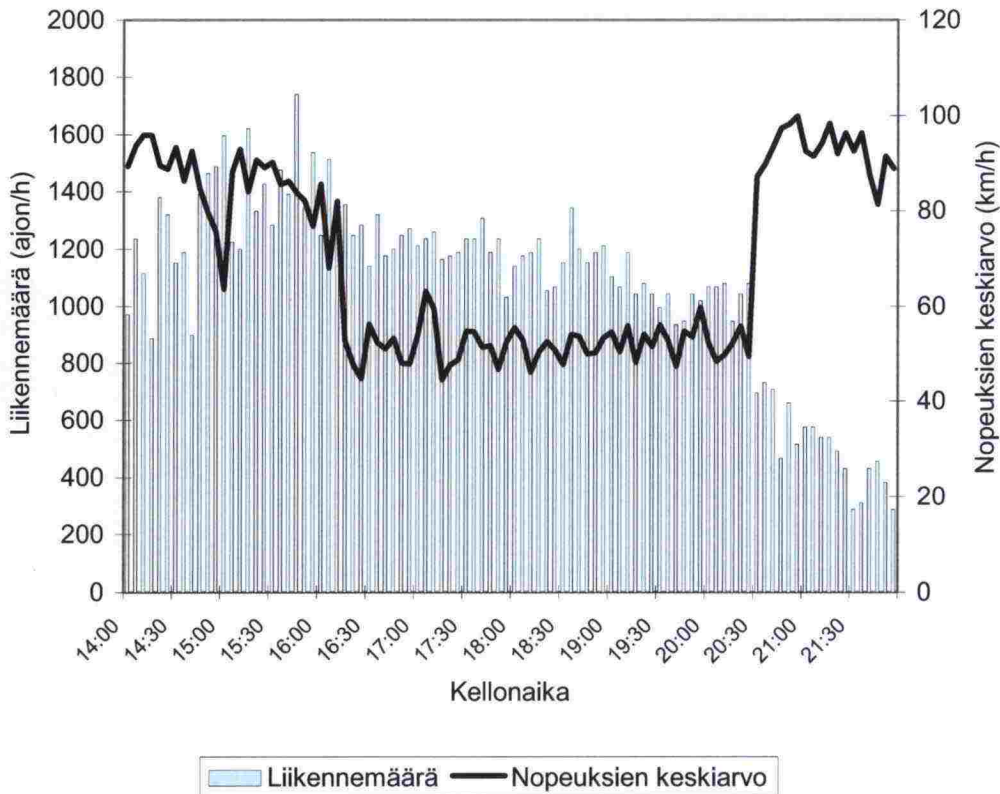
Vierumäen eteläpuolella olevan LAM-pisteen tietojen mukaan viimeinen Heinolan suuntaan ajanut ajoneuvo, jonka nopeus oli lähellä 100 km/h ennen kuin tie ruuhkautui, ajoi LAM-pisteestä klo 16.15.04 nopeudella 98 km/h (henkilöauto, joka tulee kamera 7:n kuvaan hetkellä 5:48:15:0). Sen jälkeen LAM-pisteestä ajoi kuorma-auto, jonka bruttoaikaväli oli 16,0 s ja nopeus 69 km/h (tulee kamera 7:n kuvaan hetkellä 5:48:26:0). Kuorma-auton vetämässä jonossa viimeisenä olleen henkilöauton nopeus oli LAM-pisteessä 54 km/h (tulee kamera 7:n kuvaan hetkellä 5:50:11:3). Seuraavaksi LAM-pisteestä ajoi asuntovaunua vetänyt henkilöauto (klo 16.17.30), jonka jälkeen yhtenäisen jonon muodostuminen videokuvausten perusteella alkoi. Ajoneuvoyhdistelmän bruttoaikaväli oli LAM-pisteessä 17,5 s, eli sen kuljettaja sai vapaasti valita nopeutensa, joka oli 75 km/h. Yhdistelmän nopeus todennäköisesti laski ylämäessä LAM-pisteen jälkeen, sillä perässä jonossa ajaneiden ajoneuvojen nopeudet olivat selvästi pienemmät: LAM-pisteestä klo 16.18.03 ajaneen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus oli 46 km/h (tulee kamera 7:n kuvaan hetkellä 5:51:04:0). Kuorma-auton aikaväli oli LAM-pisteessä 2,9 s, mutta videokuvasta voidaan selvästi havaita, että aikaväli kasvaa ajoneuvon ajaessa mäkeä ylös. Kuorma-auton takana olevassa jonossa nopeudet laskivat LAM-pisteen tietojen mukaan edelleen ja klo 16.18.42 LAM-pisteestä ajaneen täysperävaunullisen kuorma-auton nopeus oli 23 km/h (tulee kamera 7:n kuvaan

hetkellä 5:51:37:0). Tämän kuorma-auton bruttoaikaväli oli LAM-pisteessä 2,1 s ja myös sen kohdalla voidaan videokuvasta selvästi havaita, että aikaväli kasvaa ylämäessä. Tästä eteenpäin LAM-pisteestä ajaneiden ajoneuvojen nopeudet vaihtelivat 22–78 km/h ruuhkan loppuun asti.

Videokuvausten perusteella ruuhka loppui klo 20 jälkeen. Hitaasti etenevän jonon loppupää näkyy kameran 1 kuvausalueella rautatien alikulkusillan päällä klo 20.14. Tämän jälkeen jonon pituus vaihteli jonkin verran, mutta jono ei ulottunut enää kuvausalueen ulkopuolelle. Jono lyheni siten, että klo 20.24 jonon loppupää oli eteläisen kuvaussillan kohdalla ja klo 20.26 Heinolan suunnan pitkän ohituskaistan loppupäässä. Pohjoisen kuvaussillan kohdalla jonon loppupää oli klo 20.28 ja Vierumäen eteläpuolella olevan LAM-pisteen kohdalla klo 20.31. Noin puolen minuutin kuluttua tästä jono oli kokonaan purkautunut. Jonossa viimeisenä olleen henkilöauton nopeus oli LAM-pisteessä 45 km/h (ohitushetki klo 20.30.35, huomaa: LAM-pisteen ja videoiden kellojen aikaero noin 30 s). Seuraava ajoneuvo ajoi LAM-pisteestä 14 sekunnin kuluttua klo 20.30.49 nopeudella 95 km/h ja tästä eteenpäin nopeustaso oli normaali. Jonon purkautuminen kuvausalueen etureunalta LAM-pisteelle kesti siis noin 17 minuuttia, eli hieman kauemmin kuin sen muodostuminen.

Kuvassa 19 on esitetty Heinolan suunnan liikennemäärä ja nopeuksien keskiarvo 5 minuutin aikajaksoissa Vierumäen eteläpuolella olevasta LAM-pisteestä videokuvausperjantaina 22.8. klo 14.00–22.00. Aikajaksossa klo 16.15–16.20, jolloin tie ruuhkautui, liikennemäärä oli LAM-pisteessä 1356 ajon/h. Suurin liikennemäärä havaittiin klo 15.45–15.50, jolloin LAM-pisteen ohitti 1740 ajon/h. Ruuhkan aikana klo 16.20–20.30 liikennemäärä oli 5 minuutin aikajaksoissa keskimäärin 1150 ajon/h (vaihteluväli 936–1344 ajon/h). Aikajaksossa klo 20.30–20.35 yhtenäinen jono oli jo purkautunut ja liikennemäärä väheni äkillisesti arvoon 696 ajon/h. Klo 20.45 liikennemäärä pieneni selvästi ja oli klo 21.25:een asti pääasiassa noin 500 ajon/h ja tästä eteenpäin klo 22.00 asti pääasiassa 300–400 ajon/h.

Klo 16.15–16.20, jolloin tie ruuhkautui, keskinopeus laski voimakkaasti aikaisempaan aikajaksoon verrattuna (82 km/h → 53 km/h). Keskinopeus kasvoi taas selvästi aikajaksossa klo 20.30–20.35 edelliseen jaksoon verrattuna (49 km/h → 87 km/h). Ruuhkan aikana klo 16.15–20.30 keskinopeus oli 5 minuutin aikajaksoissa 45–63 km/h.



Kuva 19. Heinolan suunnan liikennemäärä ja nopeuksien keskiarvo 5 minuutin aikajaksojen perusteella 22.8.2003 klo 14.00–22.00 valtatiellä 4 Vierumäen eteläpuolella olevassa LAM-pisteessä.

Kuvasta 19 voidaan havaita, että keskinopeudessa tapahtui selvä notkahdus jo klo 14.45–15.10. Tänä aikana keskinopeus aleni 93 km/h → 64 km/h, mutta oli taas 93 km/h aikajaksossa klo 15.10–15.15.

Seuraavassa tarkastellaan hieman lähemmin 5 minuutin aikajaksoja klo 14.00–16.20. Taulukossa 9 on esitetty aikajaksoittain Heinolan suunnan liikennemäärä, raskaiden ajoneuvojen osuus sekä nopeuksien keskiarvot ja vaihteluvälit. Raskaiksi ajoneuvoiksi on tässä laskettu kaikki muut paitsi ilman peräkärryä ajavat henkilö- ja pakettiautot sekä moottoripyörät.

Taulukko 9. Heinolan suunnan liikennemäärä, raskaiden ajoneuvojen osuus sekä nopeuksien keskiarvot ja vaihteluvälit 5 minuutin aikajaksojen perusteella 22.8. 2003 klo 14.00–16.20 valtatiellä 4 Vierumäen eteläpuolella olevassa LAM-pisteessä.

Aikajakso klo	Liikennemäärä (ajon/h)	Raskaiden ajoneuvojen lukumäärä (ajon/5 min) ja osuus	Nopeuksien keskiarvo ja vaihteluväli (km/h)		
			Kaikki	Kevyet	Raskaat
14.00–14.05	972	8 (9,9 %)	89 (57–125)	90 (57–125)	86 (70–100)
14.05–14.10	1236	6 (5,8 %)	94 (78–120)	94 (78–120)	93 (86–103)
14.10–14.15	1116	5 (5,4 %)	96 (78–119)	96 (78–119)	91 (85–97)
14.15–14.20	888	4 (5,4 %)	96 (78–113)	96 (78–113)	91 (83–103)
14.20–14.25	1380	6 (5,2 %)	89 (71–113)	89 (71–113)	88 (86–94)
14.25–14.30	1320	13 (10,9 %)	89 (65–109)	89 (65–109)	89 (72–103)
14.30–14.35	1152	5 (5,2 %)	93 (75–109)	94 (75–109)	86 (80–92)
14.35–14.40	1188	4 (4,0 %)	86 (62–111)	87 (62–111)	77 (64–88)
14.40–14.45	900	7 (9,3 %)	93 (80–105)	93 (80–105)	88 (84–95)
14.45–14.50	1392	11 (9,5 %)	85 (67–110)	85 (67–110)	82 (71–95)
14.50–14.55	1464	14 (11,5 %)	80 (65–105)	80 (65–105)	79 (67–87)
14.55–15.00	1488	10 (8,1 %)	76 (55–105)	76 (55–105)	77 (64–85)
15.00–15.05	1596	8 (6,0 %)	64 (46–100)	64 (46–100)	62 (47–89)
15.05–15.10	1224	11 (10,8 %)	88 (55–113)	89 (55–113)	81 (68–98)
15.10–15.15	1200	7 (7,0 %)	93 (81–112)	93 (83–112)	87 (81–96)
15.15–15.20	1620	9 (6,7 %)	84 (47–108)	84 (47–108)	82 (68–89)
15.20–15.25	1332	6 (5,4 %)	91 (76–111)	91 (76–111)	84 (81–87)
15.25–15.30	1428	7 (5,9 %)	89 (69–107)	89 (69–107)	87 (83–96)
15.30–15.35	1284	6 (5,6 %)	90 (67–113)	91 (67–113)	81 (79–83)
15.35–15.40	1476	7 (5,7 %)	86 (67–117)	86 (67–117)	83 (81–87)
15.40–15.45	1392	9 (7,8 %)	86 (65–106)	87 (65–106)	81 (69–92)
15.45–15.50	1740	6 (4,1 %)	84 (65–103)	84 (65–103)	84 (80–86)
15.50–15.55	1344	6 (5,4 %)	82 (45–109)	82 (45–109)	85 (80–89)
15.55–16.00	1536	6 (4,7 %)	77 (56–98)	77 (56–98)	80 (68–85)
16.00–16.05	1248	7 (6,7 %)	86 (70–110)	86 (70–110)	80 (71–86)
16.05–16.10	1512	6 (4,8 %)	68 (37–105)	68 (37–105)	80 (73–90)
16.10–16.15	1308	7 (6,4 %)	82 (56–102)	82 (56–102)	83 (65–94)
16.15–16.20	1356	10 (8,8 %)	53 (22–98)	52 (22–98)	58 (23–75)

Taulukon 9 perusteella raskaiden ajoneuvojen osuus oli klo 14.00–16.20 pääasiassa 4–7 %. Aikajaksossa klo 16.15–16.20, jolloin tie ruuhkautui, osuus oli 8,8 %. Osuus ei ole mitenkään poikkeuksellisen suuri, sillä 6 aikajaksossa klo 14.00–15.10 se oli tätä suurempi.

Ennen aikajaksoa klo 16.15–16.20 LAM-pisteessä ei havaittu ajoneuvoja, joiden nopeus olisi pudonnut yhtä alas kuin asuntovaunua vetäneen henkilöauton johtamassa jonossa klo 16.17. Neljässä aikajaksossa havaittiin kuitenkin jonoja, joissa nopeus oli alle 50 km/h. Kahdessa näistä aikajaksosta, klo 15.00–15.05 ja 16.05–16.10, myös keskinopeus oli alhainen. Ennen klo 16.17 hitaasti etenevät jonot pääsivät kuitenkin vielä purkautumaan, eikä tie ruuhkautunut täysin.

3.2.2 Vierumäen ohituskaistan loppuosan käyttö

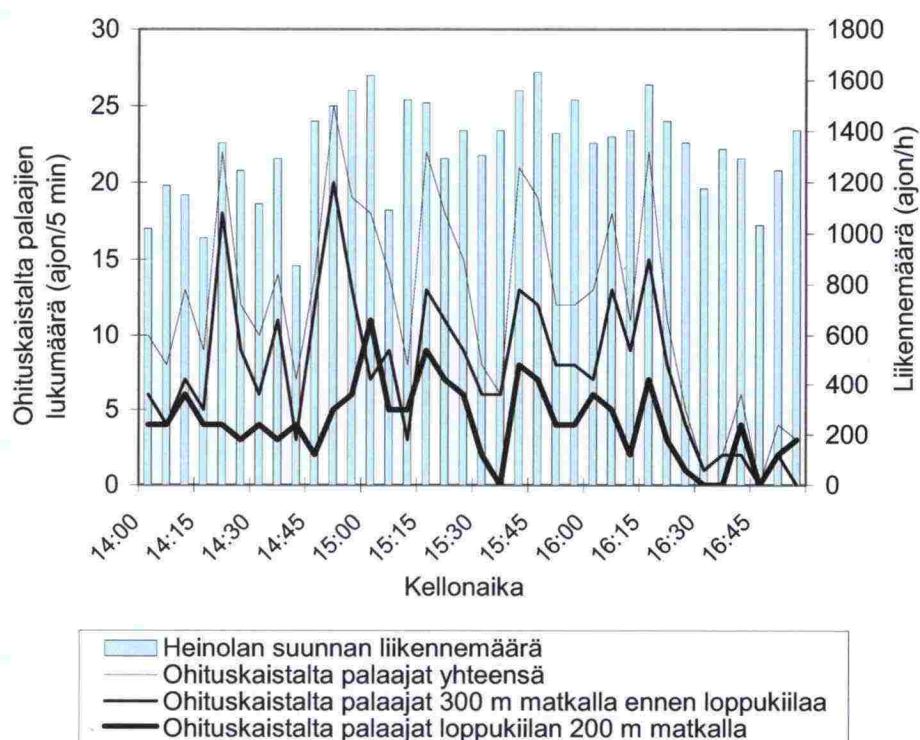
Vierumäen eteläpuolella olevan Heinolan suunnan 2,7 km pituisen ohituskaistan loppuosan käyttöä tarkkailtiin perjantain videonauhoilta klo 14.00–17.00. Nauhoilta laskettiin peruskaistalla ja ohituskaistalla ajavien ajoneuvojen lukumäärät viiden minuutin jaksoissa kahdesta kohdasta: ohituskaistan loppukiilan 200 metrin matkalta sekä 300 metrin matkalta ennen loppukiilaa. Tarkoituksena oli selvittää ohituskaistalta peruskaistalle palaavien ohittajien lukumäärät ja arvioida kaistanvaihtojen merkitystä ruuhkautumiselle.

Kuvassa 20 on esitetty liikennemäärä 5 minuutin aikajaksoissa poikkileikkauksessa 300 m ennen ohituskaistan loppukiilaa ja ohituskaistalta peruskaistalle palaavien ajoneuvojen lukumäärät. Tarkasteluaikana suunnan liikennemäärä vaihteli 876–1632 ajon/h. Suurimmillaan liikennemäärä oli klo 15.45–15.50 ja pienimmillään klo 14.40–14.45. Aikajaksossa 16.15–16.20, jonka aikana tie ruuhkautui, liikennemäärä poikkileikkauksessa 300 metriä ennen ohituskaistan loppukiilaa oli 1584 ajon/h.

Tarkasteluaikana keskimäärin 4 kuljettajaa/5 min päätti ohituksen loppukiilan kohdalla. Ohituskaistan 300 viimeisen metrin matkalla vastaava luku oli kaksinkertainen. Peruskaistalle palaajien osuus vaihteli loppukiilan kohdalla 0–11 kuljettajaa/5 min ja viimeisen 300 metrin matkalla 0–20 kuljettajaa/5 min. Aikajaksossa 16.15–16.20, jonka jälkeen tie ruuhkautui, ohituksen päätti kiilassa 7 ja viimeisen 300 metrin matkalla 15 kuljettajaa.

Aikajakso klo 16.15–16.20, jonka aikana tie ruuhkautui, ei ollut liikennemäärältään tai ohituskaistalta palaajien lukumäärän osalta mitenkään erityisesti muista poikkeava. Viidessä muussa aikajaksossa oli vähintään yhtä monta loppukiilassa kaistaa vaihtanutta ja kahdessa näistä liikennemäärä oli suurempi (yli 1600 ajon/h) kuin klo 16.15–16.20 ja kahdessa lähes yhtä suuri (yli 1500 ajon/h). Jos tarkastellaan kaistanvaihtajia koko 500 metrin matkalla, oli lukumäärä vähintään klo 16.15–16.20 tasolla kolmessa muussa aikajaksossa, joista kahdessa liikennemäärä oli vähintään 1500 ajon/h. Ennen klo 16.15 ei sujuvuusongelmia kuitenkaan ollut.

Heinolan suunnan pitkän ohituskaistan loppupäässä ei siis näytä olevan ruuhkan syntyhetkellä enempää ohituskaistalta palaajia kuin ennen ruuhkautumista. Klo 16.20 jälkeen, jolloin tie oli jo ruuhkautunut, ohittajien lukumäärät vähenivät selvästi.



