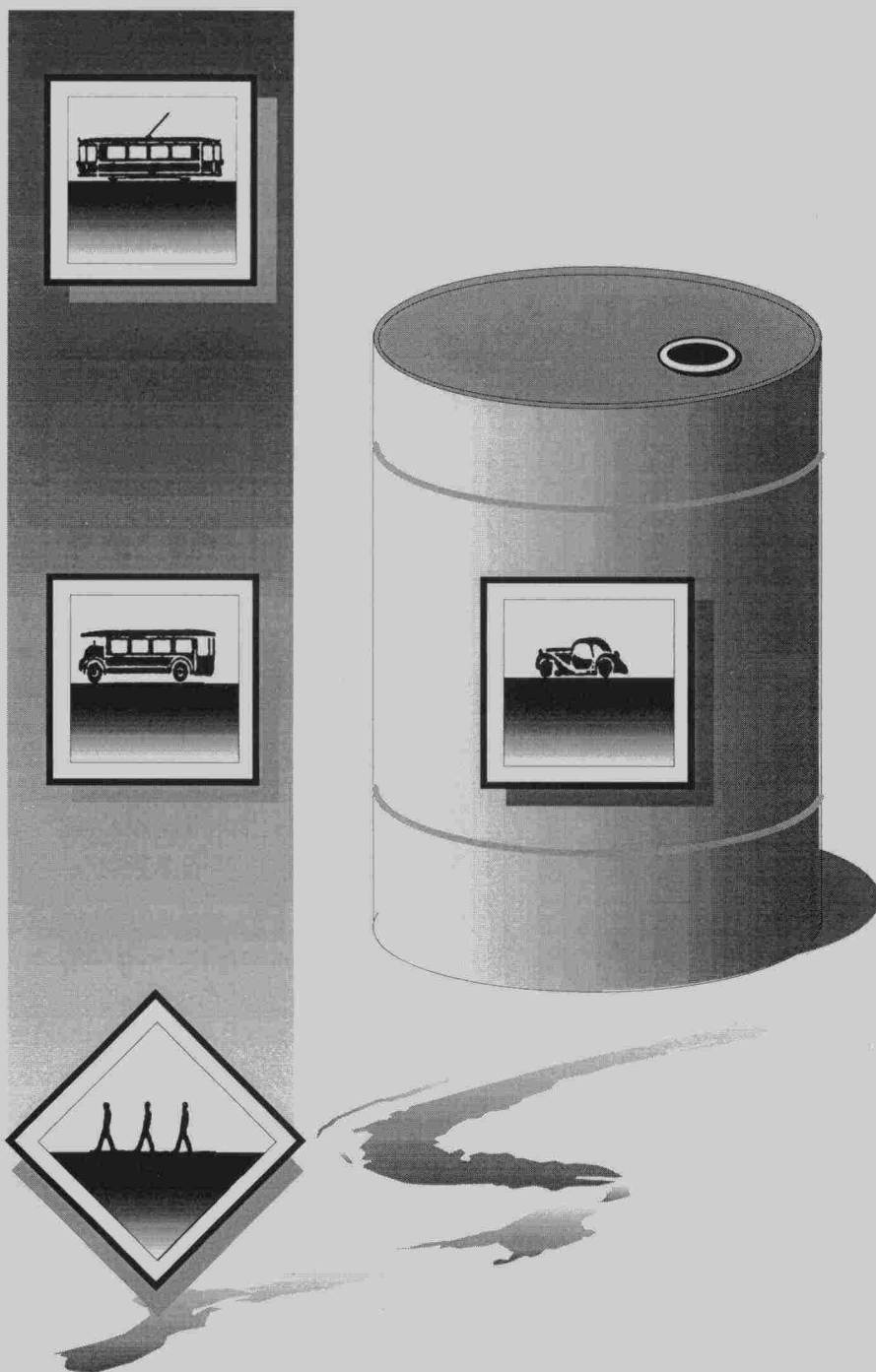




Tielaitos

Tienpidon strateginen projekti S1

Tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä



Tielaitoksen
selvityksiä
10/1995

Helsinki 1995

Keskushallinto
Tienpidon suunnittelu

Tielaitoksen selvityksiä
10/1995

Tienpidon strateginen projekti S1

**Tieliikenteen energiankulutuksen ja
kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä**

Tielaitos
Keskushallinto, tienpidon suunnittelu

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-034-2
TIEL 3200288
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Aiheluokka 10
Asiasanat energia, kaupunkirakenne

TIIVISTELMÄ

Esiselvityksen tavoitteena oli tutkia, mitkä ovat ne kaupunkirakenteelliset muuttujat, jotka korreloivat parhaiten asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen kanssa. Lisäksi saatuja tuloksia tuli verrata vastaaviin kansainvälisiin tutkimuksiin ja suunnata tulosten valossa mahdollista jatkotutkimusta.

Tutkimusaineisto saatiin tielaitoksen kautta. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus laskettiin kunkin kunnan alueella myytyjen polttoainemäärin avulla. Kaupunkirakenteen muuttujien ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välistä riippuvuutta tutkittiin korrelaatioilla ja regressioanalyysillä. Polttoaineen myyntimääriin vaikuttavaa ohikulkuliikenteen vaikutusta pyrittiin vähentämään käyttämällä eri analyysimalleja.

Kaupunkirakennetta kuvaavista muuttujista maankäytön tehokkuutteen ja tiiviyteen liittyvillä tekijöillä oli suurin yhteys liikenteen energiankulutukseen. Yksittäisistä tekijöistä parhaita korrelaatioita saatiin muuttujilla: asukaskohtainen taajamapinta-ala, taajamarajan pituus, rakennuspinta-alalla taajama-alaa kohden ja teollisuusrakennusten osuus rakennuspinta-alasta. Lisäksi taajamaväestöllä ja taajama-alalla saatiin hyvät korrelaatiot liikenteen energiankulutuksen kanssa. Näiden muuttujien perusteella ei voida kuitenkaan tehdä päätelmiä liikenteen energiankulutuksen kannalta hyvästä kaupunkirakenteesta. Myös joukkoliikenteentasolla oli hyvä yhteys liikenteen energiankulutuksen kanssa. Joukkoliikenne on kuitenkin merkittävä kulkumuotovaihtoehto vain suurissa kaupungeissa.

Useamman selittävän tekijän osalta parhaita riippuvuuksia saatiin asukaskohtaisen taajamapinta-alan ja taajamarajan pituuden osalta. Nämä tekijät selittävät 59 % tieliikenteen energiankulutuksen eroista.

Selvityksen tuloksia voidaan verrata lähinnä vain Pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin, koska pohjoismaiset kaupungit vastaavat parhaiten suomalaisia kaupunkeja kooltaan, väkimäärältään, yhdyskuntarakenteeltaan ja liikennekulttuuriltaan.

Keywords energy, citystructure

ABSTRACT

The aim of this investigation was to examine which urban factors have a significant correlation between urban structure and traffic energy consumption (gasoline use per capita in cities). Secondary aim was to compare obtained results with other similar research is particularly in the nordic countries and direct possible further research.

Researchmaterial was obtained by FNRA. Gasoline consumption per capita was calculated by collecting gasoline sales information within city limits.

The influence of by-pass traffic was tend to decrease by using different analysismodels. Interpedence between urban structure and gasoline consumption per capita was studied by using correlation and regression analysis. The best correlation's were obtained by urban density, length of city limits, building area per city area and share of industrial development area in building area.

Furthermore significant correlation's were obtained also by factors like population of urban area and urban area. However according to these factors there can't be done straight conclusions about the best possible urban structure. Also the level of the public transport system had remarkable correlation's between gasoline use per capita.

Results of this research can be compared mainly to those studies made in the nordic counties, because of similarity of city structure, size of city area, amount of population and resemblance of traffic culture.

ESIPUHE

Strategisen projektin "Liikenne ja maankäyttö" tavoitteena vuonna 1994 oli mm. kaupunkiseutujen liikkumisen perustietojen hankinta. Maaliskuussa ilmestyi tielaitoksen selvityksenä 9/94 raportti "Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne", jossa vuorovaikutusta oli tarkasteltu ruotsalaisten ja norjalaisten kaupunkien tutkimusten pohjalta. Tutkimuksen tekijänä oli Petter Næss Norsk Institutt for by- og regionforskning - tutkimuslaitoksesta.

Tässä selvityksessä tutkitaan Næssin menetelmää soveltaen 20 suomalaisen kaupungin tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen yhteyksiä. Tavoitteena oli löytää tärkeimmät vuorovaikutusta kuvaavat muuttujat, joita tarkastellaan tarkemmin jatkotutkimuksissa.

Tutkimuksen on suorittanut di Matti Matinheikki. Tielaitoksen puolelta työtä on ohjannut di Teija Snicker-Järvinen (tiehallinto). Raportin on saattanut julkaisukuntoon tstosiht. Tarja Järvinen (tienpidon suunnittelu).

Helsingissä maaliskuussa 1995

Tielaitos
Keskushallinto

Ulla Priha
arkkit.
S1 projektin vetäjä

Sisältö	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Yleistä	9
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	10
1.3 Määritelmiä	10
2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	11
2.1 Tutkittavat kaupungit	11
2.2 Tutkimusaineisto ja sen käsittely	16
2.3 Virhelähteet tieliikenteen energiankulutustiedoissa	19
2.3.1 Maatalouden polttoaineenkulutus	20
2.3.2 Kaukoliikenne ja satamat	20
2.3.2.1 Linja-autojen taajaman ulkopuolinen liikenne	22
2.3.2.2 Kuorma-autojen aiheuttama ohikulkuliikenne	24
2.3.3 Kauppavuoto	25
3 TIELIIKENTEEN VAATIMA ENERGIA	28
3.1 Henkilöautoliikenne	31
3.2 Joukkoliikenne ja tavaraliikenne	33
4 KAUPUNKIRAKENTEEN VAIKUTUS TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSEEN	34
4.1 Maankäytön tiheys ja kaupunkirakenne	34
4.1.1 Maankäytön tiheys	34
4.1.2 Kaupunkirakenne	39
4.2 Autonomistus ja energiankulutus	44
4.3 Työmatkat ja työpaikat	46
4.3.1 Case Toppila, Oulu	48
4.4 Joukkoliikenne	50
4.5 Monimuuttuja-analyysit	53
4.5.1 Kolme selittävää tekijää	53
4.5.2 Suhdelukumuuttujat	56
4.6 Päätelmiä	57
5 VERTAILU POHJOISMAISIIN KAUPUNKEIHIN	59
6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	64
7 KIRJALLISUUS	68
KUALUETTELO	70
TAULUKKOLUETTELO	72
LIITTEET	73

1 JOHDANTO

1.1 Yleistä

Autoistuminen ja liikenneväylät muovaavat yhdyskuntarakennetta, joka asettaa omat vaatimuksensa liikenneväylästä tasolle. Autoistumisen myötä yhdyskuntarakenne on hajaantunut taajamarajan siirtyessä yhä kauemaksi ydinkeskustasta. Kasvaneet etäisyydet lisäävät liikennesuoritteita ja liikenteen energiankulutusta. Suuret etäisyydet ihmisen yhteiskunnallisten sekä vapaa-ajan toimintojen ja asuinpaikkojen välillä kertovat yhdyskuntarakenteen suunnittelemattomasta kasvusta. Pohjoismaissa kaupunkirakenteen ja liikenteen energiankulutuksen välistä riippuvuutta on tutkinut Peter Naess, jonka NKT:n seminaarissa aihetta käsittelevä esitelmä on julkaistu tielaitoksen julkaisuja sarjassa (9/1994). Suomalaisista kaupungeista vastaavanlaista tutkimusta ei ole tehty. Tässä selvityksessä tutkitaan tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä. Jatkossa puhuttaessa liikenteen energiankulutuksesta tarkoitetaan tieliikenteen energiankulutusta.

Tutkituissa kaupungeissa viimeisen 30 vuoden aikana asukasluku on kasvanut 69 % ja valtasosassa ko. kunnista yli 90 % asukkaista asuu taajama-alueella. Yhdyskuntarakenteen hajoaminen, josta esimerkkinä on työmatkapituuksien kasvu, lisää matkapituuksia ja liikennesuoritteita. Tieliikenteen polttoaineenkulutus on riippuvainen liikennesuoritteista, sen kasvusta tai vähenemisestä. Suomessa tieliikenteen osuus energiankulutuksesta on n. 14 % ja öljynkulutuksesta n. 33 %.

Liikenteen polttoaineenkulutukseen katsotaan vaikuttavan ensisijaisesti maankäytön tiheys, kulkumuotojakautuma, joukkoliikenteen taso, kaupunkikoko, auton omistus, tulotaso, polttoaineen hinta, tekniset ominaisuudet sekä sosiaaliset että kulttuurilliset tekijät. Siitä, mikä edelläluetelluista on tärkein energiankulutukseen vaikuttava tekijä ja sen mukainen paras kaupunkirakenne, ei olla yhtä mieltä. Tässä selvityksessä painotetaan em. kohdista kaupunkirakenteeseen, maankäytön tiheyteen, joukkoliikenteeseen sekä autonomistukseen.

Australialaisten tutkijoiden Newmanin ja Kenworthyn (1991), mukaan ensisijaisia liikenteen polttoaineenkulutusta vähentäviä tekijöitä ovat maankäytön tiheyden lisääminen ja liikenteen infrastruktuurin kehittäminen henkilöautoliikenteestä muille liikennemuodoille. Heidän mukaansa kaupunkirakenteen asukastiheyttä tulisi nostaa, keskustaa vahvistaa ja rajoittaa henkilöautoliikennettä joukkoliikenteen eduksi. Olettamusta tehokkaan maankäytön vaikutuksesta liikenteen energiankulutuksen vähentäjänä tukevat NIBR:n (1994) Norjassa ja Ruotsissa tekemät tutkimukset /16/.

Em. tekijöiden kannasta, kaupunkirakenteen tiiveyden suhteen, poikkeaa mm. M.J.H. Mogridge, joka tutkimuksessaan (1985) Pariisin ja Lontoon liikenteen, maankäytön ja energiankulutuksen keskinäisestä vuorovaikutuksesta toteaa autonomistuksen olevan maankäytön tiheyttä merkittävämpi energian kulutukseen vaikuttava tekijä. Siten Mogridgen mukaan yksittäisen auton energiankulutuksen pienentäminen teknisin ratkaisuin on kaupunkien

taajamien laajentumisen ja asutuksen hajaantumisen estämistä tärkeämpää /14/.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on ensisijaisesti selvittää, mitkä ovat ne tärkeimmät kaupunkirakenteelliset muuttujat, joilla aineiston perusteella olisi suurin merkitys tieliikenteen energiankulutukseen. Tarkastelukohteena ovat erityisesti kaupunkirakennetta kuvaavat tekijät. Lisäksi tarkoitus on verrata saatuja tuloksia vastaaviin ulkomaisiin ja pohjoismaisiin tutkimuksiin. Saatujen tulosten avulla pyritään suuntaamaan jatkotutkimusta tärkeimpien tekijöiden suuntaan. Myöhemmässä vaiheessa on tarkoitus yksityiskohtaisemmissa tutkimuksissa keskittyä näiden muuttujien vaikutusten tarkempaan analysointiin pienemmässä mittakaavassa. Lopullisena tavoitteena on saada suunnittelijoille työkaluja, joilla voidaan tietyllä tarkkuudella arvioida kaavoitussellisten toimenpiteiden ja liikenteen välisiä vuorovaikutuksia.

1.3 Määritelmiä

Maankäytön tehokkuudella tarkoitetaan tässä selvityksessä eri toimintojen ja kiinteiden rakenteiden tiiveyttä sekä asukastiheyttä taajama-alueella.

Taajamina pidetään kaikkia vähintään 200 asukkaan rakennusryhmiä, jossa rakennusten välinen etäisyys ei yleensä ole 200 metriä suurempi. Taajama-asutuksen ei katsota katkeavan, vaikka rakennusten välinen etäisyys ylittää 200 metriä, jos rakennusten välistä etäisyyttä käytetään yleishyödyllisiin tarkoituksiin.

Aluetehokkuus määrittelee rakennettavan kerrosalan suhteellisen määrän tietyllä laajahkolla alueella ($\text{kerros-m}^2/\text{maa-m}^2$).

Taajama-aste kuvaa taajamassa asuvien ihmisten osuutta koko kunnan väestöstä. Taajama-aste kuvaa em. asiaa 10 %:n tarkuudella. Esim. taajama-aste 2 tarkoittaa, että 20,0-29,9 % väestöstä asuu taajamassa.

**Tietiheydellä tarkoitetaan tietyllä alueella olevan tiestön pituutta esim. tiepituus/taajama-ala.*

Tilastomatemattisia määritelmiä

korrelaatiokerroin, r , kuvaa muuttujien x ja y välillä vallitsevaa lineaarista riippuvuutta.

standardoitu regressiokerroin, β , on yhden muuttujan tapauksessa sama kuin korrelaatiokerroin. Regressiokerroin kuvaa selittävän muuttujan x vaikutusta riippuvaan muuttujaan y .

merkitsevyytaso, F , kuvaa, tukevatko muuttujien tiedot olettamusta siitä, että muuttujien välillä on lineaarinen korrelaatio. Pieni F :n arvo tukee olettamusta.

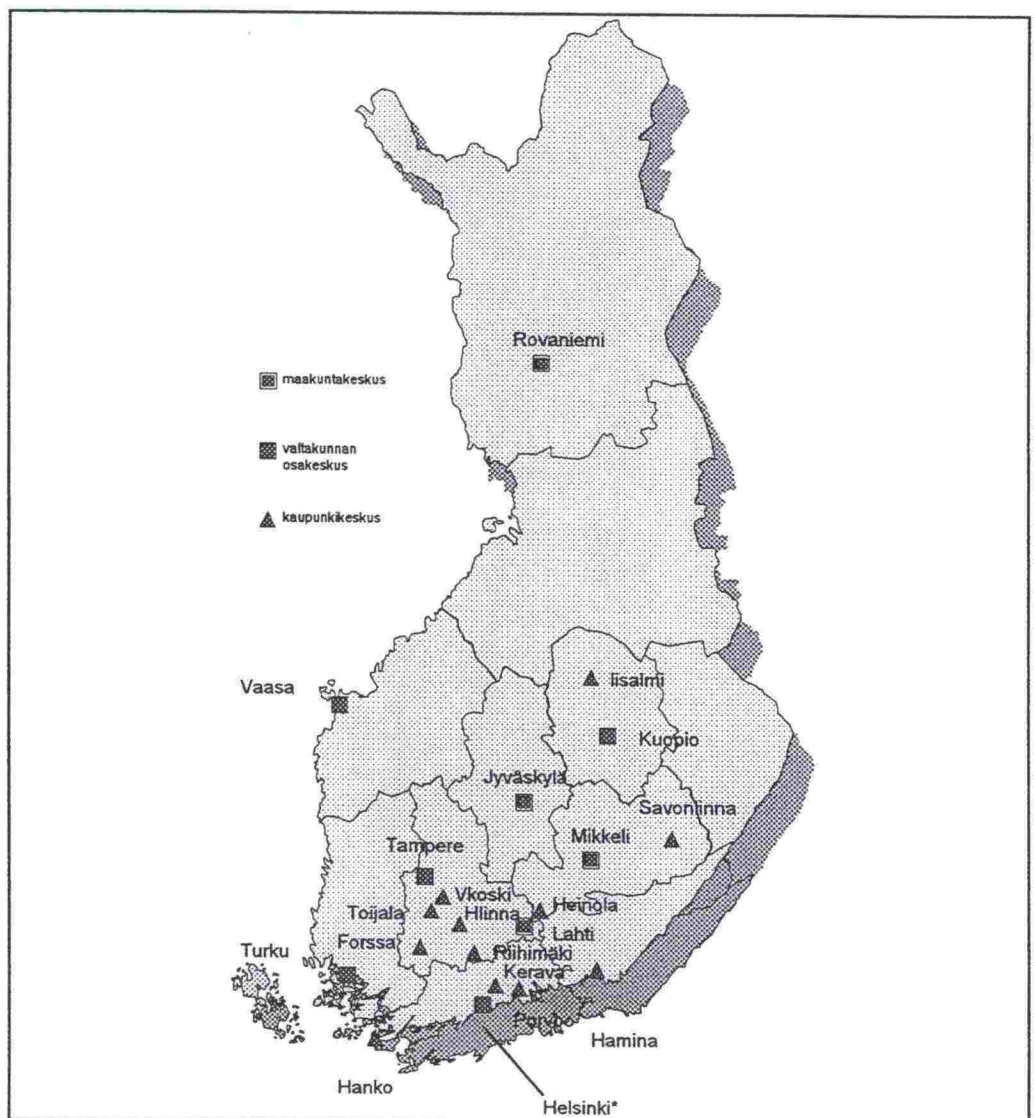
selitysaste, R^2 , kuvaa mallin "hyvyyttä". Jos kaikki havainnot ovat regressiosuoralla R^2 on 1. Vaikka $R^2=0$, voi muuttujien välillä olla riippuvuutta.

2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

2.1 Tutkittavat kaupungit

Liikenteen ja kaupunkirakenteen välistä yhteyttä tutkittiin kirjallisuus ja tilastomatematisena selvityksenä. Tutkimusaineisto käsitti tilastotietoja 20 kaupungista, joiden sijainti painottuu Etelä-Suomeen. Valtaosa sijaitsee Hämeen, Uudenmaan ja Mikkelin läänin alueella (14 kpl). Kaupungit ja niiden sijainti on merkitty kuvaan 1.

Aineisto on kerätty useampaan selvitykseen, mm. Risto Linkovuoren tutkimukseen, joka tutkii pääväylien vaikutuksia maankäyttöön. Kaupungit sijaitsevat siten merkittävän pääväylän läheisyydessä ja useimmissa on VR:n terminaali sekä osassa lentokenttä tai satama. Tämä aiheuttaa polttoainetietoihin "vääristymiä", joita on pyritty korjaamaan vähentämällä virhelähteen vaikutusta. Liitteessä 1 on esitetty kaupunkien sijainti lääneittäin.



Kuva 1. Tutkittavien kaupunkien sijainti. *Helsinki ei kuulu ko. kaupunkeihin.

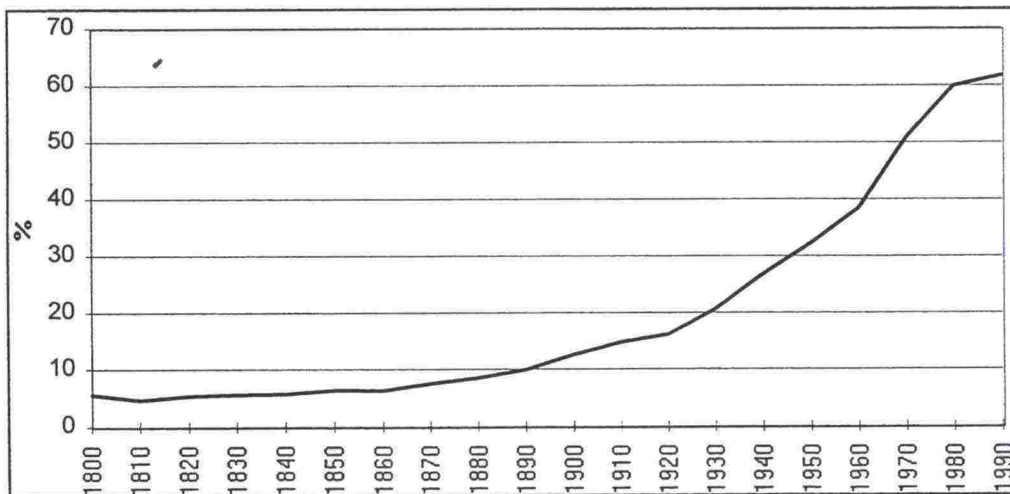
Väkiluku ja taajamoituminen

Kaupungit, joista aineistoa on kerätty, ovat väkiluvultaan suurehkoja ja taajamassa asuvien ihmisten prosentuaalinen osuus on niissä suuri. Tutkittujen kaupunkien taajama-aste on 9 lukuunottamatta Forssaa, Keravaa, Savonlinnaa ja Iisalmea. Viimeksi mainitussa taajama-aste on 7 sekä Forssassa, Keravalla ja Savonlinnassa 8.

Vuosien 1960-1990 aikana tutkittavien kaupunkien asukasluku on keskimäärin kasvanut 69 %. Suhteellisesti suurin väestömäärän kasvu on tapahtunut ns. maakuntakeskuksissa, kuten Iisalmissa, Kuopiossa ja Savonlinnassa, jonne ihmiset ovat muuttaneet lähiympäristöstä. Mm. Iisalmissa väkiluku on 30 vuoden aikana kolminkertaistunut.

Keravan asukasluvun kasvun voi selittää sen toimiminen Helsingin sekä muiden suurien lähikaupunkien, kuten Vantaan ja Espoon "nukkumalähiönä", josta käsin käydään töissä naapurikunnissa. Tätä oletusta tukevat tiedot keravalaisien työmatkojen pituuksista. Kun muissa kunnissa yli 10 km työmatkojen osuus on 20 %, niin Keravalla em. luku on 57 %.

Vaikka ko. kaupungeissa valtaosa väestöstä asuu taajamassa, on Suomessa kuntien kaupungistuminen alkanut myöhään verrattuna esim. muihin pohjoismaihin. Vuonna 1960 38.1 % väestöstämme asui kaupungeissa ja vuonna 1990 61.6 %. Mainittakoon, että Ruotsin kaupungeissa asui vuonna 1960 51.7 % väestöstä ja 1980 83.1 % /1/.



Kuva 2. Suomen kaupunkiväestön %-osuus koko väestöstä vv. 1800-1990. /1/

Taulukko 1. Väkiluvun prosentuaalinen kasvu tutkituissa kaupungeissa.

kaupungit	pinta-ala v. 2990 (km ²)	väkiluku v. 1990	väkiluvun kasvu vv. 1960-90 (%)	taajama- aste v. 1990	* asukastiheys taajamassa (as./km ²)	ajosuur. yleisillä teillä -90 (milj. ajonkm)
Forssa	249	19 664	83	8	781	63
Hamina	19	10 103	3	9	329	13
Hanko	115	11 370	40	9	796	29
Heinola	49	16 227	48	9	1 311	20
Hämeenlinna	167	43 770	55	8	837	137
Iisalmi	763	23 925	299	7	997	130
Jyväskylä	97	67 026	69	9	944	115
Kerava	31	28 006	182	9	986	233
Kuopio	779	81 593	82	9	1 425	280
Lahti	135	93 414	40	9	1 148	206
Mikkeli	89	32 158	63	9	1 207	43
Porvoo	19	20 385	72	9	795	32
Riihimäki	121	25 298	25	9	940	104
Rovaniemi	94	33 954	58	9	856	37
Savonlinna	821	28 557	94	8	839	18
Tampere	523	173 797	37	9	1 692	196
Toijala	51	8 167	18	9	462	16
Turku	243	159 403	28	9	1 521	102
Vaasa	183	53 764	26	9	822	85
Valkeakoski	273	21 600	52	8	814	112

*Taajamapinta-ala on jaettu taajamassa asuvien ihmisten lukumäärällä. Huom! käytetty kaupunkikohtaisia taajama-aloja ja taajamaväestön ollessa suurempi kuin kaupunginväkiluku on käytetty viimeksimainittua.

Kaupunkirakenne

Kohdekaupunkien erilaista rakennetta voidaan arvioida vertaamalla mm. asuin-, liike- ja teollisuusrakennusten yhteenlaskettuja kerrospinta-aloja kunkin kaupungin taajamapinta-alaan tai niiden osuutta koko kerrospinta-alasta. Jos tätä kaupunkien urbaanisuuutta mitataan eri asumismuotojen suhdeluilla, jakautuvat kaupungit selvästi eri ryhmiin: Tampereella, Turussa ja Kuopiossa asuinkerrostalojen osuus asuinpinta-alasta on suuri - yli 60 % (kuva 23 s. 41). Vastaavasti esim. Haminassa, Hangossa ja Toijalassa pientalojen osuus on suuri.

Kaupungin tehokkuutta kuvaa yleisimmin käytetty taajaman asukastiheys. Asukastiheydeltään pienimpinä erottuvat Hamina, Hanko ja Toijala. Niiden asukastiheys vaihtelee välillä 329-796 asukasta/km², kun muiden kohdekaupunkien keskiarvo on 1054 asukasta/km². Asukastiheydeltään suuret kaupungit erottuvat yleisilmeeltään pientalovaltaisista kaupungeista.

Taulukko 2. Kaupunkien luokittelu taajaman asukastiheyden (as/ha) perusteella.

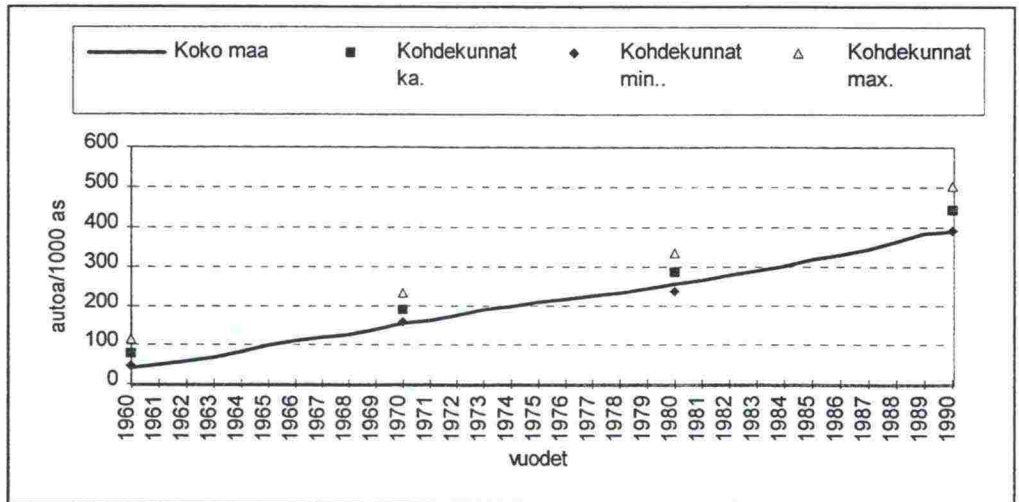
luokittelu	kaupungit	asukastiheys taajamassa (as./ha)
matala taajaman asukastiheys <5 as./ha	Hamina	3.3
	Toijala	4.6
keskimääräinen taajaman asukastiheys 5-15 as./ha	Forssa	7.8
	Hanko	8.0
	Hämeenlinna	8.4
	Jyväskylä	9.4
	Kerava	9.9
	Porvoo	7.9
	Riihimäki	9.4
	Rovaniemi	8.6
	Savonlinna	8.4
	Heinola	13.1
	Iisalmi	10.0
	Kuopio	14.3
	Lahti	11.5
Mikkeli	12.1	
Valkeakoski	8.1	
korkea taajaman asukastiheys >15 as./ha	Tampere	16.9
	Turku	15.2

Autoistuminen

Autoistuneimmissa euroopan maissa oli vuonna 1990 yli 400 henkilöautoa / 1000 asukasta kohden (Ranskassa 416, Saksassa 447 ja Italiassa 459). Yhdysvalloissa autotiheys oli ko. vuonna 578 henkilöautoa / 1000 asukasta kohden. Suomessa autoistuminen on tapahtunut hitaammin kuin muissa kehittyneissä teollisuusmaissa. Elintason noustessa autoistuminen on nopeutunut. Kun vuonna 1960 autotiheys 1000 asukasta kohden oli 41, oli vastaava luku vuonna 1991 jo 389. Prosentuaalisesti eniten autotiheys kasvoi 60-luvulla, jolloin vuotuinen kasvu oli keskimäärin 14.3 %. 80-luvulla vuotuinen kasvu oli 4.3 %. Kohdekunnissa autotiheys vuonna 1990 oli 444. Liitteessä 2 on esitetty autotiheyden prosentuaalinen kehitys vuosittain.

Taulukko 3. Kaupunkien luokittelu vuoden 1991 autoistumistason perusteella.

luokittelu	kaupungit	autoa/1000 as.	autoa/as.kunta
matala autoistumisaste <400 autoa/1000 as	Kerava	392	1.01
	Kuopio	398	0.95
keskimääräinen autoistumisaste 400-500 autoa/1000 as	Hamina	433	0.96
	Hanko	416	0.98
	Heinola	434	0.99
	Lahti	415	0.92
	Mikkeli	445	1.02
	Riihimäki	445	1.03
	Savonlinna	424	1.10
	Tampere	421	0.92
	Turku	437	0.92
	Toijala	433	1.02
Valkeakoski	440	1.05	
korkea autoistumisaste >450 autoa/1000 as.	Forssa	504	1.14
	Hämeenlinna	457	1.07
	Iisalmi	449	1.14
	Jyväskylä	452	0.99
	Porvoo	499	1.14
	Rovaniemi	501	1.63



Kuva 3. Autotiheyden kehitys Suomessa ja tutkituissa kaupungeissa vuosina 1960-1990.

