

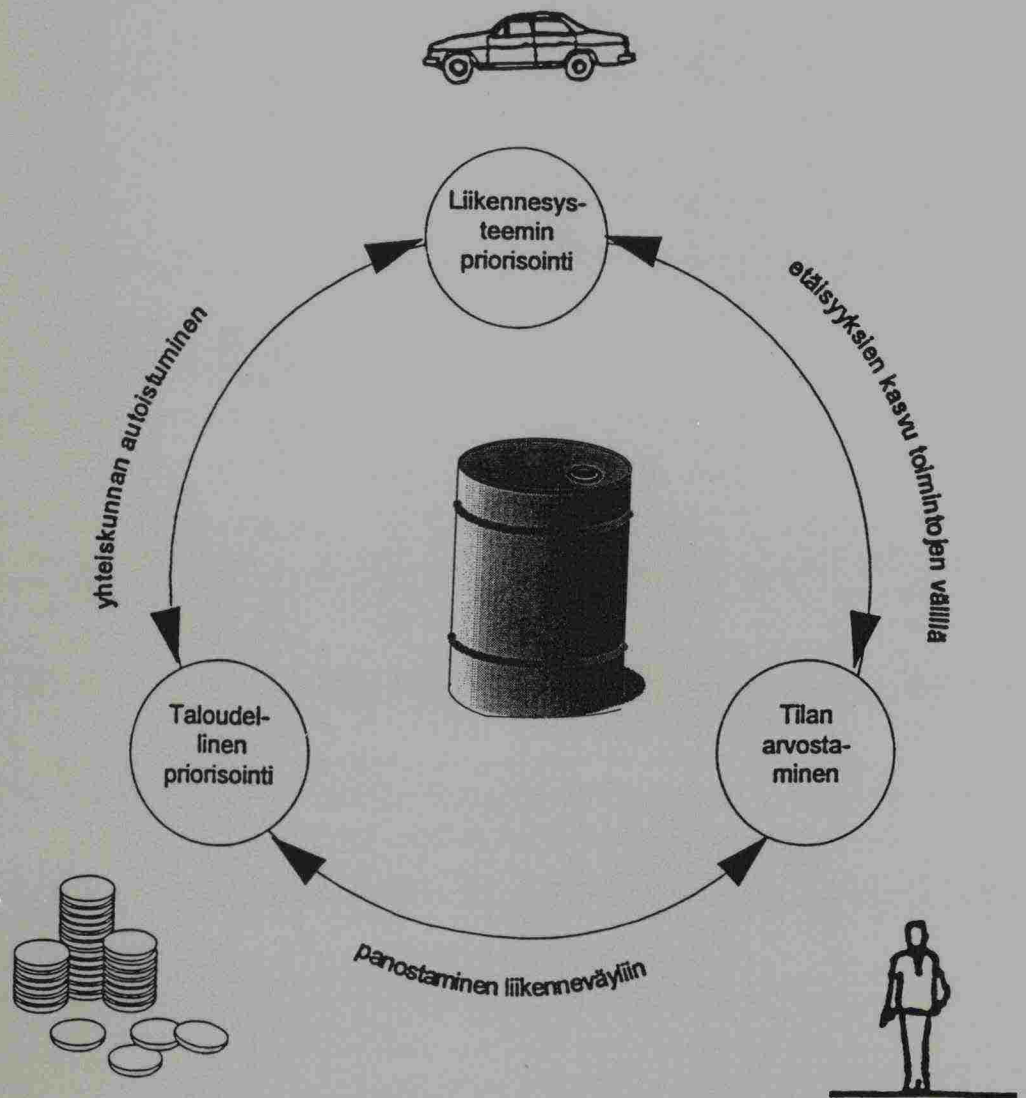


Tielaitos

Matti Matinheikki

S1 Tielaitoksen strateginen projekti

# Tieliikenteen energiankulutus ja kaupunkirakenne - yhteyksiä eri kokoluokan taajamissa



Tielaitoksen selvityksiä

14/1996

Helsinki 1996

Keskushallinto  
Tienpidon suunnittelu

Tielaitoksen selvityksiä  
14/1996

**Matti Matinheikki**

S1 Tielaitoksen strateginen projekti

**Tieliikenteen energiankulutus ja  
kaupunkirakenne – yhteyksiä eri  
kokoluokan taajamissa**

**Tielaitos**  
Keskushallinto, tienpidon suunnittelu

Helsinki 1996

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-195-0  
TIEL 3200383  
Oy Edita Ab  
Helsinki 1996

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

## TIIVISTELMÄ

Työn tarkoitus oli selvittää tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä. Pyrkimyksenä oli määrittää ne kaupunkirakenteelliset muuttujat, joiden lähempi tarkastelu olisi tärkeää verrattaessa eri tekijöiden vaikutusta tieliikenteen energiankulutukseen. Tämän lisäksi tavoitteena oli tuottaa tunnuslukuja, joilla voidaan kärkesti suosittaa määritellyn muuttujan "optimiarvo".

Tutkimuksen pääpaino oli koko kuntajoukon tarkastelussa kokonaisuutena. Tämän lisäksi tutkittavat kunnat jaettiin tarkastelussa kolmeen eri ryhmään. Tutkimusaineisto saatiin tielaitoksen ja Öljyalan keskusliiton kautta.

Työn perusteella väestömäärältään suurilla kunnilla näyttäisi olevan paremmat edellytykset matalampaan tieliikenteen energiankulutukseen. Maantieteellisen sijainnin vuoksi Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä ole havaittavissa eroja tieliikenteen energiankulutuksessa.

Tilastomatemattisen tarkastelun perusteella parhaiten yhteyttä kaupunkirakenteen ja energiakulutuksen välillä kuvasivat muuttujat: taajamarajan pituus asukasta kohden ja asukaskohtainen taajama-ala. Näiden lisäksi hyviä korrelaatioarvoja saatiin taajamaväestön määrän ja kunnan asukasmäärän osalta. Maankäytön tiheyttä kuvaavilla tekijöillä on aineiston perusteella hyvä yhteys tieliikenteen energiankulutustasoon. Tiiveyttä kuvaavien muuttujien arvon kasvaessa saavutetaan alhaisempi energiankulutustaso.

Taajaman rakennetyypeistä liikenteen energiankulutuksen kannalta edullisin oli säteittäinen rakennetyyppi. Sen energiakulutuskeskisarvo oli kahta muuta pistemäistä ja nauhamaista rakennetyyppiä pienempi.

Tuloksien mukaan maankäyttömuodoiltaan sekoittunut ja tiiviisti rakennettu sekä asukastiheydeltään korkea kaupunkirakenne on edullinen tieliikenteen energiankulutuksen suhteen.

## SAMMANDRAG

Arbetets syfte var att utreda sambanden mellan vägtrafikens energiförbrukning och stadsstrukturen. Man ville bestämma sådana variabler i stadsstrukturen som var relevanta vid studiet av olika faktorerers effekt på vägtrafikens energiförbrukning. Dessutom ville man skapa nyckeltal med vilka man ge en grov rekommendation för "optimalvärdet" på en definierad variabel.

I undersökningen granskades huvudsakligen kommungruppen som en helhet. Dessutom indelades de undersökta kommunerna i tre grupper. Underlagsmaterialet erhöles av vägverket och Oljebranschens centralförbund.

Resultaten visar att kommuner med många invånare tycks ha bättre förutsättningar för låg energiförbrukning i vägtrafiken. Man kan inte urskilja några skillnader i vägtrafikens energiförbrukning mellan kommuner i norra och södra Finland som skulle bero på det geografiska läget.

Enligt den statistiska behandlingen beskrevs sambandet mellan stadsstrukturen och energiförbrukningen bäst av följande variabler: tätortsgränsens längd per invånare och tätortsytan per invånare. Antalet invånare i tätorten och i kommunen korrelerade också starkt med vägtrafikens energiförbrukning. I materialet visar faktorer som beskriver markanvändningens täthet ett starkt samband med vägtrafikens energiförbrukning. Energiförbrukningen minskat med ökande värden på de variabler som beskriver tätheten.

