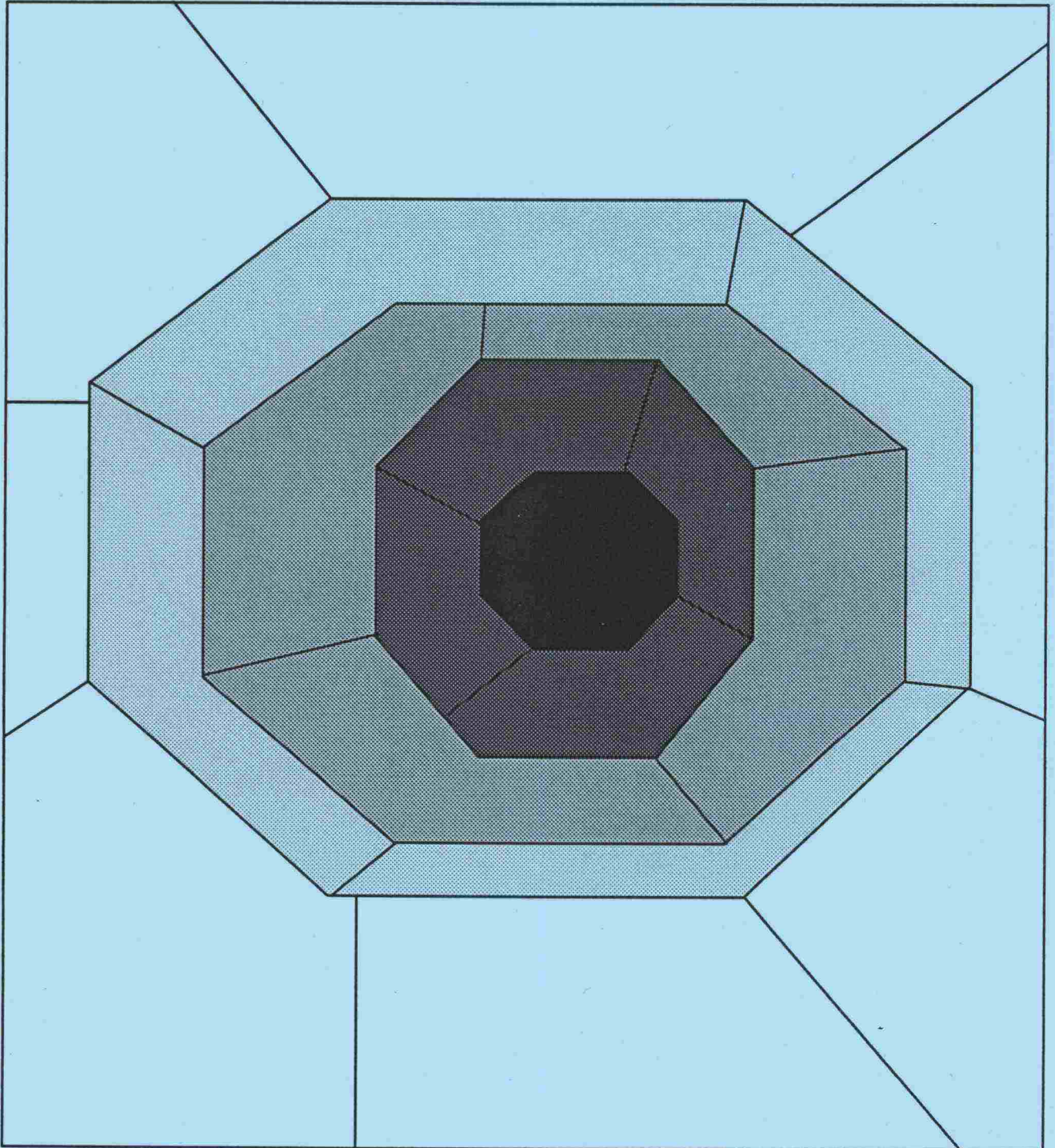


Liikennevirtamalli

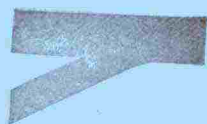
Toinen väliraportti



Tielaitos
Tiehallitus
Tutkimuskeskus

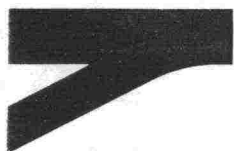
Syyskuu 1990

08 TIEM



Tielaitos
Tiehallituksen kirjasto

Doknro: 910416
Nidenro: 910641



2.10.1990

Stk-231/112/90


JAKELU

LIIKENNEVIRTAPROJEKTIN TOINEN VÄLIRAPORTTI

Huhtikuussa 1990 liikennevirtaprojektin ensimmäisessä väliraportissa esiteltiin kuntien välistä henkilö- ja pakettiautojen keskimääräistä arki-
vuorokausiliikennettä kuvaava gravitaatiotyypin malli. Lisäksi ensimmäisessä väliraportissa esiteltiin projektia varten EMMA-järjestelmään muodostettu kuvaus koko maan tieverkosta.

Oheisessa projektin toisessa väliraportissa esitellään uusi kuntien välistä henkilö- ja pakettiautoliikennettä kuvaava malli, ns. vyöhykemalli. Lisäksi siinä tuodaan esiin joitakin havaintoja käytettävänä olevasta EMMA-verkosta, liikennevirtojen sijoittelusta ja liikennevirtojen kalibroinnista.

Apulaisjohtaja
Tutkimuskeskus


Kirill Härkänen

LIITE

Liikennevirtaprojektin toinen väliraportti

JAKELU

Pääjohtaja
Ylijohdaja
Hakola
Kirjasto
T, Tr, Tp
S, Skk, Ssh, Sts, Sss
Härkänen, Ojajärvi, Pietilä
Nordenswan, Parkko, Viren
Pitkänen, Manns, Helin, Rätty
Salovaara, Halla, Kokkarinen
Tie-DATA
LM / Talvitie
YM / Heikkonen
SM / Paasivirta
Finnmap Oy / Särkkä
Viatek Oy / Roine
Suunnittelukolmio Oy / Kojola
Liikennetekniikka Oy / Silberberg
Panplan Oy / Kuorikoski
Suunnittelukeskus Oy / Kauhanen
LTT Oy / Leskinen
VTT / Himanen
Tiepiirit

Pekka Rätty

Sisälllys

	Alkusanat	
0.	Johdanto	3
1.	Uusi liikennevirtamalli	4
1.1	Vyöhykemallin taustalla olevat ideat	4
1.2	Uusi liikennevirta-aineisto	6
1.3	Vyöhykkeiden määrittäminen	6
	1.3.1 Kuntavyöhykkeet	7
	1.3.2 Aikavyöhykkeet	8
1.4	Vyöhykemalli	9
1.5	Neljännän vyöhykkeen gravitaatiomalli	11
1.6	Malli: Aluekeskus - aluekeskus	14
1.7	Mallit: Helsinki - aluekeskukset Espoo - aluekeskukset Vantaa - aluekeskukset	14
1.8	Mallien hyvyyden arviointi	16
	1.8.1 Vyöhykemalli ja neljännän vyöhykkeen gravitaatiomalli	16
	1.8.2 Mallit: Aluekeskus - aluekeskus Helsinki - aluekeskukset Espoo - aluekeskukset Vantaa - aluekeskukset	17
2.	EMMA-verkko, sijoittelu ja kalibrointi	17
2.1	EMMA-verkon korjaaminen	17
2.2	Liikennevirtojen sijoittelu EMMA-verkkoon	18
2.3	Kalibrointi	19
3.	Projektin jatko	20

Alkusanat

Liikennevirtaprojektin ensimmäisessä väliraportissa (huhtikuu 1990) esiteltiin projektia varten EMMA-järjestelmään koodattu kuvaus koko maan nykyisestä tieverkosta. Lisäksi siinä esiteltiin gravitaatiotyyppinen liikennevirtamalli, jolla estimoitiin kuntien väliset henkilö- ja pakettiautojen keskimääräiset arkivuorokausivirrat.

Malli kuvasi vuoden 1985 liikennettä, joten sen avulla lasketut virrat oli kalibroitava. Vaikka malli olikin looginen, kalibroitu virtamatriisi ei kuitenkaan ollut kovin tarkka. Esimerkiksi aluekeskusten väliset virrat oli systemaattisesti aliarvioitu. Gravitaatiomalli ei myöskään näyttänyt toimivan kovin hyvin, kun kyseessä olivat lyhyet matkat.

Tässä liikennevirtaprojektin toisessa väliraportissa esitellään uusi nykyistä kuntien välistä henkilö- ja pakettiautojen arkivuorokausiliikennettä kuvaava malli, ns. vyöhykemalli. Vyöhykemallissa jokaisen kunnan lähiympäristö on jaettu vyöhykkeisiin, jolloin varsinkin lyhyiden matkojen liikenteeseen on saatu uusi näkökulma. Pitkien matkojen samoin kuin aluekeskusten välisten virtojen estimoimiseksi on tehty uudet gravitaatiotyyppiset mallit.

Tässä väliraportissa käytetään kehätutkimuksiin perustuvaa vyöhykkeiden etsintämenetelmää. Menetelmää voidaan käyttää vain silloin, kun kunnassa on tehty kehätutkimus. Jos kehätutkimusta ei ole tehty, kuntien vyöhykesysteemien etsimiseksi on käytettävä korvaavia menetelmiä. Tässä väliraportissa korvaaviksi menetelmiksi tarjotaan kuntavyöhykkeitä (vyöhykkeen leveys on yksi kunta) tai aikavyöhykkeitä.

Nyt esiteltävän vyöhykemallin samoin kuin tässä väliraportissa EMMA-verkosta, sijoittelusta ja kalibroinnista esille tuotavat havainnot on tehnyt tiehallituksen tutkimuskeskuksessa ylitarkastaja Pekka Rätty. Liikennevirtamallien tarkentaminen ja kehittäminen on jatkuvaa toimintaa.

Apulaisjohtaja



Kirill Härkänen

Tiivistelmä

Tässä liikennevirtaprojektin toisessa väliraportissa esitellään uusi henkilö- ja pakettiautojen kuntien välistä keskimääräistä arkivuorokausiliikennettä kuvaava malli. Edellisessä väliraportissa kuvattu gravitaatiomalli ei antanut riittävän tarkkaa kuvaa liikennevirroista, joten malleja päätettiin kehittää edelleen. Uusi malli on nimetty vyöhykemalliksi. Se perustuu vuosina 1987-1989 tehtyjen kehätutkimusten liikennevirtahavaintoihin ja kuvaa vuoden 1989 liikennettä.

Aineistoa tarkasteltaessa on huomattu, että lyhyillä matkoilla porrasmainen etäisyysfunktio kuvaa liikennevirtoja paremmin kuin jatkuva funktio. Jokaisen kunnan ympärille voidaan ympäröivistä kunnista muodostaa vyöhykkeitä, joissa etäisyysfunktion arvo on vakio. Siirryttäessä vyöhykkeeltä toiselle etäisyysfunktion arvo muuttuu hypypäyksenomaisesti. Vyöhykkeen sisällä kohteet valitaan siten, että valintatodennäköisyys kasvaa kunnan koon kasvaessa. Vyöhykeajattelussa voidaan siis ainakin osittain ottaa huomioon kuntien välinen kilpailu, mikä gravitaatiomallissa ei onnistunut. Selviä vyöhykkeitä on yleensä kolme, ja loput kunnat muodostavat neljännen epämääräisemmän alueen.

Etäisyysfunktioita ei tarvitse kirjoittaa vyöhykemallissa eksplisiit-
tisesti näkyviin. Jokaista virtaa riittää kuvaamaan vyöhykeparametri sekä keskuskunnan ja vyöhykekunnan koot. Vyöhykeparametrit voidaan estimoida kullekin keskuskunnalle erikseen vyöhykekunnan koon funktiona.

Kun tarkastellaan eri keskuskuntien vyöhykeparametreja, huomataan, että niiden arvot riippuvat lineaarisesti keskuskunnan koosta ja niin ollen parametrit voidaan mallintaa keskuskunnan koon funktiona. Vyöhykemalli estimoidaan siis kahdessa osassa.

Neljäs epämääräisempi alue voidaan myös tulkita yhtenä vyöhykkeenä. Tässä työssä on päädytty tarkastelemaan neljättä aluetta gravitaatiomallin kautta, sillä kaukana olevat kohteet näyttävät gravitaatiomalliin sopivina pistemäisiltä eikä alueilta, kuten vyöhykemallissa oletetaan. Eri kunnille tehtyjen gravitaatiomallien erilaiset parametrit voidaan kuitenkin mallintaa samalla tavalla kuin vyöhykemallin parametrit keskuskunnan koon funktiona. Gravitaatiomalliin on siis lisättävä keskuskunnan koon perusteella laskettu korjauskijä.

Tässä työssä liikennevirtamatriisi on jaettu osiin siten, että pääkaupunkiseutua, aluekeskuksia ja muita kuntia on tutkittu erillisinä. Edellä esitettyä vyöhykemallin ja gravitaatiomallin yhdistelmää on voitu soveltaa useimmissa tapauksissa. Pääkaupunkiseutu toimii kuitenkin omalla yksilöllisellä tavallaan joten siellä vyöhykeparametrit ja gravitaatioparametrit on jouduttu estimoimaan erikseen. Lisäksi aluekeskusten väliset virrat on estimoitu omalla gravitaatiomallillaan.

Tässä väliraportissa otetaan kantaa myös liikennevirtojen verkolla tehtävään kalibrointiin. Verkolla tehtävä kalibrointi antaa vain nykyisen liikennevirtamatriisin, ei kalibroitua liikennevirtamallia. Niin ollen kalibroinnissa hukataan liikennevirroista mallien kautta vaivoin saatu informaatio. Verkolla tehtävän kalibroinnin asemesta ehdotetaan mallin parametrirakenteen säilymisen tai muuttumisen tilastollista testaamista ja parametrien päivittämistä uusien liikennevirtahavaintojen pohjalta. Jos kalibrointi kuitenkin halutaan tehdä verkolla, vertailupisteet pitäisi valita kuntien rajoilta, jolloin niissä olisi mahdollisimman vähän kuntien sisäistä liikennettä. Toinen mahdollisuus on mallintaa kullakin linkillä kunnan sisäisen ja ulkoisen liikenteen suhde ja käyttää sitä tietoa hyväksi kalibroinnissa. Sisäisen ja ulkoisen liikenteen suhteen tuntemisesta linkeittäin olisi muutakin hyötyä.

Tulevaisuuden liikennevirtasysteemejä voisi myös tutkia arvioimalla mallien parametrirakenteen muuttumista.

0. Johdanto

Huhtikuussa 1990 ilmestyi liikennevirtaprojektin ensimmäinen väliraportti (Tiehallitus 1990), jossa

- esiteltiin EMMA-järjestelmään tätä projektia varten koodattu koko maan tieverkko
- tarkasteltiin henkilö- ja pakettiautojen kuntien välistä keskimääräistä arkivuorokausiliikennettä kuvaamaan muodostetun gravitaatiomallin ominaisuuksia

Liikenneverkko oli saatu suoraan vuoden 1989 tierekisteristä ja mallin perustana ollut liikenneaineisto poimittiin vuosina 1985-1988 tehdyistä määräpaikkatutkimuksista.

Muodostettu gravitaatiomalli kuvasi vuoden 1985 liikennettä. Jotta olisi saatu käsitys nykyvirroista, mallilla lasketut liikennevirrat kalibroitiin vuoden 1988 tasoon (uusin käytettävissä ollut tieto). Tämä tapahtui vertaamalla mallinnettua, verkolle sijoiteltuja liikennevirtoja yleisessä liikennelaskennassa linkeillä havaittuihin liikennemääriin. Kalibroinnissa käytettiin Ph.D. Heinz Spiessin algoritmia (Spiess 1990). Kalibrointi tehtiin koko tieverkolla lukuunottamatta taajama-alueita. Sijoittelu tapahtui periaatteella kaikki nopeimmalle (yhdelle) reitille.

Ennen kalibrointia gravitaatiomallilla muodostetun matriisin etäisyysjakauma pakotettiin noudattamaan vuoden 1986 henkilöliikennetutkimuksessa havaittua jakaumaa (TVH 1988). Tähän oli kaksi syytä: toisaalta arveltiin, että mallin antama etäisyysjakauma ei ole oikea ja toisaalta haluttiin näyttää, että kalibroinnissa voidaan käyttää hyväksi tämantapaista lisätietoa. Valitettavasti henkilöliikennetutkimuksessa ei ollut voitu erottaa kuntien välistä ja kuntien sisäistä liikennettä toisistaan, joten käytetty etäisyysjakauma ei ollut oikea.

Raportoitu gravitaatiomalli oli looginen, mutta kalibroitu virtamatriisi ei kuitenkaan ollut kovin tarkka. Tarkasteltaessa kalibroitua liikennevirtamatriisia huomattiin, että aluekeskusten väliset virrat oli systemaattisesti aliarvioitu, vaikka niitä oli nimenomaan korostettu ottamalla gravitaatiomalliin mukaan aluekeskuksia kuvaava muuttuja (dummy). Syitä aliarviointiin ruvettiin hakemaan EMMA-verkosta, sijoitteluperiaatteesta, kalibroinnista ja käytetystä gravitaatiomallista.

Tutkittaessa tilannetta tarkemmin todettiin, että

- EMMA-verkosta löytyi suhteellisen paljon virheitä, joiden takia liikennevirrat eivät aina hakeutuneet luonnollisille reiteilleen. Verkossa oli aukkoja erityisesti suurten kaupunkien alueilla ja moottoriteiden eritasoliitymissä. Lisäksi vain yhden konnektorin käyttö kutakin sentroidia kohden ei aina tuntunut luontevalta vaan joissakin tapauksissa tarvittiin useita konnektoreita.
- Kaikki nopeimmalle reitille -sijoittelun havaittiin suosivan pääteitä ja aliarvioivan alempaa tieverkkoa.