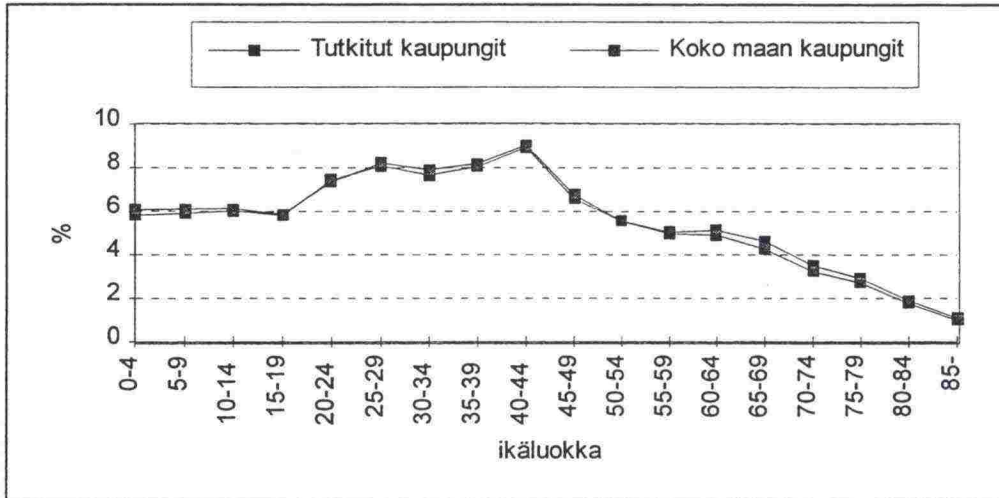
Liikennesuoritteet ja väestörakenne

Eräänä tekijänä henkilöautojen ajosuoritteeseen ja sitä kautta polttoainekulutukseen vaikuttaa autonomistajan ikä. Tilastokeskuksen 1985 suorittaman kotitaloustiedustelun perusteella henkilöauton käyttö jakautui kotitalouden päämiehen ikäryhmän mukaan taulukon 4 mukaisesti. Suurin ajosuorite - 21 900 km/vuosi - oli ikäryhmällä 18-24 vuotta. Näiltä osin tutkittujen kuntien ikäryhmien jakautumat eivät poikkea merkittävästi koko maan keskiarvoista ja eivät siten vaikuta vääristävästi liikennesuoritteeseen. Yli 18 vuotiaiden osuus koko väestöstä oli sama 78.1 %. Väkirikkaissa kunnissa yli 18-vuotiaiden osuus tosin oli suurempi kuin muissa kunnissa /13/. Liite 4: tutkittujen kaupunkien väestödiagrammit.

Henkilöauton keskimääräinen liikennesuorite vuonna 1990 koko maassa oli keskimäärin 17 500 km. Kohdekaupungeissa ajoneuvo kohtainen ajosuorite on tielaitoksen keräämien tietojen mukaan 11 700 km eli maan keskiarvoa pienempi.

Taulukko 4. Ajosuoritteen riippuminen ikäluokasta ja kunkin ikäluokan %-osuus kokonaisväestöstä. Lähde: VATT 21 ja SVT 1990.

ikäluokka	ajosuorite (km/vuosi)	%-osuus väestöstä koko maa	%-osuus väestöstä tutkitut kunnat
18 - 24	21 900	9,6	6.3
25 - 34	19 000	16.1	15.7
35 - 44	17 700	17.2	17.0
45 - 54	17 400	12.3	12.1
55 - 64	14 100	9.9	10.6
65 - 74	11 400	7.5	8.1
75 -	9 100	5.5	8.3



Kuva 4. Tutkittujen kaupunkien ja koko maan (kaupungit) eri ikäluokkien osuus koko väestöstä. Lähde: SVT1990.

2.2 Tutkimusaineisto ja sen käsittely

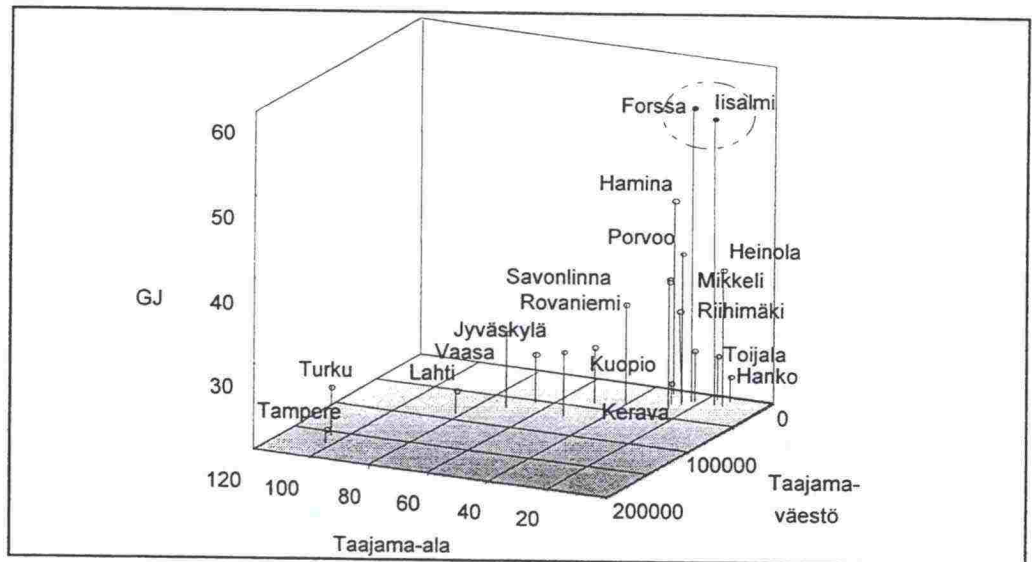
Tutkimusaineisto on saatu tielaitokselta. Muuta kautta saatu aineisto on erikseen mainittu. Ongelmana tietojen keräämisessä on taajamarajaus. Taajama-alue saattaa käsittää alueita kahden tai useamman kunnan alueelta, kun taas esim. polttoainetiedot ovat kuntakohtaisia. Kuntakohtaisissa polttoaineenmyyntimäärissä näkyvät myös raskaan- ja henkilöajoneuvoliikenteen aiheuttama taajaman ulkopuolinen ohikulkuliikenne. Näiden tekijöiden aiheuttamien vaikutusten vähentämiseksi on pyritty arvioimaan virhevaikutusta, joita käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.3 *Virhelähteet tieliikenteen energiankulutustiedoissa*. Taajamarakennetta kuvaavien tietojen käsittelytavaksi on valittu kaupunkikohtainen analyysi, jolloin esim. taajamaväestö, taajama-ala ja asukaskohtainen taajama-ala on laskettu kaupunkikohtaisesti. Esim. taajamaväestö ei voi olla suurempi kuin kaupungin väkiluku.

Tutkimusaineiston perusteella pyrittiin tilastomatemaattisin keinoin (korrelaatiokertoimella ja regressioanalyysillä) löytämään ne kaupunkirakenteen tekijät, jotka aineiston perusteella vaikuttavat eniten asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen. Parhaimman liikenteen energiankulutuksen analyysimallin löytämiseksi muodostettiin alustavaan tarkasteluvaiheeseen yhteensä kuusi erilaista tieliikenteen energian ja kaupunkirakenteen muuttujien vuorovaikutusta kuvaavaa mallia. Mallien erot perustuivat:

- I. eräiden kaupunkien poistamiseen malleista muista huomattavasti poikkeavan asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen perusteella.
- II. epäselvän taajamarajauksen aiheuttaman taajamaväestön arvon variaation vuoksi suurissa kaupungeissa (taajamaväestö > väkiluku).
- III. maatalouden, tavarakuljetusten ja linja-autojen kaukoliikenteen sekä muun ohikulkuliikenteen aiheuttaman kauppavuodon virhevaikutuksen arviointiin.

Taulukko 5. Liikenteen energiankulutusmallien periaatteelliset erot.

	H0	H1	H2	K0	K1	K2
Polttoainetiedot kaupunkikohteista	X	X	X	X	X	X
Taajamaväestötiedot kaupunkikohtaisia, jos ilmoitettu taajamaväestö > väkiluku, käytettiin väkilukua	X	X	X	X	X	X
Mukana kaikki kaupungit	X			X		
Poissa kaupungit: Iisalmi ja Forssa		X			X	
Poissa kaupungit: Iisalmi, Forssa ja Toijala			X			X
Polttoainetietoja korjattu				X	X	X



Kuva 5. Polttoainemyyntimäärien perusteella laskettu asukaskohtainen liikenteen energiankulutus (GJ), taajamapinta-ala ja taajamaväestö. Huomaa Iisalmen ja Forssan suuret arvot.

Koska asukaskohtainen liikenteen energiankulutus kuvaa hyvin henkilöautoriippuvuutta, analyysimallien kuvaavuutta, "paremmuutta", tarkasteltiin vertaamalla regressioanalyysillä seuraavien muuttujien

1. automäärän,
2. autoja/1000 asukasta kohden
3. autoja/asuntokunta
4. autoja/pinta-ala
5. henkilöautojen liikennesuoritteen
6. henkilöautojen liikennesuoritteen / väkiluku

korrelaatioita asukaskohtaiseen energiankulutuksen suhteen. Tällä pyrittiin löytämään malli, joka parhaiten vastaisi muiden kaupunkiympäristöön liittyvien muuttujien suhdetta liikenteen energiankulutukseen.

Taulukkoon 6 on merkitty em. muuttujien ja liikenteen energiankulutuksen väliset korrelaatiot. Mallien vertailussa muuttujista tärkeimpinä on pidetty henkilöautojen liikennesuoritetta, automäärää ja autoja/asuntokunta.

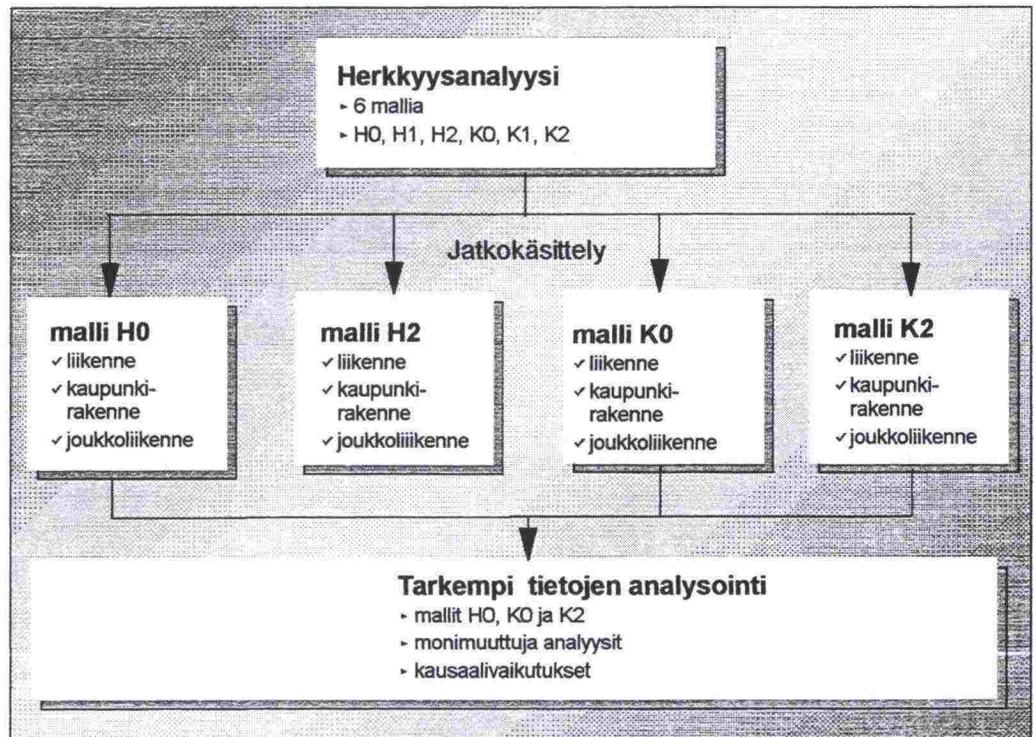
Malleista parhaiten liikenteen ja maankäytön riippuvuutta kuvaavat mallit *K0* ja *K2*. Mallien *K0* ja *K2* polttoainetiedot on korjattu. Mallista *K2* on lisäksi poistettu ne kaupungit, joissa myydyt polttoainemäärät poikkeavat merkittävästi muiden kaupunkien määrästä asukasta kohden. Näiden mallien lisäksi on tarkastelussa huomioitu "perusmalli", *H0*, jonka polttoaineen myyntitietoja ei ole korjattu ja jossa kaikki kaupungit ovat mukana.

H0, *H2*, *K0* ja *K2* mallien osalta jatkettiin muiden tekijöiden ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välistä yhteyden tutkimista jakamalla muuttujat kolmeen osa-alueeseen:

1. liikenteellisiin tekijöihin
2. kaavoituksellisiin ja kaupunkiympäristöä sekä
3. joukkoliikenteen tasoa kuvaaviin tekijöihin.

Taulukko 6. Mallien *H0*, *H1*, *H2*, *K0*, *K1* ja *K2* herkkyyksianalyysin muuttujien ja asukaskohtaisen energiankulutuksen korrelaatiokertoimet. Suluissa merkitsevyytystaso. Harmaalla merkitty kunkin tekijän suurin korrelaatiokerroin eri mallien välillä.

	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>K0</i>	<i>K1</i>	<i>K2</i>
automäärä (kpl)	0.410 (0.073)	0.455 (0.059)	0.512 (0.358)	0.526 (0.017)	0.629 (0.005)	0.653 (0.0045)
auto /1000 as	0.483 (0.031)	0.362 (0.140)	0.358 (0.159)	0.362 (0.117)	0.141 (0.576)	0.140 (0.593)
autoa /asuntokunta	0.276 (0.240)	0.212 (0.399)	0.208 (0.424)	0.281 (0.230)	0.217 (0.386)	0.216 (0.404)
auto/pinta-ala (kpl/km ²)	0.168 (0.479)	0.188 (0.454)	0.161 (0.538)	0.370 (0.108)	0.180 (0.475)	0.190 (0.464)
henkilöautojen liikennesuorite (1000 km)	0.408 (0.074)	0.473 (0.047)	0.537 (0.263)	0.508 (0.022)	0.618 (0.006)	0.645 (0.005)
henkilöautojen liikennesuorite/väkiluku	0.299 (0.074)	0.025 (0.921)	0.089 (0.734)	0.360 (0.119)	0.105 (0.680)	0.100 (0.704)



Kuva 6. Liikenteen energiankulutuksen ja maankäyttöä kuvaavien mallien analysoinnin kulku.

2.3 Virhelähteet tieliikenteen energiankulutustiedoissa

Tieliikenteen energiankulutus on saatu laskemalla yhteen kunkin kaupungin kaikkien huoltamoiden bensiinin ja dieselöljyn myyntimäärät vuodelta 1993. Näin saadaan nopeasti ja kohtuullisin kustannuksin tietoon tarkka liikenteen energiankulutus tietyltä ajanjaksolta useasta eri kaupungista. Polttoaineen myyntimääristä laskettuihin energiankulutustietoihin sisältyy kuitenkin epävarmuustekijöitä. Suurimpia taajamien sisäiseen polttoaineenkulutustietoihin sisältyviä epävarmuustekijöitä aiheuttavat:

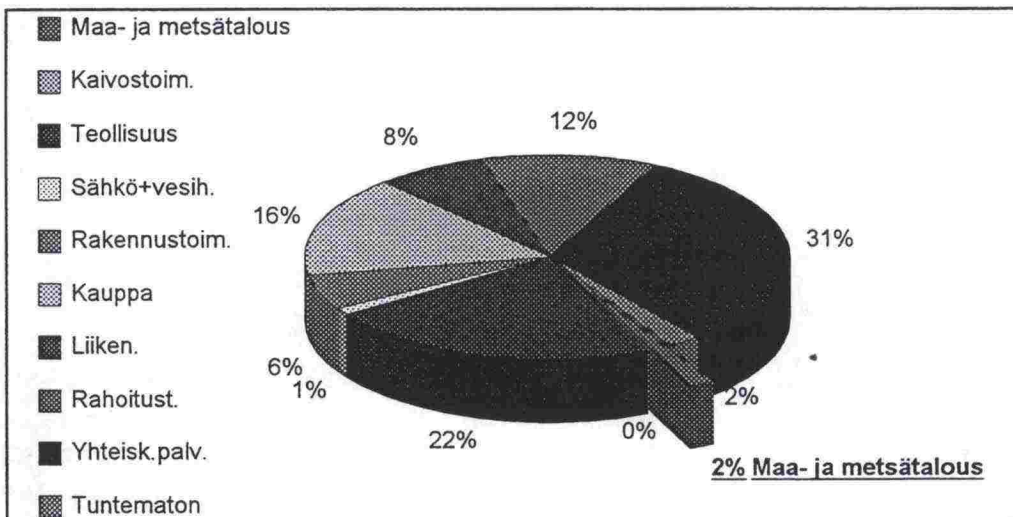
- Maatalouden polttoaineen kulutus
- Tavaraliikenteen kaukoliikenne (kuorma-autot)
- Joukkoliikenteen kaukoliikenne (linja-autot)
- Läpikulku- ja lomanviettoliiikenne
- Kauppavuoto

Virhelähteiden vaikutusta on pyritty vähentämään arvioimalla niiden suuruutta ja suorittamalla liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä riippuvuusanalyysijä myös korjatuilla arvoilla.

2.3.1 Maatalouden polttoaineenkulutus

Maatalouden osuus koko maan polttoaineenkulutuksesta on vähäinen. Maatalouden osuus keskimäärin liikenteen energiankulutuksesta vuonna 1990 oli moottoribensiinin osalta 0,7 % (15 toe) ja dieselöljyn 1,9 % (30 toe)
Lähde: STV 1991.

Tutkitut kaupungit ovat elinkeinjakautumaltaan painottuneet teollisuus- ja palveluelinkeinoin. Kun keskimäärin maataloudesta elinkeinonsa saavan väestön osuus on koko maassa 8 %, kaupunkimaisissa kunnissa 1 % ja maaseutumaisissa kunnissa 25 %, niin tutkituissa kunnissa keskiarvo on 2 %. 20 kaupungissa vain lisälnessä maataloudesta tulonsa saavien osuus (11,4 %) on koko maan keskiarvoa suurempi. Polttoaineenkulutustietoja on tarkastettu maatalouden osalta lisälnessä, Savonlinnassa ja Forssassa, joissa kussakin eri osuudella. Liitteellä 7 tutkittujen kaupunkien maataloudesta saavan väestön prosenttiosuudet.



Kuva 7. Tutkittujen kaupunkien keskimääräinen elinkeinonjakautuma elantonsa saavien ihmisten määrän perusteella. Lähde STV 1990.

2.3.2 Kaukoliikenne ja satamat

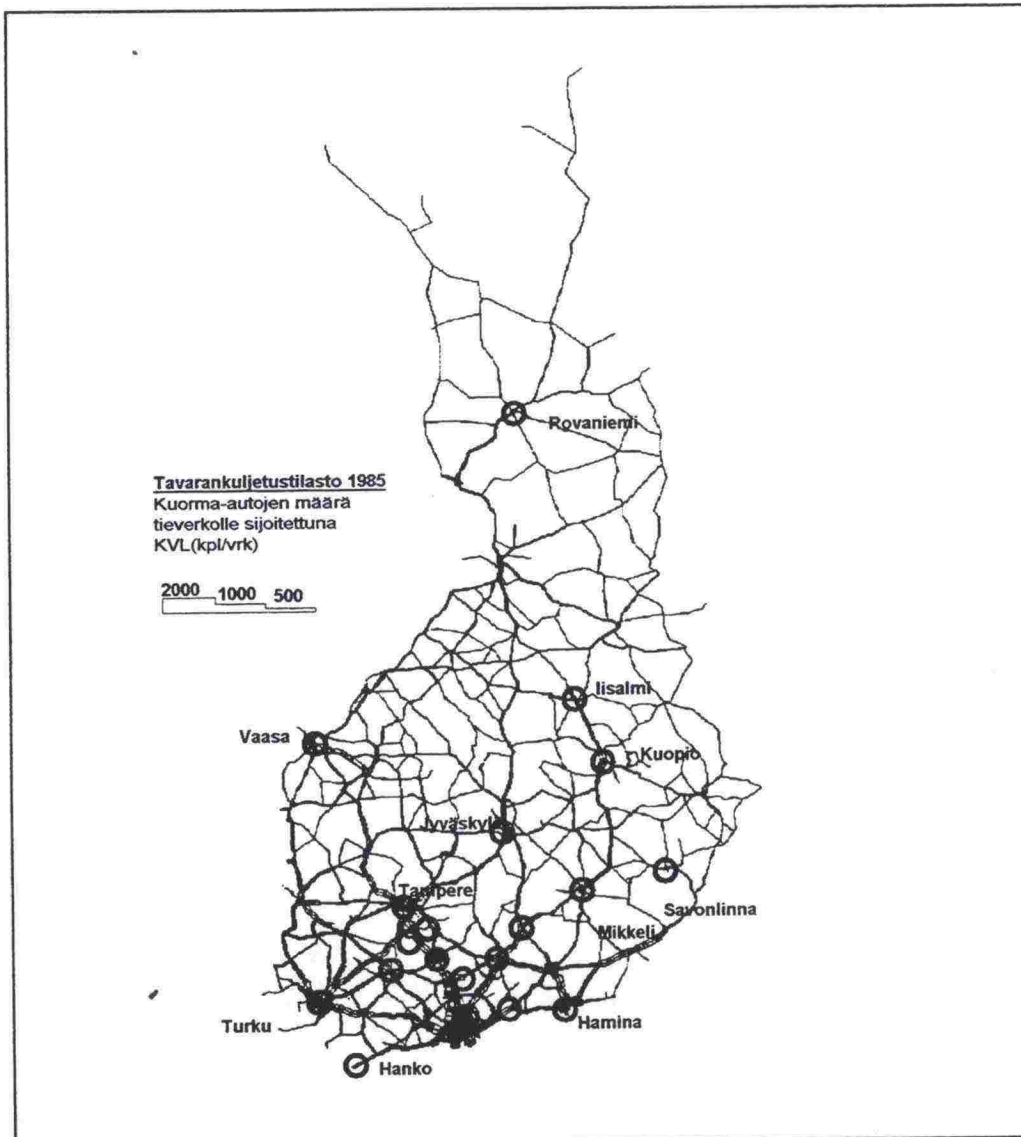
Suurin liikenteen energiankulutustietoihin sisältyvä virhe aiheutuu kuorma-autojen ja linja-autojen kaukoliikenteestä. Kaikki tutkittavat kaupungit sijaitsevat lähellä merkittävää pääväylää ja lähes jokaisessa niissä sijaitsee liikennemääriltään huomattava linja-auto- ja rautatieterminaali. Lisäksi Haminaassa, Hangossa, Turussa ja Vaasassa sijaitsee merkittävä ulkomaan tuontisatama (vrt. taulukko 7). Liitteessä 6 on esitetty terminaalien ja satamien tavaraliikennemäärät.

Kuvasta 8 (s. 22) huomataan jokaisen tutkittavan kaupungin sijaitsevan valtakunnan tavaraliikenteen vilkkaimpien osien varrella, jotka eivät voi olla vaikuttamatta kunnan alueella myytyihin dieselöljymääriin. Tavaraliikenteen keskimääräiset vuorokausiliikennemäärät (KVL) ovat vuodelta 1985.

Taulukko 7. Tutkittavien kaupunkien merkittävät terminaalilyhteydet.

kaupungit	linja-auto terminaalit	rautatieterminaalit	satamat	lentoterminalit
Forssa	x	x		
Hamina	x		x	
Hanko			x	
Heinola	x			
Hämeenlinna	x	x		
Iisalmi	x	x		
Jyväskylä	x	x		x
Kerava	x			
Kuopio	x	x	x	x
Lahti	x	x		
Mikkeli	x	x		x
Porvoo	x		(Porvoon mlk)	
Riihimäki	x	x		
Rovaniemi	x	x		
Savonlinna	x	x		
Tampere	x	x		x
Toijala				
Turku	x	x	x	x
Vaasa	x	x	x	x
Valkeakoski	x	x		

1. *Linja-autoterminalaaleista* on huomioitu ne, joissa vuoromäärät ovat yli 60 000 lähtöä vuodessa. Luku sisältää aseman kautta kulkevat paikallis-, pika- ja vakiovuorot.
2. *Rautatieterminaalit* on rajattu tavaraliikenteen mukaan. Asemista on huomioitu ne matkustaja- ja tavaraterminaalit, joissa on VR:n transpoint-terminaali.
3. *Lentoterminalaaleista* on huomioitu ne lentoterminalit, joissa on säännöllistä vuoroliikennettä.
4. *Satamista* on laskettu mukaan ne, joiden vuoden 1990 tavaraliikenteen määrä oli yli 100 000 t.



Kuva 8.

Tavaraliikenteen liikennevirrat ts. kuorma-autojen KVL (ajon/vrk) vuonna 1985. Kartalle sijoitettu tutkitut kaupungit, jotka kaikki sijaitsevat merkittävän päiväymlän varrella tai välittömässä läheisyydessä.

2.3.2.1 Linja-autojen taajaman ulkopuolinen liikenne

Laskettaessa linja-autojen vaikutusta taajaman ulkopuoliseen liikenteeseen joudutaan arvioimaan mm. lähiliikenteen %-osuutta linja-autoliikenteestä ja linja-autojen osuutta dieselöljyn kulutuksesta. KTM:n selvityksen *tieliikenteen energiatutkimuksen* (1978) mukaan linja-autojen osuus maantielikenteen dieselöljyn kulutuksesta oli vuonna 1975 17 %. Tuolloin henkilöautoista dieselkäyttöisiä oli 2,6 %, ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen osuus koko ajoneuvokannasta oli 9,2 %. Dieselkäyttöisten ajoneuvojen osuus on vuodesta -75 kasvanut merkittävästi. Vuonna 1990 dieselkäyttöisiä autoja oli henkilöautoista 8,0 % ja koko ajoneuvokannasta 16,6 %. Dieselkäyttöisten henkilöautojen ja pakettiautojen määrän kasvun myötä linja-autojen ja kuorma-autojen kulutusosuus dieselöljyn myynnistä on pienentynyt. Maantie-

liikenteen dieselöljyn käytöstä linja-autojen osuus on arviolta 12 %. Taulukossa 8 on arvio dieselkäyttöisten ajoneuvotyyppien %-osuudesta dieselöljyn käytöstä 1990. Taulukossa olevien ajosuoritteiden lähteenä linja-autojen ja kuorma-autojen osalta on STV 1990. Dieselkäyttöisten henkilöautojen ajosuoritteena on käytetty *Tieliikenteen energia tutkimuksen* arvioimaa enustetta vuodelle 1990 /8/.

Taulukko 8. Arvio dieselkäyttöisten ajoneuvotyyppien %-osuudesta dieselöljyn kulutuksesta 1990.

ajoneuvotyyppi	määrä	ajosuorite (km)	kulutus (l/100 km/)	polttoaine (m ³)	osuus (%)
henkilöautot	154951	36000	8	496463	26
linja-autot	9271	73000	30	203035	12
kuorma-autot	53640	51400	28	799558	47
pakettiautot	146714	14500	10	212735	13
työkoneet, traktorit yms.	?	?	?	37265	2-3

Kaupunkien sisäistä ja sen lähialueen liikennettä tarkasteltaessa jaetaan linja-autoliikenne kaupunki- ja lähiliikenteeseen. *Kaupunkiliikenne* on suppealla alueella kokonaan kaupungin rajojen sisäpuolella kulkevaa liikennettä, jonka linjat kulkevat lähes kokonaisuudessaan taajama-alueella. *Lähiliikenne* on kaupungin keskustan ja sen lähivaikutusalueen välistä liikennettä. Lähiliikenteen linjat yhdistävät tavallisesti naapurikunnan taajaman kaupunkikeskustaan, joten lähiliikenteen voidaan katsoa vaikuttavan väärin taajaman sisäisen liikenteen energiankulutustietoihin /18/.

Kaupunkiliiton teettämän tutkimuksen mukaan lähiliikenteen osuus eri koko- luokan kaupungeissa vaihtelee huomattavasti ollen 36-86 % paikallisliikenteestä. Taulukossa 9 on jaoteltu tutkimuksessa mukana olleet kaupungit väkiluvuiltaan eri luokkiin ja merkitty lähiliikenteen %-osuus paikallisliikenteestä kaupunkiliiton tutkimuksen perusteella. Taajaman liikenteen energiankulutustietoja laskettaessa arvioidaan, että puolet lähiliikenteen suoritteesta tapahtuu taajama-alueella. Näiden oletusten perusteella on kaupunkien dieselöljynmyynnistä vähennetty 2.2-5.2 % linja-autojen kaukoliikenteen aiheuttamana.

Taulukko 9. Lähiliikenteen %-osuus paikallisliikenteestä eri kokoisissa kaupungeissa sekä tutkittujen kaupunkien jakautuminen ko. luokkiin.

	kaupunkien lkm (kpl)	%-osuus
0 - 0 000	1	86
10 000 - 25 000	7	64
25 000 - 50 000	6	50
50 000 - 100 000	4	36
100 000 - 200 000	2	41

Lentokentät

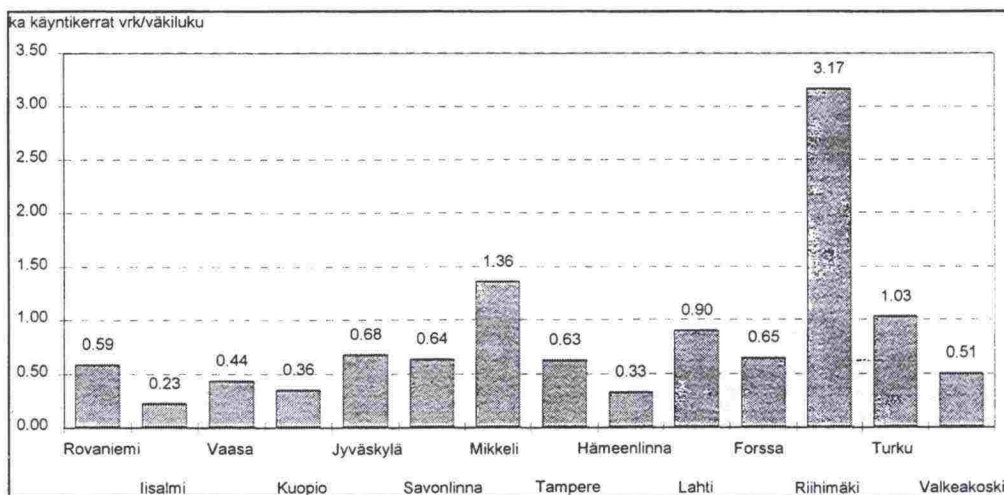
Linja-autojen suoritteita lisäävät myös vilkkaat matkustajalentokentät. Lentoterminaaaleja, joiden matkustajamäärä oli yli 200 000 matkustajaa vuonna 1990, oli tutkituista kaupungeista Jyväskylässä, Kuopiossa, Rovaniemellä, Tampereella, Turussa ja Vaasassa. Lentoterminaaali, joka toimii laajan alueen ainoana matkustajalentoliikenteen päätepisteenä, kuten esim. Rovaniemellä, lisää linja-autoliikenteen kaukoliikennettä.

2.3.2.2 Kuorma-autojen aiheuttama ohikulkuliikenne

Kuorma-autojen osuus dieselöljyn myynnistä koko maassa on arviolta n. 47 %. Normaalialueilla merkittävästi suuremmat kuorma-autoliikennemäärät esim. terminaalikaupungeissa voivat vaikuttaa polttoaineen myyntimääriin. Tutkitavien kaupunkien sijaitessa tärkeiden liikenneväylien varrella niiden alueella kulkee huomattava määrä tavaraliikennettä. Esimerkiksi Turussa on liikenne- ja tavaramääriltään huomattava linja-auto-, rautatie- ja lentokenttäterminaali sekä satama. Kaikki edellämainitut tavaravirtojen risteyspisteet aiheuttavat linjaliikennettä. Niiden vaikutusta tietyn kunnan tai kuntaryhmien polttoaineen myyntiin on kuitenkin vaikea arvioida, koska ei tiedetä:

- ostetaanko polttoainetta kaikista kunnista, joissa on terminaali
- mikä osuus kuorma-auton polttoaineesta ostetaan terminaalikunnista
- miten ostetut polttoainemäärät jakautuvat samalla linjareitillä olevien terminaalikuntien välillä

Rautatieterminaalien aiheuttamaa kuorma-autojen linjaliikennettä on tarkasteltu kuorma-autojen vuorokaudessa tekemien käyntikertojen suhteella kunnan asukaslukuun. Suhdeluvun perusteella linjaliikenteen kuorma-autojen suhteelliset liikennemäärät ovat suurimpia Riihimäellä, Mikkelissä, Turussa, Lahdessa, Forssassa ja Tampereella.



Kuva 9.

Kuorma-autojen rautatieterminaalissa vuorokaudessa tekemien käyntikertojen suhde kunnan asukaslukuun.