Av tätortstyperna är den radiella strukturen gynnsammast med tanke på trafikens energiförbrukning. Dess medelenergiförbrukning var lägre än för de två andra, dvs. den punktformiga och bandstrukturen.

Resultaten visar att låg energiförbrukning i vägtrafiken gynnas av en stadsstrukturen där markanvändningen är varierad, som är tätbebyggd och har hög invånartäthet.

**Keywords** energy, citystructure

## **SUMMARY**

The purpose of the work was to find out the correlations between road traffic energy consumption and urban structure. The goal was to identify the parameters of urban structure that should be analyzed in more detail while determining the effects of different factors on energy consumption. A further goal was to create indicators which could be used in giving approximate recommendable "optimum values" for defined parameters.

The main focus was on an overall study of the whole group of municipalities. In addition to this, the municipalities were divided into three groups for analysis. The study material was obtained through FinnRA and Öljyalan keskusliitto (Central Union of Oil Companies).

The findings seem to indicate that municipalities with large populations are better able to reach a low level of road traffic energy consumption. No geographic differences in road traffic energy consumption were seen between northern and southern Finland.

The statistical analysis showed that the correlation between urban structure and energy consumption was best indicated by two parameters: length of the built-up area per inhabitant and built-up land area per inhabitant. Good correlations were also obtained for the number of inhabitants in the built-up area and the population of the municipality. Parameters representing the density of land use also appeared to correlate with road traffic energy consumption. As the values of the parameters representing density increase, the energy consumption level decreases.

The structure of built-up area most favourable for energy consumption was radial structure. It had a lower mean energy consumption than the other two types of structure: spot-like and chain-like.

According to the findings, a densely built urban structure with a mixed land use pattern and a high population density is advantageous from the viewpoint of energy consumption.

## ESIPUHE

Strategisessa projektissa S1 "Liikenne ja maankäyttö" on kaksi aiempaa raporttia käsitellyt liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen vuorovaikutusta. Tielaitoksen selvityksiä sarjassa on 9/94 julkaistu Petter Naessin raportti "Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne", jossa vuorovaikutusta on tarkasteltu ruotsalaisten ja norjalaisten kaupunkien tutkimusten pohjalta. Matti Matinheikin julkaisu selvityksiä sarjassa 10/95 "Tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä" tarkasteli Naessin menetelmää soveltaen tilannetta 20 suomalaisessa kaupungissa.

Matti Matinheikin ensimmäinen raportti oli esiselvitys. Tässä nyt julkaistavassa tutkimuksessa on kuntien lukumäärää lisätty ja asukasmäärän vaihtelua sekä maantieteellistä sijaintia laajennettu. Näin on parannettu tulosten luotettavuutta.

Työtä ovat tekijälle kommentoineet tekn.tri Harri Kallberg (Tieliikenteen tietokeskus) ja tekn.lis. Pekka Lahti. Tielaitoksen puolelta työtä on valvonut arkkitehti Ulla Priha. Raportin on saattanut julkaisukuntoon tstosiht. Tarja Järvinen (Tienpidon suunnittelu).

Helsingissä, maaliskuussa 1996

Tielaitos  
Tienpidon suunnittelu

Sisältö	8
1 JOHDANTO	11
1.1 Tutkimuksen tavoite	12
1.2 Määritelmiä	13
2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	14
2.1 Tutkimuksen rakenne	14
2.2 Tutkittavat kohteet	14
2.3 Tutkimusmenetelmät	24
2.3.1 Tilastomatemaattiset menetelmät	25
3 KAUPUNGIN HAJAANTUMISESTA TIIVEYTEEN - TAAJAMARAKENNE KEHITYKSEN AJOPUU	28
3.1 Taajamarakenteen kehitysportaat	28
3.2 Kaupunkirakenteen hajaantuminen	30
4 TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSESTA	33
4.1 Kulutukseen vaikuttavia tekijöitä	33
4.1.1 Kulutusarvojen laskeminen	36
4.2 Energiankulutus Suomessa	37
4.3 Kohdekaupunkien energiankulutus	39
4.4 Virhelähteet energiankulutustiedoissa	44
5 KAUPUNKIRAKENTEEN JA TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSEN YHTEYKSIÄ	46
5.1 Yleistä	46
5.2 Kaupunkien rakennetyypit	46
5.3 Kaupunkirakennetta kuvaavat muuttujat	49
5.3.1 Taajamaväestön määrä ja kunnan väkiluku	50
5.3.2 Tiiveydellä on yhteys	53
5.3.2.1 Asukaskohtainen taajama-ala	53
5.3.2.2 Taajamarajanpituus asukasta kohden	55
5.3.2.3 Rakennusten kerrosala taajama-alaa kohden	57
5.3.3 Tiiviin kaupunkirakenteen etuja	59
5.3.4 Työssäkäyntimatkat ja autoistuminen	61
5.3.5 Asumismuodon vaikutus	66
5.4 Päätelmiä kaupunkirakenteen muuttujista	67
5.5 Monimuuttuja-analyysit	71



6	TOIMINTOJEN SJOITTUMINEN	76
6.1	Taustaa	76
6.2	Asuntojen ja työpaikkojen sijoittuminen kohdekunnissa	77
6.3	Maankäyttömuotojen sekoittuminen	79
7	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	85
8	KIRJALLISUUS	90
	KUVALUETTELO	91
	TAULUKKOLUETTELO	93
	LIITTEET	95



## 1 JOHDANTO

Suomalaisten kaupunkien sisäistä liikennettä dominoi auto. Jo matkapituuksilla 3-6 km matkoista tehdään valtaosa -n. 60 %- autolla. Harvaan asutussa maassa yksilön kannalta mieluinen asumisvaihtoehto on etäämmällä kaupungin keskustasta oleva omakotitalo, joka edellyttää korkealla tasolla olevaa henkilökohtaista liikkumismahdollisuutta. Tämä merkitsee yleensä auton omistusta. Tämä väljyyttä arvostava kulttuurinen suomalainen erityispiirre luo pohjaa kaupunkirakenteen hajaantumiselle.

Auto on osaltaan mahdollistanut toimintojen lähes "rajoituksettoman" sijoittumisen. Se on tuonut vapauden ihmiselle toimia ja valita asuinpaikkansa. Asutuksen laajetessa palvelut, kauppa ja muut toiminnot ovat keskittyneet ja maankäyttömuotoina eriytyneet toisistaan sekä siirtyneet vanhan kaupunkikeskustan ulkopuolelle jättäen osia keskustoista vajaakäyttöön. Uusi teollisuus, joka käsittää suureksi osaksi korkean teknologian ja palveluihin liittyvää toimintaa, on sijoittunut keskusta-alueen ulkopuolelle tai ympäröiviin pienempiin kaupunkiin. Toimintojen ja asumisen leviäminen ei ole kuitenkaan suotuisin vaihtoehto tieliikenteen energiankulutuksen kannalta. Työpaikkojen, asuntojen ja palveluiden leviäminen johtaa kasvavaan määrää matkustamista eri määräpaikkojen välillä /5/.

Kaupungin reunoilla laajenevan asutuksen ja siihen liittyvän infrastruktuurin, teiden, vesi- ja sähköjohtojen rakentaminen vaatii rahaa ja toisaalta pakottaa ihmiset yksityisauton käyttöön, koska julkisen liikenteen järjestäminen on yleensä vaikeaa kasvaneiden etäisyyksien vuoksi. Pitkät välimatkat asuinpaikan ja palvelujen sekä vapaa-ajan toimintojen välillä vähentävät kävellen ja pyörällä suoritettujen matkojen mielekkyyttä.

Kaupunkirakenteen ja liikenteen välisen vuorovaikutuksen tutkiminen on noussut myös Suomessa esille viimeisen kymmenen vuoden aikana. Osasy tähän on taajamaväestön ja -alan voimakas kasvu. Suomen "kaupungistuminenhan" on alkanut myöhään verrattuna muihin Pohjoismaihin. Voimakkain taajamaväestön kasvu on tapahtunut sotien ja erityisesti 60-luvun jälkeen. Vuoden 1990 loppuun mennessä maamme 874 taajamassa asui n. 80 % väestöstä, kun vastaava luku vuonna 1960 oli n. 56 %. Taajama-ala on samana aikana kasvanut n. 55 % ollen vuonna 1990 2,5 % koko maapinta-alasta. Suomen kaupungistuminen ilmenee myös lyhyellä aikavälillä (1985-1990) tarkastellessa kaupunkimaisia kuntia, joiden lukumäärä on kasvanut 59 kunnasta 68. Tilastokeskus määrittelee kaupunkimaiseksi kunniksi ne kunnat, joissa yli 90 % väestöstä asuu taajamissa ja joissa suurimman taajaman väkiluku on yli 15 000.