- Melkein kaikissa kalibrointipisteissä oli kuntien sisäistä liikennettä. Siksi kalibroinnin tuloksena syntynyt matriisi ei kuvannut enää yksinomaan kuntien välistä liikennettä vaan sijoiteltuna tieverkolle se antoi tierekisteritietoja vastaavan kuvan tieverkon kuormituksesta. Kalibroinnin tulokseen vaikuttaa vertailupisteiden onnistuneen valinnan lisäksi käytetty sijoitteluperiaate (sääntö) ja alkuperäisen mallilla muodostetun virtamatriisin oikeellisuus.
- Huomattiin, että gravitaatiomalli toimii huonosti erityisesti silloin, kun kyseessä olivat lyhyet matkat ja/tai suuret liikennemäärät.

Ensimmäisen väliraportin ilmestymisen jälkeen on yritetty etsiä ratkaisuja edellä lueteltuihin ongelmiin. Työn tuloksena

- EMMA-verkkoa on korjattu ja on kehitetty joitakin sellaisia menetelmiä, joilla verkosta voidaan systemaattisesti etsiä mahdollisia virheitä sisältäviä kohtia.
- Linkkivastusfunktioissa on otettu käyttöön kapasiteetit, jolloin liikennevirrat voidaan jakaa monelle reitille. Linkkivastuksia on muutenkin muutettu autojen nopeustutkimusten perusteella (Tielaitos 1990)
- Kalibrointi tehdään kuntien rajoilla, jolloin vertailupisteissä ei ole kuntien sisäistä liikennettä. Kalibroinnissa on kuitenkin yhä ongelmia, jotka johtuvat lähinnä liikennevirtojen sijoittelusta tieverkolle.
- Liikennevirtamatriisin pakottamisesta johonkin etäisyysjakaumaan on luovuttu.
- On kehitetty uusi liikennevirtamalli, jota voisi kutsua vyöhykemalliksi.

Tässä liikennevirtaprojektin toisessa väliraportissa käsitellään lyhyesti kaikkia edellä mainittuja tuloksia. Raportin pääsisältönä on kuitenkin uusi vyöhykemalli. Muodostettu vyöhykemalli kuvaa nykyistä kuntien välistä henkilö- ja pakettiautojen keskimääräistä arkivuorokausiliikennettä.

1. Uusi liikennevirtamalli

1.1 Vyöhykemallin taustalla olevat ideat

Gravitaatiomallissa tarkasteltavana on aina vain kahden kunnan välinen vuorovaikutus. Liikennemäärien selittäjinä käytetään tutkittavien kuntien kokoja (kuntien asukasluvut, työpaikat tms.) ja jotain kuntien välimatkaa kuvaavaa jatkuvaa funktiota. Gravitaatiomallissa on erittäin vaikea ottaa huomioon muiden kuntien vaikutuksia tutkittavaan liikennevirtaan. Muiden kuntien vaikutus tulee näkyviin implisiittisesti mallin parametrien kautta jonkinlaisena keskimääräisenä arvona.

Kenttämallissa ei tutkita kerrallaan vain kahden kunnan välistä vuorovaikutusta vaan jokaisen kunnan ympäristö nähdään kenttänä, jossa muut kunnat sijaitsevat ja johon tarkasteltavalla kunnalla on erilaisia kommunikointisuhteita. Kentässä olevat kunnat kilpailevat keskenään näistä kommunikointisuhteista. Kunkin suhteen voimakkuus riippuu keskuskunnan koon lisäksi toisen tarkasteltavana olevan kunnan sijainnista ja koosta. Tilannetta katsotaan koko ajan keskuskunnasta käsin.

Vyöhykemallissa keskuskuntaa ympäröivää kenttää yritetään jäsentää jakamalla se vyöhykkeisiin. Tällöin voidaan ajatella, että keskuskunnasta katsoen matkaan liittyy kaksi peräkkäistä päätöstä:

1. Valitaan matkan kohteena oleva vyöhyke
2. Valitaan ko. vyöhykkeeltä matkan kohteena oleva kunta

Eri vyöhykkeet kilpailevat keskenään samoin kuin tietyn vyöhykkeen sisällä olevat kunnat. Ajatuksena on, että lähellä oleva vyöhyke valitaan suuremmalla todennäköisyydellä kuin kauempana oleva ja tietyn vyöhykkeen sisällä suuri kunta (kunnan koko = asukasluku, työpaikkojen määrä tms.) suuremmalla todennäköisyydellä kuin pieni kunta. Kuntien välinen kilpailu saadaan siis ainakin osittain näkyviin.

Käytännössä kuntien väliset liikennevirrat käsitellään kuntakeskusten välisinä virtoina. Kunnat nähdään kartalla pisteinä, joihin on tiivistynyt kaikki kuntia koskeva tieto. Todellisuudessa kuntien maankäyttö saattaa olla kuitenkin hyvinkin hajautunutta, ja varsinkin lähellä toisiaan sijaitsevat kunnat näyttävät toisistaan katsottuina pikemminkin alueilta kuin pisteiltä.

Kuntien välinen matka-aika ilmoitetaan yleensä kuntakeskusten välisenä matka-aikana. Osa kuntien välisistä matkoista kuitenkin alkaa kuntakeskusten ulkopuolelta ja osa päättyy niiden ulkopuolelle. Kahden kunnan välisellä matka-ajalla on siis jonkinlainen jakauma, joka riippuu mm. asutuksen jakautumisesta kuntien alueella. Kuntakeskuksesta kuntakeskukseen mitattu matka-aika kuvaa lähinnä tämän jakuman odotusarvoa, mutta odotusarvon lisäksi pitäisi tietää myös matkajan hajonta. Kun kuntien välinen matka-aika annetaan kuntakeskusten välisenä matka-aikana, etäisyyttä mitataan ikäänkuin liian tarkasti; epätarkempi mittaus riittäisi.

Vyöhykemallissa etäisyysfunktio voidaan nähdä porrasmaisena: vyöhykkeen sisällä etäisyysfunktio saa vakioarvon ja siirryttäessä toiselle vyöhykkeelle etäisyysfunktio muuttuu hyppäyksenomaisesti. Vakioarvo tarkoittaa sitä, että ei oteta kantaa kuntakeskuksen tai muiden keskusten sijaintiin vyöhykkeen sisällä vaan oleellista on se, millä vyöhykkeellä liikutaan. Etäisyysfunktioita ei tarvitse kirjoittaa malliin näkyviin omana muuttujanaan vaan riittää ainoastaan tietää funktion arvojen erot eri vyöhykkeiden välillä.

Koska kunnat ja niiden ympäristöt ovat erilaisia, jokaisella kunnalla on oma yksilöllinen vyöhykesysteeminsä. Tämä herättää kaksi mallin teon kannalta oleellista kysymystä:

1. Voidaanko kunkin kunnan yksilöllinen vyöhykesysteemi etsiä jonkin tilastollisen mallin avulla?
2. Voidaanko kunkin kunnan yksilöllinen etäisyysfunktio määrittää jonkin tilastollisen mallin avulla?

Vastauksien etsimistä varten tarvitaan hyvä liikennevirta-aineisto.

1.2 Uusi liikennevirta-aineisto

Koska tarkasteltavana on kunkin kunnan ympärillä oleva kenttä, vyöhykemalli voidaan muodostaa vain täydellisistä (tai lähes täydellisistä) kehätutkimuksista saadun aineiston perusteella. Tätä tarkoitusta varten määräpaikkatutkimusrekisteristä poimittiin kaikki vuosina 1987-1989 tehdyt kehätutkimukset ja niiden perusteella saatiin 27 kunnan ympärille muodostettua jonkinlainen kehä. Aineistossa oli kehiä seuraavasti:

pääkaupunkiseutu (Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen)
7 aluekeskusta
8 muuta kaupunkia
8 maaseutukuntaa

Muodostetut kehät on koottu luetteloksi liitteeseen 1.

Eri vuosilta peräisin olleet tutkimukset muunnettiin karkeasti yhteismitallisiksi (liikennemäärät asetettiin vuoden 1989 tasoon) käyttämällä koko maan keskimääräisiä liikenteen kasvukertoimia:

1987 -> 1989	kerroin 1.102
1988 -> 1989	kerroin 1.040

Liikennevirta-aineisto ei koostu suunnatuista virroista, vaan tiedossa on kunkin kuntaparin kokonaisliikenne. Aineistossa ei ole nol-lavirtoja, mutta puuttuvat havainnot voidaan tulkita sellaisina.

1.3 Vyöhykkeiden määrittäminen

Luvussa 1 puhuttiin optimistisesti vyöhykesysteemeistä, vaikka mitään todisteita niiden olemassaolosta ei ollutkaan vielä esitetty. Kun tutkitaan poimitun liikennevirta-aineiston yksittäisiä kuntia, huomataan, että piirrettäessä kuvia, joissa liikennevirtoja tarkastellaan keskuskunnan ympäristössä olevien kuntien kokojen funktioina, kuviin muodostuu selviä erillisiä ryhmiä (katso kuvaa 1, jossa esimerkkinä on Oulu). Tutkittaessa tarkemmin, mitä kuntia kuhunkin ryhmään kuuluu (kuva 2), havaitaan, että kartalla eri ryhmien kunnat asettuvat järkevästi alueiksi, vyöhykkeiksi (kuvat 3 ja 4). Tämä havainto antaa mahdollisuuden yksittäisten vyöhykesysteemien määrittämiseen ja myöhemmin sitä voidaan käyttää liikennevirtojen mallittamiseen.

Edellä kuvattua menetelmää voidaan käyttää vain silloin, kun kunnassa on tehty kehätutkimus. Sitä korvaamaan olisi löydettävä jokin yleinen sääntö, jolla kuntien vyöhykesysteemit voidaan määrittää. Vaikka edellä kuvatussa menetelmässä joudutaankin käyttämään jonkin verran subjektiivista harkintaa, se on kuitenkin suhteellisen tarkka, sillä se ottaa huomioon kunkin kunnan yksilölliset erot; yleisempi sääntö antaa vain vyöhykesysteemien approksimaation.

Tarkasteltaessa edellä kuvatulla menetelmällä löydettyjä vyöhykesysteemejä voidaan havaita, että yleensä kunnilla on kolme selvää vyöhykettä. Siirryttäessä vyöhykesysteemissä ulommaksi vyöhykkeiden erottelu kuitenkin vaikeutuu. Tämä johtuu siitä, että liikennemäärät

keskuskunnan ja kentässä olevan kunnan välillä pienenevät aluksi jyrkästi etäisyyden kasvaessa, mutta myöhemmin liikennemäärien erot tasaantuvat.

Kolmannen vyöhykkeen takana sijaitsevat kunnat muodostavat varsin epämääräisen neljännen alueen. Liikennemäärät keskuskunnan ja neljännen alueen kuntien välillä ovat yleensä pieniä eikä niillä niin ollen ole kovin suurta merkitystä liikennesysteemin kokonaisuuden kannalta. Liikenteen kokonaismääriin niillä tietenkin on oma vaikutuksensa.

Pienet kunnat ovat jonkin verran ongelmallisia vyöhykesysteemejä määritettäessä. Jos keskuskunta on pieni, sillä saattaa olla vain kaksi selvää vyöhykettä. Kentässä olevasta pienestä kunnasta taas on usein vaikea sanoa, mihin vyöhykkeeseen se kuuluu varsinkin, jos liikennemäärät keskuskunnan ja ko. kunnan välillä ovat pieniä.

Seuraavaksi esitetään joitakin ehdotuksia siitä, miten vyöhykesysteemit voitaisiin määrittää automaattisesti. Esille otetaan kaksi erilaista menetelmää:

1. Kuntavyöhykkeet: reitin varrella ohitettujen vyöhykkeiden määrä on sama kuin ohitettujen kuntien määrä
2. Aikavyöhykkeet: kunnan kuuluminen jollekin vyöhykkeelle määräytyy keskuskunnan ja kentässä olevan kunnan kuntakeskusten välisen matka-ajan perusteella

Vyöhykesysteemejä määritettäessä olisi tärkeää saada ainakin ensimmäinen ja toinen vyöhyke suunnilleen oikein (kaksi parhaiten erottuvaa vyöhykettä).

1.3.1 Kuntavyöhykkeet

Katsottaessa aineiston perusteella löydettyjä vyöhykesysteemejä voitaisiin arvella, että vyöhykkeet muodostuvat seuraavan periaatteen mukaan:

1. vyöhyke: välittömät naapurit
2. vyöhyke: naapurien naapurit
3. vyöhyke: naapurien naapurien naapurit
4. vyöhyke: muut kunnat

Vyöhykkeen leveys olisi siis yksi kunta - ei matka-aika tai kilometreinä mitattu etäisyys.

Tämä periaate pitää kuitenkin paikkansa oikeastaan vain ensimmäisen vyöhykkeen osalta. Pienet kunnat, lähistöllä olevat voimakkaat keskukset, erityisen hyvät tai erityisen huonot tieyhteydet jne. sotkevat vyöhykesysteemejä.

Edellä olevaa löysästi kirjoitettu periaatetta ei pidäkään tulkita siten, että etsittäisiin kuntien fyysisiä rajanaapureita. Se, kuinka monta vyöhykettä kahden kunnan välillä on, voidaan ehkä määrittää käytetyn reitin perusteella seuravasti:

Kahden kunnan välillä on yksi vyöhyke, jos käytetty reitti kulkee jonkin kolmannen kunnan keskustaajaman kautta tai riittävän läheltä sitä. Ohitettujen keskustaajamien määrä määrää ohitettujen vyöhykkeiden määrän.

Määritelmä tukeutuu voimakkaasti reitin varrella olevaan maankäyttöön. Riittävällä läheisyydellä tarkoitetaan tässä sellaista keskustaajaman ympäristöä, jossa on ollut mielekäs mahdollisuus päättää matkan jatkamisesta tai pysähtymisestä. Jos matkaa päätetään jatkaa, hyväksytään samalla siitä aiheutunut lisäkustannus.

Koska tien varren maankäytöstä ei ole vielä kerätty tietoa, voidaan tässä vaiheessa edellä olevassa määritelmässä tarkoitettu kunnan keskustaajaman lähiympäristö määrittää esim. matka-aikana ko. keskukseen. Jos matka-aika on pienempi kuin jokin annettu luku, ollaan riittävän lähellä keskustaajamaa.

1.3.2 Aikavyöhykkeet

Vyöhykkeet voidaan määrittää myös aikavyöhykkeinä. Koska kuntien välistä etäisyyttä mitataan kuntakeskusten välisellä matka-ajalla, kuntakeskukset määräävät tällöin, mihin vyöhykkeisiin eri kunnat kuuluvat.

Aikavyöhykkeitä käytettäessä ongelmana on, kuinka leveitä eri vyöhykkeet ovat eli mihin asetetaan eri vyöhykkeiden rajat. Kyseessä on ryhmittelyongelma, joka voidaan ratkaista esim. seuraavasti:

1. Lasketaan aineiston perusteella kullekin vyöhykkeelle kuluvan matka-ajan odotusarvot ja hajonnat (eli määritetään vyöhykkeelle kuluvan matka-ajan jakauma).
2. Sijoitetaan kunta sille vyöhykkeelle, jolla seuraava etäisyysmitta saa pienimmän arvon (tämä on ns. Mahalanobis-etäisyys):

$$\frac{(x_i - \bar{x})^2}{s_i^2} \quad (1)$$

missä x_i = vyöhykelle i kuluvan matka-ajan otoskeskiarvo
 s_i = vyöhykelle i kuluvan matka-ajan otoshajonta
 \bar{x} = tutkittavaan kuntaan kuuluva matka-aika

Mahalanobis-etäisyyttä käytettäessä oletetaan, että tarkasteltavat jakaumat (tässä tapauksessa kullekin vyöhykkeelle kuluvien matka-aikojen jakaumat) ovat ainakin likimain normaalisia.

Otoskeskiarvot ja otoshajonnat voidaan laskea aineiston perusteella. Aineiston kuntia tarkasteltaessa huomataan kuitenkin, että eri kunnilla vyöhykkeiden otoskeskiarvot ja otoshajonnat ovat erilaisia. Esim. maan pohjoisosissa vyöhykkeet ovat leveämpiä kuin etelän kunnilla, mikä johtuu siitä, että pohjoisessa kunnat ovat suurempia ja etäisyydet pitempiä kuin etelässä. Otossuureita varten tarvittaisiin oma malli.

Tässä väliraportissa ei ratkaista aikavyöhykkeet määrittävää mallia, vaan se jää projektin seuraavaan vaiheeseen. Aikavyöhykkeistä voidaan kuitenkin todeta yksi mielenkiintoinen havainto: kolmannella ja neljännellä vyöhykkeellä otoshajonta riippuu melkein lineaarisesti otoskeskiarvosta. Ensimmäisellä ja toisella vyöhykkeellä tällaista riippuvuutta ei ole. Ensimmäisellä ja toisella vyöhykkeellä kuntien pieni määrä vaikeuttaa mallien muodostamista.

1.4 Vyöhykemalli

Tässä luvussa määritetään kuntien välistä liikennettä kuvaavan vyöhykemallin yleinen muoto, tulkitaan mallin parametrit ja lasketaan aineiston perusteella parametrien arvot. Vyöhykemallia muodostettaessa käytetään hyväksi luvun 1.3 alussa esitettyä kehätutkimuksiin perustuvaa vyöhykesysteemien etsintämenetelmää. Kunnat sijoitetaan eri vyöhykkeille juuri kehätutkimuksiin perustuvan sijoittelumenetelmän avulla. Vyöhykemallia muodostettaessa ja tulkittaessa on koko ajan syytä pitää mielessä luvussa 1.1 esitetyt ajatukset.

Koska luvussa 1.3 esitetyn kehätutkimuksiin perustuvan menetelmän avulla voitiin yleensä erottaa kolme vyöhykettä, vyöhykemalli tehdään tässä ainoastaan kolmelle vyöhykkeelle. Keskuskunnan ja neljännellä alueella sijaitsevien kuntien välille tehdään erillinen gravitaatiotyyppinen malli, joka esitellään luvussa 1.5. Gravitaatiomalliin on päädytty siitä syystä, että etäisyyksien kasvaessa kohteet alkavat näyttää enemmän pisteiltä kuin alueilta, jolloin jatkuva etäisyysfunktio erottelee kohteet paremmin toisistaan kuin porrasmainen funktio. Täsmällisempi luettelo siitä, miksi kolmelle ensimmäiselle vyöhykkeelle ja neljännelle vyöhykkeelle tehtiin erilaiset mallit, on luvussa 1.5.

