

Satu Innamaa ja Anne Silla

Tanskan tielaitoksen käyttämän matka-aikaennustemallin soveltuvuus Suomeen

Tiehallinnon selvityksiä 26/2006



Satu Innamaa ja Anne Silla

Tanskan tielaitoksen käyttämän matka-aikaennustemallin soveltuvuus Suomeen

Tiehallinnon selvityksiä 26/2006

Kannen kuva: Soile Vilo, Uudenmaan tiepiiri

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-729-9
TIEH 3201002

Verkkajulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-730-2
TIEH 3201002-v

Oy Edita Ab
Helsinki 2006

Julkaisua myy/saatavana:
asiakaspalvelu.prima@erita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011

Tiehallinto
Liikenteen palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 11

Satu Innamaa ja Anne Silla: Tanskan tielaitoksen käyttämän matka-aikaennustemallin soveltuvuus Suomeen. Helsinki 2006. Tiehallinto, Liikenteen palvelut. Tiehallinnon selvityksiä 26/2006. 41 s. + liitt. 27 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-729-9, TIEH 3201002.

Asiasanat: Ennusteet, mallintaminen, testaus, arviointi, tieliikenne
Aiheluokka: 11, 20

TIIVISTELMÄ

Tiehallinnon liikenteen hallinnan toimintalinjojen mukaan Tiehallinto tuottaa ajantasaisen tiedon ja ennusteen ruuhkautumisherkkien tieosien liikenteen sujuvuudesta vuoteen 2008 mennessä. Tanskan tielaitos käyttää lyhyen aikavälin matka-aikaennusteita osana liikenteenhallintajärjestelmää erittäin vilkkaalla moottoritiellä M3 Kööpenhaminan ympäristössä. Tanskan tielaitoksen soveltama malli on regressiomalli ja se perustuu ennustehetkeä edeltävien ajanjaksojen matka-ajan minuuttikeskiarvojen ja vastaavien historiakeskiarvojen erotuksiin.

Hankkeen tavoitteena oli selvittää Tanskan tielaitoksella käytössä olevan matka-ajan ennustemallin sopivuutta Suomen olosuhteisiin. Arvio perustui testimalleihin, jotka tehtiin Tiehallinnon matka-aikajärjestelmästä kootuilla matka-aika-aineistoilla. Tutkimus perustui kahteen erityyppiseen kohteeseen: Kehä I edusti kaupunkiseutujen vilkasliikenteisiä väyliä ja Lahden ja Heinolan välinen tieosuus valtatiellä 4 lomaliikenteen ruuhkauttamia päätiejaksoja. Mallit muodostettiin Tanskan tielaitoksen käyttämää mallia mukailleen. Mallit tehtiin kuitenkin mm. kattamaan pelkkien ruuhka-aikojen sijaan koko vuorokausi ja kaikki viikonpäivät. Lisäksi ennustesuureeksi valittiin matka-ajan mediaani Tanskassa käytetyn keskiarvon sijaan.

Mallin tekoon ja testaukseen käytettiin eri aineistoja. Testiaineiston mukaan 15 minuutin ennustemalli kykeni ennustamaan sujuvan liikenteen oikein 96–99-prosenttisesti Otaniemi–Perkkää-tiejaksoa lukuun ottamatta, jossa osuus oli 83 prosenttia. Oikein ennustettujen osuus laski sujuvuuden alentuessa. Tutkimuksessa kokeiltiin kahta erimittaista ennustejaksoa: 15 ja 30 minuuttia. Ruuhkaliikenteessä oikein tehtyjen 15 minuutin ennusteiden osuus oli tiejaksosta riippuen 5–9 prosenttiyksikköä parempi kuin 30 minuutin ennusteilla. Ennustemalli vaikutti soveltuvan parhaiten tiejaksoille, joilla oli säännöllisesti voimakas ruuhka.

Tanskan tielaitoksen soveltaman mallin kaltaista viimeisiin mittauksiin ja historiakeskiarvoihin perustuvaa regressioyhtälöpohjaista matka-aikaennustetta suositellaan käytettävän lyhyillä tiejaksoilla, joilla on säännöllinen voimakas ruuhka tai vaihtoehtoisesti aina sujuva liikenne. Lisäksi suositellaan, että mallit tehdään viiden minuutin mediaaneihin perustuviksi. Jos minuuttimedi-
aania kuitenkin halutaan käyttää, suositellaan aineiston suodatusmenetelmää kehitettävän. Suosituksena on myös, että ennusteiden laatua arvioidaan sujuvuusluokittain.

Satu Innamaa ja Anne Silla: Undersökning av tillämpligheten av Danmarks Vägverks restidsprognosmodell i Finland. Helsinki 2006. Vägförvaltningen. Vägförvaltningens utredningar 26/2006. 41 s. + bilagor 27 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-729-9, TIEH 3201002.

Ämnesord: Prognos, modellering, testning, evaluering, vägtrafik

SAMMANFATTNING

Enligt Vägförvaltningens företagspolitik producerar Vägförvaltningen realtidsinformation och prognos över trafikens smidighet i vägvägnitt som är känsliga för stockning fram till år 2008. Danmarks Vägverk använder kortsiktiga restidsprognoser som en del av trafikkontrollsystemet på ett av Danmarks livligast trafikerade motorvägar, M3, i Köpenhamns omgivning. Modellen som tillämpas av Danmarks Vägverk är en regressionsmodell och den grundar sig på skillnaden mellan restidens minutmedeltal för tidsperioder före prognostillfället och motsvarande historiska medeltal.

Avsikten med detta projekt var att undersöka hur prognosmodellen för restiden som används av Danmarks Vägverk lämpar sig för finländska förhållanden. Uppskattningen grundade sig på testmodeller, som gjordes på basen av restidsmaterialet som samlades från Finlands Vägverks restidssystem. Undersökningen bygger på två olika fallstudier: Ring I representerade stadsregionens livligt trafikerade trafikleder och vägsträckan mellan Lahtis och Heinola på huvudväg 4 representerade en huvudväg med perioder stockade av semestertrafik. Modellerna skapades enligt samma modell som används av Danmarks Vägverk. I stället för att täcka enbart rusningstider gjordes modeller för hela dygn och alla veckodagar. Utöver detta valdes restidens median som prognosvärde i stället för restidens medeltal, som man använt i Danmark.

För utförande och testning av modellen användes olika material. Enligt testmaterialet kunde en 15 minuters prognosmodell korrekt förutspå trafikens framkomlighet med 96–99 procents säkerhet med undantag av vägsträckan mellan Otaniemi och Perkkää, där andelen var 83 procent. Andelen av rätt förutspådda fall sjönk när framkomligheten blev lägre. I undersökningen experimenterade man med två olika långa prognostider: 15 och 30 minuter. Andelen av rätt förutspådda 15 minuters prognoser i rusningstrafik var 5-9 procentenheter bättre än 30 minuters prognoser beroende på vägsträckan. Prognosmodellen verkade lämpa sig bäst för sådana vägsträckor, som hade en regelbunden kraftig maxtrafik.

En restidsprognos, som är lik modellen tillämpad av Danmarks Vägverk, rekommenderas på korta vägsträckor, som har en regelbunden kraftig maxtrafik eller alternativt alltid fritt flödande trafik. Denna restidsprognos grundar sig på de senaste mätningar före prognostillfället och historiska medeltal. Utöver detta rekommenderas att modellerna grundar sig på fem minuters medianer. I fall man trots allt vill använda minutmedianen, rekommenderas filtreringsmetoden utvecklas. Slutligen rekommenderas att man uppskattar prognosernas kvalitet enligt framkomlighetsklassen.

Satu Innamaa ja Anne Silla: Suitability of the travel time prediction model used by the Danish Road Administration in Finland. Helsinki 2006. Finnish National Road Administration. Finnra Reports 26/2006. 41 p. + app. 27 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-729-9, TIEH 3201002.

Keywords: Forecast, modelling, test, evaluation, highway, transport

SUMMARY

According to the policy of the Finnish Road Administration, the Road Administration produces real time information and forecasts of the road status on road sections with the biggest risk of congestion by the year 2008. The Road Administration of Denmark uses short term forecasts of travel time as a part of the traffic management system on the very busy motorway M3 in the surroundings of Copenhagen. The model used by the Danish Road Administration is a regression model and it is based on the differences between one-minute-average travel times preceding the forecasting moment and corresponding historic averages.

The purpose of the study was to evaluate the suitability of the prediction model used by the Danish Road Administration in Finnish conditions. The evaluation was based on test models that were based on travel time information collected by the travel time measurement system of the Finnish Road Administration. The study was based on two sites of a different type: the Ring Road I represented busy urban roads and the road section between Lahti and Heinola on main road 4 represented road sections on which holiday traffic caused congestion. The models were made by adapting the model used by the Danish Road Administration. However, the models were made to cover the whole day and all week days instead of rush hours only. In addition, the predicted quantity was selected to be the median of the travel time instead of the average travel time used in Denmark.

Different data was used to make and to test the models. According to the test data, the 15 minute prediction model was able to predict freely flowing traffic 96-99 percent of the time correctly except for the Otaniemi-Perkkaa road section where the proportion was 83 percent. The proportion of correctly predicted travel times reduced as the road status got worse. Two prediction periods were used in the study: 15 and 30 minutes. In congested traffic, the proportion of correctly predicted travel times was 5-9 percent points worse for 30 minute forecasts than for 15 minute forecasts depending on the road section. It seemed that the prediction model was best suited for road sections with regular heavy congestion.

A travel time prediction model like the one used by the Danish Road Administration which is based on regression model based on latest measurements and historic averages is recommended to be used on short road sections with regular heavy traffic or alternatively always freely flowing traffic. In addition, it is recommended that the models are made based on 5 minute medians. However, if one-minute-medians are used, it is recommended that the data filtering method is improved. It is recommended that the quality of forecasts is evaluated by the road status classes.

ESIPUHE

Tiehallinnon liikenteen hallinnan toimintalinjojen mukaan Tiehallinto tuottaa ajantasaisen tiedon ja ennusteen ruuhkautumisherkkien tieosien liikenteen sujuvuudesta vuoteen 2008 mennessä. Tästä syystä Tiehallinto tilasi tutkimuksen siitä, kuinka hyvin Tanskan tielaitoksen soveltama matka-ajan enustemalli soveltuisi Suomeen.

Tutkimuksesta vastasi tutkija Satu Innamaa VTT:ltä. Tutkimusinsinööri Mikko Kallio VTT:ltä muokkasi aineistot ja tutkija Anne Silla VTT:ltä muodosti regressiomallit ja tuotti mallien laatua kuvaavat tunnusluvut ja kuvaajat. Tutkimuksen etenemistä valvoi asiantuntijaryhmä, johon kuuluivat Reijo Prokkola, Pekka Rätty ja Kari Hiltunen Tiehallinnosta. Raportin laadunvarmistajana on toiminut tutkimusprofessori Risto Kulmala VTT:ltä.

Helsingissä syyskuussa 2006

Tiehallinto
Liikenteen palvelut

Sisältö

1	JOHDANTO	11
1.1	Tausta	11
1.2	Tanskan malli	11
1.3	Aikaisemmat Suomessa sovelletut ennustemallit	12
1.4	Tavoite	15
2	MENETELMÄ	16
2.1	Tutkimuskohteet	16
2.2	Aineisto	18
2.3	Regressiomalli	20
3	TULOKSET	21
3.1	Mallien muodostaminen	21
3.2	Mallien testaaminen	24
4	TULOSTEN TARKASTELU	36
5	SUOSITUKSET	39
	KIRJALLISUUSLÄHTEET	40
	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Tiehallinnon liikenteen hallinnan toimintalinjojen (Tiehallinto 2001b) mukaan Tiehallinto tuottaa ajantasaisen tiedon ja ennusteen ruuhkautumisherkkien tieosien liikenteen sujuvuudesta vuoteen 2008 mennessä. Matka-aikatieto kattaa tieverkon, jonka laajuus on kaikkiaan noin 3 000 km ja tieosien pituus vaihtelee kaupunkiseutujen 1–3 km:stä maaseudun 20–30 km:iin. Linkkikohtaiset lyhyen ajan ennusteet tuotetaan 15 ja 30 minuutin ajalle.

1.2 Tanskan malli

Tanskan tielaitos käyttää lyhyen aikavälin matka-aikaennusteita osana liikenteenhallintajärjestelmää erittäin vilkkaalla moottoritieellä M3 Kööpenhaminan ympäristössä. Moottoritien eri osien matka-ajat näkyvät Internet-sivuilla (www.trafikken.dk). Viimeisiin mittauksiin perustuvat matka-ajat päivitetään sivuille minuutin välein yhdessä 15 minuutin ennusteiden kanssa. Mitattu tieto siirtyy muutamassa sekunnissa ajantasaiseen malliin ja ennusteen laskeminen kestää noin 15 sekuntia (Holm 2006a). Ennustettavat tiejaksot ovat 2–3 kilometrin mittaisia ja niillä vapaan liikennevirran matka-aika on 1,5–3,0 minuuttia (Holm 2006b).

Tanskassa tehtiin kullekin tiejaksolle oma osamalli jokaiselle arkiviikonpäivälle, koska matka-aikojen todettiin vaihtelevan viikonpäivittäin. Tanskan mallissa keskimääräiset matka-ajat eivät sisältäneet onnettomuuksista johtuvia vakavia viivytyksiä. Malli ei myöskään kattanut juhlapyyhiä tai viikonloppuliikennettä, koska tuolloin matka-ajoissa ei ollut viivettä. (Holm 2006a.)

Tanskan tielaitoksen soveltama malli on regressiomalli ja se perustuu ennustehetkeä edeltäneiden ajanjaksojen matka-ajan minuuttikeskiarvojen ja vastaavien historiakeskiarvojen erotuksiin (Holm 2006a). Malli ennustaa matka-ajan minuuttimediaania 15 minuutin kuluttua ennusteen tekohetkestä (yksittäisen minuutin keskimatka-aika) (Holm 2006b). Tavoitteena on, että tienkäyttäjät voivat mukauttaa ajoaan ennusteen mukaan. Tanskassa matka-aika määritetään pistenopeuksista, eli laskenta perustuu induktioilmaisimien ja tutkien mittaamiin nopeuksiin, joiden perusteella matka-ajat arvioidaan. Matka-aikaennusteissa hyödynnetään viimeisimpien mittausten lisäksi 10 minuuttia aiemmin tehtyjä mittauksia ennusteiden vakauttamiseksi (kuva 1).

$$t_{+15} = \bar{t}_{+15} + a_0 \cdot (t_0 - \bar{t}_0) + a_{-1} \cdot (t_{-1} - \bar{t}_{-1}) + a_{-2} \cdot (t_{-2} - \bar{t}_{-2}) + a_{-10} \cdot (t_{-10} - \bar{t}_{-10}) + \varepsilon$$

missä,

- t_{+15} = tietyn poikkileikkauksen 15 minuutin kuluttua ohittavien ajoneuvojen keskimatka-aika
- \bar{t}_{+15} = vastaavien saman ajankohdan keskimatka-aikojen keskiarvo
- t_0 = viimeisen minuutin aikana tietyn poikkileikkauksen ohittaneiden ajoneuvojen keskimatka-aika
- \bar{t}_0 = vastaavien saman ajankohdan keskimatka-aikojen keskiarvo
- a_0 = vakio
- ε = vakio

Kuva 1. Tanskan tielaitoksen käyttämä matka-ajan ennustemalli. Ennustejakson pituus on 15 minuuttia. Mallin syötetietoina ovat matka-aikaestimaatit viimeisiltä kolmelta minuutilta ja 10 minuuttia aikaisemmin. (Holm 2006a) Mallin todettiin tekevän yli minuutin ennustevirheitä noin 7 prosenttia ajasta. Yli 2 minuutin virheitä oli vastaavasti noin 1–2 % ja yli 5 minuutin virheitä esiintyi enää suuruusluokassa tuhansia ennusteita kohti. Mallin ennustamiskyvyssä ei ollut juurikaan eroa aamu- ja iltapäiväruuhkan välillä. (Holm 2006a.)

Malli on toiminut ajantasaisesti vuoden 2006 alusta. Malli on kehitetty tietöiden aikana, ja tietyöalueen muuttuessa M3 moottoritieellä matka-aikamallit muuttuvat ja kertoimet tulee kalibroida uudelleen. Myöhemmin Tanskan tielaitoksella on suunnitelmissa kehittää ja laajentaa mallia kattamaan koko Kööpenhaminan moottoritieverkosto. Laajennuksen esteenä on mallin heikko onnettomuuksien häiritsemän liikenteen ennustamiskyky. Onnettomuudet kattavat noin 1–2 % ajasta. Onnettomuuksien häiritsemän liikenteen aikaisien matka-aikojen ennustamista varten tarvitaan mahdollisesti uusi malli. (Holm 2006a.)

1.3 Aikaisemmat Suomessa sovelletut ennustemallit

Suomessa on tutkittu matka-ajan ja siitä johdetun liikenteen sujuvuusluokan ennustamista neuroverkkojen avulla. Tutkimus alkoi valtatie 4 Lahti–Heinola-välille sovelletuilla kokeilumalleilla, jotka ennustivat tarkasteluhetkeä seuraavan minuutin aikana tieosille lähtevien ajoneuvojen keskimatka-aikaa viimeksi mitattujen liikennetietojen perusteella (Innamaa ym. 2002). Ennustemallit perustuivat neuroverkkoihin.

Lahti–Heinola-suunnalla kaikilla tiejaksoilla parhaat kokeilumallit tekivät 0,5–0,7 prosentin keskimääräisen suhteellisen virheen ja suhteellisen virheen itseisarvon keskiarvo oli noin kuusi prosenttia (taulukko 1). Kymijärvi–Seesta-tiejakson ennusteista 96,5 prosenttia, Seesta–Vierumäki-tiejakson ennusteista 95,5 prosenttia ja Kymijärvi–Seesta-tiejakson ennusteista 96,4 prosenttia oli oikein. Ruuhkassa vastaavat osuudet olivat Kymijärvi–Seesta-tiejaksolle 39,3 prosenttia, Seesta–Vierumäki-tiejaksolle 62,8 prosenttia ja Kymijärvi–Seesta-tiejaksolle 64,2 prosenttia. Ennuste tulkittiin oikeaksi, jos se oli 10 prosentin virhemarginaalin sisällä toteumasta. (Innamaa ym. 2002.)

1. *Valtatien 4 Lahti–Heinola-suunnan kokeiluvaiheen ennustemallien hyvyys (Innamaa ym. 2002).*

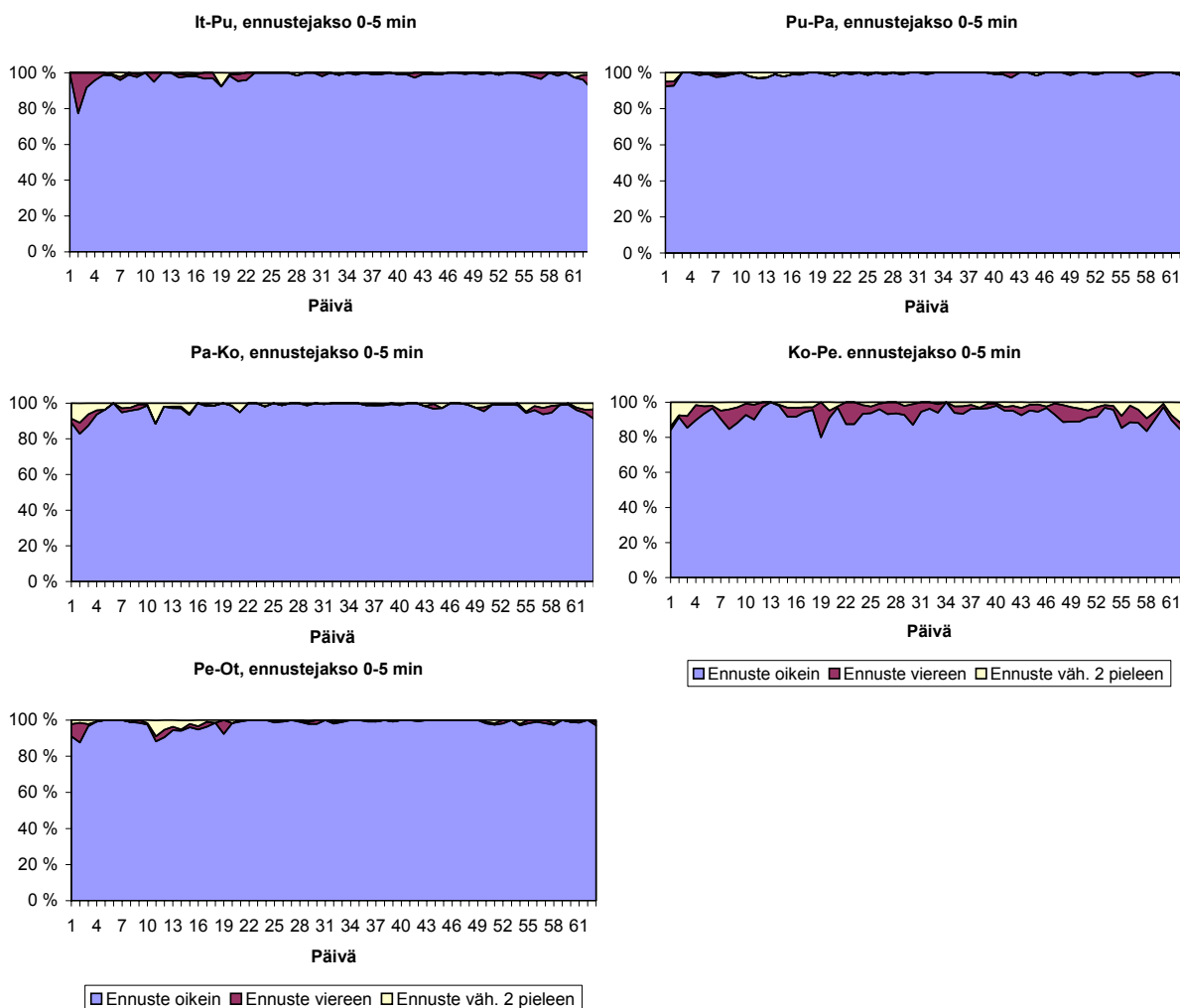
	keskim. neliövirhe (min ²)	keskim. virhe (min)	keskim. virheen itseisarvo (min)	keskim. suhteellinen virhe (%)	keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	sovitus- aste
Kymijärvi– Heinola	2,5	0,0	1,1	0,6	6,0	0,943
Kymijärvi– Vierumäki	1,3	0,0	0,8	0,7	5,9	0,969
Kymijärvi– Seesta	0,4	0,0	0,4	0,7	6,5	0,909
Seesta– Heinola	1,0	0,0	0,7	0,5	5,6	0,964
Seesta– Vierumäki	0,5	0,0	0,4	0,6	6,1	0,981
Vierumäki– Heinola	0,2	0,0	0,4	0,5	5,5	0,357

Kokeilumallin pohjalta samoille tiejaksoille tehtiin ajantasaiset ennustemallit (Innamaa 2004a), joissa ennustejakson pituutena oli viisi minuuttia ja ennustesuureena matka-ajan mediaani. Ennustemalli suoriutui ajantasaisessa ympäristössä (arviointivaihe) huonommin kuin mallin tekovaiheen tulosten pohjalta odotettiin. Mallia kehiteltiin edelleen. Lahti–Heinola-tiejakson edelleen kehitetyn mallin tulokset on esitetty taulukossa 2. (Innamaa 2004a.)