Osana kaupunkirakenteen merkityksen arvottamisesta voidaan tulkita Liikenneministeriön laatimaa toimenpide-ehdotusta vuodelta 1993. Ehdotuksen lähtökohtana on liikennejärjestelmien kehittäminen kestävä kehityksen suuntaan ja tavoitteena on *liikenteen vähentäminen*. Toimenpideohjelma perustuu

parlamentaarisen liikennekomitean suosituksiin, jotka sisälsivät keinoina mm. liikenteen kasvun hillinnän yhteiskunnallisesti hyväksyttävien rakenteellisten ja taloudellisten keinoin sekä joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen toimintaedellytysten parantamisen.

Nämä keinot liittyvät myös taajamarakenteen tiiveyteen. Yhdyskuntarakenteen eheyttäminen on yksi tärkeimmistä keinoista pyrittäessä kestäväan kehitykseen. Eräät kotimaiset ja kansainväliset tutkimukset viittaavat siihen, että eräs potentiaalinen mahdollisuus vähentää liikennetarvetta on pienentää etäisyyksiä eri toimintojen välillä, joka puolestaan on yksi perustekijä toimivalle joukkoliikenteelle ja toisaalta kevyelle liikenteelle niiden saamiseksi houkuttelevaksi kulkumuotovaihtoehdoksi.

Maankäytön suunnittelu ja taloudellinen ohjaus sekä joukkoliikenteen että kevyen liikenteen toimintaedellytysten parantaminen ovat pitkällä aikavälillä liikenteen energiankulutusta vähentäviä keinoja. Liikenneministeriön arvion mukaan n. 10 vuoden aikajaksolla näiden toimenpiteiden onnistuessa energiankulutuksen vähennys on luokkaa 5-15 %. Lyhyen aikavälin toimiin, jotka vähentävät liikenteen energiankulutusta sisältyy mm. taloudelliset ohjauskeinot, kuten polttoaineen hinta sekä mahdolliset ympäristöverot ja liikennetullit. Taloudellisen ohjauskeinojen toteuttamistavoista, tarpeellisuudesta ja vaikutuksista eivät eri intressiryhmät ole yhtämieltä. Keskipitkän aikavälin keinolla kuten ajoneuvotekniikan kehityksellä voidaan laskea henkilöautojen ominaiskulutusta liikenneministeriön (*ehdotus toimenpideohjelmaksi liikenteen ympäristöhaittojen vähentämiseksi*) mukaan n. 20 %.

## 1.1 Tutkimuksen tavoite

Tässä työssä keskitytään ym. pitkäaikavälin toimista maankäytön suunnittelun osa-alueelle. Tutkimuksessa selvitetään tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä eri kokoluokan kaupungeissa. Ts. mitkä kaupunkirakennetta kuvaavat tekijät korreloivat parhaiten liikenteen energiankulutustietojen kanssa? Tavoitteeksi tutkimuksessa on asetettu

- Määrittää ne kaupunkirakenteelliset muuttujat, joiden arvoja tulisi tarkastella lähemmin verrattaessa eri tekijöiden vaikutusta tieliikenteen energiankulutuksen kanssa.
- Selvittää eri kokoluokan taajamissa näiden kaupunkirakenteellisten muuttujien tärkeysjärjestystä ja niiden mahdollista vaihtelua.
- Tuottaa tunnuslukuja, joilla voidaan karkesti arvioida määritellyn muuttujan "optimiarvo".
- Verrata saatujen tuloksien pätevyyttä pienemmässä mittakaavassa.

## 1.2 Määritelmiä

Tutkimuksessa käytetään eräitä määritelmiä usein, joten selvityksen luettavuuden vuoksi ne on määritelty alla.

*Tieliikenteen energiankulutus* = Henkilö-, kuorma- ja linja-autojen kuluttama energiamäärä asukasta kohden vuodessa. Mukaan ei ole laskettu raideliikennettä. Yksikkö on GJ/as. vuodessa (tehollinen lämpöarvo).

*Kaupunkirakenteella* käsitetään tässä tutkimuksessa ne kaupunkia kuvaavat ominaisuudet ja muuttujat, jotka liittyvät asukasmääriin, asumis- ja maankäyttömuotoihin sekä taajama-alaan koskeviin tietoihin. Kaupunkirakennetta koskevat tiedot ovat pääosin kunta- ja taajamakohtaisia.

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

*Maankäytön tehokkuudella* tarkoitetaan tässä selvityksessä rakennutun ympäristön alueellista tiiveyttä.

*Primäärienergia* = luonnossa esiintyvät käyttämättömät energiavarat, kuten kemiallinen energia (mm. öljy, maakaasu ja puu), mekaaninen energia (vesimassat ja tuuli), aurinkoenergia, ydinenergia ja geotermisen energia.

*Taajama-aste* kuvaa taajamassa asuvien ihmisten osuutta koko kunnan väestöstä.

## 2 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

### 2.1 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus jakautuu lähestymistavaltaan kahteen eri tasoon

- a. tutkittavien kuntien taajamakohtaisten rakennetietojen vertailuun tieliikenteen energiankulutuksen kanssa ja
- b. tärkeimpien kaupunkirakenteellisten tekijöiden tarkasteluun tarkemmassa mittakaavassa yhdeksässä kunnassa.

Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan kokeellisten tunnuslukujen yhteyttä tieliikenteen energiankulutukseen. Tämän jälkeen tutkitaan lähemmin niitä muuttujia, jotka esiselvityksessä (Tielaitoksen selvityksiä 10/95) kuvasivat parhaiten yhteyttä energiankulutuksen kanssa.

### 2.2 Tutkittavat kohteet

Kuntakohtaisten tietojen vertailussa tutkittavaksi kohteeksi on valittu esiselvityksessä mukana olleiden lisäksi 15 kappaletta uusia kuntia. Tutkimuksen pääpaino on koko kuntajoukon tarkastelussa kokonaisuutena. Tämän lisäksi kunnat, joita on yhteensä 35 kpl jaettiin tarkastelussa kolmeen eri ryhmään.

- alle 20 000 asukkaan kunnat
- 20 000 - 50 000 asukkaan kunnat
- yli 50 000 asukkaan kunnat

Taulukko 1. Luettelo kuhunkin ryhmään kuuluvista kunnista.

kohderyhmät	kunnat	lukumäärä
I alle 20 000 as. kunnat	Mänttä, Toijala*, Oulainen, Virrat, Kalajoki, Nurmes, Hamina*, Kuhmo, Hanko*, Ylivieska, Pieksämäki, Orimattila, Heinola* ja Raahе	14
II 20 000 - 50 000 as. kunnat	Forssa*, Anjalankoski, Porvoo*, Valkeakoski*, Iisalmi*, Varkaus, Riihimäki*, Kerava*, Savonlinna*, Mikkeli*, Rovaniemi* ja Hämeenlinna*	12
III > 50 000 as. kunnat	Joensuu, Vaasa*, Kotka, Jyväskylä*, Kuopio*, Lahti*, Oulu, Turku* ja Tampere*	9

\* Esiselvityksessä mukana olleet kunnat kursivoitu ja merkitty (\*)

Kunnat on jaoteltu em. ryhmiin ylläolevan taulukon mukaisesti ja niiden sijainti näkyy kuvassa 1. Väkiluvun perusteella laadittu rajanveto ei ollut ehdoton, vaan kuntien sijoittamisessa ryhmiin otettiin huomioon mm. väestö-

ennuste. Lisäksi huomioitiin mihin ryhmään kunnan elinkeinokautuma ja kaupunkiympäristö sopi parhaiten.