Vyöhykemalli estimoidaan kahdessa osassa siten, että itseasiassa asetetaan päällekkäin kaksi erillistä mallia.

Ensimmäinen malli tehdään kullekin aineiston kunnalle erikseen. Siinä keskuskunnan ja kentässä olevan kunnan välisiä liikennemääriä selitetään kentässä olevan kunnan koon (työpaikkojen määrä) avulla (katso kuvia 1-3, joissa esimerkkinä on Oulu). Sen lisäksi, että kukin vyöhyke erottuu omana pistejoukkonaan, kutakin erillistä pistejoukkoa voidaan approksimoida omalla origon kautta kulkevalla suorallaan. Kullekin suoralle voidaan estimoida kulmakerroin (katso liitettä 2, jossa esimerkkinä on Oulu). Kulmakertoimien arvot asetetaan suuruusjärjestykseen seuraavasti:

$$V_1 > V_2 > V_3$$

missä V_1 = 1. vyöhykettä approksimoivan suoran kulmakerroin
 V_2 = 2. vyöhykettä approksimoivan suoran kulmakerroin
 V_3 = 3. vyöhykettä approksimoivan suoran kulmakerroin

Kulmakertoimiet voidaan tulkita porrasmaisena etäisyysfunktiona seuraavasti:

$$\begin{aligned} V_1 &= \text{keskuskunnan ja 1. vyöhykkeen välinen porras} \\ V_1 - V_2 &= \text{1. ja 2. vyöhykkeen välinen porras} \\ V_2 - V_3 &= \text{2. ja 3. vyöhykkeen välinen porras} \end{aligned} \quad (2)$$

Kun verrataan aineiston eri kunnille tehtyjä malleja, huomataan, että kaikilla kunnilla on erilaiset vyöhykkeitä approksimoivat kulmakertoimensa.

Piirrettäessä kuvia, joissa nyt selitetään kulmakertoimien arvoja keskuskunnan koon avulla (kuvat 5-8), huomataan, että pistejoukkoja voidaan jälleen approksimoida origon kautta kulkevilla suorilla. Suorien kulmakertoimet voidaan estimoida. Tästä seuraa toinen malli, joka asetetaan ensimmäisen mallin päälle.

Pääkaupunkiseudun kunnat eivät sovi edellä kuvattuun malliin ja sen vuoksi niille on annettava omat parametrit. Porin kehä on epätäydellinen ja aiheuttanee siksi poikkeavan havainnon.

Ensimmäisen vyöhykkeen parametri on jossain määrin epämääräinen. Se johtunee siitä, että pelkät kuntien koot eivät riitä kuvaamaan naapurikuntien välisiä suhteita, vaan tarvitaan lisäselittäjiä. Naapurikuntien välistä liikennettä kuvaavia malleja on siis vielä syytä kehittää.

Jos yksittäisille kunnille tehtyihin malleihin otettaisiin mukaan ensimmäistä vyöhykettä kuvaava muuttuja (dummy), ko. mallien selityksasteet nousisivat huomattavasti (katso kuvia 12-13 ja liitettä 2). Ongelmana on kuitenkin se, että ko. dummy vaihtelee varsin epäsäännöllisesti keskuskunnan koon muuttuessa eikä sen mallintaminen niin ollen onnistu vastaavalla tavalla kuin edellä kuvattujen kulmakertoimien. Ensimmäisen vyöhykkeen kulmakerrointa tuskin myöskään voisi tällöin enää mallintaa keskuskunnan koon funktiona.

Vyöhykemalli voidaan kirjoittaa yleisesti muotoon

$$\text{matkat}_{ki} = V_i * ty_i = P_i * ty_k * ty_i \quad (3)$$

missä matkat_{ki} = keskuskunnan k ja vyöhykkeellä v olevan kunnan välinen liikennevirta
 ty_k = keskuskunnan k koko (työpaikkojen määrä)
 ty_i = vyöhykkeellä i olevan kunnan koko (työpaikat)
 P_i = vyöhykettä i kuvaava parametri ($0 < P_i < 1$)

Kaavassa (3) esiintyvä vyöhykeparametri voidaan tulkita etäisyysfunktiona samalla tavalla kuin edellä kohdassa (2) esiintyvät vyöhykeparametrit.

Aineiston perusteella vyöhykeparametrien mallit ovat seuraavat:

$$\underline{1. \text{vyöhyke}}: V_1 = P_1 * ty_k = 5.804 / 100000 * ty_k \quad (4)$$

$$\underline{2. \text{vyöhyke}}: V_2 = P_2 * ty_k = 1.775 / 100000 * ty_k \quad (5)$$

$$\underline{3. \text{vyöhyke}}: V_3 = P_3 * ty_k = 0.249 / 100000 * ty_k \quad (6)$$

missä ty_k = keskuskunnan työpaikat.

Vyöhykeparametrien mallien tarkempi tulostus on litteessä 3. Helsingin, Espoon ja Vantaan vyöhykeparametrit on lueteltu taulukossa 1.

Taulukko 1: Helsingin, Espoon, ja Vantaan vyöhykeparametrit

	Helsinki	Espoo	Vantaa
V_1	0.821	0.670	0.606
V_2	0.205	0.099	0.104
V_3	0.119	0.035	0.048

Vaikka vyöhykemalliin päädyttiinkin aivan erilaisen ajattelun kautta kuin gravitaatiomalliin, lopputuloksena syntyneet mallit ovat kuitenkin rakenteeltaan hyvin samanlaiset. Molemmissa malleissa kuntien välistä liikennettä kuvataan tutkittavien kuntien kokojen avulla ja lisäksi käytetään jotakin etäisyysfunktioita. Kuntien koot kuvaavat kuntien kykyä tuottaa liikennettä toistensa välille: mitä suurempia kunnat ovat, sitä enemmän niiden välillä tehdään matkoja. Aikatermiin sisältyy kuntien välisestä etäisyydestä aiheutuva tappio: mitä kauempana kunnat ovat toisistaan, sitä vähemmän niiden välillä tehdään matkoja.

Gravitaatiomallissa ja vyöhykemallissa on kuitenkin kaksi tärkeää eroa:

1. Gravitaatiomallissa etäisyysfunktio on jatkuva ja vyöhykemallissa porrasmainen
2. Gravitaatiomallissa kuntien kokoja kuvaava massatermi sai eksponentin (eksponentti ≈ 0.5), jonka edellisessä väliraportissa tulkittiin sisältävän tiedon kuntien välisestä kilpailusta. Vyöhykemallissa massatermillä ei ole eksponenttia, mutta siinä kuntien välinen kilpailu onkin otettu huomioon vyöhykkeiden avulla. Tieto kuntien välisestä kilpailusta sisältyy vyöhykeparametreihin eli etäisyysfunktion.

1.5 Neljännen vyöhykkeen gravitaatiomalli

Keskuskunnan ja neljännen vyöhykkeen kuntien välistä liikennettä approksimoidaan vyöhykemallin asemesta gravitaatiomallin avulla seuraavista syistä:

- Gravitaatiomallin on havaittu toimivan ainakin kohtalaisen hyvin tilanteissa, joissa kuntien välinen etäisyys on suuri
- Kun kuntien välinen etäisyys on suuri, kohteet näyttävät enemmän pisteiltä kuin alueilta, jolloin jatkuvan etäisyysfunktion käyttö on mielekästä
- Neljäs vyöhyke sisältää suurimman osan kunnista, jolloin jatkuva etäisyysfunktio erottelee kunnat paremmin toisistaan kuin porrasmainen funktio. Kaukana toisistaan olevien kuntien välisiin liikennemääriin vaikuttaa enemmän kuntien välinen etäisyys kuin kuntien koko.
- Kuntien välisen etäisyyden ja liikennemäärien välinen riippuvuus selkeytyy etäisyyden kasvaessa, koska liikennemäärät

ovat pieniä samoin kuin liikennemäärien hajonta. Oikeastaan liikennemäärät ovat niin pieniä, että on melkein samantekevää, millä mallilla niitä approksimoi.

Koska aluekeskusten väliset kommunikointisuhteet poikkeavat muiden kuntaparityyppien suhteista, ne on jätetty pois seuraavista tarkasteluista. Aluekeskusten välisiä virtoja kuvaamaan tehdään oma gravitaatiomalli, jota käsitellään erikseen luvuissa 1.6 ja 1.7.

Keskuskunnan ja neljännen vyöhykkeen välisiä virtoja kuvaavan gravitaatiomallin selittäjiksi voidaan valita tarkasteltavien kuntien koot sekä kuntien välinen matka-aika, kun käytetään nopeinta reittiä. Gravitaatiomalli kannattaa vyöhykemallin tapaan estimoida kullekin aineiston kunnalle erikseen, jolloin päästään näkemään, onko keskuskunnalla jotain erityistä vaikutusta mallin parametreihin. Gravitaatiomalliin ei tällä kertaa oteta mukaan regressiomalliin yleensä kuuluvaa vakiotermiä, jotta tutkittavien parametrien määrä pysyisi mahdollisimman pienenä.

Tässä ensimmäisessä vaiheessa gravitaatiomallin yleinen muoto on

$$\text{matkat}_{ki} = \frac{(ty_k * ty_i)^t}{ai^a} \quad (7)$$

missä matkat_{ki} = keskuskunnan k ja vyöhykkeellä olevan kunnan välinen liikennevirta
 ty_k = keskuskunnan koko (työpaikkojen määrä)
 ty_i = vyöhykkeellä olevan kunnan koko (työpaikat)
 ai = matka-aika k, i kuljettaessa nopeinta reittiä
 t = massatermin parametri
 a = aikatermin parametri

Liitteessä 2 on neljännen vyöhykkeen gravitaatiomalli estimoitu esi-merkinomaisesti Oululle.

Kuten vyöhykemallissa myös gravitaatiomallin parametreja voidaan tarkastella keskuskunnan koon funktioina. Tarkasteltaessa kuvia, joissa massatermin ja aikatermin parametreja on selitetty keskuskunnan koon (työpaikkojen määrä) avulla (kuvat 9-10) huomataan, että pistejoukkoja voidaan jälleen approksimoida suorien avulla. Nyt suorat eivät kulje origon kautta. Tästä tulee toinen malli, joka asetetaan ensimmäisen mallin päälle.

Gravitaatiomallin yleinen muoto on nyt

$$\text{matkat}_{ki} = \frac{(ty_k * ty_i)^{m*ty_k+n}}{(ai)^{p*ty_k+q}} \quad (8)$$

missä m, n, p ja q ovat vakioita.

Aineiston perusteella gravitaatioparametrien mallit ovat:

$$\text{Massatermi: } t = m*ty_k+n = 1.077/100000*ty_k+0.166 \quad (9)$$

$$\text{Aikatermi: } a = p*ty_k+n = 3.642/100000*ty_k+0.297 \quad (10)$$

missä ty_k = keskuskunnan työpaikat.

Liitteessä 3 on tarkempi tulostus neljännen vyöhykkeen gravitaatioparametrien malleista.

Gravitaatiomalliin on siis lisätty keskuskunnan koon perusteella määräytyvä korjaustekijä. Korjaustekijää on tulkittava seuraavasti:

1. Massatermi: Kun keskuskunnassa on alle 77500 työpaikkaa (eli käytännössä kaikki Suomen kunnat lukuunottamatta pääkaupunkiseutua), massatermi saa ykköstä pienemmän eksponentin. Kunnat eivät siis koskaan vaikuta täydellä painollaan liikennemääriin. Kun keskuskunnan koko kasvaa, sen vaikutus tarkasteltavien kuntien väliseen vetovoimaan kasvaa eksponentaalisesti.
2. Aikatermi: Aikatermillä on kaksi erilaista tulkintaa riippuen siitä, kuinka suuri keskuskunta on:

Kun keskuskunnassa on yli 19500 työpaikkaa (=aluekeskukset), aikatermin eksponentti saa ykköstä suuremman arvon. Tällöin matka-ajan merkitys korostuu kuntien välisiä liikennemääriä estimoitaessa. Matkaan kuluva aika nähdään keskimääräistä suurempana tappiona, jolloin pitkä matka-aika vähentää entisestäänkin kuntien välisiä liikennemääriä. Mitä suurempi keskuskunta on sitä suuremmaksi matka-ajasta aiheutuva tappio koetaan.

Kun keskuskunnassa on alle 19500 työpaikkaa (=ei aluekeskuksia), aikatermin eksponentti saa ykköstä pienemmän arvon. Tällöin matka-ajasta ajasta aiheutuvaa tappiota vähätellään ja tappio nähdään sitä pienempänä mitä pienempi keskuskunta on.

Miten nämä havainnot voidaan tulkita? On muistettava, että tarkasteltavat kunnat ovat melko kaukana toisistaan (keskuskunta ja neljännen vyöhykkeen kunta), jolloin kuntien välinen vuorovaikutus on melko heikko. Neljännen alueen kunnilla on omat vaikutusalueensa, joista ne ovat enemmän kiinnostuneita kuin tässä tutkittavana olevasta suhteesta. Suuri kunta voi olla niin itseriittäinen, että se ei ole kiinnostunut lainkaan kaukana olevasta pienestä kunnasta. Tarkasteltavana on kuntien välinen kokonaisliikenne, jolloin tilannetta voidaan katsoa erikseen kummankin kunnan suunnasta.

Voitaisiinko korjattua gravitaatiomallia sittenkin käyttäen kuvaamaan myös keskuskunnan ja kolmen ensimmäisen vyöhykkeen kuntien välisiä liikennevirtoja? Vastaus on kielteinen, sillä koko aineiston perusteella määritettyjen gravitaatiomallien parametrit eivät noudata näin yksinkertaista mallia. Lisäksi on muistettava kaikki ne luvussa 1.1 mainitut syyt, joiden perusteella vyöhykemallin tekoon päätettiin ryhtyä.

Neljännen vyöhykkeen gravitaatiomallissa oleva korjaustekijä aiheuttaa ongelman: koska korjaustekijänä on keskuskunnan koko, mallilla muodostettava matriisi ei ole symmetrinen, vaikka lähtöaineiston onkin oletettu olevan sellainen. Symmetrisyyteen päästään käyttämällä muodostuvan materiisin vastinalkioiden keskiarvoja. Tämä ei välttämättä ole paras ratkaisu, mutta muutakaan menetelmää ei toistaiseksi ole käytettävissä. Asiaan kannattaa paneutua jatkossa.

Pääkaupunkiseudun kunnat ja Pori eivät sovi tähän malliin samalla tavalla kuin ne eivät sopineet vyöhykemalliinkaan. Pääkaupunkiseudun kuntien gravitaatioparametrit on määritettävä erikseen. Helsingin, Espoon ja Vantaan gravitaatiomallin parametrit on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2: Helsingin, Espoon ja Vantaan gravitaatioparametrit:

	Helsinki	Espoo	Vantaa
t =	0.351	0.295	0.266
a =	-0.723	-0.494	-0.364

1.6 Malli: aluekeskukset - aluekeskukset

Aluekeskusten välisiä virtoja kuvaava malli on kehitetty edellisessä luvussa määritellystä perusgravitaatiomallista (7). Mallissa on otettu käyttöön käsitteet lähialue ja kaukoalue. Lähialueeseen kuuluu tutkittavaa aluekeskusta lähinnä olevat aluekeskukset ja kaukoalueeseen loput aluekeskukset. Lähialue ja kaukoalue voidaan haluttaessa käsittää jonkinlaisina vyöhykkeinä. Kunkin aluekeskuksen lähialueet on esitetty kuvassa 11 olevassa kartassa. Jako lähialueeseen ja kaukoalueeseen tulee ilmi mallissa siten, että molemmille alueille on annettu oma matka-aikaa kuvaava muuttuja (dummy).

Aluekeskusten välisiä virtoja kuvaava malli on seuraava

$$\text{matkat}_{ij} = \frac{(ty_i * ty_j)^{0.636}}{(aiL)^{1.688} * (aiK)^{1.921}} \quad (11)$$

missä ty_i = kunnan i työpaikat

ty_j = kunnan j työpaikat

aiL = { nopeimman reitin matka-aika, kun kunnat lähialueella
0 muulloin

aiK = { nopeimman reitin matka-aika, kun kunnat kaukoalueella
0 muulloin

Kaikkien selittäjien parametrit ovat tilastollisesti nolosta poikkeavat ja etumerkeiltään loogiset. Mallin tarkempi tulostus on liitteessä 4.

7. Mallit: Helsinki - aluekeskukset Espoo - aluekeskukset Vantaa - aluekeskukset

Pääkaupunkiseudun kuntien ja muiden aluekeskusten välistä liikennettä kuvaavat mallit on myös kehitelty gravitaatiomallin pohjalta. Niissä noudatetaan samaa lähialue - kaukoalue -idea kuin mallissa aluekeskusten välistä liikennettä kuvaavassa gravitaatiomallissa, mutta lähialueita on kaksi:

Lähialue 1: Hämeenlinna, Lahti, Kouvola, Kotka
Lähialue 2: Turku, Tampere

Mallit ovat seuraavat:

Helsinki - aluekeskukset:

$$\text{matkat}_{ij} = \frac{(ty_i * ty_j)^{0.856}}{(aiL1)^{2.981} * (aiL2)^{2.829} * (aiK)^{2.752}} \quad (12)$$

Espoo - aluekeskukset:

$$\text{matkat}_{ij} = \frac{(ty_i * ty_j)^{0.640}}{(aiL1)^{1.897} * (aiL2)^{1.809} * (aiK)^{1.889}} \quad (13)$$

Vantaa - aluekeskukset:

$$\text{matkat}_{ij} = \frac{(ty_i * ty_j)^{0.642}}{(aiL1)^{1.822} * (aiL2)^{1.897} * (aiK)^{1.902}} \quad (14)$$

Ylläolevissa malleissa

- ty_i = kunnan i työpaikat
 ty_j = kunnan j työpaikat
 $aiL1$ = {nopeimman reitin matka-aika, kun kunnat lähialueella 1
 {0 muulloin
 $aiL2$ = {nopeimman reitin matka-aika, kun kunnat lähialueella 2
 {0 muulloin
 aiK = {nopeimman reitin matka-aika, kun kunnat kaukoalueella
 {0 muulloin

Mallin Helsinki - aluekeskukset kaikkien selittäjien parametrit ovat tilastollisesti merkittävästi nolosta poikkeavat. Mallien Espoo - aluekeskukset ja Vantaa - aluekeskukset selittäjät eivät ole kovin vahvoja mutta niissä on kuitenkin haluttu käyttää saman muotoista yhtälöä, kuin mallissa Helsinki - aluekeskukset. Kaikissa em. malleissa kaikkien selittäjien etumerkit ovat loogisia. Mallien tarkemmat tulostukset ovat liitteessä 4.