Taulukko 2. Edelleen kehitetyn ajantasaisen matka-ajan ennustemallin tulokset Lahti–Heinola-tiejaksolla (Innamaa 2004a).

Oikein ennustettujen osuus (%)	98
Oikein ennustettujen osuus ruuhkassa (%)	64
Keskim. neliövirhe	2.4
Keskim. virheen itseisarvo (min)	0.9
Keskim. suhteellisen virheen itseisarvo (%)	4.5

Kehä I:lle (Mt 101) kehitettiin itseoppiva lyhyen aikavälin ennustemalli, joka ennusti tiejaksoittain seuraavan 15 minuutin kuluessa lähdössä olevien ajoneuvojen sujuvuusluokan kyseisellä tiejaksolla. Malli perustui itseorganisoi-
tuviin karttoihin ja klusterointiin. Rakenteensa ansiosta malli kykeni oppi-
maan kohtaamistaan liikennetilanteista ilman, että kaikkea liikennetietoa piti
tallettaa tietokantoihin. Kuvassa 2 ja taulukossa 3 on esitetty mallin toimintaa
ajantasaisen kokeilujakson aikana Itäkeskus–Otaniemi-suunnalta. (Innamaa
2004b.)



Kuva 2. Mallin tulokset Itäkeskus–Otaniemi-suunnalle ajantasaisen kokeilu-
jakson aikana. (Innamaa 2004b)

Taulukko 3. Oikein ennustettujen matka-aikojen osuudet (%) pelkkään matka-aikatietoon perustuvilla Kehä I:n sujuvuusmalleilla (Innamaa 2004b).

Tiejakso	Sujuvuusluokka	Ennustejakso (min)		
		0–5	5–10	10–15
Itäkeskus–Pukinmäki	Sujuva	85	96	96
	Jonoutunut	88	63	61
	Hidas	93	83	74
Pukinmäki–Pakila	Sujuva	84	93	93
	Jonoutunut	89	53	40
	Hidas	92	92	90
	Pysähtelevä	100	100	0
	Seisova	100	0	0
Pakila–Konala	Sujuva	94	96	97
	Jonoutunut	90	50	44
	Hidas	86	90	86
	Pysähtelevä	100	97	88
Konala–Perkkaa	Sujuva	91	97	97
	Jonoutunut	91	55	38
	Hidas	91	93	90
	Pysähtelevä	100	90	90
Perkkaa–Otaniemi	Sujuva	61	95	96
	Jonoutunut	75	33	28
	Hidas	99	45	38
	Pysähtelevä	100	0	8

1.4 Tavoite

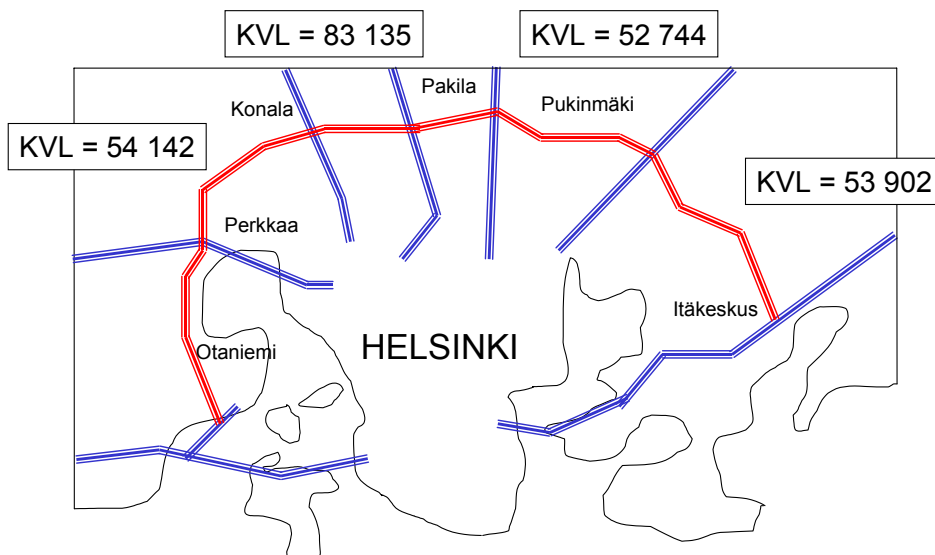
Hankkeen tavoitteena oli selvittää Tanskan tielaitoksella käytössä olevan matka-ajan historiatietoon perustuvan ennustemallin sopivuutta Suomen olosuhteisiin. Arvio perustui testimalleihin, jotka tehtiin Tiehallinnon matka-aikajärjestelmästä kootuilla matka-aika-aineistoilla.

2 MENETELMÄ

2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimus perustui kahteen erityyppiseen kohteeseen: Kehä I edusti kaupunkiseutujen vilkasliikenteisiä väyliä ja Lahden ja Heinolan välinen tieosuus valtatiellä 4 lomaliikenteen ruuhkauttamia päätiejaksoja.

Kehällä I oli päivittäistä ruuhkaa liikennemäärän noustessa ruuhkahuippujen aikana yli 3 000 ajoneuvoon tunnissa suuntaa kohti. Vuorokauden keskimääräinen liikennemäärä oli suurimmillaan yli 83 000 ajoneuvoa vuorokaudessa ja vilkkaimpien arkipäivien aikana liikennemäärä nousi yli 100 000 ajoneuvoon vuorokaudessa (kuva 3). Kehä I:llä oli kaksi ajokaistaa kumpaankin suuntaan lukuun ottamatta liikenteellisesti vilkkainta jaksoa, jolla kaistoja oli kolme kumpaankin suuntaan. Risteävien pääväylien liikenne ohjattiin Kehä I:lle eritasoliittymien kautta, mutta tien itä- (Pukinmäki–Itäkeskus) ja länsipäässä (Otaniemi–Konala-väli) oli lisäksi myös valo-ohjauksisia tasoliittymiä katuverkon kanssa. Ainoastaan keskimäiset tiejaksot (Pakila–Konala ja Pukinmäki–Pakila) olivat kaupunkimoottoritietä, jossa kaikki liittymät olivat eritasoliittymiä.



Kuva 3. Kehä I ja siihen liittyvät päätietyt sekä Kehä I:n keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät vuonna 2003.

Kehä I:n liikennettä seurattiin matka-aikojen automaattisen mittausjärjestelmän avulla. Matka-aikajärjestelmässä oli Kehä I:llä kuusi kamerapistettä, jotka sijaitsivat Otaniemessä, Perkaalla, Konalassa, Pakilassa, Pukinmäessä ja Itäkeskuksessa (kuva 4). Kameravälien pituus vaihteli Otaniemi–Pakila-välillä 3,1 km:stä 4,1 km:iin. Pukinmäki–Itäkeskus-jakso oli 7,4 km pitkä.

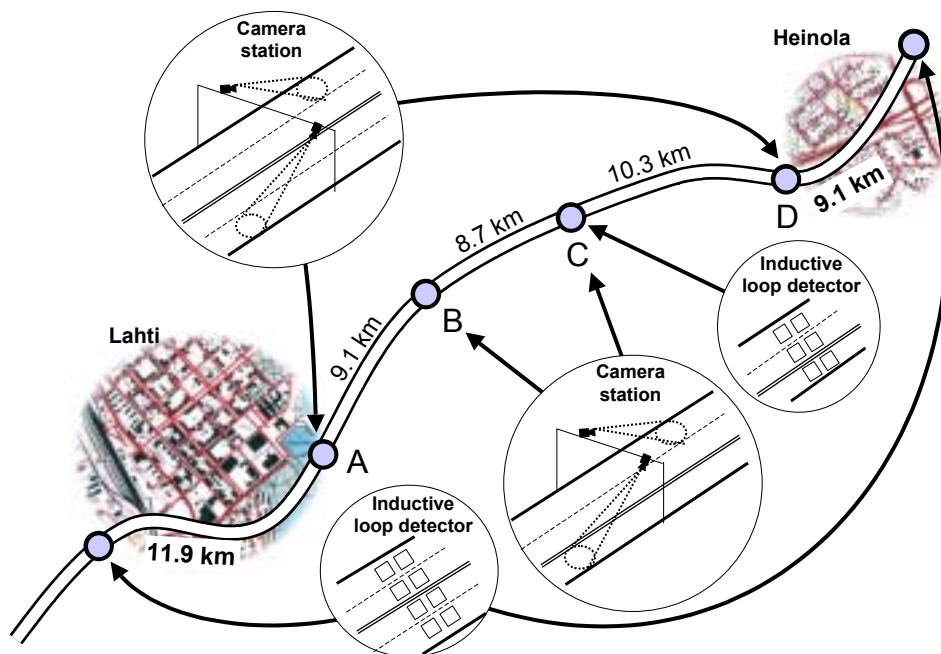
Matka-aikojen seurantajärjestelmän toiminta perustui ajoneuvojen tunnistamiseen liikennevirrasta ilman ajoneuvoihin asennettavia erillisiä tunnisteita tai lähettämiä. Ajoneuvo pyrittiin tunnistamaan yksilöllisesti rekisterikilven perusteella aina, kun se ohitti järjestelmän mittauspisteen. Pisteen ohi kulkeneiden ajoneuvojen rekisteritunnukset ja ohitusajankohdat tallennettiin, ja peräkkäisten pisteiden tietoja verrattiin keskenään. Yhdistämällä saman ajoneuvon tiedot kahdessa pisteessä saatiin laskettua ajoneuvon matkaan käytetty aika eli ajoneuvon matka-aika. Järjestelmä perustui Golden River Traffic Ltd:n toimittamiin laitteistoihin. (Eloranta 1999.)



Kuva 4. Matka-aikajärjestelmän kameroiden sijainnit Kehä I:llä.

Lahden ja Heinolan välinen tieosuus valtatiellä 4 oli mittauksen tekoaikana 28 kilometriä pitkä kaksikaistainen päätie, jolla oli suunnittain vaihteleva ohituskaista. Keskimääräinen kesän vuorokausiliikennemäärä oli noin 17 000 ajoneuvoa (Tiehallinto 2001a). Koska kohde sijaitsi kahden moottoritien välissä, ruuhka oli ongelma liikenteen huipputuntien aikana.

Tieosa oli varustettu vastaavanlaisella automaattisella matka-aikojen seurantajärjestelmällä kuin Kehä I. Kamerailmaisimet oli asennettu neljään poikkileikkaukseen (kuva 5). Kymijärven ja Heinolan kamerapisteen sijaitsivat moottoritien, vajaa kilometri ennen ohituskaistatien alkua tai ohituskaistatien loppumisen jälkeen. Näissä pisteissä kaistoja oli kaksi molempiin suuntiin. Seesta ja Vierumäki sijaitsivat ohituskaistatien, jossa oli peruskaistojen lisäksi yksi ohituskaista. Tämä ohituskaista oli molempien mittauspisteiden kohdalla etelään eli Lahden suuntaan. Matka-aikaseuranta kattoi yhden kaistan (peruskaista) suuntaa kohti kussakin mittauspisteessä. Koska Seestassa ja Vierumäellä ei ollut ohituskaistaa Heinolan suunnalla, kaikkia suunnan ajoneuvoja seurattiin. Muuten seuranta kohdistui ainoastaan peruskaistaa ajaviin ajoneuvoihin.



Kuva 5. Kaistojen lukumäärät, tieosien pituudet ja liikenteen seurantalaitteet valtatie 4 tutkimuskohteessa. Kamerapisteet olivat Kymijärvellä (A), Seestassa (B), Vierumäellä (C) ja Heinolassa (D).

2.2 Aineisto

Tutkimus perustui Kehä I:llä vuoden 2004 tammi–marraskuussa ja valtatiellä 4 keväällä 2002 ja ajanjaksolla vuoden 2003 kevästä vuoden 2005 tammi-kuuhun kamerajärjestelmällä kerättyyn ajoneuvokohtaiseen matka-aika-aineistoon. Todellisuudessa aineistossa oli keruuprosessin aiheuttamaa viivettä, jonka pituus oli korkeintaan 240 sekuntia. Tässä tutkimuksessa viipeitä ei otettu huomioon, vaan oletettiin, että tiedot olivat mallin käytettävissä heti, kun ajoneuvo oli ohittanut jälkimmäisen mittauspisteen.

Mallin estimoimiseen ja testaamiseen käytettiin eri aineistoja. Kehä I:llä käytettiin 2/3 aineistosta mallin tekon ja loput testaukseen. Aineisto jaettiin siten, että joka kolmas kuukausi valittiin testausaineistoksi.

Valtatiellä 4 kesä- (touko–syyskuu) ja talviliikenne poikkesivat toisistaan huomattavasti, koska ruuhkat painottuivat kesäviikonloppuihin. Tässä tutkimuskohteessa alkuperäinen aineisto käytettiin puoliksi mallin teon ja testauksen kesken, jotta molemmat aineistot sisälsivät varmasti usean ruuhka-päivän. Testausaineistoon valittiin kunkin kuukauden 15 ensimmäistä päivää ja mallin tekoaineistoon päivät kuukauden 15. päivästä eteenpäin. Ennen jakoa varmistettiin, että molempiin aineistoihin osui ajankohtia, jolloin tiedettiin olevan ruuhkia. Tällaisia ajankohtia olivat esimerkiksi pääsiäinen, juhannus ja jouluku.

Yllä esitetty aineistojen jakoperiaate vastasi tilannetta, että ensin koottiin aineisto, jonka perusteella malli estimoitiin, ja sen jälkeen mallia ajettiin mallintekoaineistosta poikkeavalla aineistolla. Jako tehtiin niin, että kaikki vuodenaajat olivat edustettuina molemmissa aineistoissa. Teoriassa oikeampi tapa jakaa aineisto mallin tekoa ja testausta varten olisi ollut satunnaistaa valinta. Syötteen matka-aika-aikasarjat kuitenkin päivitettiin kerran minuutissa, joten peräkkäisillä aikasarjoilla ei ollut suuria eroja. Jos mallin teko- ja testiaineistot olisivat olleet – vaikkakin eri havaintoja – hyvin samanlaisia havaintoja, mallin toiminnasta olisi voinut syntyä virheellinen kuva. Ruuhka vaihteli etenkin valtatielellä 4 enemmän päivästä toiseen kuin minuutista minuuttiin.

Mallin teko- ja testausaineistoa varten ajoneuvoikohtaisesta aineistosta laskettiin yhden minuutin mediaanimatka-ajat sekä matka-ajan mittausjärjestelmän ensimmäisen kamerapisteen ohitusajan että jälkimmäisen kamerapisteen ohitusajan perusteella.

Aineisto sisälsi mittausvirheistä tai poikkeavaa reittiä ajaneista ajoneuvoista aiheutuneita poikkeavia havaintoja. Poikkeavien havaintojen osuus oli yleensä pieni, joten ne eivät juuri vaikuttaneet mediaaniin silloin, kun se laskettiin suuresta määrästä havaintoja. Havaintomäärät eivät kuitenkaan aina olleet riittävän suuria vaimentamaan poikkeavien havaintojen vaikutusta ja mediaaniarvot päätettiin suodattaa ennen mallille syöttämistä.

Mediaanit suodatettiin aiemmin Kehä I:lle kehitetyn sujuvuusennustemallin soveltamalla menetelmällä, joka perustui otoskoon ja peräkkäisten havaintojen väliseen maksimieroon (Innamaa 2004b). Tässä etsittiin aluksi ne mediaanit, jotka perustuivat pieneen havaintomäärään. Sitten niistä suodatettiin pois sellaiset, jotka poikkesivat edellisestä hyväksytystä arvosta liikaa. Sopivia määritelmiä ”pienelle otoskoolle” ja ”liikaa poikkeamiselle” etsittiin visuaalisin keinoin kokeilemalla erilaisia raja-arvoja ja tarkkailemalla havaintoja, jotka eri tilanteissa karsiutuisivat aineistosta. Tarkoituksena oli löytää sellaiset raja-arvot, jotka löytäisivät lähes kaikki ihmissilmin poikkeaviksi tulkittavat havainnot, mutta eivät poistaisi esimerkiksi ruuhkien alkua. Paras tulos saatiin siten, että niistä mediaaneista, jotka perustuivat korkeintaan kahteen havaintoon, hyväksyttiin ainoastaan ne, jotka poikkesivat edellisestä hyväksytystä arvosta korkeintaan 50 prosenttia.

2.3 Regressiomalli

Mallinnusmenetelmäksi valittiin lineaarinen regressioanalyysi. Regressioanalyysissä luodaan matemaattinen esitys muodossa

$$Y = \beta X + \varepsilon$$

kuvaamaan muuttujien välistä yhteyttä. Y on havaintoyksiköissä i selitettävän muuttujan y_i odotusarvoja kuvaava matriisi ja X puolestaan selitettävien muuttujien $x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{ni}$ arvot sisältävä matriisi. β sisältää mallissa arvioitavat parametrit eli kertoimet $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ ja ε virhetermit. Esitysmuodon avulla selitettävän muuttujan odotusarvo voidaan arvioida selittävien muuttujien perusteella.

3 TULOKSET

3.1 Mallien muodostaminen

Mallit muodostettiin Tanskan tielaitoksen käyttämää mallia mukaillen. Mallit tehtiin kuitenkin kattamaan pelkkien ruuhka-aikojen sijaan koko vuorokausi ja kaikki viikonpäivät. Tanskassa tiejakson matka-aika estimoitiin pistemittauksista. Suomessa lähtötietoina olivat kamerajärjestelmän mittaamat matka-ajat. Kahden kamerapisteen avulla mitattu matka-aika-aineisto sisälsi poikkeavia havaintoja¹ ja otoskoot olivat pienet. Mediaani oli näissä olosuhteissa vakaampi suure kuin tanskalaisten käyttämä keskiarvo.