Kun esiselvityksessä mukana olleet kunnat sijaitsivat pääosin Etelä-Suomessa ja kuuluivat kahteen väkimäärältään suurimpaan ryhmään (vrt. tutkimusjaottelu), on jatkotutkimukseen valittu väkimäärältään pienimpään ryhmään kuuluvia kuntia. Osaksi riittävän läpileikkauksen saamiseksi väestömääriltään eri kokoisista kunnista ja toisaalta riittävän aineiston saamiseksi kuhunkin ryhmään.

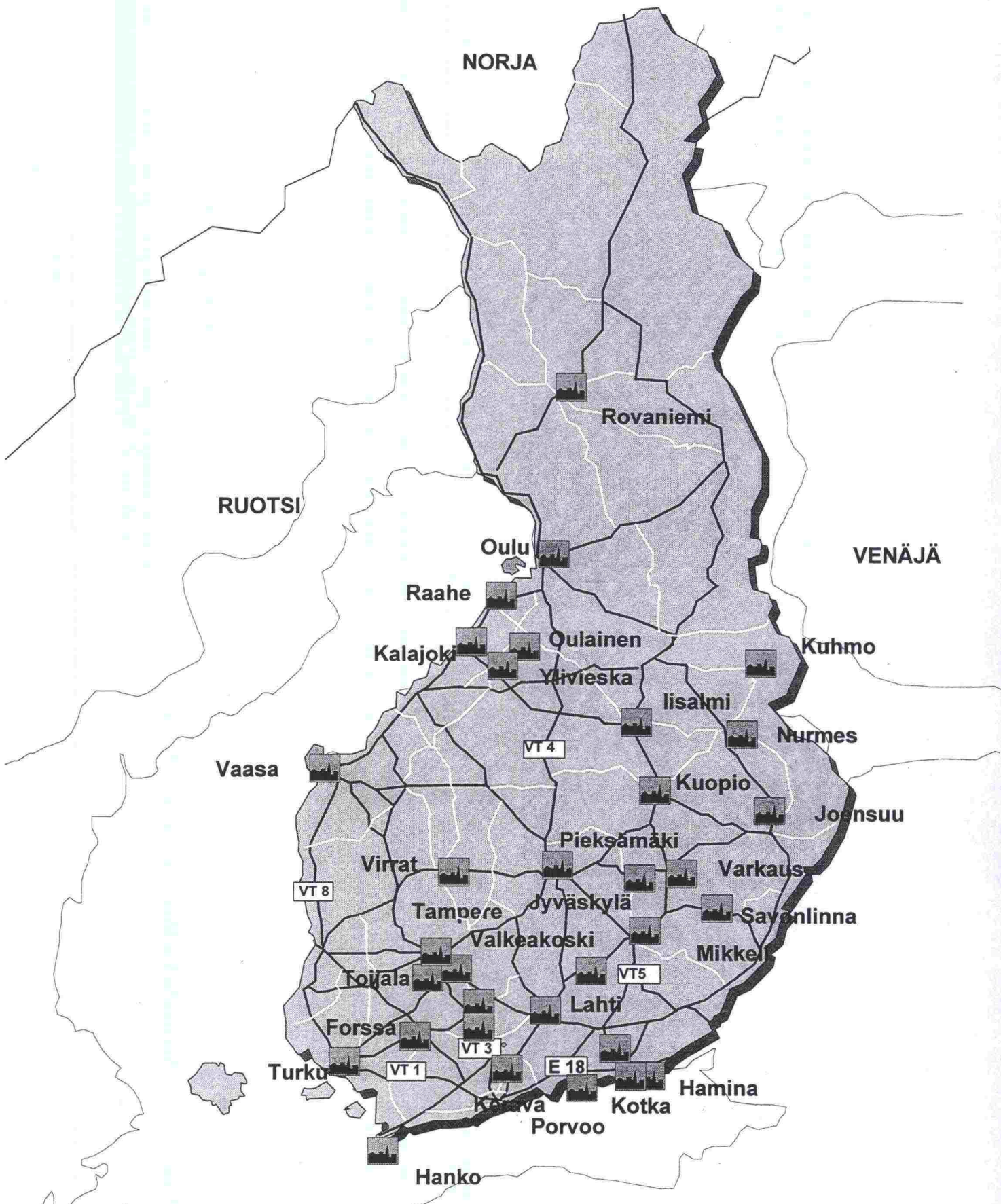
Kustakin kohderyhmästä on laskettu tunnuslukuja (mm. asukasluvun kehityksestä, asukastiheydestä, autoistumisesta ja maankäyttömuotojen sekoittumisesta) kuvaamaan kutakin viiteryhmää ja sen kaupunkirakenteellisia ominaisuuksia.

### **Pääkaupunkiseutu**

Pääkaupunkiseutua ei ole sisällytetty tutkittaviin alueisiin. Syynä on vertailutekniikka. Myydyt polttoainemäärät on laskettu kunnittain ja niitä on verrattu kunnittaisiin kaupunkirakennetietoihin. Pääkaupunkiseudulla (Helsinki, Espoo ja Vantaa) esim. työssäkäyntiliikenne naapurikunnassa on voimakasta. Työmatkaliikenteen ohessa tapahtuva polttoaineiden osto on siten todennäköisesti huomattavaa ja sen suuruuden vaihtelua on vaikea arvioida. Emme voi perustellusti olettaa tiettyä polttoainemäärää ostetuksi naapurikunnasta, vaan joudumme haarukoimaan arvoa esim. naapurikunnassa työssäkäyvien osuuksilla. Tämä johtaa helposti virhearviointeihin.

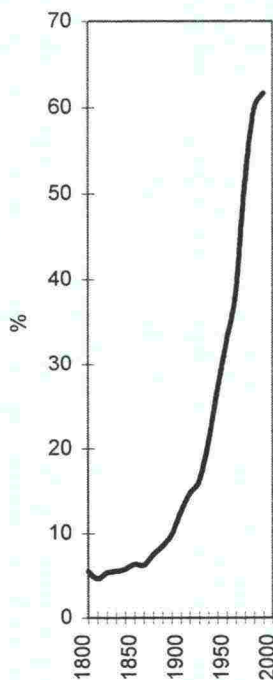
Toisaalta pääkaupunkiseudun mukaanottoa puoltaisi sen koko. Yleensä kansainväliset aiheeseen liittyvät tutkimukset on tehty "miljoonakaupungeissa". Pääkaupunkiseutua voitaisiin jatkossa hyväksikäyttää erillisessä tutkimuksessa, jossa selvitettäisiin tietyn laajemman seudullisen kaupunkialueyryppään tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä vuorovaikutuksia. Toinen vastaava alue olisi esim. Oulun seutu ympäristökuntineen.

Tarkemmassa analysoinnissa eri kaupunkirakennetta kuvaavien tekijöiden, maankäytön sekoittumisen ja liikenteen energiankulutuksen välistä yhteyttä on tutkittu yhdeksässä em. 35 kohdekunnasta. Tiedot on kerätty tarkastelualueena olleiden kuntien keskustaajamasta. Näistä on analysoitu tutkittujen muuttujien osalta tietoja 500 x 500 metrin ruuduissa. Ruutujen kokoa voidaan pitää kohtalaisen suurina. Yhteensä tutkittuja ruutuja oli 827. Näitä tietoja on käsitelty kappaleessa *6. toimintojen sijoittuminen*.



Kuva 1. Tutkittavien kuntien sijainti.





Kuva 2. Kaupungeissa asuvien ihmisten osuus koko väestöstä.