Satamat

Satamia, joiden tavaraliikenne on yli 100 000 tonnia, on Haminassa, Hangossa, Turussa ja Vaasassa. Erityisesti Haminassa, Hangossa ja Vaasassa satamaliikenteen voidaan olettaa lisäävän kuorma-autojen kaukoliikenteen muodossa dieselöljyn myyntiä.

Koska kaupunkikohtaisia arviota on vaikea suorittaa ja kaikkien ko. kaupunkien alueella on huomattavaa kuorma-autojen läpikulkuliikennettä sekä tavaroiden pitkänmatkankuljetuksia aiheuttavaa toimintaa, korjaus tehdään luokittelemalla kaupungit kolmeen luokkaan vaikutuksen arvioimiseksi. Jaotelussa on huomioitu:

1. rautatieterminaaleissa käyvien kuorma-autojen lukumäärä
2. rautatieterminaalissa vuorokauden sisällä käyvien kuorma-autojen suhde väkilukuun
3. dieselöljyn myynnin osuus koko polttoaineen myynnistä
4. satamien vaikutus ja
5. kuorma-autojen sisäisen liikenteen suhde kunnasta lähteviin ja tuleviin kuorma-autoihin

Taulukko 10. Kuorma-autoliikenteen arvioitu vaikutus dieselöljyn myynnistä.

luokka	dieselöljyn myynti	arvioitu %-osuus dieselöljyn myynnistä	kaupungit
1	vähäinen vaikutus	0-2	Toijala
2	havaittava vaikutus	2-6	Hamina, Hanko, Heinola, Hämeenlinna, Kerava, Lahti, Porvoo, Riihimäki, Rovaniemi, Savonlinna, Vaasa ja Valkeakoski
3	merkittävä vaikutus	6-10	Forssa, Iisalmi, Jyväskylä, Kuopio, Mikkeli, Turku, Tampere

2.3.3 Kauppavuoto

Kauppavuotoa voi tapahtua mm. naapurikuntien asukkaiden, ulkopaikkakunnalta töissäkäyvien ja lomanviettoliiikenteen aiheuttamana polttoaineen myynnin lisäyksenä. Kauppavuodon mahdollisuutta ja sen suuruutta on arvioitu tutkimuksessa vertaamalla ja arvioimalla

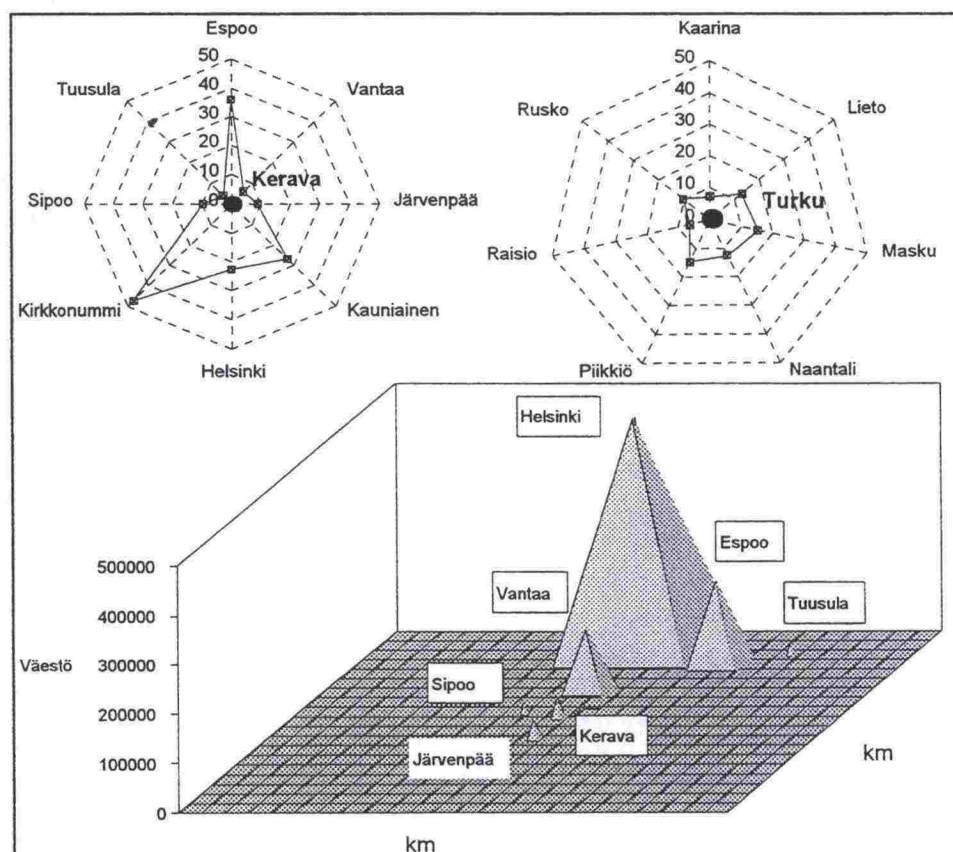
1. ko. kohde- ja lähikuntien liikenteen energiankulutustietoja.
2. etäisyyden vaikutusta erityisesti suurempaan naapurikuntaan.
3. työmatkojen pituuksien vaikutusta

Pienissä taajamissa, joiden etäisyys on alle 25 km asukasmäärältään huomattavasti suuremmasta taajamasta, voidaan osan polttoaineestoista olettaa tapahtuvan suuremmassa taajamassa. Etelä-Suomessa sijaitsevien

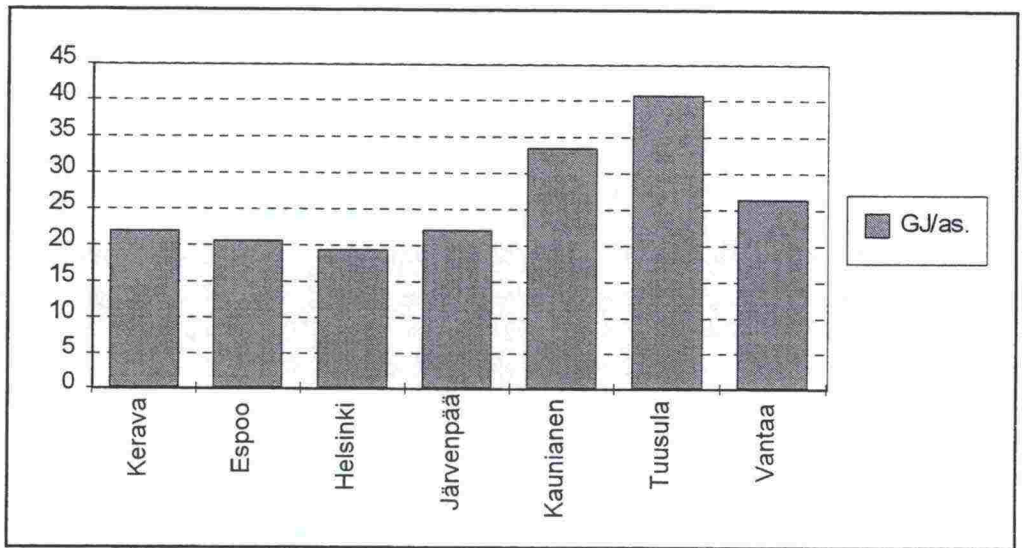
kohdekaupunkien väliset etäisyydet ovat pieniä. Pääsääntöisesti tutkittujen kaupunkien läheisyydessä olevat naapurikunnat ovat asukasluvultaan huomattavasti pienempiä ja seutukaavatasolla hierarkisesti alempitasoisia taajamia, kuten esim. Turun kohdalla. Koska pienten naapurikuntien myydyt polttoainemäärät ovat luokkaa 1-19 % esim. Turun ja Tampereen myydyistä polttoainemäärästä, voidaan kauppavuodon suuruuden olettaa muodostavan vain marginaalisen osan polttoaineen myynnistä. Naapurikuntien aiheuttama kauppavuodon merkitys isommille taajamille on siis vähäinen.

Vastaavasti pienille kunnille kauppavuodon merkitys voi olla suuri tarkasteltaessa asukaskohtaista liikenteen energiankulutusta. Suurten taajamien läheisyys saattaa laskea/nostaa polttoaineen myyntimääriä kunnassa ja siten vääristää tutkimus-aineistoa. Muutoksen suunta riippuu pienemmän kunnan sijainnista ja polttoaineen hinnasta. Tutkituista kaupungeista vain Keravan läheisyydessä on huomattavasti väkiriikkaampia taajamia. Vantaan etäisyys Keravalta on n. 6 km ja Helsingin 23 km.

Keravan kohdalla ei kuitenkaan näyttäisi tapahtuvan merkittävää kauppavuotoa, vaan kaupungin asukaskohtainen liikenteen energiankulutus on lähes samantasoinen suurten naapurikaupunkien Espoon, Vantaan ja Helsingin kanssa. Teoreettisesti maankäyttötiheydeltään ja väestömäärältään pienen Keravan asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen tulisi olla suurempi kuin Vantaan ja Espoon. Mm. Keravan tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava osan työmatkoista tapahtuminen junalla. Tietoa junamatkojen osuudesta työmatkoissa ei ollut käytettävissä.

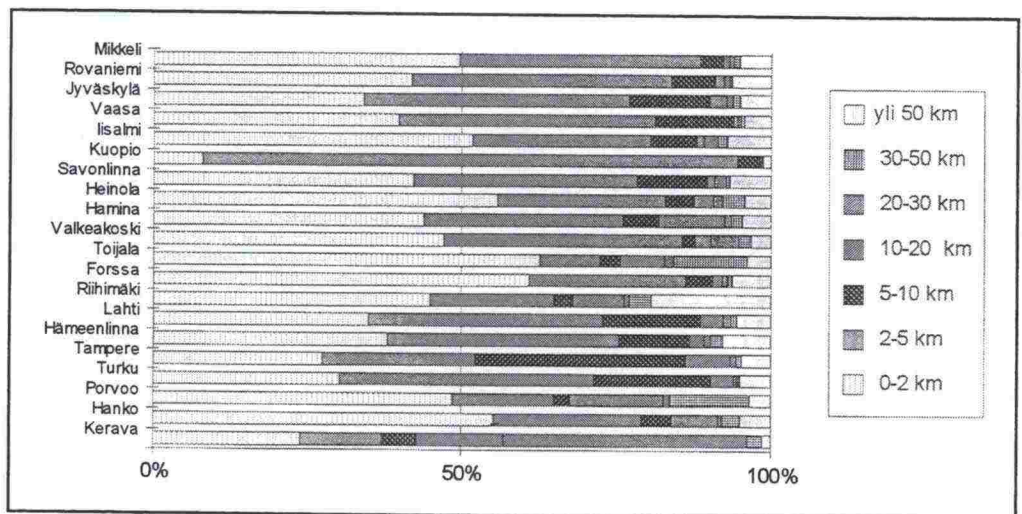


Kuva 10. Lähikuntien etäisyys (km) Keravalta ja Turusta sekä alla Keravan naapurikuntien asukasluku ja etäisyydet.



Kuva 11. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus Keravalla ja sen lähi-kaupungeissa.

Keravan tapauksessa taajama-alueen polttoaineen myyntiä vääristänee hieman alaspäin työmatkojen myötä tapahtuva polttoaineiden osto suuremmista taajamista. Keravan työväestöstä kunnan ulkopuolella töissäkäyvien osuus on 63 %, kun muiden kohde kuntien ulkopuolella töissäkäyvien prosenttiosuuden keskiarvo on 16 %. Olettamusta Keravan kauppavuodosta tukee myös työmatkapituuksien jakautuma. Alle 5 km pituisten työmatkojen käsittäessä muissa kunnissa keskimäärin 75.4 % työmatkoista on vastaava osuus Keravalla on 37 %. Yli 20 km pituisten työmatkojen osuus on Keravalla 43 %. Työmatkojen pituusjakautuman perusteella huomattava osa keravalaisista työskentelee lähiympäristön suurissa kaupungeissa.



Kuva 12. Työmatkojen jakutuminen pituusluokittain tutkituissa kaupungeissa.

3 TIELIIKENTEEN VAATIMA ENERGIA

Kaupungeissa kulutettu energia voidaan jakaa karkeasti neljään pääluokkaan. Energiaa kuluu kaupunkirakenteen tekniseen ja toiminnalliseen ylläpitoon (käyttö ja kunnossapito), rakentamiseen, tuotantotoimintaan ja liikenteeseen. Kaupunkiliikenteen energiankulutus koostuu henkilöiden matkustamisesta ja tavaroiden kuljettamisesta. Kaupunkiliikenteen energiankulutukseen määrään vaikuttavat pääosin:

- ajoneuvojen tekniset ominaisuudet
- ajoneuvon kuljettaja ja hänen ajotapansa
- liikenne- /kaupunkiympäristö ja liikenteen ohjaukseen liittyvät tekijät.

Ajoneuvojen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä on analysoitu useissa tutkimuksissa, mutta usein painottuen auton teknisiin ominaisuuksiin ja kuljettajien ajotapaan. Kaupunkiympäristöön liittyvät tekijät rajoittuvat yllensä tien geometriaan ja joukkoliikenteessä tämän ohella esim. pysäkkiväleihin. Tämän johdosta seuraavissa kahdessa kappaleessa on lueteltu lyhyesti kunkin liikennemuodon yhteydessä vain em. näkökohdasta huomioitua tärkeimmät polttoaineenkulutukseen vaikuttavat tekijät. Tämä selvitys painotuu kaupunkiympäristöä koskevien tekijöiden vaikutuksiin ja sitä kautta mahdollisesti saataviin energiasäästämismahdollisuuksiin. Energian säästöllä tarkoitetaan tässä yhteydessä liikenteen energiankäytön vähentämistä.

Tieliikenteen energiankulutus seuraa hyvin liikennesuoritteiden kasvua. Tästä osoituksena on liitteellä 5 liikenteen energiankulutuksen ja liikennesuoritteiden kasvu vv. 1975-1988. Myös keskimääräinen polttoaineen kulutus asukasta kohden kertoo autoistumisen tasosta maassa. Suomessa vuonna 1990 tieliikenteen osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 14 % ja öljynkulutuksesta 33 %. Laman johdosta tieliikenteen polttoaineiden, erityisesti dieselöljyn, kulutus on kuitenkin hieman laskenut.

Taulukko 11. Liikenteen energiankulutustietoja eräissä tutkituissa kaupungeissa.

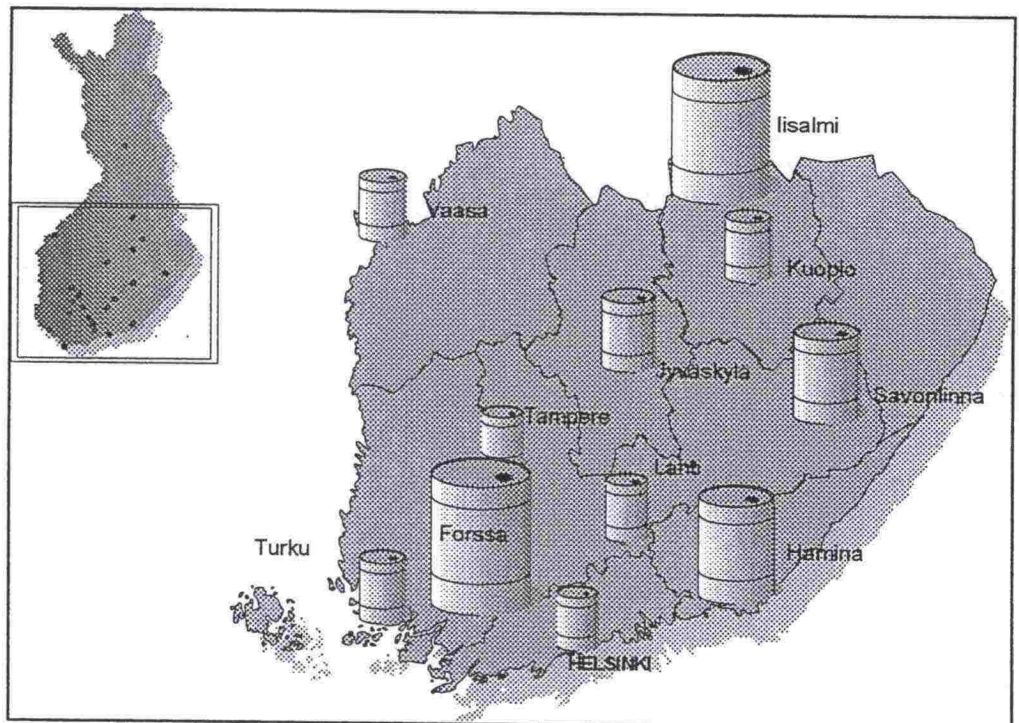
	autot / 1000 as	autot / yli 18 vuotiaat	asukaskohtainen liikenteen energiankulutus (GJ)
tutk.kunnat (ka.) n=20	444	56	31.6
Forssa (max)	504	643	55.1
Tampere (min)	421	523	21.7
Lahti	415	521	22.9
Turku	437	538	25.7
Vaasa	480	616	25.7
Rovaniemi	501	654	31.6
Pääkaupunki-seutu*	-	-	22,7*
Oulu*	359	452*	27.6*

*Lähde: Lisensiaattityö: Kaupunkien sisäinen rakenne - Kaupunkirakenteen hajautuminen, työmatkaliikenne ja ydinkeskustan toiminnallisen rakenteen muutos; Timo Halme/Oulun yliopisto ER 1995:1

Tutkitut kaupungit

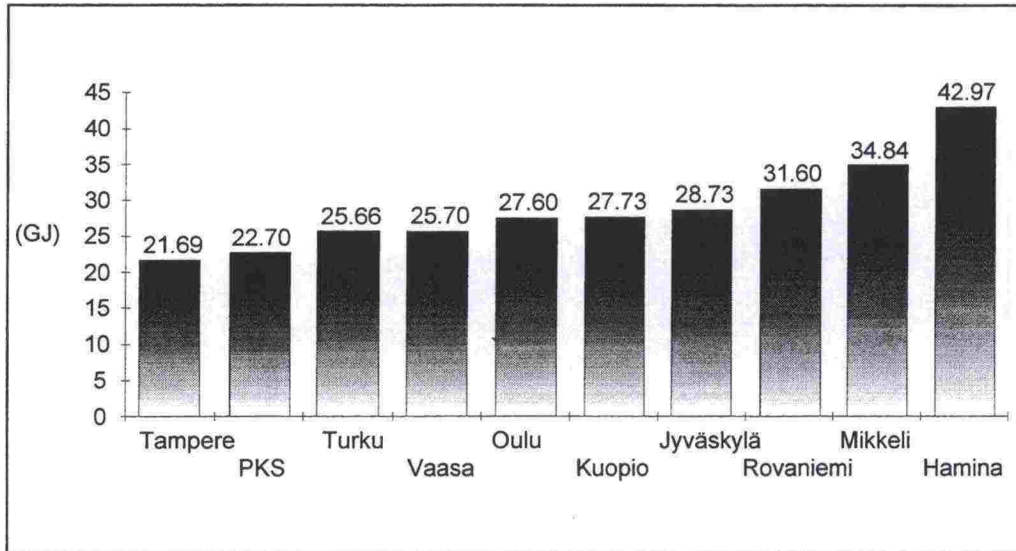
Tieliikenteen energiankulutuksessa näyttäisi kuvan 13 perusteella olevan huomattaviakin eroja. Forssan arvot ovat yli kaksinkertaisia verrattuna Tampereen arvoihin. Forssan ja Iisalmen asukaskohtainen energiankulutus on poikkeuksellisen suuri verrattuna muihin kohdekaupunkeihin ollen jopa samaa luokkaa eräiden korkeasti autoistuneiden Pohjois-Amerikkalaisten kaupunkien kanssa. Koska Forssan ja Iisalmen asukaskohtainen liikenteen energiankulutus eroaa näin suuresti muista tutkimuskohteina olleista kaupungeista (vrt. kuva 5, s. 17), ne on jätetty osasta analyysimalleista pois.

Tarkasteltaessa energiankulutusta asukasta kohden on huomioitava myös erot taajaman ja kaupungin pääväylän keskinäisessä sijainnissa. Esim. Forssa ja Iisalmi sijaitsevat kahden tärkeän valtatie-risteyskohdassa: Iisalmi Vt 19 ja Vt 5 sekä Forssa Vt 2 ja Vt 10. On todennäköistä, että tämä on yksi syy kaupunkien korkeaan liikenteen energiankulutukseen asukasta kohden.



Kuva 13. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus (GJ) eräissä kaupungeissa. Turun asukaskohtainen liikenteen energiankulutus 25.7 GJ.

Kun kaupunkia tarkastellaan lääneittäin ja verrataan keskenään läänin pääkaupunkeja, ei asukaskohtaisessa energiankulutuksessa ole suuria eroja maantieteellisesti. Energiankulutus tosin kasvaa hieman etelä-pohjois-suunnassa ja länsi-itäsuunnassa. Huomattavasti selkeämpi on väestömäärän vaikutus. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus kasvaa pääsääntöisesti väestömäärän pienetessä.



Kuva 14. Tieliikenteen asukaskohtainen energiankulutus (GJ) lääneittäin. Haminaa lukuunottamatta kaikki ovat lääniensä keskustaajamajonoja.

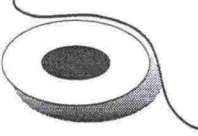
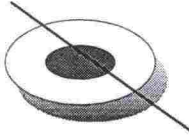

Ohiajavan liikenteen reitit

Polttoaineiden myyntimäärään kaupungissa vaikuttaa ohikulkutien läheisyys. Kaupungit on tässä selvityksessä jaoteltu kolmeen ryhmään sen mukaan, millainen tieverkko taajama-alueella on:

1. ohikulkutie sivuaa taajamaa
2. ohikulkutie kulkee taajama-alueen läpi
3. ohikulkutie kulkee taajama-alueen ulkopuolella

Kaikissa tapauksissa pitkämatkainen liikenne nostaa kaupungin polttoaineiden myyntimääriä. Siitä, millaisessa ohitustien sijaintitapauksessa eniten, ei aineiston perusteella voida tehdä suoraa päätelmiä. Näyttää siltä, että ohitustien sijaitessa taajama-alueella sivuavasti vaikutus olisi suurin. Syynä voi olla huoltoasemien luonteva sijainti mm. raskaan liikenteen kannalta. Huoltoasemille liikennöinti on helpompaa kuin taajaman sisällä oleville huoltoasemille.

Taulukko 12. Taajaman ja ohikulkutien keskinäisen sijainnin vaikutus asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen (GJ).

			
Ohiajava liikenne	Sivuaa taajamaa	Kulkee keskusta-alueella	Kulkee taajama-alueen ulkopuolla
kaupungit	Forssa, Kuopio Mikkeli ja Riihimäki	Hanko, Heinola, Hämeenlinna, Iisalmi, Jyväskylä, Kerava, Lahti, Rovaniemi, Savonlinna, Tampere ja Turku	Hamina, Vaasa, Valkeakoski, Porvoo ja Toijala
keskiarvo	37.12GJ	29.74GJ	31.47GJ
hajonta	12.30GJ	9.39GJ	8.37GJ
mediaani	32.84GJ	26.40GJ	26.00GJ
minimi	27.73GJ	21.69GJ	25.10GJ

3.1 Henkilöautoliikenne

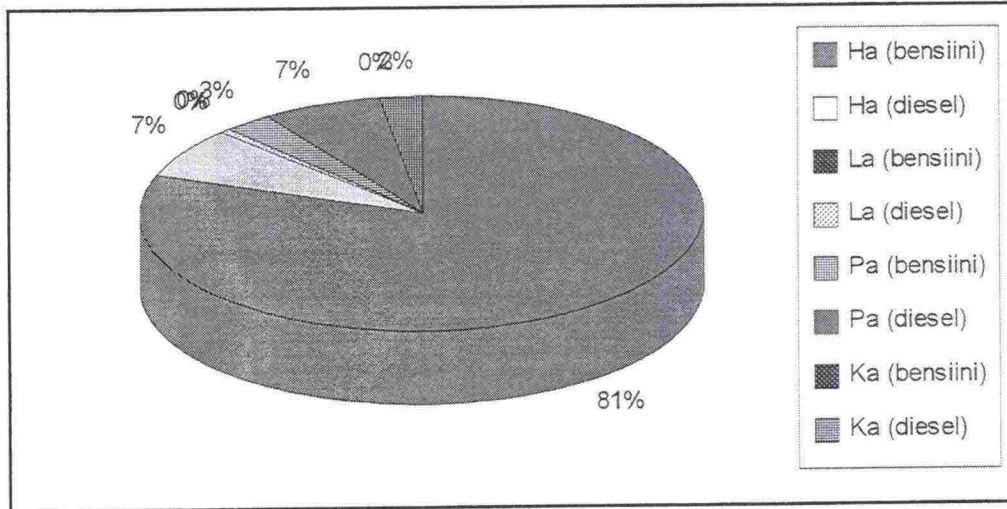
Henkilöautot käyttävät valtaosan liikenteen bensiinistä ja dieselöljystä. Tarkkaa tietoa bensiinin ja dieselöljyn kulutuksen jakautumasta ajoneuvoryhmittäin ei kuitenkaan ole. Yleensä myydyin bensiinin katsotaan käytettävän kokonaisuudessaan henkilöajoneuvoissa, joiden osuus bensiinikäyttöisistä ajoneuvoista on n. 96.7 %. Henkilöauton polttoaineenkulutukseen vaikuttavat auton tekniset ominaisuudet, käyttöolosuhteet ja kuljettajan ajokäyttäytyminen.

Dieselkäyttöisten ajoneuvojen osuus on kasvanut viimeisenä 20 vuotena merkittävästi. Henkilöautoista dieselkäyttöisiä ajoneuvoja oli vuonna 1990 n. 8.0 % ja koko ajoneuvokannasta 16.6 %. Dieselöljyn myynnistä henkilö- ja pakettiajoneuvojen osuus on arvion mukaan n. 39 %.

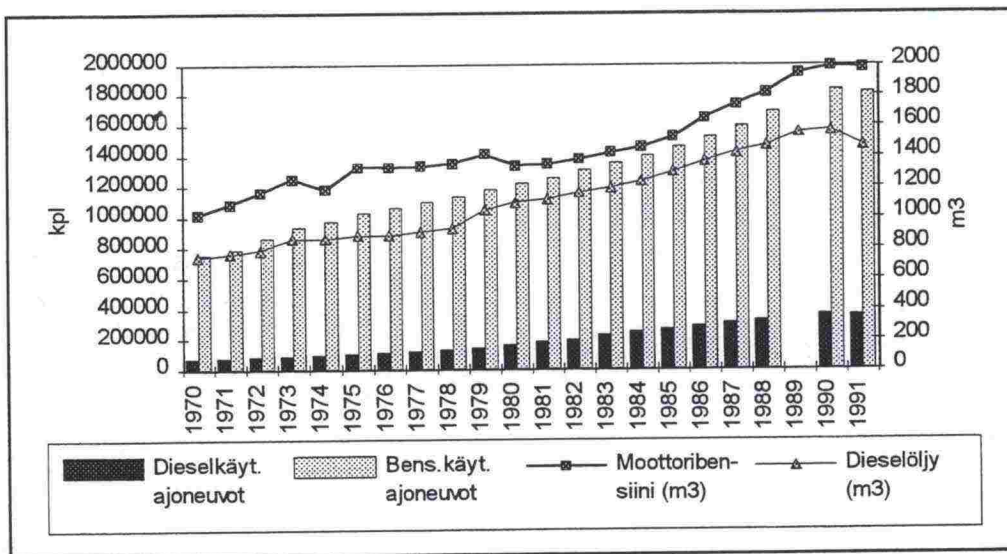
Kaupunkiliikenteen seurausvaikutukset ja energiankulutus-tutkimuksessa arvioidaan kaupunkien ja kaupunkiseutujen henkilöliikenteen osuuden energian kokonaiskulutuksesta olevan Suomessa n. 2-3 % /3/.

Henkilöautoihin liittyvänä tulevaisuuden visiona voidaan pitää:

- henkilöautojen määrä kasvaa - lamasta huolimatta
- liikennesuorite kasvaa, jos taloudellinen kehitys sen sallii
- autojen energiatalous kehittyy
- kaupunkiympäristö mukautuu kasvaneeseen autoistumistasoon.



Kuva 15. Eri ajoneuvoryhmien osuus koko ajoneuvokannasta (v. 1990).

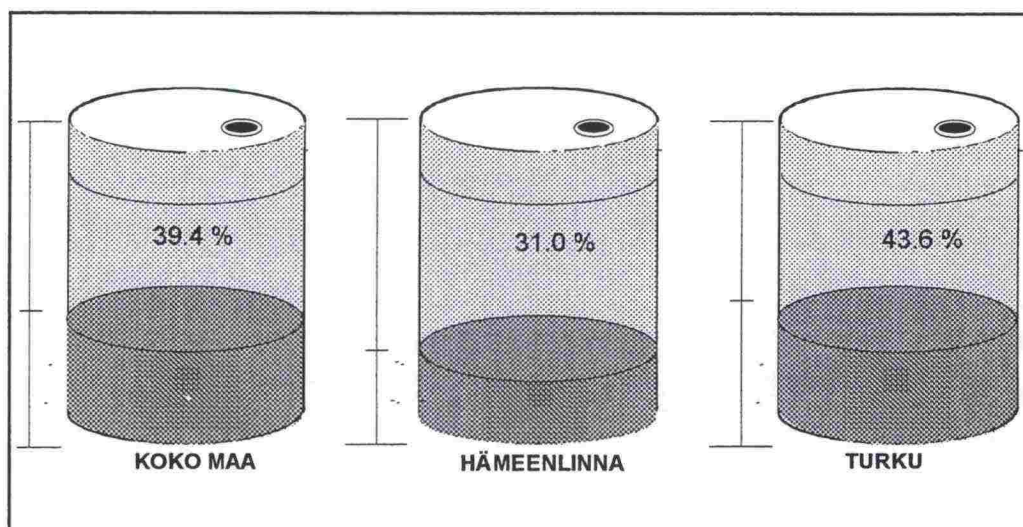


Kuva 16. Bensiini- ja dieselöljykäyttöisten ajoneuvojen määrän kehitys sekä moottoribensiinin ja dieselöljyn myyntimäärät (m³) vv. 1970-1991.

3.2 Joukkoliikenne ja tavaraliikenne

Raskaat ajoneuvot kuten kuorma-autot ja linja-autot käyttävät käytännössä yksinomaan dieselöljyä polttoaineenaan. Vain marginaalinen osuus käyttää moottoribensiiniä. Linja-autojen osuus dieselöljyjen kulutuksesta on arvon mukaan 12 % ja kuorma-autojen 47 %. Em. ajoneuvotyyppien osuus koko ajoneuvokannasta on n. 2.7 %.

Dieselöljyn osuus koko maan polttoaineen myynnistä oli vuonna -92 39.4 %. Tutkituissa kunnissa dieselöljyn osuus polttoaineiden myynnistä oli keskimäärin 36.3 %. Kohdekunnista suhteellisesti eniten myydään dieselöljyä Turussa ja Forssassa, joissa osuudet olivat 43.6 ja 42.7 % koko polttoaineen myyntimääristä.



Kuva 17. Dieselöljyn myynnin osuus koko maassa, Hämeenlinnassa ja Turussa.

Kuorma-autoliikenteen kuljetussuoritetta kohden laskettu energiankulutus riippuu aikaisempien tutkimusten perusteella /4,5/:

- ajoneuvon painosta
- kuormasta
- tyhjänäkulkuprosentista sekä
- tieoloista.

Linja-autojen energiankulutukseen eniten vaikuttavat:

- nopeus,
- tien mäkisyys,
- auton kuormitus ja pysähdysten määrä

4 KAUPUNKIRAKENTEEN VAIKUTUS TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSEEN

Liikenteen kehitykseen ja mm. liikennesuoritteiden kasvuun vaikuttavat yhdyskuntarakenne, taloudellinen tilanne, energian saatavuus, tekninen kehitys, ympäristö ja ihmisen arvomaailma. Näistä yhdyskuntarakenne määrää matkojen suuntautumisen sekä vaikuttaa matkojen pituuteen, kulkutapaan ja liikennenopeuteen.

Kaupunkien taajamarakenne on pyrkinyt levittäytymään ihmisten muuttaessa kauemmaksi ydinkeskustasta viihtyisämmiksi kokemilleen asuinalueille, jos taloudellinen tilanne sen sallii. Mm. Mogridge (1985) on tutkimuksessaan Pariisiin ja Lontoon liikenteen energian ja maankäytön vuorovaikutuksesta todennut riippuvuuden asuinkunnan korkeamman tulotason ja asuinpaikan etäisyyden ydinkeskustan välillä. Yhdyskuntarakenteen hajoamisen luonnollisena seurauksena voidaan olettaa matkojen pituuden sekä liikennetarpeen ja energiankulutuksen kasvavan /14/.