Mallit (kuva 6) päätettiin muodostaa ennustamaan ennustejakson aikana tiejakson aloittavien ajoneuvojen mediaanimatka-aikaa. Ennustejaksona oli yksittäinen minuutti 15 tai 30 minuutin kuluttua ennusteen tekohetkestä. Syöteinä taas päätettiin käyttää tiejaksolta poistuvien ajoneuvojen matka-aikojen mediaaneja. Näin toimien voitiin olla varmoja, että ne ajoneuvot, joille matka-aikaa ennustettiin, eivät olleet missään liikennetilanteessa minkään mittaisella tiejaksolla ennusteen tekohetkellä jo aloittaneet tiejaksoa, vaan ennuste olisi vielä ehditty antaa heille. Samoin varmistettiin, että syötetiedot olisivat olleet todellisessa tilanteessa aina mitattavissa. On huomattava, ettei tanskalainen malli ota kantaa siihen, kumpaa matka-aikamediaania tulisi käyttää, sillä Tanskassa matka-aika määritetään pistenopeuksista.

$$T_{+15} = \bar{T}_{+15} + a_0 \cdot (t_0 - \bar{t}_0) + a_1 \cdot (t_1 - \bar{t}_1) + a_2 \cdot (t_2 - \bar{t}_2) + a_{10} \cdot (t_{10} - \bar{t}_{10}) + \varepsilon$$

missä, T_{+15} = 15 minuutin kuluttua tiejakson aloittavien ajoneuvojen mediaanimatka-aika.
 \bar{T}_{+15} = vastaavien saman ajankohdan mediaanimatka-aikojen keskiarvo
 t_0 = viimeisen minuutin aikana tiejaksolta poistuneiden ajoneuvojen mediaanimatka-aika.
 \bar{t}_0 = vastaavien saman ajankohdan mediaanimatka-aikojen keskiarvo
 a_0, ε = vakioita

Kuva 6. Tutkimuksessa käytetty matka-ajan ennustemalli. Ennustejakson pituus oli 15 tai 30 minuuttia. Mallin syötetietoina olivat Tanskan mallin mukaisesti matka-aikamittaukset viimeisiltä kolmelta minuutilta ja 10 minuutin takaa.

¹ Poikkeavat havainnot voivat olla mittausjärjestelmän automaattisen rekisteritunnuksen väärin tulkinnasta aiheutuvia virheitä tai edustaa sellaisten ajoneuvojen matka-aikaa, joiden ajoreitti tai ajotapa ei vastaa haluttua. Tällaisia voivat olla mm. bussikaistaa ajaneet linja-autot tai taksit, ruuhkassa jonoa ohitelleet moottoripyörät ja ajoneuvoja, jotka ovat poikenneet matkalla jonnekin tai pysähtyneet joksikin aikaa (esim. käyneet matkalla kaupassa).

Tanskan tielaitoksen matka-aikaennustemallin soveltuvuutta Suomeen tutkittiin kahdeksalla eri tiejaksolla. Näistä kolme oli valtatieltä 4 ja viisi Kehä I:ltä (taulukko 4). Valtatieltä 4 valittiin pohjoiseen suuntautuvista tiejaksoista ne, jotka ruuhkautuvat kesäaikaan säännöllisesti (Kymijärvi–Seesta ja Seesta–Vierumäki) sekä näiden yhdistelmä. Kehä I:ltä valittiin kaikki idästä länteen suuntautuvat tiejaksot.

Taulukko 4. Tutkimukseen valitut linkit, niiden pituudet ja vapaan liikennevirran nopeudet. Kehä I:llä laskelmassa käytettiin kesäajan vapaa nopeuksia.

	Tiejakso	Pituus (m)	Vapaa nopeus (km/h)
Valtatie 4	Kymijärvi–Seesta	9 047	100
	Seesta–Vierumäki	8 822	100
	Kymijärvi–Vierumäki	17 869	100
Kehä I	Itäkeskus–Pukinmäki	7 400	70
	Pukinmäki–Pakila	3 100	77
	Pakila–Konala	4 100	77
	Konala–Perkkaa	3 500	67
	Perkkaa–Otaniemi	3 900	57

Mallien muodostamista varten koottiin aineisto. Valtaosa alkuperäisen aineiston havainnoista karsiutui, koska jonkin tarkasteluhetken ennusteen syötteen tai toteuman mittausajankohdan ajalta ei ollut yhtään havaintoa. Lisäksi jäljelle jääneestä aineistosta karsittiin osa liian suurina poikkeamina ympäröiviin havaintoihin verrattuna. Mallin teossa käytettyjen havaintojen määrä vaihteli Itäkeskus–Pukinmäki-tiejakson reilusta 19 000 havainnosta Pakila–Konala-tiejakson yli 140 000 havaintoon (taulukko 5). Havaintojen määrän jakautuminen osamalleittain on esitetty liitteessä 2.

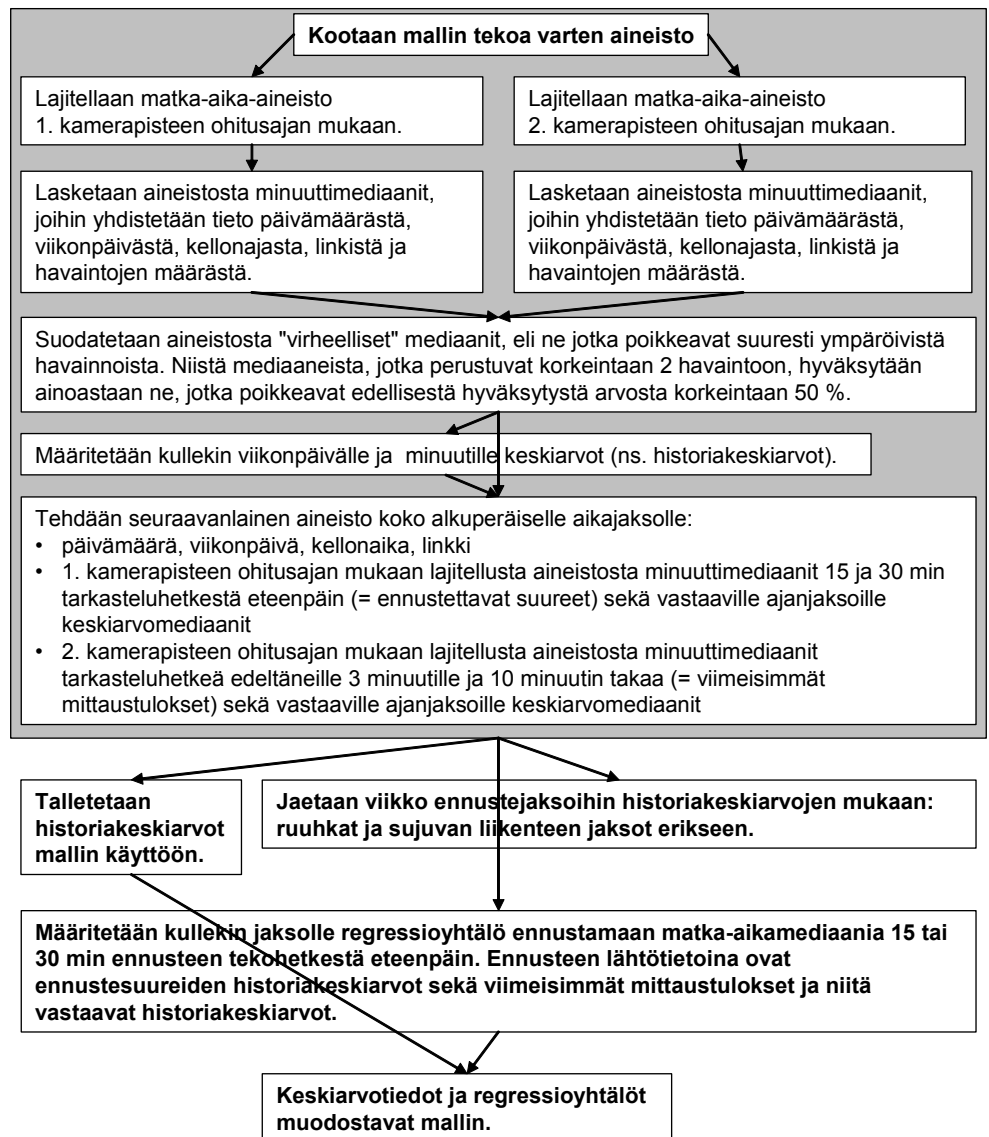
Taulukko 5. Havaintojen määrä mallintekoaineistossa tiejaksoittain.

	Tiejakso	Havaintojen määrä
Valtatie 4	Kymijärvi–Seesta	64 692
	Seesta–Vierumäki	30 737
	Kymijärvi–Vierumäki	22 504
Kehä I	Itäkeskus–Pukinmäki	19 131
	Pukinmäki–Pakila	127 079
	Pakila–Konala	140 424
	Konala–Perkkaa	121 663
	Perkkaa–Otaniemi	30 845

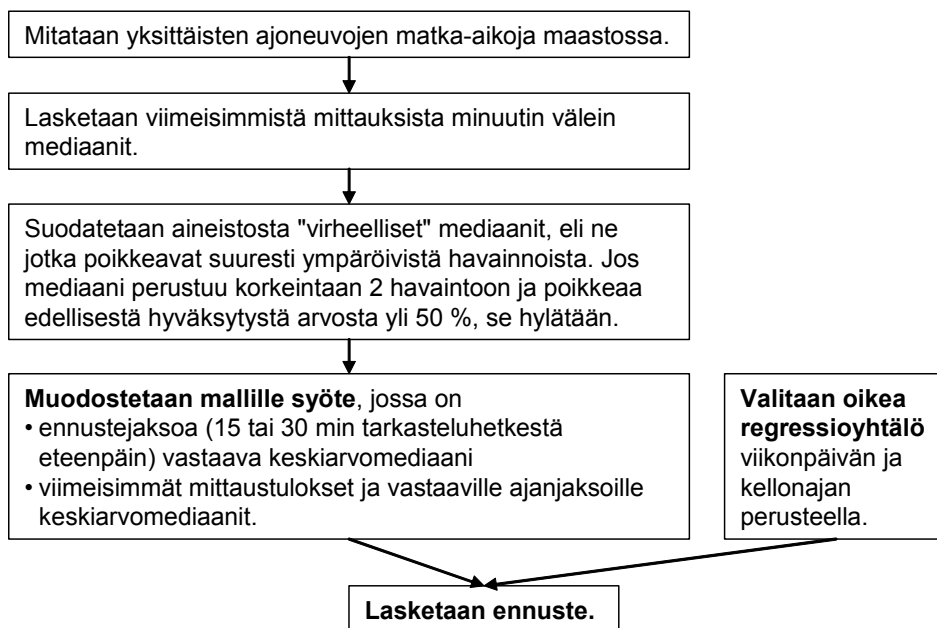
Mallit muodostettiin kullekin tiejaksolle erikseen jokaisen arkipäivän aamu- ja iltaruuhkalle tai vaihtoehtoisesti muille tiettyyn kellonaikaan ja viikonpäivään liittyville ruuhkille (liite 2). Mallit olivat kullakin tiejaksolla suuntakohtaisia (A–B:lle oma malli ja B–A:lle oma). Nopeustasoltaan samankaltaiset sujuvan liikenteen jaksot kuitenkin yhdistettiin ja niille tehtiin yhteiset osamallit.

Mallin muodostamiseksi jokaiselle viikonpäivälle piirrettiin kuvaaja matka-aikamediaanien keskiarvoista (liite 1). Kuvaajien avulla vuorokausi jaettiin liikenteellisesti erilaisiin osiin osamallien muodostamiseksi. Omiksi osamalleikseen jaettiin esimerkiksi normaalissa kaupunkiliikenteessä aamuruuhka, päiväliikenne, iltaruuhka sekä myöhäinen ilta ja yöliikenne.

Mallin parametrit estimoitiin lineaarisen regression periaattein. Regressiomallien kertoimet on esitetty liitteessä 2. Historiakeskiarvot ovat saatavissa projektiryhmän jäseniltä. Mallin muodostaminen on kuvattu kokonaisuudessaan kuvassa 7. Mallin käyttö ajantasaisessa sovelluksessa on esitetty kuvassa 8.



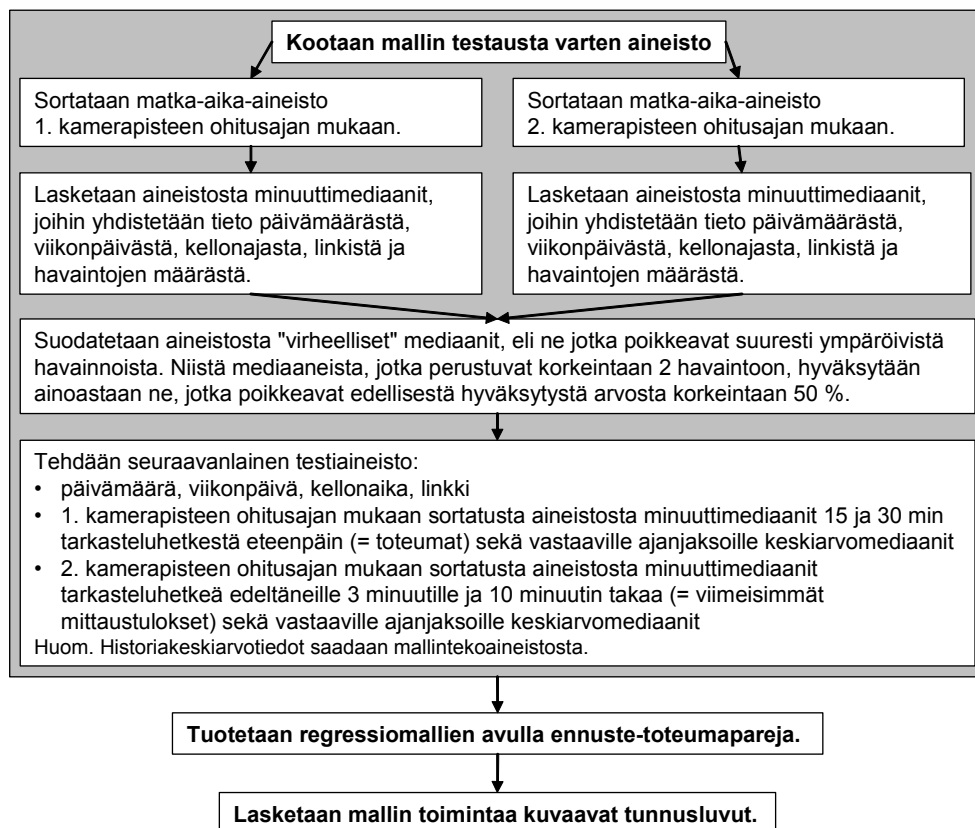
Kuva 7. Ennustemallin muodostaminen.



Kuva 8. Ennustemallin käyttö ajantasaisessa sovelluksessa.

3.2 Mallien testaaminen

Mallien testaamisessa käytettiin aineistoa, jota ei hyödynnetty malleja tehdessä. Testausaineiston luominen on kuvattu kuvassa 9. Testausaineiston määrä vaihteli Itäkeskus–Pukinmäki-tiejakson reilusta 9 000 havainnosta Kymijärvi–Seesta-tiejakson yli 56 000 havaintoon (taulukko 6). Regressiomallien avulla tuotettiin ennuste-toteumapareja. Kunkin tiejakson osamallien tuottamat ennusteet yhdistettiin ja niistä laskettiin mallin hyvyttä kuvaavia tunnuslukuja. Tunnuslukuja tarkasteltiin erikseen kaikelle aineistolle, ainoastaan ruuhkaliikenteelle sekä sujuvuusluokittain. Sujuvuusluokittelu perustui matkanopeuden ja vapaan nopeuden osamäärään (taulukko 7). Kolme alinta sujuvuusluokkaa (hitaasta seisovaan) tulkittiin ruuhkaliikenteeksi.



Kuva 9. Ennustemallin testaaminen.

Taulukko 6. Havaintojen määrä testausaineistossa tiejaksoittain.

	Tiejakso	Havaintojen määrä
Valtatie 4	Kymijärvi–Seesta	56 277
	Seesta–Vierumäki	25 466
	Kymijärvi–Vierumäki	18 398
Kehä I	Itäkeskus–Pukinmäki	9 242
	Pukinmäki–Pakila	53 405
	Pakila–Konala	54 986
	Konala–Perkkaa	50 113
	Perkkaa–Otaniemi	14 329

Taulukko 7. Sujuvuusluokat ja niiden määritelmät (Kiljunen & Summala 1996).

Sujuvuusluokka	Matka-nopeuden ja vapaan nopeuden osamäärä (%)
Sujuva	> 90
Jonoutunut	75–90
Hidas	25–75
Pysähtelevä	10–25
Seisova	< 10

Tilastolliset tunnusluvut osoittivat, että 15 minuutin ennustemalli aliarvioi systemaattisesti matka-aikaa ruuhkassa (taulukko 8). Koko aineistosta lasketut tunnusluvut eivät sitä vastoin osoita systemaattista ali- tai yliarviointia. Tämä viittaa siihen, että sujuva liikenne ennustettiin oikealla tasolla. Kaikkia ennuste-toteumapareja tarkastellen keskimääräinen virheen itseisarvo oli alle minuutin suuruinen Kymijärvi–Vierumäki-tiejaksoa lukuun ottamatta, jossa se oli 91 sekuntia. Ruuhkaliikenteessä vastaava suure oli kaikkein pienin ruuhkaisimmilla tiejaksoilla (Pakila–Konala 79 s, Konala–Perkkaa 48 s). Harvoin ruuhkautuvilla tiejaksoilla (Seesta–Vierumäki, Itäkeskus–Pukinmäki) itseisarvo oli yli 4 minuuttia. Suhteellisella virheellä tarkasteltuna huonoimmat ruuhkaennusteet sijoituivat Kehä I:n päihin (Perkkaa–Otaniemi ja Itäkeskus–Pukinmäki). Samat ilmiöt olivat havaittavissa voimakkaammin 30 minuutin ennusteessa (taulukko 9).

Taulukko 8. Tilastolliset tunnusluvut 15 minuutin ennusteille testausaineis-
tossa.

Tiejakso	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskim. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otos- keski- hajonta (s)
Vt4, Kymijärvi- Seesta	vain ruuhka	-134	61 408	173	-17	24	248
	kaikki	0	4 276	31	1	8	65
Vt4, Seesta- Vierumäki	vain ruuhka	-150	125 450	247	-12	25	354
	kaikki	0	16 125	57	4	12	127
Vt4, Kymijärvi- Vierumäki	vain ruuhka	-198	141 958	284	-12	20	377
	kaikki	-6	26 895	91	2	10	164
Kehä I, Itäkeskus- Pukinmäki	vain ruuhka	-257	166 071	275	-30	33	408
	kaikki	-1	8 195	42	2	10	91
Kehä I, Pukinmäki- Pakila	vain ruuhka	-89	58 834	127	-15	30	243
	kaikki	-3	2 762	14	0	7	53
Kehä I, Pakila- Konala	vain ruuhka	-35	14 271	79	-6	18	119
	kaikki	0	2 381	22	3	10	49
Kehä I, Konala- Perkkaa	vain ruuhka	-39	9 197	48	-10	13	96
	kaikki	-4	2 516	24	1	10	50
Kehä I, Perkkaa- Otaniemi	vain ruuhka	-142	42 867	142	-30	30	208
	kaikki	-2	1 512	25	1	11	39

Taulukko 9. Tilastolliset tunnusluvut 30 min ennusteille testausaineistossa.

Tiejakso	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskim. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otoskeskihajonta (s)
Vt4, Kymijärvi–Seesta	vain ruuhka	-175	87 210	205	-22	27	295
	kaikki	0	5 857	35	2	8	77
Vt4, Seesta–Vierumäki	vain ruuhka	-218	168 594	296	-18	29	411
	kaikki	-6	22 054	65	4	13	149
Vt4, Kymijärvi–Vierumäki	vain ruuhka	-276	220 567	349	-16	23	470
	kaikki	-6	40 640	108	3	12	202
Kehä I, Itäkeskus–Pukinmäki	vain ruuhka	-301	218 451	309	-34	35	468
	kaikki	2	9 250	43	3	10	96
Kehä I, Pukinmäki–Pakila	vain ruuhka	-101	61 544	135	-18	32	248
	kaikki	-3	2 947	14	1	8	54
Kehä I, Pakila–Konala	vain ruuhka	-48	17 831	91	-8	21	134
	kaikki	0	3 051	25	4	12	55
Kehä I, Konala–Perkkaa	vain ruuhka	-45	9 678	53	-11	14	98
	kaikki	-5	2 565	25	1	10	51
Kehä I, Perkkaa–Otaniemi	vain ruuhka	-182	84 440	182	-35	35	291
	kaikki	-3	2 160	26	1	12	46

Regressiomallin avulla laskettiin myös oikein ennustettujen osuudet ja Tanskan mallin (Holm 2006a) mukaiset suuret ennustevirheet. Ennuste tulkittiin oikeaksi, jos se osui 10 prosentin virhemarginaalin sisään toteuman ympärille. Yli minuutin virheiden² osuus oli Kehä I:n 15 minuutin ennusteella 2–8 prosenttia, kun tarkasteltiin kaikkea aineistoa (taulukko 10). Kehä I:llä ei ollut yli 5 minuutin virheitä. Valtatien 4 pisimmällä tarkastelujaksolla (Kymijärvi–Vierumäki) yli minuutin virheiden osuus oli suurin: 23 prosenttia kaikista ennusteista. Seesta–Vierumäki-tiejaksolla yli viiden minuutin virheiden osuus oli 4 prosenttia ruuhkaennusteista. Oikein ennustettujen osuus oli valtatie 4 tiejaksoilla 86–91 prosenttia kaikista ennusteista ja 33–40 prosenttia ruuh-

² Virhe voi olla joko ylös- tai alaspäin, eli ennuste voi joko yli- tai aliarvioida matka-aikaa.

kaennusteista. Kehä I:llä vastaava kaikkien ennusteiden vaihteluväli oli 78–92 prosenttia. Ruuhkassa tiejaksokohtaista vaihtelua oli enemmän. Ruuhkassa yli 50 prosentin ennustamiskykyyn ylsivät ruuhkaisimmat tiejaksot Konalan molemmin puolin. Perkkaa–Otaniemi-tiejakson huono tulos selittyy erittäin vähäisillä ruuhkahavainnoilla (1 prosentti ajasta). Suurien virheiden osuus oli 30 minuutin ennustemallilla samaa suuruusluokkaa kuin 15 minuutin mallilla (taulukko 11). Oikein ennustettujen osuudet olivat valtatie 4 tiejaksoilla hieman pienemmät kuin 15 minuutin mallilla. Kehä I:llä suuruusluokka oli sama.