### Väestön kehitys

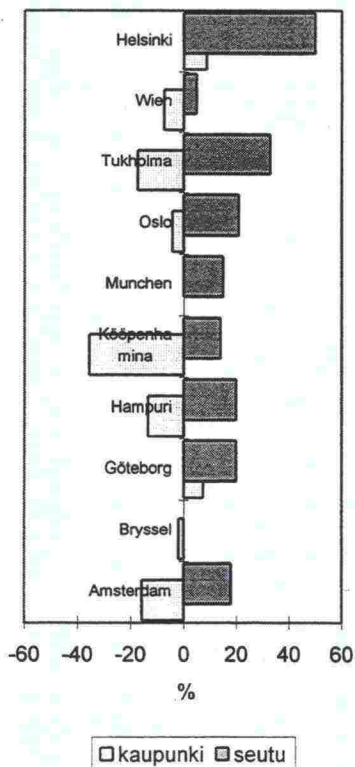
Väestön kehityksen mukaan kohderyhmät eroavat selvästi toisistaan. Väestön kasvun päätekijöinä on ollut kuntien välisen muuttoliikkeen lisäksi kuntien sisäinen muuttoliike haja-asutusalueilta taajamiin ja pienistä taajamista suurempiin. Suomessa kaupungistuminen on alkanut myöhään verrattuna muihin Euroopan maihin. Kaupungistuminen on ollut nopeinta 60- ja 70-luvuilla. Vuonna 1990 79,7 % väestöstä asui taajamissa, kun 1960 luvulla vastaava luku oli vain 55,9 %.

Ryhmässä I, alle 20 000 asukkaan kunnissa, väestön kasvu on ollut tarkasteluajanjaksona prosentuaalisesti pienintä. Kohderyhmän väestön kasvu oli keskimäärin 37 % vuosien 1960 ja 1990 välillä. Esimerkkikunnassa, Oulaisessa, väkiluku on jopa hieman laskenut viimeisinä vuosina. Väestön kasvu on ollut koko tarkasteluajan (1900-1990) suhteellisen hidasta ja kasvun lakipiste on saavutettu. Väestöennusteen mukaan (v. 2000) keskimääräinen väkiluku ko. kunnissa alkaa tulevaisuudessa laskea.

Ryhmässä II, 20 000-50 000 asukkaan kunnissa, keskimääräinen väestönkasvu on ollut nopeampaa. Vuosien 1960 ja 1990 välillä kohderyhmän kuntien väestömäärä on kasvanut keskiarvona hieman yli 60 %. Poikkeuksena esimerkkikunta, Iisalmi, jonka väestömäärä on tarkasteltavalla aikavälillä kasvanut muita kuntia huomattavasti voimakkaammin.

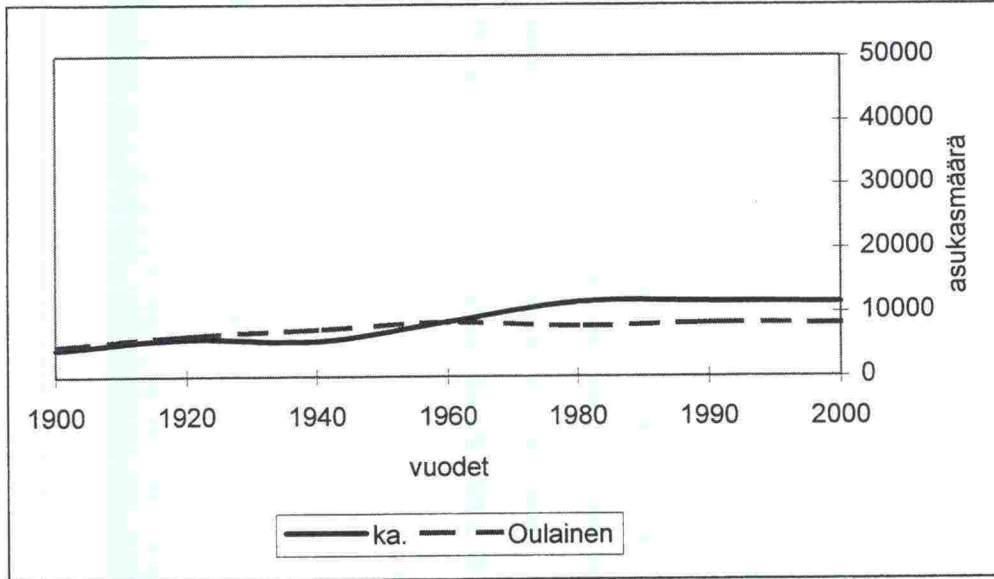
Ryhmässä III, yli 50 000 asukkaan kunnissa, väestön kasvuvauhti oli 1960-1990 välisenä aikana keskimäärin 42 % ja esimerkkikunnassa, Oulussa, 74 %. Kohderyhmän kunnissa voimakkain väestön kasvun aika oli 1940-1980 välisenä aikana, jolloin väestö kasvoi yli 2,5 kertaiseksi. Väestöennusteen mukaan kasvu on kuitenkin pysähtynyt tai pysähtymässä. Keskimääräisten väkilukuarvojen kehitystä tarkastellessa tulee huomioda, että kaikista kunnista ei ollut väkilukutietoja koko tarkasteluajan pituudelta.

Verrattaessa ko. kaupunkien väestön kasvua Eurooppalaisiin kaupunkeihin on havaittavissa yhteisiä piirteitä. Pohjois-eurooppalaisten ja esim. englantilaisien suurten kaupunkien väestön kasvu on pysähtynyt. Ihmiset ovat siirtyneet liikenneyhteyksien parantuessa suurten kaupunkien reuna-alueille tai naapurikuntiin. Tästä antaa viitteitä mm. ympäristöministeriön teettämä selvitys *Kymmenen eurooppalaista kaupunkia, liikennejärjestelmien kuvaukset*. Kahdeksassa kaupungissa kymmenestä väkimäärä oli laskenut 0-36 %. Samalla kuitenkin ko. kaupunkien lähiympäristön väkiluku oli kasvanut merkittävästi. Poikkeuksena olivat pohjoismaiset suurkaupungit Helsinki ja Göteborg, joissa kaupunkiväestö oli kasvanut 8-10 %. Tarkasteluajanjakso oli 1960-1988. T. Halme on todennut eräissä suurimmista suomalaisissa kaupungeissa (Oulussa, Lahdessa, Kuopiossa ja Jyväskylässä) vastaavan ilmiön. Keskusta-alueiden asukasmäärä on vähentynyt, lähiövyöhyke on kehittynyt ja kaupunkirakenne on hajaantunut ympäröiviin kuntiin.

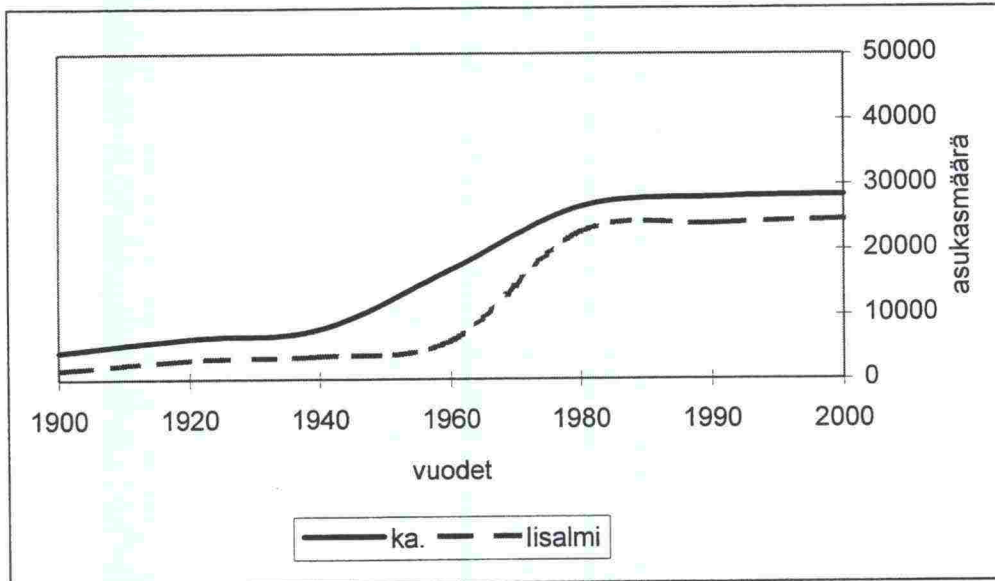


Kuva 3. Eräiden eurooppalaisten kaupunkien ja kaupunkiseutujen väestömäärien kehitys vv. 1960-1988.