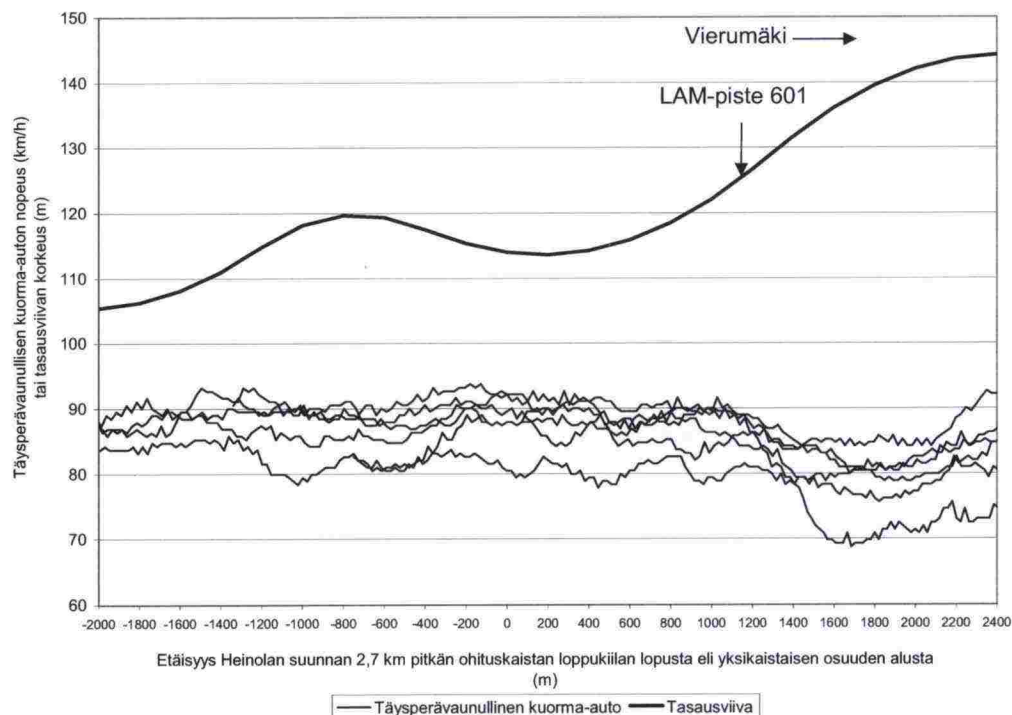
Kuva 20. Liikennemäärä Heinolan suuntaan perjantaina 21.8. Vierumäen eteläpuolella olevan pitkän ohituskaistan loppupäässä sekä ohituskaistalta peruskaistalle palanneiden ajoneuvojen lukumäärät ohituskaistan 300 viimeisen metrin ja loppukiilan 200 metrin matkalla (5 minuutin aikajaksot).

3.3 Ajot analysaattoriautolla

Kokeiluluontoisesti tehdyistä ajoanalysointiajoista saatiin tuloksia kuuden Heinolan suuntaan ajaneen täysperävaunun kuormauksen nopeuksista Harjun pysähdyspaikan ja Vierumäen eritasoliittymän väliltä. Yksi mittausajo tehtiin 12.8. klo 14.40 ja viisi mittausajoa 15.8. klo 21.10–22.40.

Mittausajojen nopeusprofiilit on esitetty kuvassa 21. Kuvassa etäisyyden nollapisteeksi on valittu Heinolan suunnan 2,7 km pitkän ohituskaistan loppukiilan loppupiste. Tätä edeltävää ohituskaistaosuutta kuvassa on 2 kilometrin matkalta. Nollapisteestä eteenpäin Heinolan suunta on yksikaistainen ja tätä osuutta on kuvassa 2,4 kilometrin matkalta. Vierumäen eritasoliittymän poistuva ramppi erkanelee noin 150 metriä tämän jälkeen. Kuvaan on piirretty myös tien tasausviivan korkeus ja LAM-pisteen sijainti.

Vierumäen eritasoliittymää edeltävä ylämäki on noin 2 km pituinen ja koko matkaltaan yksikaistainen Heinolan suuntaan. Mäen jyrkin osuus alkaa noin 30 metriä kuvaan 21 piirretyn LAM-pisteen jälkeen. Osuuden kaltevuus on 2,5 % ja pituus 200 metriä (kuvassa väli 1180–1380 m). Kaikkiaan korkeusero mässä on noin 30 metriä, joten keskimääräinen kaltevuus on noin 1,5 %.



Kuva 21. Kuuden täysperävaunullisen kuorma-auton nopeusprofiili vt 4:lla Vierumäen eritasoliittymän eteläpuolella Heinolan suuntaan ajettaessa.

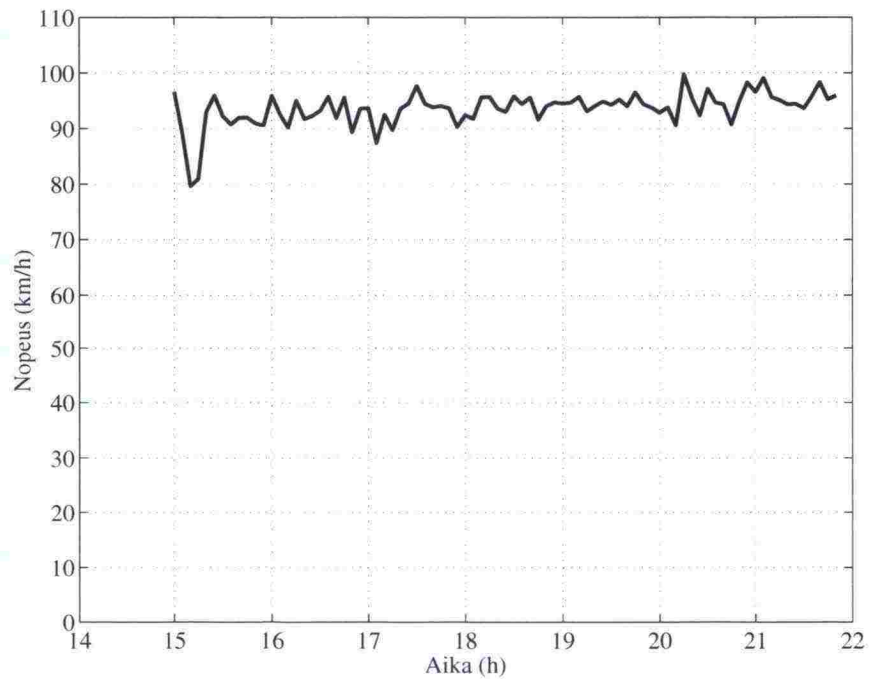
Tulosten perusteella täysperävaunullisten kuorma-autojen nopeudet olivat pääasiassa 80–90 km/h ennen pitkää ylämäkeä. Mäessä nopeudet laskivat selvästi ja alimmillaan ne olivat 69–84 km/h. Puolella kuorma-autoista nopeus oli ylämäessä alle 80 km/h.

3.4 Pistemittaukset HI-STAR -laskentalaitteilla

3.4.1 Keskinopeudet

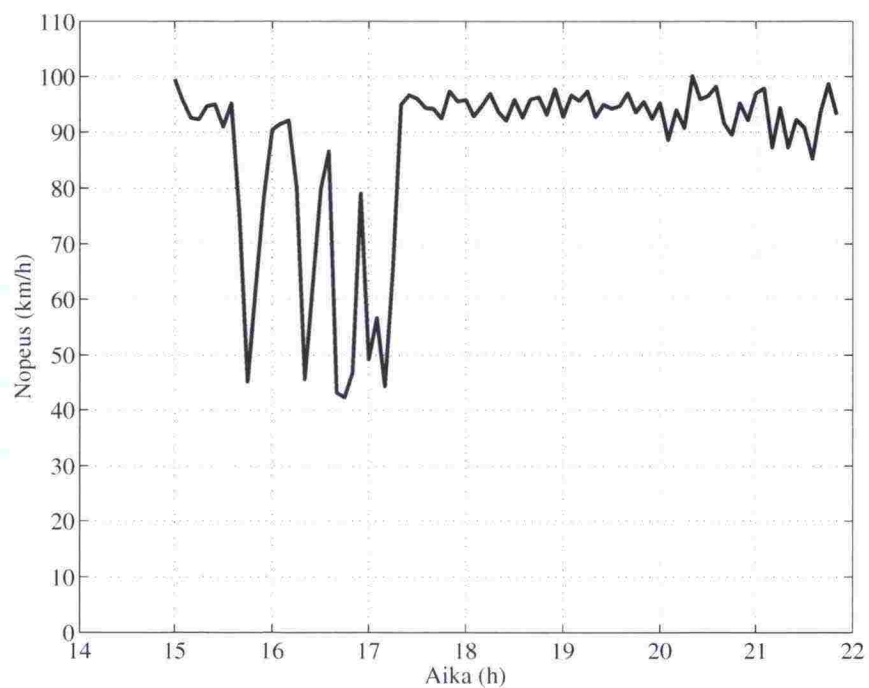
Ruuhkautuneissa liikenneolosuhteissa ajoneuvotiheys kasvaa. Lyhyistä ajoneuvoväleistä johtuen nopeudet laskevat voimakkaasti. Kuvissa 22–29 on esitetty mittauspisteissä mitattu keskinopeus, joka on laskettu viiden minuutin tarkastelujakson aikana ilmaisimen ylittäneiden ajoneuvojen pistenopeuksien harmonisena keskiarvona (nk. matkajakauman keskinopeus).

Ahtialantien liittymän pohjoispuolella (kuva 22) ei esiintynyt ruuhkautumisesta johtuvia alhaisia nopeuksia. Mittauksen alussa oli kuitenkin noin kymmenen minuutin jakso, jolloin keskinopeudet laskivat noin 80 km/h tasolle. Muutoin mittausjaksojen keskinopeudet olivat pääosin välillä 90–100 km/h. Kello 16 jälkeen keskinopeus oli 94 km/h.



Kuva 22. Keskinopeuden vaihtelu Ahtialan liittymän pohjoispuolella 29.8.2003 (H1).

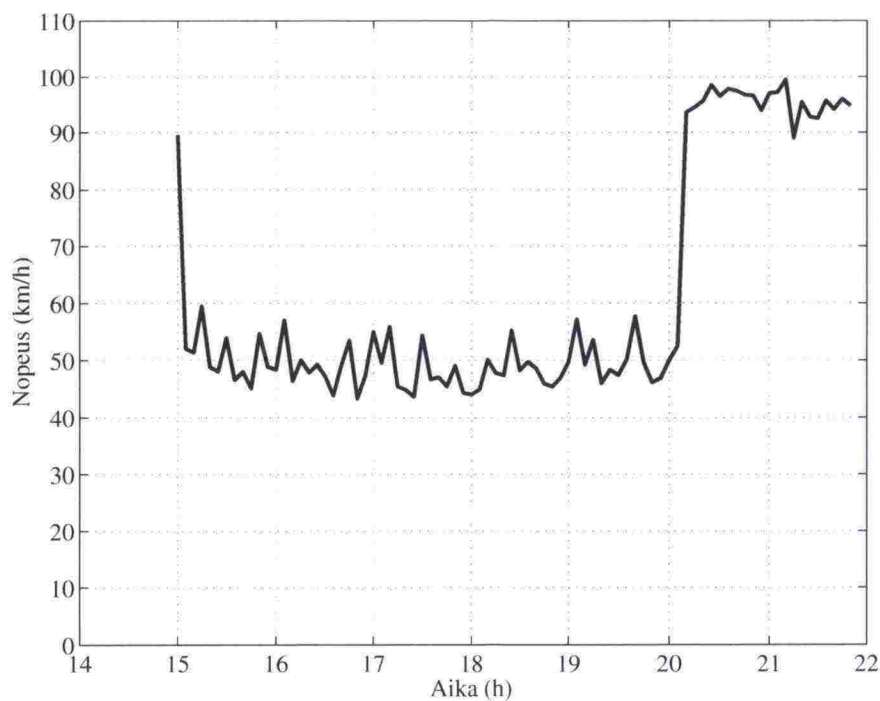
Seestan liittymän kohdalla (kuva 23) esiintyi voimakkaita keskinopeuden vaihteluita noin 15.40–17.20 välisenä aikana. Jäljempänä esitettävä analyysi osoittaa, että nämä häiriöt johtuvat edessä tapahtuneesta ruuhkautumisesta. Ruuhkautuneen jonon loppupäässä nopeuksien vaihtelut ovat suuria.



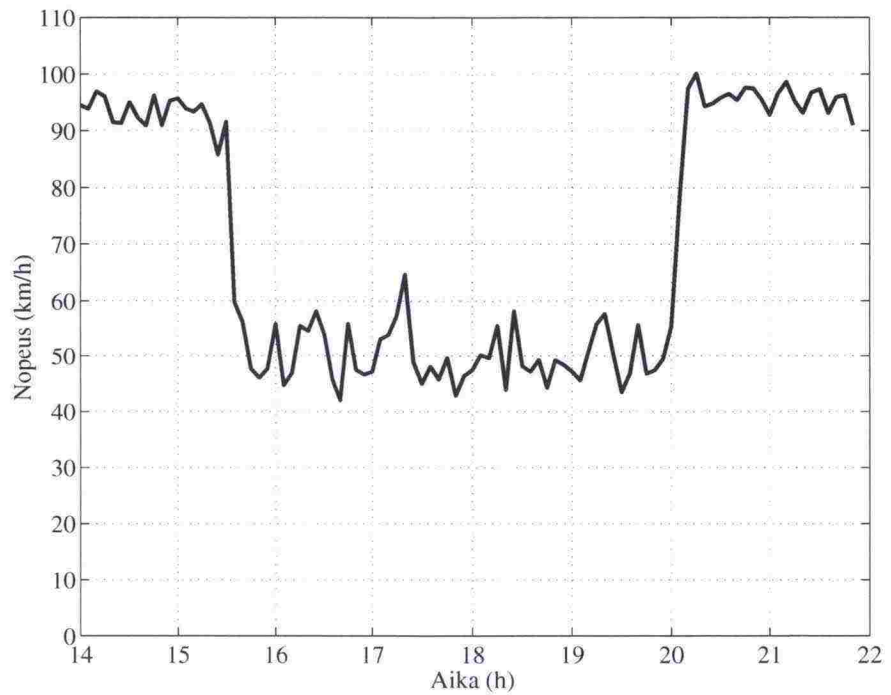
Kuva 23. Keskinopeuden vaihtelu Seestan liittymän kohdalla 29.8.2003 (H2).

Kuva 24 osoittaa, että ensimmäisenä mittauspäivänä yksikaistaisen osuuden alku ruuhkautui heti mittauksen alettua kello 15. Viikkoa myöhemmin (kuva 25) ruuhkautuminen alkoi noin 15.30 aikaan. Ruuhka-aikana keskinopeudet putosivat noin 50 km/h tasolle.

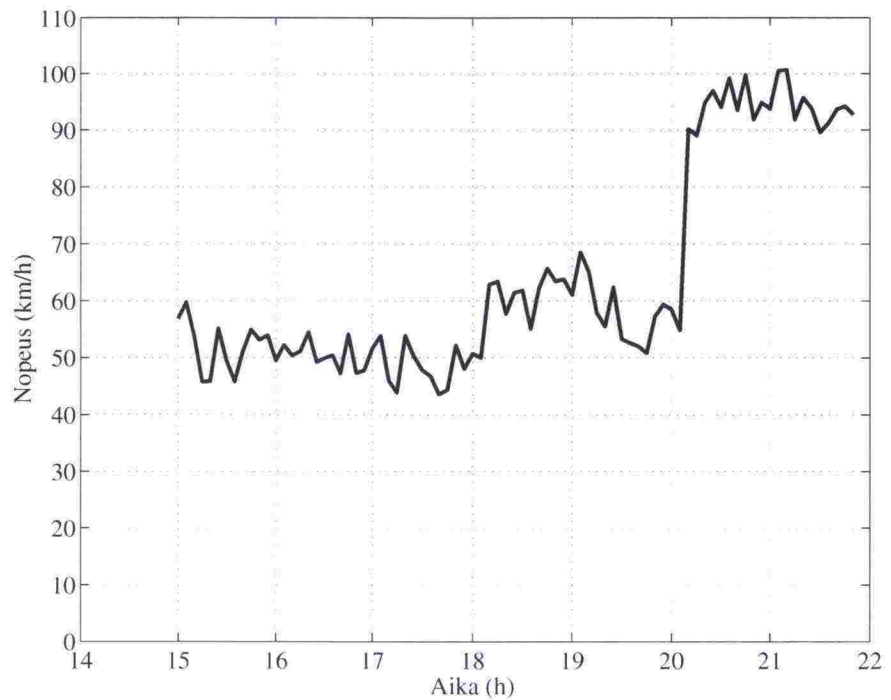
LAM-pisteessä (kuvat 26 ja 27) ruuhkautuminen alkoi hieman aikaisemmin. Suuri nopeuksien vaihtelu ja nopeustason hienoinen lasku aikana 14.00–15.20 (kuva 27) osoittaa, että liikenteessä oli häiriöitä jo ennen ruuhkautumista. Ruuhkautuneen liikenteen keskinopeus oli aluksi noin 50 km/h, mutta nousi molemmilla mittauskerroilla kello 18 jälkeen lähelle 60 km/h.



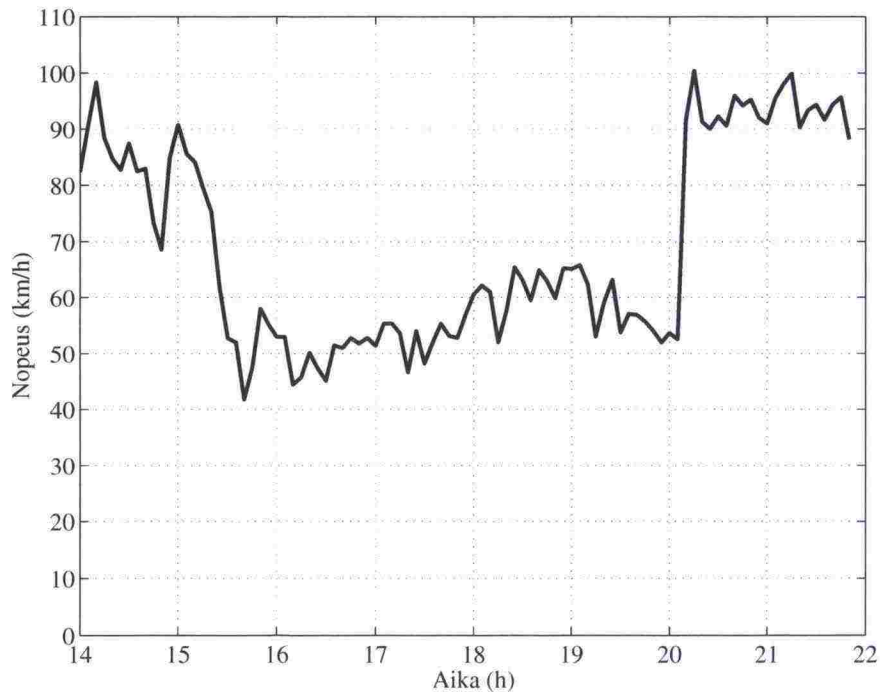
Kuva 24. Keskinopeuden vaihtelu yksikaistaisen osuuden alussa 29.8.2003 (H3).



Kuva 25. Keskinopeuden vaihtelu yksikaistaisen osuuden alussa 5.9.2003 (H3).