Henkilöauton energiankulutukseen katsotaan vaikuttavan ensisijaisesti maankäytön tiheyden, kulkumuotojakauma, joukkoliikenteen tason, kaupunkikoon ja -rakenteen, auton omistustuksen, tulotason, polttoaineen hinnan, auton polttoaineen kulutuksen (auton tekniset ominaisuudet) sekä sosiaalisten että kulttuurillisten tekijöiden. Näistä em. tekijöistä käsitellään aineiston sallimissa rajoissa:

- maankäytön tiheyttä
- kaupunkirakennetta
- auton omistusta ja
- joukkoliikenteen tasoa sekä
- työmatkojen vaikutusta.

Korrelaatiokertoimia on taulukoitu neljästä eri mallista. Näistä mielestäni tärkeimmät ovat *K2* ja *K0* - tässä järjestyksessä. Mallissa *K2* on pyritty tarkastelemaan taajaman sisäistä liikenteen energiankulutusta. Malli *H0* on "perusmalli", jonka polttoaineenmyyntimääriä ei ole korjattu.

4.1 Maankäytön tiheys ja kaupunkirakenne

4.1.1 Maankäytön tiheys

Maankäytön tiheyttä kuvaavilla tai siihen liittyvillä muuttujilla on tutkimuksen aineiston mukaan hyvä korrelaatio tieliikenteen energiankulutuksen kanssa. Merkittävimpiä korrelaatioarvoja saatiin tekijöille:

- asukaskohtainen taajamapinta-ala
- taajamarajan pituus (taajamarajan pituus asukasta kohden)
- rakennuspinta-ala taajama-alaa kohden
- asuinkerrostalojen yhteenlaskettu pinta-ala taajama-alaa kohden
- rakennusala tiestöä kohden

Näiden muuttujien standardoidut regressiokertoimet, jotka ovat yhden muuttujan tapauksessa sama kuin korrelaatiokertoimet, vaihtelivat mallissa *K2* -0.654 - +0.616 merkitsevyydystason ollessa 0.015 ja 0.006:n välillä. *K2*:ssa saatiin suurimmat korrelaatiot aikaisemmin mainittujen muuttujien ja liikenteen energiankulutuksen väliille. Kyseessä on malli, jossa on pyritty vähentämään taajaman sisäisen liikenteen energiankulutukseen vaikuttavia ulkopuolisia virhelähteitä, kuten linja- ja kuorma-autojen kaukoliikennettä.

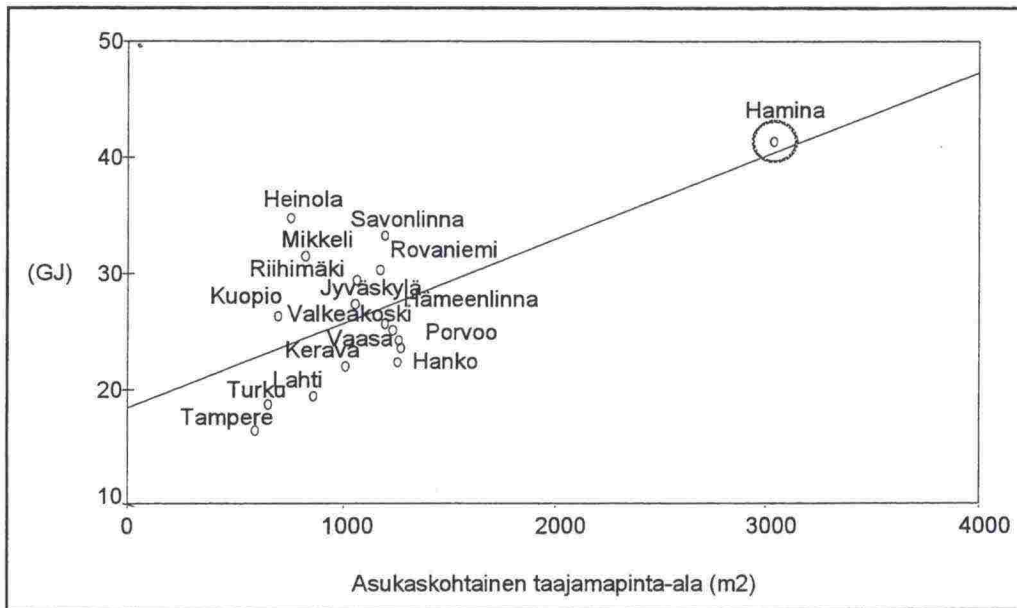
Suurimpia korrelaatiokertoimien arvoja olivat asukaskohtaisella taajamapinta-alalla (0.616) ja taajamarajan pituudella (-0.654). Positiivinen merkki ensinmainitussa muuttujassa merkitsee, että taajama-alan kasvaessa asukasta kohden kasvaa myös liikenteen energiankulutus asukasta kohden.

Mallissa *K0* korrelaatiokertoimien arvot vastaavilla muuttujilla vaihtelivat -0.415 - 0.321:n rajoissa. Merkitsevyydystaso oli luokkaa huonompi kuin mallissa *K2* ollen 0.068-0.168. Asukaskohtaisen taajamapinta-alan korrelaatiokerroin oli 0.321 merkitsevyydystason ollessa 0.168. *K0*:n asukaskohtaisen taajamapinta-alan korrelaatiokerroin on hieman pienempi kuin ruotsalaisista kaupungeista saatu vastaava arvo.

Perusmallissa *H0* maankäytön tiheyden merkitys on pienempi. Esimerkiksi asukaskohtaisen taajamapinta-alan korrelaatiokerroin on tällöin 0.242, joka on pienempi kuin vastaavat arvot ruotsalaisissa kaupungeissa (korrelaatiokerroin 0.44-0.50). *H0*-mallissa ja Ruotsissa tehtyjen analyysien pienemmät korrelaatiokertoimet, verrattuna Norjalaista kaupungeista saatuihin arvoihin, selittynevät osaltaan siten, että molemmissa tapauksissa polttoainemyyntimäärät koskevat koko kaupungin aluetta. Tällöin siihen vaikuttavat kohdassa 2.3 luetellut virhelähteet.

Kaikissa malleissa taajama-alalla ja taajaman väestömäärällä oli hyvä korrelaatio liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen kanssa. Näiden muuttujien perusteella on kuitenkin vaikea tehdä johtopäätöksiä edullisesta kaupunkirakenteesta energiankulutuksen kannalta. Mielestäni ei voida ajatella, että vain kasvattamalla em. tekijöitä voitaisiin parhaalla tavalla vähentää liikenteen energiankulutusta.

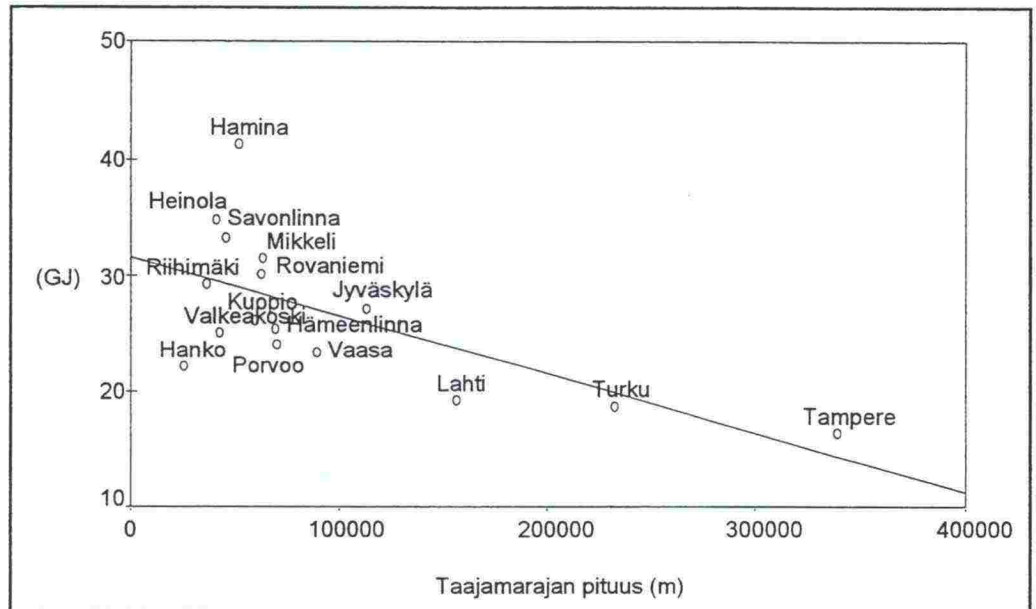
Asukas- ja maankäyttötehokkuuden nostoa liikenteen energian säästökeinoon tukevat asukaskohtaisen taajamapinta-alan lisäksi muut maankäytön tehokkuutta kuvaavat muuttujat, kuten rakennuspinta-alan ja asuinrakennusten pinta-alan suhde taajama-alaa kohden. *K2*:ssa liikenteen energiankulutuksen ja rakennuspinta-ala taajama-alaa kohden välinen korrelaatiokerroin on -0.579 ja asuinrakennuspinta-ala per taajama-ala tapauksessa -0.530. Siis, mitä enemmän rakennus- ja asuinrakennuspinta-alaa on taajama-alaa kohden, sitä pienempi on asukaskohtainen liikenteen energiankulutus. Knoflacherin mukaan asukas- ja maankäyttö-tehokkuuden liiallinen lisääminen taajamassa on kuitenkin ristiriidassa ihmisten miellyttävälle taajamaympäristölle asettamien arvojen kanssa.



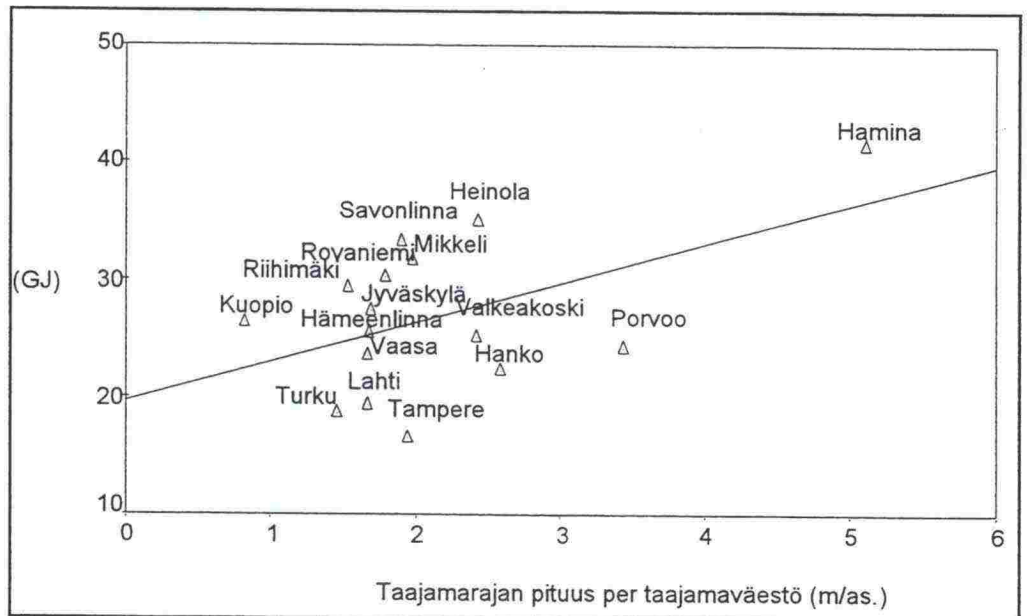
Kuva 18. Asukaskohtaisen taajamapinta-alan ja liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$. Korrelaatiokerroin 0.616, $R^2=0.379$, merkitsevyystaso 0.0085. Regressioyhtälö $Y=18.45+0.0072X$, jossa Y on asukaskohtainen energiankulutus ja X asukaskohtainen taajamapinta-ala.

Taajamarajan pituuden negatiivista arvoa ei tulisi tulkita niin, että kasvattamalla taajama-alueen kokoa voitaisiin vähentää liikenteen kuluttamaa energiaa. Lisäksi on huomioitava, että kyseessä ei ole suhdeluku. Selityksenä taajamarajan korrelaatioarvolle onkin paremmin se, että suurempi kaupunki, joka on poikkeuksetta pakon sanelemana tehokkaammin rakennettu ja jossa on enemmän väestöä, vaatii suuremman taajama-alan. Samalla ajattelutavalla taajamaväestön korrelaatiokerroimen (-0.653) perusteella taajamaväestön kasvaessa myös energiankulutus pienenee. Nämä ovat liian yksiselitteisiä päätelmiä, koska esim. pelkkä taajamaväestön lisääminen ilman järkevää taajamarakennetta ei vähennä liikenteen energiankulutusta.

Kun selittäväksi muuttujaksi otetaan suhdeluku taajamarajan pituus asukasta kohden muuttuu korrelaatiokerroimen etumerkiksi +. Tämän muuttujan merkitys on huomattavasti parempi energiankulutustasoa korreloivana tekijänä. Sen korrelaatiokerroin on mallissa K2 0.504. Tällöin asukasta kohden olevan taajamarajan pituuden kasvaessa myös asukaskohtainen liikenteen energiankulutus kasvaa. Mallissa H2 muuttujalle saatiin hieman parempi korrelaatio kertoimen ollessa 0.647 ja merkitsevyystason 0.007.



Kuva 19. Taajamarajan pituuden ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$. Korrelaatiokerroin -0.654 , $R^2=0.428$, Merkitsevyystaso 0.006 , Regressioyhtälö $Y=31.64-5.0636E-5X$, jossa Y on asukaskohtainen liikenteen energiankulutus ja x taajamarajanpituus.



Kuva 20. Taajamarajan pituus asukasta kohden ja liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$. Korrelaatiokerroin 0.504 , $R^2=0.254$, merkitsevyystaso 0.0467 .

Taulukko 13. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja liikenteellisten sekä väestöllisten tekijöiden väliset regressiokertoimet. Harmaalla merkitty kunkin muuttujan osalta suurin korrelaatiokerroin.

MUUTTUJAT	H0	H2	K0	K2
autoja 1000 asukasta kohden	0.483 (0.031)	0.358 (0.159)	0.362 (0.117)	0.140 (0.593)
autoa /asuntokunta	0.276 (0.240)	0.208 (0.424)	0.281 (0.230)	0.216 (0.404)
auto/pinta-ala (kpl/km ²)	-0.168 (0.479)	-0.161 (0.538)	-0.370 (0.108)	-0.190 (0.464)
kunnassa työssäkäyvien suhde kunnan ulkopuolella työskenteleviin	-0.250 (0.917)	-0.299 (0.245)	0.013 (0.957)	-0.173 (0.507)
tiepituus / pinta-ala (tietiheys kunnan alueella)	-0.105 (0.658)	.0322 (0.208)	-0.249 (0.289)	0.047 (0.858)
taajamaväestö	-0.436 (0.055)	-0.513 (0.035)	-0.550 (0.012)	-0.653 (0.005)
väkiluku	-0.422 (0.064)	-0.521 (0.032)	-0.534 (0.015)	-0.654 (0.004)

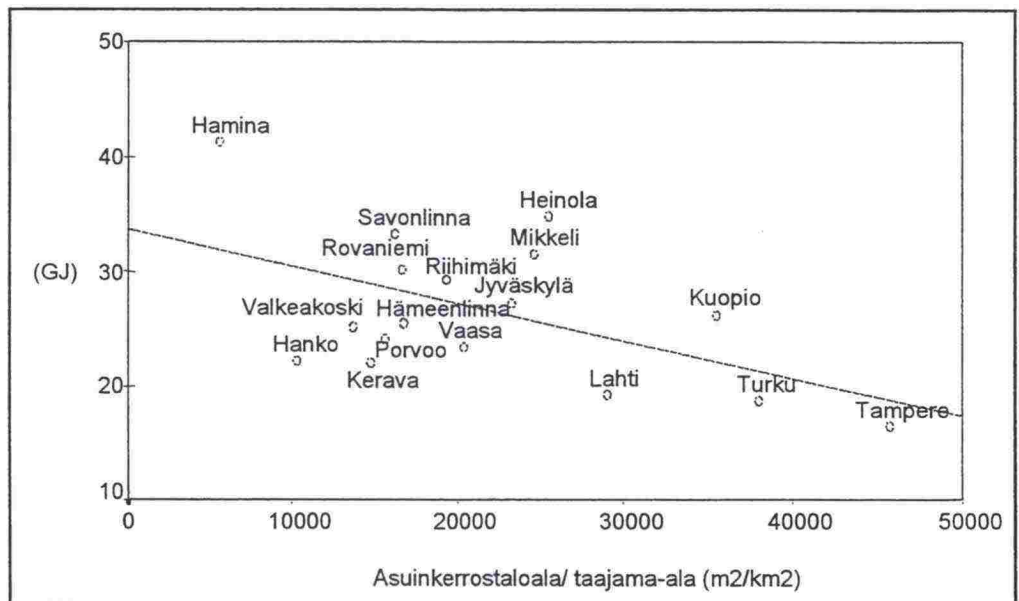
Taulukko 14. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet. Suluissa merkitsevyystaso.

MUUTTUJAT	H0	H2	K0	K2
taajama-ala	-0.458 (0.042)	-0.487 (0.048)	-0.555 (0.011)	-0.602 (0.010)
asukaskohtainen taajamapinta-ala	0.242 (0.303)	0.571 (0.017)	0.321 (0.168)	0.616 (0.009)
tiepituus taajama-alueella(kadut + yl. tiet)	-0.496 (0.026)	-	-0.589 (0.006)	-0.673 (0.003)
tietiheys taajama-alueella	-0.106 (0.656)	-0.233 (0.369)	-0.039 (0.871)	-0.102 (0.686)
taajamarajan pituus asukasta kohden	0.216 (0.380)	0.647 (0.419)	0.214 (0.046)	0.504 (0.047)
taajamarajan pituus	-0.428 (0.068)	-0.493 (0.052)	-0.554 (0.014)	-0.654 (0.006)
työmatkojen pituus**	-0.145 (0.541)	-0.050 (0.850)	-0.167 (0.481)	-0.104 (0.692)
rakennusala tiestöä kohden	-0.420 (0.065)	-0.258 (0.317)	-0.561 (0.010)	-0.483 (0.050)
kaikkien rakennusten pinta-ala taajama-ala kohden	-0.283 (0.226)	-0.482 (0.050)	-0.383 (0.095)	-0.579 (0.015)
asuinrakennusten pinta-ala / taajamaväestö	-0.078 (0.744)	0.272 (0.292)	-0.046 (0.848)	0.322 (0.207)

4.1.2 Kaupunkirakenne

Asumismuoto

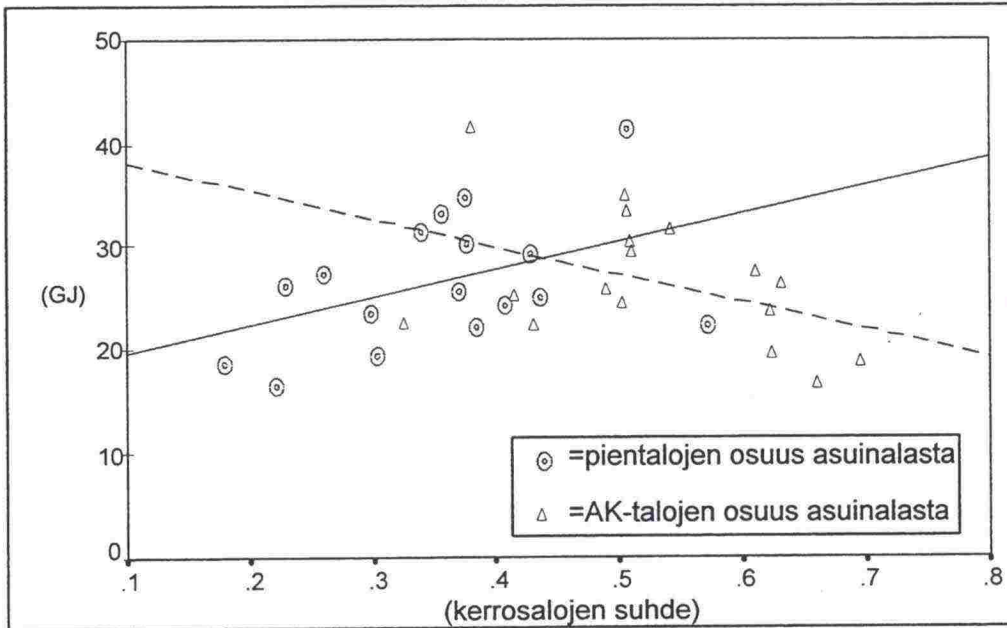
Kaupungin yhdyskuntarakennetta ja osittain sen liikenteellisiä ominaisuuksia kuvaa eri asumismuotojen osuus asuinrakennusten pinta-alasta. Aineiston perusteella asuinrakennusten kerrostalopinta-alan osuus taajama-alasta korreloi hyvin liikenteen energiankulutuksen kanssa. Mallissa K2 tämän muuttujan korrelaatiokerroin on -0.530 ja merkitsevyytaso 0.028 . On huomattava, että lähtötiedot käsittävät koko taajama-alueen yhteenlasketut arvot eivätkä tietoja jaoteltuna eri lähiöalueisiin.



Kuva 21. AK-talojen pinta-alan osuuden suhde taajama-alasta ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$ Korrelaatiokerroin -0.530 , $R^2=0.281$, merkitsevyytaso 0.0287 , Regressioyhtälö $Y=33.69 - 1.342E-4 X$

Eri asumismuotojen vertailu näyttäisi tukevan tiivistä kaupunkirakentamista, jos asiaa tarkastellaan yksinomaan matemaattisesti liikenteen energiankulutuksen näkökulmasta ja jätetään huomioimatta esim. asumisviihtyvyyteen vaikuttavat tekijät. Mallissa K2 pientalojen pinta-alan osuutta koko rakennuspinta-alasta kuvaava korrelaatiokerroin oli 0.435 . Ts. mitä suurempi osuus rakennuskannasta on pientaloja sitä suurempi asukaskohtainen energian kulutus. Kerrostalojen pinta-alan osuutta koko rakennuspinta-alasta kuvaava korrelaatiokerroin oli -0.347 ts. mitä suurempi osuus rakennuspinta-alasta on kerrostaloja sitä vähemmän kuluu energiaa liikenteessä. Muut mallit, $H0$ ja $K0$ antavat samansuuntaisen tuloksen. Korrelaatiokertoimien arvot ovat kuitenkin pienempiä. Esim. mallissa $K0$ vastaavat kertoimet ovat 0.340 ja -0.302 . Tuloksia tarkastellessa on huomioitava niiden heikko merkitsevyytaso.

Aikaisemmista tehdyistä tutkimuksista ruotsalainen SCAPE (1982) on pää-
tynyt samantapaiseen päätelmään, jossa havaittiin talotyypillä olevan vai-
kutusta henkilöliikenteen energiankulutukseen.

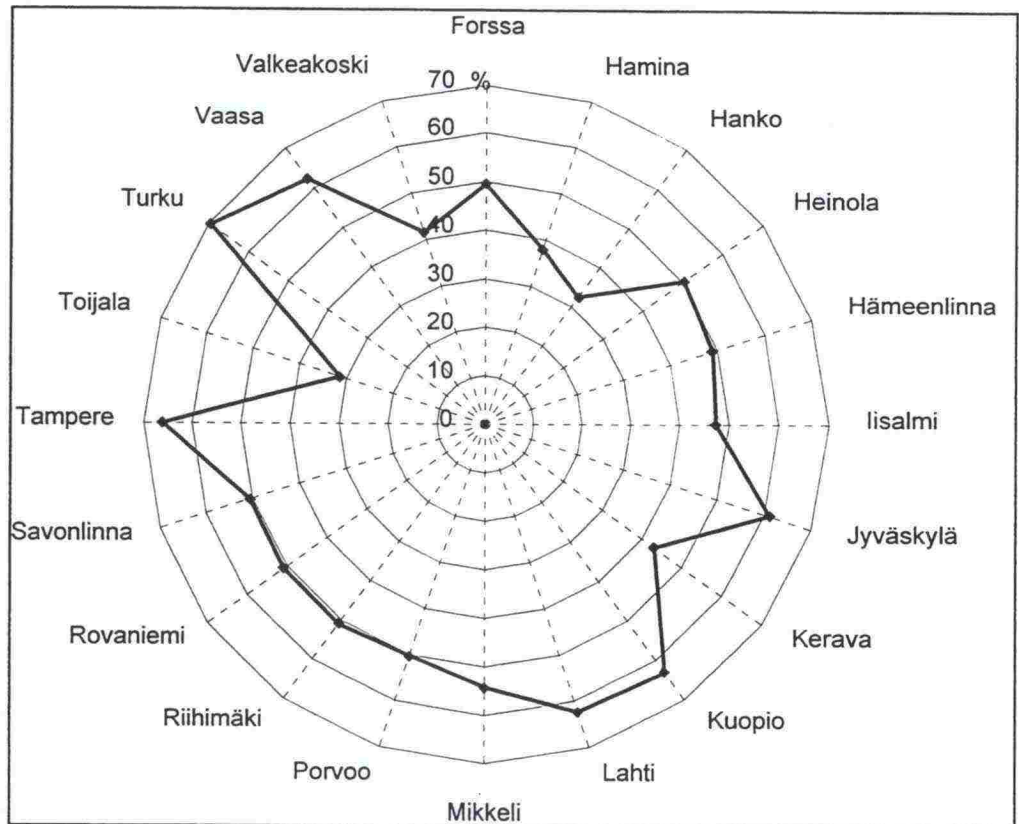


Kuva 22. Eri asumismuotojen ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen vä-
linen korrelaatio. Malli K2, N=17. AK-talojen osuuden kasvaessa ja
pientalojen osuuden pienessä energiankulutus pienenee.

Taulukko 15. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja kaupunki-
rakennetta ja -ympäristöä kuvaavien tekijöiden väliset stan-
dardoidut regressiokertoimet. Suluissa merkitsevyystaso.

MUUTTUJAT	H0	H2	K0	K2
pientalojen osuus asuinalueesta	0.240 (0.308)	0.330 (0.196)	0.340 (0.143)	0.435 (0.061)
kytkettyjen pientalojen osuus asuinalueesta	-0.219 (0.355)	-0.147 (0.574)	-0.109 (0.649)	0.016 (0.950)
asuin kerrostalojen osuus asuinalueesta	-0.175 (0.461)	-0.284 (0.289)	-0.302 (0.195)	-0.437 (0.060)
pientalojen osuus koko rakennuspinta-alasta	0.189 (0.425)	0.356 (0.163)	0.295 (0.207)	0.474 (0.055)
kytkettyjen pientalojen osuus koko rakennuspinta-alasta	-0.225 (0.341)	-0.073 (0.800)	-0.108 (0.650)	0.107 (0.683)
asuin kerrostalojen osuus koko rakennuspinta-alasta	-0.220 (0.351)	-0.210 (0.419)	-0.33 (0.151)	-0.347 (0.172)
teollisuusrakennusten osuus koko rakennuspinta-alasta	-0.101 (0.672)	-0.568 (0.018)	-0.101 (0.672)	-0.702 (0.002)
pientalojen pinta-ala taajama-alaa kohden	0.057 (0.811)	-0.218 (0.401)	-0.046 (0.846)	-0.148 (0.572)
asuin kerrostalojen pinta-ala taajama-alaa kohden	-0.309 (0.185)	-0.412 (0.100)	-0.415 (0.068)	-0.530 (0.026)
hallinto- ja palvelurakennusten osuus koko rakennuspinta-alasta	0.331 (0.154)	-0.454 (0.067)	0.331 (0.154)	0.306 (0.232)

Väkirikkaissa kunnissa, kuten Turussa, Tampereella, Lahdessa ja Kuopiossa, joissa energiankulutus asukasta kohden on keskimäärin vähäisempää, asuinkerrostalojen osuus on yli 60 %. Vastaavasti omakotitalojen ja rivitalojen osuus asuinpinta-alasta on suuri - yli 60 % - Hangossa, Haminassa ja Toijalassa. Haminassa liikenteen energiankulutus on luokkaa suurempi kuin em. väkirikkaissa kunnissa.

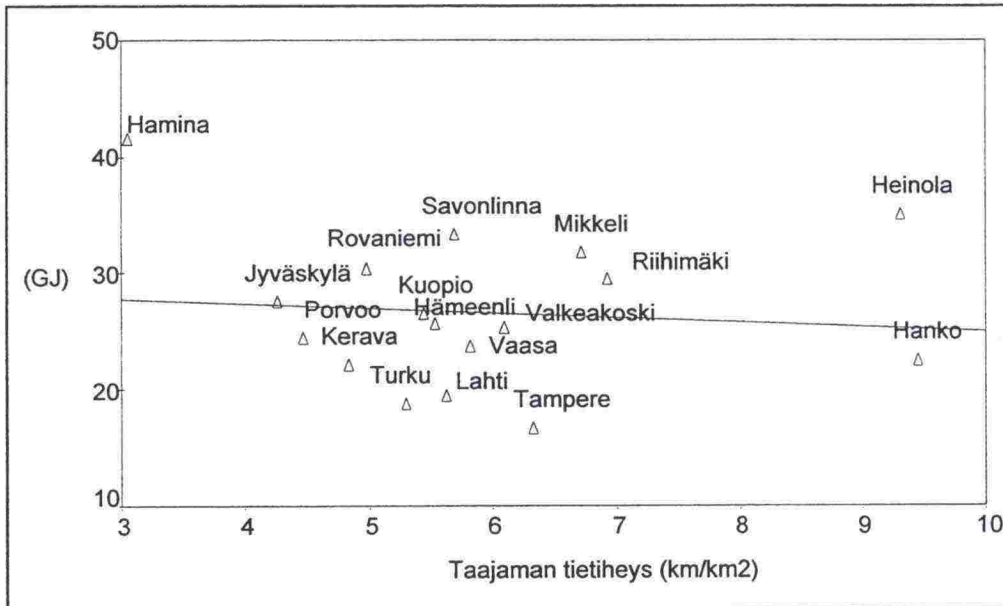


Kuva 23. Kerrostalojen neliöpinta-alan osuus (%) asuinrakennusten yhteenlasketusta neliöpinta-alasta.

Tietiheys*

Tietiheyyttä on tarkasteltu kahdella muuttujalla: taajama- ja kaupunkikohtaisella tietihedellä. Molempien muuttujien riippuvuus asukaskohtaisesta liikenteen energiankulutuksesta on heikko. Mallissa K2 taajamakohtaisen tietiheden korrelaatiokerroin oli -0.102 merkitsevyydellä 0.686.

Taajamatiestön yhteispituudella on hyvä korrelaatio liikenteen energiankulutuksen kanssa kaikissa analyysimalleissa. Paras korrelaatioarvo (-0.673) saatiin mallissa K2 merkitsevyydellä 0.003. Etumerkin perusteella taajamatiestön pituuden pienessä liikenteen energiankulutus kasvaa. Vaikka muuttujan korrelaatio on hyvä, ei tiepituutta voida pitää tekijänä, jota säätelemällä voitaisiin rajoittaa energiankulutusta. Mielestäni muuttujan merkitystä voidaan pitää seurauksena taajamapinta-alan kasvusta.



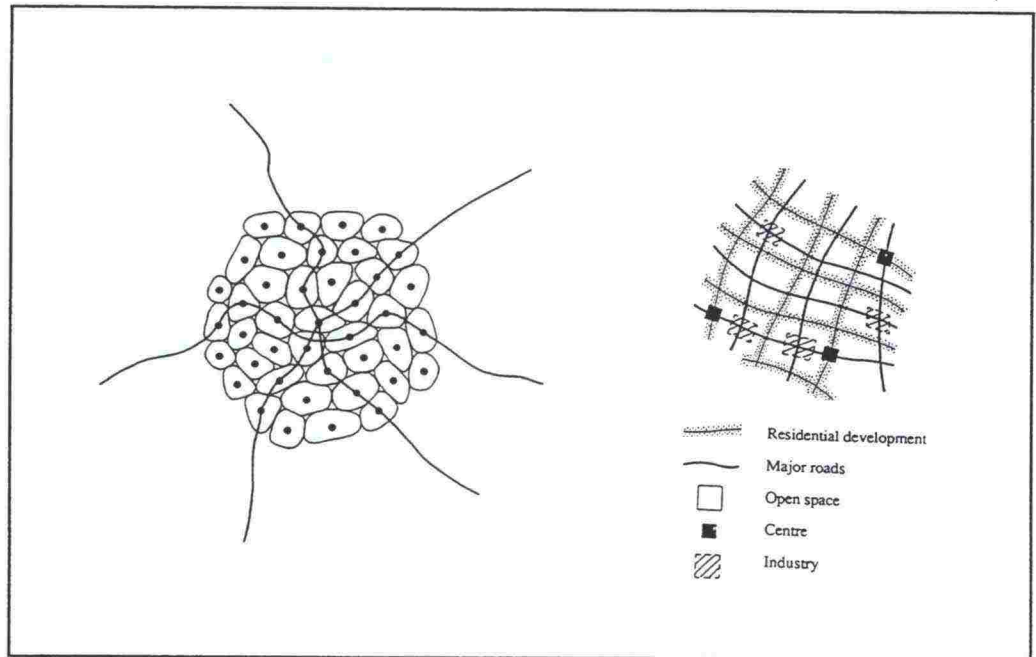
Kuva 24. Taajaman tietiheyden ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Korrelaatiokerroin -0.102 .