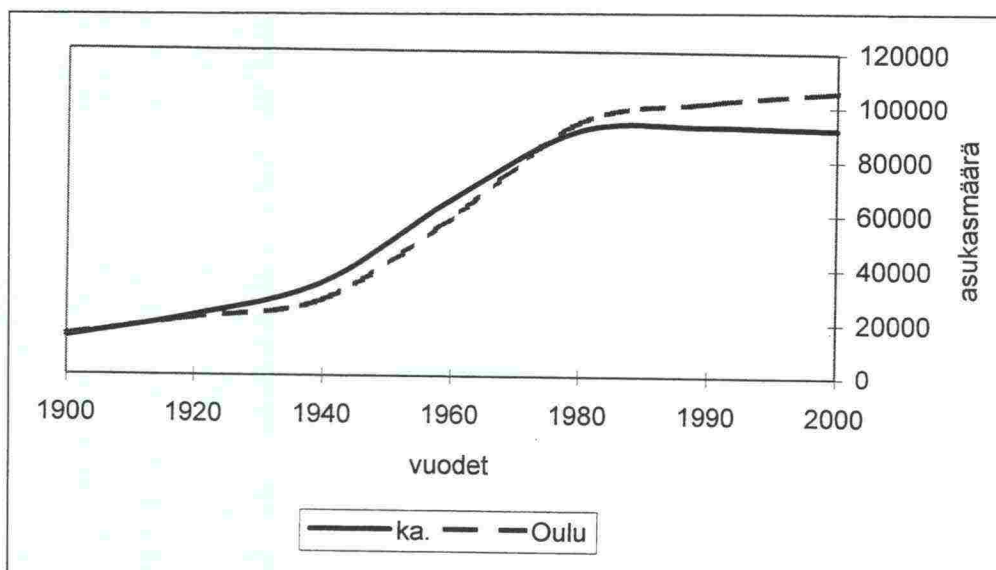
Tässä selvityksessä mukana olevista kunnista vain Tamperetta ja Turkuja ja Oulua voidaan vertailla väestömääränsä perusteella yllämainittuihin kaupunkeihin. Turussa ja Tampereella samalla tarkastelu ajanjaksolla (1960-1988) väestö oli kasvanut 35 ja 29 %.



Kuva 4. Alle 20 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=15). Esimerkkikuntana kuvassa on Oulainen.



Kuva 5. 20 000 - 50 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=12). Esimerkkikuntana kuvassa on Iisalmi.

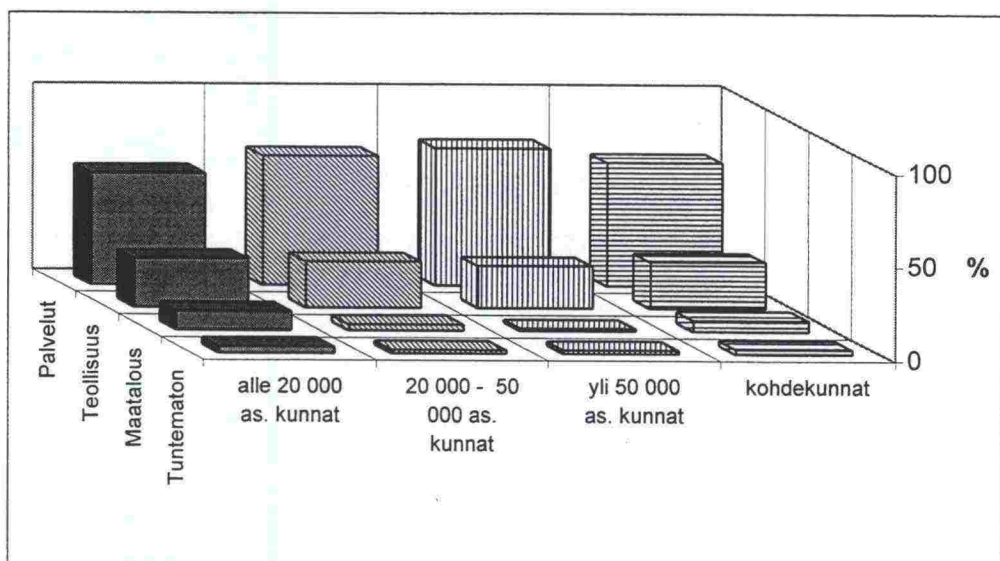


Kuva 6. Yli 50 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=9). Esimerkkikuntana kuvassa on Oulu.

### Elinkeinot

Samanaikaisesti kun väestö on siirtynyt enenevässä määrin haja-asutusalueilta kaupunkiin, on tapahtunut muutos myös ihmisten elinkeinajakautumassa. Voimakkaimmin on laskenut maatalouden (maa- ja metsätalouden) osuus työllisestä työvoimasta. Vuonna 1900 maataloudesta toimeentulonsa saavien osuus oli n. 68 % ja 90 vuotta myöhemmin 8,4 %. Palveluelinkeinon osuus on kasvanut lähes vastaavassa suhteessa.

Kohdekunnista maa- ja metsätalouden osuus työllisestä työvoimasta on merkittävä vain eräissä pienimmissä pohjois-suomalaisissa alle 20 000 asukkaan kunnissa. Muissa tämän selvityksen kuntaryhmissä maatalouden osuus on erittäin vähäinen ollen luokkien luokkaa 1-4 %.

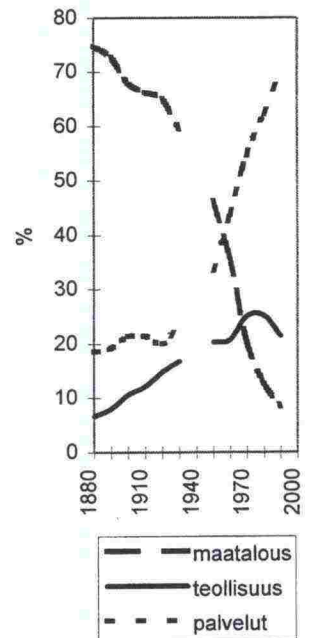


Kuva 7. Elinkeinojen osuus työllisestä työvoimasta vuonna 1990. Keskiarvot on laskettu kunnittaisista prosentiosuuksista.

Muutokset eri elinkeinojen välillä ovat pitkällä aikajänteellä olleet suuret. Teollisuudesta elinkeinonsa saavien ihmisten osuus on saavuttanut huippunsa viimeisen kymmenen vuoden aikana ja on alkanut vähetä (vrt. kuva 8). Sama muutos on havaittavissa tutkittujen kuntien osalta. Rahoituksen ja vakuutuksen sekä kaupan parissa toimivien ihmisten lukumäärä on lisääntynyt voimakkaasti.

Taulukko 2. Prosentuaaliset muutokset aikavälillä 1980-1990 eräiden elinkeinojen välillä. Muutosprosentti on laskettu ko. kuntaryhmien yhteenlasketuista elinkeinojen henkilömääristä.

kohdekunta ryhmät	elinkeinot			
	maa- ja metsätalous	teollisuus	kauppa ja majoitus	yhteiskunnalliset palvelut
I	-23,4	-13,4	4,3	6,3
II	-31,6	-16,2	12,1	-2,7
III	-12,6	-26,5	3,5	4,5
koko maa	-29,2	-13,1	18,4	14,6

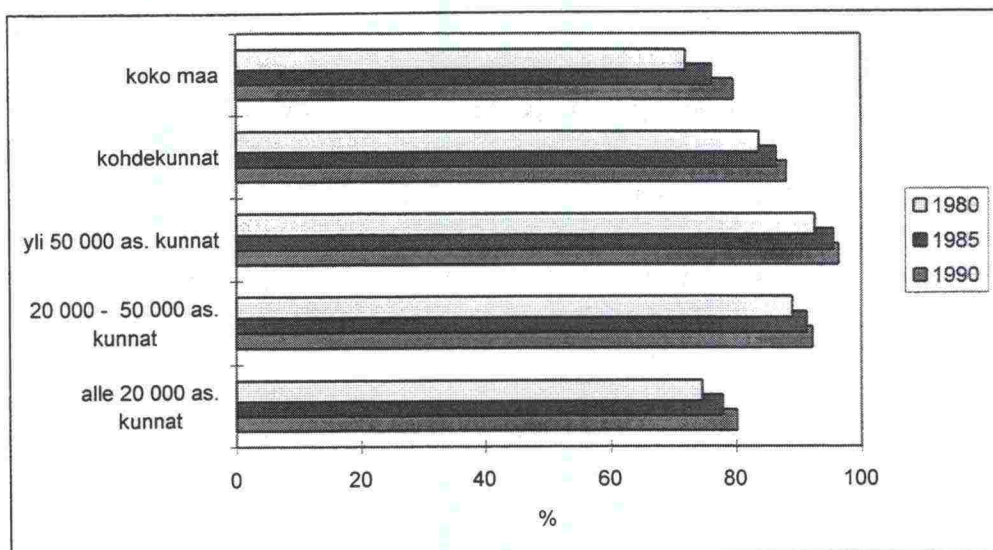


Kuva 8. Ammateissa toimivien ihmisten osuus elinkeinoittain.