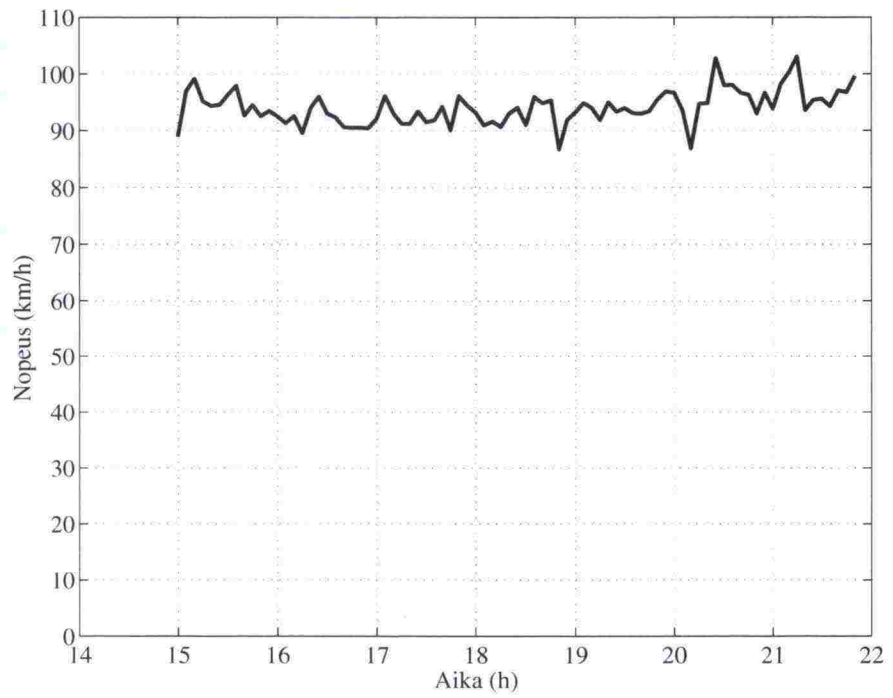


Kuva 26. Keskinopeuden vaihtelu LAM-pisteessä 29.8.2003.

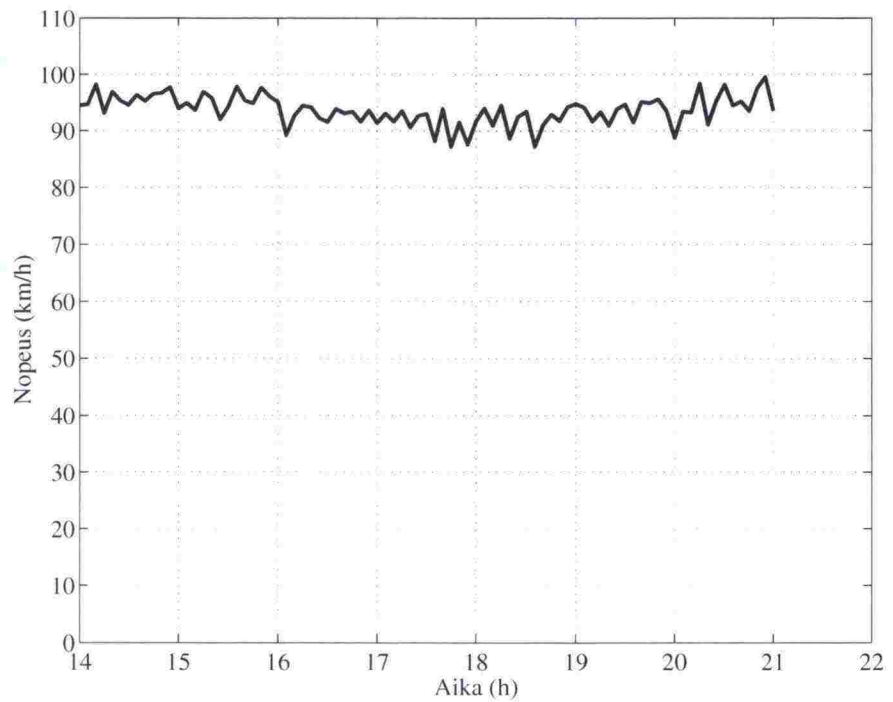


Kuva 27. Keskinopeuden vaihtelu LAM-pisteessä 5.9.2003.

Vierumäen liittymän kohdalla (kuvat 28 ja 29) nopeustaso säilyy vakaana, mikä osoittaa, että mittauspiste sijaitsee pullonkaulan jälkeen. Mikäli pullonkaula olisi ohituskaistaosuuden päättymiskohdassa, tilanne näkyisi LAM-pisteessä alentuneina liikennemäärinä, mutta korkeina keskinopeuksina. Koska ruuhkautuminen kuitenkin näkyy ensimmäisenä juuri yksikaistaisella osuudella sijaitsevassa LAM-pisteessä ja yksikaistaisen osuuden jälkeen sijaitsevassa mittauspisteessä ei esiinny ruuhkautumista, välityskyvyn pullonkaula sijaitsee Lahdesta Heinolaan suuntautuvalla yksikaistaisella osuudella, LAM-pisteen ja Vierumäen liittymän välissä.



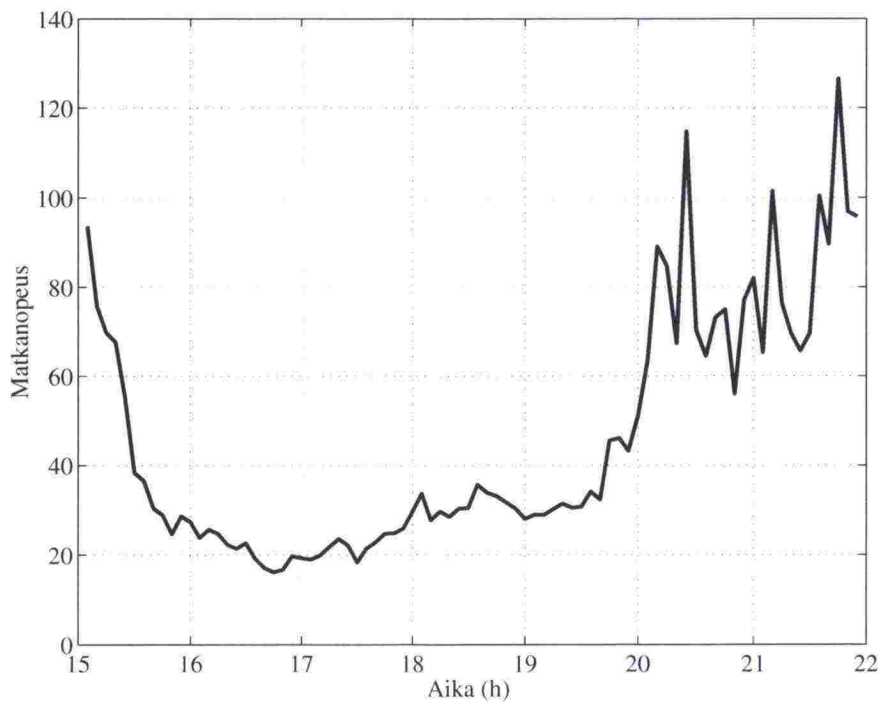
Kuva 28. Keskinopeuden vaihtelu Vierumäen liittymän kohdalla 29.8.2003 (H4).



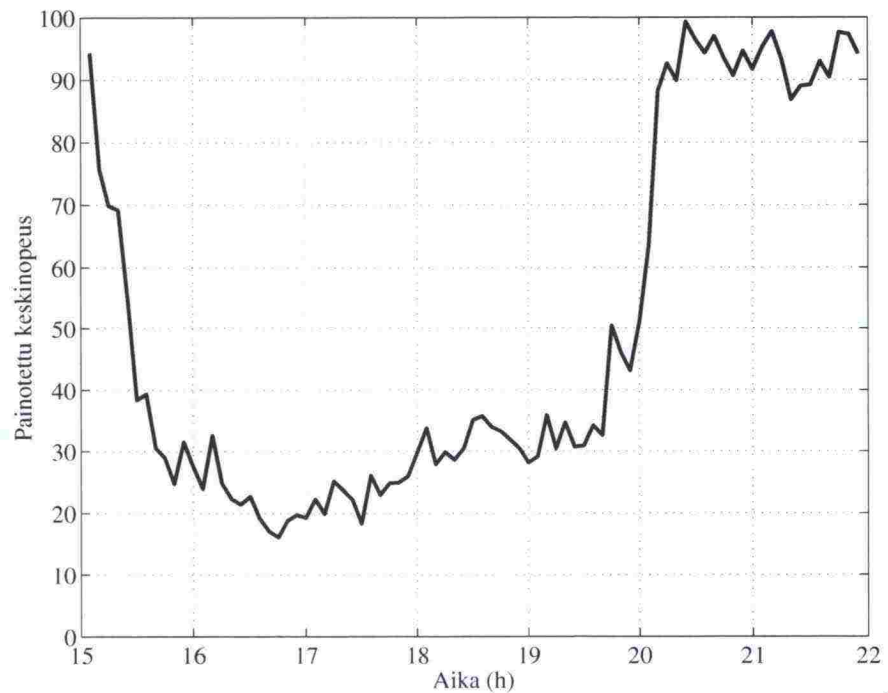
Kuva 29. Keskinopeuden vaihtelu Vierumäen liittymän kohdalla 5.9.2003 (H4).

Edellä tarkastellut nopeudet ovat perustuneet ilmaisinhavaintoihin mittauspisteissä. Nämä mittaukset eivät kuitenkaan havaitse ajoneuvojen kokemia viivytyksiä mittauspisteiden välissä. Liikennevirran perusyhtälön perusteella keskimääräinen matkanopeus voidaan arvioida liikennemäärän ja liikennetiheyden osamääränä. Näin laskettu keskimääräinen matkanopeus on esitetty *kuvassa 30*.

Kuvaaja osoittaa, että jonoutumisesta johtuen ruuhka-ajan keskimääräiset matkanopeudet ovat alhaisempia kuin keskimääräiset pistenopeudet. Ruuhkautumattomissa olosuhteissa menetelmä tuottaa nopeusestimaatteihin suurta hajontaa. *Kuvassa 31* on vielä esitetty keskinopeusestimaatti, jossa ruuhkautuneissa olosuhteissa on painotettu *kuvan 30* keskimääräistä matkanopeutta ja ruuhkautumattomissa olosuhteissa mittauspisteiden H2 ja H3 keskinopeuksien keskiarvoa. Näin molemmissa olosuhteissa painotetaan luotettavampana pidettävää mittausmenetelmää.



Kuva 30. Keskimääräinen matkanopeus (km/h) ilmaisimien H2 ja H3 välillä 29.8.2003 liikennemäärän ja -tiheyden perusteella laskettuna.

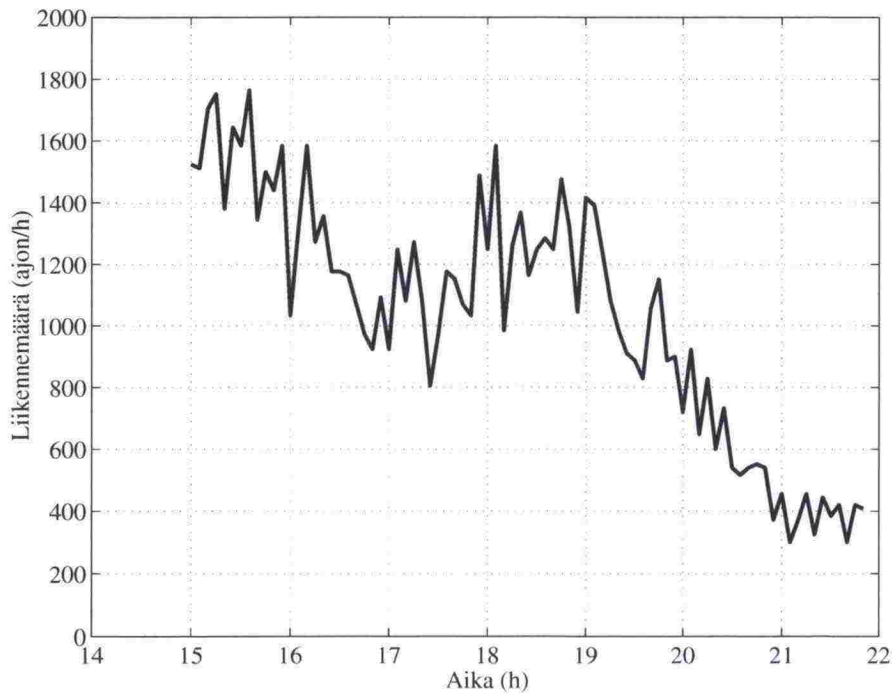


Kuva 31. Painotettu keskinopeus (km/h) ilmaisimien H2 ja H3 välillä 29.8. 2003.

3.4.2 Liikennemäärät

Liikennemäärien ajallinen vaihtelu

Kuvissa 32–39 on esitetty liikennemäärät mittauspisteissä. Liikenteen kysyntää kuvaa parhaiten tarkastelujakson ensimmäinen ilmainen (H1, kuva 32). Mittausjakson alussa (klo 15–16) kysyntä on lähellä yhden kaistan perusvälityskykyä. Tämä selittää myös kuvassa 22 näkyvän hetkellisen keskinopeuden laskun. Mittausten perusteella ei ollut mahdollista selvittää aiheuttiko moottoritien ja moottoriliikennetien liitoskohta pullonkaulan, joka leikkasi liikennemäärää myös Ahtialan eritasoliittymän kohdalla. Moottoritien pää toimii luonnollisesti pullonkaulana silloin, kun saapuvan liikenteen määrä ylittää moottoriliikennetien alun välityskyvyn pohjoiseen suuntaan. Tätä pullonkautaa ei ole tässä tutkimuksessa tarkasteltu.



Kuva 32. Liikennemäärien vaihtelu Ahtialan liittymän pohjoispuolella 29.8.2003 (H1).

Ilmaisimen H1 kohdalla liikennemäärä laski kello 16 jälkeen tasolle 1000–1400 ajon/h, joka taso säilyi noin klo 19 saakka pudoten sitten melko tasaisesti noin 400 ajon/h tasolle kello 21 aikoihin.

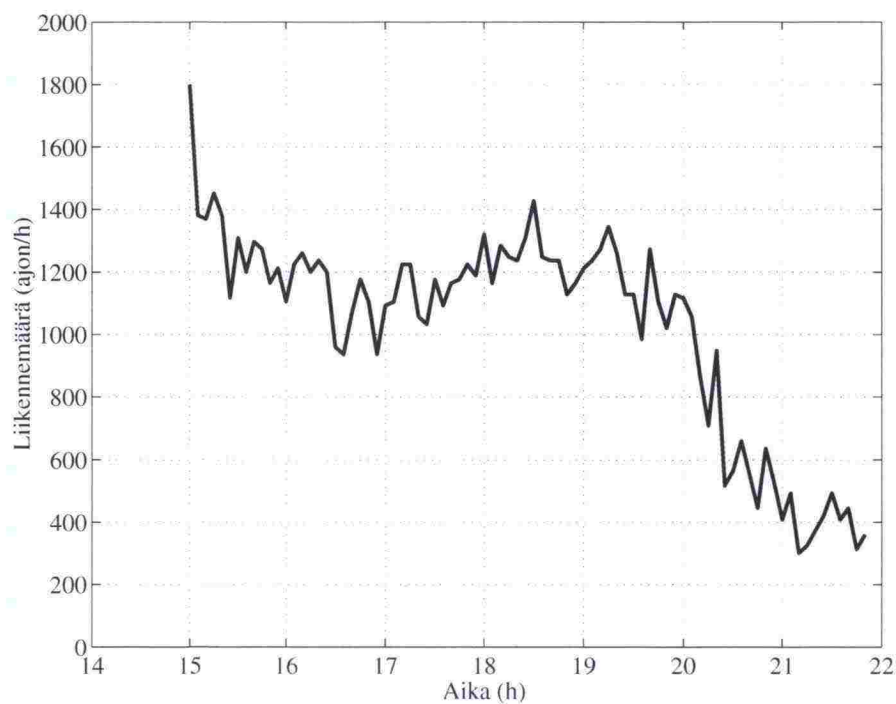
Seestan liittymän kohdalla (kuva 33) ruuhkautumisesta johtuneet hetkittäin voimakkaasti alentuneet keskinopeudet näkyvät myös hetkittäisinä hyvin alhaisina liikennemäärinä. Ne osoittavat ruuhkan aiheuttamien häiriöiden voimakkuutta.

Yksikaistaisen osuuden alussa suoritettut mittaukset (kuvat 34 ja 35) osoittivat myös samaa suuruusluokkaa olevia liikennemääriä kuin ilmaisimella H1. Ensimmäisenä mittauspäivänä (29.8.) hetkellinen maksimiliikennemäärä oli jopa 1800 ajon/h.

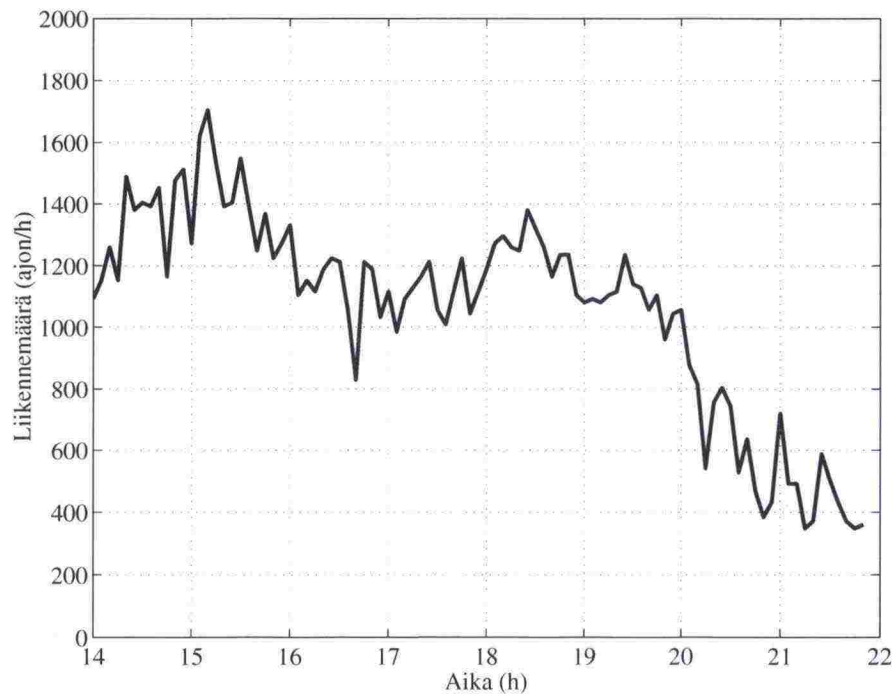
LAM-pisteessä (kuvat 36 ja 37) liikennemäärien vaihtelu oli hyvin saman kaltaista kuin yksikaistaisen osuuden alussa. Ruuhkautumattomissa olosuhteissa suurimmat liikennemäärät eivät kuitenkaan olleet aivan yhtä korkeita.



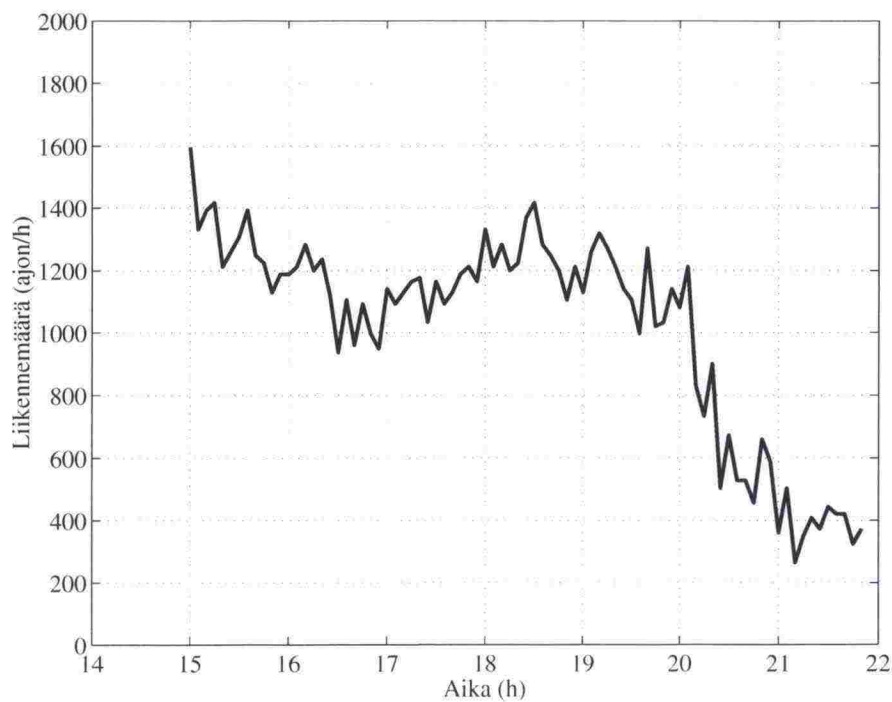
Kuva 33. Liikennemäärien vaihtelu Seestan liittymän kohdalla 29.8.2003 (H2).