Asuntotyyppin vaikutus taajaman tietiheyteen on aineiston perusteella vähäinen. Pientalojen osuus rakennuspinta-alasta ja taajaman tietiheyden välinen korrelaatiokerroin on 0.214 (merkitsevyytaso 0.365). Vastaava asuinkerrostalojen osuus rakennuspinta-alasta ja liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatiokerroin on -0.114 (merkitsevyytaso 0.633). Tulokset tukevat heikosti päätelmää, jonka mukaan pientalojen osuuden kasvaessa taajaman tietiheys kasvaisi ja vastaavasti asuinkerrostalojen osuuden kasvaessa pienenesi.

Energiankulutuksen kannalta edullisia kaupunkimalleja

"Ideaalisiksi" kaupunkirakenteiksi on ehdotettu useita malleja. Eräs niistä on archipelago- ns. saaristomalli, jossa kaupunki muodostuu tiivistä lähiöistä. Näissä kävely- tai pyöräilymatkan etäisyydellä on $10\ 000$ - $30\ 000$ asukasta. Lähiöissä tulee olla riittävät palvelut, jotta ne ovat riittävän "autonomia" liikennesuoritteiden vähentämiseksi. Tiiviiden lähiöiden ongelmana on mm. se, että välitöntä yhteyttä viher- ja vapaa-alueille ei ole. Malli soveltuu lähinnä miljoonakaupungeille, joita Suomessa ei ole.

Rickabyn kehittämä ruutu- tai nauhverkkokaupunkimalli, joka perustuu Lionel Marchin ideaan, pyrkii yhdistämään energian säästön, maankäytön tehokkuuden ja paremmat yhteydet viher- ja vapaa-ajaneuille. Toiminnot pyritään keskittämään harvojen liikenneväylien varteen mm. joukkoliikenteen edellytysten parantamiseksi /17/.



Kuva 25. "Ideaalisia" kaupunkirakenteita: a.) compact nucleated urban structure (saaristomalli) b.) linear grid structure (nauhaverkkomalli).

Ruotsissa on tehty nk. SCAPE-tutkimus siitä, miten kaupunkitaajaman muoto, maankäytön tehokkuus ja väestömäärä vaikuttavat kaupungin sisäisen liikenteen energiankulutukseen. Tutkimuksessa muodostettiin 39 eri kaupunkimallia, joissa muuttujina olivat taajaman muoto, talotyyppi ja väestömäärä. Taajamien muoto oli jaoteltu kolmeen eri vaihtoehtoon; nauha-, ruutu- ja tähtikaupunkiin.

SCAPE tutkimuksen mukaan rakentamistehokkuus vaikuttaa kaupungin sisäisen liikenteen energiankulutukseen. Taajaman muodon vaikutus on sen sijaan vähäinen. Liikenteen energiankulutuksen kannalta edullisimpia olisivat tutkimuksen mukaan pienet ja keskisuuret (25 000 - 75 000 as.) tehokkaasti rakennetut kaupungit /22/.

Tutkittavien kaupunkien taajamamuodon perusteella ei voida sanoa, mikä olisi edullisin taajamamuoto, koska nauha- ja tähtikaupunkimalleja edustavia kaupungeja on liian pieni määrä.

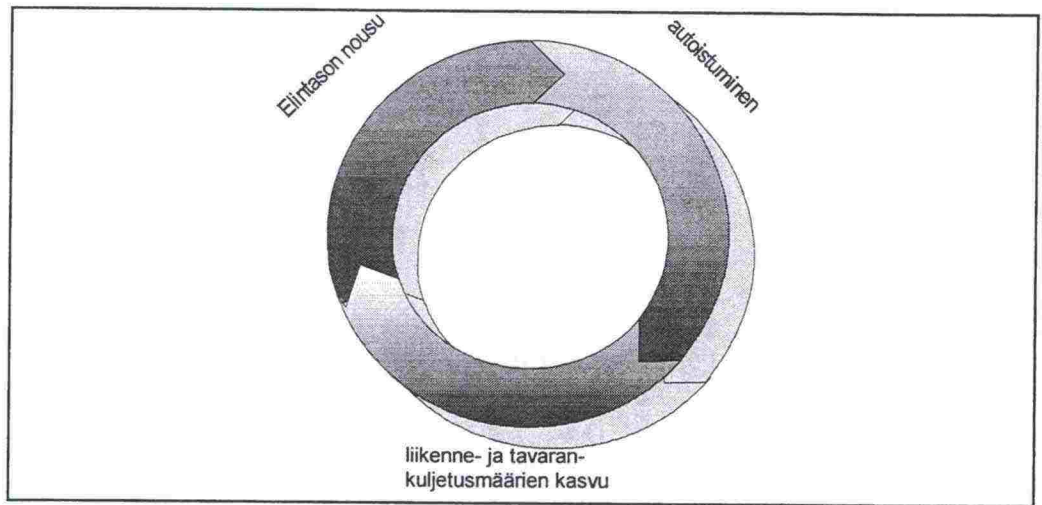
Taulukko 16. Tutkittujen kaupunkien jaottelu nauha-, tähti- ja ruutukaupunkimalleihin ja kunkin mallin asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen keskiarvo (GJ).

Kaupunkimalli	Ruutumalli	Nauhamalli	Tähtimalli
kaupungit	Hanko, Heinola, Forssa, Jyväskylä, Kerava, Lahti, Kuopio, Mikkeli, Porvoo, Riihimäki, Rovaniemi, Toijala, Tampere, Turku, Vaasa ja Valkeakoski	Hämeenlinna, Iisalmi ja Savonlinna	Hamina
keskiarvo	29.70 GJ	38.28 GJ	42.97 GJ
hajonta	8.39 GJ	14.03 GJ	-
med.	26.86 GJ	34.67 GJ	-
min.	21.69 GJ	26.4 GJ	-

4.2 Autonomistus ja energiankulutus

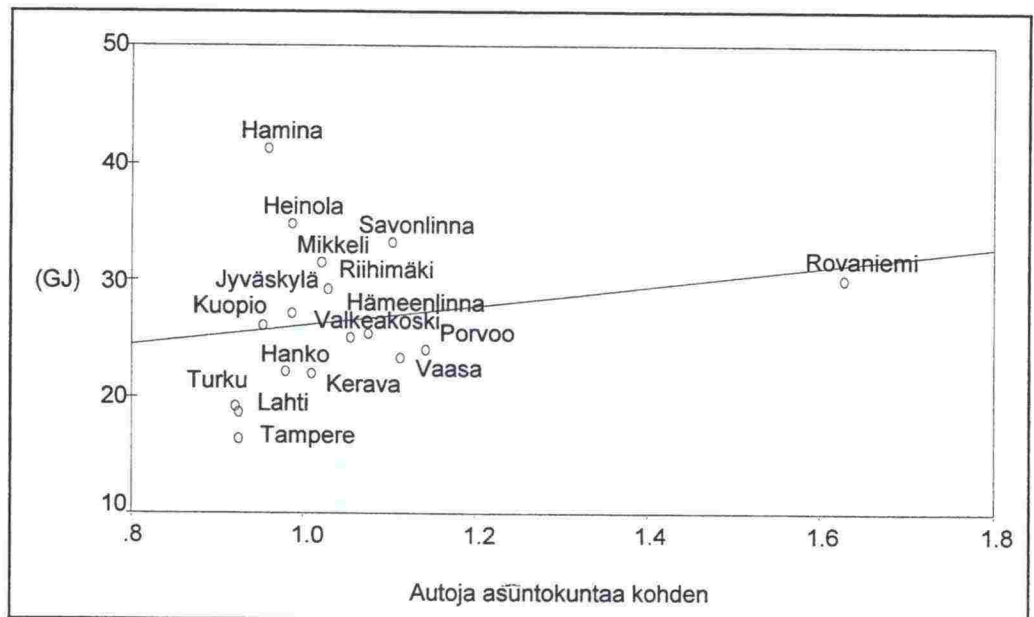
Ihmisten kasvanut tulotaso ja sen kautta noussut hyvinvointi ovat muuttaneet ihmisten kulkumuototottumuksia halvasta ja fyysisesti raskaammasta kävelystä ja pyöräilystä helppokäyttöisempään yksityisautoiluun ja joukkoliikenteeseen. Auton hankkimista ei nähdä niinkään todellisen tarpeen, kuten työn edellyttämänä, vaan seurauksena elintason noususta. Henkilöauto ostetaan, mikäli sen hankkimiseen on taloudelliset edellytykset.

Autoistumisen seurauksena syntyy tarve lisätä ja parantaa tiestön ja autoiluun liittyvän infrastruktuurin tasoa. Toisaalta hyvät liikenneyhteydet parantavat tavaravirtojen liikkuvuutta ja siten parantavat elintason nousun edellytyksiä. Asuinympäristö onkin muuttunut huomattavasti autoliikenteen vaatimusten mukaan.



Kuva 26. Elintason nousu ja autoistumisen kasvu painostavat suunnittelemaan kaupunkirakennetta autoliikennettä suosivaksi.

Aineiston perusteella autonomistus ei ole energiankulutukseen vaikuttava tärkein tekijä. Auton omistusta ja sen tasoa kuvaavien muuttujien korrelaatiokerroimet asukaskohtaisen energiankulutuksen kanssa olivat pieniä. Energiankulutuksen korrelaatiokerroimet autojen lukumäärä per asuntokunta ja 1000 asukasta kohden olivat 0.216 ja 0.140 (malli K2). Maankäytön tiheyttä kuvaavien muuttujien riippuvuudet energiankulutuksen välillä olivat näitä parempia. Tosin mallissa H0 autoa/1000 asukasta kohden oli hyvä korrelaatio liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen kanssa.

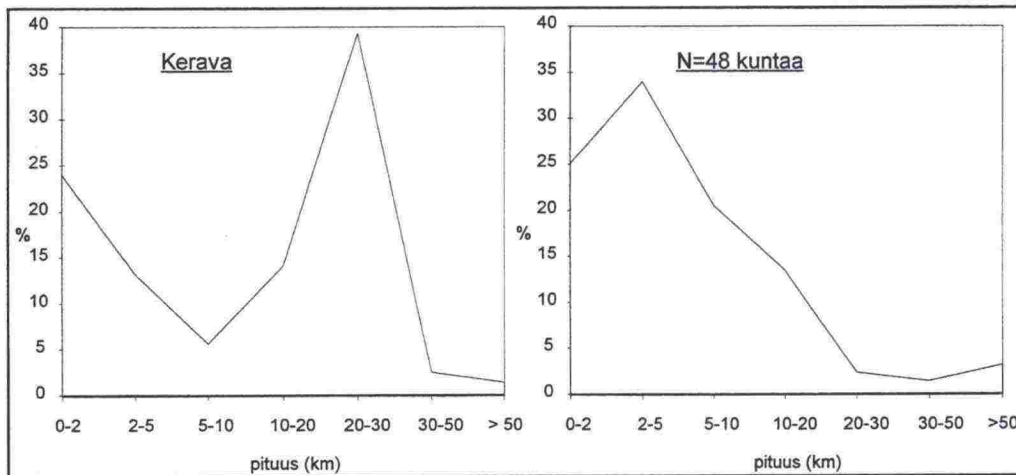


Kuva 27. Autoa/asuntokunta ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$. Korrelaatiokerroin 0.216, $R^2=0.0468$, merkitsevyystaso 0.4042.

4.3 Työmatkat ja työpaikat

Esimerkkinä yhdyskuntarakenteen hajoamisesta on työmatkojen pituuden kasvu. Viimeisten vuosikymmenien trendinä on ollut työpaikkojen hajaantuminen. Työpaikat ovat sijoittuneet muualle kuin keskusta-alueelle. Työpaikkojen sijoittumiset vaikuttavat matkoihin, jos työpaikat vetävät työntekijöitä kunnan ulkopuolelta. Näiden matkat ovat pituudeltaan suurempia kuin kunnan sisäiset matkat.

Herman Knoflacherin (1994) mukaan em. työpaikkojen ja asuntojen välinen "epänormaali" etäisyys johtuu kaupunkirakenteen epäviihtyisyydestä ja ihmisten paosta luonnomukaisemmiksi kokemilleen alueille. Aikaisemmin kaupunkirakenteen leviämistä rajoittivat pyöräillen tai kävellen suoritettujen työmatkojen pituudet. Työmatkojen "epänormaalit" pituudet näkyvät mm. Keravalla, jossa yli 10 km:n pituisten työmatkojen osuus kaikista työmatkoista on 57.2 %. Vastaava prosenttiluku vertailukohtana olleissa 48 kunnassa oli 20.4 %.

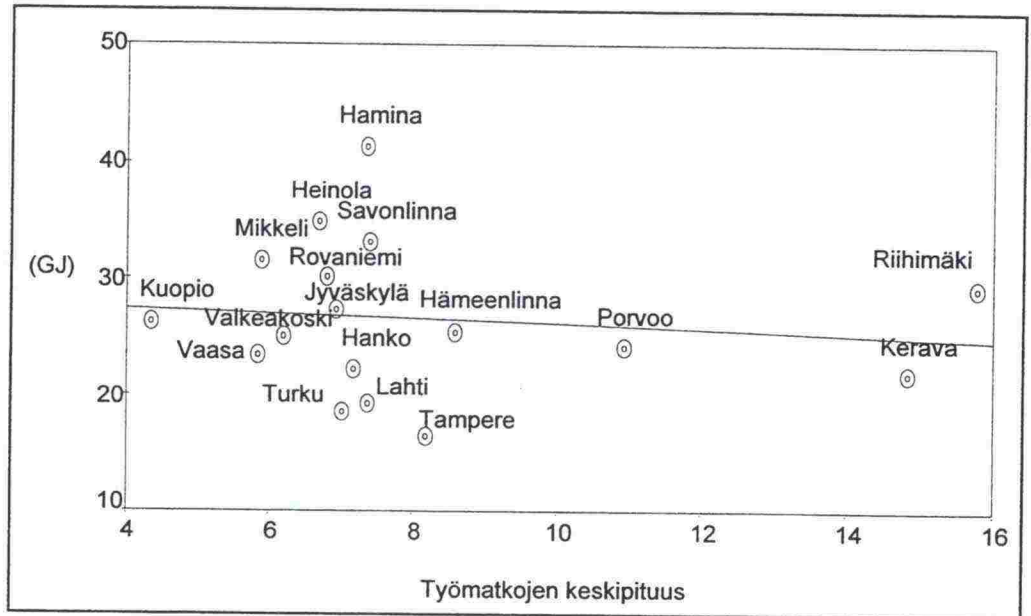


Kuva 28. Työmatkojen pituusluokkien prosentuaalinen jakautuminen Keravalla ja 48 kunnassa. Keravalla on keskiarvosta huomattavasti poikkeava jakautuma.

Työmatkojen pituudella on tutkimusaineiston perusteella vähäinen yhteys energiankulutukseen (standardoitu regressiokerroin = -0.104). Tuloksen odotettua heikompaa merkitystä voidaan selittää osaltaan junalla tehtyjen työmatkojen suurella osuudella osassa ko. kaupungeista kuten esim. Keravalla ja Riihimäellä. Työmatkapituuksien kasvaessa merkittävästi niiden merkitys energiankulutusta nostavana tekijänä nousee.

Työmatkoihin ja työssäkäyntiin liittyvä toinen muuttuja, jonka vaikutusta tutkittiin, on muuttuja, joka vastaa lähinnä Cresswellin ja Thomas'in määrittelemää "itsenäisyysindeksiä" ts. kunnassa työskentelevien suhdetta kunnan ulkopuolella työssäkäyntiin asukkaisiin. Korrelaatiokerroimen arvo, -0.173, osoittaa sen, mikä on loogisestikin pääteltävissä. Mitä suurempi osuus kuntalaisista työskentelee kunnan ulkopuolelle, sitä enemmän energiankulutus kasvaa. Kuntien itsenäisyysindeksin arvo voi kertoa mahdollisesta polttoainoiden "kauppavuodon" mahdollisuudesta, jos itsenäisyysindeksi on

huomattavan pieni verrattuna muihin kaupungeihin. Tällöin merkittävä osa kuntalaisista käy töissä kunnan ulkopuolella. Muita pienempi itsenäisyysindeksin arvo, 0.5, on Keravalla indeksin keskiarvon ollessa 6.1 /10/.



Kuva 29. Työmatkojen keskipituuden ja liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Korrelaatiokerroin -0.104 .

Työmatkoihin välillisesti liittyvällä muuttujalla, teollisuusrakennusten osuudella koko rakennuskannasta, on aineiston perusteella suuri osuus liikenteen energian kulutuksesta (korrelaatiokerroin 0.702). Teollisuusrakennuksien suuri osuus rakennuskannasta näyttäisi vaikuttavan liikenteen energiankulutusta vähentävästi. Syynä voisi olla joko teollisuusrakennusten sijainnin aiheuttama työmatkojen lyhyempi työmatkapituus tai em. rakennusten "syrjäyttämä" asujaimisto taajamasta, joka ei lisäisi liikenteen energiankulutusta? Näistä ensinmainittu tuntuu loogisemmalta, sillä teollisuusalueelta "puuttuva" väestö hakeutuisi joka tapauksessa taajama-alueelle. Muuttujan merkitykseen on suhtauduttava varauksellisesti sen muissa malleissa liikenteen energiankulutuksen kanssa saamien pienien korrelaatioarvojen vuoksi.

Teollisuuden sijoittamista taajama-alueelle ja jo käytössä olevien teollisuus- ja varastoalueiden aluetehokkuuden nostoa esittää ns. *reurbanisaatio*-malli (Berg et al (1982) ja Klaassen et al. (1981)), jossa taajama-alueella ja erityisesti ydinkeskustassa lisätään asukas- ja työpaikkatiheyttä /9/.

Epäviihtyisä kaupunkiympäristö aiheuttaa painetta taajama-alueen kasvulle ihmisten siirtyessä pois epäviihtyisäksi kokemaltaan alueelta. Taajama-alueelle sijoitettava teollisuus ei luonnollisestikaan voisi käsittää raskasta teollisuutta tai muuta ympäristöriskejä aiheuttavaa teollisuutta. Näiden rajoitusten vuoksi teollisuusrakennusten osuuden lisäys taajama-alueella todennäköisesti rajoittuu jo teollisuus- tai varastoalueena vajaakäytössä olevilla alueille. Sijoittamalla työpaikkoja asuntoalueen läheisyyteen taajama-alueelle saavutetaan energiankulutukseen nähden etuja kuten:

1. ulkoisen liikenteen matkapituudet pienenevät.
2. ajoneuvomatkojen osuus ja matkapituudet pienenevät sekä
3. kevyen liikenteen matkojen osuus lisääntyy.

4.3.1 Case Toppila, Oulu

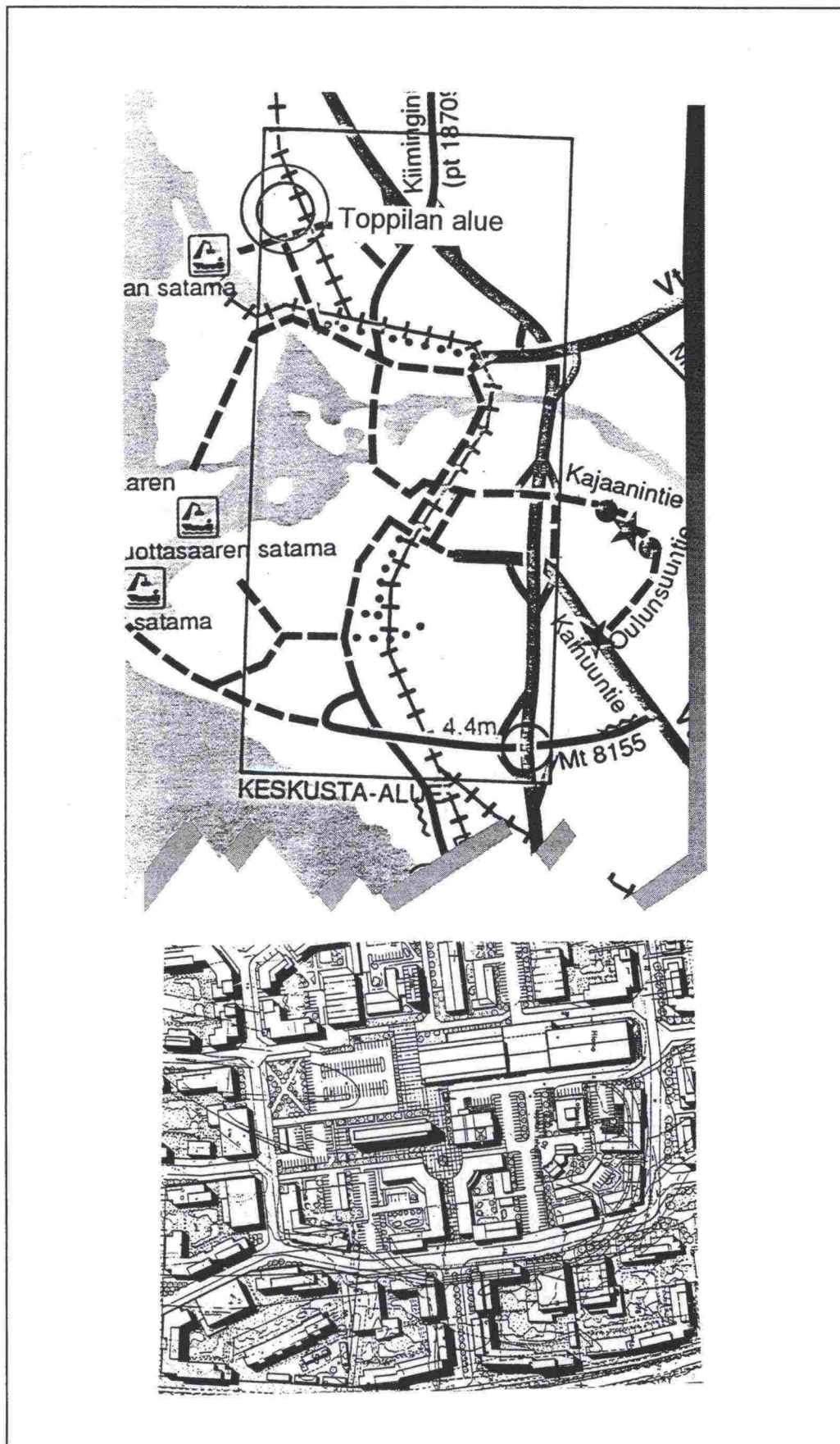
Parhaillaan toteutetaan Oulussa Toppilan vanhan teollisuusalueen uudisrakentamista. Oulun kaupungin toimesta on suunniteltu ja osittain jo rakennettu asuin- ja liikerakennuksia 1985 toimintansa lopettaneen sulfiittisellutehtaan alueelle. Toppilan tehtaan rakentaminen aloitettiin aikoinaan v. 1930 ja sitä laajennettiin toimintansa loppuun asti. Alvar Aallon osuus tehdään julkisivun, ikkunajärjestelmien, ovirakenteiden ja porraskaisujen suunnittelijana tuo oman merkityksensä alueen jatkokäytölle.

Kuvassa 30 on merkitty rasteroinnilla ne teollisuusrakennukset, jotka ovat jäljellä vanhasta tehdasympäristöstä. Alueelle on tällä hetkellä rakennettu lähes kaikki viereisen kuvan mukaiset rakennukset.

Toppilan aluetta voidaan siten pitää malliesimerkinä toiminnasta, jossa vaajakäyttöinen teollisuusalue taajama-alueen sisällä on otettu uskäyttöön. Teoriassa asukastiheyden noston taajamassa tämän tapaisella uudisrakentamisella tulisi vähentää asukaskohtaista liikenteen energiankulutusta.

Vanhan teollisuusalueen uskäytön suunnittelusta voidaan toisena esimerkinä mainita Suomesta mm. Turun kaupunkikeskusta, jonka uskäytöstä aloitettiin suunnitelmat Turun kaupungin toimesta vuonna 1987.

Taajama-alueella olevien teollisuusalueiden laaja uusrakentaminen aiheuttaa ongelmia lähinnä tieverkon välityskyvylle alueen välittömässä läheisyydessä. Ongelma vältetään liikennejärjestelyillä ja tieverkon saneerauksella ko. alueella.



Kuva 30. Toppilan alue. Alueen sijainti ja nykyinen toteutettava asemakaava.

4.4 Joukkoliikenne

Suomessa kaupunkien joukkoliikenteen osuus koko maan joukkoliikennematkoista on yli 70 % ja matkustussuoritteesta yli 40 %. Osuus matkustussuoritteesta on pienempi, koska matkat ovat kaupungeissa lyhyitä.

Joukkoliikenteen merkitys kasvaa taajamaväestön ja asukastiheyden noustessa. Taajamaväestön ja joukkoliikenteen tason välinen korrelaatiokerroin oli 0.704 merkitsevyystason ollessa hyvä 0.002 (malli K2). Joukkoliikenteen taso korreloi (korrelaatiokerroin 0.588) selvästi myös asuinkerrostalojen pinta-ala per koko rakennusalan kanssa. Asuinkerrostalojen osuuden kasvaessa rakennuspinta-alasta kasvaa joukkoliikenteen merkitys. Viimeksimainittu muuttujan suuri arvo on taajamaväestön suuren arvon lisäksi tunnusomaisista suurelle, väkirikkaalle ja tiivisti rakennetulle kaupungille.

Taajaman tietihyden vaikutus joukkoliikenteen tasoon on vähäinen, vaikka tietihyden noustessa joukkoliikenteen tason oletetaan paranevan. Tietihyettä enemmän joukkoliikenteen tasoon vaikuttavanevat tiestön verkkorakenne taajamassa. Aineiston perusteella naisten osuudella väestöstä sekä työmatkojen keskipituudella on pieni vaikutus joukkoliikennevälineiden käyttöön. Vaikka naisten osuudella väestöstä on vähäinen vaikutus joukkoliikennevälineiden käyttöön, on *pääkaupunkiseudun liikennetutkimuksessa* saatu - aineiston erilaisuudesta johtuen - toisenlainen tulos. Ko. tutkimuksen mukaan naiset tekevät neljänneksen enemmän joukkoliikennematkoja ja miltei puolet enemmän kevyen liikenteen matkoja kuin miehet. Syynä päätelmien eroihin ovat tukimuskohdeet. Tässä selvityksessä kohteina ovat suurelta osin kaupungit, joissa joukkoliikenteen osuus on vähäinen. Samoin käytettävissä ei ollut tietoa naisten osuudesta töissäkäyvistä henkilöistä /2/.

Joukkoliikenteen tason noustessa asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen taso laskee. Vaikka joukkoliikenteen taso korreloi hyvin energiankulutuksen kanssa (-0.540), vaihtelevat kaupunkien resurssit joukkoliikenteen hoidossa merkittävästi. Joukkoliikenne on tällä hetkellä merkittävä liikennepoliittinen vaihtoehto vain suurimmissa kaupungeissa, kuten Turussa, Tampereella ja pääkaupunkiseudulla. Keskisuurissa 50 000-100 000 asukkaan kaupungeissa joukkoliikenteellä on merkityksensä osana toimivaa liikennejärjestelmää. Pienehköissä kaupungeissa, joissa asukasluku on luokkaa 25 000 tai pienempi, joukkoliikenteen merkitys on vähäinen ja painottuu lähinnä koululaiskuljetuksiin /18/.

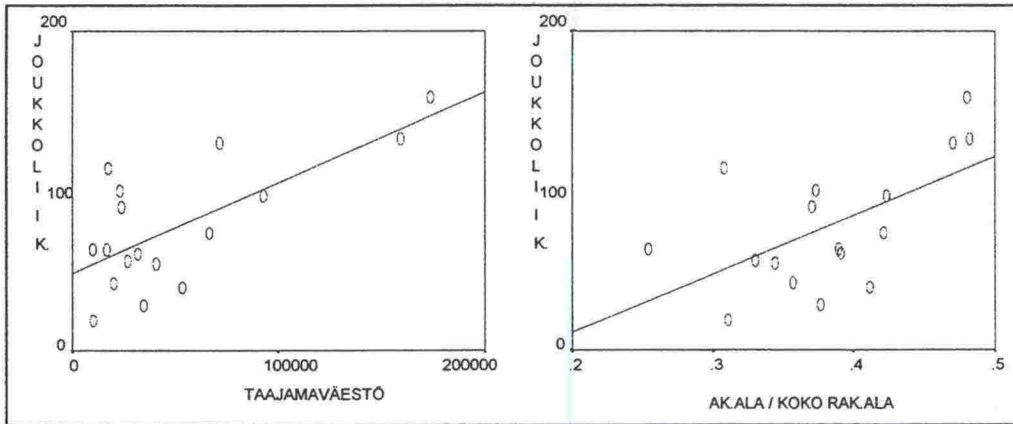
Selvimpänä syynä joukkoliikenteen tason ja tieliikenteen energiankulutuksen väliseen yhteyteen ovat kaupunkirakenteen osalta kaupunkien suuri koko, kiinteä ja laaja kaupunkirakenne. Tiheissä ja asukasmääriltään suurissa kaupungeissa suuremmat henkilömatkojen tarpeet ja pysäköinti- ja katutilan puute mahdollistavat tai pakottavat korkeampaan joukkoliikenteen tasoon.

Taulukko 17. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja joukkoliikennettä kuvaavien muuttujien väliset regressiokertoimet. Sulkuihin merkitty merkitsevyystaso.

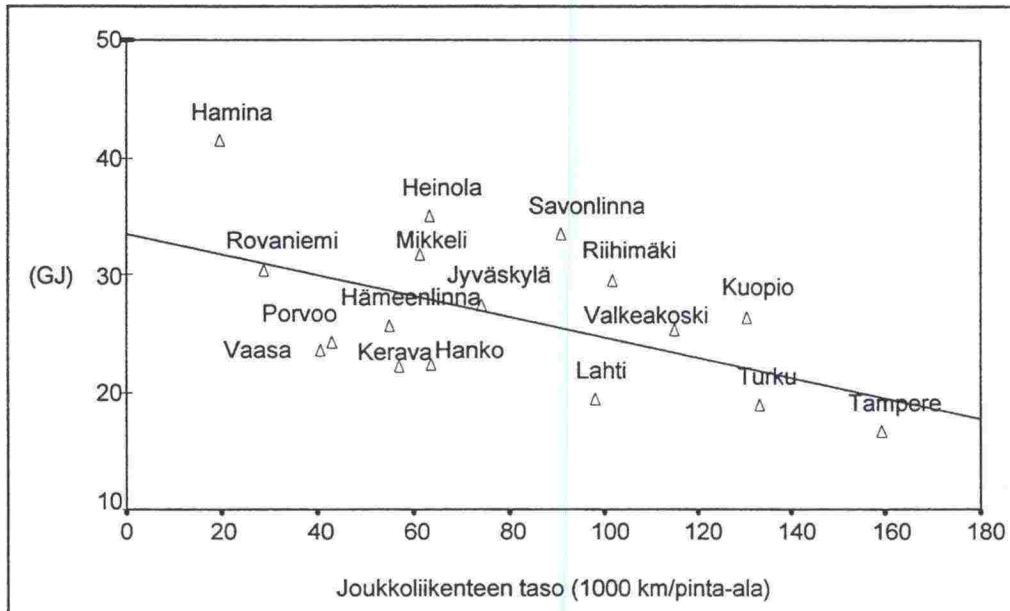
MUUTTUJAT	H0	H2	K0	K2
linja-autojen liikennesuorite (1000 km)	-0,357 (0.122)	-0.510 (0.036)	-0,468 (0.037)	-0.641 (0.006)
linja-autojen liikennesuorite / väkiluku	-0.229 (0.332)	-0.349 (0.170)	-0.213 (0.367)	-0.306 (0.235)
junamatkat päivässä väkilukua kohden	-0.303 (0.194)	-0.303 (0.238)	-0.429 (0.059)	-0.170 (0.515)
linja-autojen liikennesuorite / henkilöautojen liikennesuorite	-0.034 (0.888)	-0.413 (0.100)	-0.037 (0.877)	-0.482 (0.050)

Taulukko 18. Joukkoliikenteen tason ja muuttujien väliset standardoidut regressiokertoimet mallissa K2. Suluissa merkitsevyystaso.

MUUTTUJAT	Joukkoliikenteen taso ts. linja-autojen liikennesuorite per taajamapinta-ala (1000 km/v/km ²)
asukaskohtainen liikenteen energian kulutus	-0.540 (0.025)
asuinkerrostalojen pinta-ala/koko rakennuspinta-ala	0.588 (0.013)
pientalojen pinta-ala/koko rakennuspinta-ala	-0.544 (0.024)
hallintorakennusten pinta-ala/koko rakennuspinta-ala	-0.113 (0.666)
teollisuusrakennusten pinta-ala/koko rakennuspinta-ala	0.275 (0.285)
taajamarajan pituus	0.607 (0.013)
taajaman tietiheys	0.184 (0.481)
työmatkojen keskipituus	-0.076 (0.772)
taajamaväestö	0.704 (0.002)
autoja asuntokuntaa kohden	-0.482 (0.050)
naisten osuus väestöstä	-0.077 (0.770)



Kuva 31. Taajamaväestön ja asuinkerrostalojen osuuden koko rakennusalaista ja joukkoliikenteen tason välinen korrelaatio (Malli K2).