Taulukko 10. Ennustevirheet ja oikein ennustettujen osuudet 15 minuutin ennusteille testausaineistossa.

Tie	Tiejakso	Aineisto	Yli 1 min virheiden osuus (%)	Yli 2 min virheiden osuus (%)	Yli 5 min virheiden osuus (%)	Oikein ennustettujen osuus (%)
Vt4	Seesta–Vierumäki	vain ruuhka	20	14	4	39
		kaikki	15	4	1	88
	Kymijärvi–Seesta	vain ruuhka	9	6	1	33
		kaikki	5	1	0	91
	Kymijärvi–Vierumäki	vain ruuhka	18	13	4	40
		kaikki	23	11	1	86
Kehä I	Pakila–Konala	vain ruuhka	14	5	0	54
		kaikki	5	1	0	90
	Pukinmäki–Pakila	vain ruuhka	11	4	0	41
		kaikki	2	1	0	92
	Itäkeskus–Pukinmäki	vain ruuhka	5	4	0	14
		kaikki	8	2	0	87
	Perkkaa–Otaniemi	vain ruuhka	0	0	0	2
		kaikki	2	0	0	78
	Konala–Perkkaa	vain ruuhka	1	0	0	58
		kaikki	3	0	0	83

Taulukko11. Ennustevirheet ja oikein ennustettujen osuudet 30 minuutin ennusteille testausaineistossa.

Tie	Tiejakso	Aineisto	Yli 1 min virheiden osuus (%)	Yli 2 min virheiden osuus (%)	Yli 5 min virheiden osuus (%)	Oikein ennustettujen osuus (%)
Vt4	Seesta–Vierumäki	vain ruuhka	15	11	4	30
		kaikki	14	5	1	86
	Kymijärvi–Seesta	vain ruuhka	7	4	1	25
		kaikki	7	1	0	91
	Kymijärvi–Vierumäki	vain ruuhka	15	10	3	35
		kaikki	27	13	2	85
Kehä I	Pakila–Konala	vain ruuhka	14	6	0	46
		kaikki	6	2	0	90
	Pukimäki–Pakila	vain ruuhka	11	4	0	36
		kaikki	2	1	0	92
	Itäkeskus–Pukimäki	vain ruuhka	3	1	0	9
		kaikki	10	2	0	89
	Perkkaa–Otaniemi	vain ruuhka	0	0	0	0
		kaikki	2	0	0	78
	Konala–Perkkaa	vain ruuhka	1	0	0	51
		kaikki	3	0	0	82

Kunkin sujuvuusluokan osuus testausaineistosta laskettiin, samoin oikein ennustettujen osuudet sujuvuusluokittain kullekin tiejaksolle (taulukko 12). 15 minuutin malli kykeni ennustamaan sujuvan liikenteen oikein 98–99 prosenttisesti valtatiellä 4. Kehä I:llä osuus oli lähes sama (96–98 prosenttia) Otaniemi–Perkkaa-tiejaksoa lukuun ottamatta, jossa se oli 83 prosenttia. Oikein ennustettujen osuus laski sujuvuuden alentuessa. Luokassa hidas oikein ennustettujen osuus valtatiellä 4 oli 33–44 prosenttia ja Kehä I:llä keskimmaisilla tiejaksoilla 44–58 prosenttia ja päissä 2 ja 14 prosenttia. 30 minuutin ennuste kykeni ennustamaan sujuvan liikenteen yhtä hyvin kuin 15 minuutin ennuste. Valtatien 4 kohteissa 30 minuutin malli kykeni ennustamaan luokan hidas huonommin kuin 15 minuutin malli. Kehä I:llä ero oli pienempi kuin valtatiellä 4.

Taulukko 12. Sujuvuusluokkien osuudet testausaineistosta ja oikein ennustettujen osuudet luokittain testausaineistossa. Sujuvuusluokan "Seisova" osuus oli kaikilla tiejaksoilla 0 prosenttia.

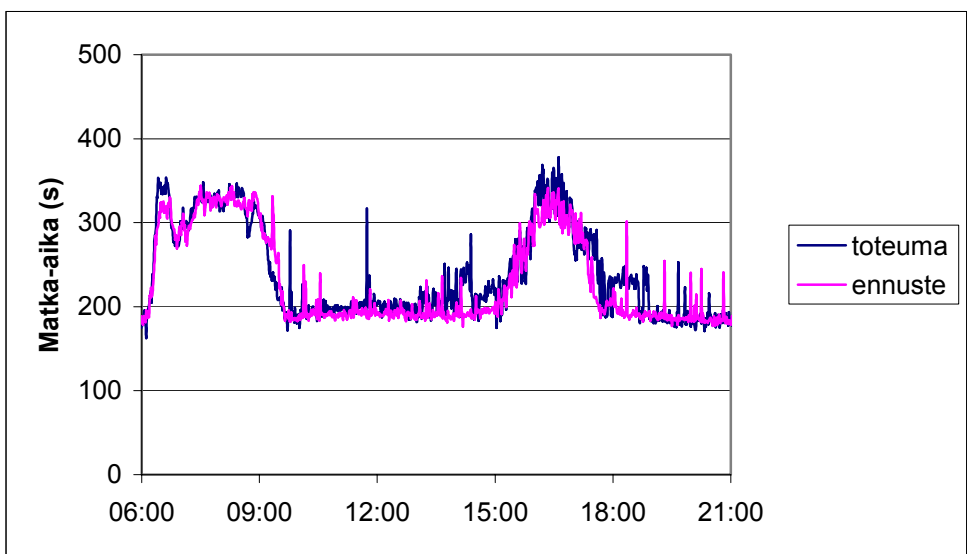
Tiejakso	Ruuhka-luokka	15 min ennuste	30 min ennuste

		Luokan osuus (%)	Oikein ennustettujen osuus (%)	Luokan osuus (%)	Oikein ennustettujen osuus (%)
Vt4, Kymijärvi– Seesta	Sujuva	56	99	56	99
	Jonoutunut	39	89	39	89
	Hidas	5	33	5	26
	Pysähtelevä	0	0	0	0
Vt4, Seesta– Vierumäki	Sujuva	71	98	70	98
	Jonoutunut	18	80	19	77
	Hidas	9	44	9	35
	Pysähtelevä	2	17	2	12
Vt4, Kymijärvi– Vierumäki	Sujuva	60	98	61	98
	Jonoutunut	25	82	25	82
	Hidas	14	41	13	36
	Pysähtelevä	0	6	0	1
Kehä I, Itäkeskus– Pukinmäki	Sujuva	77	98	78	98
	Jonoutunut	20	57	19	63
	Hidas	3	14	3	10
	Pysähtelevä	0	0	0	0
Kehä I, Pukinmäki– Pakila	Sujuva	94	96	94	96
	Jonoutunut	2	40	2	39
	Hidas	4	44	4	39
	Pysähtelevä	0	1	0	0
Kehä I, Pakila– Konala	Sujuva	85	96	85	96
	Jonoutunut	3	70	3	71
	Hidas	11	55	11	47
	Pysähtelevä	0	5	0	5
Kehä I, Konala– Perkkaa	Sujuva	68	97	68	97
	Jonoutunut	11	48	11	48
	Hidas	21	58	21	52
	Pysähtelevä	0	0	0	0
Kehä I, Perkkaa– Otaniemi	Sujuva	93	83	93	83
	Jonoutunut	5	21	5	19
	Hidas	1	2	1	0
	Pysähtelevä	0	0	0	0

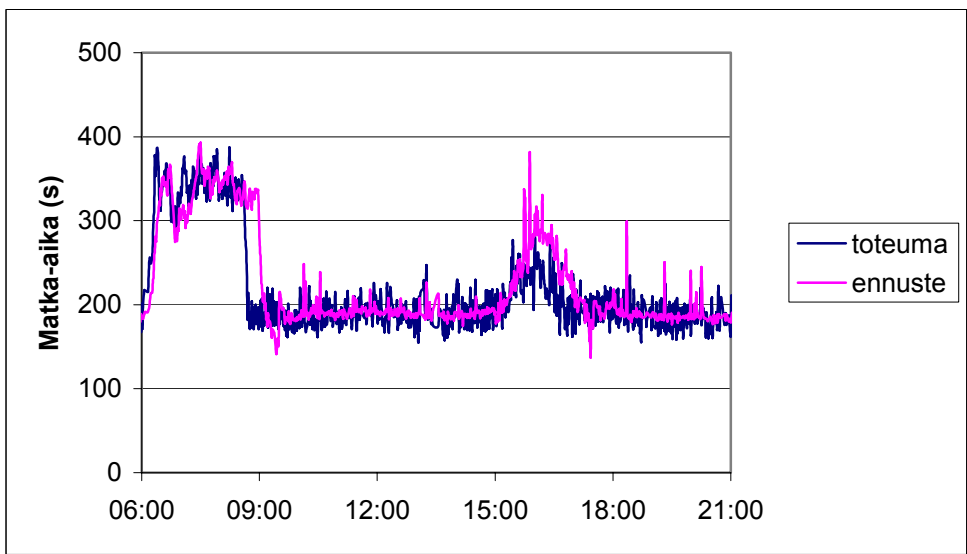
Mallien tietyille viikonpäiville tekemistä ennusteista ja vastaavista toteumista piirrettiin keskiarvokäyrät. Näistä on esimerkkejä kuvissa 10, 12 ja 14. Kuvista havaitaan, että keskiarvokäyrät vastaavat melko hyvin toisiaan. Konala–Perkkaa-tiejaksolla (kuva 10) ennusteiden keskiarvosta puuttuu iltaruuhkan alussa ja lopussa olevat pienemmät matka-ajan nousut, samoin Seesta–Vierumäki-tiejaksolla (kuva 14) aamuruuhkan matala kukkula. Kaikki suu-

remmat ruuhkat ovat kuitenkin kohdallaan.

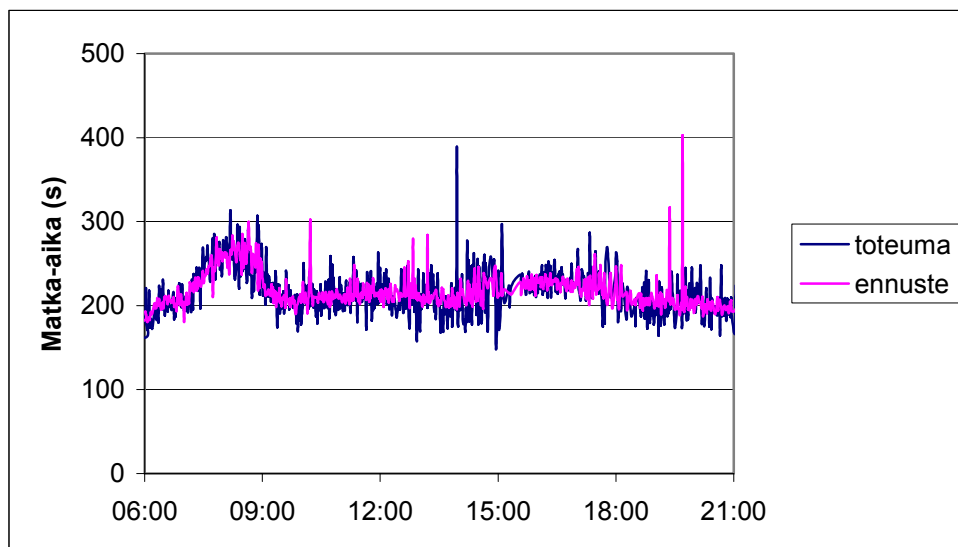
Yksittäisten päivien ennuste-toteumapareja tarkastellessa (kuvat 11, 13 ja 15) kuitenkin näkyy, kuinka ennuste tulee toteumaan verrattuna paikoitellen jäljessä (kuvat 11 ja 15) tai malli ennustaa ruuhkaa, jota ei todellisuudessa lainkaan tapahdu (kuvat 13 ja 15) tai tapahtuu lievempänä (kuva 11).



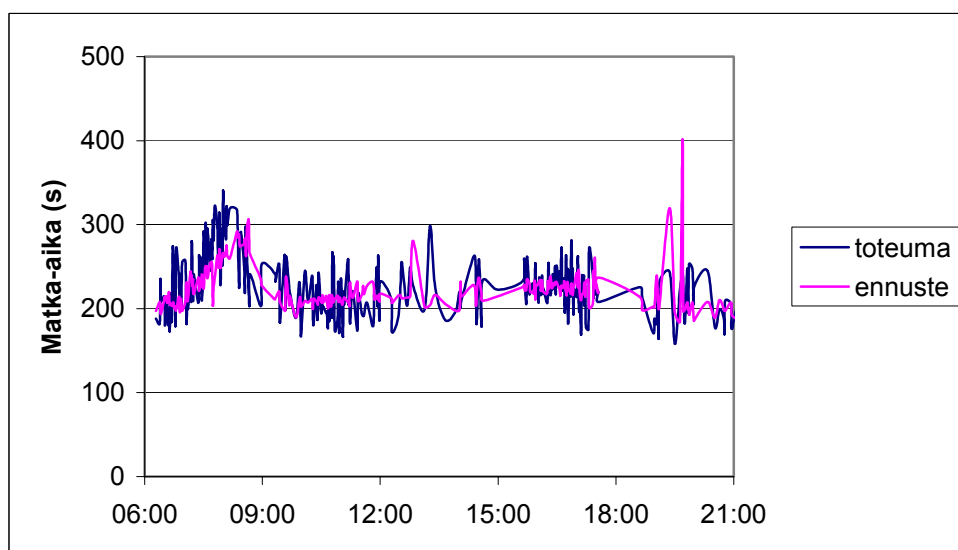
Kuva 10. Kaikkien maanantaipäivien toteumien ja ennusteiden keskiarvot Konala–Perkkaa-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa.



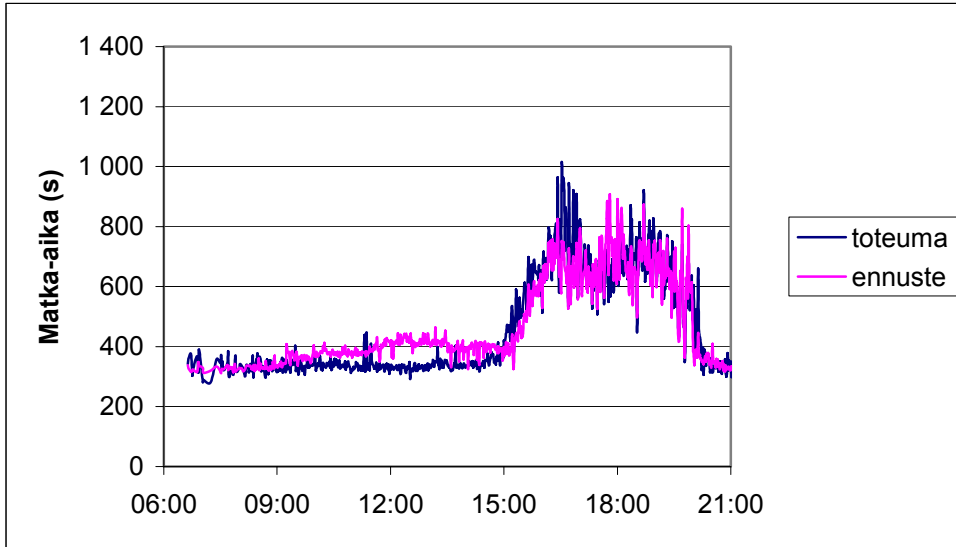
Kuva 11. Toteumat ja ennusteet Konala–Perkkaa-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa maanantaina 13.9.2004.



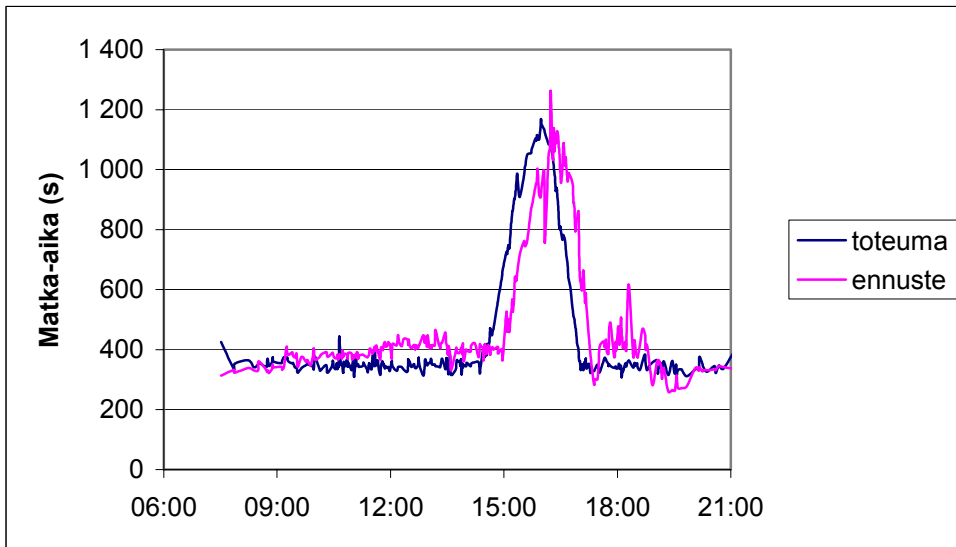
Kuva 12. Kaikkien maanantaipäivien toteumien ja ennusteiden keskiarvot Perkkää–Otaniemi-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa.



Kuva 13. Toteumat ja ennusteet Perkkää–Otaniemi-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa maanantaina 13.9.2004.



Kuva 14. Kaikkien perjantaipäivien toteumien ja ennusteiden keskiarvot Seesta–Vierumäki-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa.



Kuva 15. Toteumat ja ennusteet Seesta–Vierumäki-tiejakson 15 minuutin ennustemallilla testausaineistossa perjantaina 6.8.2004.

Regressiomallin avulla saatuja ennusteita verrattiin viimeiseen mitattuun arvoon ja historiakeskiarvoon kyseiseltä ajanhetkeltä. Vastaavat tunnusluvut on esitetty liitteessä 3. Valtatiellä 4 regressiomalliin ja viimeisimpään mittaukseen perustuvat ennusteet olivat suunnilleen yhtä hyviä. Paremmuusjärjestys oli riippuvainen virhetermistä. Sitä vastoin historiakeskiarvoon perustuva ennuste oli selvästi huonompi.

Kehä I:llä tilanne vaihteli tiejaksoittain. Pakila–Konala-tiejaksolla regressiomalliin perustuva ennuste oli vertailuarvoja parempi ja viimeisimpään mittaukseen perustuva ennuste oli ainoastaan hieman historiakeskiarvoon perustuvaa ennustetta parempi. Historiakeskiarvoon perustuvissa ennusteissa ei kyseisellä linkillä ollut merkitystä ennustejakson pituudella. Muilla malleilla 30 minuutin ennuste oli huonompi kuin 15 minuutin ennuste. Tulokset olivat samat Konala–Perkkaa-tiejaksolle poikkeuksena se, että 15 minuutin ennusteissa viimeisimpään mittaukseen perustuva ennuste oli parempi kuin historiakeskiarvoon perustuva ennuste. Muilla tiejaksoilla kaikilla menetelmillä päästiin suunnilleen yhtä hyviin tuloksiin ja paremmuusjärjestys oli riippuvainen virhetermistä.

4 TULOSTEN TARKASTELU

Hankkeen tavoitteena oli selvittää Tanskan tielaitoksella käytössä olevan matka-ajan historiatietoon perustuvan ennustemallin sopivuutta Suomen olosuhteisiin. Arvio perustui testimalleihin, jotka tehtiin Tiehallinnon matka-aikajärjestelmästä kootuilla matka-aika-aineistoilla.

Mallia testattiin valtatiellä 4 pohjoiseen välillä Kymijärvi–Vierumäki ja Kehä I:llä länteen välillä Itäkeskus–Otaniemi kaikkiaan kahdeksalla tiejaksolla. 15 minuutin ennustemalli kykeni ennustamaan sujuvan liikenteen oikein 96–99 prosenttisesti Otaniemi–Perkkaa-tiejaksoa lukuun ottamatta, jossa osuus oli 83 prosenttia. Kansainvälisten kokemusten mukaan (mm. Toppen & Wunderlich 2003) virheellisiä ennusteita saisi olla enintään 15 prosenttia, jotta ennusteista olisi hyötyä tienkäyttäjille. Jos tarkastellaan Tanskan tielaitoksen mallien tuloksia suomalaisilla teillä yleisesti, tämä kriteeri täyttyy. Jos tarkastellaan mallien ennustamiskykyä ruuhkatilanteissa, joissa matka-aikatiedon merkitys on suurin, tulokset olivat selkeästi huonommat. Luokassa hidas valtatiellä 4 oikein ennustettujen osuus oli 33–44 prosenttia ja Kehä I:llä keskimmaisilla tiejaksoilla 44–58 prosenttia ja päissä 2 ja 14 prosenttia.