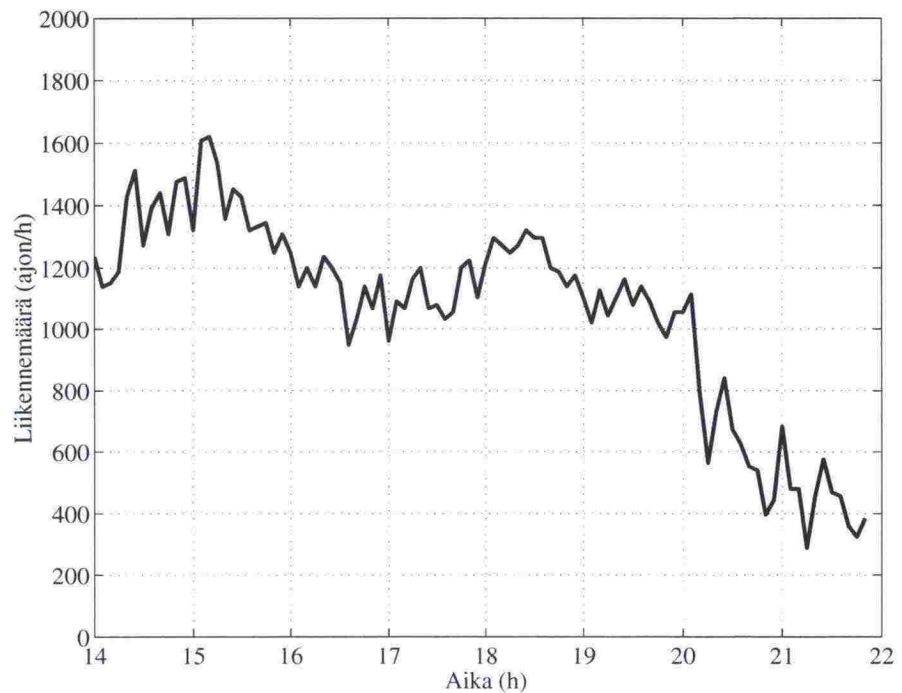
Kuva 34. Liikennemäärien vaihtelu yksikaistaisen osuuden alussa 29.8.2003 (H3).



Kuva 35. Liikennemäärien vaihtelu yksikaistaisen osuuden alussa 5.9.2003 (H3).

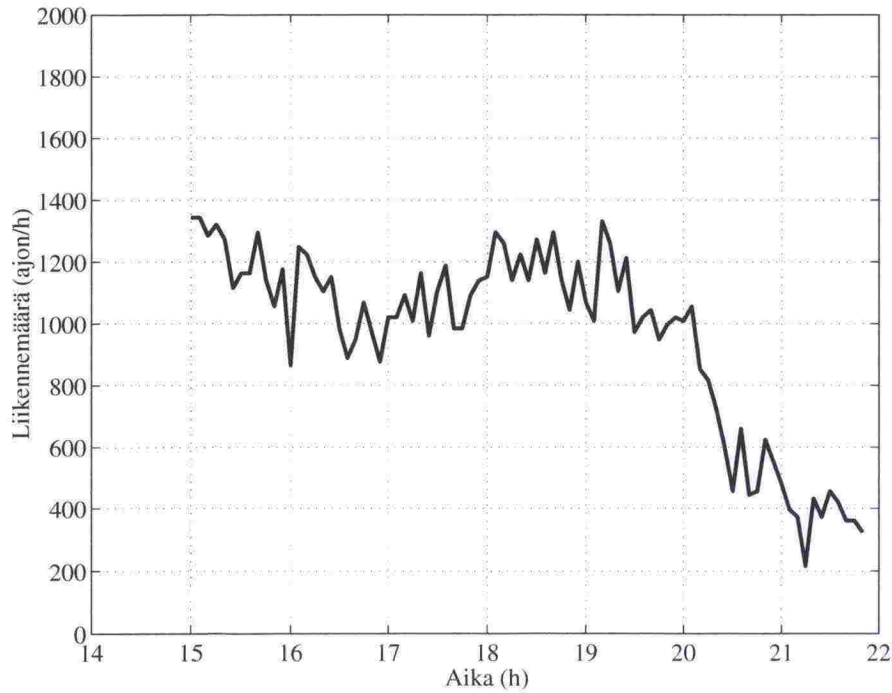


Kuva 36. Liikennemäärien vaihtelu LAM-pisteessä 29.8.2003.

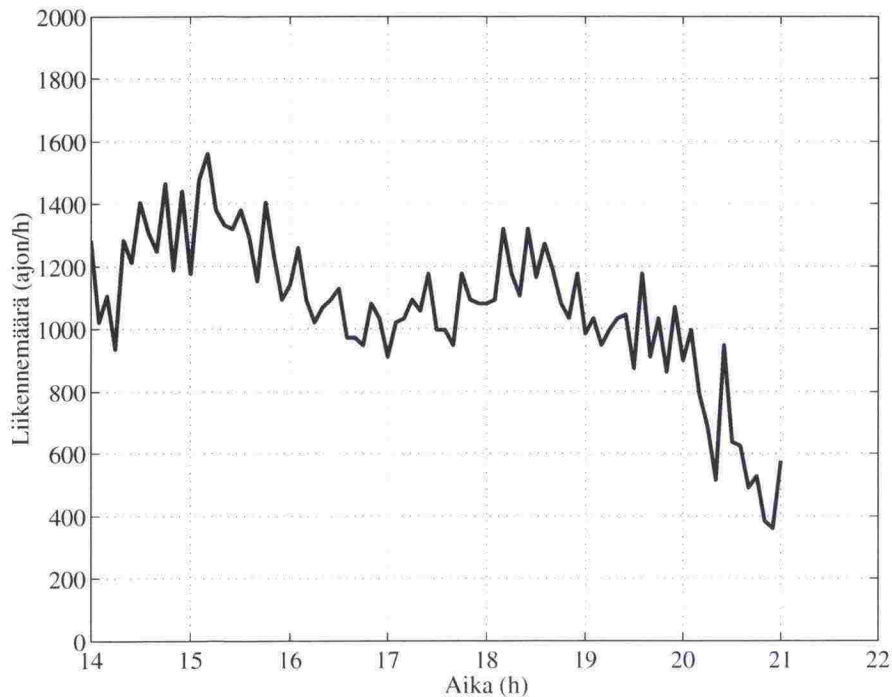


Kuva 37. Liikennemäärien vaihtelu LAM-pisteessä 5.9.2003.

Vierumäen liittymän kohdalla (kuvat 38 ja 39) liikennemäärä vaihteli klo 16–20 välisenä aikana noin välillä 900–1300 ajon/h. Yksikaistaisella osuudella ja Vierumäen liittymässä liikennemäärä pysyi korkealla tasolla pidempään kuin niitä edeltävissä liittymissä. Tämä viittaa ruuhkautuneen jonon purkautumiseen yksikaistaiselta osuudelta. Ruuhkan päätyminen näkyy erityisesti kuvassa 39 nopeana liikennemäärän laskuna.



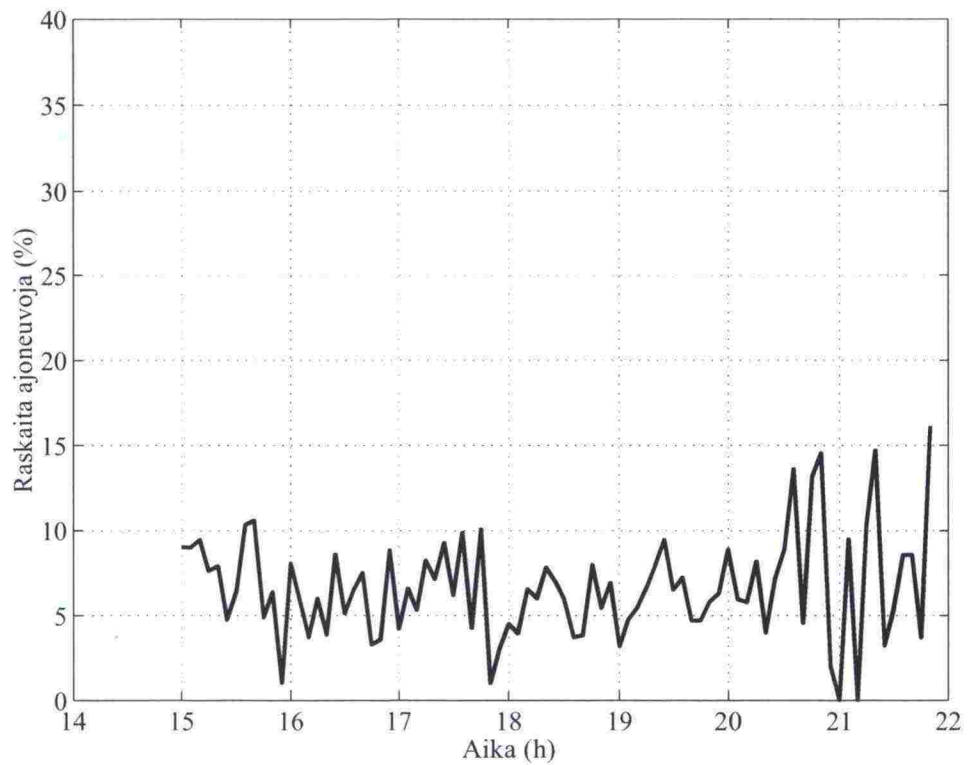
Kuva 38. Liikennemäärien vaihtelu Vierumäen liittymän kohdalla 29.8.2003 (H4).



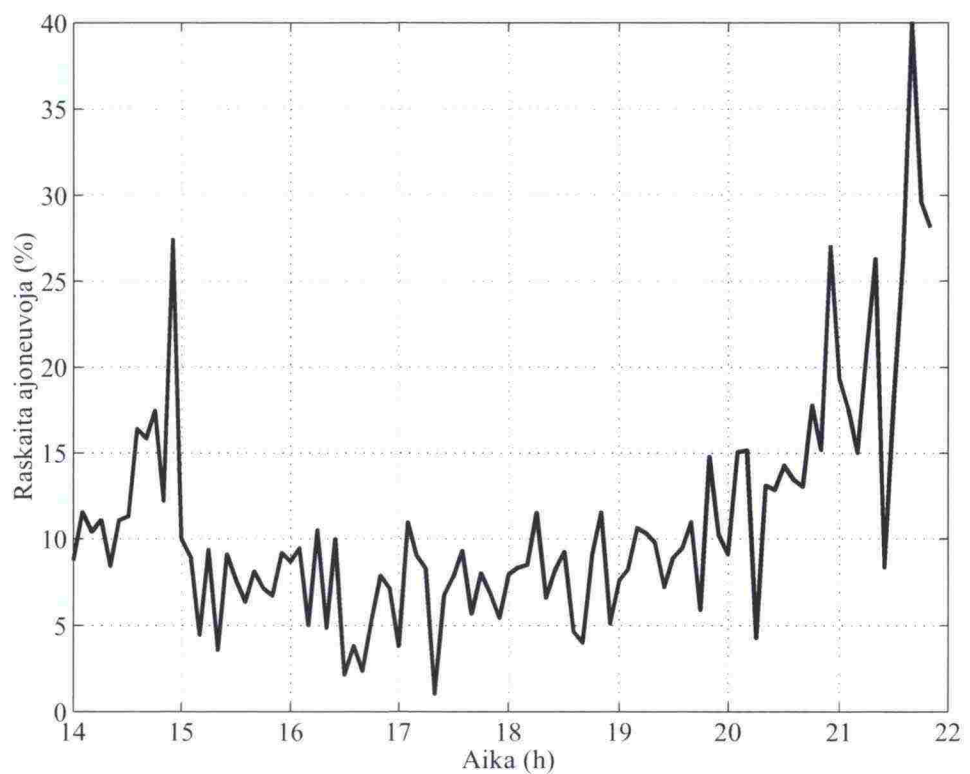
Kuva 39. Liikennemäärien vaihtelu Vierumäen liittymän kohdalla 5.9.2003 (H5).

Kuvissa 40 ja 41 on esitetty raskaiden ajoneuvojen osuus LAM-pisteessä. Raskaiksi ajoneuvoiksi on määritetty kuorma-autot ja linja-autot sekä henkilö-

autot, jotka vetivät peräkärriä tai asuntovaunua. Osuus vaihteli likimäärin viiden ja kymmenen prosentin välillä, mutta nousi jälkimmäisenä mittauspäivänä erityisesti mittauksen lopussa huomattavastikin korkeammaksi.



Kuva 40. Raskaiden ajoneuvojen osuus LAM-pisteessä 29.8.2003.

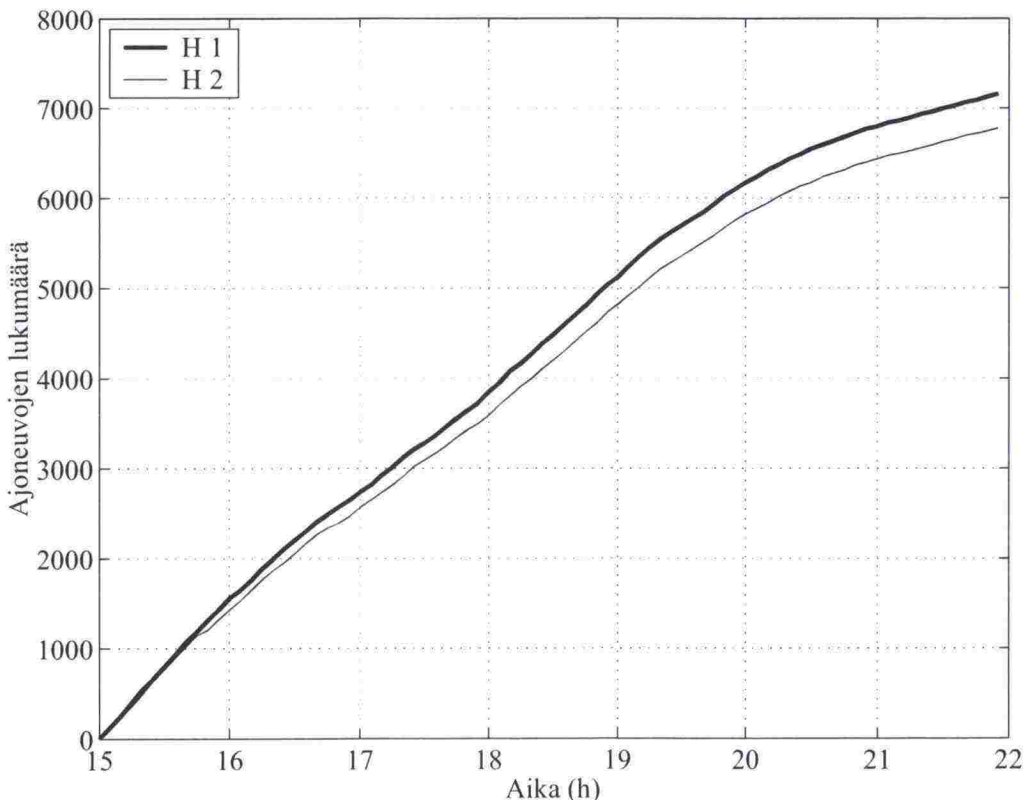


Kuva 41. Raskaiden ajoneuvojen osuus LAM-pisteessä 5.9.2003.

Kumulatiiviset liikennemäärät

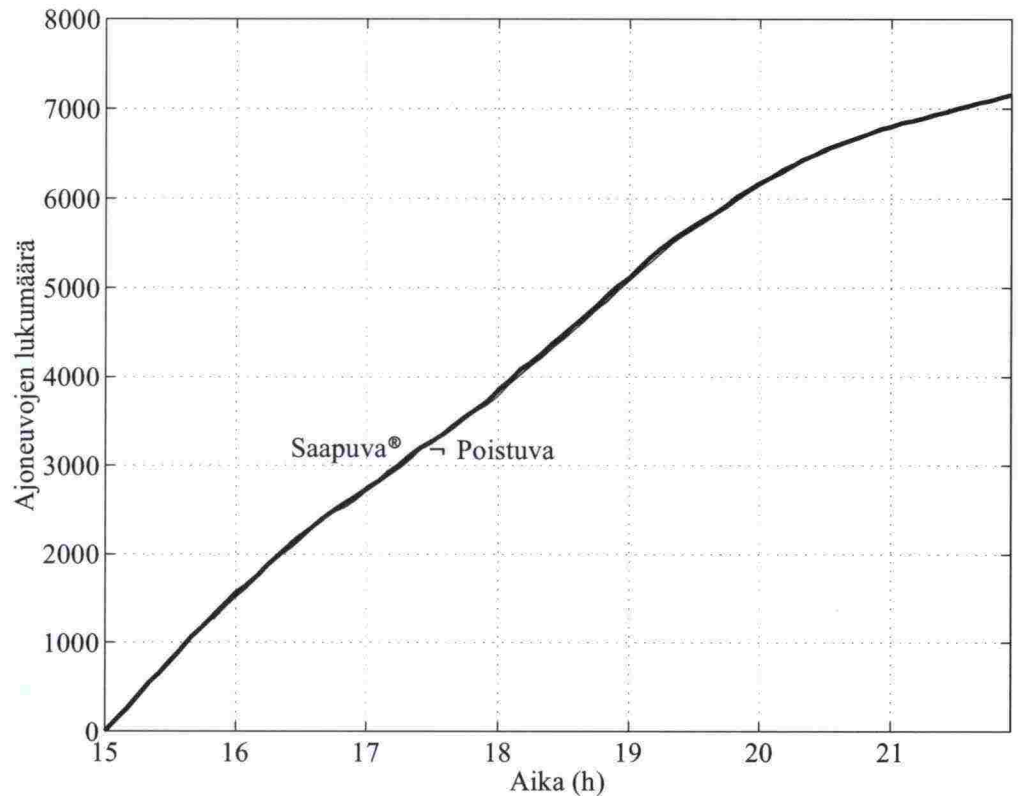
Kumulatiivisia liikennemääriä peräkkäisissä laskentapisteissä tarkasteltiin graafisesti. Mikäli tarkasteltavalle jaksolle saapuvien ja sieltä poistuvien ajoneuvojen määrät olisivat kullakin mittausjaksolla samat, kumulatiiviset käyrät olisivat yhtenevät. Poikkeamat käyrissä johtuvat pääsääntöisesti välissä olevien ramppien saapuvasta ja poistuvasta liikenteestä, ajoajasta laskentapisteen välillä sekä ilmaisinvirheistä. Koska ilmaisimien H3 sijaitsi lähellä LAM-pistettä eikä välillä ollut liittymiä, näiden ilmaisimien kumulatiivisia käyriä saatettiin käyttää osoittamaan mahdolliset systemaattiset erot ilmaisimien laskentatiedoissa. Mitään merkittävää eroa ei havaittu.

Kuvassa 42 on verrattu Ahtialan liittymän pohjoispuolella ja Seestan liittymän kohdalla suoritettujen laskentojen kumulatiivisia käyriä. Laskennan lopussa Seestan liittymän ohittanut kumulatiivinen liikennemäärä on pienempi kuin Ahtialan liittymän kohdalla mitattu arvo. Ero osoittaa Seestan liittymässä poistuneiden ajoneuvojen lukumäärän.