Pääkaupunkiseudun kuntien välille ei ole tehty omaa erityistä gravitaatiomallia. Niiden väliset virrat voidaan mallintaa vyöhykemallin avulla. Vyöhykemallin asemesta voidaan käyttää myös YTV:n tutkimuksia.

1.8 Mallien hyvyyden arviointi

1.8.1 Vyöhykemalli ja neljännen vyöhykkeen gravitaatiomalli

Aineiston yksittäisille kunnille tehtyjen vyöhykemallien ja neljännen vyöhykkeen gravitaatiomallien selitysasteet vaihtelevat suhteellisen paljon. Yleisesti ottaen vyöhykemallit toimivat kohtalaisen hyvin, mutta neljännen alueen gravitaatiomallien selitysasteet ovat varsin alhaiset. Taulukkoon 3 on kerätty mallien selitysasteiden vaihteluvälit.

Taulukko 3: Kolmen ensimmäisen vyöhykkeen vyöhykemallin ja neljännen vyöhykkeen gravitaatiomallin selitysasteiden vaihteluvälit aineistossa luokiteltuna eri kuntatyypeittäin

Kuntatyyppi	Vyöhykemalli	Gravitaatiomalli
Aluekeskus	0.67 - 0.99	0.14 - 0.56
Kaupunki	0.50 - 0.99	0.19 - 0.47
Muu kunta	0.40 - 0.96	0.10 - 0.37

Taulukosta voi havaita, että mallien selitysasteet pienenevät siirryttäessä aluekeskuksista muihin kaupunkeihin ja lopulta muihin kuntiin. Syynä tähän voi olla se, että erikokoisilla kunnilla on eri määrä vyöhykkeitä, jolloin vyöhykemallin selityskyky vähenee kunnan koon pienetessä. Tässä työssä on kuitenkin päädytty yksinkertaisuuden vuoksi kaikkialla kolmen vyöhykkeen systeemiin. Pienillä kunnilla kolmatta vyöhykettä kuvaava kulmakerroin voi olla testattaessa 0. Kuvissa 12 ja 13 on esimerkkinä arvioitu vyöhykemallin onnistumista Oulun aineistossa.

Kun aineiston kuntien erillisten mallien vyöhykeparametrit ja gravitaatioparametrit kootaan omaksi aineistokseen ja parametrit mallinnetaan uudestaan keskuskunnan koon funktiona, saadaan parametrien malleille seuraavat selitysasteet:

Vyöhykemalli:

Vyöhyke 1: 0.92
 Vyöhyke 2: 0.88
 Vyöhyke 3: 0.90

Neljännen alueen gravitaatiomalli:

Massatermi: 0.78
 Aikatermi: 0.81

Kun kaksi mallia on asetettu päällekkäin ja syntynyttä mallia sovelletaan koko aineistoon, selitysasteet jäävät pienemmiksi kuin tehtäessä mallit erikseen yksittäisille kunnille. Parametrien mallintaminen kaksi kertaa saattaa aiheuttaa systemaattista virhettä yksittäisien kuntien joidenkin vyöhykkeiden virtoihin (katso kuvia 14-23).

Jonkin yksinkertaisen automaattisen menetelmän käyttö vyöhykkeiden etsimisessä pienentää yhä mallin selitysstetta ja huonontaa mallin tarkkuutta. Lisäksi jos eri kunnilla on aikavyöhykkeitä käytettäessä eri levyiset aikavyöhykkeet, muodostettava liikennevirtamatriisi ei ole symmetrinen. Matriisi saadaan symmetriseksi vastaavalla tavalla kuin luvussa 1.5 esitetyn neljännen vyöhykkeen gravitaationallin tapauksessa käyttämällä matriisin vastinalkioiden keskiarvoja.

Kuten luvussa 4 todettiin, vyöhykemalli ei toimi kovin hyvin ensimmäisellä vyöhykkeellä.

1.8.2 Mallit: Aluekeskus - aluekeskus
Helsinki - aluekeskukset
Espoo - aluekeskukset
Vantaa - aluekeskukset

Aluekeskusten välisiä virtoja kuvaavan mallin selityssaste samoin kuin pääkaupunkiseudun kuntien ja muiden aluekeskusten välisiä virtoja kuvaavien mallien selityssasteet on koottu taulukkoon 4.

Taulukko 4: Aluekeskusten välisiä virtoja kuvaavan gravitaatiomallin selityssaste sekä pääkaupunkiseudun ja muiden aluekeskusten välisiä virtoja kuvaavien gravitaatiomallien selityssasteet

Gravitaatiomalli	Selityssaste
Aluekeskus - Aluekeskus	0.81
Helsinki - Aluekeskus	0.96
Espoo - Aluekeskus	0.65
Vantaa - Aluekeskus	0.77

Malleissa aluekeskus - aluekeskus ja Helsinki - aluekeskus kaikkien selittävien muuttujien parametrit ovat tilastollisesti merkitsevästi nolosta poikkeavat. Malleissa Espoo - aluekeskus ja Vantaa - aluekeskus lähialueen matka-aikaa kuvaavien muuttujien parametrit eivät ole kovin vahvoja, joten ne voisi yhdistää. Kaikissa malleissa parametrien etumerkit ovat loogisia.

Mallien tarkkuuden voi arvioida kuvista 24-27, joissa on esitetty mallivirhe mallilla laskettujen virtojen funktiona.

2. EMMA-verkko, sijoittelu, kalibrointi

2.1 EMMA-verkon korjaaminen

Huhtikuussa 1990 ilmestyneessä ensimmäisessä väliraportissa esiteltiin EMMA-järjestelmään tätä projektia varten rakennettu liikenneverkko. Käytössä on yhä sama verkko, koska verkon päivitysohjelma valmistui vasta syyskuussa 1990 (U-piiri & Finnmap Oy 1990).

Kuten tämän raportin johdannossa todettiin, käytettävänä olevasta verkosta on löytynyt suhteellisen paljon puuttuvia linkkejä, aukkoja, jotka ovat vaikuttaneet mm. liikennevirtojen sijoitteluun ja sitä kautta osaltaan vaikeuttaneet ja hidastaneet liikennevirtamallien testausta. Aukkoja on löytynyt erityisesti suurten kaupunkien alueilta ja eritasoliittymistä.

Koska tutkittavana oleva verkko on valtavan suuri, siitä on varsin vaikeaa löytää mahdollisia virheitä sisältäviä kohtia. Verkon yksityiskohtainen läpikäynti ei onnistu, vaan virheiden etsimistä varten on kehitettävä automaattisia menetelmiä. Tässä työssä yksinkertaisesti verrattiin sentroidien välisiä maantie-etäisyyksiä koordinaattien perusteella laskettuihin linnuntie-etäisyyksiin. Vertailun perusteella poimittiin lähemmin tarkasteltaviksi niiden kuntien väliset lyhyimmät reitit, joissa maantie-etäisyys oli suurempi kuin 2.5 kertaa linnuntie-etäisyys. Tällöin tutkittavien parien lukumäärä pysyi vielä kohtuullisena.

Koska erityisesti suurien kaupunkien alueilta oli löytynyt aukkoja, kaikkien aluekeskusten pääkatuverkot tarkistettiin yksitellen vertaamalla EMMA-ohjelman piirtämiä katuverkkoja kaupunkien karttoihin ja etsimällä sattumanvaraisesti valittujen solmujen välisiä lyhyimpiä reittejä. Jotkut sentroidit kytkettiin EMMA-verkkoon usean konektorin avulla, jolloin liikennevirrat hakeutuivat keskuksesta heti luonnollisille reiteilleen.

Kun edellä mainitut tarkistukset oli tehty, koko verkko käytiin vielä läpi pistokokein tutkimalla sattumanvaraisesti valittujen solmujen välisiä reittejä.

2.2 Liikennevirtojen sijoittelu EMMA-verkkoon

Tähän asti EMMA-verkon linkkivastuksina on käytetty vakioviivytystä. Huhtikuussa esitellyssä verkossa viivytysfunktiona oli 90% nopeusrajoitusten perusteella lasketusta matka-ajasta. Käytetty nopeusfunktio ei ole nopeustutkimusten mukaan kuitenkaan oikea (Tielaitos 1990). Nopeusmittausten perusteella on havaittu, että nopeudet henkilöautoilla ja pakettiautoilla eri nopeusrajoitusalueilla ovat keskimäärin seuraavat:

Taulukko 5. Henkilö- ja pakettiautojen nopeudet pääteillä vuonna 1989

Nopeusrajoitus	Henkilöautot		Pakettiautot	
	ka.	haj.	ka.	haj.
60 km/h	61.4	6.9	62.0	7.0
80 km/h	81.9	9.0	80.9	8.0
100 km/h	93.1	10.8	87.4	9.5
120 km/h	107.6	12.7	92.2	10.6

Kun käytetään vakioviivytystä, ei vastusfunktio ota millään tavalla huomioon linkille sijoittuvaa liikennemäärää ja niin ollen monireit-

tisijoittelu ei ole mahdollinen. Monireittisijoitteluun pitäisi kuitenkin pyrkiä, sillä todellisuudessa ihmiset valitsevat useita eri reittejä.

Tutkittaessa keskimääräistä arkivuorokausiliikennettä yleensä ajatellaan, että kaikki liikenne mahtuu nopeimmille reiteille eikä mitään ruuhkatilanteita synny. Sijoiteltaessa liikennevirrat periaatteella kaikki nopeimmalle reitille huomataan kuitenkin, että erityisesti pääteillä sijoitellut liikennemäärät ylittävät jatkuvasti liikennelaskennoissa havaitut liikennemäärät kun taas alempi tieverkko aliarvioituu. Tähän on kaksi syytä: päätiet tarjoavat useinmiten nopeimmat yhteydet ja ne yhdistävät yleensä kuntakeskuksia (liikennevirrathan sijoitellaan nykyisessä EMMA-verkossa kuntakeskusten välille). Tässä tilanteessa olisi järkevää asettaa linkkien kapasiteeteiksi havaittu liikennemäärä, jolloin liikenne jakautuisi tasaisemmin tieverkkoon. Jonkinlaisen kapasiteetin ylärajaksi voitaisiin myös ottaa arvio 1200-1400 autoa tunnissa tavallisella kaksikaistaisella tiellä, mutta se tuskin jakaa liikennevirtoja riittävästi eri reiteille.

Tutkittaessa joskus tulevaisuudessa ruuhkaliikenteen malleja EMMA-verkkoon tarvitaan liikennemääristä riippuvat linkkivastukset. Niiden mallintamiseen on syytä ryhtyä mahdollisimman pian. Aineistoa saataneen automaattisen liikennelaskennan pisteistä. Mallin selittäjinä voisivat olla tietyppi, nopeusrajoitus linkin vaikutusalueella, liittymien määrä, muut lähistön linkit, tien geometria ja kunto, etäisyys taajamasta, etäisyys aluekeskuksesta jne.

2.3 Kalibrointi

Koska nyt muodostettu vyöhykemalli kuvaa jo vuoden 1989 liikennettä (uusin käytettävissä oleva tieto), liikennevirtamatriisia ei tarvitse kalibroida tässä vaiheessa. Kalibroinnista kannattaa kuitenkin ottaa esille joitakin asioita.

Kalibroinnin onnistumiseen vaikuttavat ainakin seuraavat asiat: sijoiteltavan virtamatriisin oikeellisuus, sijoittelusäännön oikeellisuus ja kalibrointipisteiden onnistunut valinta.

Tutkittaessa kuntien välisiä virtoja kalibrointi pitäisi tehdä sellaisilla linkeillä, joissa on mahdollisimman vähän kunnan sisäistä liikennettä eli kuntien rajoilla. Nyt käytettävänä olevassa EMMA-verkossa ei ole tietoa kuntien rajoista, mutta ne saadaan käyttöön seuraavan päivituksen yhteydessä.

Kuntarajat voidaan konstruoida verkkoon myös keinotekoisesti seuraavalla tavalla:

1. Sentroideissa olevaa kuntakoodia monistetaan linkeille linkki ja solmu kerrallaan kuntakeskuksista lähtien.
2. Jos linkille on jo annettu kuntakoodi, sitä ei muuteta.
3. Algoritmia toistetaan kunnes kaikilla linkeillä ja kaikissa solmuissa on jokin koodi.
4. Kuntarajat asetetaan niille linkeille, joiden päätepisteinä olevissa solmuissa on eri koodit.

Näin tuotetut keinotekoiset kuntarajat eivät tietenkään osu aivan kohdalleen, mutta kalibrointia ajatellen ne sijoittunevat kuitenkin riittävän etäälle kuntakeskuksista ja toisaalta jokaisen sentroidin välille voidaan asettaa kalibrointipiste.

Huhtikuussa esitelty liikennevirtamatriisi kalibroitiin kesällä uudestaan edellä kuvatun menetelmän perusteella haettujen vertailupisteiden avulla. Kalibroitavan matriisin taustalla olleeseen gravitaatiomalliin oli tehty ensimmäisen väliraportin liitteenä esitetty Goldbergerin korjaus ja mallin pakkottamisesta vuoden 1986 henkilöliikennetutkimuksen etäisyysjakaumaan oli luovuttu. Kalibrointi kuntarajoilla pienensi liikennevirtoja odotuksia vastaavasti.

Yksi tapa lisätä vertailupisteiden joukkoa on mallintaa kullakin linkillä sisäisen ja ulkoisen liikenteen suhde. Selittäjinä voisivat olla linkin etäisyys kuntakeskuksesta ja tietyyppi. Aineistoa tällaiseen malliin voidaan saada määräpaikkatutkimuksista. (Linkkien sisäisen ja ulkoisen liikenteen suhteen mallista olisi kalibroinnin lisäksi muutakin hyötyä. Tällöin koko tieverkolla voitaisiin erottaa sisäinen ja ulkoinen liikenne toisistaan. Samoin rakennettaessa uusia linkkejä saataisiin ulkoisen liikenteen avulla arvioitua myös linkin sisäisen liikenteen määrä.)

Vaikka vertailupisteissä kuntien sisäinen ja ulkoinen liikenne voitaisiinkin erottaa toisistaan ja liikennevirrat saataisiin jakautumaan tasaisemmin EMMA-verkkoon sopivien linkkivastusfunktioiden avulla, jää kalibroinnissa kuitenkin askarruttamaan yksi ongelma: kalibroinnissa asetetaan monia malleja päällekkäin (liikenteen sijoittelumalli, vertailupisteiden valintamalli, kalibrointialgoritmi), jolloin hukataan se liikenteen logiikka, joka on vaivoin saatu esiin liikennevirtamallia muodostettaessa. Tuloksena ei ole kalibroitu liikennevirtamalli vaan ainoastaan nykyvirtojen matriisi.

Jotta malliin sisältyvä liikenteen logiikka säilyisi, liikennevirtamalli pitäisi kalibroida uusien liikennevirtahavaintojen perusteella. Uusien havaintojen voidaan antaa vaikuttaa mallin parametreihin. Toistaiseksi tällaista uusiin liikennevirtahavaintoihin perustuvaa kalibrointia ei ole tehty, mutta vuoden 1990 määräpaikkatutkimusaineisto on valmistumassa ja käytettävissä tämän vuoden lopussa.

Liikennevirtamallien ja uusien liikennevirtahavaintojen perusteella voidaan ehkä myös seurata ja arvioida liikennevirtasysteemin kehittymistä. Koko liikennevirtasysteemiä ei tarvitse mallintaa uudestaan joka vuosi vaan riittää testata, onko jo olemassa olevan mallin parametrirakenne muuttunut. Kokonaan uusien mallien tekoa on syytä harkita vasta silloin, jos uudet havainnot eivät lainkaan sovi jo olemassa oleviin malleihin. Liitteessä 5 on esitetty menetelmä parametrirakenteen säilymisen testaamiseksi.

Liikenteen tulevaisuuden arvioimiseksi on tehtävä oletuksia mallien parametrirakenteesta. Niin kauan kuin yhdyskuntarakenne säilyy nykyisenlaisena, tehtävä ei liene ylivoimainen. Yhdyskuntarakenteen ja liikkumistapojen muuttuessa radikaalisti myös mallien parametrirakenne särkyä.

3. Projektin jatko

Kuten edellä kirjoitetusta on käynyt ilmi, sekä keskimääräisen liikenteen mallien että EMMA-verkon kehittelyssä on vielä runsaasti tehtävää. Kootaan esille tulleet lisäselvitystä vaativat asiat vielä yhteen luetteloksi:

Malli:

1. Vyöhykeseiteemin etsimisen automatisointi
2. Mallinnetun virtamatriisin symmetrisyysongelma
3. Lyhyen matkan liikenne eli naapurikuntien väliset virrat
4. Liikennevirtamallin kalibrointi uusien liikennevirtahavaintojen parusteella

EMMA-verkko:

1. Liikennemäärästä riippuvat linkkien vastusfunktiot
2. Kuntien sisäisen ja ulkoisen liikenteen suhteen mallintaminen linkeillä kalibrointia varten.