Kuva 32. Joukkoliikenteen tason (LA-liikennesuoritteiden suhde taajamapinta-alaan) ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio. Malli K2, $N=17$. Korrelaatiokerroin -0.540 , $R^2=0.292$, merkitsevyystaso 0.0252 , Regressioyhtälö $Y=33.488 - 0.0875X$.

4.5 Monimuuttuja-analyysit

Eri tekijöiden selittävyden arviomiseksi on suoritettu monimuuttuja-analyysijä. Regressioanalyysissä, verrattaessa muuttujien selittävyttä asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen kannalta, on käytetty kolmea menetelmää: vaiheittaista "stepwise" ja käänteistä "backward" menetelmää sekä syöttämällä kaikki mahdolliset yhdistelmät erikseen.

Kaupunkien pienen määrän ja eräiden muuttujien keskinäisten riippuvuuksien vuoksi selvitettiin muuttujien merkitystä aluksi kahden ja kolmen selittävän muuttujan vaihtoehdoilla kaikilla muuttujilla malleissa *K0* ja *K2*.

Tämän lisäksi suoritettiin monimuuttuja-analyysi erikseen valituilla tekijöillä (12 kpl), jotka olivat ensisijaisesti suhdelukuja kuvaavia muuttujia. Esimerkiksi taajamarajan pituuden sijasta valittiin taajamarajan pituus asukasta kohden. Vain taajamaväestö ja taajama-ala olivat muuttujia, jotka eivät olleet suhdelukuja.

4.5.1 Kolme selittävää tekijää

Kaikkien muuttujien väliset yhdistelmät käytiin läpi ja taulukoitiin kahden sekä kolmen selittävän tekijän osalta. Kolmen selittävän tekijän osalta on taulukoitu vain parhaat selittävyysarvot.


Mallissa *K2* paras selittävyys asukaskohtaiselle energiankulutukselle saatiin kahden muuttujan tapauksessa seuraavilla muuttujilla: taajamarajan pituudella ja teollisuusrakennusten osuudella rakennuspinta-alasta. Nämä tekijät selittävät analyysin mukaan 74 % energiankulutustason vaihteluista. Jos teollisuusrakennusten osuus rakennuspinta-alasta jätetään huomiotta, parhaan selittävyden - 59 % - antavat:

- asukaskohtainen taajamapinta-ala ja
- taajamarajan pituus.

Molemmat tekijät kuvaavat maankäytön tiheyttä ja tukevat siten mm. Peter Naessin tutkimusten johtopäätöksiä tehokkaamman maankäytön myönteisistä vaikutuksista liikenteen energiankulutukseen.

Vastaavien tekijöiden selittävyys mallissa *K0* oli 18 %. *K0*:ssa paras selittävyys saatiin muuttujilla taajamaväestö ja autoja 1000 asukasta kohden. Nämä kaksi tekijää selittävät 35 % liikenteen energian kulutustason vaihtelusta. *K0*:ssa selittävyystaso on luokkaa heikompi. Mallin *K0* selittävyys arvot taulukoitu liitteelle 12.

Taulukko 19. Kahden tekijän selittävyys R^2 ja tarkistettu R^2 Mallissa K2. Tarkistettu R^2 suluissa Selitettävänä tekijänä asukaskohtainen liikenteen energiankulutus.

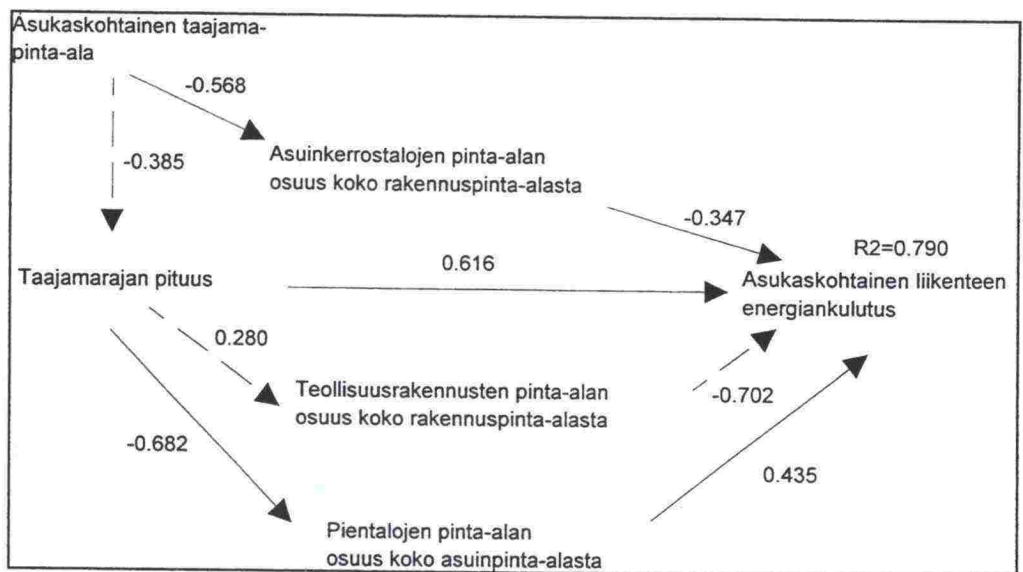
as. koh. energian kul.	asukaskoh- -tainen taa- jamapinta- ala	tietiheys taajama- alueella	taajama- rajan pituus	autoja 1000 asu- kasta kohden	autoja asunto- kuntaa kohden	työmatko- jen kes- kipituus	taajama- ala	taajama- väestö
 pientalojen pa/asuinrak. pinta-ala	0.384 (0.267)	0.236 (0.236)	0.428 (0.340)	0.202 (0.088)	0.210 (0.098)	0.243 (0.135)	0.371 (0.281)	0.452 (0.374)
pientalojen pa./rak.pinta- ala	0.390 (0.302)	0.273 (0.169)	0.438 (0.351)	0.246 (0.138)	0.249 (0.142)	0.277 (0.173)	0.363 (0.272)	0.430 (0.348)
ak. pinta- ala/asuinrak. pinta-ala	0.389 (0.291)	0.226 (0.226)	0.433 (0.346)	0.217 (0.106)	0.213 (0.101)	0.239 (0.130)	0.376 (0.287)	0.452 (0.373)
ak pinta- ala/rak.pinta- ala	0.380 (0.379)	0.147 (0.025)	0.434 (0.347)	0.136 (0.013)	0.145 (0.023)	0.158 (0.040)	0.405 (0.320)	0.530 (0.462)
teoll.rak. pa/ rak. pinta- ala	0.626 (0.572)	0.492 (0.420)	0.744 (0.704)	0.517 (0.450)	0.493 (0.420)	0.492 (0.420)	0.629 (0.575)	0.710 (0.669)
as.rak. osuus taajama-alasta	0.382 (0.293)	0.283 (0.181)	0.450 (0.366)	0.280 (0.177)	0.280 (0.177)	-	-	0.428 (0.346)
taajaman tieti- heys	0.415 (0.331)	-	0.488 (0.409)	0.025 (-0.114)	0.051 (-0.084)	0.023 (-0.116)	-	0.462 (0.386)
taajamarajan pituus	0.585 (0.521)	-	-	0.429 (0.341)	0.428 (0.340)	0.429 (0.341)	-	0.482 (0.402)
autoa /1000 as.	0.381 (0.293)	0.025 (-0.114)	0.429 (0.341)	-	-	-	-	0.427 (0.345)
autoa/ as. kunta	0.408 (0.323)	0.052 (-0.083)	0.428 (0.340)	-	-	0.057 (-0.078)	-	0.427 (0.344)
LA liik.suor./ väkiluku	0.415 (0.330)	0.101 (-0.027)	0.459 (0.376)	0.094 (-0.036)	0.099 (0.029)	-	0.388 (0.300)	0.435 (0.354)
työmatkojen keskipituus	0.392 (0.306)	-	-	-	-	-	-	0.479 (0.404)

Mallissa K2 kolmen selittävän tekijän tapauksessa parhaita selittävyysmalleja saatiin tekijöillä:

- asukaskohtainen taajamapinta-ala,
- asuinkerrostalojen osuus rakennuspinta-alasta ja
- taajamarajan pituus.

Nämä muuttujat selittävät analyysin perusteella 68 % kaupunkien asukaskohtaisen liikenteen energian kulutuksen vaihteluista. Edellä olleet muuttujat ovat maankäytön tiheyttä kuvaavia tekijöitä. Suurin betakerroin oli taajamarajalla -0.76 ja toiseksi suurin asukaskohtaisella taajamapinta-alalla 0.62. (Beta (β) kertoimeksi kutsutaan standardoitujen muuttujien regressiokertoimia). Ts asukaskohtaisen taajamapinta-alan ja taajamarajan kasvaessa kasvaa myös asukaskohtainen liikenteen energiankulutus. Yhteinen merkitsevyystaso muuttujilla oli 0.0026. Mallissa K0 vastaavilla muuttujilla voitiin selittää 20 % eri kaupunkien liikenteen energiankulutuksen vaihteluista.

Allaolevassa kuvassa on K2:n monimuuttujien polkumalli, jossa on parhaimman selittävyyden antaneiden tekijöiden välisiä standardoituja regressiokertoimia. Katkoviivalla yhdistetyt tekijät selittävät 79 % aineistona olleiden kaupunkien liikenteen energiankulutuksen eroista. Mallissa K0 parhaan tuloksen (29 %) antoivat asukaskohtainen taajamapinta-ala, taajamarajan pituus ja teollisuusrakennusten osuus rakennuspinta-alasta eli samat tekijät kuin mallissa K2.



Kuva 33. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen monimuuttujapolku. Nuolien yläpuolelle merkitty muuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet. Malli K2 kolme selittävää tekijää.

Taulukko 20. Kolmen tekijän selittävyys (R^2) mallissa K2. Selitettävä tekijä
asukaskohtainen liikenteen energiankulutus.

as. koh. liikenteen energian kul. ↑	0.41	0.41	0.42	0.64	0.42	0.61	0.68	0.79	0.64	0.60	0.43	0.45	0.63
as. koh. taajamapinta-ala	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
pientalojen pinta-ala/ asuinrak. pinta-ala	X			X									
pientalojen pinta-ala/ rak. pinta-ala			X		X								
ak pinta-ala/ asuinrak. pinta-ala		X				X							
ak pinta-ala/ rak. pinta- ala							X				X		
teoll. rak pinta-ala/ rak. pinta-ala								X	X				X
asuinrak. pinta-ala/ taajama-ala													
taajaman tietiheys					X						X	X	
taajamarajan pituus				X		X	X	X		X			
autoa/ 1000 as.									X				
autoa/ as. kunta	X	X	X										X
LA liik. suor. / väkiluku										X		X	

4.5.2 Suhdelukumuuttujat

Valittujen tekijöiden osalta vaiheittaisessa menetelmässä stepwise-mallissa *H0* vain taajama-alalla oli merkitsevä vaikutus liikenteen energiankulutukseen. Muuttuja selittäisi 25 % liikenteen energiankulutustason eroista tutkituissa kaupungeissa. Myös mallissa *K0* taajama-alalla oli merkitsevä vaikutus ja muuttuja selittäisi 34 % energiakulutustason eroista.

Mallissa *K2* merkitseviä tekijöitä on kaksi: taajamaväestön määrä ja teollisuusrakennusten osuus koko rakennuspinta-alasta. Muuttujat selittäisivät analyysin mukaan 77 % energiakulutustason vaihtelusta eri kaupunkien välillä. Mallissa *K2* teollisuusrakennusten osuudella koko rakennuspinta-alasta on voimakas merkitys. Muuttujan merkitystä kyseenalaistaa sen huono korrelaatio malleissa *H0* ja *K0*. Esim. mallissa *K0* teollisuusrakennusten pinta-alan/rakennuspinta-alan ja liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio on - 0.101.

Käänteisessä analyysissä, jossa poistetaan valitusta muuttujajoukosta ne muuttujat, jotka eivät täytä merkitsevyysvaatimusta 0.10, saadaan mallista riippuen selittäviksi tekijöiksi 4-7 muuttujaa. Mallissa *K0* selittäviä tekijöitä on 4 ja *H0*:ssa 5. Muuttujat ovat täysin samoja lukuunottamatta *H0*:ssa olevaa viidettä muuttujaa, joka oli autoja 1000 asukasta kohden. Selittävät tekijät *K0*:ssa olivat:

1. joukkoliikenteen taso
2. pientalojen osuus koko rakennuspinta-alasta
3. asukaskohtainen taajamapinta-ala
4. taajama-ala

Tekijät selittäisivät mallin *K0* analyysin perusteella 63 % kaupunkien liikenteen energian kulutustason eroista asukasta kohden. Mallin *K2* selittävien tekijöiden määrää voidaan pitää liian suurena kaupunkien ja valittujen tekijöiden määrään nähden.

4.6 Päätelmiä

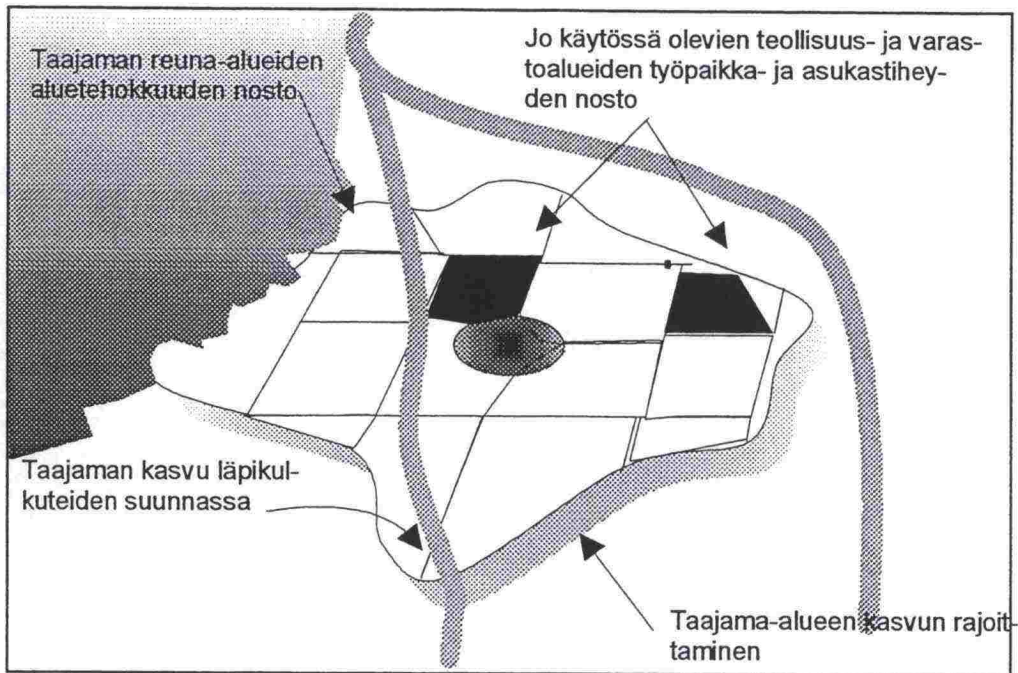
Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien muuttujien välille saatiin parhaat korrelaatiot seuraavien muuttujien osalta:

- asukaskohtainen taajamapinta-ala
- taajamarajan pituus (/ asukas)
- rakennuspinta-ala / taajama-ala
- joukkoliikenteen taso
- teollisuusrakennusten pinta-ala / rakennuspinta-ala
- taajaman tiepituus

Myös taajamaväestön ja taajama-alan korrelaatiot liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen kanssa ovat hyvät. Maankäytön tehokkuuteen liittyvien tekijöiden vaikutus on ilmeinen. Analyysin perusteella pyrkimällä rajoittamaan asukaskohtaista taajama-alaa ja taajama-alueen kasvua (taajamarajan pituus/asukas) sekä lisäämällä rakennusalueiden aluetehokkuutta vähennetään liikenteen energiankulutusta.

Mielestäni työpaikka- ja asukastiheyden lisääminen taajama-alueella tulee kyseeseen mm. entisillä varasto- ja teollisuusalueilla, jotka ovat vajaa käytössä tai täysin käyttämättömiä. Teollisuusrakennusten sijoittamista taajama-alueelle rajoittavat terveydelliset- ja ympäristötekijät.

Joukkoliikenteen korkea taso vähentää myös liikenteen energiankulutusta. Tällä hetkellä joukkoliikenne on kuitenkin merkittävä kulkumuotovalintaan vaikuttava tekijä vain suurissa kaupungeissa.



Kuva 34. Mitä tulisi tehdä kaupungin tieliikenteen energiankulutuksen pienentämiseksi. Johtopäätöksiä aineiston perusteella.

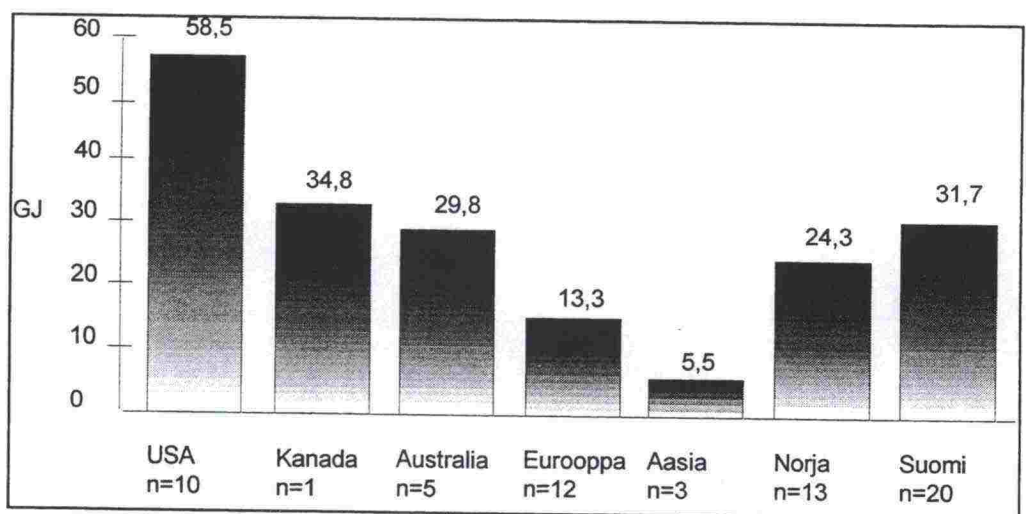
5 VERTAILU POHJOISMAISIIN KAUPUNKEIHIN

Tieliikenteen energiankulutus

Tieliikenteen energiankulutus tutkituissa 20:ssä suomalaisissa kaupungeissa asukasta kohden oli keskimäärin 31.7 GJ pienimmän arvon ollessa 21.7 GJ ja suurimman 55.1 GJ. Kyseessä ovat tällöin korjaamattomat polttoaineen myyntimäärät. NIBR:n norjalaisia ja ruotsalaisia kaupunkeja käsittäneessä tutkimuksessa asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen keskiarvo oli norjalaisissa kaupungeissa n. 24.3 GJ* (n=13) ja ruotsalaisissa kaupungeissa n. 33.8 GJ* (n=97). Tutkituista pohjoismaisista kaupungeista pienin energiankulutus oli Norjalaisessa Trondheimin kaupungissa n. 17.6 GJ ja suurin ruotsalaisessa kaupungissa n. 65 GJ. On huomattava, että ruotsalaisten ja norjalaisten kaupunkien asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen sisältyy myös osuus paikallisesta raideliikenteestä. Suomalaisien kaupunkien liikenteen energiankulutustietoihin raideliikennettä ei ole huomioitu.

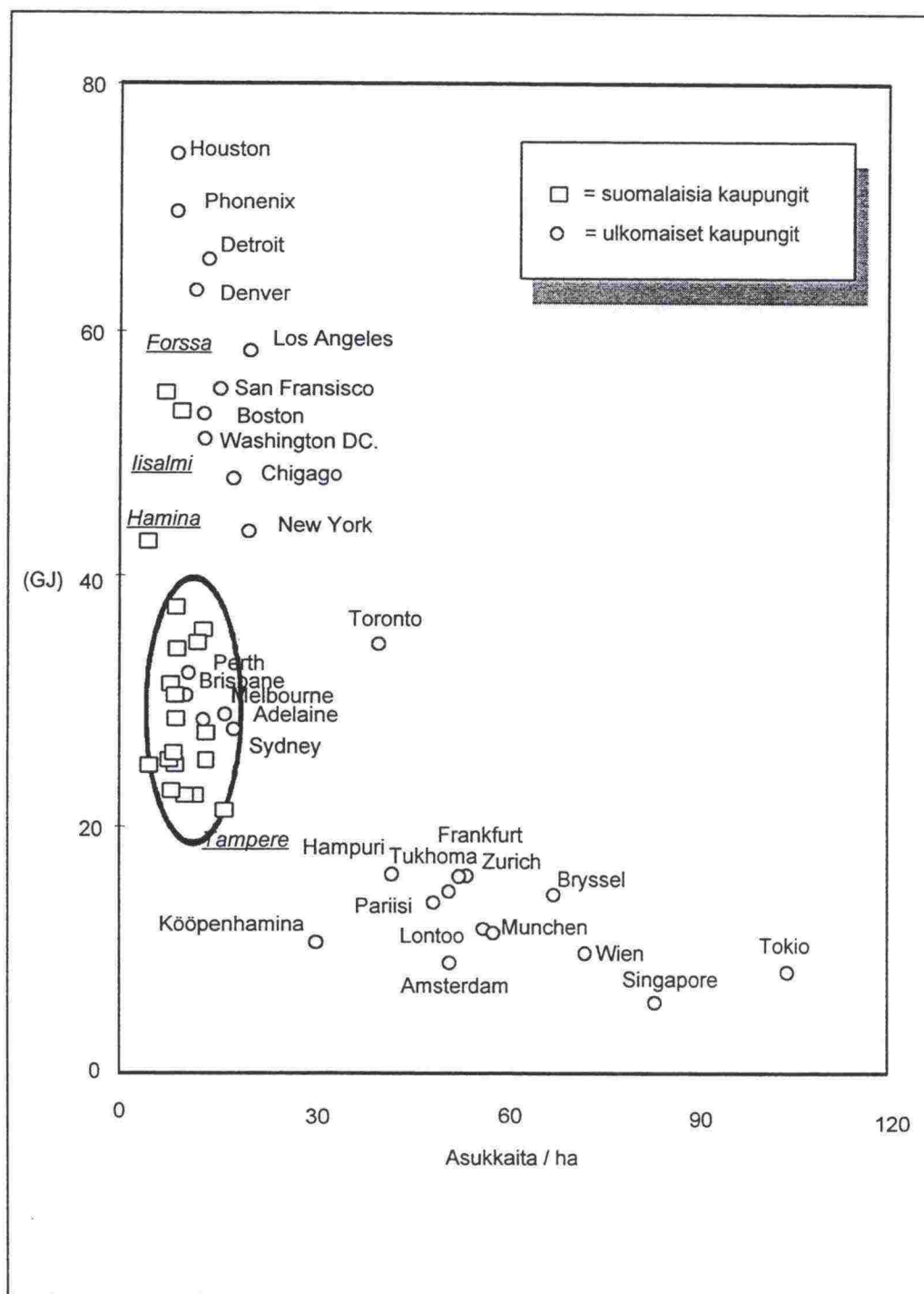
Verrattaessa suomalaisia kaupunkeja Kenworthyn ja Newmannin 1980 saamiin tuloksiin 32 kansainvälisestä kaupungista huomataan Australian ja Kanadan kaupunkien arvojen olevan samaa suuruusluokkaa. Tarkasteltaessa tuloksia on huomioitava aikaero - 10 vuotta ja se, että Kenworthyn ja Newmannin tutkimuskohteena olivat miljoonakaupungit, joiden liikennekulttuuri ja yhdyskuntarakenne ovat hyvin erilaisia. Esimerkiksi keskieuropalaisen suurkaupungin ja Toijalan tai Keravan liikennekulttuuri poikkeavat toisistaan melkoisesti.

*norjalaisten ja ruotsalaisten kaupunkien keskiarvot laskettu diagrammista.



Kuva 35.

Eri maanosien ja maiden asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen keskiarvoja. Kaupunkien lukumäärä ilmoitettu kuvan alaosassa. Norjan keskiarvo laskettu kuvan perusteella. Lähteet: Transport research paper, Kenworth, Newman ja Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne, Peter Naess (Norja).



Kuva 36. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus ja asukastiheys 63 kaupungissa. Rajattu alue sisältää pääosan tutkituista suomalaisista kaupungeista.

Maankäytön tehokkuus

Maankäytön tehokkuus ja erityisesti sen nostaminen näyttäisi tutkimusten perusteella olevan parhaita keinoja vähentää liikenteen energiankulutusta. Tutkimuskohteina olleiden suomalaisten kaupunkien liikenteen energiankulutuksen riippuvuus maankäytön tehokkuudesta näyttäisi olevan samaa luokkaa kuin Ruotsissa ja Norjassa, jotka ovat Suomea lähinnä sosiaalisesti, liikennekulttuurisesti ja yhdyskuntarakenteellisesti.

Verrattaessa maittain merkittävintä liikenteen energiankulutukseen tilastollisesti vaikuttavaa tekijää eli asukaskohtaista taajama-alaa, huomataan suurimman vuorovaikutuksen vallitsevan norjalaisissa kaupungeissa. Suomalaisien ja ruotsalaisten kaupunkien korrelaatioarvoja voidaan pitää keskenään kohtalaisen samanarvoisina. Korjaamattomassa mallissa ruotsalaisten kaupunkien korrelaatio on hieman suurempi ja korjatuissa malleissa pienempi. Tulokset eivät ole kuitenkaan suoraan vertailukelpoisia aineiston erilaisen laadun, määrän ja koontitavan vuoksi, mutta niitä voidaan pitää suuntaa antavina. Kuvassa 38 eräiden suomalaisten, ruotsalaisten ja norjalaisten kaupunkien liikenteen energiankulutuksen ja asukaskohtaisen taajama-alan väliset riippuvuudet.

Taulukko 21. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja asukaskohtaisen taajama-alan välinen riippuvuus Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa. Kohta A mukana kaikki kaupungit polttoainetiedot korjaamattomia, Kohta B polttoainetietoja korjattu ja/tai kaupunkeja jätetty pois. Lähde: Liikenteen vaatima energia, Peter Naess.

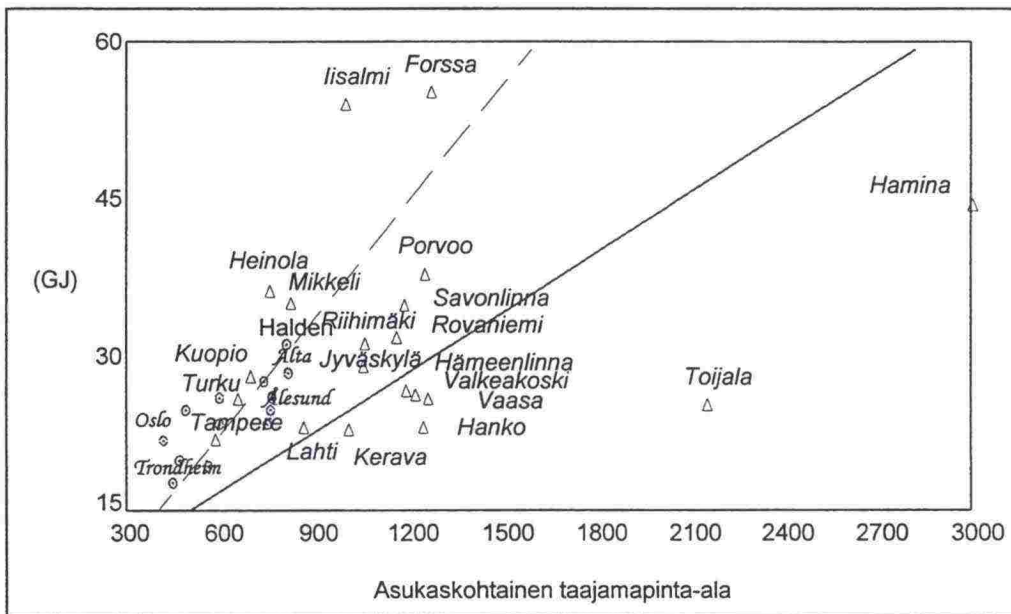
maa		korrelaatiokerroin	merkitsevyystaso	tutkittujen kaupunkien lukumäärä
Norja	A	0.757	0.0024	13
	B	0.791	0.0016	13
Ruotsi	A	0.44	0.00	97
	B	0.50	0.00	67
Suomi	A (H0)	0.242	0.303	20
	B (K0)	0.321	0.168	17
	B (K2)	0.616	0.009	17

Mitkä ovat syyt maiden välisiin eroihin?

Miksi Ruotsissa liikenteen energiankulutus asukasta kohden on keskimäärin suurinta ja Norjassa pienintä? Jos asiaa pyritään selittämään maankäytön tehokkuudella, on tarkasteltava kaupunkien asukastiheyttä.

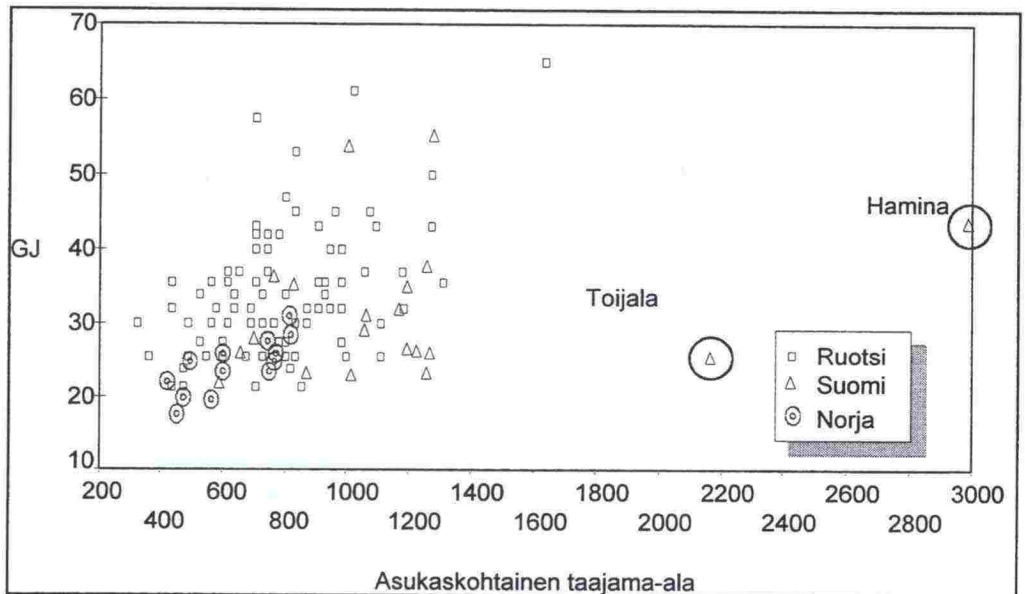
Kaupunkien pinta-alat eroavat maittain melkoisesti. Raimo Sounelan 1989 tekemässä tutkimuksessa, jossa tutkittiin 76 suomalaista, 117 ruotsalaista ja 46 norjalaista kaupunkia saatiin seuraavia tuloksia. Ruotsissa kaupunkien keskipinta-ala oli 1 279 km², Norjassa 484 km² ja Suomessa 395 km². Kaupunkien asukastiheys on suurin Suomessa 92 as/km². Norjassa asukastiheys on suunnilleen sama ollen 84 as/km² ja Ruotsissa 39 as/km². Vaikka Ruotsissa kaupunkien keskimääräinen asukasluvu on suurempi kuin Suomessa ja Norjassa, asukastiheys on pienempi. Tämä karkea vertailu tukee maankäytön tehokkuuden merkitystä. Suurin asukaskohtainen liikenteen energiankulutus (keskiarvo) on siellä, missä kaupunkien asukastiheys on pienin. Norja on pientalovaltaisista pohjoismaista. Siellä vain 20 % asunnoista on kerrostaloissa. Suomessa 40 % ja Ruotsissa 50 % asunnoista sijaitsee kerrostaloissa /12/.

Suomalaisten kaupunkien pieni korrelaatio korjaamattomassa mallissa, H_0 :ssa, johtunee tietojen keräystavasta. Polttoaineen myyntimäärät on kerätty koko kunnan alueelta ja sen antamaa energia-arvoa on verrattu maankäyttöä kuvaaviin muuttujiin. Koska kaikki kohdekunnat sijaitsevat merkittävän liikenneväylän varrella, taajamaliikenteen ulkopuolisten tekijöiden aiheuttamat "vääristymät" polttoaineen myyntitiedoissa vaikuttavat tuloksiin. Ruotsalaisissa kaupungeissa hieman korkeammat kaupunkien asukaskohdaiset liikenteen energiankulutustiedot voivat riippua pienemmästä asukastiheydestä ja suuremmasta kaupunkikoosta.