Kuva 42. Saapuneiden ajoneuvojen lukumäärä Ahtialan liittymän pohjoispuolella (H1) ja Seestan liittymän kohdalla (H2) 29.8.2003.

Kuvassa 43 on esitetty vastaavat käyrät, mutta Seestan liittymän laskenta on skaalattu niin, että käyrät yhtyvät tarkasteluajan lopussa. Käyrät ovat käytännössä yhtenevät, mikä osoittaa, että liittymien välillä ei ole välityskyvyn pullonkaulaa, eivätkä edempänä sijaitsevan pullonkaulan vaikutukset näy tällä tiejaksolla merkittävänä jonoutumisena.



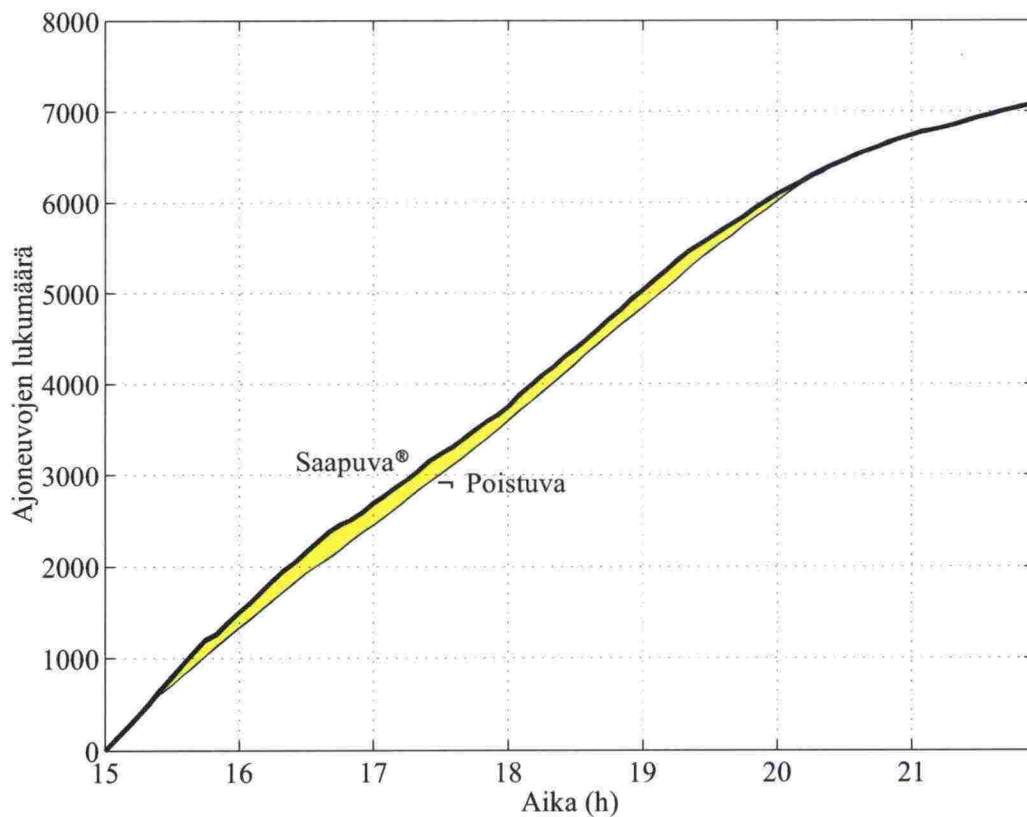
Kuva 43. Saapuneiden ajoneuvojen skaalattu lukumäärä Ahtialan (H1) ja Seestan (H2) liittymien kohdalla 29.8.2003.

Kuvassa 44 on esitetty vastaava tarkastelu ilmaisimien H2 ja H3 välillä. Noin 15.30 alueelle saapuvan liikenteen kumulatiivinen käyrä nousee selvästi alueelta poistuvan liikenteen kumulatiivisen käyrän yläpuolelle. Käyrät kohtaavat vasta kello 20 jälkeen. Käyrien välinen vertikaalinen etäisyys kuvaa ruuhkautumisesta johtuen alueelle jääneitä ylimääräisiä ajoneuvoja.

Käyrien välinen horisontaalinen etäisyys kuvaa ajoneuvojen keskimääräistä viivytystä. Käyrien väliin jäävä pinta-ala osoittaa ruuhkautumisesta aiheutuvan kokonaisviiveen, joka 29.8.2003 oli noin 855 tuntia. Tästä varsinaisena ruuhka-aikana 15.05–20.10 kertyi 838 tuntia. Kyseisenä aikana ilmaisimen H3 ylitti 5959 ajoneuvoa, joten keskimääräinen viivytys oli noin 8 minuuttia 26 sekuntia. Jos vapaaksi nopeudeksi oletetaan ilmaisimen H1 tietojen perusteella 94 km/h, ruuhka-aikana keskinopeus tarkasteluvälillä oli arviolta 30 km/h. Tämä on sopusoinnussa kuvan 31 kanssa.

Jos liikenteen keskimääräiseksi aikakustannukseksi oletetaan 10 euroa/tunti, kyseisenä päivänä ruuhkasta aiheutui Seestan liittymän ja yksikaistaisen osuuden alun välillä noin 8 500 euron aikakustannus. Ruuhkan aiheuttamien yhteiskuntataloudellisten kustannusten tarkempi selvittäminen ei ollut tämän tutkimuksen yhteydessä mahdollista.

Yksikaistaisella osuudella kumulatiiviset käyrät eivät osoittaneet merkittävää ajoneuvojen kerääntymistä. Tarkempi tarkastelu osoitti, että saapuneiden ajoneuvojen kumulatiivinen määrä ruuhka-aikana oli hieman suurempi kuin poistuneiden ajoneuvojen määrä.

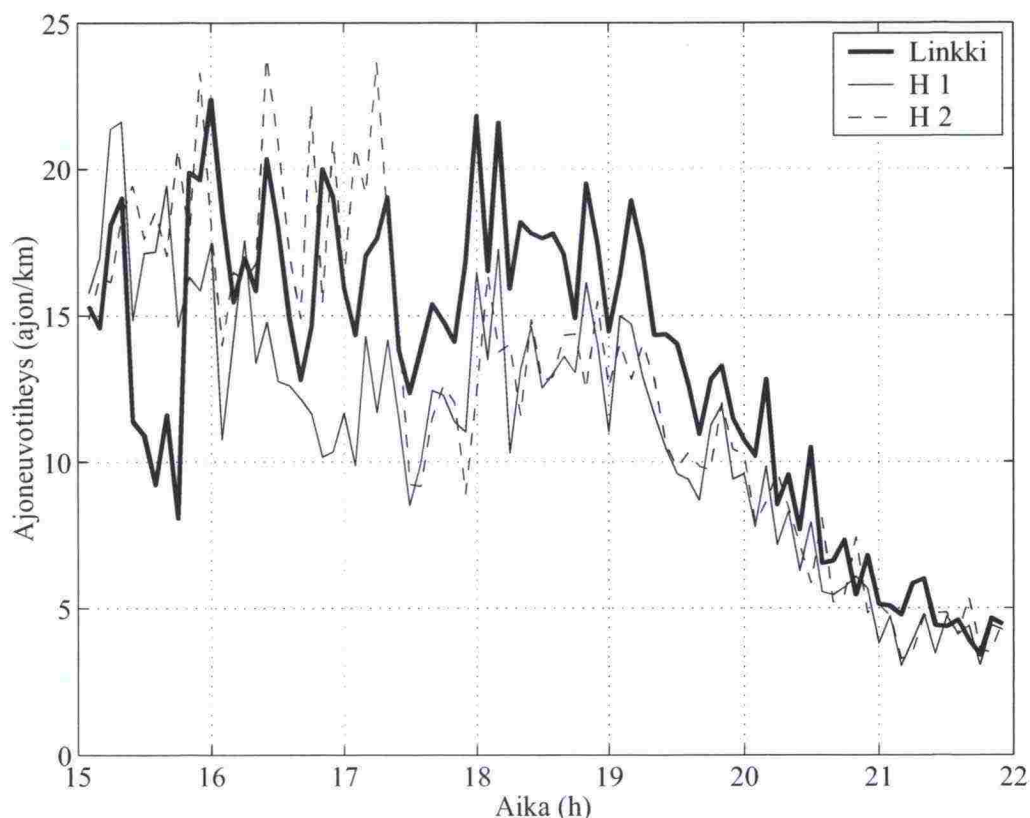


Kuva 44. Saapuneiden ja poistuneiden ajoneuvojen skaalattu lukumäärä ilmaisimien H2 ja H3 välissä 29.8.2003.

Määrät olivat kuitenkin niin pieniä, että ne eivät juurikaan erottuneet edellä esitetyn kaltaisissa kuvaajissa. Täsmällisempi kuva liikennetilanteesta saadaankin tarkastelemalla liikennetiheyden vaihtelua.

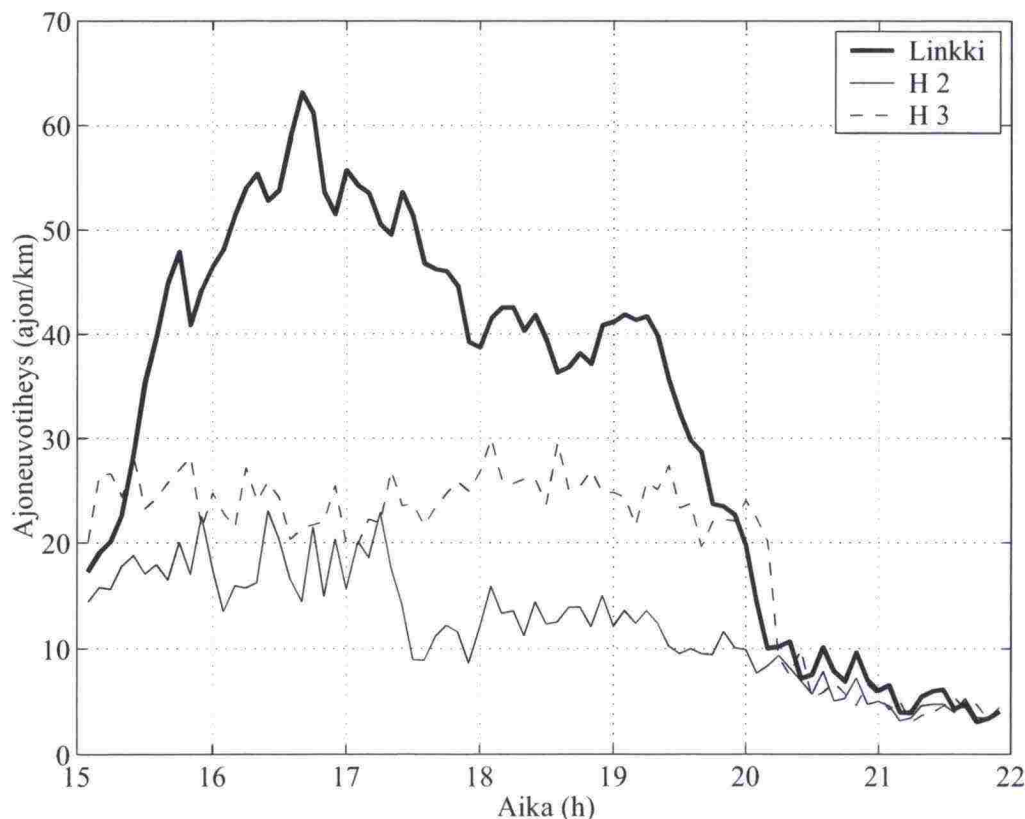
3.4.3 Liikennetiheys

Kuvissa 45 ja 46 on esitetty liikennetiheys kahdella tiejaksoilla. Laskentamenetelmä on kuvattu edellä. Ilmaisinkohtaiset tiheysestimaatit on laskettu liikennemäärän ja keskinopeuden osamääränä.



Kuva 45. Liikennetiheys ilmaisimien H1 ja H2 välissä 29.8.2003.

Kuva 45 osoittaa, että Ahtialan liittymän ja Seestan liittymän välissä tiheys nousee maksimissaan noin 20 ajoneuvoon kilometrillä, joka vastaa kaksikais-taisen tien yhden ajokaistan kriittistä tiheyttä (Luttinen 2001). Liikenne vaikuttaa siis koko tieosuutta tarkastellen ruuhkautumattomalta, mutta häiriöherkältä. Ilmaisimen H2 osoittamat häiriöt keskinopeuksissa (kuva 23) viittaavat jonkinasteiseen ruuhkautumiseen tämän tieosuuden loppuosalla.

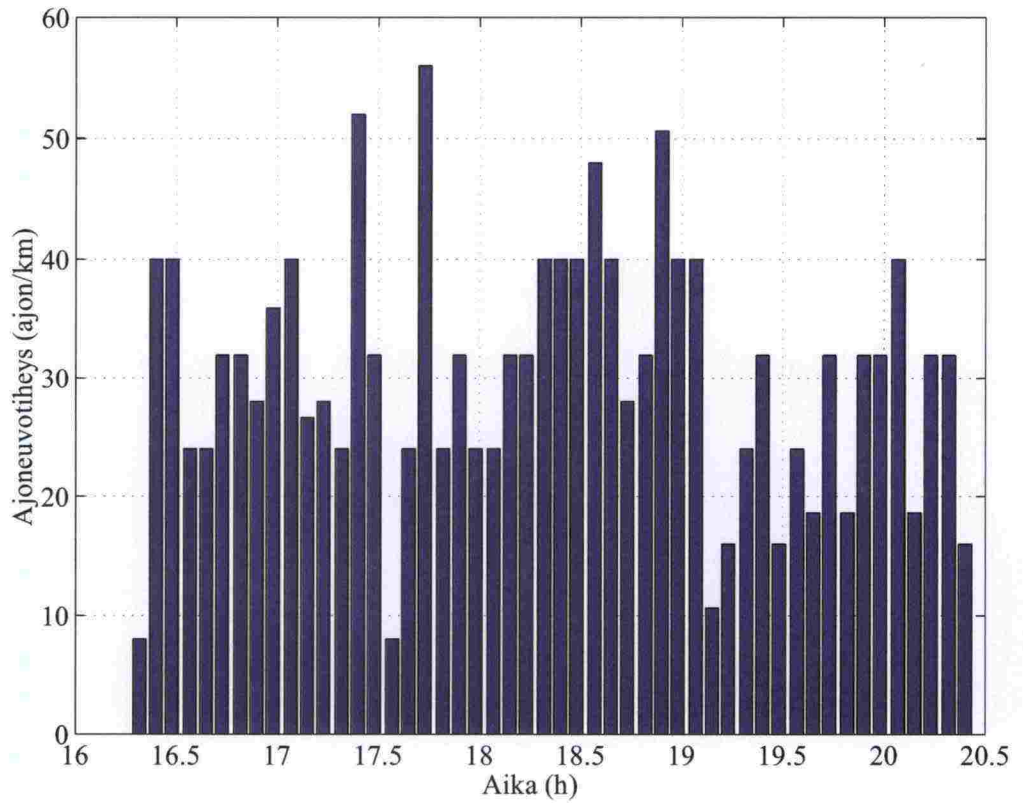


Kuva 46. Liikennetiheys ilmaisimien H2 ja H3 välissä 29.8.2003.

Kuva 46 puolestaan osoittaa, että Seestan liittymän ja yksikaistaisen osuuden alun välillä liikennetiheys nousee ennen klo 17 jopa yli 60 ajoneuvon kilometrillä. Hieman ennen kello 18 tiheys alkaa vakiintua alle 45 ajon/km tasolle, josta tiheys laskee noin 19.20 jälkeen nopeasti tasolle alle 10 ajon/km. Tämä alenut, vaikkakin edelleen ruuhkautumista osoittava, liikennetiheys näkyy nopeustason lievänä nousuna kuvissa 26 ja 31. Kun verrataan tiheyskäyrää liikenteen kysyntää Ahtialan liittymässä osoittavaan käyrään kuvassa 32, havaitaan, että ruuhkautuneen liikenteen tiheys näyttää nousevan silloin, kun liikennemäärä ilmaisimella H1 ylittää noin 1 200 ajon/h.

Input–output -malliin perustuva liikennetiheys on selvästi korkeampi kuin mittauspisteiden tiheysestimaatit, jotka eivät ota huomioon mittauspisteiden väliin kertyneitä ajoneuvoja. Ruuhkan purkautuessa jälkimmäisen mittauspisteen laskennallinen tiheys kuitenkin säilyy pidempään korkealla tasolla, siihen saakka kunnes ruuhka on purkautunut koko tiejaksolta.

Kuvassa 47 on esitetty liikennetiheys yksikaistaisella osuudella videokuvausten perusteella. Videokuvausten avulla tarkasteltiin ajoneuvojen määrää 102,5 metrin tiejaksolla, joka sijaitsi ennen LAM-pistettä. Tiejakson lyhyys aiheutti tiheysarvoihin ylimääräistä hajontaa. Ruuhka-aikana liikennetiheys oli enimmäkseen välillä 20–40 ajon/km, joka viittaa ruuhkautuneeseen liikenteeseen. Muutamia mittausjaksoja lukuunottamatta tiheys ei noussut yli 40 ajoneuvon kilometrille. Raskaiden ajoneuvojen edessä olevat tyhjät alueet aiheuttivat ruuhka-aikana varsin alhaisiakin liikennetiheyksiä.



Kuva 47. Liikennetiheys yksikaistaisella osuudella ennen LAM-pistettä videokuvausten perusteella 22.8.2003.

Liikennetiheyttä yksikaistaisella osuudella tarkasteltiin myös input–output -mallin avulla. Tulokset olivat samankaltaisia videomittausten kanssa. Ylimääräistä virhettä (jopa negatiivisia tiheyksiä) tarkasteluun aiheutti se, että HISTAR -ilmaisimien kelloa ei oltu synkronoitu LAM-pisteen kellon kanssa. Tästä johtuen näitä tiheystarkasteluja ei ole sisällytetty tähän raporttiin. Pistekohtaiset tiheystestimaatit olivat vakaampia. Ne olivat ruuhka-aikana enimmäkseen välillä 20–30 ajon/km.

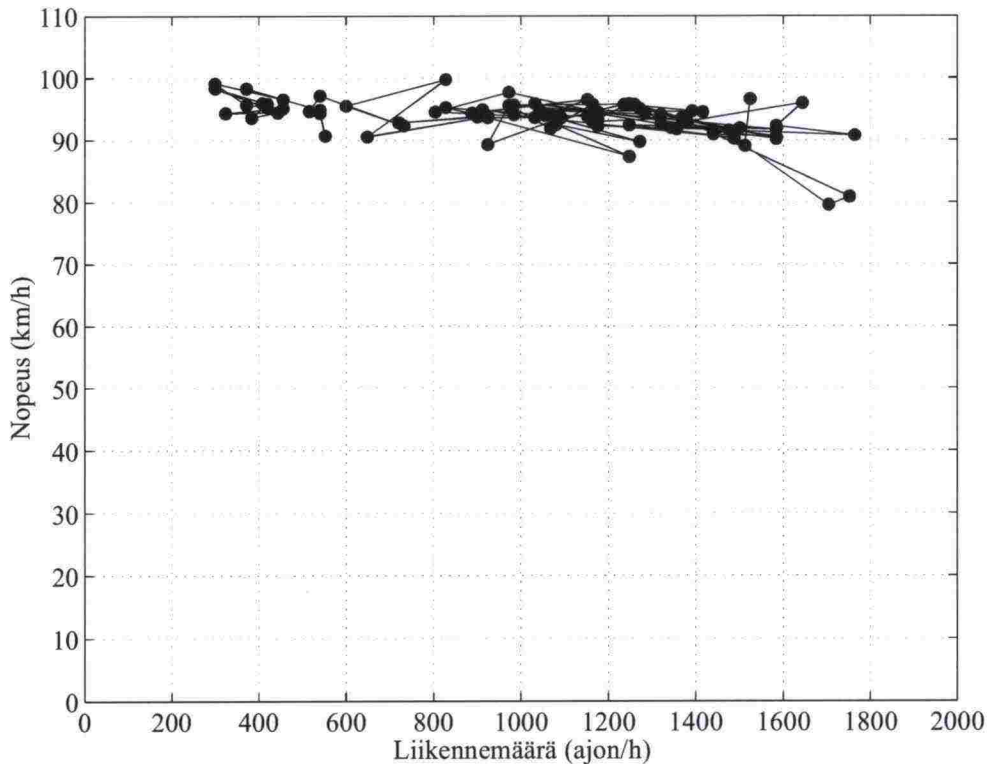
Liikennetiheydet yksikaistaisella osuudella ruuhka-aikana ovat varsin alhaiset. Vain hieman kriittistä tiheyttä (maksimiliikennemäärää vastaavaa liikennetiheyttä) suurempia. Alhaisesta tiheydestä johtuen ruuhkautuminen yksikaistaisella osuudella etenee taaksepäin hyvin nopeasti. Yksikaistaista osuutta edeltävällä tieosuudella liikennetiheys ruuhkassa on huomattavasti suurempi.