### Taajama-aste

Taajama-asteen suurin kasvu on tapahtunut 60- ja 70-luvuilla maaltamuuton seurauksena. Tutkittavien kuntien taajama-aste on kohonnut 1980-1990 välisenä aikana 5 %. Kohderyhmistä suurin keskimääräinen taajama-aste (96,3 %) on luonnollisesti yli 50 000 ja pienin (80,1 %) alle 20 000 asukkaan kunnissa. Taajama-alan osuus koko maapinta-alasta oli pienin ryhmässä I ja suurin ryhmässä III.

Siirtyminen kooltaan ja tiheydeltään suurempiin asutusyksiköihin mahdollistaa mm. taloudellisempien huolto- ja liikennejärjestelmien hyväksikäytön verrattuna hajanaiseen ja harvaanasuttuun taajamaan. Väestön keskittyminen on tältä kannalta katsottuna positiivinen ilmiö.



Kuva 9. Taajama-asteen kehitys vv. 1980-1990 tutkituissa kunnissa.

## Pinta-ala ja asukastiheys

Tutkittavista kunnista ryhmä I, alle 20 000 asukkaan kunnat, ovat maapinta-alaltaan selvästi suurimpia (keskiarvo 758 km<sup>2</sup>, n=14). Näissä kunnissa on myös pienin keskimääräinen asukastiheys. Asukastiheydeltään pienimmän (Hanko 540 as./km<sup>2</sup>) ja suurimman (Kuhmo 3 as./km<sup>2</sup>) kunnan asukastiheyden ero on tässä ryhmässä suuri verrattuna kahteen muuhun ryhmään. Kunnissa, joiden asukasluku on välillä 20 000-50 000, keskimääräinen asukastiheys on 308 as./km<sup>2</sup>. Vastaavasti yli 50 000 asukkaan kunnissa asukastiheys on 432 as./km<sup>2</sup>.

## Autoistumisen taso

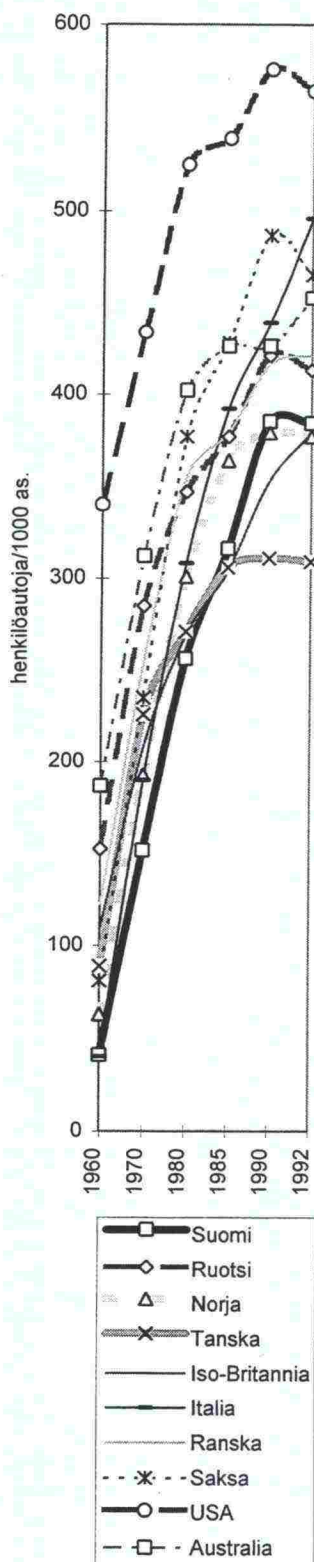
Suomessa henkilöautojen tiheys 1000 asukasta kohden vuonna 1990 oli 385 kpl ja autotiheys 444 kpl/1000 asukasta kohden. Autoistuminen on tapahtunut Suomessa voimakkaimmin 60-luvulla. Autoistumisen taso on Euroopan maiden keskitasoa ja pohjoismaittain tarkasteltuna Suomi on samassa luokassa Norjan kanssa. Vaikka kasvuvauhti on hidastunut, autoistuminen on kohonnut viime vuosiin saakka. Vuosien -91 ja 92 välillä kaikissa pohjoismaissa henkilöautojen määrä 1000 asukasta kohden on ollut pysähtymässä. Todennäköisesti kyse on kuitenkin häiriötekijän (lama) aiheuttamasta tilapäisestä tilanteesta ja autoistumisen nousu jatkuu joskin hidastuen.

Selvityksen aineiston kaupunkikohtaiset automäärätiedot perustuvat autonomistajien lukumäärään. Lähtötiedot antavat tältä osin vääristynyttä tietoa, koska auton omistavalla henkilöllä voi olla useampia autoja. Arvioni mukaan autonomistajien ja automäärien lukumäärän välillä on n. 20 % ero. Tästä erosta huolimatta olen käyttänyt autoistumistason eroa kuvaavien muuttujien laskennassa nimenomaan autonomistavien henkilöiden lkm. Tämä tulee huomioida tarkastellessa ko. arvoja. Autonomistajien mukaan laskettuna automäärä tuhatta asukasta kohden oli ryhmässä I 267\* ryhmässä II 295\* ja III 291\*

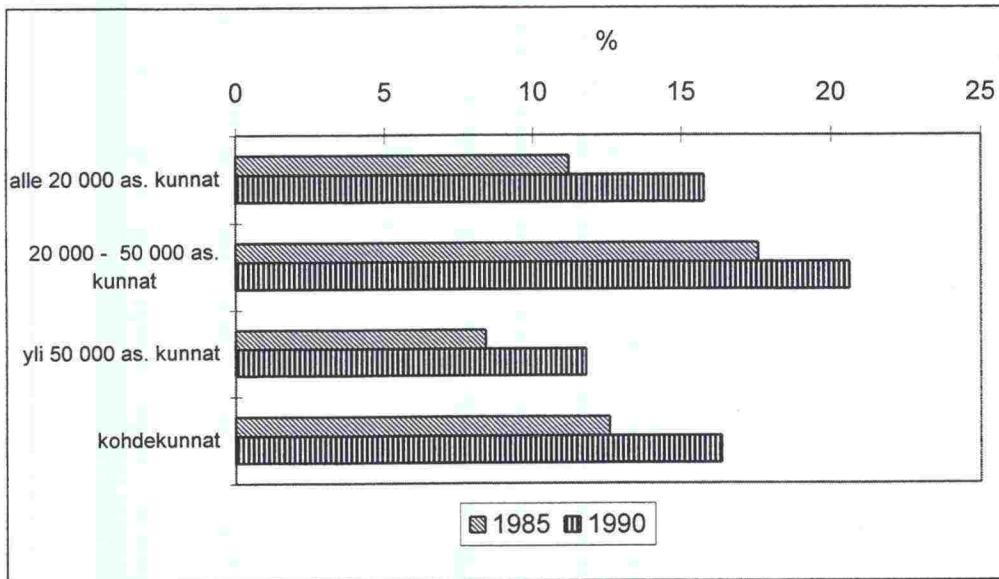
## Työssäkäynnistä

Työssäkäynti muiden kuntien alueella oli suurinta 20 000-50 000 asukkaan kunnissa. Vastoin odotuksia alle 20 000 asukkaan kunnissa tämä prosentiosuus oli pienempi. 20 000-50 000 asukkaan kunnissa korkea prosentiosuuden suuruuteen vaikuttaa osan ko. kuntien sijainti väestömäärältään suuremman kaupungin läheisyydessä.