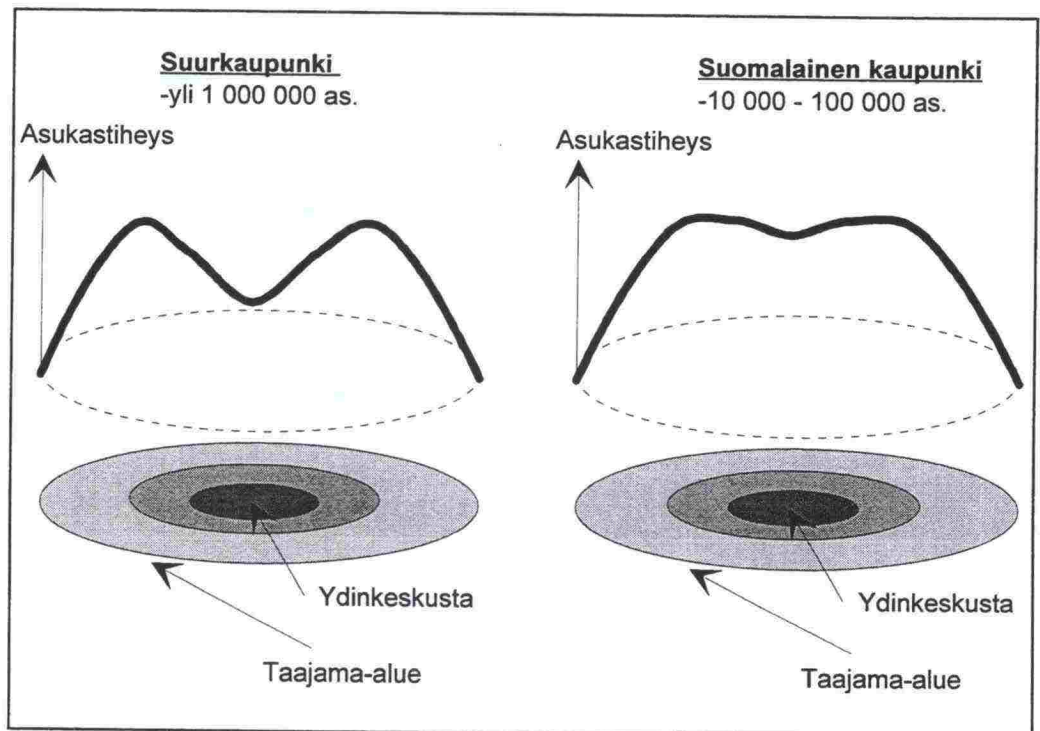


Kuva 37.

Eräiden suomalaisten ja norjalaisten kaupunkien liikenteen energiankulutuksen ja asukaskohdaisen taajamapinta-alan riippuvuuksia. Huomaa suomalaisten kaupunkien suurempi hajonta.



Kuva 38. Pohjoismaissa tutkittujen kaupunkien asukaskohtaisen liikenteen energiankulutus ja taajamapinta-ala. Ruotsalaisten kaupunkien polttoainetietoja ei ole korjattu (korrelaatiokerroin= 0.440). Norjalaisista kaupungeista kolmen polttoainetietoja on korjattu (korrelaatiokerroin= 0.791). Suomalaisten kaupunkien polttoainetietoja ei ole korjattu.



Kuva 39. Asukastiheyden erot suurkaupungin ja suomalaisen kaupungin kaupunkirakenteen sisällä. Suurkaupungissa keskusta autioituu. Mm. tämän johdosta selvityksen tuloksia tulee verrata lähinnä pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän työn tavoitteena oli ensisijaisesti selvittää aineiston sallimissa rajoissa, mitkä ovat ne tärkeimmät kaupunkirakenteelliset muuttujat, joilla on suurin merkitys asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen. Saatuja tuloksia verrattiin lähinnä pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin. Lisäksi tavoitteena oli mahdollisen jatkotutkimuksen suunnittelu. Työn suorittaminen tapahtui kirjallisuusselvityksenä ja tilastomatemaattisena tutkimuksena (korrelaatiot ja regressioanalyysi).

Tutkimusaineisto on kerätty tielaitoksen toimesta 20 kaupungista. Asukas-kohtainen liikenteen energiankulutus on saatu kunkin kunnan alueelta myy-tyjen polttoaineiden kokonaismäärien avulla. Koska aineisto on kerätty use-ampaan selvitykseen, tämän työn kannalta ongelmia aiheuttaa kaupunkien sijainti. Kaupungit sijaitsevat valtakunnallisesti merkittävän pääväylän lähei-syydessä ja kaikissa on liikennemääriltään huomattava linja-auto- sekä rau-tatiterminaali ja osassa on lisäksi lentokenttä tai satama.

Em. tekijät aiheuttavat ohikulkuliikennettä, joka vaikuttaa myytyihin polttoai-neenmääriin. Ongelmana on täten, kuinka verrata taajama-alueen rajaamia kaupunkirakennetta kuvaavia muuttujia koko kunnan alueelta kerättyjen polttoaineen myyntimäärien perusteella laskettuihin asukaskohtaisiin liiken-teen energiankulutustietoihin.

Toisaalta taajama-alueen määritelmän vuoksi taajama-alue saattaa sijaita usean kunnan alueella. Mm. tämän johdosta tietojen käsittelytavaksi valittiin kuntakohtainen analyysi ts. esim. taajamarajatiedot ovat kuntakohtaisia. Myöskään taajamaväestön määrä ei voinut olla kaupungin väkimäärää suurempi.

Polttoaineiden myyntiin vaikuttavien virhelähteiden vaikutusta pyrittiin vä-hentämään arvioimalla virhelähteiden suuruutta ja laatimalla eri analyysimalleja. Suurimpia epävarmuustekijöinä polttoaineenkulutustietoihin vaikut-tivat:

- linja- ja kuorma-autojen kaukoliikenne
- maatalouden polttoaineenkulutus
- kauppavuoto (työmatkojen vuoksi naapurikunnasta tapahtuva polt-toaineen osto)
- läpikulku- ja lomanviettoliiikenne

Virhelähteistä maatalouden ja kauppavuodon vaikutus on vähäinen. Ana-lyysimalleista parhaana on pidetty K_2 :ta, josta saatuja tuloksia allaolevassa pääosin esitetään.

Kerättyjen polttoaineen myyntimäärien perusteella tutkittujen kaupunkien lii-kenteen energiankulutus vaihteli Tampereen 21.7 GJ:sta Forssan 55.1 GJ asukasta kohden. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen keskiar-vo tutkituissa kaupungeissa oli 31.6 GJ. Kaupungeista Forssan ja lisalmen liikenteen energiankulutus oli poikkeuksellisen suurta verrattuna muihin kohdekaupunkeihin. Tästä johtuen ko. kaupungit on jätetty pois osasta analyysimalleja.

Aineiston perusteella kaupunkirakenteen yksittäisistä muuttujista liikenteen asukaskohtaiseen energiankulutukseen vaikuttavat merkittävimmin lähinnä maankäytön tehokkuutteen liittyvät muuttujat. Taajamarakenteen tiivistäminen, sen leviämisen rajoittaminen ja maankäytön tehokkuuden nosto ovat parhaat kaupunkirakenteen suunnittelua koskevat keinot vähentää liikenteen energiankulutusta.

Parhaita korrelaatioita liikenteen energiankulutuksen kanssa saatiin kaupunkirakenteen osalta muuttujilla:

- asukaskohtainen taajamapinta-ala
- taajamarajan pituus (taajama-ajan pituus asukasta kohden)
- rakennuspinta-ala taajama-alaa kohden
- teollisuusrakennusten pinta-ala osuus koko rakennuspinta-alasta.
- taajamantiepituus (kadut+yl. tiet taajama-alueella)

Mm. taajamassa asuvaa henkilöä kohden olevaa taajama-alaa rajoittamalla ja maankäyttötehokkuutta kaupungeissa nostamalla voidaan tämän selvityksen perusteella vähentää liikenteen energiankulutusta.

Teollisuusrakennusten osuudella koko rakennuskannasta on hyvä riippuvuus liikenteen energiankulutuksen kanssa mallissa K2. Sen painoarvoa laskee kuitenkin muuttujan huono merkitsevyys muissa malleissa. Vanhojen tai vajaakäytössä olevien teollisuus- ja varastoalueiden hyödyntäminen uusrakentamisessa voisi olla eräs keino vähentää liikenteen energiankulutusta. Näitä alueita voidaan käyttää joko asuinrakennusten tai sopivien teollisuusrakennusten uudisrakentamiseen. Esimerkkinä teollisuusalueen uudisrakentamisesta on Toppilan alue Oulussa.

Myös taajamaväestön ja taajama-alan riippuvuus liikenteen energiankulutuksesta oli suuri. Näiden muuttujien perusteella ei voida kuitenkaan suoraan päätellä minkälainen kaupunkirakenteen tulisi olla energiankulutuksen vähentämiseksi. Pelkällä taajamaväestön ja taajama-alan kasvattamisella ei em. tavoitteeseen päästä.

Joukkoliikenteen taso korreloi hyvin liikenteen energiankulutuksen kanssa. On kuitenkin huomioitava, että joukkoliikenne on merkittävä kulkumuoto vaihtoehto vain suurissa kaupungeissa, kuten esim. Tampereella ja Turussa. Tämä laskee ko. muuttujan merkitystä pienempien kaupunkien kannalta.

Odotettua heikompia riippuvuuksia selitettävän muuttujan kannalta saatiin mm. työmatkojen pituuksien ja taajaman tietihyödyntämisen osalta. Samoin asumismuodon vaikutus liikenteen energiankulutukseen on merkitsevyydestään heikohko. On huomattava, että lähtötiedot käsittävät koko taajama-alueen yhteenlasketut arvot eivätkä tietoja jaoteltuna eri lähiöalueisiin. Työmatkojen pituuksien odotettua heikompi korrelaatioarvo selittänee junalla suoritettujen työmatkojen suurehko osuus ko. kaupungeissa. Taajaman tiepietämyksen korrelaatio liikenteen energiankulutuksen kanssa oli hyvä. Ko. muuttujan eri tekijöiden kanssa lasketut suhdelukumuuttujat antoivat kuitenkin huonoja korrelaatioarvoja. Mielestäni taajamatiestön pituuden kasvua voidaan pitää rakenteellisena seurauksena taajama-alueen kasvusta.

Monimuuttuja-analyseissa selittävien muuttujien määrä on rajattu 2-3 kohdekuntien pienen määrän vuoksi. Jos liikenteen energiankulutusta pyritään selittämään kahden muuttujan avulla, parhaan tuloksen antavat mallissa K2: taajamarajan pituus ja teollisuusrakennusten pinta-alan osuus koko rakennusalasta. Nämä muuttujat selittävät 79 % liikenteen energiankulutuksen vaihtelusta. Jos viimeksimainittu muuttuja jätetään huomioimatta parhaan selittävyyden antavat:

1. asukaskohtainen taajama-ala ja
2. taajamarajan pituus.

Kolmen selittävän muuttujan tapauksessa parhaita selittävyksiä saatiin muuttujilla: asukaskohtaisella taajamapinta-alalla, taajamarajan pituudella ja asuinkerrostalojen osuudella rakennuspinta-alasta. Nämä muuttujat selittävät analyysin perusteella 68 % liikenteen energiankulutuksen vaihteluista. Verrattaessa työn tuloksia muihin ulkomailla tehtyihin tutkimuksiin joudutaan suomalaisia kaupunkeja vertaamaan yleensä miljoonakaupunkeihin, jotka poikkeavat taajamarakenteeltaan ja liikennekulttuuriltaan suomalaisista. Koska pohjoismaiset kaupungit ovat hyvin samankaltaisia sosiaalisesti, liikennekulttuurisesti ja yhdyskuntarakenteellisesti suomalaisten kaupunkien kanssa, voidaan tämän työn tuloksia mielestäni verrata lähinnä vain pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin.

Ruotsissa ja Norjassa tehdyistä tutkimuksista suurin energiankulutuksen keskiarvo saatiin Ruotsissa (n. 33.8 GJ) ja vastaavasti pienin Norjassa (n. 24.3 GJ). Nämä arvot on saatu laskemalla diagrammeista. Tutkituissa suomalaisissa kaupungeissa vastaava arvo on 31.7 GJ. Näiden tutkimusten johtopäätökset ovat samansuuntaisia. Maankäytön tiheyttä kuvaavilla muuttujilla, kuten asukaskohtaisella taajama-alalla, on parhaat korrelaatiot liikenteen energiakulutuksen kanssa. Karkea kaupunkien asukastiheyden ja liikenteen energiankulutuksen vertailu maiden välillä vahvistaa päättelyä maankäytön tehokkuuden merkityksestä.

Jatkotutkimus

Projektin eräänä tavoitteena on mm. käytännön työkalujen saaminen suunnittelijoille esiselvitystyön osuuden keventämiseksi esim. taajamien liikennesuunnittelussa. Ratkaisuna ensivaiheessa voitaisiin pitää niiden tärkeimpien kaupunkirakenteellisten muuttujien tarkkaa selvittämistä, jotka vaikuttavat eniten esim. asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen, ja paikkatietojärjestelmän kehittämistä tästä lähtökohdasta.

Tällöin on huomattava, että liikenteen polttoaineenkulutus korreloi suoraan liikennesuorituksen kanssa. Näin ollen polttoaineenkulutuksen perusteella saadaan hyvä kuva liikennesuoritteesta. Liikennesuorite on se muuttuja, jota liikennesuunnittelija tarvitsee työssään.

Tavoitteena on laatia tärkeimpien kaupunkirakennetta kuvaavien muuttujien osalta helppokäyttöinen malli (diagrammi), jolla voidaan arvioida vallitsevaa liikennesuoritteita. Ko. malli jaottelee eri kokoluokan taajamissa esim. ne 5-10 kaupunkirakenteen muuttujaa, suhdelukua, joilla on merkitystä

asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen ja siten liikennesuoritteeseen määrään. Näille suhdeluvuille haetaan raja-arvot, jotka kuvaavat tiettyä liikennesuoritteen tasoa halutuissa rajoissa. Raja-arvojen etsiminen tapahtuu tilastomatemattisin menetelmin, asiantuntijahaastatteluiden avulla ja case-tutkimuksina. Saamalla näin tarvitsemansa kaupunkirakenteen muuttujien arvot paikkatietojärjestelmästä suunnittelija voisi arvioida tietyissä rajoissa nopeasti ja halvalla liikennesuoritteen kaupunginosassa/taajamassa.

7 KIRJALLISUUS

- /1/ Jacobson, L. 1992. Suomen kaupungistuminen, vertailu kansainväliseen kehitykseen ja kehityspoliittiset mahdollisuudet. Helsinki. 110 s. Suomen kaupunkiliiton julkaisu nro 700.
- /2/ Himanen, V. 1985. Liikenteen ja liikennejärjestelmien kehitys. Yhdyskuntarakenteen kehitysnäkymät erityisesti yhdyskuntatekniikan ja teknologian kehityksen näkökulmasta. s. 73-95. Espoo. Suomen kaupunkiliiton julkaisusarja C 109.
- /3/ Himanen, V. 1983. Kaupunkiliikenteen seurausvaikutukset ja energiankulutus. s. 89. Espoo. VTT:n tutkimuksia 159.
- /4/ Kallberg, H. 1983. Henkilöliikenteen energiankulutusennuste. s. 50. VTT:n tutkimuksia 236.
- /5/ Kallberg, H. 1982. Henkilöliikenteen energiankulutus eri liikennemuodoilla. Espoo. s. 65. VTT:n tiedotteita 160.
- /6/ Kallberg, H. 1982. Tavaraliikenteen energiankulutus eri liikennemuodoilla. Espoo. s. 66. VTT:n tiedotteita 159.
- /7/ Knoflacher, H. 1995. Kohti kaupungin ja liikenteen sopusointua. Käännösteksti julkaistaan 1995.
- /8/ KTM. 1978. Tieliikenteen energiatutkimus.
- /9/ Kenworthy, J & Newman, P. 1987. Learning from the best and worst: Transportation and land use lessons from thirty-two international cities with implications for gasoline use and emissions. Murdoch university, Transport research paper.
- /10/ Lahti, P & Harmaajärvi, I. 1992. Yhdyskuntarakenne ja kestävä kehitys, kansainvälisiä kokemuksia. Helsinki. s. 92. Ympäristöministeriön kaavoitus ja rakennusosasto; Tutkimusraportti 1 1992.
- /11/ Lahti, P. 1990. Kaupunkien energiankulutus ja mahdollisuudet vaikuttaa siihen. Kaupunkien energiaa säästävä suunnittelu ja rakentaminen. Espoo. s. 21-24. VTT symposium 111.
- /12/ Levon, B-V. 1990. Rakennuskantaa koskeva energiatutkimus pohjoismaissa. Kaupunkien energiaa säästävä suunnittelu ja rakentaminen. Espoo. s. 36-41. VTT symposium 111.
- /13/ Malka, S. 1992. Tieliikenteen energian kysynnän hinta- ja tulojousto. Helsinki. s. 57. VATT keskustelualoitteita.
- /14/ Mogridge, M. 1985. Transport, land use and energy interaction. s. 481-492. Urban studies 22.
- /15/ Naess, P. 1994. Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne. Helsinki. s. 49. Tielaitoksen selvityksiä 9/1994
- /16/ Newman, P & Kenworthy, J. 1991. Cities and automobile dependence - an international sourcebook. United kingdom.
- /17/ Owens, S. 1987. The urban future: Does energy really matter ?. s. 169- 187. Energy and urban built form. Butterworths.
- /18/ Suomen kaupunkiliitto. 1987. Joukkoliikenne suomen kaupungeissa. Helsinki. s. 124.
- /19/ Sounela, R. 1989. Suomen, Ruotsin, Norjan ja Tanskan kaupunkien mitoittamisesta. Tampere. s.17. TTKK-A-Yhdyskuntasuunnittelun laitos; julkaisuja 17.
- /20/ Tielaitos. Karttakeskus. 1993. Tieliikenteen terminaaliyhteydet.
- /21/ Tie- ja vesirakennushallitus, Talousosasto, tutkimustoimisto. 1985. Tieliikenteen tavarankuljetustilaston tavaravirrat 1985. sarja A: 1/87. TVH 713096.

- /22/ Virtanen, P & Lehto, S. 1985. Energiaomavaraisuuden lisäämisen ja energian säästön vaikutus maankäyttöön. Otaniemi. s. 101. Helsingin teknillinen korkeakoulun maanmittausosasto.
- /23/ Öljyalan vuosikirja 1985-1991. Öljyalan keskusliitto.
- /24/ Öljyalan kustannus Oy. 1992. Auto, sinä ja yhteiskunta. s. 41.

KUVAT

1. Tutkittavien kaupunkien sijainti.
2. Suomen kaupunkiväestön %-osuus koko väestöstä vv. 1800-1990.
3. Autotiheyden kehitys Suomessa ja tutkituissa kaupungeissa vuosina 1960-1990.
4. Tutkittujen kaupunkien ja koko maan (kaupungit) eri ikäluokkien osuus koko väestöstä. Lähde SVT 1990.
5. Polttoainemyyntimäärien perusteella lasketut asukaskohtainen liikenteen energiankulutus (GJ), taajamapinta-ala ja taajamaväestö.
6. Liikenteen energiankulutuksen ja maankäyttöä kuvaavien mallien analysoinnin kulku.
7. Tutkittujen kaupunkien keskimääräinen elinkeinojakautuma.
8. Tavaraliikenteen liikennevirrat ts. kuorma-autojen KVL (ajon./vrk) vuonna 1985.
9. Kuorma-autojen rautatieterminaalissa vuorokaudessa tekemien käyntikertojen suhde kaupungin asukaslukuun lähde tieliikenteen terminaaliyhteydet.
10. Lähikuntien etäisyys (km) Keravalta ja Turusta sekä Keravan naapurikuntien asukasluku ja etäisyydet.
11. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus Keravalla ja sen lähikunnissa.
12. Työmatkojen jakautuminen pituusluokittain tutkituissa kaupungeissa.
13. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus eräissä kaupungeissa.
14. Tieliikenteen asukaskohtainen energiankulutus lääneittäin.
15. Eri ajoneuvoryhmien osuus koko ajoneuvokannasta.
16. Bensiini- ja dieselöljykäyttöisten ajoneuvojen lukumäärän kehitys sekä moottoribensiinin ja dieselöljyn myyntimäärät (m^3) vv. 1970-1991.
17. Dieselöljyn myynnin osuus koko maassa, Hämeenlinnassa ja Turussa.
18. Asukaskohtainen taajamapinta-alan ja liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
19. Taajamarajan pituuden ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
20. Taajamarajan pituus asukasta kohden ja liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
21. AK-talojen pinta-alan osuuden suhde taajama-alasta ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.

22. Eri asumismuotojen ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
23. Kerrostalojen neliöpinta-alan osuus (%) asuinrakennusten yhteenlasketusta neliöpinta-alasta.
24. Taajaman tietihyden ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
25. Ideaalisia kaupunkirakenteita: a.) Compact nucleated urban structure ja b.) linear grid structure.
26. Elintason nousu ja autoistuminen painostavat suunnittelemaan kaupunkirakennetta autoliikennettä suosivaksi.
27. Autoa/asuntokunta ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
28. Työmatkojen pituusluokkien prosentuaalinen jakautuminen Keravalla ja 48 kunnassa.
29. Työmatkojen pituuden ja liikenteen asukaskohtaisen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
30. Toppilan alue.
31. Taajamaväestön ja asuinkerrostalojen osuuden koko rakennusalaista korrelaatio joukkoliikenteentason kanssa.
32. Joukkoliikenteen tason (LA-liikennesuoritteiden suhde taajamapinta-alaan) ja asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen välinen korrelaatio.
33. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen monimuuttujapolku.
34. Mitä tulisi tehdä kaupungin tieliikenteen energiankulutuksen pienentämiseksi. Johtopäätöksiä aineiston perusteella.
35. Eri maanosien ja maiden asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen keskiarvoja.
36. Asukaskohtainen liikenteen energiankulutus ja asukastiheys 63 kaupungissa.
37. Eräiden suomalaisten ja norjalaisten kaupunkien liikenteen energiankulutuksen ja asukaskohtaisen taajamapinta-alan riippuvuuksia.
38. Pohjoismaissa tutkittujen kaupunkien asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja taajamapinta-alan väliset korrelaatiot.
39. Asukastiheyden erot suurkaupungin ja suomalaisen kaupungin kaupunkirakenteen sisällä.

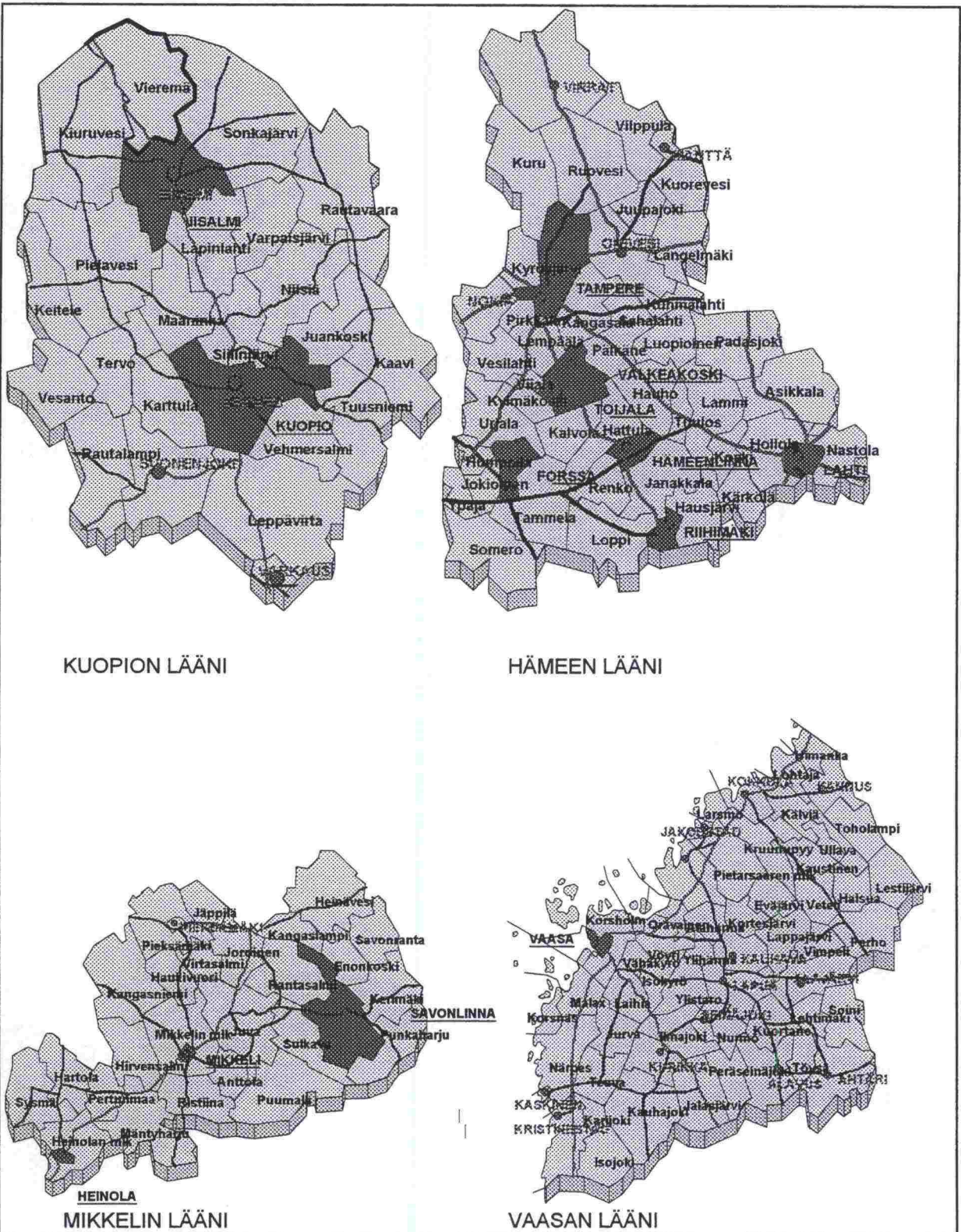
TAULUKOT

1. Väkiluvun prosentuaalinen kasvu tutkituissa kaupungeissa.
2. Kaupunkien luokittelu taajaman asukastiheyden perusteella.
3. Kaupunkien luokittelu autoistumistason perusteella.
4. Ajosuoritteiden riippuminen ikäluokasta ja kunkin ikäluokan %-osuus kokonaisväestöstä. Lähde: VATT 21 ja SVT 1990.
5. Liikenteen energiankulutusmallien periaatteelliset erot.
6. Mallien H0, H1, H2, K0, K1 ja K2 herkkyysanalyysin muuttujien ja asukaskohtaisen energiankulutuksen standardoidut regressiokertoimet.
7. Tutkittavien kaupunkien merkittävät terminaalisyhteydet.
8. Arvio dieselkäyttöisten ajoneuvotyyppien %-osuudesta dieselöljyn käytöstä 1990.
9. Lähiliikenteen %-osuus paikallisliikenteestä eri kokoluokan kaupungeissa.
10. Kuorma-autoliikenteen arvioitu vaikutus dieselöljyn myyntiin.
11. Liikenteen energiankulutustietoja eräissä tutkituissa kaupungeissa.
12. Taajaman ja ohikulkutien keskinäisen sijainnin vaikutus asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen.
13. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja liikenteellisten sekä väestöllisten tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet.
14. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet.
15. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta ja -ympäristöä kuvaavien tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet.
16. Tutkittujen kaupunkien jaottelu nauha-, tähti- ja ruutukaupunkimalleihin.
17. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja joukkoliikenteen tasoa kuvaavien muuttujien väliset standardoidut regressiokertoimet.
18. Joukkoliikenteentason ja muuttujien väliset standardoidut regressiokertoimet.
19. Kahden tekijän selittävyys R^2 ja tarkistettu R^2 mallissa K2.
20. Kolmen tekijän selittävyys (R^2) mallissa K2.
21. Asukaskohtaisen liikenteen energiankulutuksen ja asukaskohtaisen taajama-alan välinen riippuvuus Norjassa, Ruotsissa ja Suomessa.

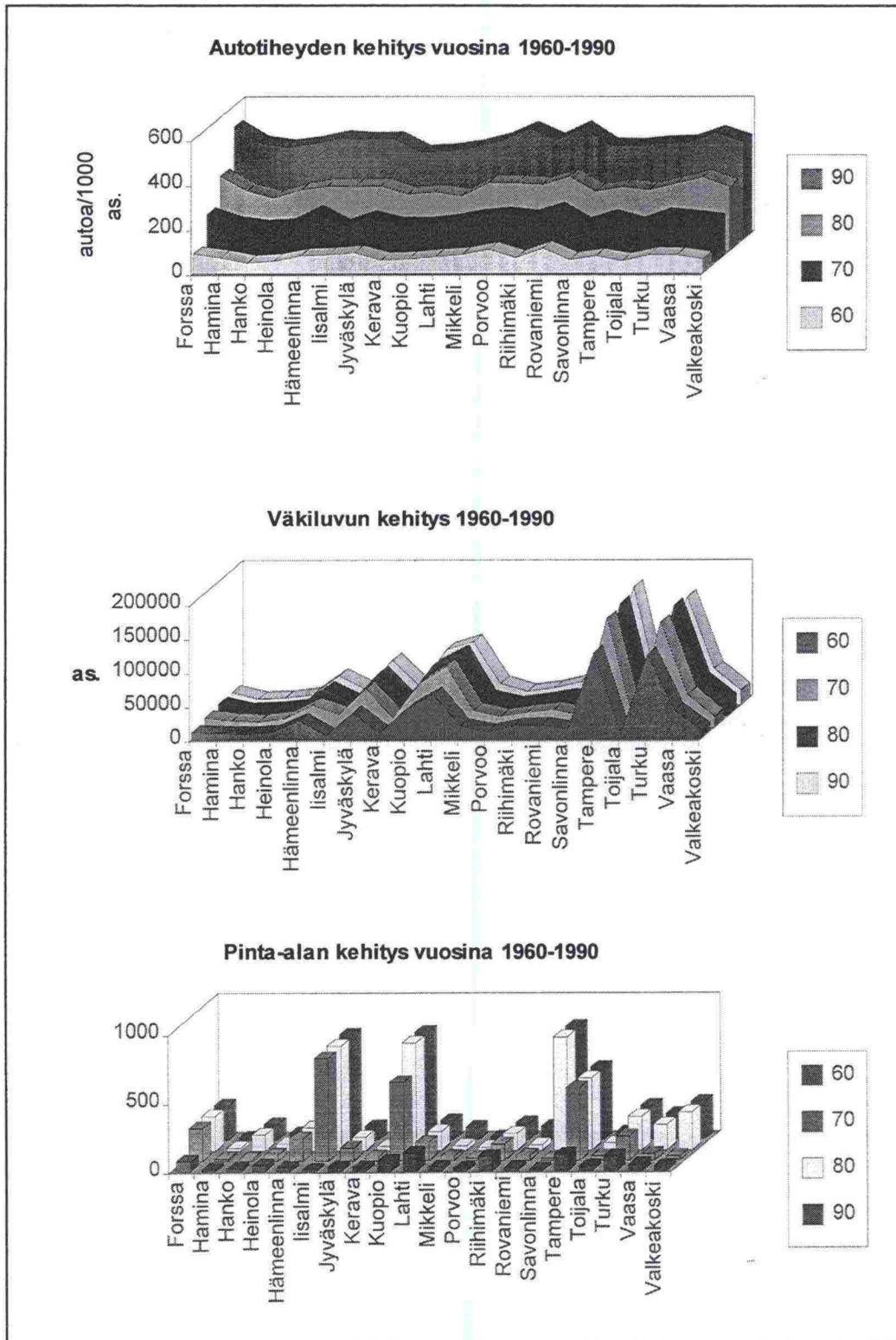
LIITTEET

1. Tutkittavien kaupunkien sijainti lääneittäin.
2. Kohdekaupunkien autotiheyden, pinta-alan ja asukasluvun kehitys.
3. Automäärän prosentuaalinen kehitys vuosittain tutkituissa kaupungeissa.
4. Kaupunkien väestödiagrammit.
5. Liikennesuoritteiden ja polttoaineenkulutuksen välinen riippuvuus Suomessa vv. 1975-1988.
6. Terminaalien ja satamien tavaraliikennemäärät.
7. Kaupunkien maataloudesta saavan väestön prosenttiosuudet.
8. Kaupunkien kuorma-autoliikenne kuntarajalla.
9. Kerrostalojen %-osuus asuinrakennusten pinta-aloista.
10. Mallimuuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet. Suluissa merkitsevyystaso (malli K2).
11. Mallimuuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet. Suluissa merkitsevyystaso (malli K2).
12. Kahden tekijän selittävyys (R^2) mallissa K0.
13. Kolmen tekijän selittävyys (R^2) mallissa K0.