3.4.4 Nopeus-liikennemäärä -kuvaajat

Edellä on kuvattu liikenteen ajallisia vaihteluita keskeisten liikennevirtaa kuvaavien suureiden avulla. Seuraavaksi kuvataan tarkasteltavan tiejakson liikenteellisiä ominaisuuksia liikennevirran peruskuvaajien avulla. Ensiksi kuvataan liikenteen keskinopeuksien ja liikennemäärien keskinäistä riippuvuutta.

Ahtialan liittymän pohjoispuolella mitatut liikennetilanteet olivat ruuhkautumattomia. Keskinopeudet olivat enimmäkseen välillä 90–100 km/h. Nopeudet alenivat loivasti liikennemäärän kasvaessa (kuva 48). Suurimmilla liikennemäärillä

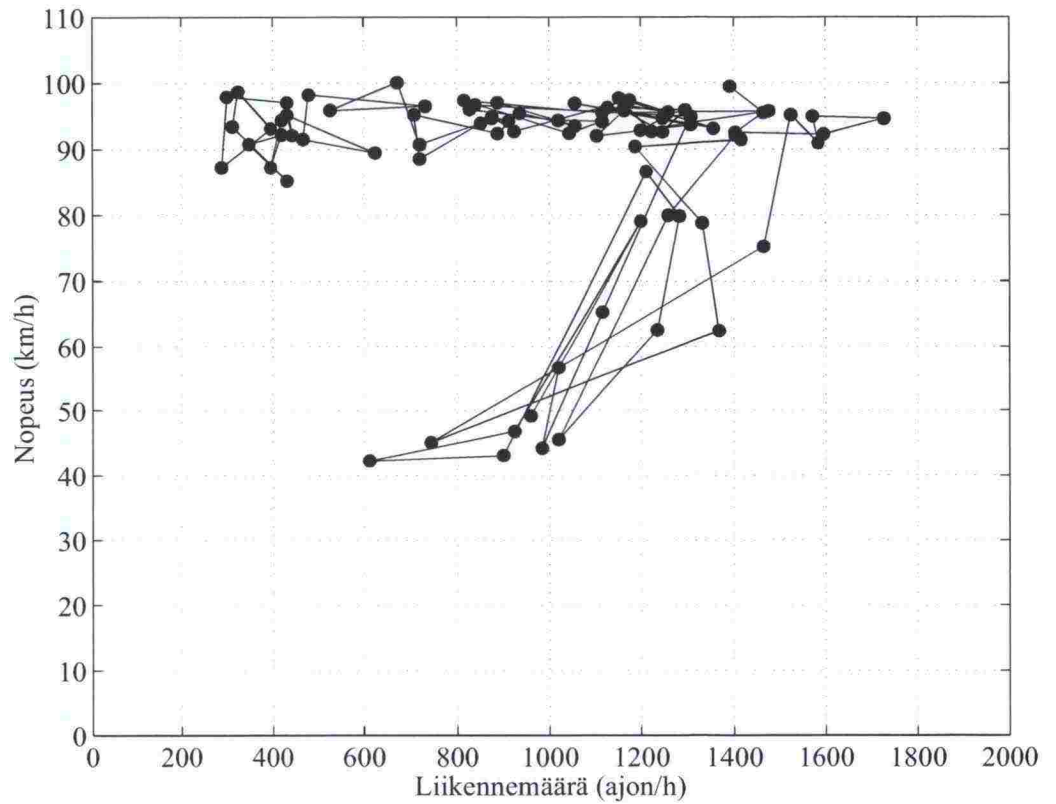
lä havaitaan pari alhaisempaa keskinopeutta, jotka osoittavat, että liikennemäärillä 1 700–1 800 ajon/h liikennetilanne alkaa olla epävakaata.



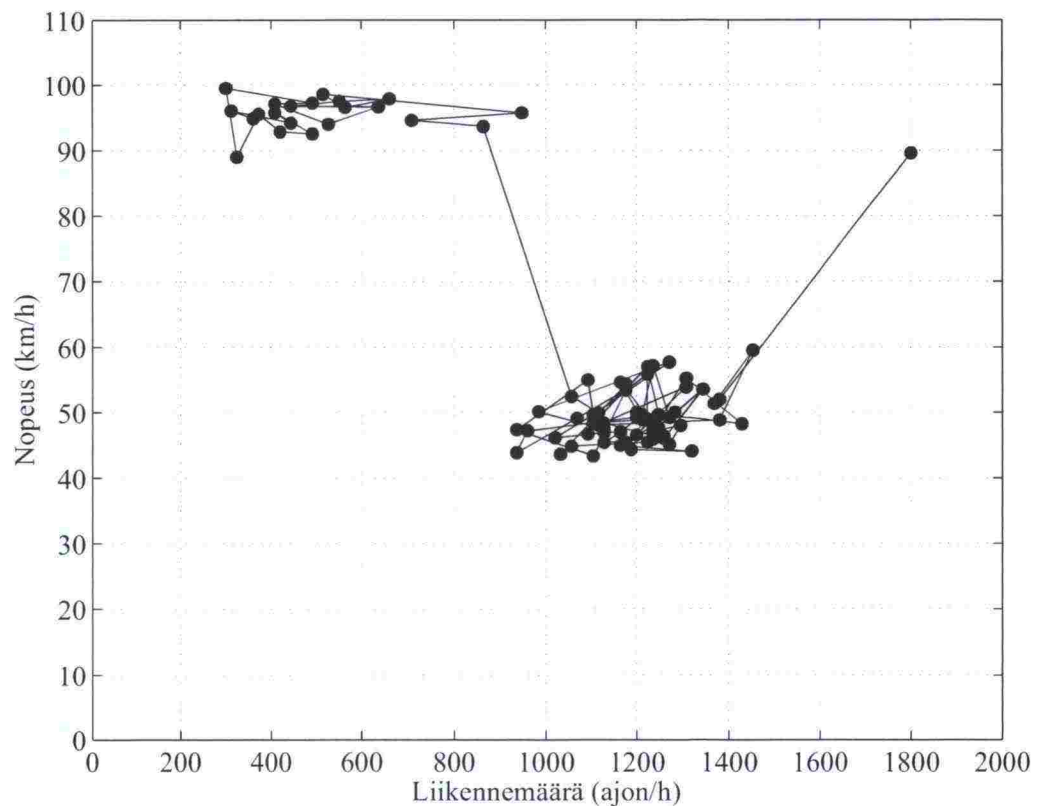
Kuva 48. Keskinopeus ja liikennemäärä Ahtialan liittymän pohjoispuolella 29.8.2003 (H1).

Seestan liittymän kohdalla (kuva 49) suurin havaittu liikennemäärä oli runsaat 1700 ajon/h. Ruuhkautumattomissa olosuhteissa keskinopeudet ovat tässäkin pisteessä enimmäkseen välillä 90–100 km/h ja laskevat hyvin loivasti liikennemäärän kasvaessa. Liikennetilanteen epävakaas näkyy nopeuksien voimakkaana heilahteluina. Tältä osin kuvaaja ei niinkään kerro kyseisen mittauspaikan ominaisuuksista, vaan mittauspaikalla vallinneen ruuhkan dynamiikasta.

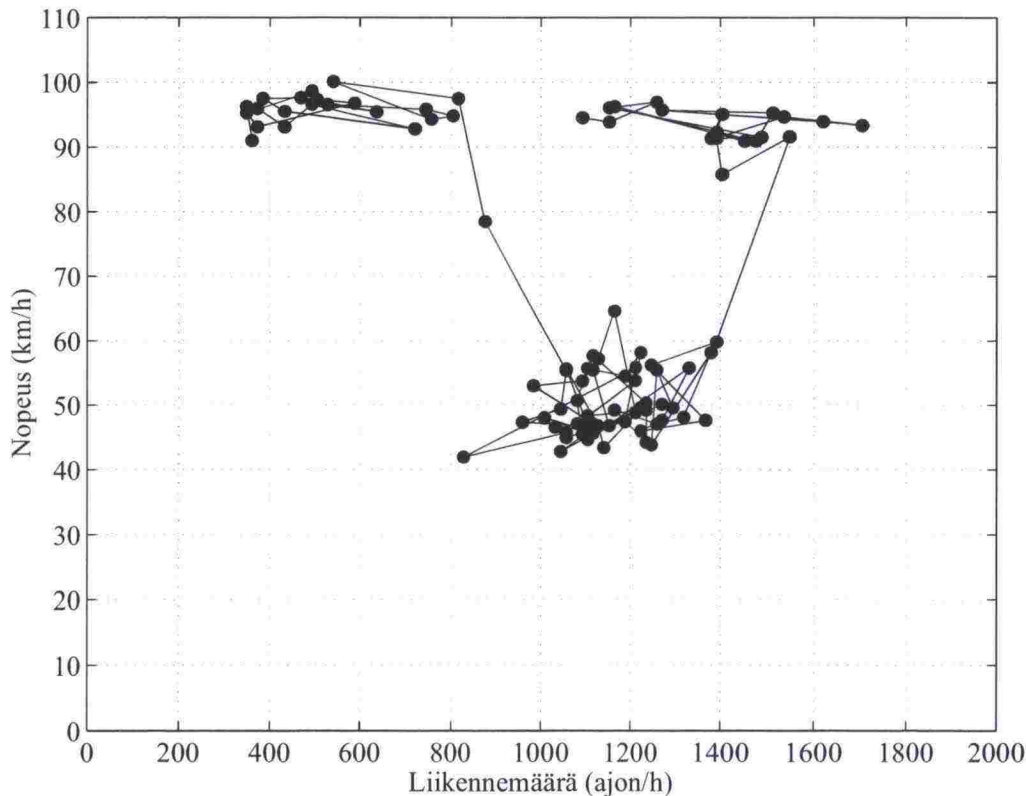
Yksikaistaisen osuuden alussa (kuvat 50 ja 51) nopeustaso ruuhkautumattomissa olosuhteissa oli saman kaltainen kuin mittauspisteissä H1 ja H2. Merkilepantavaa on, että kuvaajasta puuttuvat kokonaan pisteet, jotka kuvaisivat siirtymistä ruuhkautumattomista olosuhteista ruuhkautuneisiin olosuhteisiin. Siis havainnot, joissa liikennemäärä olisi 1400–1800 ajon/h ja nopeustaso 60–80 km/h. Tulos johtunee siitä, että välityskyvyn kannalta määräävä ei ole kyseinen mittauspiste. Kun edellä sijaitsevasta pullonkaulasta aiheutuva jono ulottuu mittauspisteelle H3, sen nopeudet ja liikennemäärät putoavat äkillisesti. Nopeudet ovat pääosin välillä 40–60 km/h ja liikennemäärät välillä 900–1400 ajon/h.



Kuva 49. Keskinopeus ja liikennemäärä Seestan liittymän kohdalla 29.8.2003 (H2).



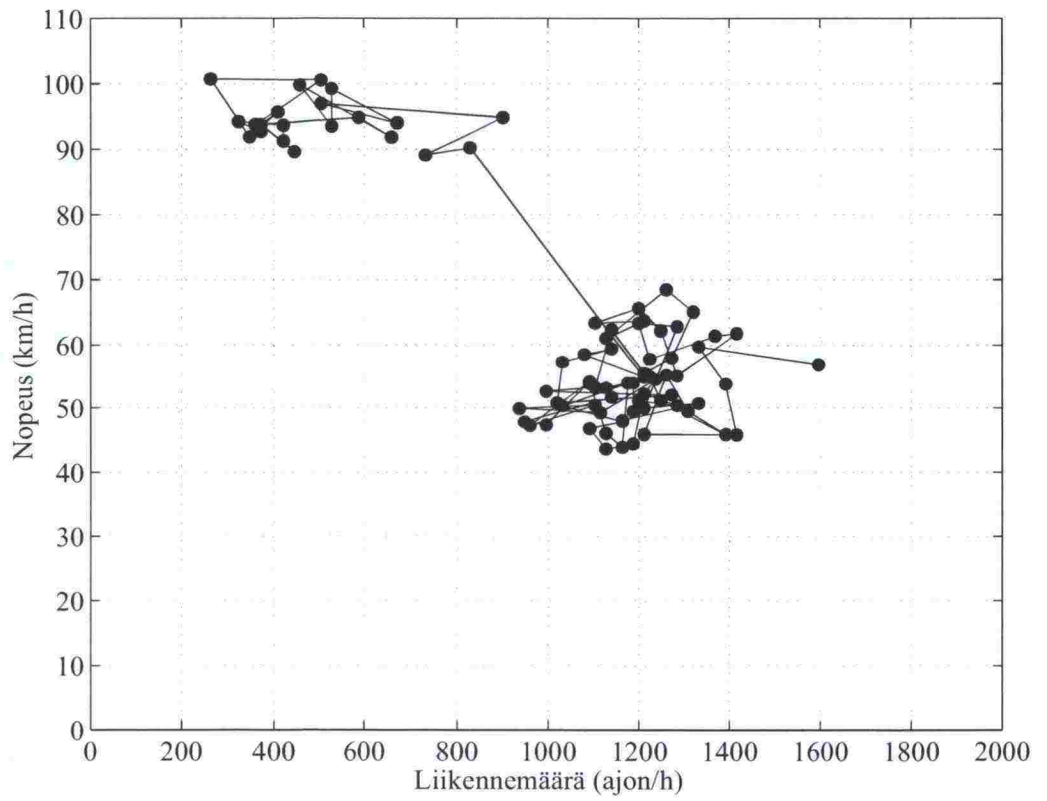
Kuva 50. Keskinopeus ja liikennemäärä yksikaistaisen osuuden alussa 29.8.2003 (H3).



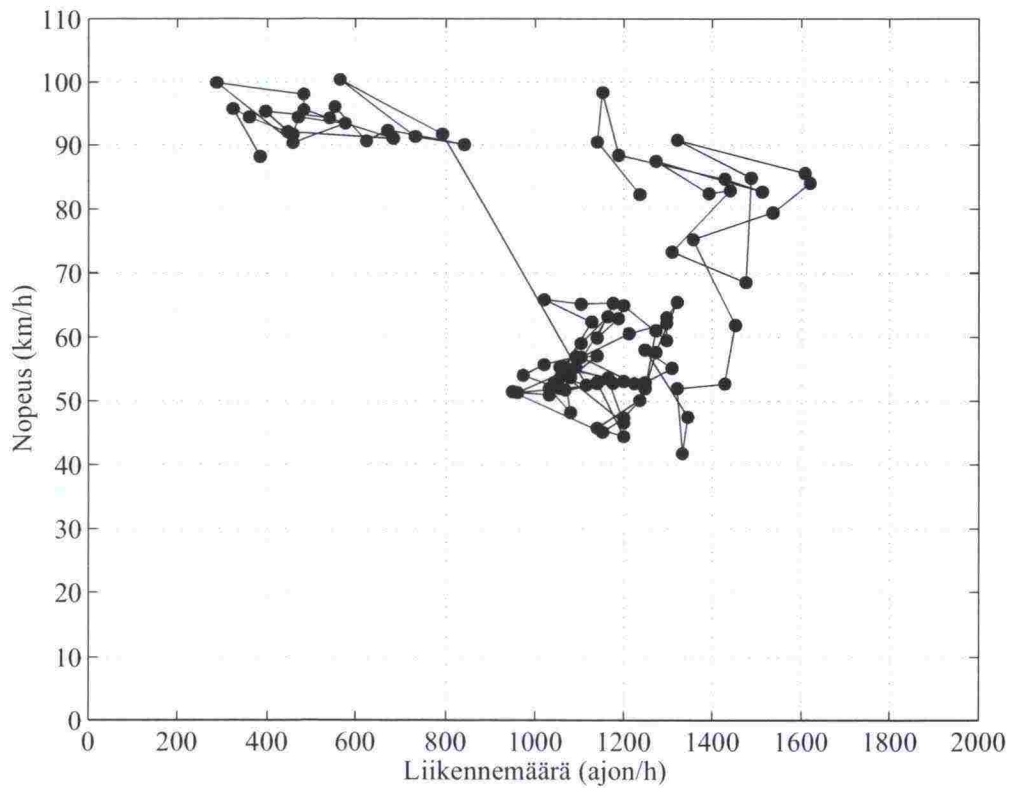
Kuva 51. Keskinopeus ja liikennemäärä yksikaistaisen osuuden alussa 5.9. 2003 (H3).

LAM-pisteen kuvaajat (52 ja 53) ovat samankaltaisia kuin pisteessä H3. Ensimmäisenä mittauspäivänä ei saatu tallennettua ruuhkan alkamista. Toisen mittauspäivän kuvaajassa sen sijaan nähdään pisteitä, jotka kuvaavat ruuhkan syntymistä. Ruuhkautumattomissa olosuhteissa keskinopeudet suurilla liikennemäärillä ovat alhaisempia kuin edellä kuvatuissa mittauspisteissä. Ruuhkautumisen alkaessa keskinopeudet laskevat noin 80 km/h:sta noin 55 km/h:iin. Ruuhkan aikana nopeustaso on hieman korkeampi kuin yksikaistaisen osuuden alussa ja nopeuksien vaihtelu on suurempaa. Liikennemäärä laskee noin 1400 ajon/h:oon ja ruuhkan aikana se vaihtelee välillä 900–1400 ajon/h. Nämä ruuhkaan siirtymistä kuvaavat pisteet osoittavat, että välityskyvyn kannalta kriittinen kohta ei sijaitse kaukana LAM-pisteestä pohjoiseen.