Tutkimuksessa kokeiltiin kahta erimittaista ennustejaksoa: 15 ja 30 minuuttia. Jos tarkasteltiin kaikkia sujuvuusluokkia yhdessä, ennustejakson pituudella ei ollut merkitystä oikein ennustettujen osuuteen. Tämä on seurausta molemmilla malleilla yhtä hyvin onnistuneisiin sujuvan liikenteen ennusteisiin. Ruuhkaliikenteessä oikein tehtyjen 15 minuutin ennusteiden osuus oli tiejaksosta riippuen 5–9 prosenttiyksikköä parempi kuin 30 minuutin ennusteilla.

Tanskan tielaitoksen soveltavan mallin kaltainen viimeisiin mittauksiin ja historiakeskiarvoihin perustuva regressioyhtälöpohjainen ennuste vaikutti soveltuvan parhaiten tiejaksoille, joilla oli säännöllisesti voimakas ruuhka. Kehä I:llä Konalaa ympäröivät tiejaksot olivat ruuhkaisimmat ja niillä ennusteet onnistuivat paremmin kuin Kehä I:n päiden rauhallisemmilla tiejaksoilla. Tiejakson pituudella ei näytä olleen vaikutusta oikein ennustettujen osuuteen, kuten valtatie 4 tulokset osoittivat. Pitkien tiejaksojen absoluuttiset virheet olivat suurempia kuin lyhempien tiejaksojen, mutta suhteellisissa virheissä ei ollut eroa.

Tanskalaisten tuloksiin verrattuna suomalaisella aineistolla tuotetut ennusteet tuottivat enemmän yli yhden, kahden ja viiden minuutin virheitä Kehä I:n ruuhkaisimmilla Konalaa ympäröivillä tiejaksoilla. Kööpenhaminan kehätiellä malliin todettiin tekevän yli minuutin ennustevirheitä noin 7 prosenttia ajasta ja yli 2 minuutin virheitä noin 1–2 prosenttia. Valtatiellä 4 päästiin tanskalaisen tuloksiin, kun tiejaksojen pituusero otettiin huomioon. Tanskalaiset kuitenkin ennustivat pistenopeuksista estimoitua matka-aikaa todellisen matka-ajan sijaan, mikä varmasti vaikutti tuloksiin. Samoin tiejaksot olivat Tanskas-

sa huomattavan paljon homogeenisemmat kuin tässä tutkimuksessa mallinnetut.

Nyt kokeillun mallin tulokset olivat heikkomat kuin valtatiellä 4 aiemmin kokeillulla neuroverkkopohjaisella ennustemallilla. Kun nyt Kehä I:llä saatuja tuloksia verrattiin neuroverkkoihin perustuvan sujuvuusennusteen tuloksiin, havaittiin, että sujuvan ja jonoutuneen liikenteen osalta tulokset olivat samaa suuruusluokkaa. Neuroverkkopohjainen malli kuitenkin ennusti ruuhkautuneen liikenteen selvästi paremmin kuin nyt tehdyt mallit.

Regressiomallin avulla saatuja ennusteita verrattiin myös viimeiseen mitattuun arvoon ja historiakeskiarvoon kyseiseltä ajanhetkeltä. Valtatiellä 4 regressiomalliin ja viimeisimpään mittaukseen perustuvat ennusteet olivat suunnilleen yhtä hyviä. Sitä vastoin historiakeskiarvoon perustuva ennuste oli selvästi huonompi. Kehä I:llä tilanne vaihteli tiejaksoittain. Ruuhkaisimmilla Konalaa ympäröivillä tiejaksoilla regressiomalliin perustuva ennuste oli verrokkeja parempi. Historiakeskiarvoon perustuvissa ennusteissa ei ollut merkitystä ennustejakson pituudella. Ruuhkaisimmilla tiejaksoilla historiakeskiarvoon perustuva ennuste oli vertailun huonoin. Muilla tiejaksoilla kaikilla menetelmillä päästiin suunnilleen yhtä hyvin tuloksiin ja paremmuusjärjestys oli riippuvainen virhetermistä.

Tanskassa ennustettavana suureena oli pistemäisistä nopeusmittauksista kokonaiselle tiejaksolle yleistetty matka-aika. Se on suureena paljon vaakaampi kuin Suomessa mitattu todellinen matka-aika. Samoin otoskoot ovat induktioilmaisimia käytettäessä paljon suuremmat kuin kamerailmaisimilla. Vaikka kokeilumalleja tehdessä mallin tekoon havaintoja oli yhteensä tiejaksokohtaisesti kymmeniä tuhansia, jopa yli sata tuhatta, matka-ajan minuuttimediaanien historiakeskiarvossa oli voimakasta satunnaisvaihtelua. Pidempi tarkastelujakso (esimerkiksi viiden minuutin mediaanit) tasaisi vaihtelua ja vähentäisi niiden tarkastelujaksojen määrää, joilta ei ole yhtään havaintoa.

Nyt tehdyt mallit jaettiin osamalleihin kunkin tiejakson ja kunkin viikonpäivän keskimääräisen liikennetilanteen perusteella. Kehä I:n tapaisella tiellä, jolla on säännöllinen työmatkaliikenteen aikaansaama aamu- ja iltaruuhka, mallit olisi myös voitu tehdä vakioimalla osamallirajat (esimerkiksi aamuruuhka klo 6:00–9:30, päiväliikenne klo 9:30–14:00 ja iltaruuhka klo 14:00–19:00). Kehä I:lläkin on kuitenkin havaittavissa etenkin iltaruuhkan teiosittain vaihteleva kesto. Lyhimmillään se kestää noin tunnin ja pisimmillään lähes viisi tuntia. Ruuhka-ajan osamallit olisivat osamallirajat vakioitaessa siis saattaneet sisältää paikoin varsin paljon myös sujuvaa liikennettä, jolloin mallin ennustamiskyky olisi voinut olla ruuhkassa nyt saatua huonompi. Jos taas osamallirajat olisi asetettu siten, että ruuhkamallit sisältävät vain ruuhkahavaintoja joka tiejaksolla, päivä- ja yöliikenteen osamallit olisivat joutuneet ennustamaan tietyillä tiejaksoilla myös osan ruuhkasta. Näin lopputulos siis olisi todennäköisesti huonompi kuin osamallirajat yksilöimällä. Valtatien 4 tyyppisillä teillä, joissa ruuhkan ajankohta on hyvin paikkakohtainen eikä selviä val-

takunnallisia yleisiä ruuhka-aikoja ole, osamallien rajat täytyy kuitenkin asettaa tapauskohtaisesti.

Osamallien määrällä on vaikutusta ainoastaan sovitettavien regressiomallien määrään eli työmäärään mallintekovaiheessa. Lopullista, ajantasaista mallia ohjelmoitaessa tai käytettäessä osamallien määrällä ei ole merkitystä. Ohjelma joutuu joka tapauksessa poimimaan taulukoista kellonaikaan sidotut malliparametrit eikä vaihtoehtojen määrällä ole vaikutusta kuin taulukoiden kokoon.

Tanskan tielaitoksen käyttämän mallin hyvä puoli on, ettei se ole erityisen herkkä puuttuville mittausarvoille. Jos yksittäisestä syötesuureesta ei ole tuoretta mittaustulosta, sen arvoksi voidaan olettaa historiakeskiarvo. Jos kentältä ei saada mittaustuloksia lainkaan, malli palaa historiakeskiarvoennusteeseen.

Tanskan tielaitoksen soveltamien mallien kaltaisten regressiomallien tekeminen on työmäärältään samaa luokkaa kuin neuroverkkomalleilla. Samoin aineistovaatimukset ovat suunnilleen samat, ja molemmilla kattavampi aineisto johtaa parempiin tuloksiin. Regressiomallien sovittaminen kuitenkin onnistuu ilman erikoistyökaluja tai neuroverkkoymmärtämystä.

5 SUOSITUKSET

Tanskan tielaitoksen soveltaman mallin kaltainen viimeisiin mittauksiin ja historiakeskiarvoihin perustuva regressioyhtälöpohjainen matka-aikaennustetta suositellaan käytettävän lyhyillä tiejaksoilla, joilla on säännöllinen voimakas ruuhka tai vaihtoehtoisesti aina sujuva liikenne. Jälkimmäisessä tapauksessa mallin tarve tosin on kyseenalainen.

Nyt tehdyt mallit perustuivat minuuttimediaaneihin. Otoskoot ovat kuitenkin kamerailmaisimiin perustuvassa matka-aikamittauksessa pieniä ja aineisto sisältää poikkeavia havaintoja. Tästä syystä suositellaan, että mallit tehdään viiden minuutin mediaaneihin perustuviksi. Tällöinkin mallien hyvyys tulisi luonnollisesti testata ennen niiden tuotantokäyttöä. Jos minuuttimediaania kuitenkin halutaan käyttää, aineiston suodatusmenetelmää tulee kehittää ennen mallien käyttämistä.

Mallintekoperiaatteet ovat siirrettävissä mihin tahansa ottamatta kantaa tietyyppiin tai tiejakson pituuteen. Kultakin mallinnettavalta tiejaksolta tulee kuitenkin kerätä riittävän suuri matka-aika-aineisto, josta historiakeskiarvot lasketaan. Osamallirajat voi yhtenäistää säännöllisen työmatkaliikenteestä aiheutuvan ruuhkan teillä. Muilla teillä rajat suositellaan määrittävän tiejaksokohtaisesti. Kullekin osamallille tulee estimoida omat kertoimet lineaarisen regression periaattein.

Lisäksi suositellaan, että ennusteiden laatua arvioidaan sujuvuusluokittain (ks. taulukko 12). Sujuva liikenne on yleensä parhaiten ennustettu ja sen osuus on suuri. Tästä syystä mallin todellinen suorituskyky tulee sujuvuusluokittain paremmin esiin kuin keskiarvoja tutkiessa. Ennusteiden jatkokäytön kannalta ruuhkaennusteiden laatu on yleensä tärkein.

6 KIRJALLISUUSLÄHTEET

Eloranta T (1999). Rekisterikilpien tunnistukseen perustuva liikenteen automaattinen matkanopeuden seuranta. Tielaitoksen selvityksiä 46/1999. Uudenmaan tiepiiri, Tielaitos, Helsinki. 149 s.

Holm J (2006a). Short term forecast model for motorway travel time. Danish Road Directorate. Tiehallinnon tarjouspyynnön 2029/2006/30/6 liite 1.

Holm J (2006b). Sähköpostiviesti Satu Innamaalle 15.5.2006.

Innamaa S, Lanne L, Vanhanen K & Pursula M (2002). Pääteiden lyhyen aikavälin matka-aikaennusteet. Tiehallinnon selvityksiä 5/2002, Tiehallinto, Liikenteen palvelut, Helsinki. 81 + 16 s.

Innamaa S (2004a). Matka-ajan ajantasainen ennustaminen. Pilottikokeilu. Tutkimusraportti: RTE474/04. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Espoo. 26 s.

Innamaa S (2004b). Itseoppiva sujuvuusennuste Kehä I:lle. Tiehallinnon selvityksiä 60/2004, Tiehallinto, Helsinki. 42 + 17 s.

Kiljunen M & Summala H (1996). Ruuhkaisuuden kokeminen ja liikennetilanne-tiedottaminen. Tienkäyttäjätutkimus kaksikaistaisilla teillä. Tielaitoksen selvityksiä 25/1996, Tiehallinto, Helsinki. 77 + 5 s.

Tiehallinto (2001a). Liikenteen automaattinen mittaus 2000. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 25/2001, Tiehallinto, Helsinki. 6 + 200 s.

Tiehallinto (2001b). Tiehallinnon liikenteen hallinnan toimintalinjat - taustaraportti. Tiehallinto, Liikenteen palvelut, Helsinki. 53 + 36 s.

Tielaitos (1999). Liikenteen automaattinen mittaus 1998. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 52/1999, Tielaitos, Helsinki. 240 s.

Toppen A & Wunderlich K (2003). Travel time data collection for measurement of advanced traveler information systems accuracy. Federal Highway Administration, Project No. 0900610-D1. 20 s.

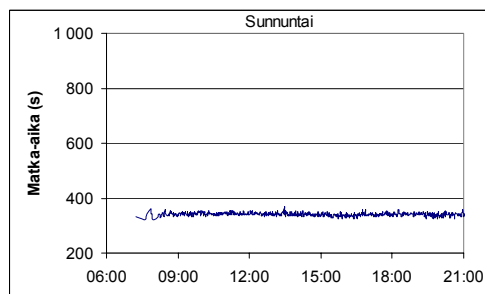
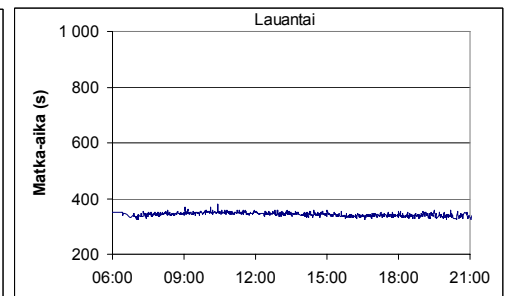
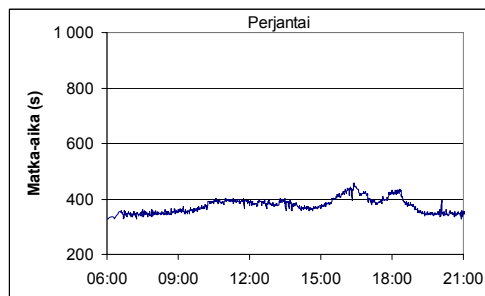
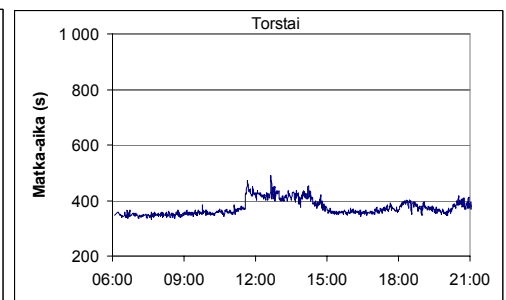
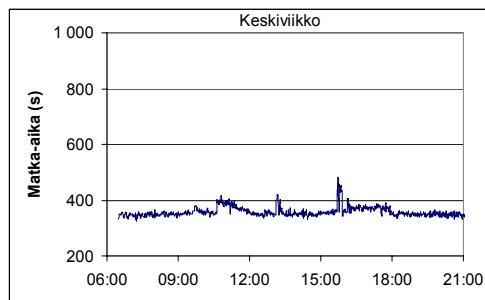
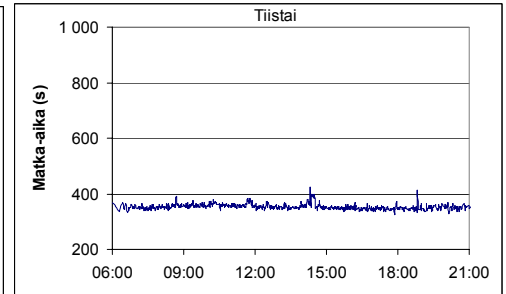
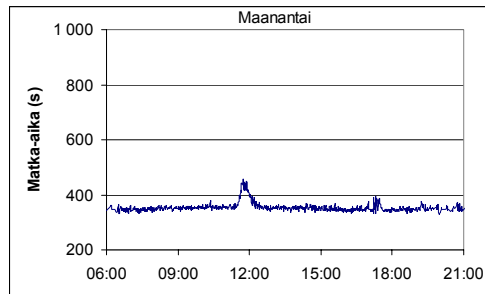
7 LIITTEET

- LIITE 1 Matka-aikamediaanien keskiarvot
- LIITE 2 Osamallijako ja regressiomallien kertoimet
- LIITE 3 Vertailumallit

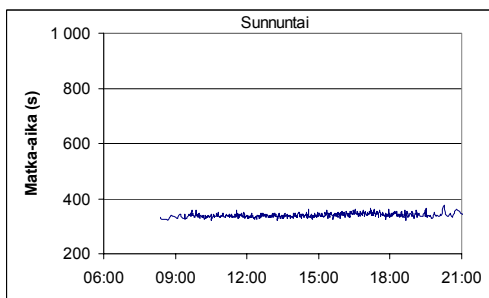
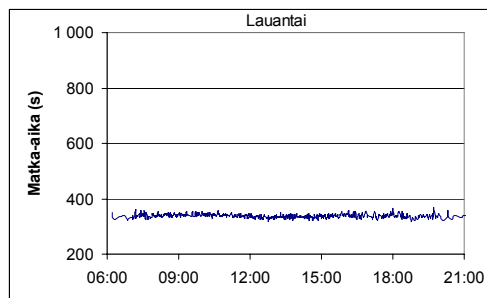
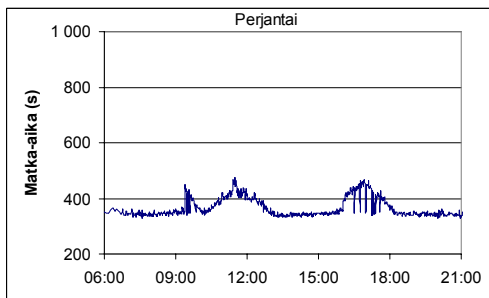
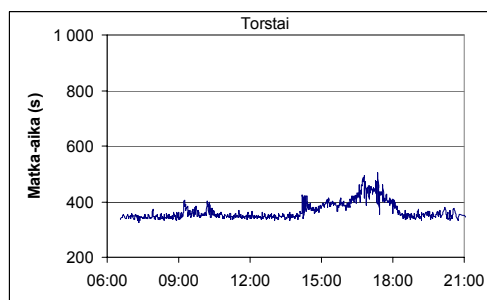
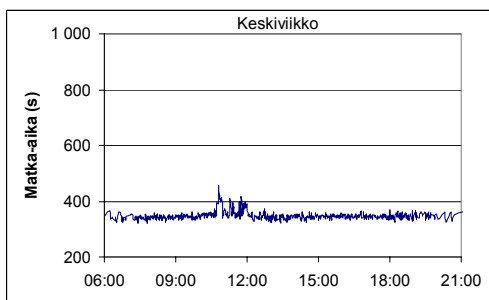
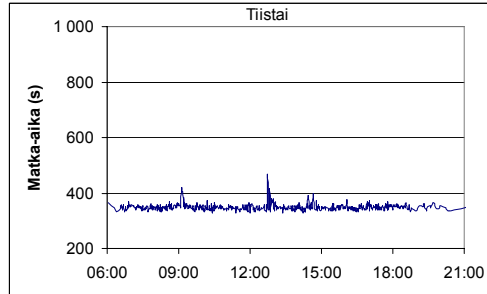
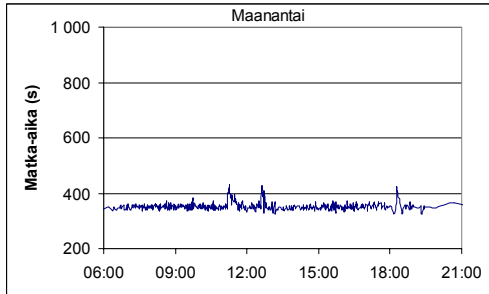
MATKA-AIKAMEDIAANIEN KESKIARVOT

Liitteessä on esitetty kuvaajat matka-aikamediaanin minuuttikeskiarvoista (s) tiejaksoittain eri viikonpäivinä mallintekoaineistossa. Valtatien 4 kohteissa kesä- (touko-syyskuu) ja talvikausi on esitetty erikseen.