Toistaiseksi on voitu paneutua vain henkilö- ja pakettiautojen kuntien välistä keskimääräistä arkivuorokausiliikennettä kuvaavien mallien kehittelyyn. Niissä on päästy jo varsin pitkälle ja alkaa olla mahdollisuuksia laajentaa tarkastelua seuraaviin mallikokonaisuuksiin:

1. Lyhyen matkan mallit: kuntien sisäinen liikenne
2. Ruuhkaliikenteen mallit: työmatkaruuhka, viikonloppuruuhka
3. Eri matkatyyppien mallit
4. Tavaraliikenne
5. Nykyliikenteen simulointi kokonaisuutena
6. Liikenteen tulevaisuus: yhdyskuntarakenteen muutoksen vaikutus liikennevirtoihin

Lähteet

Spiess: A Gradient Approach for the O-D Matrix Adjustment Problem, Centre de recherche sur les transports (CRT-693), Montreal, 1990

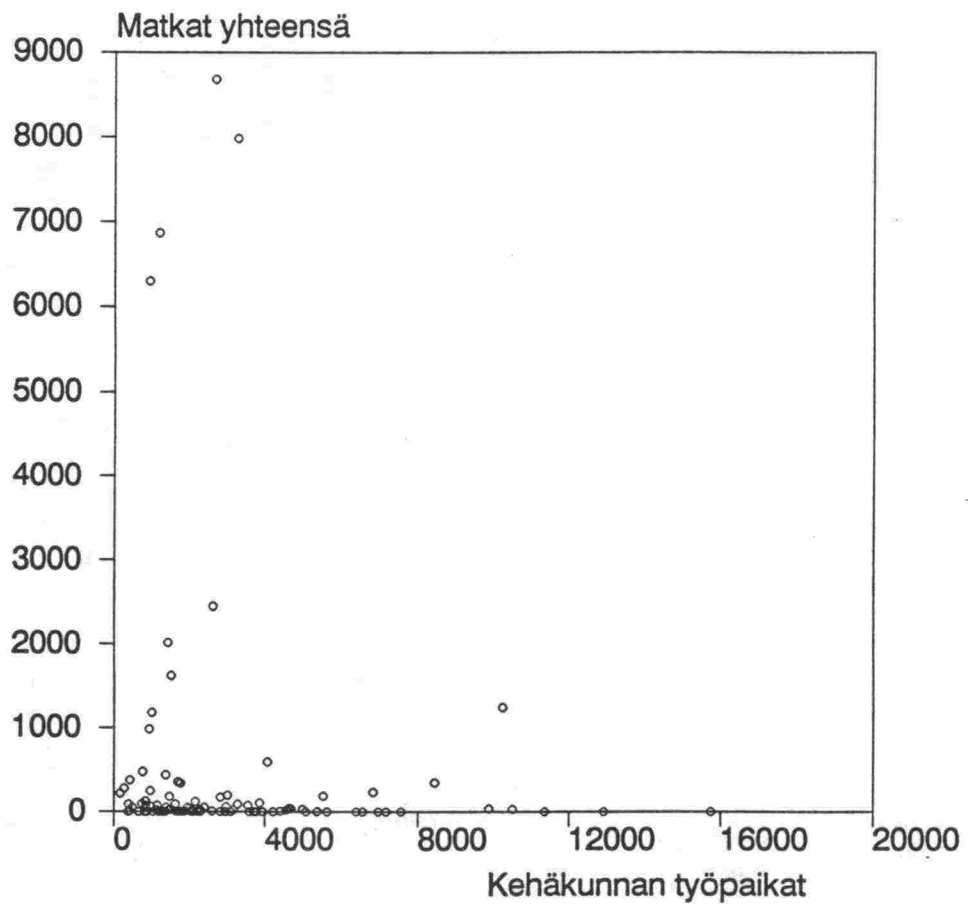
Autojen nopeudet pääteillä vuonna 1989, Tielaitos, tutkimuskeskus, Helsinki 1990

Henkilöliikennetutkimus 1986, Tie- ja vesirakennushallitus, talousosasto-tutkimustoimisto, Helsinki, 1988

Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirin EMMA-tieverkon ylläpitojärjestelmän parantaminen, Tielaitos - Uudenmaan tiepiiri & Finnmap Oy, Helsinki 1990

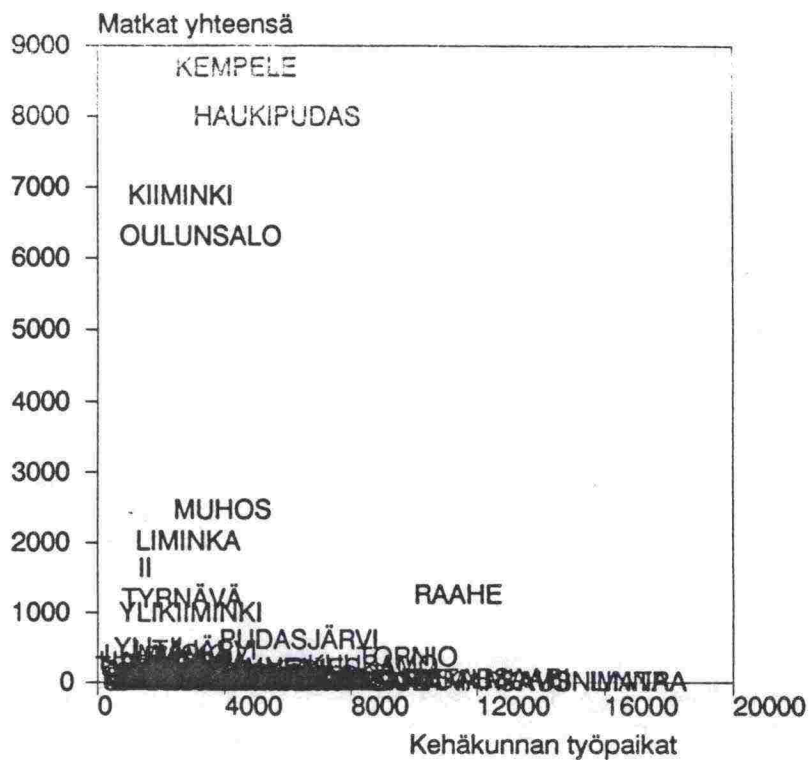
Kuntien välinen henkilö- ja pakettiautoliikenne
- liikennemalli ja liikenneverkko (Liikennevirtaprojektin ensimmäinen väliraportti),
Tiehallitus, tutkimuskeskus & Finnmap Oy, Helsinki, 1990
(julkaisematon)