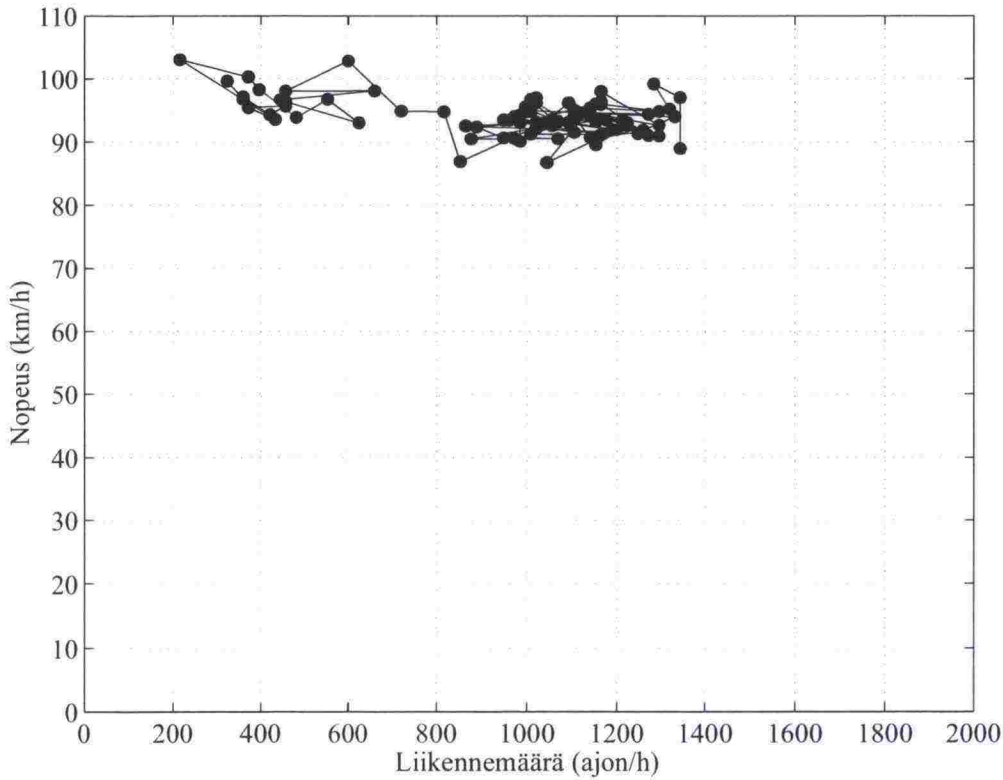
Vierumäen liittymä (kuvat 54 ja 55) sijaitsee pullonkaulan jälkeen, joten sieltä ei ole ruuhkahavaintoja. Merkillepantavaa on alhaisilla liikennemäärillä vallitseva nopeustaso, joka on korkeampi kuin muissa mittauspisteissä.



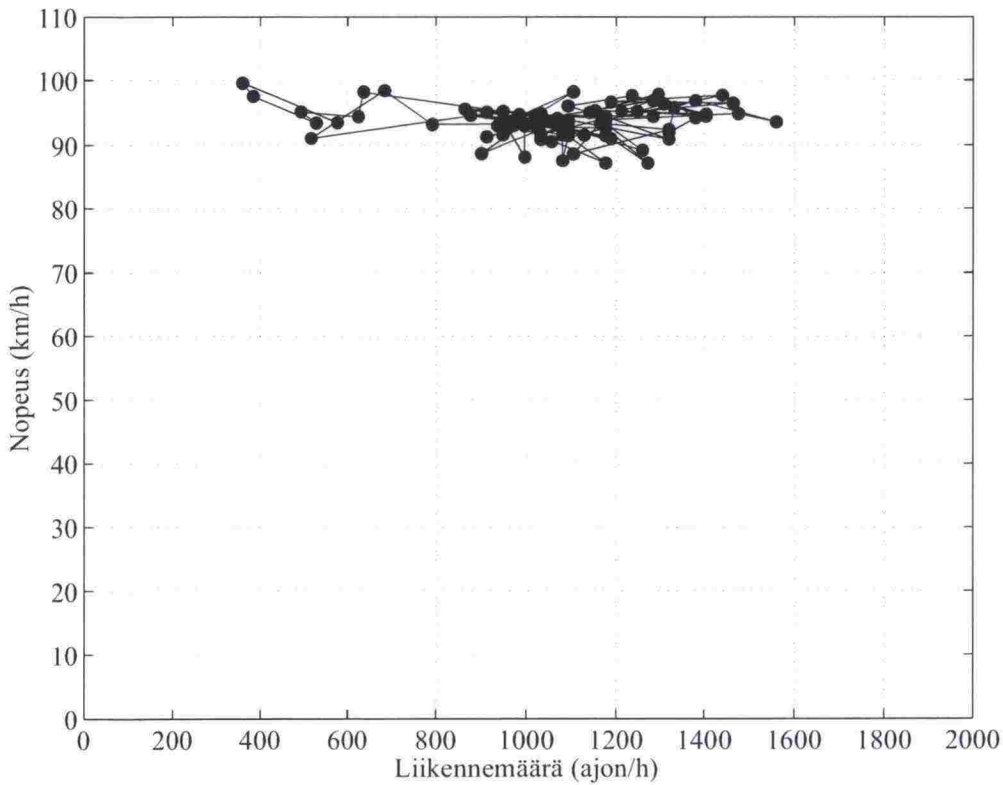
Kuva 52. Keskinopeus ja liikennemäärä LAM-pisteessä 29.8.2003.



Kuva 53. Keskinopeus ja liikennemäärä LAM-pisteessä 5.9.2003.



Kuva 54. Keskinopeus ja liikennemäärä Vierumäen liittymän kohdalla 29.8. 2003 (H4).

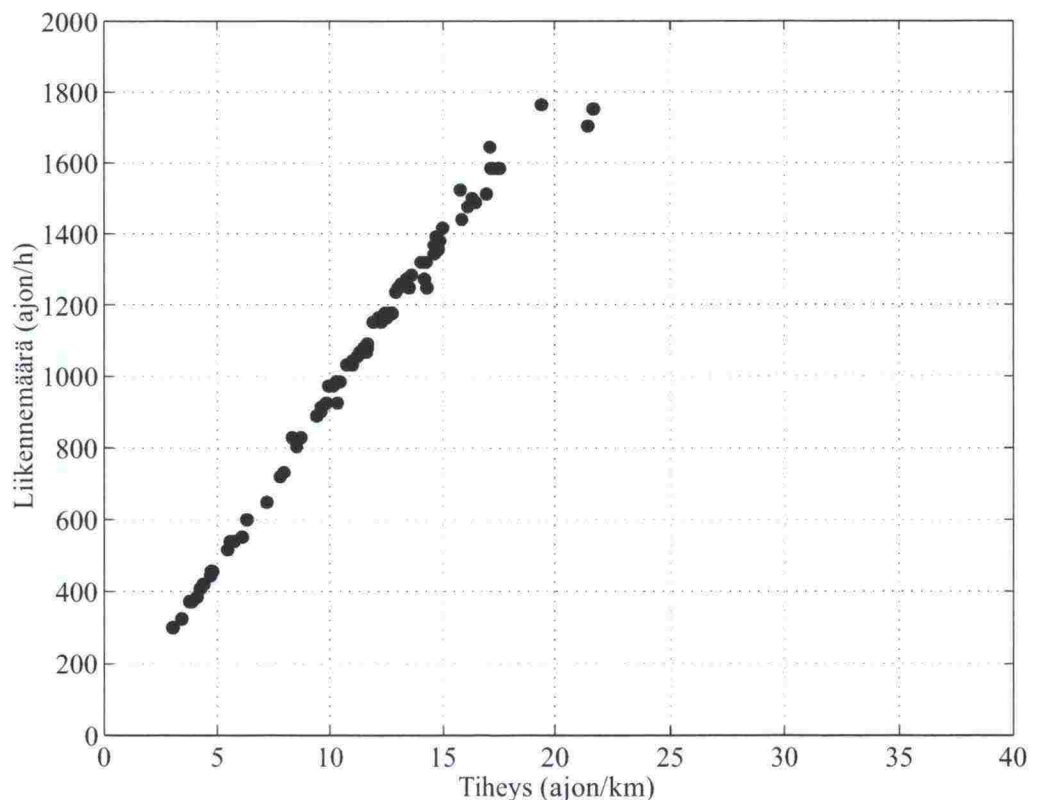


Kuva 55. Keskinopeus ja liikennemäärä Vierumäen liittymän kohdalla 5.9. 2003 (H4).

3.4.5 Liikennetiheys-liikennemäärä -kuvaajat

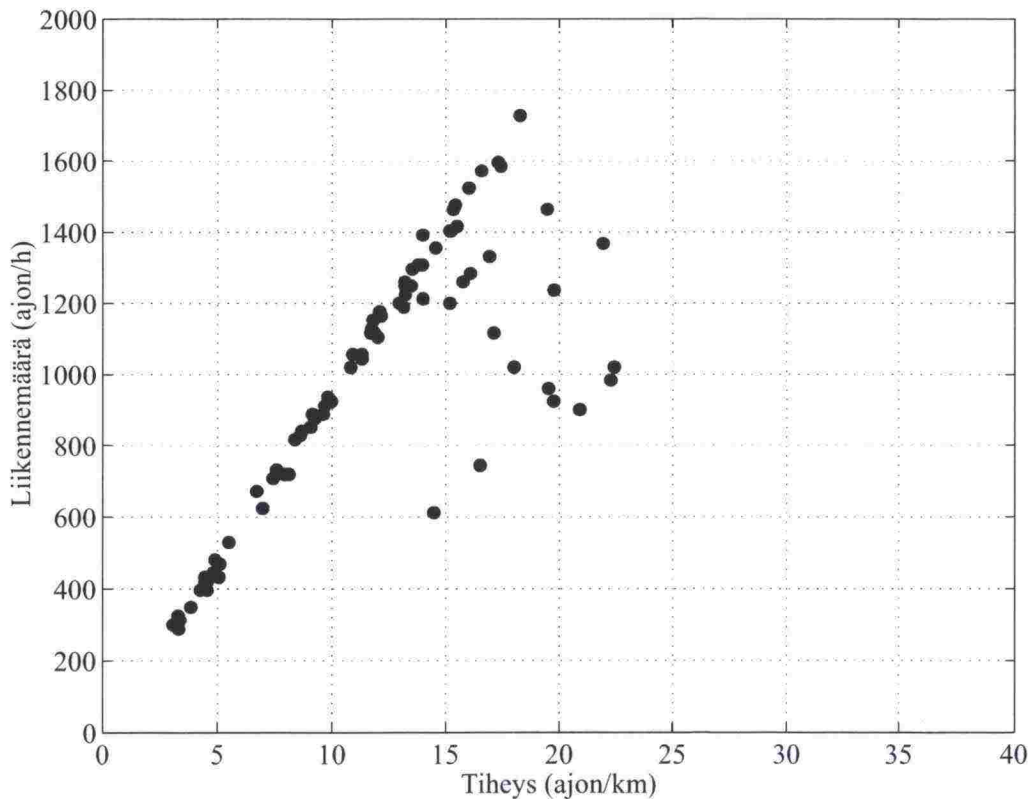
Liikennevirran peruskuvajaajat (kuvat 56–60) esittävät mittauspisteen liikennemäärän liikennetiheyden funktiona. Tiheys on laskettu liikennemäärän ja keskinopeuden avulla liikennevirran perusyhtälön mukaisesti. Kuvat osoittavat, että kriittinen tiheys, jota suuremmilla arvoilla liikennemäärä kääntyy laskuun, on noin 20 ajon/km. Tämä vastaa aiempia mittaustuloksia (Luttinen 2001). Pienemmillä tiheyksillä liikennetilanne on vakaa ja liikennetiheyden sekä liikennemäärän välinen suhde on likimain lineaarinen, mikä viittaa nopeuden pysymiseen varsin vakiona liikennemäärästä riippumatta (vrt. kuvat 48–55).

Ahtialan liittymässä (kuva 56) liikennemäärä nousee lähes lineaarisesti tiheyden kasvaessa. Nousu taittuu tiheyden ylittäessä 20 ajon/h, mikä osoittaa, että suurimmilla liikennemäärillä (vajaat 1800 ajon/h) liikennetilanne alkoi jo olla epävakaata. Näin suuret liikennemäärät ovat todennäköisesti mahdollisia vain hetkittäin.



Kuva 56. Liikennetiheys ja liikennemäärä Ahtialan liittymän kohdalla (H1).

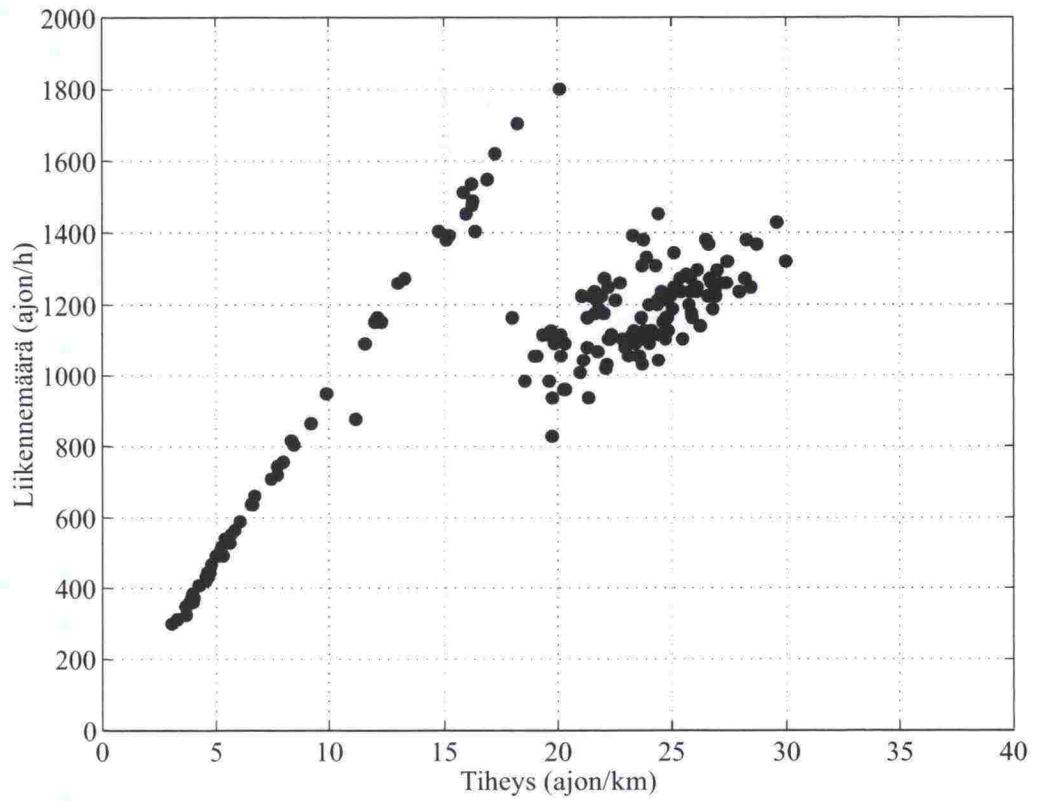
Seestan liittymän kohdalla (kuva 57) liikennemäärät ovat alhaisia hyvinkin alhaisilla liikennetiheyksillä. Tämä havainto osaltaan vahvistaa, että häiriöt eivät johdu kyseisen mittauspaikan liikenneteknisistä ominaisuuksista, vaan ovat seurausta edempänä olevista välityskykyongelmista.



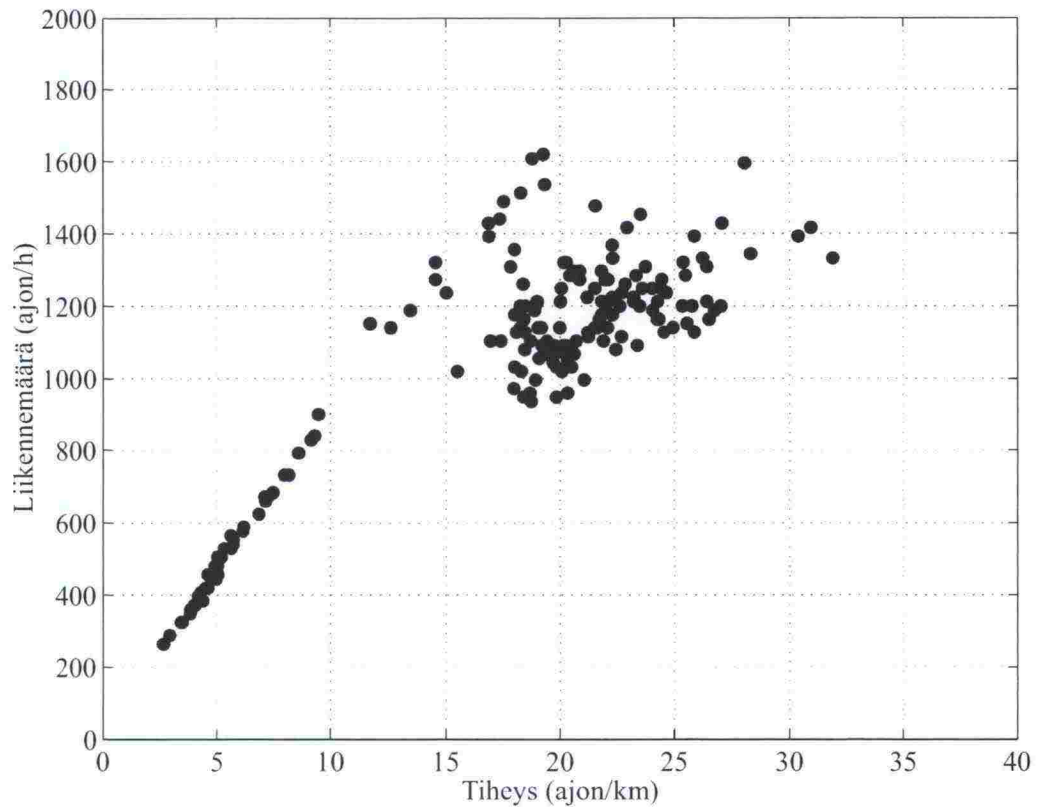
Kuva 57. Liikennetiheys ja liikennemäärä Seestan liittymän kohdalla (H2).

Yksikaistaisen osuuden alussa (kuva 58) maksimiliikennemäärä (1 800 ajon/h) saavutetaan tiheydellä 20 ajon/km. Suuremmilla tiheyksillä liikennemäärä puutoaa selvästi, keskimäärin noin 1200 ajoneuvoon tunnissa. Lähellä kriittistä tiheyttä liikennevirta ei säily vakaana pidempää aikaa. Epävakaissa olosuhteissa liikennemäärä ei kuitenkaan laske tasaisesti tiheyden kasvaessa, kuten liikennevirtateoriassa yleisesti otaksutaan. Kuvan pisteparvi suuntautuu origosta ylöspäin, mutta pienemmällä kulmakertoimella kuin vakaita olosuhteita kuvaavat pisteet. Ruuhkautuneissa olosuhteissa keskinopeus säilyy varsin vakaana (noin 50 km/h), kuten kuvat 50 ja 51 osoittavat.

Yksikaistaisella osuudella sijaitsevalla LAM-pisteellä tiheys–liikennemäärä -riippuvuus on samankaltainen kuin yksikaistaisen osuuden alussa. Maksimiliikennemäärä tiheydellä 20 ajon/km on kuitenkin vain noin 1600 ajon/h (kuva 59). Epävakaisten olosuhteiden pisteparvi on hajaantuneempi kuin yksikaistaisen osuuden alussa, joten liikennevirran häiriöt näyttävät lisääntyvän edettäessä yksikaistaisella osuudella ylämäkeen. Tähän viittaavat myös suurempi määrä ruuhkahavaintoja liikennetiheyden ollessa alle 20 ajon/km. Toisaalta keskimääräinen nopeustaso ruuhkassa on hieman korkeampi kuin yksikaistaisen osuuden alussa. Sekä LAM-pisteen että yksikaistaisen osuuden alun mittaukset viittaavat siihen, että riski liikennevirran muuttumisesta vakaasta epävakaaksi lisääntyy merkittävästi, kun liikennetiheys on välillä 15–20 ajon/km. Yli 20 ajon/km tiheydellä liikennetilanne on jo ruuhkautunut.