Vt4, Kymijärvi-Seesta, kesäaika

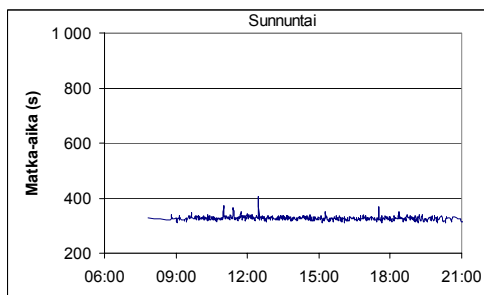
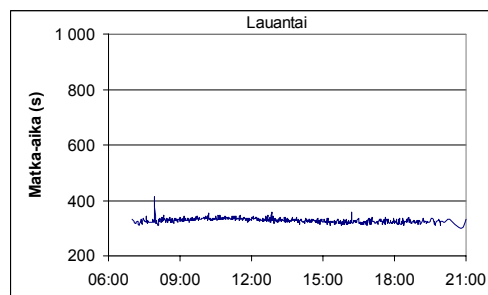
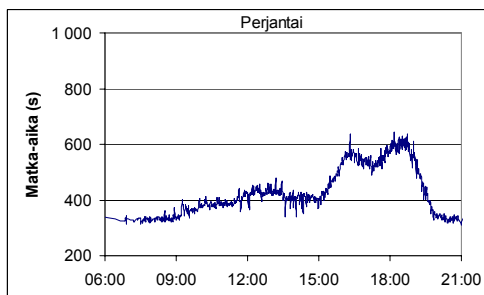
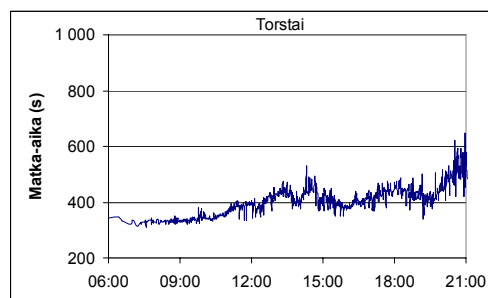
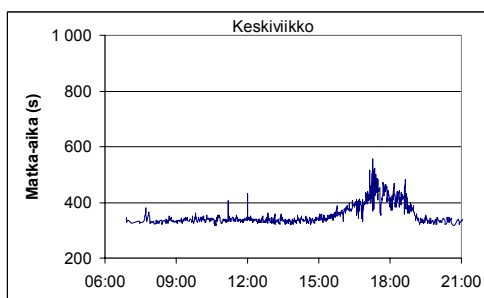
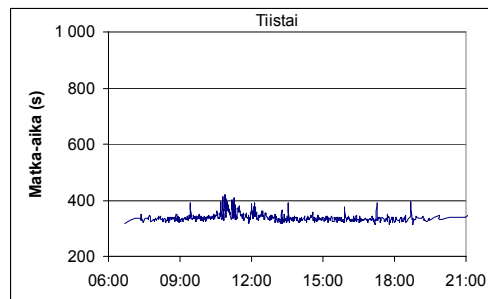
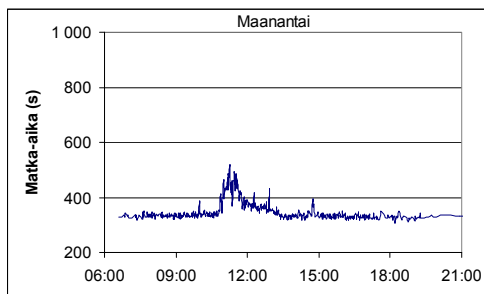


Vt4, Kymijärvi-Seesta, talviaika

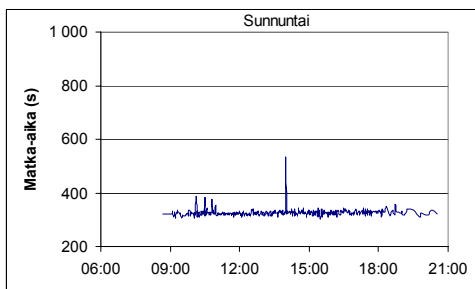
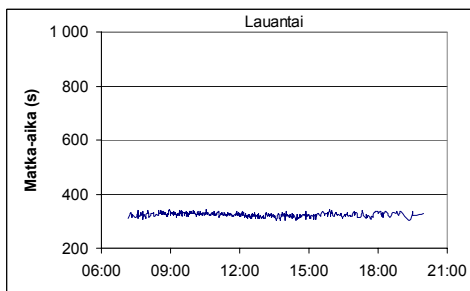
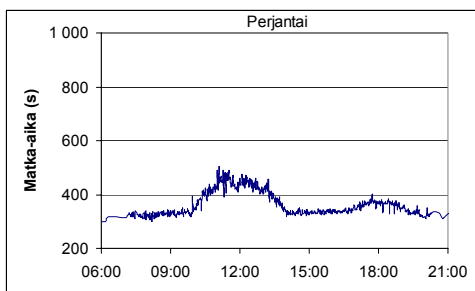
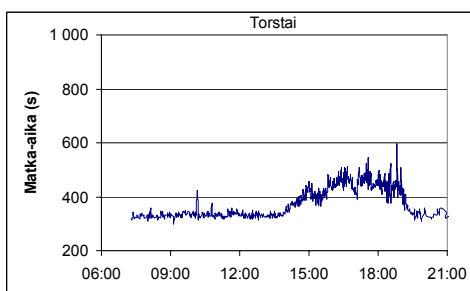
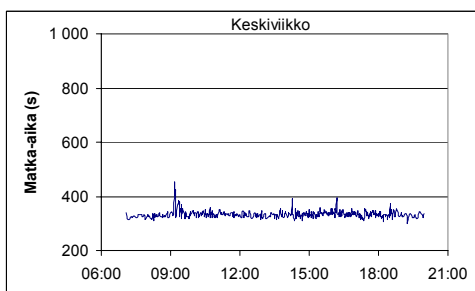
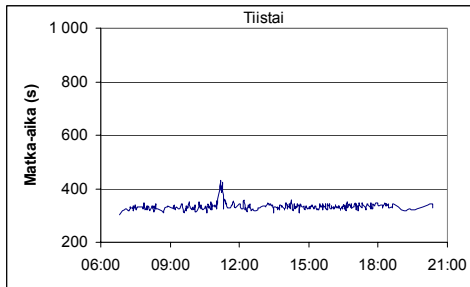
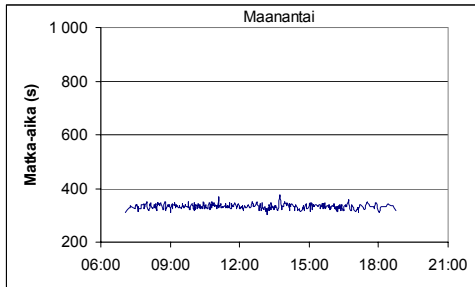


LIITTEET

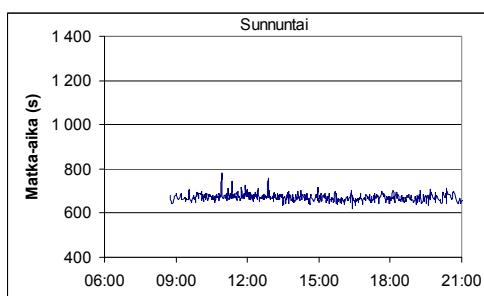
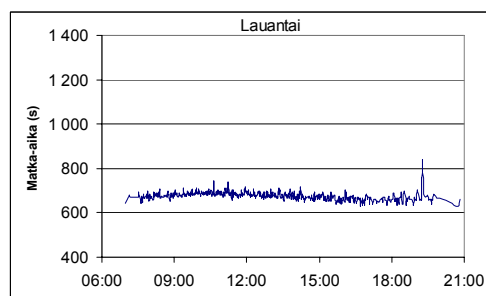
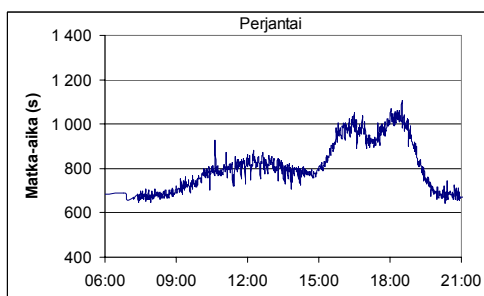
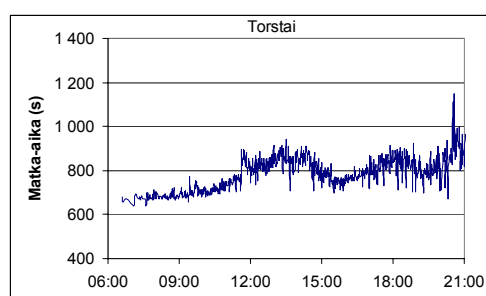
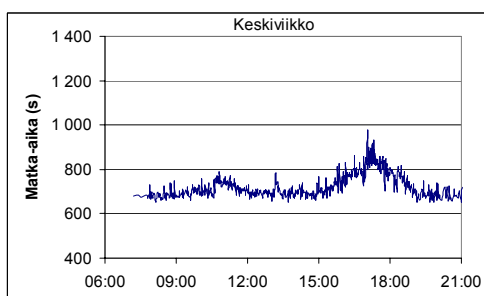
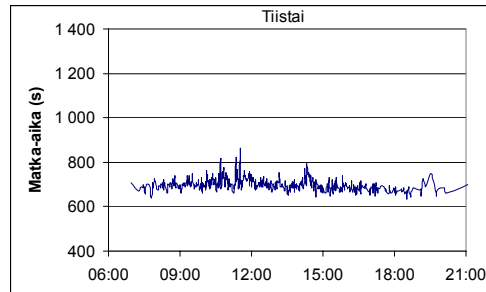
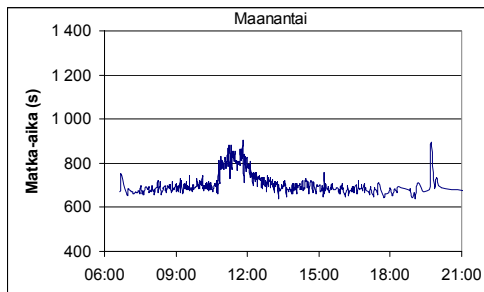
Vt4, Seesta–Vierumäki, kesäaika



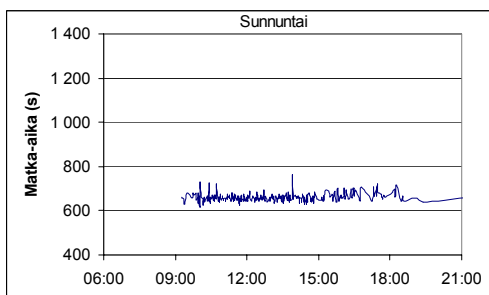
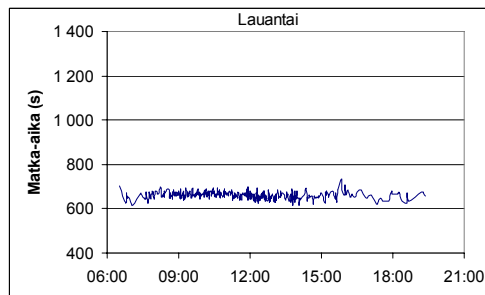
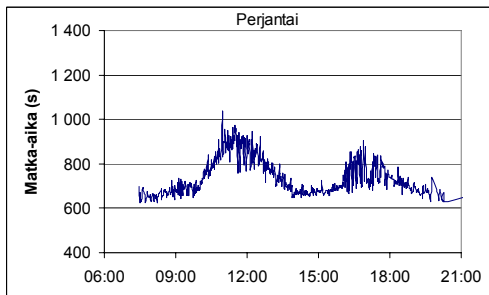
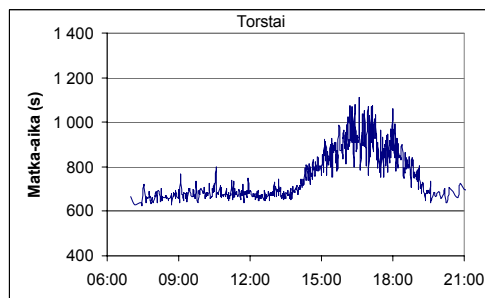
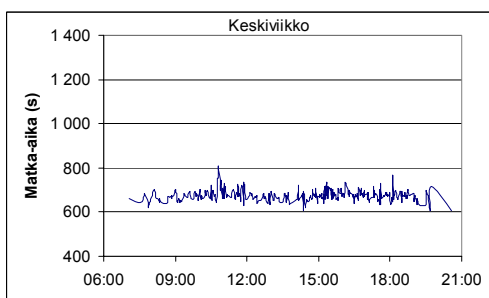
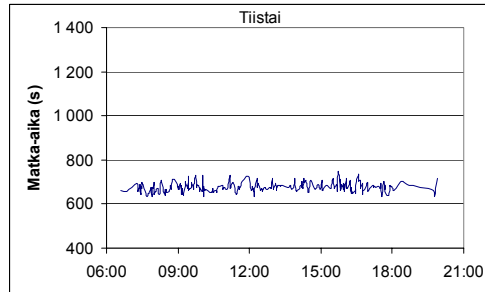
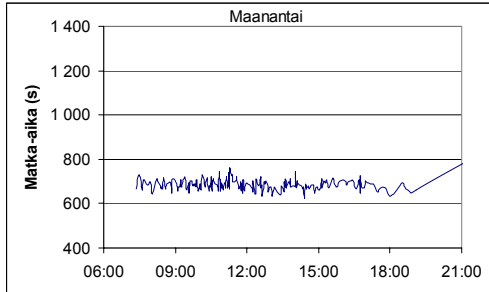
Vt4, Seesta-Vierumäki, talviaika



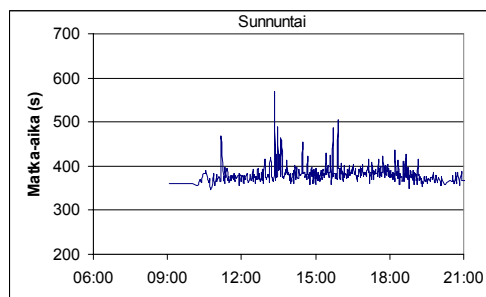
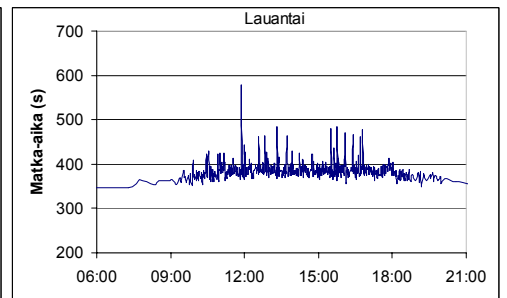
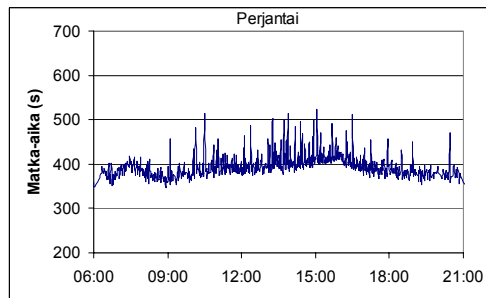
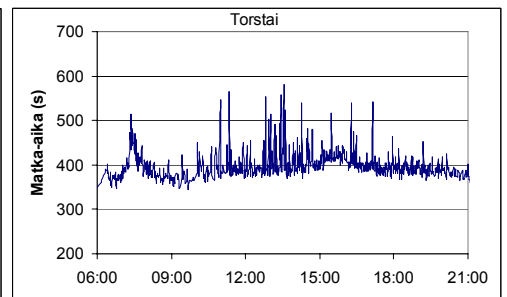
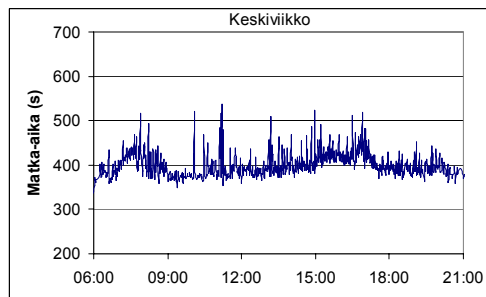
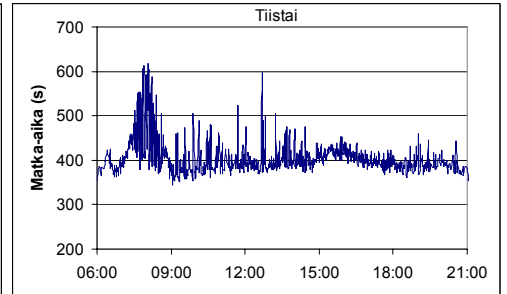
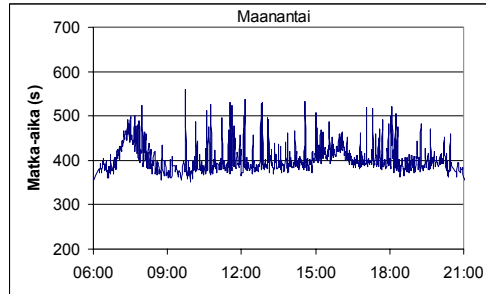
Vt4, Kymijärvi-Vierumäki, kesäaika



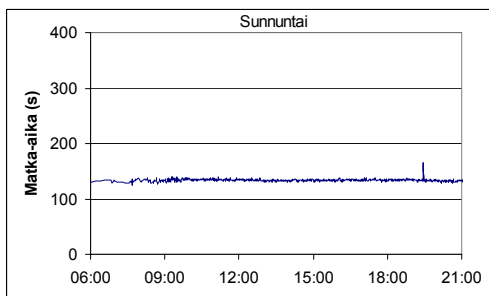
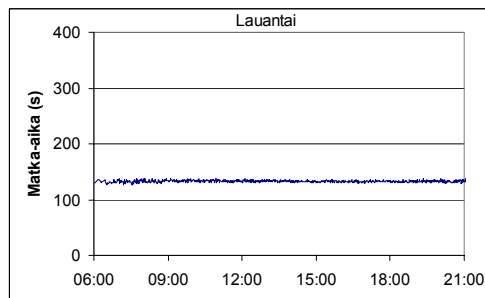
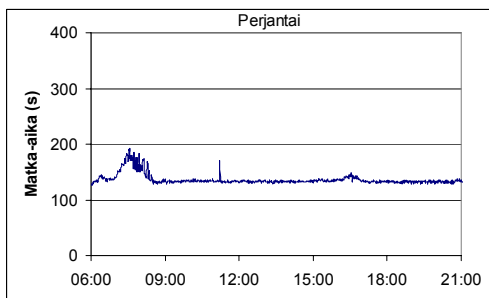
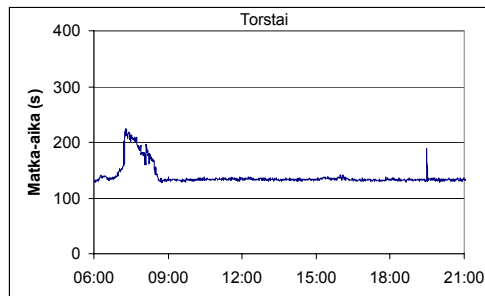
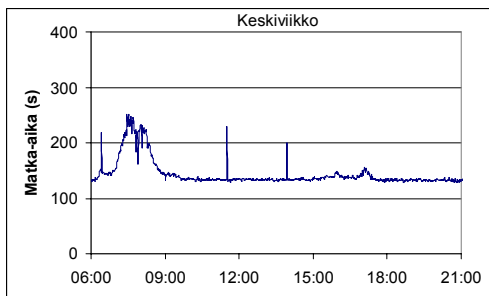
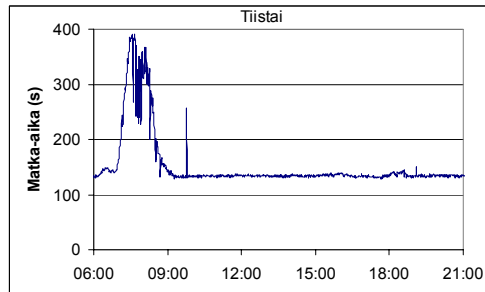
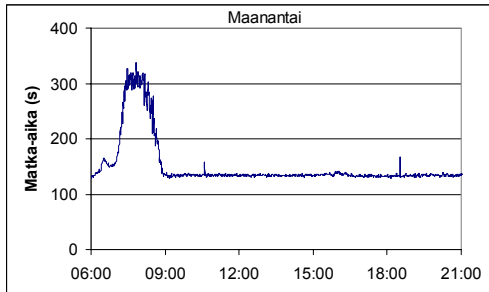
Vt4, Kymijärvi-Vierumäki, talviaika