OULU: MATKAT KEHÄKUNNAN KOON FUNKTIONA



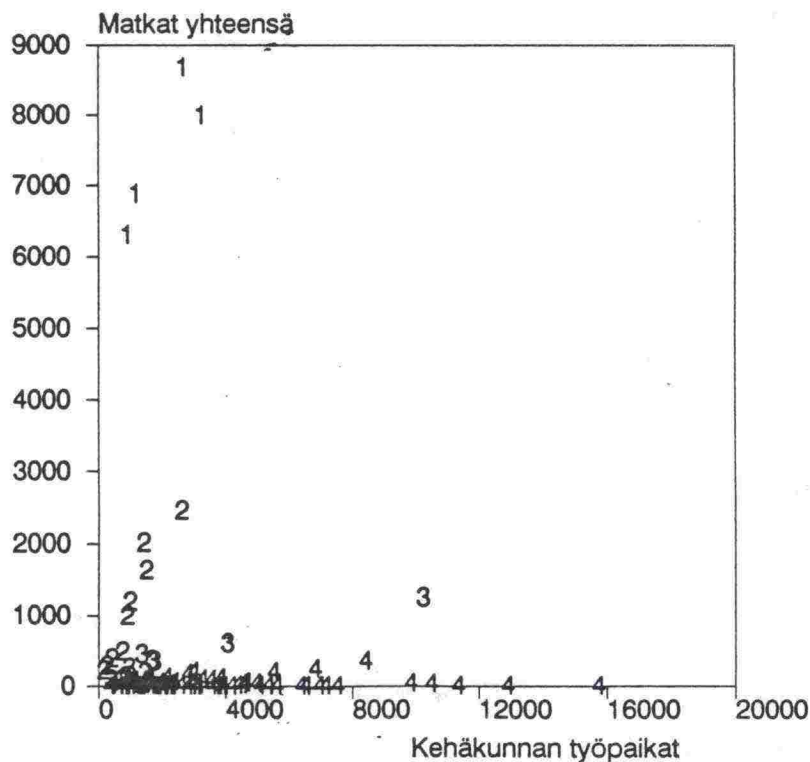
KUVA 1

OULU: MATKAT KEHÄKUNNAN KOON FUNKTIONA



KUVA 2

OULU: MATKAT KEHÄKUNNAN KOON FUNKTIONA

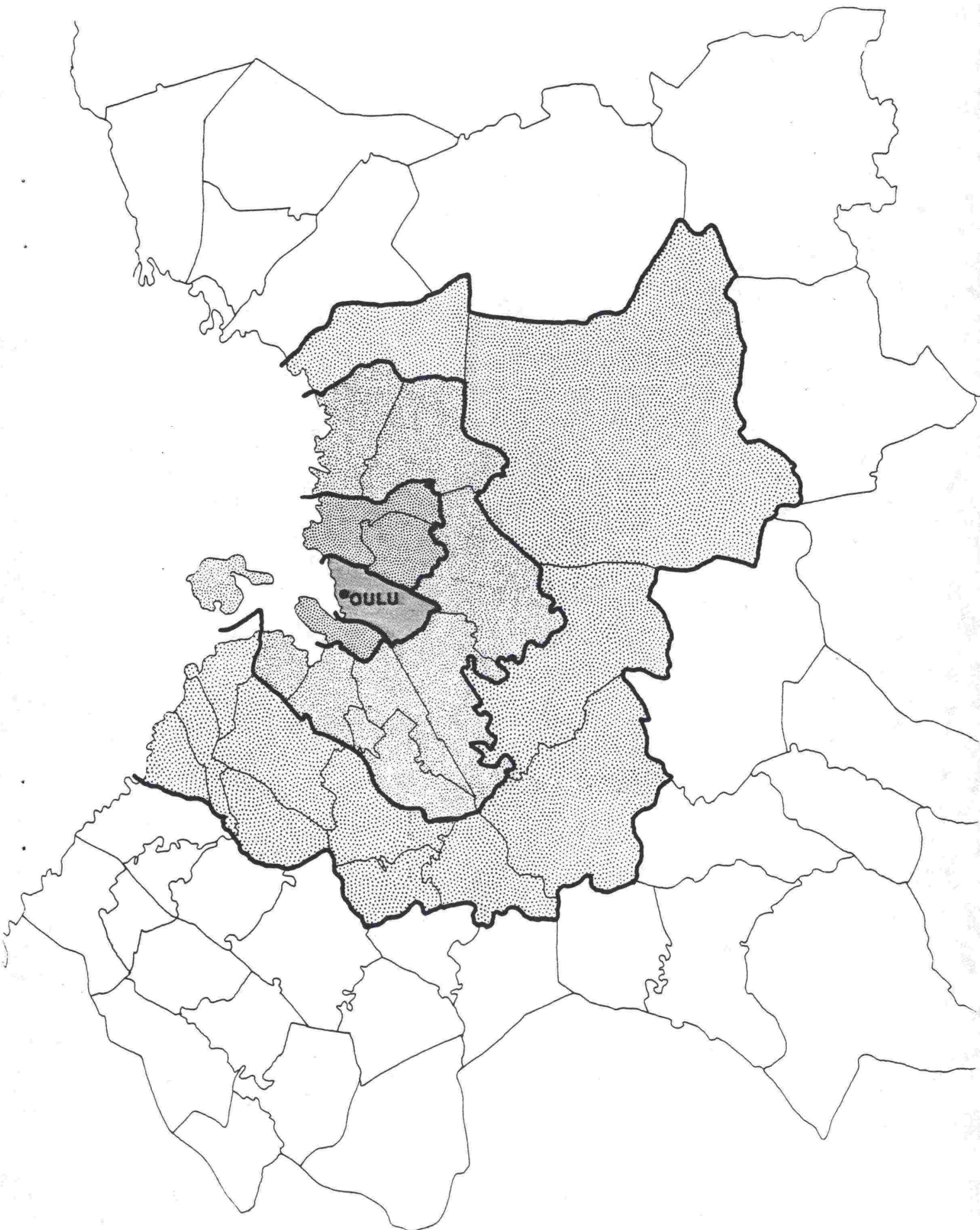


Tunnus = Vyöhykkeen numero

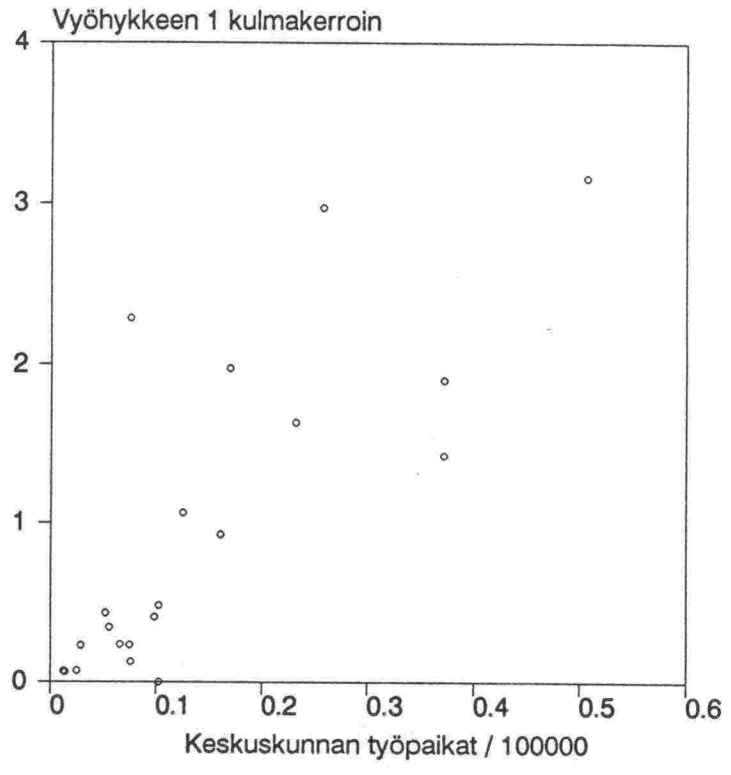
KUVA 3

OULUN VYÖHYKEJÄRJESTELMÄ

KUVA 4

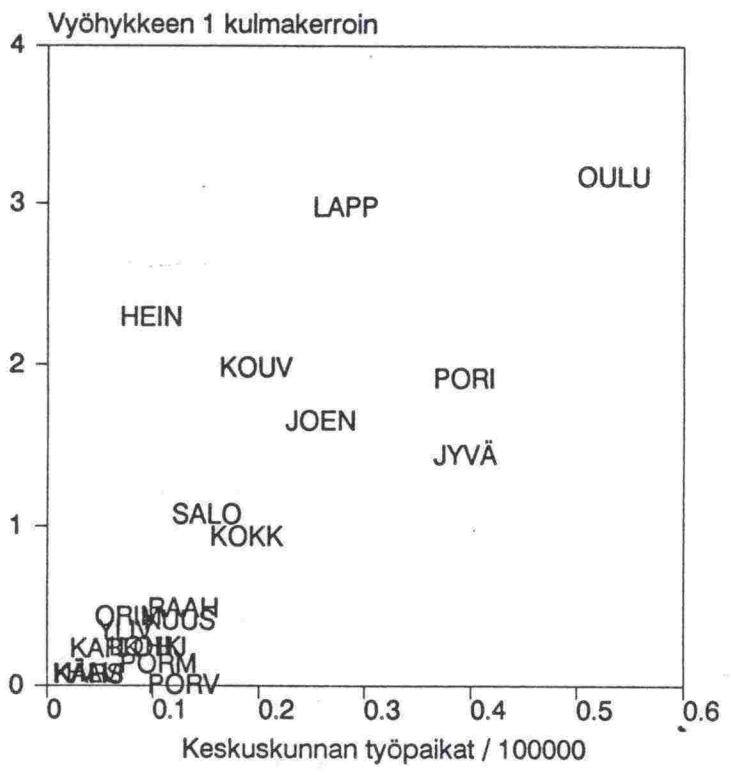


VYÖHYKKEEN 1 KULMAKERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



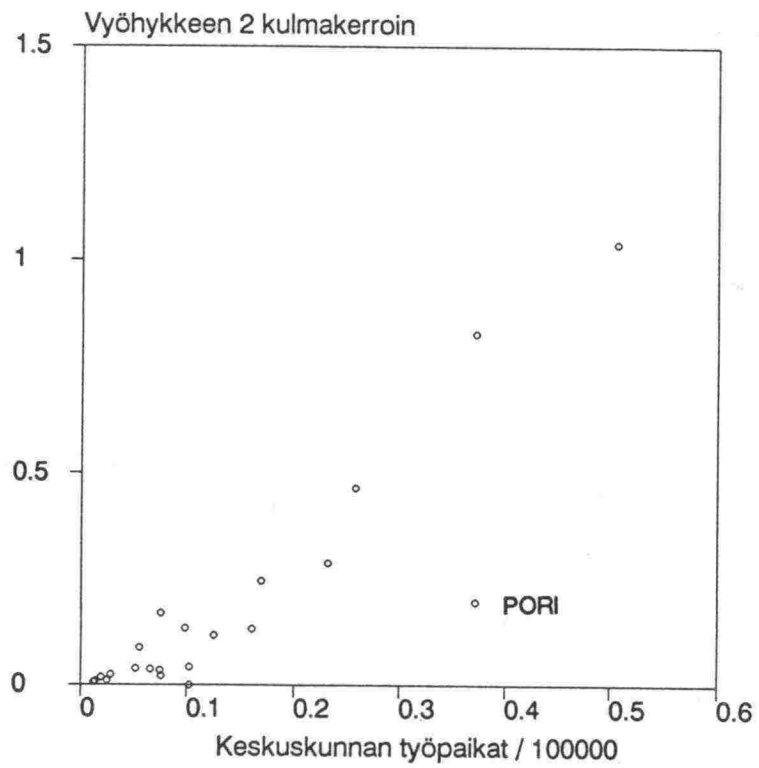
KUVA 5

VYÖHYKKEEN 1 KULMAKERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



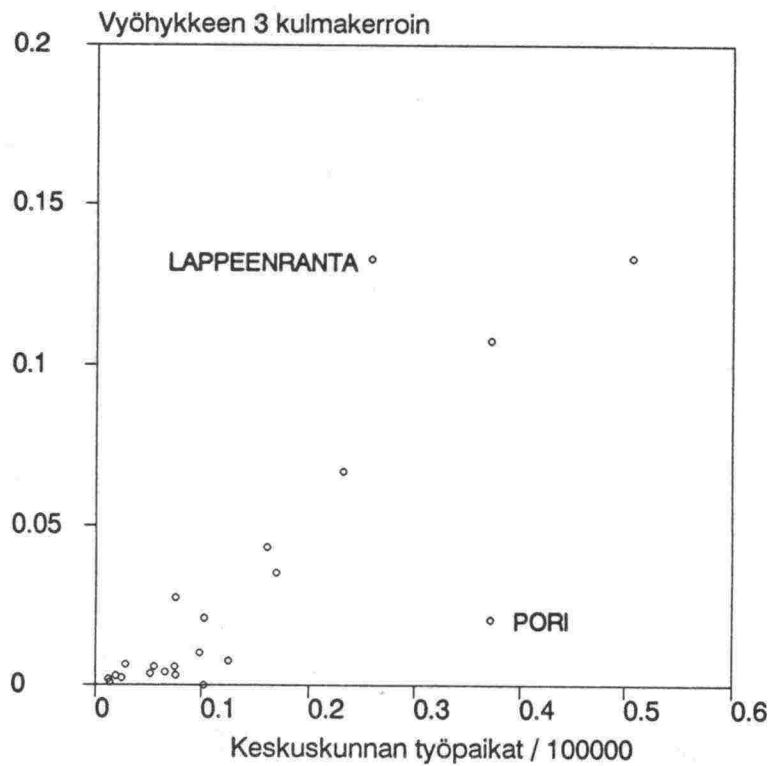
KUVA 6

VYÖHYKKEEN 2 KULMAKERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



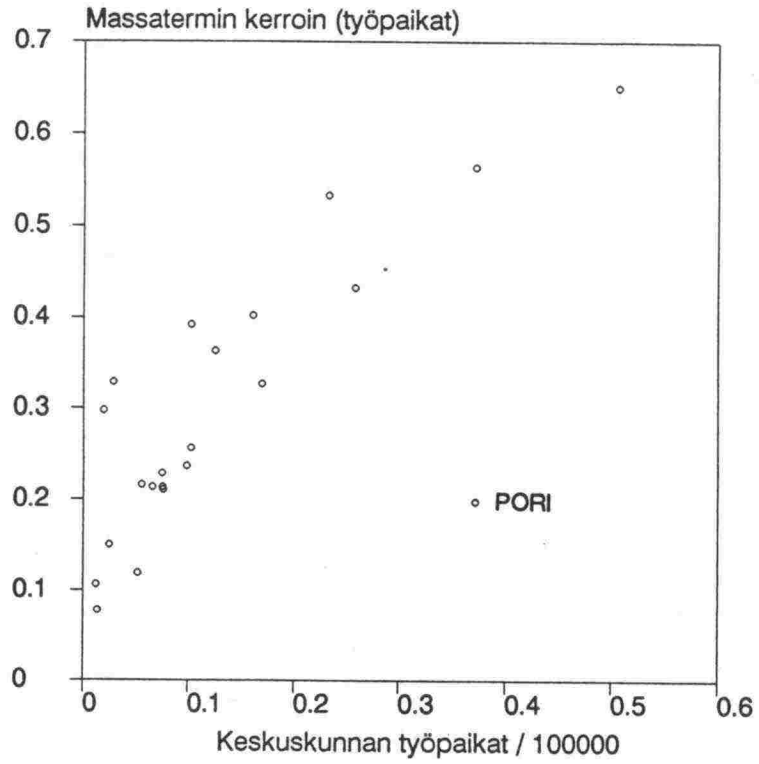
KUVA 7

VYÖHYKKEEN 3 KULMAKERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



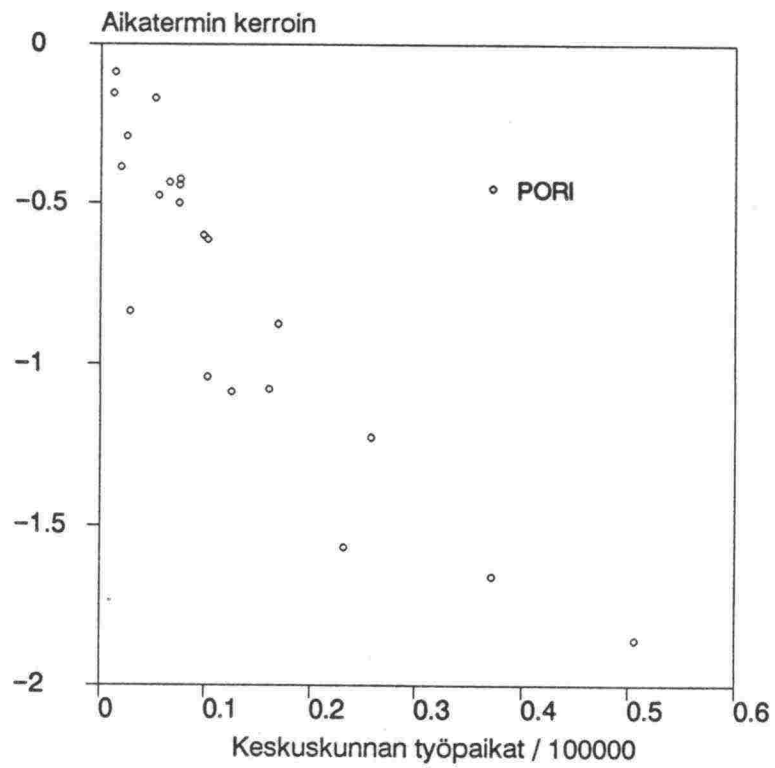
KUVA 8

GRAVITAATIOMALLI: MASSATERMIN KERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



KUVA 9

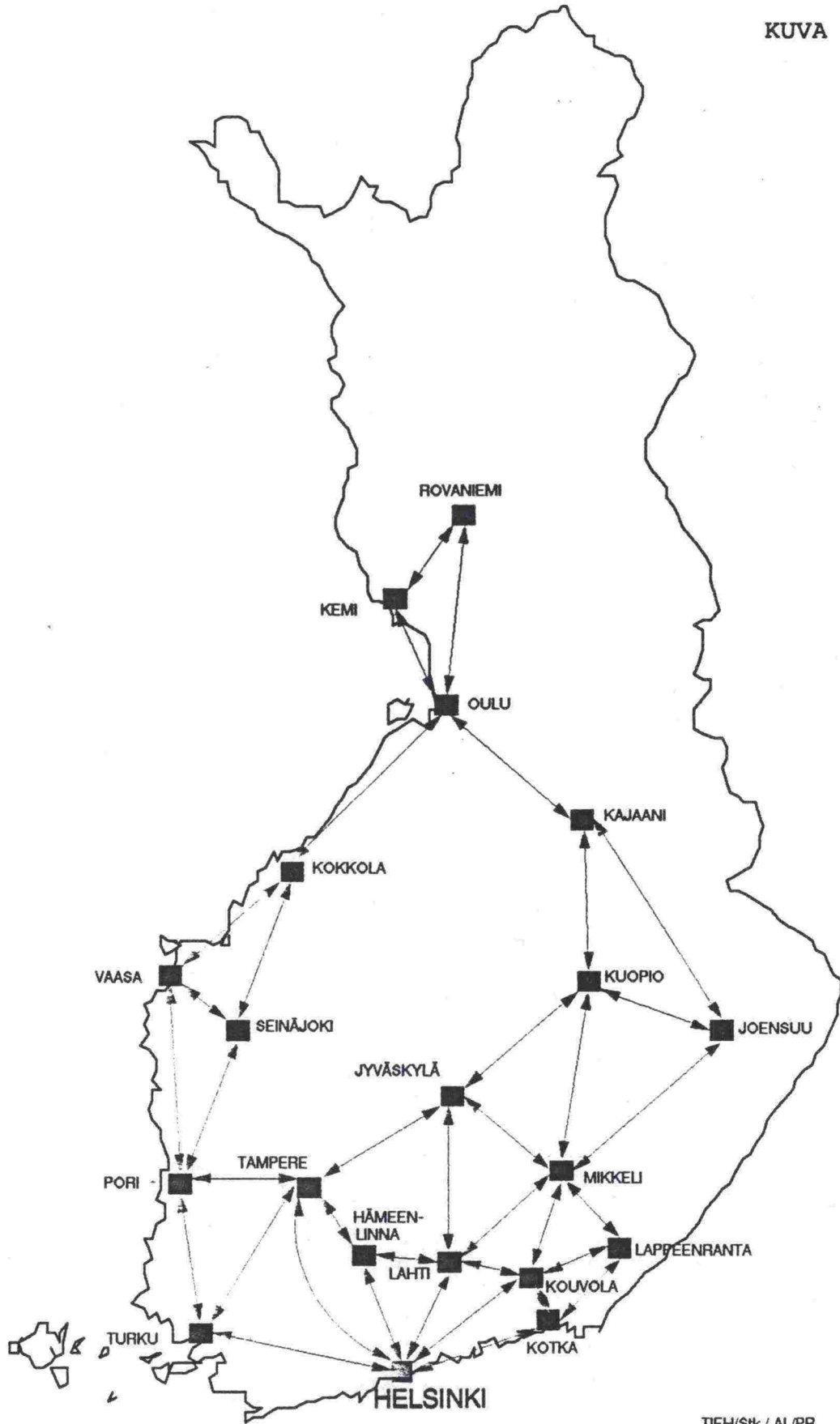
GRAVITAATIOMALLI: AIKATERMIN KERROIN KESKUSKUNNAN KOON FUNKTIONA



KUVA 10

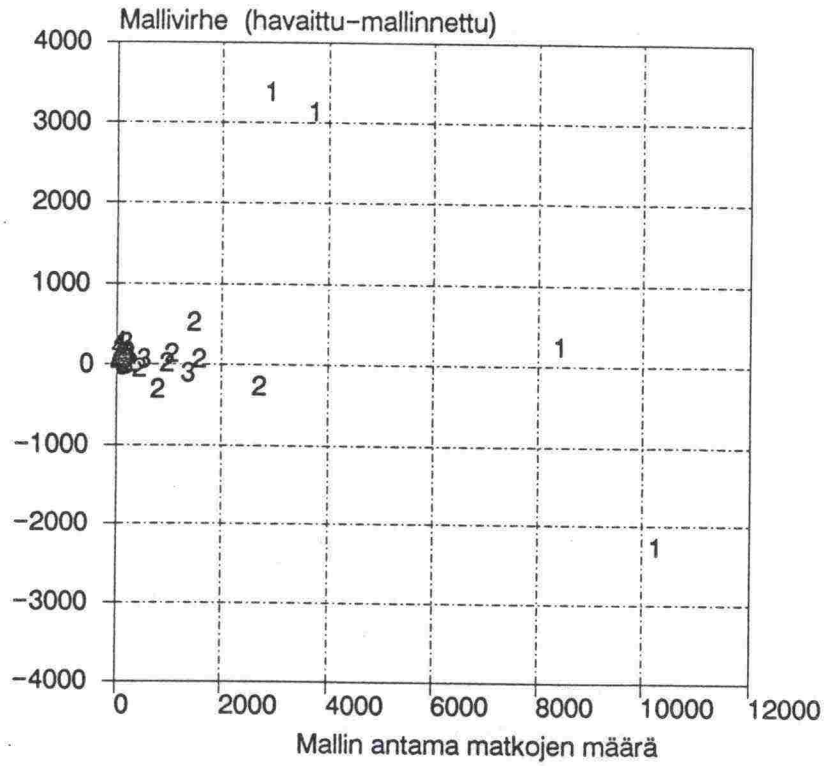
Tärkeimmät aluekeskusten väliset kommunikointisuhteet

KUVA 11



TIEH/sik / AL/PR

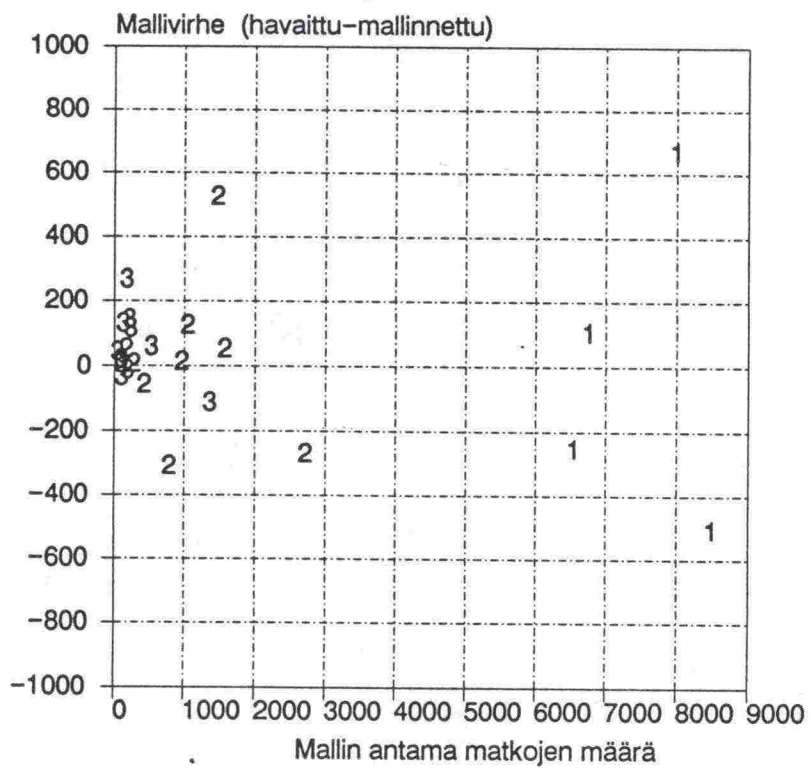
OULU: MALLIN HYVYYDEN ARVIOINTI



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 12

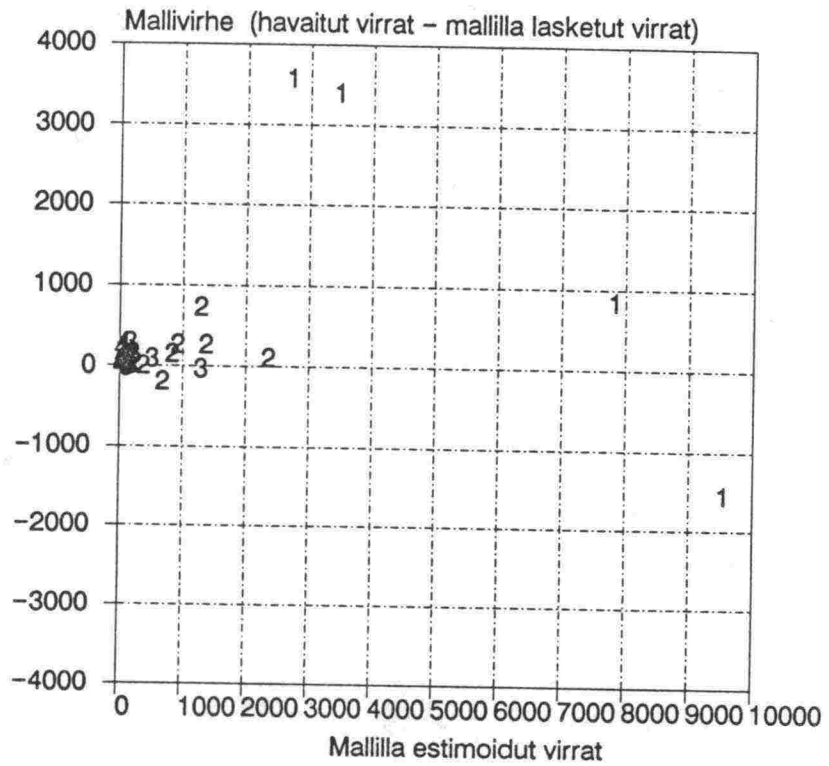
OULU: MALLIN HYVYYDEN ARVIOINTI (mukana 1. vyöhykkeen taso-dummy)