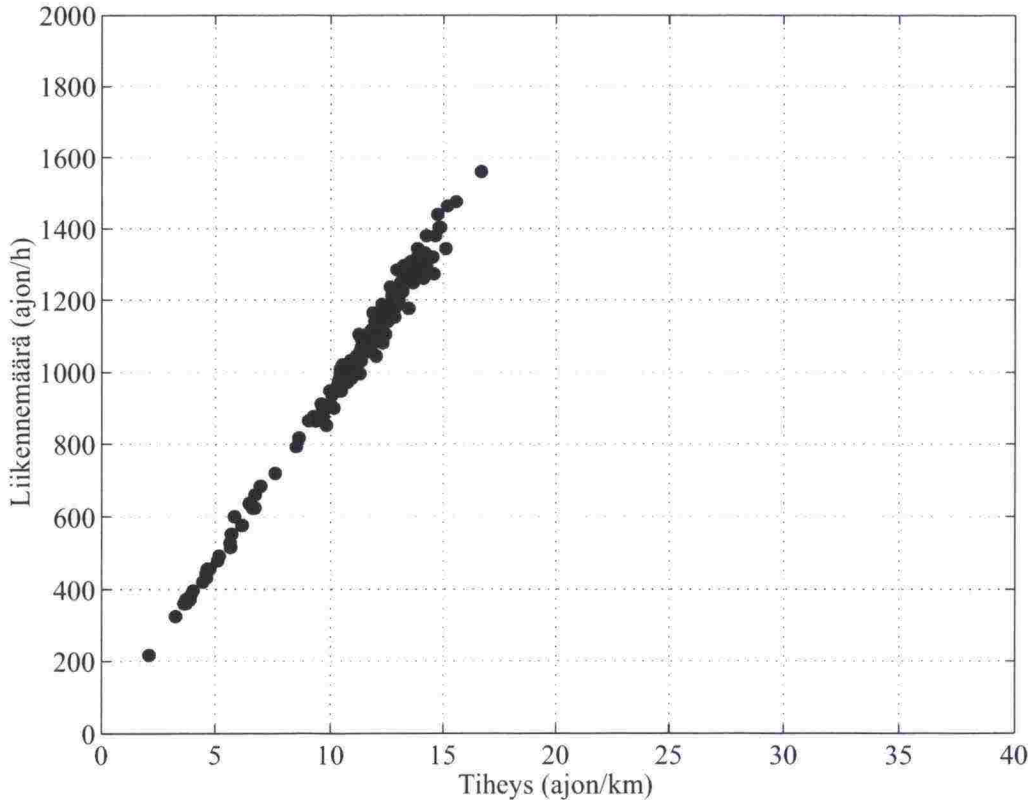


Kuva 58. Liikennetiheys ja liikennemäärä yksikaistaisen osuuden alussa (H3).



Kuva 59. Liikennetiheys ja liikennemäärä LAM-pisteessä.

Vierumäen liittymä (kuva 60) sijaitsee häiriöalueen jäljessä, joten siellä ei ole havaintoja epävakaista olosuhteista. Suurin liikennemäärä on noin 1600 ajon/h. Havainnon alhainen liikennetiheys (n. 17 ajon/km) osoittaa, että mittauspisteen välityskyky on tätä suurempi. Havaintopistejoukon kulmakerroin viittaa tässäkin pisteessä maksimiliikennemäärään n. 1800 ajon/h tiheydellä 20 ajon/km.



Kuva 60. Liikennetiheys ja liikennemäärä Vierumäen liittymän kohdalla (H4).

3.4.6 Jonon pituus

Jonon pituutta voidaan arvioida shokkiaaltoteorian avulla. Shokkiaalto tarkoittaa kahden eri liikennetiheyden rajakohtaa. Olkoon liikenteellisestä pullonkaulasta purkautuva liikennemäärä q_2 , joka on myös tiejakson välityskyky. Jonon liikennetiheys on k_2 . Jonoa lähestyvän liikenteen määrä on q_1 ja tiheys k_1 . Shokkiaaltoteorian mukaisesti jonon kasvunopeus u on (May 1990)

$$u = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1}.$$

Jos $q_1 > q_2$, nopeus on negatiivinen ja jono kasvaa kulkusuuntaan nähden taaksepäin. Jos $q_2 > q_1$, jono purkautuu eli jonon häntä liikkuu kulkusuuntaan, ja nopeus u on positiivinen.

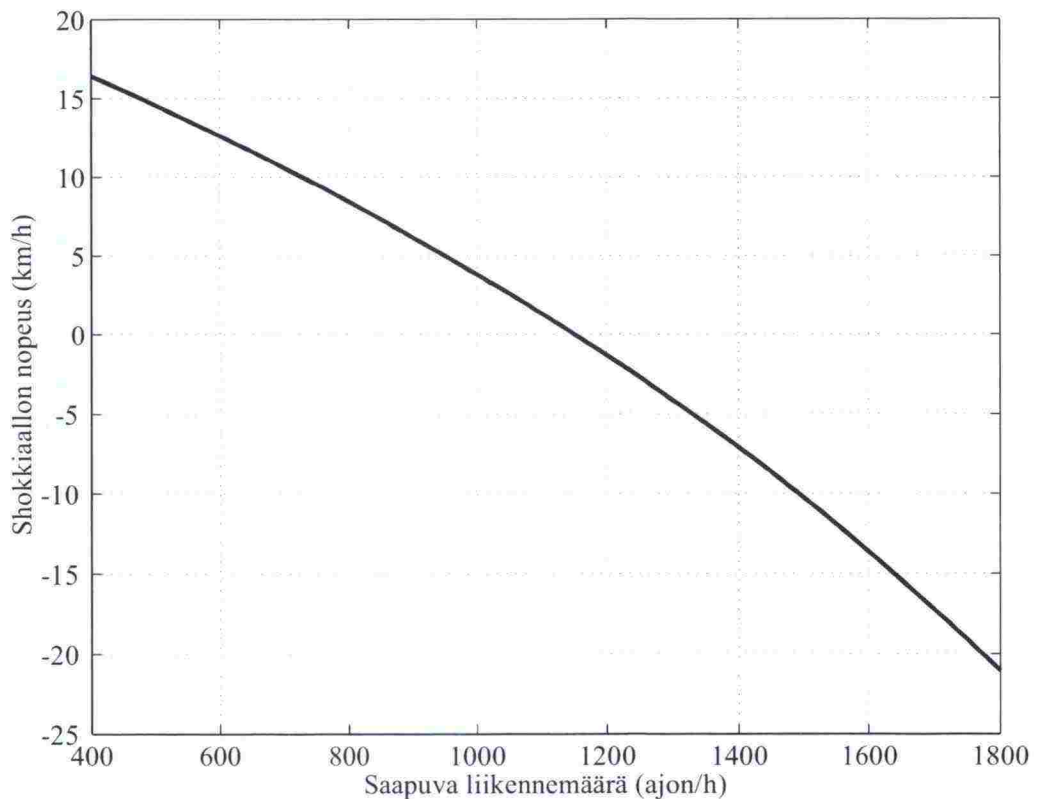
LAM-pisteen keskimääräistä liikennemäärää ($q_2 = 1150$ ajon/h) ruuhka-aikana voidaan käyttää tien välityskyvyn arviona. Ruuhkan liikennetiheyttä voidaan puolestaan arvioida kuvan 46 avulla. Seestan liittymän kohdalla mittauspis-

teen H2 liikennetiheyden nopea putoaminen noin kello 17.20 viittaa ruuhkautumisen päättymiseen, vaikka keskinopeuksissa on senkin jälkeen vielä häiriöitä (kuva 23). Voidaankin arvioida, että ruuhkan aiheuttama jono peittää koko tiejakson, kun sen liikennetiheys on noin 50 ajon/km. Käytettävissä olevien tietojen perusteella tätä tiheyttä ($k_2 = 50$ ajon/km) voidaan käyttää jonon liikennetiheytenä. Todettakoon, että ajoneuvojen keskimääräinen matkanopeus jonossa on tällöin $v_2 = q_2/k_2 = 23$ km/h.

Ruuhkautumattomissa olosuhteissa liikenteen keskinopeus on ilmaisimen H1 tietojen perusteella noin $v_1 = 94$ km/h. Saapuvan liikenteen määrän ollessa q_1 liikennetiheys on $k_1 = q_1/v_1$. Shokkiaallon (jonon loppupään siirtymisen) nopeus on näin ollen

$$u = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - \frac{q_1}{v_1}} = \frac{1150 - q_1}{50 - \frac{q_1}{94}}$$

Nopeus u on saapuvan liikenteen määrän funktiona on esitetty kuvassa 61.

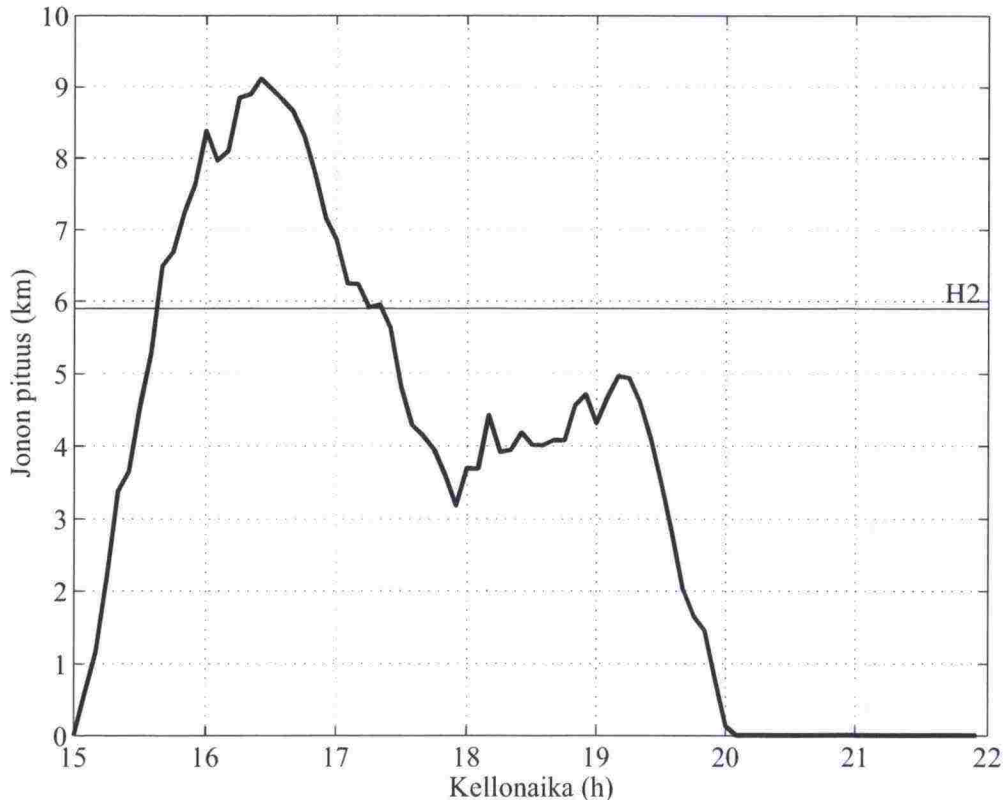


Kuva 61. Shokkiaallon nopeus (jonon pään siirtymisnopeus).

Shokkiaallon nopeutta voidaan arvioida myös sen perusteella, kuinka nopeasti keskinopeuskuvaajassa ilmenevä häiriö siirtyi ilmaisimelta H3 ilmaisimelle H2. Siirtymäaika oli kuvien 24 ja 23 perusteella noin 35 minuuttia. Kun ilmaisimien välimatka oli noin kuusi kilometriä, häiriön siirtymisnopeus oli noin 10 km/h. Kuvan 61 mukaan tämä vastaa noin 1500 ajon/h saapuvaa liikennemäärää. Kuvan 33 perusteella tulosta voidaan pitää oikean suuntaisena.

Kuvassa 62 on arvioitu jononpituuden kehitystä. Saapuvan liikenteen määräksi on arvioitu 92 % ilmaisimen H1 liikennemäärästä. Tulosta voidaan pitää suuntaa-antavana. Mallin mukaiset ruuhkan alkamis- ja päättymisajat ilmaisimilla H2 ja H3 vastaavat kuvien 23 ja 24 antamaa informaatiota.

Shokkiaaltomallin perusteella arvioituna ruuhka ulottui 29.8.2003 noin yhdeksän kilometrin etäisyydelle Vierumäen yksikaistaisen osuuden alusta.



Kuva 62. Jonon pituus shokkiaaltoteorian perusteella arvioituna.

Shokkiaaltomalli perustuu yksinkertaiseen käsitykseen liikenteestä nestemäisenä virtana. Malli ei ota huomioon jonon loppupäässä tapahtuvaa haitariliikettä eikä kuvan 46 mukaisia oletusarvon $k_2 = 50$ ajon/km ylittäviä tiheyksiä.

4 PÄÄTELMÄT

Rekisteritunnustutkimuksen perusteella matkanopeus kolmikaistaisella tieosalla Ahtialan eritasoliittymän ja Heinolan välillä on päiväliikenteessä yli 95 km/h. Viikonlopun meno- ja paluuliikenteessä nopeustaso laskee vilkkaampaan ajosuuntaan huomattavasti usean tunnin ajaksi. Nopeustason lasku näkyy perjantaina eri kohdassa kuin sunnuntaina: perjantaina ruuhkautuu Ahtialan ja Vierumäen väli, sunnuntaina Heinolan ja Vierumäen väli. Nopeustason lasku heijastuu perjantaina myös ohitusmääriin, sillä liikennevirran ohitustiheys on Ahtialan ja Vierumäen välillä moninkertainen Vierumäen ja Heinolan väliin verrattuna.

Sunnuntain paluuliikenteen ruuhkautumisen syitä ei selvitetty tarkemmin, mutta pullonkaulana toiminee ainakin moottoritien päättymiskohta muutama sata metriä ennen ohituskaistatien alkua. Perjantain menoliikenteen ongelmakohtia selvitettiin mm. pistemittausten ja videokuvausten avulla.

Ilmaisinhavaintoja kerättiin neljällä siirrettävällä ilmaisimella ja yhdellä LAM-pisteellä kahdelta perjantaipäivältä elo–syyskuun vaihteessa vuonna 2003. Molempina päivinä tie ruuhkautui, joten mittausten avulla saatiin aineistoa sekä ruuhkan synnystä, sen kehittymisestä että päättymisestä.

Sekä analysointiautolla, videokuvauksilla että ilmaisimilta kerätty aineisto vahvistavat, että Lahti–Vierumäki -välillä pohjoiseen suuntautuvan liikenteen välityskyvyn kannalta kriittinen tekijä on ennen Vierumäen liittymää sijaitsevan ylämäen yksikaistainen osuus. Kyseisen kaistan välityskyky ruuhkautumattomissa olosuhteissa on noin 1500 ajon/h. Suurilla liikennemäärillä raskaista ajoneuvoista aiheutuvat häiriöt kuitenkin ruuhkauttavat kaistan helposti, jolloin sen välityskyky putoaa noin 1150 ajoneuvoon tunnissa.

Kun yksikaistaisen osuuden eteläpuolella liikenteen välityskyky pohjoisen suuntaan on noin 1700 ajon/h, kyseiselle yksikaistaiselle osuudelle ja siitä etelään päin alkaa kerääntyä jonoa, jonka keskimääräinen matkanopeus on pahimmillaan vain noin 20–30 km/h. Elokuun lopussa (29.8.) kerätyn aineiston perusteella ruuhka-ajan keskimääräiseksi viivytykseksi Seestan liittymän ja yksikaistaisen osuuden välillä arvioitiin noin kahdeksan ja puoli minuuttia. Ruuhkan aiheuttamiksi aikakustannuksiksi kyseisellä välillä arvioitiin noin 8500 euroa. Ruuhkan aikakustannuksiksi kokonaisuudessaan voidaan siten arvioida noin 10000 euron suuruusluokka.

Keskinopeuksia tutkittiin sekä ilmaisimien nopeustietojen avulla että tiejakson liikennemäärän ja liikennetiheyden avulla. Ruuhka-aikana ilmaisintiedoissa ei kylliksi näkynyt ajoneuvojen jonoutuminen ilmaisinten väliin. Input–output -mallin (May 1990) avulla arvioitu tiejakson tiheys johti selvästi alhaisempiin ja realistisempiin nopeusarvioihin kuin ilmaisinten nopeustiedot.

Aiempien tutkimusten perusteella on arvioitu, että korkealuokkainen kaksikaistainen tie Suomessa ruuhkautuu, kun liikennetiheys ylittää 20 ajon/h (Luttinen 2001). Nyt kerätty aineisto vahvistaa näitä tuloksia. Ruuhkautuneen liikenteen tiheys oli noin 50 ajon/km, mutta liikennetiheys nousi ajoittain yli 60 ajoneuvon kilometrillä.

Liikennetiheyden ja liikennemäärän välinen suhde poikkesi selvästi teoreettisista malleista. Kriittisen tiheyden ylittävillä arvoilla liikennemäärä ei kääntynyt tasaisesti laskeväksi pistejoukoksi, vaan ruuhkahavainnot muodostivat oman origoa kohti suuntautuvan pistejoukon. Tämä ilmiö oli selvimmin havaittavissa yksikaistaisen osuuden alussa. Tämä johtuu siitä, että ruuhkautuneissa myös olosuhteissa liikennemäärän ja keskinopeuden välinen riippuvuus on vähäinen. Tällöin liikennetiheyden noustessa liikennemäärä kasvaa eikä laske, kuten useimmat liikennemallit ennustavat.

Jonon pituutta arvioitiin shokkiaaltoteorian avulla. Olettaen ruuhkan tiheydeksi 50 ajon/km, jonon pituus oli suurimmillaan noin yhdeksän kilometriä. Tämä arvio ei ota huomioon jonon tiheyden ajallisia ja paikallisia vaihteluita eikä jonon hännän haitariliikettä. Koska suurin arvioitu jonon pituus esiintyi aikana, jolloin mitattiin korkeimpia liikennetiheyksiä, esitetty malli todennäköisesti hieman yliarvioi jonon maksimipituutta.

Ruuhkautumisen aiheuttaa Vierumäen liittymästä etelään sijaitseva yksikaistainen osuus. Ylämäessä raskaiden ajoneuvojen nopeus hidastuu merkittävästi eivätkä takana tulevat ajoneuvot voi ohittaa hitaampia ajoneuvoja. Suurilla liikennemäärillä nämä häiriöt aiheuttavat ruuhkautumisen, jolloin tien välityskyky nopeasti putoaa.

Kyseisen tiejakson välityskykyä voidaan parantaa muuttamalla ohituskaistojen sijoittelua niin, että ainakin ylämäen jyrkin osa on ohituskaista-alueella. Välityskyvyn parannukseksi sekä ruuhkautumattomissa olosuhteissa että ruuhkassa voidaan arvioida noin 150 ajon/h. Sen lisäksi muutos vähentää ruuhkautumista aiheuttavia liikenteen häiriöitä. Parannuksella voitaisiin merkittävästi lyhentää ruuhkan aiheuttamia jonoja ja ruuhkan kestoa. Sujuvuutta voitaneen parantaa myös rajoittamalla raskaiden ajoneuvojen pääsyä tieosalle vilkkaimpana aikana. Välityskykyongelmia ei kuitenkaan voida kokonaan poistaa ennen moottoritien valmistumista.

5 KIRJALLISUUSLUETTELO

Brilon, W. & Weiser, F. 1998. Capacity and speed-flow relationships on rural two-lane highways in Germany. Teoksessa R. Rysgaard (toim.), *Proceedings of the Third International Symposium on Highway Capacity: Country Reports*. Copenhagen: Road Directorate, Transportation Research Board, s. 199–218.

Luttinen, R. T. 2001. *Capacity and Level of Service on Finnish Two-Lane Highways*. (Finnra Reports 18/2001). Helsinki: Finnish Road Administration.

May, A. D. 1990. *Traffic Flow Fundamentals*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Transportation Research Board 2000. *Highway Capacity Manual*. Washington, D.C.: National Research Council. HCM2000, metric units.

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-249-1
TIEH 3200869