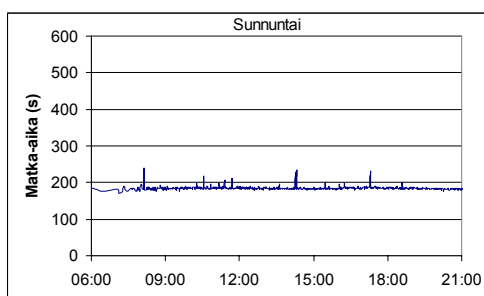
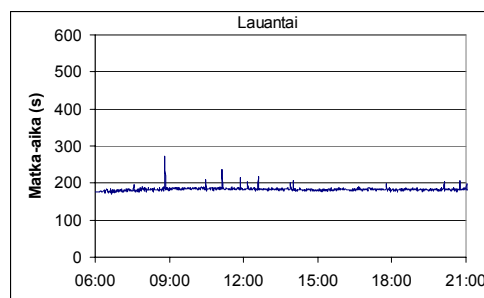
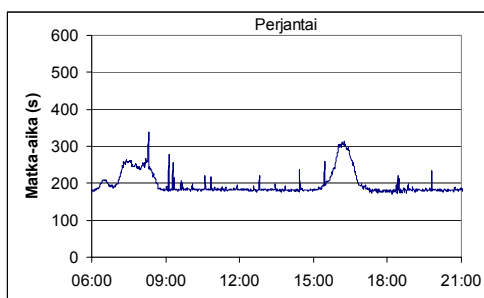
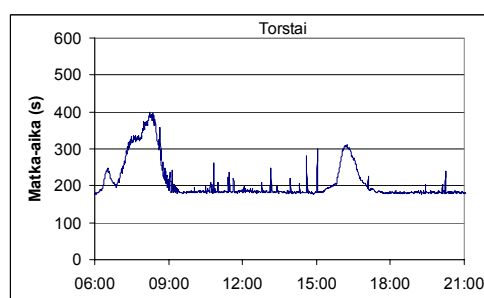
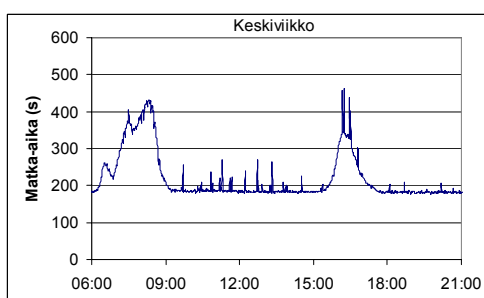
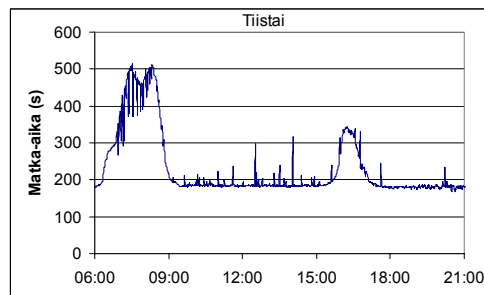
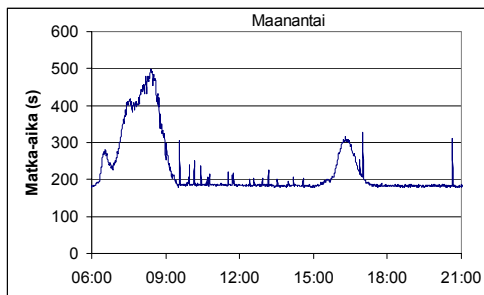
Kehä I, Itäkeskus-Pukinmäki



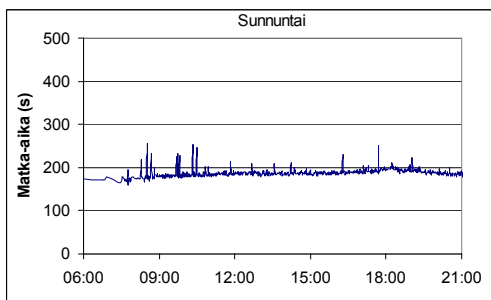
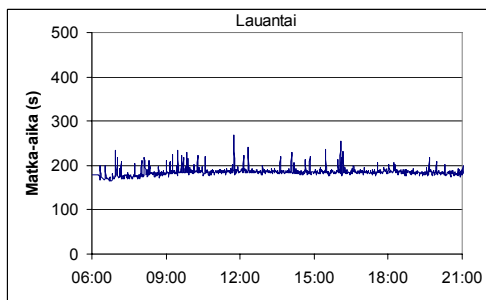
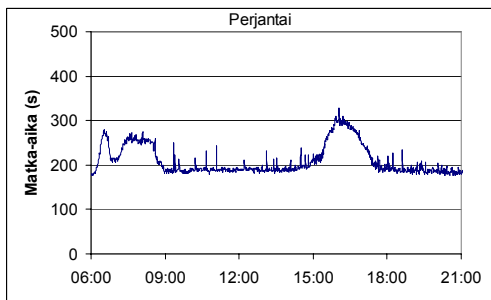
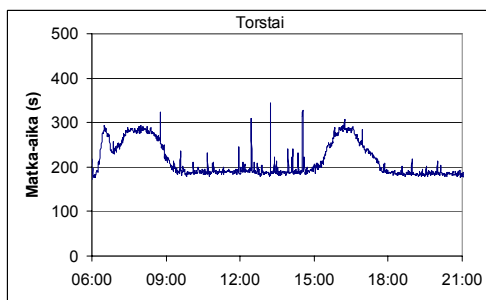
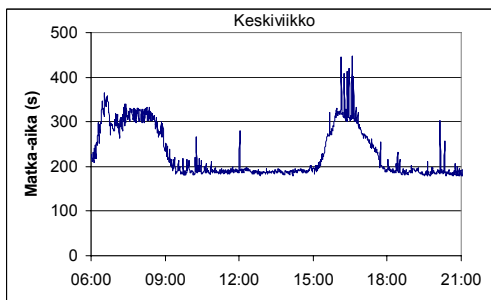
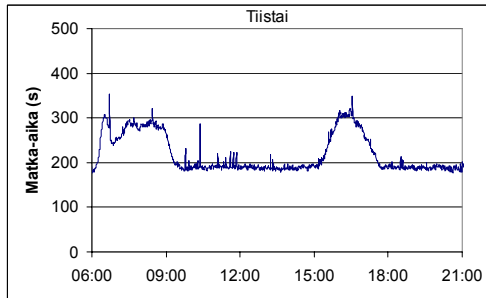
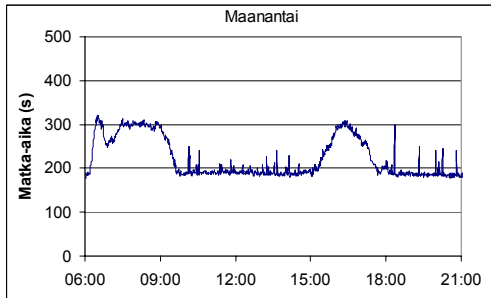
Kehä I, Pukinmäki-Pakila



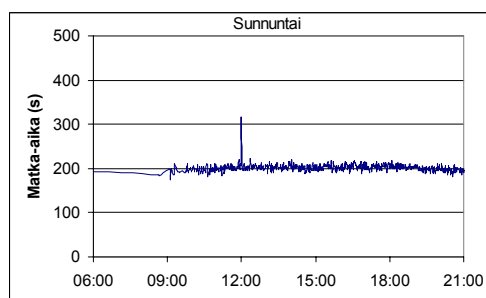
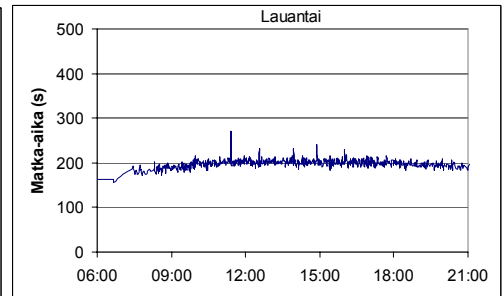
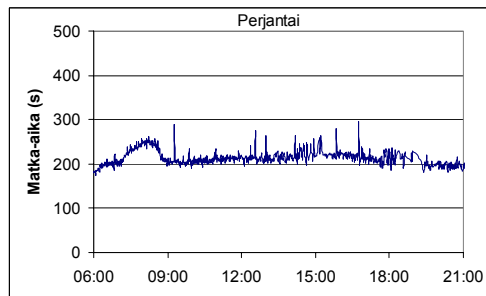
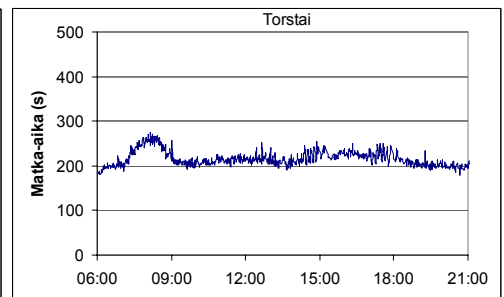
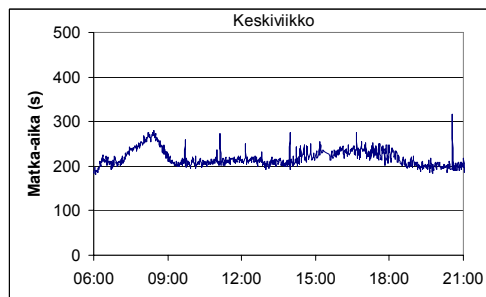
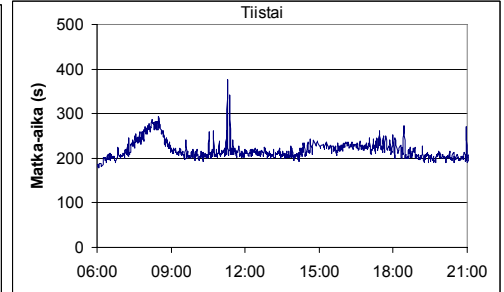
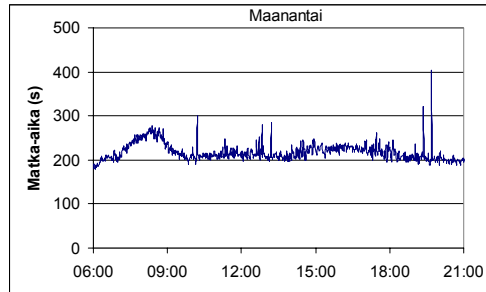
Kehä I, Pakila-Konala



Kehä I, Konala-Perkkaa



Kehä I, Perkkää-Otaniemi



OSAMALLIJAKO JA REGRESSIOMALLIEN KERTOIMET

Mallin jakautuminen osamalleihin viikonpäivän ja kellonajan mukaan, regressiomallin kertoimet (a , ε) ja mallin tekoaineiston havaintojen määrä (n) 15 minuutin ennusteelle tiejaksoittain.

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a_0	a_{-1}	a_{-2}	a_{-10}	ε	n	
Vt4, Kymijärvi- Seesta, kesäaika	ma,ke,su		0.256	0.206	0.220	0.132	1.284	15 642	
	ti	11.30–12.15	0.872	0.743	0.451	0.978	7.120	370	
		muu	0.156	0.153	0.082	-0.009	4.201	4 377	
	to	10.45–12.30	0.355	0.339	0.158	-0.311	4.719	949	
		12.30–15.00	0.27	0.239	0.175	0.098	1.305	1 090	
		15.00–18.00	0.405	0.208	0.355	-0.015	-0.115	1 478	
		muu	0.176	0.123	0.169	-0.059	5.347	2 362	
	pe	11.30–15.15	0.728	0.276	-0.110	-0.110	14.140	2 158	
		15.15–17.00	0.413	0.166	0.049	0.047	3.355	1 142	
		17.00–20.00	0.813	0.244	-0.027	-0.296	8.141	1 558	
		20.00–22.30	0.965	0.633	0.052	-0.998	30.988	454	
		muu	0.257	0.149	0.108	-0.073	4.634	2 179	
	la	9.15–14.30	0.621	0.254	0.100	-0.089	5.533	4 607	
		14.30–19.30	0.676	0.188	-0.005	-0.208	3.165	5 513	
		muu	0.203	0.131	0.248	0.134	2.498	1 793	
	Vt4, Kymijärvi- Seesta, talviaika	ma,ti,ke,to,su		0.308	0.260	0.246	0.102	1.659	10 486
		pe	14.00–18.15	1.183	0.366	0.000	-0.724	19.411	1 234
			muu	0.117	0.041	0.014	-0.031	-1.329	1 596
la		9.15–10.00	1.728	0.826	0.826	0.482	2.920	236	
		10.00–10.30	0.318	-0.056	-0.043	-0.009	13.973	234	
		10.30–13.00	0.798	0.523	0.118	-0.636	14.000	1 127	
		13.00–16.00	0.162	0.093	0.037	-0.129	-0.818	1 672	
		16.00–18.15	0.557	0.174	0.291	-0.627	-23.076	1 415	
	muu	0.167	0.090	0.040	-0.102	2.586	1 086		
Vt4, Seesta- Vierumäki, kesäaika	ma,ke,su		0.147	0.167	0.153	0.144	0.356	6 428	
	ti	10.45–13.15	0.159	0.278	-0.069	0.107	11.923	474	
		muu	0.034	0.133	0.094	0.05	2.712	1 073	
	to	15.15–19.00	0.644	0.332	0.248	-0.245	7.987	1 071	
		muu	0.117	0.118	0.090	-0.046	1.851	1 422	
	pe	10.45–16.00	0.690	0.501	0.002	-0.267	19.715	1 661	
		16.00–19.30	0.352	0.432	0.287	-0.108	6.954	907	
		19.30–23.15	0.316	0.624	-0.058	0.033	39.008	355	
		muu	0.045	0.047	0.046	0.037	1.004	667	
	la	9.00–15.00	0.042	0.047	0.05	0.032	1.979	2 983	
		15.00–20.00	0.571	0.550	0.149	-0.453	9.722	4 112	
		muu	0.083	0.047	0.026	-0.030	-1.302	429	

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n
Vt4, Seesta– Vierumäki, talviaika	ma,ti,ke,to, su		0.176	0.165	0.181	0.195	-1.554	4 197
	pe	13.45–19.30	0.731	0.315	0.031	-0.208	38.67	906
		muu	-0.014	0.107	0.038	-0.048	-5.589	629
	la	10.00–14.00	0.746	0.428	0.071	-0.352	32.783	1 060
		14.00–16.45	0.103	0.040	0.020	-0.058	-1.722	994
		16.45–19.15	0.451	0.334	0.187	-0.065	-0.212	966
		muu	-0.004	0.056	0.108	-0.078	0.527	416
Vt4, Kymijärvi– Vierumäki, kesäaika	ma,ke,su		0.174	0.215	0.135	0.202	0.490	5 016
	ti	10.45–12.45	0.326	0.148	0.300	-0.108	58.211	335
		muu	0.140	0.092	0.130	0.066	1.622	813
	to	10.30–12.15	0.292	0.142	0.176	-0.091	34.847	332
		12.15–15.00	0.144	0.056	0.173	0.075	3.395	409
		15.00–19.00	0.635	0.336	0.273	-0.333	16.372	651
		muu	0.139	0.05	0.119	-0.073	-0.746	449
	pe	10.15–15.15	0.655	0.582	0.337	-0.622	31.419	1 346
		15.15–19.15	0.779	0.517	0.364	-0.692	19.374	903
		19.15–23.15	0.565	0.293	0.261	-0.308	4.342	283
		muu	0.236	0.145	0.154	0.120	-2.070	439
	la	8.45–14.45	0.726	0.423	0.307	-0.485	29.906	2 294
		14.45–20.00	0.761	0.433	0.23	-0.748	23.16	3 325
		muu	0.001	0.189	-0.047	-0.065	0.768	350
	Vt4, Kymijärvi– Vierumäki, talviaika	ma,ti,ke,to,su		0.159	0.155	0.182	0.167	-3.563
pe		13.45–19.15	0.861	0.750	0.174	-0.945	78.541	595
		muu	0.054	0.003	0.031	-0.001	-12.304	443
la		10.00–13.45	1.363	0.419	0.537	-1.538	76.157	742
		13.45–16.00	0.174	0.027	-0.002	-0.033	-7.739	475
		16.00–19.00	0.449	0.215	0.316	-0.428	12.041	583
		muu	0.089	0.101	-0.002	-0.06	4.038	265
Kehä I, Itäkeskus– Pukinmäki	la,su		0.017	-0.016	0.047	0.030	2.081	2 932
	ma	7.00–9.00	0.268	0.149	0.071	-0.010	1.361	337
		9.00–15.00	-0.027	0.038	-0.035	0.032	0.438	840
		15.00–16.30	-0.001	-0.003	-0.012	-0.005	-6.170	689
		muu	-0.033	0.010	0.004	0.147	3.022	974
	ti	7.00–9.00	0.543	0.270	0.419	-0.054	-15.067	456
		muu	-0.011	-0.008	-0.003	0.031	0.612	2 783
	ke	7.00–9.00	0.171	0.118	0.415	0.009	-2.599	463
		9.00–15.00	0.003	0.019	-0.012	-0.003	-3.738	1 005
		15.00–17.30	0.064	0.073	0.135	0.06	-3.223	1 234
		muu	0.046	-0.038	0.036	-0.002	3.364	768
	to	7.00–8.30	0.040	0.054	0.041	0.040	2.515	360
		muu	-0.027	0.016	0.040	-0.007	3.039	3 001

Tiejakso	Viikontyyppi	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n
	pe	7.00–9.00	0.123	-0.008	0.104	0.063	2.527	363
		muu	0.013	0.008	0.054	0.010	1.362	2 935
Kehä I, Pukinmäki– Pakila	la,su		0.033	0.053	0.054	0.048	-0.123	30 919
	ma	6.15–9.00	0.347	0.255	0.092	-0.064	-3.452	2 470
		muu	0.039	0.036	0.036	0.022	-0.120	15 208
	ti	7.00–9.00	0.745	0.707	0.363	-1.310	-7.723	1 961
		muu	0.073	0.053	0.058	-0.038	-0.260	16 967
	ke	6.15–9.30	0.668	0.244	0.125	-0.264	1.201	3 448
		9.30–15.30	0.117	0.074	0.039	0.075	-0.025	7 624
		15.30–17.15	0.624	0.586	-0.107	-0.367	0.012	2 448
		muu	0.124	0.042	0.017	-0.075	-0.358	5 964
	to	6.45–8.30	0.444	0.147	0.007	0.180	-9.607	1 808
		muu	0.052	0.030	0.013	-0.002	-0.217	18 743
	pe	7.00–8.30	0.382	0.304	-0.007	-0.069	-3.338	1 262
		8.30–16.00	0.014	0.020	0.032	0.011	-0.162	10 097
		16.00–17.00	0.715	0.355	0.033	-0.799	-0.005	1 460
		muu	0.033	0.040	0.023	0.001	-0.012	6 763
	Kehä I, Pakila– Konala	la,su		0.023	0.020	0.030	0.020	-0.276
ma		6.15–9.30	0.813	0.323	0.055	-0.42	0.93	4 321
		9.30–15.30	0.012	0.007	0.009	0.016	-0.122	7 411
		15.30–17.00	1.228	0.147	-0.184	-0.557	0.107	2 086
		muu	0.024	0.024	0.019	0.014	-0.638	6 320
ti		6.15–9.00	0.447	0.604	0.364	-0.761	-6.421	3 679
		9.00–15.30	0.042	0.048	0.032	0.038	-0.188	8 457
		15.30–17.00	0.595	0.28	0.152	-0.276	1.827	2 075
		muu	0.222	0.139	0.035	-0.089	-0.093	6 651
ke		6.15–9.00	0.548	0.298	0.108	-0.091	1.793	3 906
		9.00–15.30	0.029	0.014	0.121	-0.004	-0.593	8 645
		15.30–17.30	0.883	0.229	-0.029	-0.439	-3.216	2 791
		muu	0.030	0.033	0.026	0.017	-0.309	6 514
to		6.15–9.30	0.486	0.319	0.192	-0.271	-1.331	4 407
		9.30–15.15	0.006	0.007	0.010	0.06	-0.469	7 972
		15.15–17.30	0.497	0.288	0.170	-0.359	0.094	3 422
		muu	0.021	0.004	0.014	0.027	-0.472	7 086
pe		6.00–8.45	0.557	0.118	-0.008	0.189	0.541	3 692
		8.45–15.15	0.001	0.004	0.011	0.002	-0.217	9 410
		15.15–17.15	0.077	0.568	0.364	-0.373	0.934	2 933
	muu	0.059	0.053	0.035	0.026	0.035	6 244	
Kehä I, Konala– Perkkaa	la,su		0.009	0.025	-0.003	0.027	0.028	26 375
	ma	6.00–9.30	0.289	0.215	0.201	0.136	1.387	4 272
		9.30–15.00	0.017	0.069	0.006	0.019	0.092	6 373

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n	
		15.00–17.30	0.164	0.143	0.133	0.214	0.89	2 941	
		muu	0.025	0.022	0.012	0.015	-0.142	4 109	
	ti	6.00–9.30	0.256	0.209	0.178	0.121	-0.462	4 249	
		9.30–15.00	0.013	0.012	-0.003	0.003	-0.613	6 688	
		15.00–17.30	0.126	0.112	0.117	0.09	1.980	3 155	
		muu	0.007	0.019	0.013	0.018	-0.828	4 653	
	ke	6.00–9.30	0.242	0.227	0.206	0.119	1.874	4 609	
		9.30–15.00	0.059	0.024	0.010	0.044	-0.357	7 004	
		15.00–17.45	0.137	0.091	0.093	0.179	-2.585	3 682	
		muu	-0.001	0.023	0.010	-0.002	0.246	4 192	
	to	6.00–9.30	0.227	0.148	0.187	0.140	-0.811	4 232	
		9.30–15.00	0.005	0.018	-0.007	0.009	-0.557	7 021	
		15.00–17.45	0.153	0.142	0.142	0.118	1.097	3 853	
		muu	-0.006	0.009	-0.005	0.012	-0.953	4 982	
	pe	6.00–9.00	0.174	0.145	0.288	0.104	0.793	3 681	
		9.00–14.45	-0.006	0.016	0.000	0.010	-0.185	7 844	
		14.45–17.30	0.198	0.170	0.184	0.123	1.351	3 727	
		muu	0.030	0.026	0.035	0.055	-0.23	4 221	
	Kehä I, Perkkaa- Otaniemi	la,su		-0.034	0.029	-0.026	0.024	0.775	5 232
		ma	7.00–9.45	0.269	0.049	0.08	0.034	-1.676	1 470
9.45–14.00			0.027	0.016	0.009	0.041	0.733	1 225	
14.00–18.30			0.023	0.010	0.03	0.013	-0.181	1 222	
muu			0.000	-0.006	-0.017	0.117	-0.052	944	
ti		7.00–9.30	0.054	0.119	0.098	0.022	-4.240	1 363	
		9.30–14.15	-0.014	0.024	0.001	-0.012	-1.710	1 434	
		14.15–19.00	-0.008	0.026	0.024	0.029	-0.37	1 404	
		muu	-0.027	0.034	0.023	0.088	0.457	864	
ke		7.00–9.30	0.241	0.106	0.125	0.028	-1.373	1 523	
		9.30–14.00	-0.027	0.013	0.038	-0.007	-0.063	1 642	
		14.00–18.30	0.050	0.029	0.071	0.018	-0.514	1 412	
		muu	0.026	0.086	0.024	0.104	0.549	1 064	
to		7.00–9.30	0.053	0.040	0.270	0.162	-1.254	1 270	
		9.30–14.00	-0.021	0.005	-0.011	0.011	-0.277	1 361	
		14.00–18.45	0.017	0.045	0.045	0.015	0.170	1 468	
		muu	0.039	0.071	-0.021	0.095	-1.012	983	
pe		7.00–9.00	0.089	0.246	0.098	0.195	-2.006	1 179	
		muu	0.012	0.083	0.074	0.016	-1.177	3 800	

Mallin jakautuminen osamalleihin viikonpäivän ja kellonajan mukaan, regressiomallin kertoimet (a , ε) ja mallin tekoaineiston havaintojen määrä (n) 30 minuutin ennusteelle tiejaksoittain.