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 13

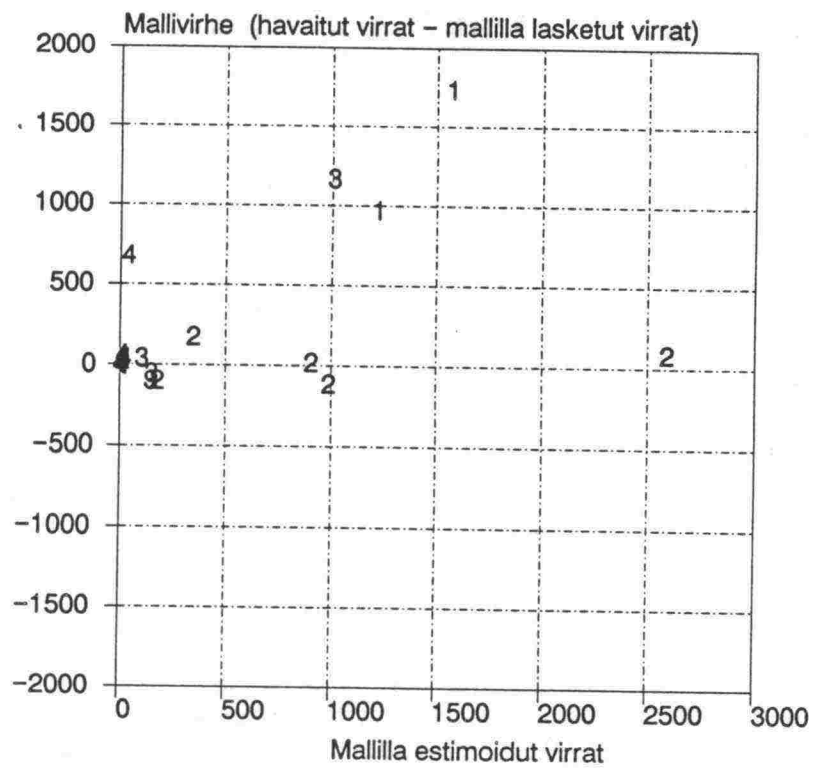
KENTTÄMALLI (lopputulos): OULU



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 14

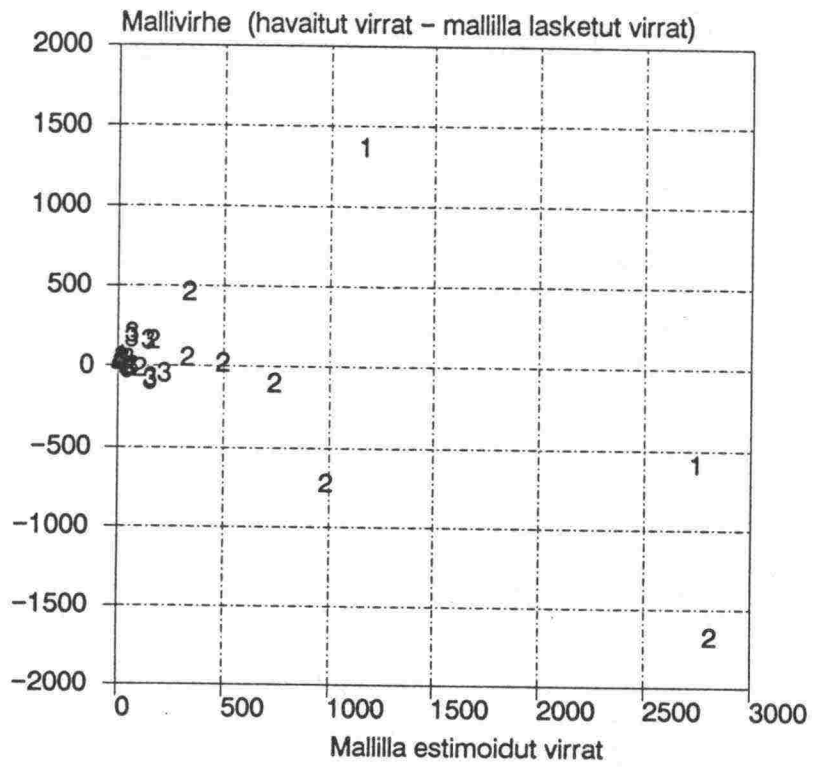
KENTTÄMALLI (lopputulos): LAPPEENRANTA



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 15

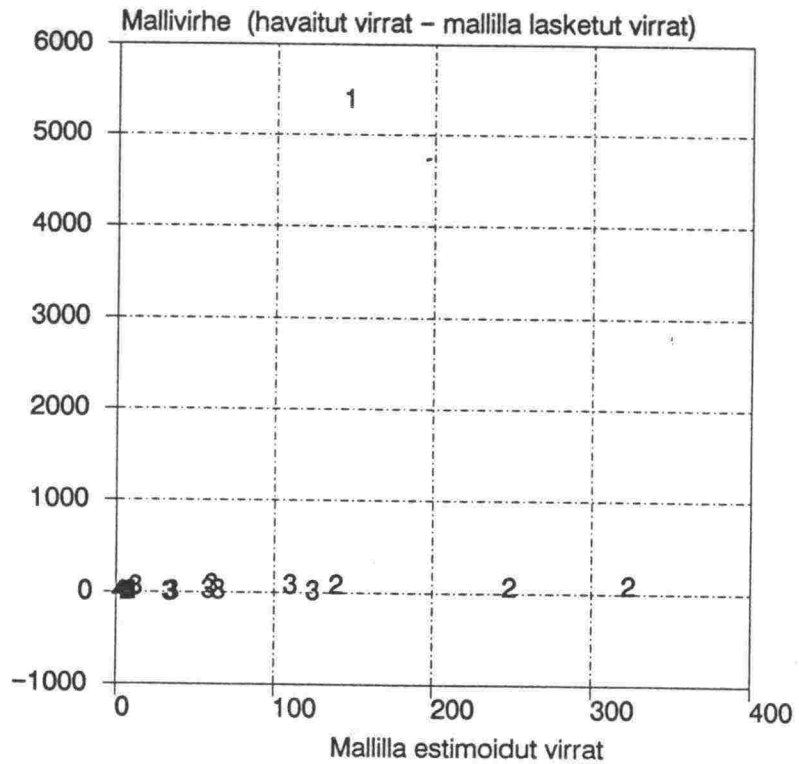
KENTTÄMALLI (lopputulos): KOKKOLA



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 16

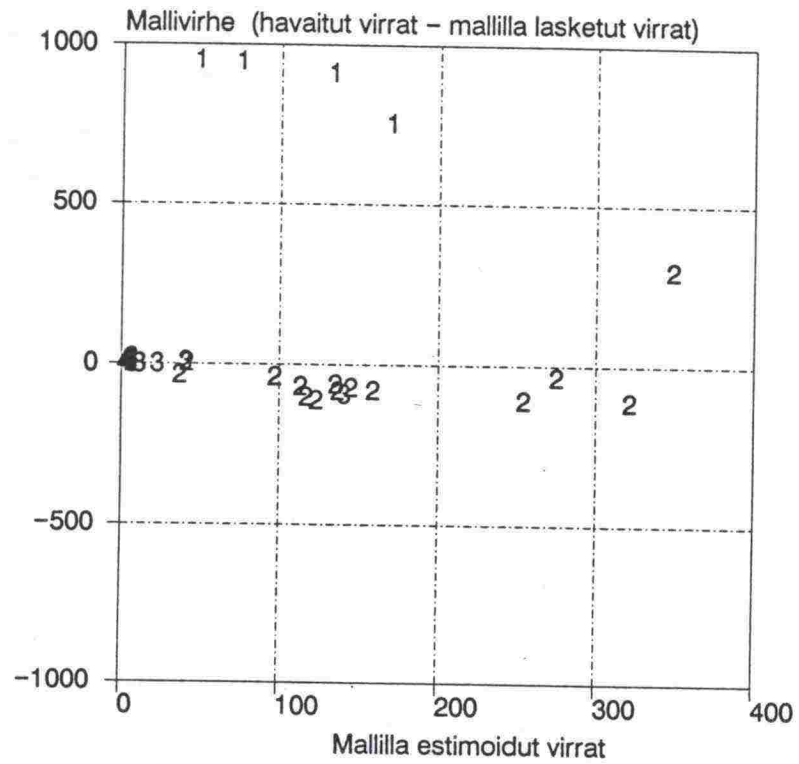
KENTTÄMALLI (lopputulos): HEINOLA



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 17

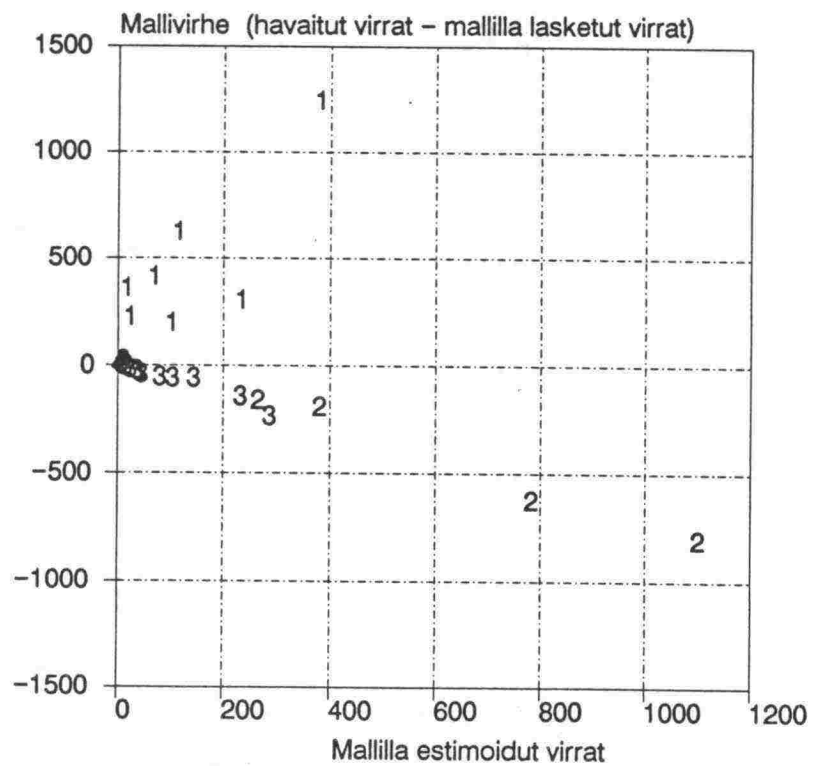
KENTTÄMALLI (lopputulos): YLIVIESKA



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 18

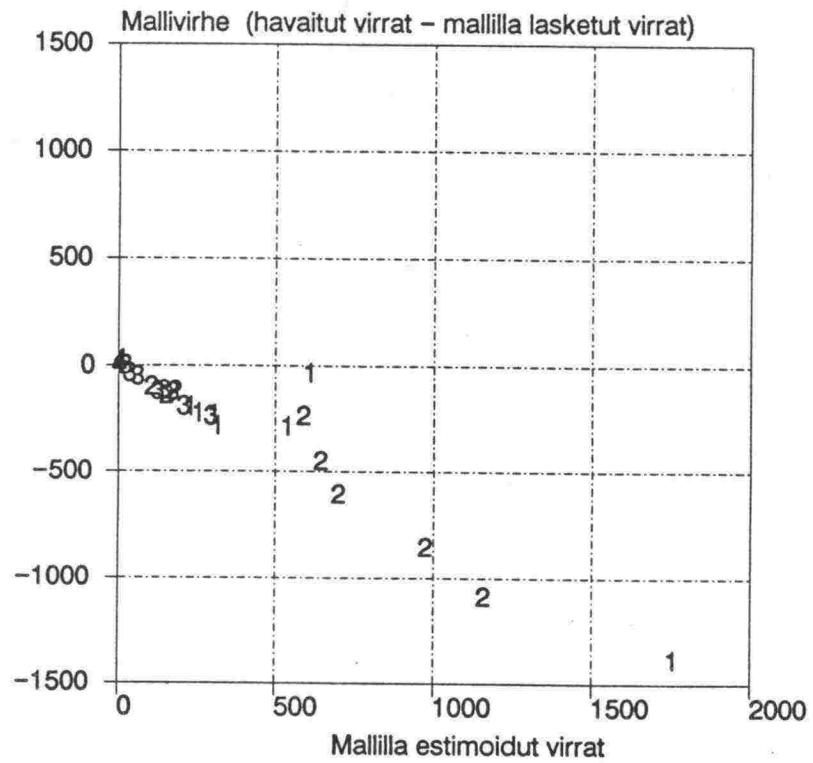
KENTTÄMALLI (lopputulos): LOHJA



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 19

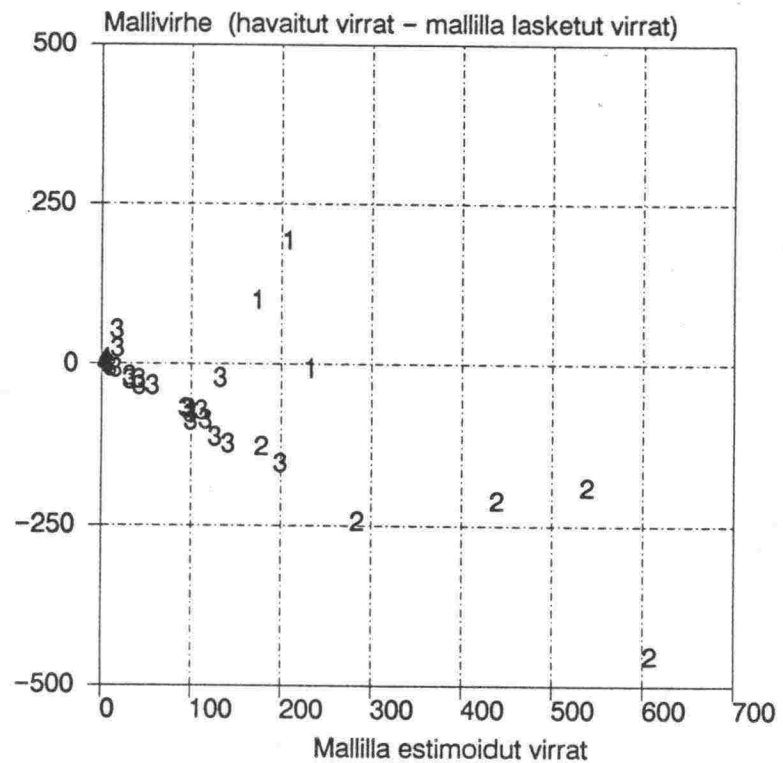
KENTTÄMALLI (lopputulos): PORVOON MLK



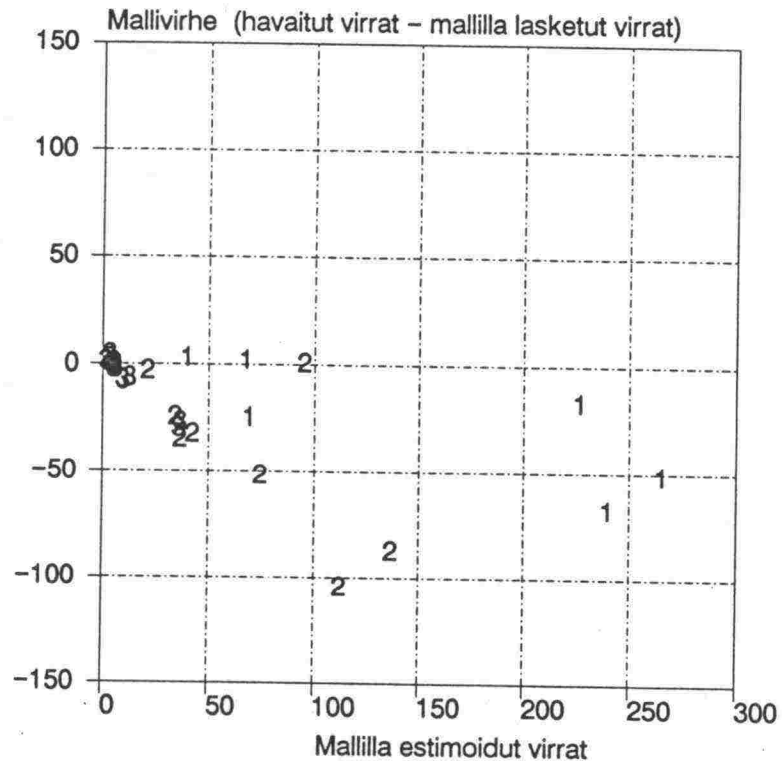
Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 20