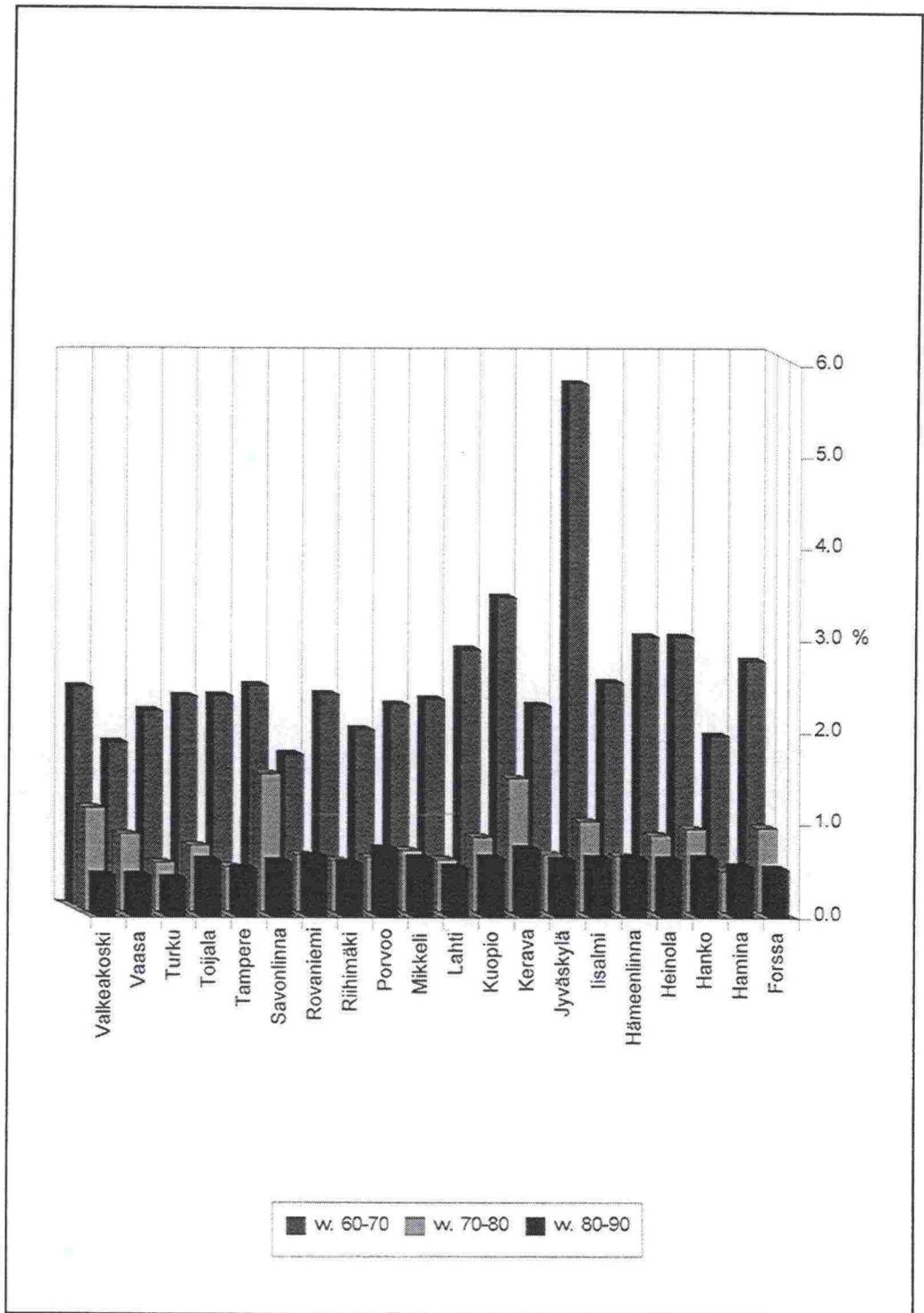
LIITE 1. Tutkittavien kaupunkien sijainti lääneittäin.



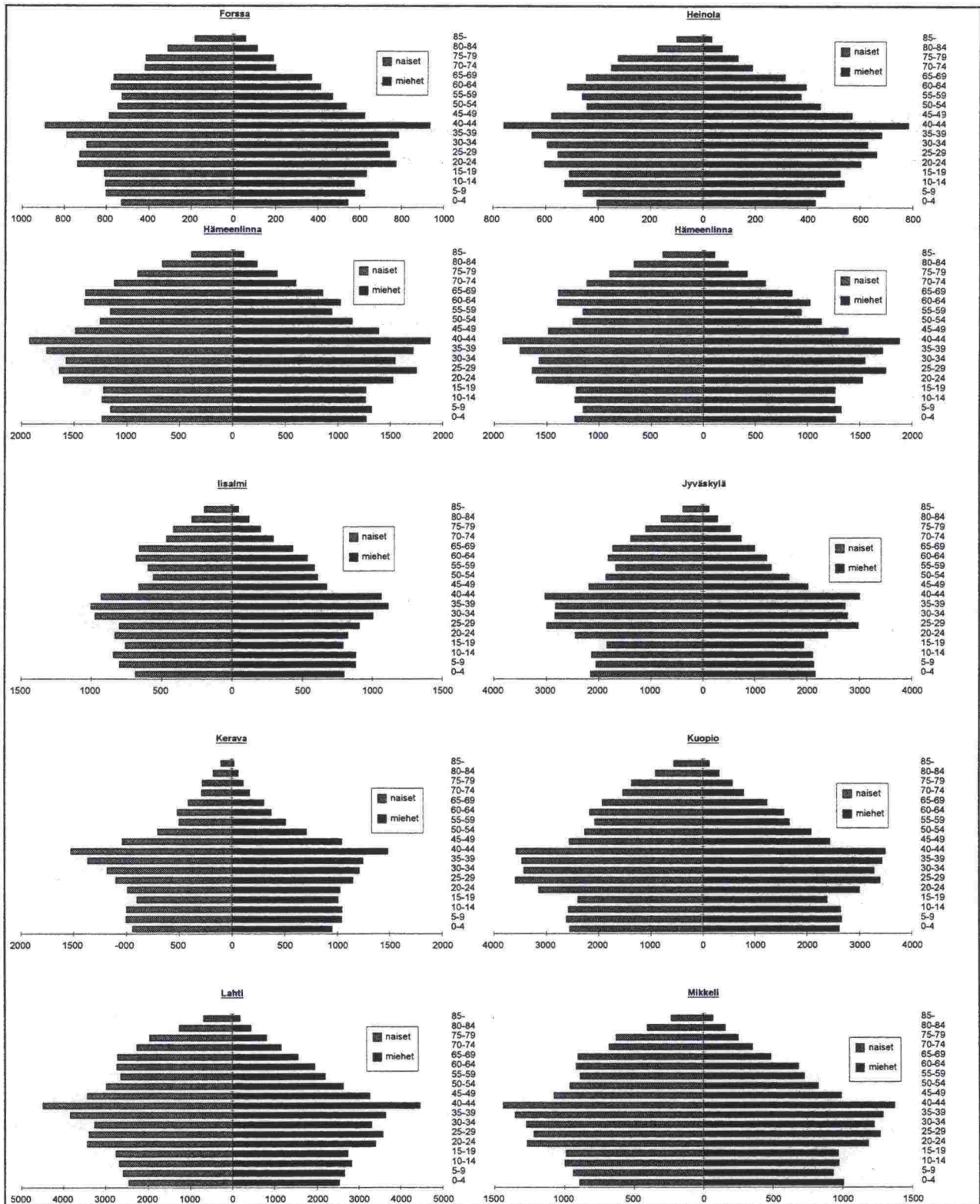
Liite 2. Kohdekaupunkien autotiheyden, pinta-alan ja asukasluvun kehitys.

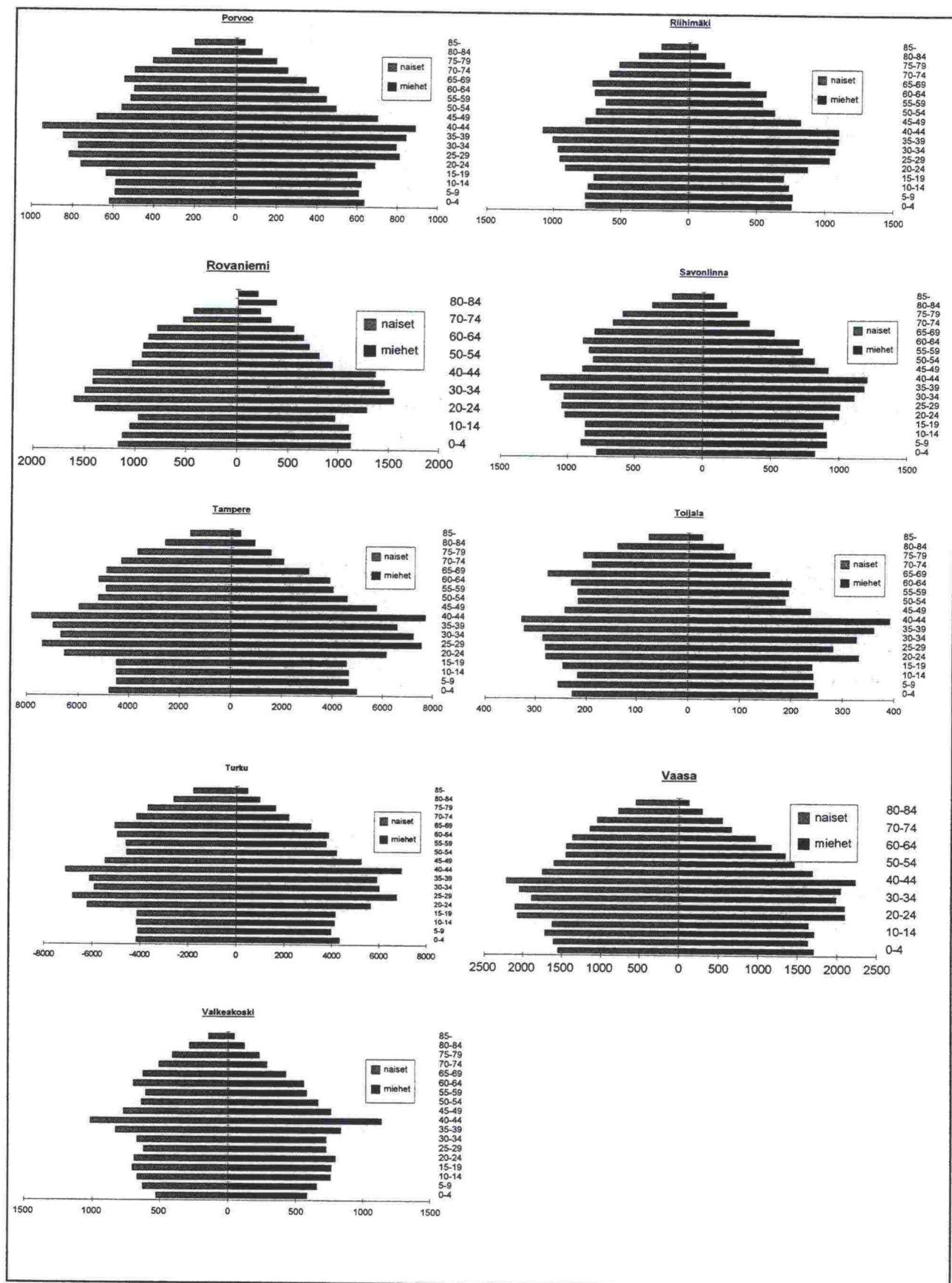


Liite 3. Automäärien prosentuaalinen kasvu vv. 1960-1990
tutkituissa kaupungeissa.

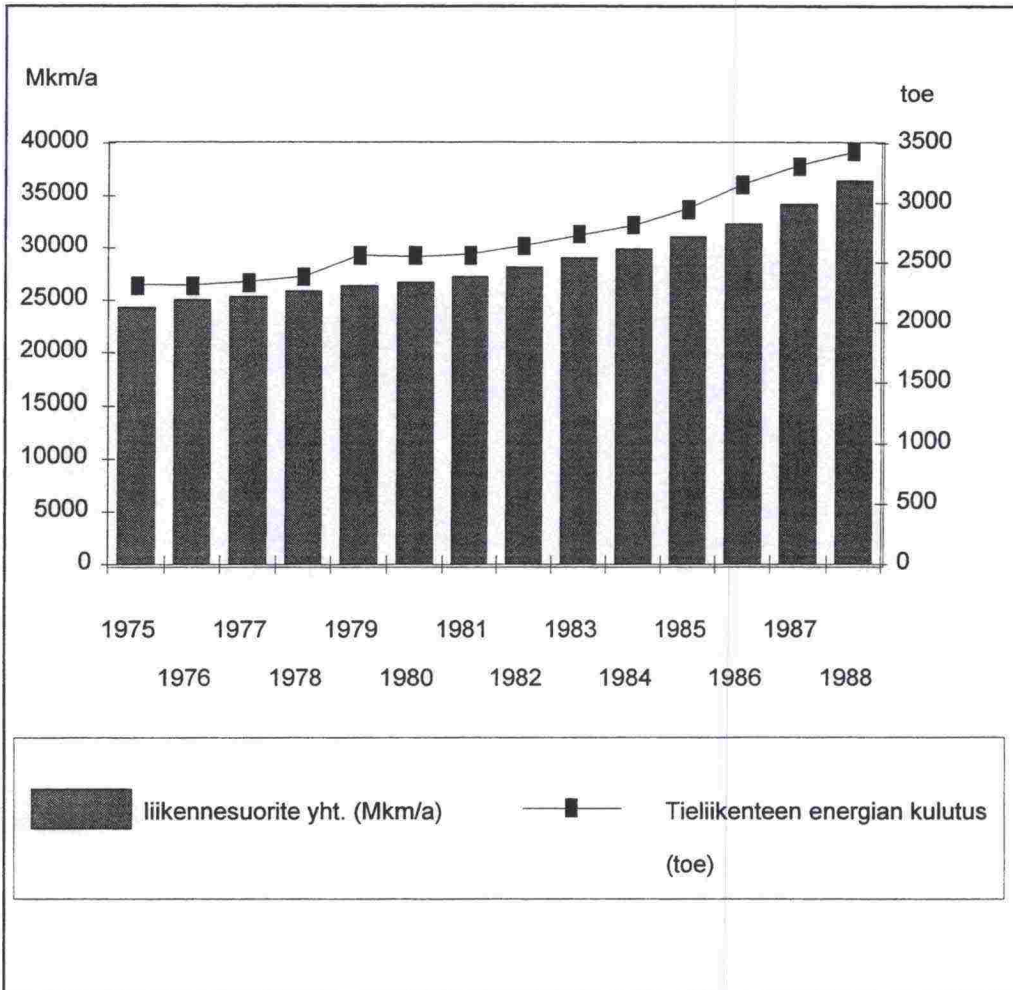


Liite 4. Tutkittujen kaupunkien väestödiagrammit



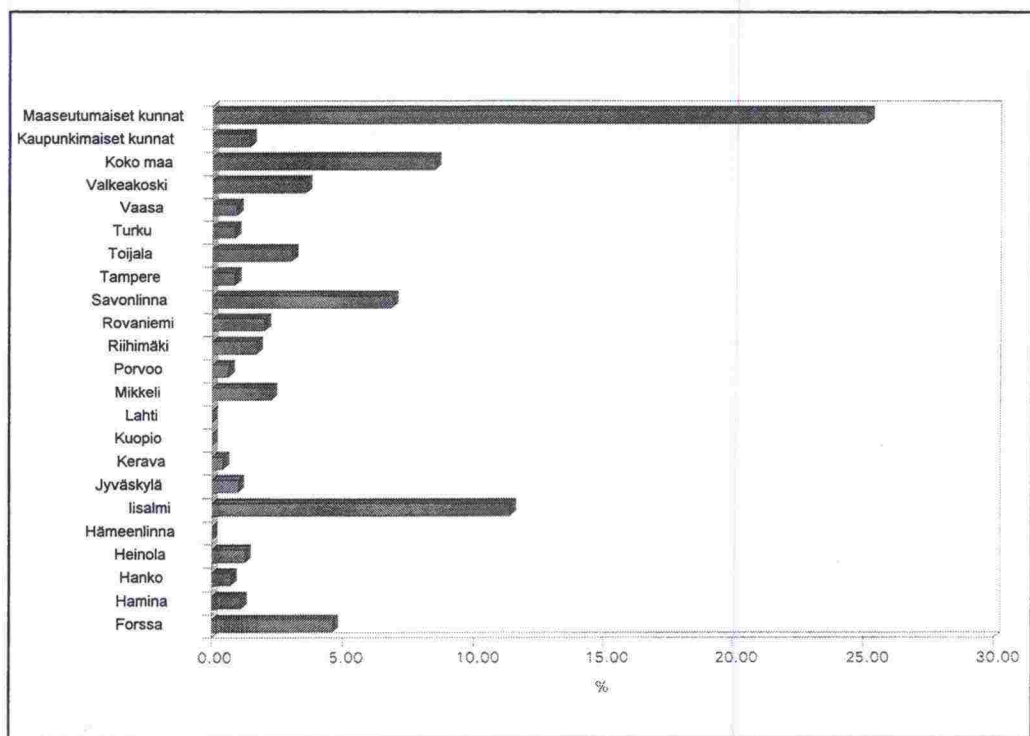
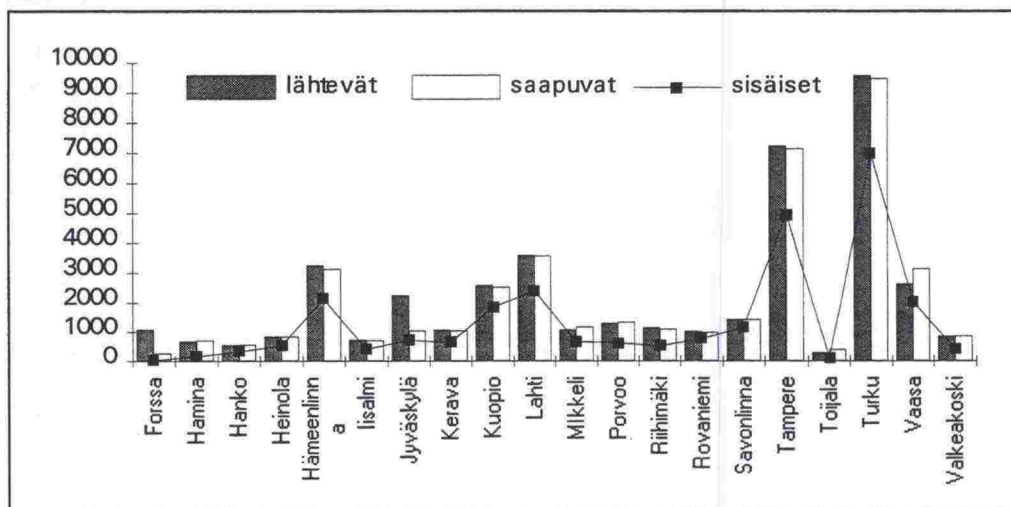


Liite 5. Liikennesuoritteiden ja polttoaineenkulutuksen välinen riippuvuus Suomessa vv. 1975-1988.

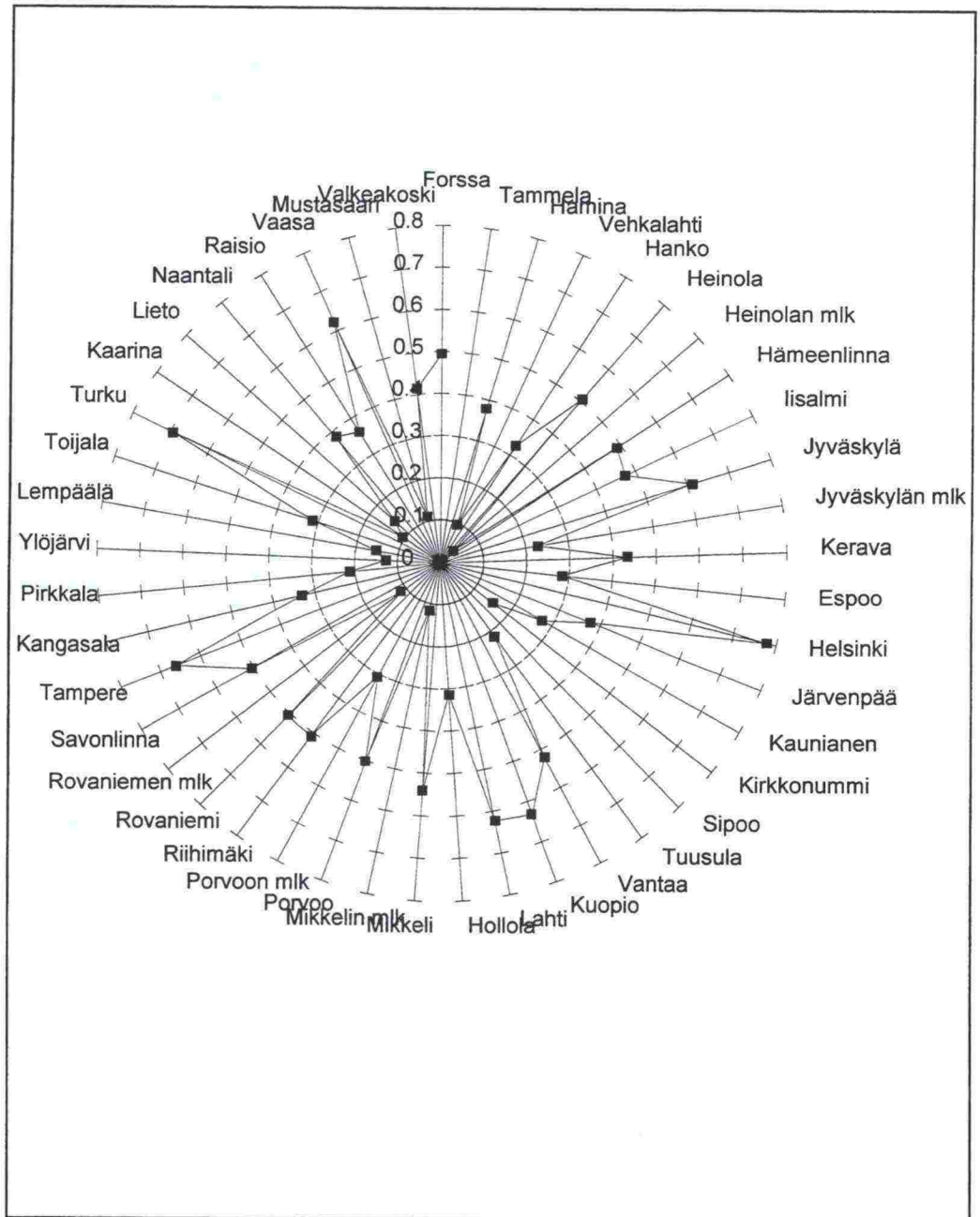


Liite 6. Terminaalien ja satamien tavaraliikennemäärät

Kaupungit	la-terminaalien vuoromäärä (1000/v)	rautatieterm. kuorma-autot. (käyntikerrat/vrk)	Satamat (1000 t)	Lentoterm. (1000 matkus.)
Forssa	68	35		
Hamina	73		5025	
Hanko			2356	
Heinola	61			
Hämeenlinna	164	40		
Iisalmi	70	15		
Jyväskylä	400	125		229
Kerava				
Kuopio	574	80		270
Lahti	690	230	127*	
Mikkeli	119	120		20
Porvoo				
Riihimäki	76	220		
Rovaniemi	62	55		273
Savonlinna	94	50		60
Tampere	228	300		215
Toijala				
Turku	1235	450		422
Vaasa	60	65	1274	199
Valkeakoski		30		

Liite 7. Kaupunkien maataloudesta tulonsa saavien %-osuus.

Liite 8. Kaupunkien kuorma-autoliikenne kuntarajalla


Liite 9. Kerrostalojen %-osuus asuinrakennusten pinta-aloista.



**Liite 10. Mallimuuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet.
Suluissa merkitsevyytaso (malli K2).**

	<i>liikenteen energian kulutus</i>	<i>autoa/ 1000 as.</i>	<i>autoa /as. kunta</i>	<i>LA Is / väkiluku</i>	<i>taajaman tietiheys</i>	<i>työmatko- jen keski- pituus</i>	<i>asukas- koh. taaja- mapa.</i>
<i>asukaskohtainen liikenteen energian kulutus</i>	1.000						
<i>autoa/1000 as.</i>	0.140 (0.593)	1.000					
<i>autoa/as.kunta</i>	0.216 (0.404)	0.694 (0.002)	1.000				
<i>La Is/väkiluku</i>	-0.306 (0.233)	-0.424 (0.090)	-0.483 (0.050)	1.000			
<i>taajaman tietiheys</i>	-0.104 (0.692)	-0.224 (0.386)	-0.164 (0.529)	0.050 (0.848)	1.000		
<i>työmatkojen keskipituus</i>	-0.104 (0.692)	-0.052 (0.843)	-0.020 (0.940)	0.077 (0.770)	0.073 (0.782)	1.000	
<i>asukaskohtainen taajamapinta-ala</i>	0.616 (0.008)	0.151 (0.562)	0.076 (0.771)	-0.198 (0.447)	-0.444 (0.074)	0.019 (0.944)	1.000
<i>ak. pinta-ala/asuinrak. pinta- ala</i>		0.058 (0.826)	-0.156 (0.550)	0.164 (0.529)	-0.186 (0.476)	-0.251 (0.331)	-0.581 (0.014)
<i>ak pinta-ala/rakennuspinta- ala</i>		-0.044 (0.868)	-0.178 (0.495)	0.166 (0.525)	-0.165 (0.528)	-0.253 (0.327)	-0.568 (0.017)
<i>hallintorakennuspa/rakennus ppinta-ala</i>		0.419 (0.094)	0.506 (0.038)	-0.316 (0.217)	-0.415 (0.098)	-0.335 (0.189)	-0.060 (0.821)
<i>pientalojen pa/asuinrak. pinta-ala</i>		0.064 (0.807)	0.170 (0.514)	-0.162 (0.516)	0.240 (0.354)	0.273 (0.289)	-0.682 (0.004)
<i>pientalojen pa./rakennuspinta- ala</i>		-0.012 (0.964)	0.129 (0.621)	-0.168 (0.518)	0.231 (0.372)	0.248 (0.338)	0.643 (0.005)
<i>teollisuusrakennusten pa./ /rakennuspinta- ala</i>		0.030 (0.910)	-0.336 (0.187)	0.326 (0.200)	0.163 (0.539)	0.139 (0.596)	0.280 (0.293)
<i>taajamarajan pituus</i>		-0.162 (0.548)	-0.300 (0.259)	0.279 (0.295)	-0.158 (0.559)	-0.054 (0.843)	-0.385 (0.141)

**Liite 11. Mallimuuttujien keskinäiset korrelaatiokertoimet.
Suluissa merkitsevyytaso (malli K2).**

	<i>liikenteen energian kulutus</i>	<i>ak. pinta-ala/asuinrak. pa.</i>	<i>ak pinta-ala/rakennuspinta-ala</i>	<i>halli.rak. pa./rak. pa.</i>	<i>piental. pa/asuinrak. pa.</i>	<i>piental. pa./rakennuspinta-ala</i>	<i>teoll.rak. pa./rakennuspinta-ala</i>	<i>taajamarajan pituus</i>	<i>as.koh. taajama-pa.</i>
<i>asukaskohtainen liikenteen energian kulutus</i>	1.000								
<i>ak. pinta-ala/asuinrakennusten pinta-ala</i>	-0.437 (0.080)	1.000							
<i>ak pinta-ala/rakennuspinta-ala</i>	-0.347 (0.172)	0.973 (0.000)	1.000						
<i>hallintorakennuspinta-ala</i>	0.306 (0.232)	0.471 (0.056)	0.500 (0.041)	1.000					
<i>pientalojen pa/asuinrak. pinta-ala</i>	0.435 (0.081)	-0.957 (0.000)	-0.953 (0.000)	-0.486 (0.048)	1.000				
<i>pientalojen pa./rakennuspinta-ala</i>	0.474 (0.054)	-0.964 (0.000)	-0.933 (0.000)	-0.471 (0.056)	0.990 (0.000)	1.000			
<i>teollisuusrakennusten pa./rakennuspinta-ala</i>	-0.702 (0.002)	0.302 (0.239)	0.128 (0.625)	-0.507 (0.038)	-0.216 (0.404)	-0.312 (0.222)	1.000		
<i>taajamarajan pituus</i>	-0.654 (0.006)	0.693 (0.003)	0.697 (0.003)	0.064 (0.814)	-0.682 (0.004)	-0.653 (0.006)	0.280 (0.293)	1.000	
<i>asukaskohtainen taajamapinta-ala</i>	0.616 (0.008)	-0.581 (0.014)	-0.568 (0.017)	-0.060 (0.821)	0.612 (0.009)	0.643 (0.005)	-0.400 (0.111)	-0.385 (0.141)	1.000
<i>autoa/1000 as.</i>		0.058 (0.826)	-0.044 (0.868)	0.419 (0.094)	0.064 (0.807)	-0.012 (0.964)	0.030 (0.910)	-0.162 (0.548)	0.151 (0.562)
<i>autoa/as.kunta</i>		-0.156 (0.550)	-0.178 (0.495)	0.506 (0.038)	0.170 (0.514)	0.129 (0.621)	-0.336 (0.187)	-0.300 (0.259)	0.046 (0.771)
<i>La Is/väkiluku</i>		0.164 (0.529)	0.166 (0.525)	-0.316 (0.217)	-0.169 (0.516)	-0.168 (0.518)	0.327 (0.200)	0.279 (0.295)	-0.198 (0.447)
<i>taajaman tietiheys</i>		-0.186 (0.476)	-0.165 (0.528)	-0.415 (0.098)	0.240 (0.354)	0.231 (0.372)	0.160 (0.539)	-0.158 (0.559)	-0.444 (0.074)
<i>työmatkojen keskipituus</i>		-0.251 (0.331)	-0.254 (0.327)	-0.335 (0.189)	0.273 (0.289)	0.248 (0.338)	0.139 (0.596)	-0.054 (0.843)	0.019 (0.944)

Liite 13. Kolmen tekijän selittävyys (R^2) mallissa K0. Selitettävä tekijä asukaskohtainen liikenteen energiankulutus.

selitettävä muuttuja GJ	0.13	0.13	0.13	0.20	0.06	0.22	0.20	0.29	0.29	0.16	0.20	0.15	0.13
T	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P/A	X			X									
P/KAIK			X		X								
AK/A		X				X							
AK/KAIK							X				X		
TR/KAIK								X	X	X			X
A/TA													
TAAJATIE					X							X	
TAAJARAJ				X		X	X	X			X		
A1000									X				
AASK	X	X	X										X
LALSVL										X		X	

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 56/1994 Mieliptide- ja asennetieto tiensuunnittelun laatujärjestelmässä; Tiedonhankintaopas tiensuunnittelijalle. TIEL 3200265
- 57/1994 Päällysteen kunnostusmenetelmien edullisuusvertailu. TIEL 3200266
- 58/1994 Nastojen vähentämisen vaikutus kunnossapitokustannuksiin. TIEL 3200267
- 59/1994 Tampereen itäisen ohikulkutien sosioekonomiset vaikutukset. TIEL 3200268
- 60/1994 Tieliikenteen ruuhkien vaikutukset ja ruuhkakustannukset pääkaupunkiseudulla. TIEL 3200269
- 61/1994 Taajamarakenne ja autoistumisen aika. TIEL 3200270
- 62/1994 Comprehension of variable Message Signs for Road Conditions. TIEL 3200271E
- 63/1994 Esiselvitys automaattisesta liukkauden havaitsemisesta liikenteessä. TIEL 3200272
- 64/1994 Nastarenkaiden vaikutus matkoihin ja kuljettajien riskinottoon. TIEL 3200273
- 65/1994 Automaattisten akselipainovaakojen mittaustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä. TIEL 3200274
- 66/1994 Teiden suolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. TIEL 3200275
- 67/1994 Maanvarainen tiepenger savikolla. TIEL 3200276
- 68/1994 DOR-menetelmän käyttö asfalttipäällysteiden tiiviiden määrityksessä. TIEL 3200277
- 69/1994 Nastattomia talvirenkaita käyttäneiden kuljettajien onnettomuusriskit. TIEL 3200278
- 70/1994 Talviliikenteen järjestelyjen painopisteet. TIEL 3200279
- 1/1995 Kunnossapitoysteistyön seurantakysely. Kuopion kehitysyksikkö
- 2/1995 Liikenne-ennustemallien alueellinen siirrettävyys, kirjallisuusselvitys. TIEL 3200280
- 3/1995 Kuormituskestävyyden tavoitekriteerit. TIEL 3200281
- 4/1995 Kiertoliittymien ennen-jälkeen-tutkimus; Katisen ja Katuman liittymät valtatiellä 10. TIEL 3200282
- 5/1995 Pehmeän bitumin kokeilut 1994. TIEL 3200283
- 6/1995 CEN-standardin ja TIE-menetelmän mukaisen muotoarvomäärityksen vertailu. TIEL 3200284
- 7/1995 Meluhaittojen korvauskäytännöstä tietoimituksissa. TIEL 3200285
- 8/1995 Tiekuljetusten telematiikka. TIEL 3200286
- 9/1995 Infrapuna- ja tutkavalaisimet. TIEL 3200287