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a_0	a_{-1}	a_{-2}	a_{-10}	ε	n
Vt4, Kymijärvi- Seesta, kesäaika	ma,ke,su		0.266	0.210	0.196	0.136	1.737	15 642
	ti	11.15–12.00	1.017	0.963	0.510	0.882	10.091	401
		muu	0.140	0.086	0.099	-0.010	4.058	4 346
	to	10.15–12.15	0.225	0.237	0.103	-0.215	12.783	1 214
		12.15–14.30	0.215	0.186	0.242	0.107	2.916	1 082
		14.30–18.00	0.397	0.084	0.325	-0.017	9.013	1 478
		muu	0.107	0.076	0.115	0.106	5.432	2 087
	pe	11.15–15.00	0.706	0.337	-0.163	-0.177	21.512	2 163
		15.00–17.00	0.297	0.108	0.015	0.141	5.326	1 274
		17.00–19.45	0.758	0.191	-0.061	-0.252	11.311	1 480
		19.45–22.30	0.672	0.330	-0.021	-0.545	45.205	527
		muu	0.164	0.111	0.103	-0.133	4.263	2 025
	la	9.15–14.15	0.640	0.275	0.102	-0.197	8.903	4 292
		14.15–19.00	0.467	0.141	0.022	-0.103	4.168	5 365
		muu	0.090	0.095	0.064	0.030	5.320	2 237
Vt4, Kymijärvi- Seesta, talviaika	ma,ti,ke,to,su		0.242	0.203	0.207	0.202	1.191	10 486
	pe	13.45–18.15	1.048	0.289	-0.051	-0.595	32.691	1 297
		muu	0.085	-0.026	0.038	-0.040	-1.212	1 533
	la	9.00–13.00	0.726	0.485	-0.051	-0.487	27.676	1 651
		13.00–15.45	0.070	0.084	0.039	-0.105	-1.046	1 469
		15.45–18.00	0.560	0.175	0.254	-0.676	-19.765	1 441
		muu	0.046	0.024	-0.030	-0.019	2.396	1 180
Vt4, Seesta- Vierumäki, kesäaika	ma,ke,su		0.155	0.160	0.159	0.134	0.381	6 428
	ti	10.30–13.15	-0.027	0.175	0.009	0.197	19.858	520
		muu	0.009	0.105	0.081	0.002	0.306	1 027
	to	15.15–19.00	0.640	0.380	0.308	-0.420	9.887	1 071
		muu	0.053	0.146	0.042	-0.090	2.765	1 422
	pe	10.00–16.00	0.674	0.405	0.082	-0.280	25.633	1 878
		16.00–19.00	0.298	0.55	0.291	-0.180	10.037	833
		19.00–23.30	0.559	0.442	0.02	-0.120	47.191	428
		muu	0.091	0.195	0.205	0.234	0.213	444
	la	8.30–14.45	0.432	0.376	0.357	-0.180	16.177	2 872
		14.45–19.45	0.778	0.406	0.020	-0.510	14.429	4 210
		muu	-0.001	0.059	0.015	-0.03	0.084	428
Vt4, Seesta- Vierumäki, talviaika	ma,ti,ke,to,su		0.159	0.188	0.171	0.208	-1.554	4 197
	pe	13.30–19.00	0.516	0.251	0.016	0.057	63.843	908
		muu	0.082	-0.018	0.111	-0.091	-5.506	627

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n
	la	9.45–13.45	0.691	0.473	0.171	-0.495	51.870	1 008
		13.45–16.30	0.067	0.061	-0.005	-0.100	-1.988	946
		16.30–19.15	0.528	0.392	0.147	-0.313	-0.300	1 085
		muu	0.073	-0.064	0.020	-0.028	2.188	386
Vt4, Kymijärvi– Vierumäki, kesäaika	ma,ke,su		0.179	0.205	0.130	0.214	0.810	5 016
	ti	10.30–12.45	0.321	0.163	0.175	-0.093	50.795	376
		muu	0.109	0.103	0.112	-0.015	-1.691	772
	to	10.15–12.00	0.238	0.138	0.077	-0.113	35.360	333
		12.00–14.45	0.180	0.101	0.091	-0.018	2.154	414
		14.45–19.15	0.633	0.397	0.236	-0.463	27.062	722
		muu	0.231	0.167	0.129	-0.094	-1.904	368
	pe	10.00–15.15	0.647	0.598	0.412	-0.769	47.036	1 404
		15.15–19.00	0.909	0.629	0.284	-0.853	27.449	868
		19.00–23.00	0.618	0.363	0.213	-0.435	2.473	312
		muu	0.169	0.162	0.268	0.136	-3.395	379
	la	8.30–14.30	0.835	0.474	0.302	-0.666	43.148	2 193
		14.30–20.00	0.645	0.415	0.165	-0.701	30.530	3 470
muu		0.023	0.014	-0.016	-0.028	-6.421	296	
Vt4, Kymijärvi– Vierumäki, talviaika	ma,ti,ke,to,su		0.155	0.123	0.154	0.221	-5.882	2 465
	pe	13.30–19.15	1.076	0.744	0.125	-1.201	109.308	626
		muu	0.051	0.012	-0.048	0.023	-15.104	412
	la	9.30–13.45	1.527	0.526	0.482	-1.881	118.033	788
		13.45–15.45	0.075	-0.047	-0.013	-0.032	-14.686	413
		15.45–19.00	0.367	0.195	0.251	-0.388	21.237	644
		muu	0.014	-0.027	0.012	-0.017	-1.316	212
Kehä I, Itäkeskus– Pukinmäki	la,su		0.014	0.006	0.017	0.028	3.834	2 932
	ma	6.30–8.30	0.118	0.164	0.016	0.023	-8.999	405
		8.30–14.30	0.051	0.000	0.085	-0.016	3.141	721
		14.30–16.00	0.003	-0.014	0.089	0.000	-4.177	606
		muu	0.048	0.057	-0.085	0.004	2.624	1 100
	ti	6.30–8.45	0.428	0.397	0.149	-0.147	-15.176	540
		muu	0.083	0.059	-0.032	-0.034	4.170	2 699
	ke	6.30–8.45	0.351	0.174	0.155	0.255	-3.733	531
		8.45–14.30	0.007	0.023	-0.018	0.010	2.086	855
		14.30–17.15	0.058	0.086	0.120	0.029	-0.619	1 331
		muu	0.035	0.012	0.004	-0.011	0.741	737
	to	6.30–8.15	0.037	0.013	0.010	0.029	-7.840	406
		muu	-0.010	0.030	0.018	-0.030	5.424	2 955
	pe	6.30–8.45	0.075	0.061	-0.006	0.048	2.751	429
		muu	0.028	-0.021	-0.002	-0.005	4.660	2 869
	Kehä I,	la,su		0.011	0.040	0.038	0.052	-0.167

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n	
Pukimäki– Pakila	ma	6.00–8.30	0.321	0.162	0.071	0.082	-8.095	2 302	
		muu	0.032	0.014	0.006	0.023	-0.293	15 376	
	ti	6.00–8.45	0.754	0.714	0.283	-1.440	-1.316	2 843	
		muu	0.040	0.037	0.029	-0.044	-0.161	16 085	
	ke	6.00–9.15	0.543	0.216	0.247	-0.372	0.227	3 370	
		9.15–15.15	0.041	-0.008	0.088	0.100	-0.140	7 477	
		15.15–17.00	0.041	-0.004	0.013	-0.018	-0.177	2 490	
		muu	0.018	0.044	-0.025	-0.029	-0.428	6 106	
	to	6.45–8.15	0.814	0.286	0.039	-0.453	-12.045	1 563	
		muu	-0.018	0.013	0.045	0.021	-0.321	18 988	
	pe	6.00–8.15	0.119	0.290	0.061	0.010	-3.427	2 094	
		8.15–15.30	0.018	0.037	0.007	0.011	-0.097	9 544	
		15.30–16.30	0.059	0.064	0.058	0.046	0.049	1 477	
		muu	0.058	0.046	0.024	-0.054	-0.091	6 430	
	Kehä I, Pakila– Konala	la,su		0.020	0.021	0.023	0.024	-0.147	32 612
		ma	6.00–9.15	0.713	0.297	0.035	-0.383	1.788	4 225
9.15–15.15			0.011	0.003	0.013	0.016	-0.217	7 360	
15.15–17.00			0.601	0.221	-0.068	-0.435	-0.452	2 426	
muu			0.007	0.010	0.005	0.011	-0.560	6 082	
ti		6.00–9.00	0.548	0.458	0.414	-0.878	-2.537	3 895	
		9.00–15.15	0.011	0.019	0.010	0.020	-0.284	8 106	
		15.15–17.00	0.470	0.236	0.005	-0.211	3.003	2 405	
		muu	0.072	0.040	0.041	-0.062	-0.563	6 413	
ke		6.00–8.45	0.433	0.253	0.145	0.095	4.761	3 754	
		8.45–15.15	0.036	0.018	0.021	0.007	-0.495	8 617	
		15.15–17.15	0.708	0.144	-0.061	-0.365	-3.204	2 815	
		muu	0.017	0.018	0.007	0.004	-0.262	6 621	
to		5.45–9.00	0.966	0.112	-0.057	-0.422	-2.405	4 060	
		9.00–15.00	0.008	0.007	0.005	-0.004	-0.352	8 273	
		15.00–17.00	0.392	0.215	0.101	-0.358	0.616	3 017	
		muu	0.009	0.002	0.026	0.008	-0.279	7 489	
pe		6.00–8.30	0.410	0.132	0.100	0.271	0.916	3 307	
		8.30–15.00	-0.001	-0.001	0.000	0.012	-0.094	9 404	
		15.00–16.45	0.058	0.538	0.333	-0.475	0.962	2 553	
	muu	0.035	0.031	0.020	0.008	-0.097	6 969		
Kehä I, Konala– Perkkaa	la,su		0.032	0.014	0.020	0.006	-0.285	26 375	
	ma	5.45–9.30	0.227	0.205	0.147	0.146	2.550	4 381	
		9.30–15.00	0.013	0.009	0.014	0.010	0.189	6 352	
		15.00–17.30	0.127	0.125	0.106	0.165	0.501	2 941	
		muu	-0.003	-0.006	0.012	-0.008	0.041	3 976	
	ti	5.45–9.15	0.178	0.219	0.151	0.198	-0.236	4 037	

Tiejakso	Viikonpäivä	Kellonaika	a ₀	a ₋₁	a ₋₂	a ₋₁₀	ε	n
		9.15–15.00	0.015	0.000	0.004	-0.008	-0.807	6 982
		15.00–17.15	0.097	0.084	0.079	0.112	2.757	2 835
		muu	0.014	0.003	0.018	0.002	-1.056	4 849
	ke	5.30–9.00	0.094	0.280	0.205	0.159	1.516	4 058
		9.00–15.00	0.061	0.008	0.053	0.055	-0.038	7 695
		15.00–17.30	0.100	0.093	0.068	0.200	-2.866	3 151
		muu	0.010	-0.001	0.014	-0.004	0.680	4 537
	to	6.00–9.00	0.189	0.197	0.145	0.182	-0.994	3 565
		9.00–14.45	-0.003	0.010	0.019	0.059	-1.174	7 315
		14.45–17.30	0.128	0.129	0.115	0.095	1.694	3 808
		muu	0.008	-0.009	0.011	-0.001	-0.324	5 356
	pe	6.00–8.45	0.168	0.188	0.143	0.192	1.800	3 318
		8.45–14.30	0.007	0.000	0.010	0.010	-0.132	7 832
		14.30–17.15	0.159	0.172	0.148	0.132	1.220	3 739
		muu	0.038	0.018	0.034	0.031	0.558	4 540
	Kehä I, Perkkaa- Otaniemi	la,su		0.047	-0.015	0.047	-0.017	0.576
ma		6.45–9.30	0.261	0.051	0.041	0.033	-1.931	1 542
		9.30–13.45	0.036	0.017	0.023	0.030	2.170	1 289
		13.45–18.15	0.013	0.010	0.032	0.003	-0.019	1 255
		muu	-0.033	-0.017	0.028	-0.026	2.666	765
ti		6.45–9.15	0.061	0.076	0.049	0.013	-3.324	1 443
		9.15–14.00	0.023	0.004	0.015	-0.012	-1.189	1 481
		14.00–18.45	0.073	-0.013	0.026	-0.018	-0.538	1 405
		muu	0.027	-0.012	0.092	-0.040	-0.422	730
ke		6.45–9.00	0.194	0.035	0.063	0.088	-0.290	1 477
		9.00–13.45	0.011	-0.016	-0.014	0.033	-1.128	1 860
		13.45–18.30	0.010	0.016	0.031	0.034	-0.697	1 455
		muu	0.054	0.078	0.010	-0.045	-0.660	840
to		6.45–9.00	0.056	0.049	0.241	0.130	-1.487	1 251
		9.00–13.30	0.023	-0.002	0.022	-0.006	0.141	1 445
		13.30–18.30	0.034	0.025	0.033	-0.006	0.264	1 546
		muu	0.090	-0.083	0.117	-0.050	-0.253	831
pe		6.45–8.45	0.087	0.201	0.077	0.216	-2.155	1 283
		muu	0.021	0.032	0.069	0.007	-1.300	3 696

VERTAILUMALLIT

Vertailumalleina toimivat viimeisin mittaus ja historiakeskiarvo.

Vt4, Kymijärvi–Seesta

Ennustejakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otoskeskihajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-134	61 408	173	-17	24	248
		kaikki	0	4 276	31	1	8	65
	Historiakeskiarvo	vain ruuhka	-266	122 649	266	-35	35	350
		kaikki	-6	7 655	43	1	10	88
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-66	67 127	170	-8	24	259
		kaikki	-2	4 771	30	0	7	69
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-175	87 210	205	-22	27	295
		kaikki	0	5 857	35	2	8	77
	Historiakeskiarvo	vain ruuhka	-272	132 768	272	-35	35	364
		kaikki	-6	8 304	43	1	10	91
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-95	94 964	205	-10	29	308
		kaikki	-2	6 679	33	0	8	82

Vt4, Seesta–Vierumäki

Ennuste- jakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliö- virhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otos- keski- hajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-150	125 450	247	-12	25	354
		kaikki	0	16 125	57	4	12	127
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-511	407 471	515	-46	46	638
		kaikki	-23	50 785	103	6	19	225
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-41	128 844	249	-1	28	359
		kaikki	-1	16 741	50	1	10	129
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-218	168 594	297	-18	29	411
		kaikki	-6	22 054	65	4	13	149
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-519	425 298	522	-46	47	652
		kaikki	-23	52 945	104	6	19	230
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-89	178 534	302	-5	34	423
		kaikki	-2	26 036	60	2	12	161

Vt4, Kymijärvi–Vierumäki

Ennustejakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otoskeskihajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-198	141 958	284	-12	20	377
		kaikki	-6	26 895	91	2	10	164
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-513	474 831	521	-32	33	689
		kaikki	-31	77 043	141	2	15	278
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-77	177 225	318	-4	23	421
		kaikki	-2	33 879	89	1	10	184
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-276	220 567	349	-16	23	470
		kaikki	-6	40 640	108	3	12	202
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-535	512 302	543	-33	33	716
		kaikki	-31	80 238	142	2	15	283
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-145	254 418	384	-8	27	505
		kaikki	-3	52 863	105	2	11	230

Kehä I, Itäkeskus–Pukinmäki

Ennuste- jakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliö- virhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otos- keski- hajonta (s)
15 min	Regres- siomalli	vain ruuhka	-257	166 071	275	-30	33	408
		kaikki	-1	8 195	42	2	10	91
	Historia- keski- arvo	vain ruuhka	-299	176 290	299	-36	36	421
		kaikki	-3	7 951	42	1	9	89
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-248	163 244	266	-29	32	405
		kaikki	-3	13 018	51	1	12	114
30 min	Regres- siomalli	vain ruuhka	-301	218 451	309	-34	35	468
		kaikki	2	9 250	43	3	10	96
	Historia- keski- arvo	vain ruuhka	-324	223 783	324	-37	37	474
		kaikki	-1	8 971	42	2	10	95
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-292	222 590	316	-32	36	473
		kaikki	-2	14 785	53	2	12	122

Kehä I, Pukinmäki–Pakila

Ennuste jakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliö- virhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otos- keski- hajonta (s)
15 min	Regres- siomalli	vain ruuhka	-89	58 834	127	-15	30	243
		kaikki	-3	2 762	14	0	7	53
	Historia- keski- arvo	vain ruuhka	-116	68 246	138	-22	32	261
		kaikki	-2	3 184	14	1	8	56
	Viimeisin mittaun	vain ruuhka	-72	48 587	118	-14	30	220
		kaikki	0	4 153	16	2	9	64
30 min	Regres- siomalli	vain ruuhka	-101	61 544	135	-18	32	248
		kaikki	-3	2 947	14	1	8	54
	Historia- keski- arvo	vain ruuhka	-115	67 059	139	-22	32	259
		kaikki	-2	3 142	14	2	8	56
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-102	51 299	137	-23	37	227
		kaikki	0	4 610	18	3	11	68

Kehä I, Pakila–Konala

Ennuste jakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskim. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otoskeskihajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-35	14 271	79	-6	18	119
		kaikki	0	2 381	22	3	10	49
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-90	24 566	115	-17	25	157
		kaikki	-3	3 915	28	4	12	63
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-47	23 256	112	-9	27	153
		kaikki	0	4 585	28	2	11	68
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-48	17 831	91	-8	21	134
		kaikki	0	3 051	25	4	12	55
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-90	25 284	115	-17	25	159
		kaikki	-2	3 942	27	4	12	63
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-86	32 635	141	-18	34	181
		kaikki	1	7 343	37	4	15	86

Kehä I, Konala–Perkkaa

Ennustejakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliövirhe (s ²)	Keskim. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otoskeskihajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-39	9 197	48	-10	13	96
		kaikki	-4	2 516	24	1	10	50
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-63	12 172	67	-17	18	110
		kaikki	-8	3 095	28	0	11	56
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-22	10 270	51	-5	15	101
		kaikki	2	5 450	32	3	14	74
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-45	9 678	53	-11	14	98
		kaikki	-5	2 565	25	1	10	51
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-64	12 128	68	-17	18	110
		kaikki	-8	3 025	28	0	11	55
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-37	12 180	64	-10	19	110
		kaikki	3	6 277	36	4	16	79

Kehä I, Perkkää–Otaniemi

Ennuste- jakson pituus	Ennuste	Aineisto	Keskim. virhe (s)	Keskim. neliö- virhe (s ²)	Keskin. virheen itseisarvo (s)	Keskim. suht. virhe (%)	Keskim. suht. virheen itseisarvo (%)	Otos- keski- hajonta (s)
15 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-142	42 867	142	-30	30	208
		kaikki	-2	1 512	25	1	11	39
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-167	49 881	167	-36	36	224
		kaikki	-3	1 584	25	1	11	40
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-102	39 757	128	-21	27	200
		kaikki	-3	3 451	34	1	15	59
30 min	Regressiomalli	vain ruuhka	-182	84 440	182	-35	35	291
		kaikki	-3	2 160	26	1	12	46
	Historia-keskiarvo	vain ruuhka	-192	87 618	192	-38	38	297
		kaikki	-3	2 175	26	1	11	47
	Viimeisin mittaus	vain ruuhka	-165	83 849	176	-32	35	290
		kaikki	-4	4345	36	1	16	66

ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-730-2
TIEH 3201002-v