KENTTÄMALLI (lopputulos): ORIMATTILA



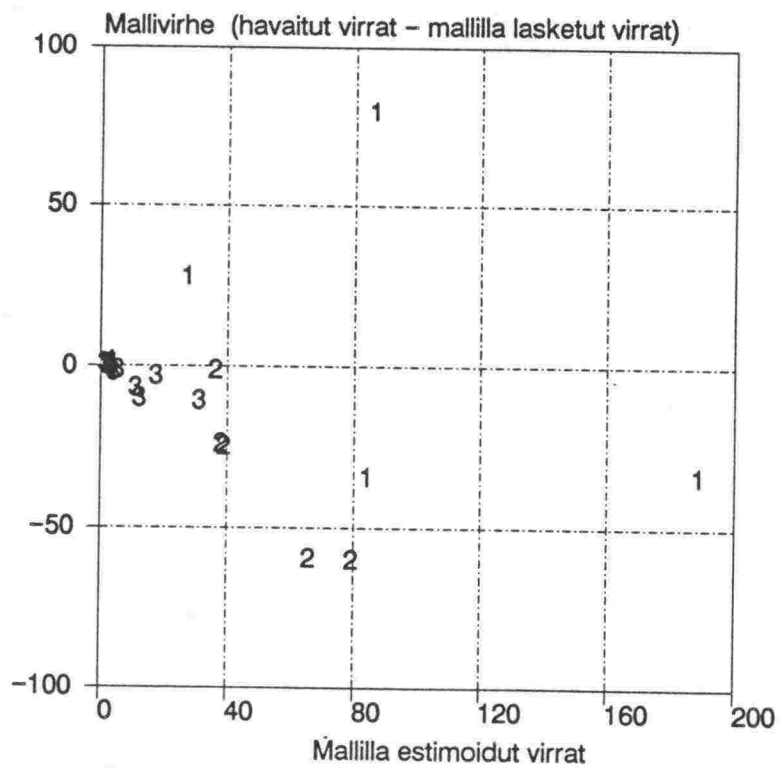
KENTTÄMALLI (lopputulos): KÄRSÄMÄKI



Tunnus = vyöhykkeen numero

KUVA 22

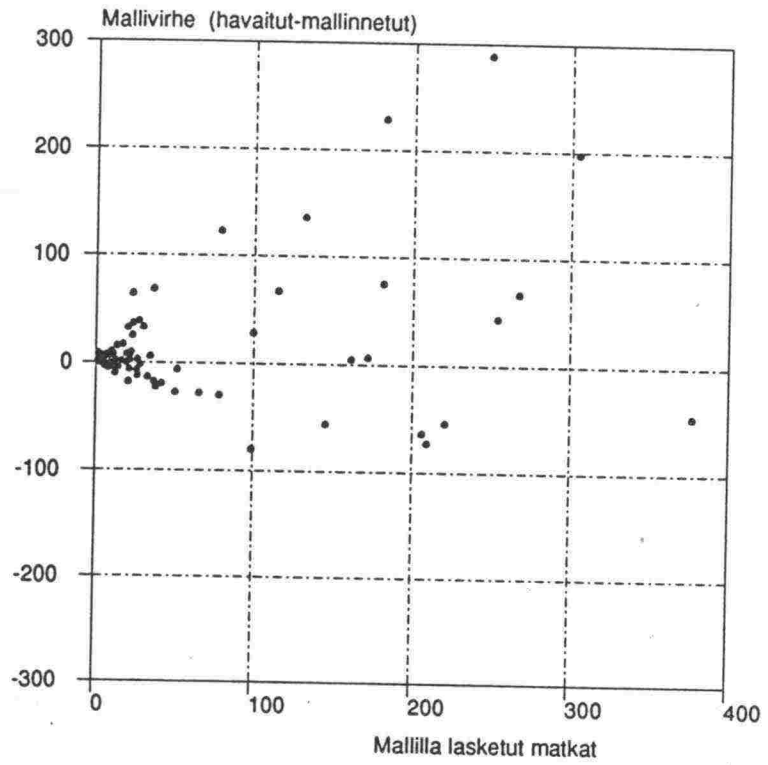
KENTTÄMALLI (lopputulos): KALVIA



Tunnus = vyöhykkeen numero

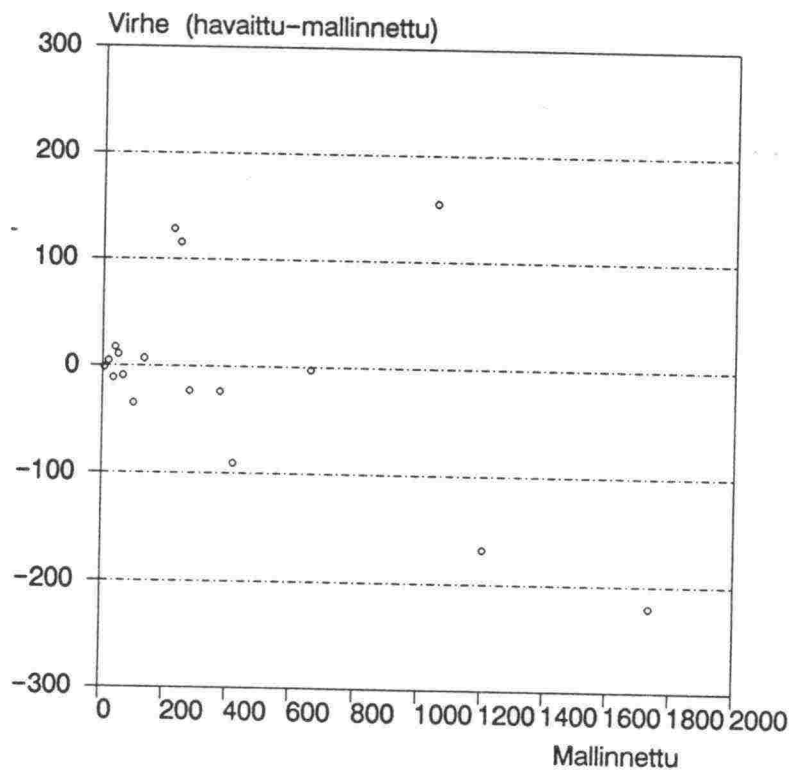
KUVA 23

MALLI: ALUEKESKUS - ALUEKESKUS



KUVA 24

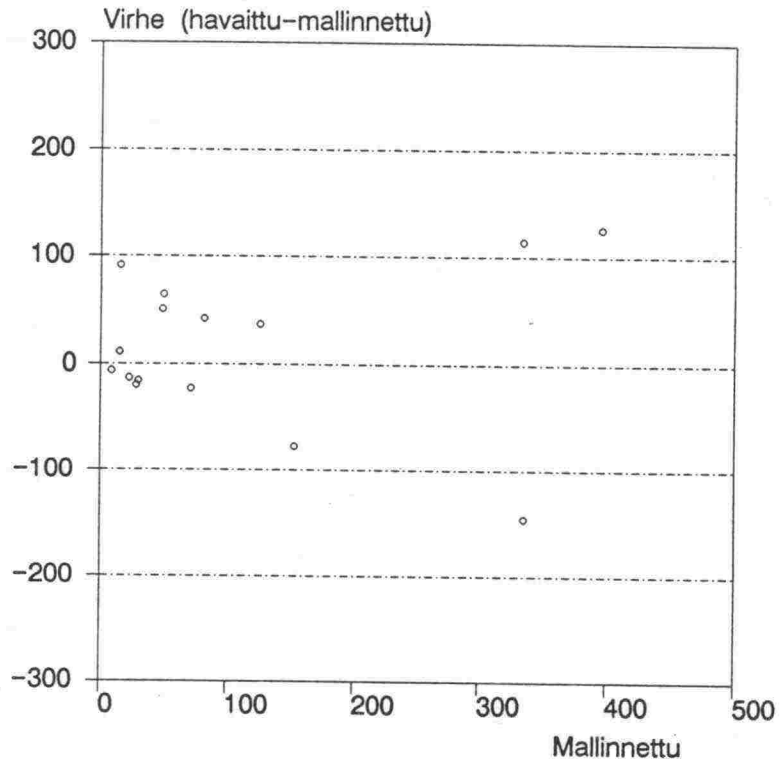
MALLI: HELSINKI - ALUEKESKUKSET



Gravitaatiomalli (erottelu: lähialue - kaukoalue)

KUVA 25

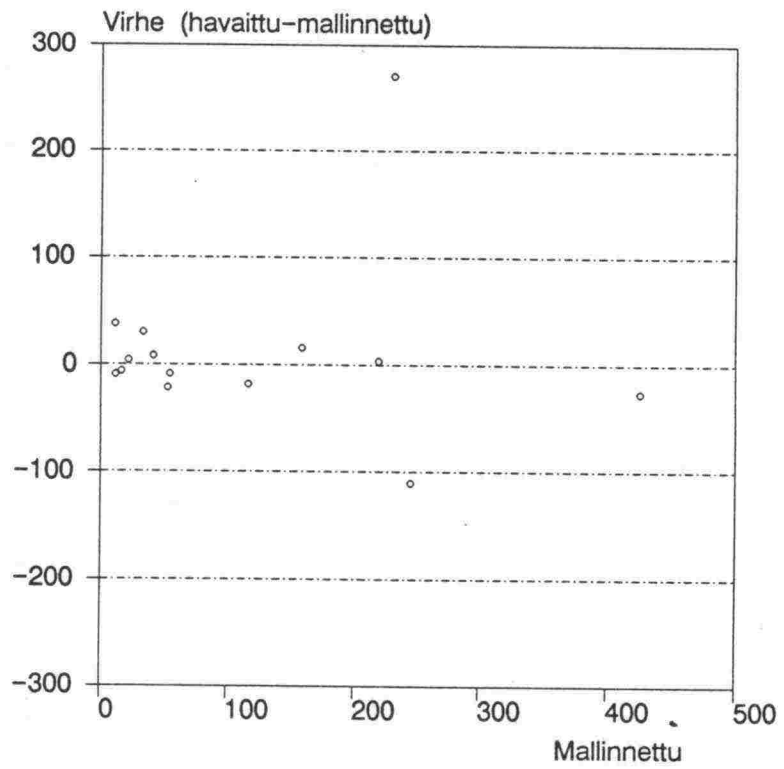
MALLI: ESPOO - ALUEKESKUKSET



Gravitaatiomalli (erottelu: lähialue-kaukoalue)

KUVA 26

MALLI: VANTAA - ALUEKESKUKSET



Gravitaatiomalli (erottelu: lähialue - kaukoalue)

KUVA 27

Aineistossa olevat kehät

Pääkaupunkiseutu:

Helsinki	1988
Espoo	1988
Vantaa	1988
Kauniainen	1988

Aluekeskukset:

Jyväskylä	1989
Oulu	1989
Joensuu	1988
Kouvola	1988
Pori	1988
Kokkola	1987
Lappeenranta	1987

Muut kaupungit:

Karkkila	1989
Porvoo	1989
Salo	1989
Kuusankoski	1988
Raahe	1988
Ylivieska	1988
Heinola	1987
Lohja	1987

Maaseutukunnat:

Halikko	1989
Kälviä	1989
Kärsämäki	1989
Porvoon maalaiskunta	1989
Lapinlahti	1988
Pattijoki	1988
Lohjan kunta	1987
Orimattila	1987

Vyöhykemalli (Oulu)

Vyöhykemalli vyöhykkeille 1-3:

Malli on muotoa $MAY = V1 * VYÖHYKE1 + V2 * VYÖHYKE2 + V3 * VYÖHYKE3$

missä $MAY = \text{matkat}(ij) + \text{matkat}(ji)$ vuonna 1989
 $VYÖHYKE1 = \begin{cases} \text{kentässä olevan kunnan työpaikat, jos kunta} \\ \text{sijaitsee vyöhykkeellä 1} \\ 0 \text{ muulloin} \end{cases}$

Estimoidut parametrit mallille OULUVYÖ:

$V1 = 3.16429$ (0.248266)
 $V2 = 1.03997$ (0.296585)
 $V3 = 0.133288$ (0.0953841)

$n=25$ $rss=27052548.207723$ $R^2=0.83964$ $nf=10$

Gravitaatiomalli Oulun ja neljännen vyöhykkeen kuntien välille:

Malli on muotoa $LMAY = T * LTY + A * LAIKA$

missä $LMAY = \log(\text{matkat}(ij) + \text{matkat}(ji))$
 $LTY = \log(\text{työpaikat}(i)) + \log(\text{työpaikat}(j))$
 $LAIKA = \log(\text{matka-aika}(\text{min}))$

Matka-aika lasketaan nopeimman reitin perusteella

Estimoidut parametrit mallille OULUGRAV:

$T = 0.650549$ (0.0524571)
 $A = -1.85796$ (0.189227)

$n=89$ $rss=71.722284$ $R^2=0.52599$ $nf=7$

Vyöhykemalli, lisätty 1. vyöhykkeen taso-dummy:

Malli on muotoa $MAY = TA * TASO1 + V1 * VYÖHYKE1 + V2 * VYÖHYKE2 + V3 * VYÖHYKE3$

missä muuttujat ovat kuten edellä ja
 $TASO1 = \begin{cases} 1, \text{ jos kentässä oleva kunta on vyöhykkeellä 1} \\ 0 \text{ muulloin} \end{cases}$

Estimoidut parametrit mallille OULUVYÖH+TASO:

$TA = 5786.68$ (294.105)
 $V1 = 0.834571$ (0.131692)
 $V2 = 1.03997$ (0.0688592)
 $V3 = 0.133288$ (0.0221457)

$n=25$ $rss=1391975.559119$ $R^2=0.99175$ $nf=16$

Vyöhykeparametrien ja gravitaatioparametrien mallit

Vyöhykeparametrit:

Vyöhykeparametrien mallit: $Vv = Pv * ty(k)$

missä Vv = Vyöhykettä v approksimoivan suoran kulmakerroin
 Pv = Vyöhykettä v kuvaava parametri
 $ty(k)$ = Keskuskunnan koko (työpaikat (v. 1985) / 100000)

Estimoidut parametrit mallille VYÖHYKE 1:

 $P1 = 5.80402$ (0.319462) $n=17$ $rss=0.889291$ $R^2=0.92322$ $nf=4$

Estimoidut parametrit mallille VYÖHYKE 2:

 $P2 = 1.77529$ (0.121497) $n=21$ $rss=0.190777$ $R^2=0.87728$ $nf=4$

Estimoidut parametrit mallille VYÖHYKE 3:

 $P3 = 0.248682$ (0.0154986) $n=20$ $rss=0.002644$ $R^2=0.90003$ $nf=4$

Gravitaatioparametrit:

Massatermin $\log(\text{ty}(k)) + \log(\text{ty}(v))$ kertoimen malli: $M = m * \text{ty}(k) + n$

Regression diagnostics on data PARA: N=21

Regressand M § of regressors=2 (Constant term included)

Variable	Regr.coeff.	Std.dev.	t
Constant	0.1663191	0.0228361	7.2832
ty(k)	1.0768919	0.1301814	8.2722

Variance of regressand M=0.023529965 df=20

Residual variance=0.005382587 df=19

R=0.8847 R²=0.7827

Aikatermin $\log(ai)$ kertoimen malli: $A = a * \text{ty}(k) + b$

Regression diagnostics on data PARA: N=21

Regressand A § of regressors=2 (Constant term included)

Variable	Regr.coeff.	Std.dev.	t
Constant	-0.2969545	0.0717167	-4.1407
ty(k)	-3.6415875	0.4088339	-8.9073

Variance of regressand A=0.261025794 df=20

Residual variance=0.053086835 df=19

R=0.8982 R²=0.8068

ty(k) = keskuskunnan työpaikat / 100000 (v. 1985)

a,b,m,n = vakioita

Huom! Poikkeavat havainnot on jätetty malleista pois.

Gravitaatiomallit:

Aluekeskukset - Aluekeskukset
 Helsinki - Aluekeskukset
 Espoo - Aluekeskukset
 Vantaa - Aluekeskukset

Malli: Aluekeskukset - Aluekeskukset

Malli on muotoa $LMA = T \cdot LTY + L \cdot LAIKAL + K \cdot LAIKAK$

missä $LMA = \log(\text{matkat}(ij) + \text{matkat}(ji))$ vuoden 1989 taso
 $LTY = \log(\text{työpaikat}(i)) + \log(\text{työpaikat}(j))$ vuosi 1985
 $LAIKAL = \begin{cases} \log(\text{matka-aika (min)}) & \text{,kun kunnat lähialueella} \\ 0 & \text{muulloin} \end{cases}$
 $LAIKAK = \begin{cases} \log(\text{matka-aika (min)}) & \text{,kun kunnat kaukoalueella} \\ 0 & \text{muulloin} \end{cases}$

Lähialueet ja kaukoalueet on määritelty kuvan 11 kartassa
 Matka-aika tarkoittaa nopeimman reitin matka-aikaa minuut-
 teina

Estimoidut parametrit mallille ALUEKESKUS:

$T = 0.636237$ (0.0438722)
 $L = -1.6882$ (0.192589)
 $K = -1.92099$ (0.163521)

$n=89$ $rss=38.539825$ $R^2=0.80593$ $nf=11$

Malli: Helsinki - aluekeskukset

Malli on muotoa $LMA = T \cdot LTY + L1 \cdot LAIKAL1 + L2 \cdot LAIKAL2 + K \cdot LAIKAK$

missä muuttujat ovat kuten mallissa aluekeskus - aluekeskus ja
 $LAIKAL1 = \log(\text{matka-aika})$, kun kunnat lähialueella $l=1,2$

Estimoidut parametrit mallille HELSINKI:

$T = 0.856139$ (0.0561952)
 $L1 = -2.98069$ (0.292208)
 $L2 = -2.82946$ (0.27299)
 $K = -2.75246$ (0.228558)

$n=17$ $rss=1.644268$ $R^2=0.96066$ $nf=16$

Malli: Espoo - aluekeskukset

Malli $LMA = T * LTY + L1 * LAIKAL1 + L2 * LAIKAL2 + K * LAIKAK$

missä muuttujat ovat samat kuin mallissa Helsinki - aluekeskukset

Estimoidut parametrit mallille ESPOO:

$T = 0.640203$ (0.244894)

$L1 = -1.8965$ (1.16547)

$L2 = -1.8087$ (1.16098)

$K = -1.88894$ (0.951447)

$n=15$ $rss=10.969649$ $R^2=0.64727$ $nf=16$

Malli: Vantaa - aluekeskukset

Malli on muotoa $LMAY = T * LTY + L1 * LAIKAL1 + L2 * LAIKAL2 + K * LAIKAK$

missä muuttujat ovat samat kuin mallissa Helsinki - aluekeskukset

Estimoidut parametrit mallille VANTAA:

$T = 0.641668$ (0.199868)

$L1 = -1.82176$ (0.958446)

$L2 = -1.89746$ (0.931062)

$K = -1.90214$ (0.776691)

$n=14$ $rss=5.858794$ $R^2=0.76819$ $nf=16$

Liite 5: Parametrirakenteen säilymisen testaaminen

Aikasarja-analyysissä on kehitetty erilaisia testejä, joilla voidaan testata ajan kuluessa tapahtuvaa mallin rakenteen muutosta. Seuraavaksi esitetään kaksi F-jakaumaan perustuvaa testiä. Molemmissa tapauksissa oletetaan, että havaintomatriisi voidaan jakaa kahteen osaan: ennen jotain hetkeä saadut ja ko. hetken jälkeen saadut havainnot. Testattavana oleva hypoteesi on seuraava:

H_0 : Parametrivektori on sama kummallakin periodilla

Rajoittamaton malli on muotoa

$$\begin{cases} Y_t = X_t \beta_1 + \epsilon_t & t = 1, \dots, T_1 \\ Y_t = X_t \beta_2 + \epsilon_t & t = T_1+1, \dots, T_1+T_2 \end{cases}$$

ja nollahypoteesi siis

$$H_0: \beta_1 = \beta_2$$

Testisuure on tällöin

$$F = \frac{(SSE_0 - SSE)/k}{SSE/(T-2k)}$$

missä SSE_0 = sidotun mallin ($\beta_1 = \beta_2$) jäännösneliösumma
 SSE = vapaan mallin jäännösneliösumma
 k = selittävien muuttujien lukumäärä
 $T = T_1 + T_2$ havaintojen lukumäärä koko aineistossa

Jos H_0 on voimassa, testisuure on F-jakautunut vapausastein k , $T-2k$

Jotta testisuure voitaisiin muodostaa, on oltava $T_1 > k$ ja $T_2 > k$. Jos $T_2 \leq k$, on käytettävä ns. Chow-testiä.

Chow-testissä muodostetaan kaksi mallia

$$\begin{cases} Y_t = X_t \beta_1 + \epsilon_t & t = 1, \dots, T_1 & \text{(vapaa)} \\ Y_t = X_t \beta_1 + \epsilon_t & t = 1, \dots, T_1+T_2 & \text{(sidottu)} \end{cases}$$

Testisuure on nyt

$$F = \frac{(SSE^* - SSE)/T_2}{SSE/(T_1 - k)}$$

missä SSE^* = vapaan mallin jäännösneliösumma
 SSE = sidotun mallin jäännösneliösumma
 T_2 = uuden aineiston havaintojen lukumäärä
 T_1 = vanhan aineiston havaintojen lukumäärä
 k = selittävien muuttujien lukumäärä

Jos H_0 on voimassa, testisuure on F-jakautunut vapausastein $T_2, T_1 - k$

Lähde: Harvey: *Econometric Analysis of Time Series*,
Philip Allan Publishers Ltd, Southampton, 1985