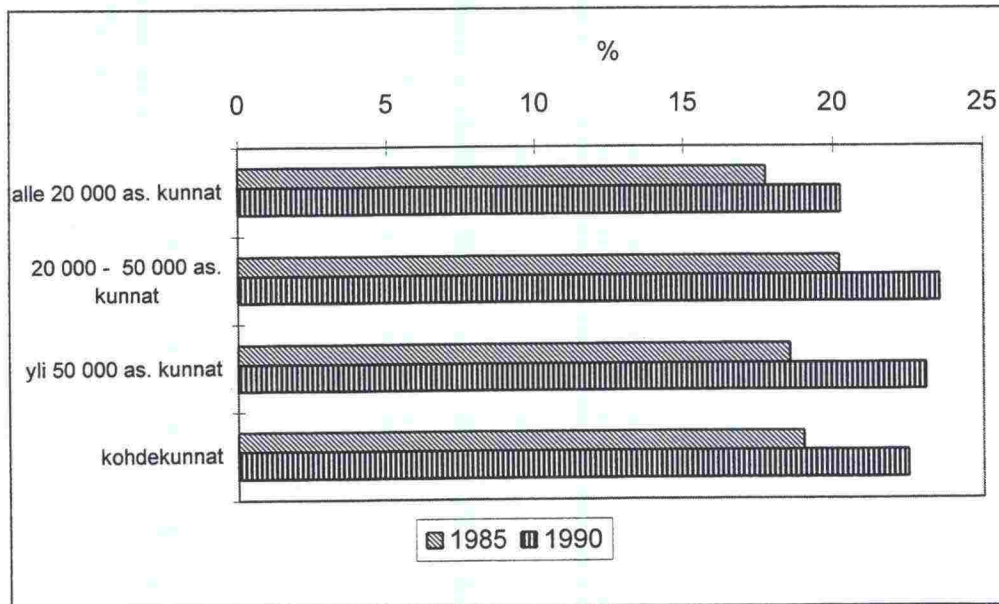
Muiden kuntien alueella tapahtuva työssäkäynti ei luonnollisestikaan riipu taajaman koosta, vaan ensisijaisesti sijainnista suurempaan työllistävään kaupunkiin nähden.



Kuva 10. Autoistumisen kehitys eri maissa



Kuva 11. Ulkopaikkakunnalla työssä käyvien %-osuus kunnassa asuvista työllisistä ihmisistä.



Kuva 12. Ulkopaikkakuntalaisten prosentuaalinen osuus kunnassa työssäkäyvistä ihmisistä.

### Yhteenveto kohderyhmien eroista

- alle 20 000 asukkaan kunnat:
  - pinta-alaltaan laajoja ka. 758 km<sup>2</sup>
  - taajamapinta-alan %-osuus koko maapinta-alasta pieni
  - pienin taajama-aste ka. 80,1 %
  - matalin asukastiheys (ka. 107 as./km<sup>2</sup>)
  - automäärä asukasta kohden ka. 267 autoa/1000 as\*.
  - maatalouden osuus merkittävä työvoimasta ka. 10,1 %.
  - eivät yleensä sijaitse merkittävimpien tavarankuljetusreittien varrella
  - yleisilme: *"Pelto ja metsäkaupunki"*
- 20 000 - 50 000 asukkaan kunnat
  - maapinta-alan ka. 287 km<sup>2</sup>
  - taajama-aste korkea 92,2 %
  - taajamapinta-alan osuus koko maapinta-alasta n. 24 %
  - asukastiheys korkeahko ka. 308 as./km<sup>2</sup>
  - sijaitsevat merkittävien tavarankuljetusreittien varrella
  - maatalouden osuus työllisestä työvoimasta vähäinen ka. 4,1 %
  - yleisilme *"maakuntakeskus" tai "metroalueen alakeskus"*.
- yli 50 000 asukkaan kunnat
  - maapinta-alan ka. 293 km<sup>2</sup>
  - taajama-aste korkein ka. 96,3 %
  - taajamapinta-alan osuus koko maapinta-alasta suurin 32 %
  - asukastiheydeltään suurimpia ka. 431 as./km<sup>2</sup>
  - autoistuneimpia - 291 autoa/1000 asukasta kohden\*.
  - sijaitsevat tärkeiden henkilö- ja tavarankuljetusvirtojen läheisyydessä.
  - niiden alueella on merkittäviä rautatie-, linja-auto- tai lentokenttäterminaaleja sekä satamia
  - maatalouden osuus työvoimasta erittäin vähäinen.
  - yleisilme *"metroalue" ts. väestöpohjaltaan laajan alueen keskuskaupunki*

## 2.3 Tutkimusmenetelmät

Tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välistä vuorovaikutusta tutkittiin tilastomatematisin ja empiirisin menetelmin sekä kirjallisuusselvitysten avulla.

Tulosten ja aineiston ymmärtämisen vuoksi on välttämätöntä määrittää

- Mitä muuttujia on kerätty?
- Miten muuttujat on kuvattu alueen rajauksen perusteella?
- Missä mittakaavassa tutkimus suoritetaan?

### Muuttujat ja niiden rajaus

Muuttujia yhdessä niistä saatujen suhdelukujen kanssa verrataan tieliikenteen energiankulutustietoihin. Tarkasteltavat tiedot on kerätty tilastokeskuksen paikkatietorekisterin tietoihin pohjautuen ja ne on saatu tielaitoksen kautta. Eräisiin tietoihin liittyy epävarmuustekijöitä, jotka mainitaan niitä käytettäessä erikseen. Tämä tulee huomioida tulkittaessa tuloksia näiden muuttujien osalta. Petter Naessin tutkimuksissa vastaavasta aiheesta tutkittujen muuttujien määrä oli laajempi. Tässä tutkimuksessa syynä vähäisempään muuttujamäärään on mm. joukkoliikenteen tasoon liittyvien muuttujien rajaaminen pois tutkimuksesta.

### Tutkimusmittakaava

Selvitys tarkastelee kuntakohtaisia tietoja. Kunnan taajama-alueen muuttujia verrataan kunnan alueella myytyihin polttoainemääriin. Väkimäärältään suurissa kunnissa, joiden taajama-alue on haaroittunut ja levinnyt laajalle - jopa muiden kuntien alueelle - menetelmä aiheuttaa vaikeuksia. Näissä tapauksissa kaupunkirakenteeseen liittyvien muuttujien arvot on rajattu koskemaan vain ko. kuntaa. Lukumääräisesti ja sijainnillisesti jatkoselvityksen kohdevalikoima mahdollistaa paremmat lähtökohdat tulosten analysoinnille ja johtopäätösten perusteluille.

Yksityiskohtaisempaa tietoa taajamista analysoidaan yhdeksän kunnan osalta, joista taajama-alueen tietoja on kerätty 500 x 500 metrin ruuduissa. Kuntien lukumäärä on rajattu yhdeksään luokiteltavan aineiston suuren määrän vuoksi. Analysointitietoja verrataan vain näiden kuntien keskustaajamien osalta.

### Analyysimalleista

Aineistoa analysoitaessa kaupunkirakennetta ja tieliikenteen energiankulutusta on verrattu kolmella eri mallilla, jotka eroavat toisistaan taulukossa 3 merkityllä tavalla. Mallit ovat A, B ja C.



Tulosten tarkastelun pääpaino on tutkimuksen osalta malleissa *A* ja *B*, joiden energiankulutustietoja ei ole korjattu. Malli *C* toimii täydentävänä mallina, jonka perusteella tarkastellaan esiselvityksen energiankulutusarvojen korjausten osuvuutta. Virheenarvioinnit on tehty samoin perustein molemmissa tutkimuksissa. Esiselvityksessähän analysoinnin pääpaino oli korjatussa mallissa (*K2*).

Syyt analysoinnin pääpainoon korjaamattomien mallien *A* ja *B* suhteen ovat seuraavat:

- kuntien lukumäärä ja sijainti mahdollistavat luotettavamman analyysin.
- virheanalyysin poistuminen eliminoi tutkijan oman subjektiivisen vaikutuksen tuloksiin.

Taulukko 3. Analysointimallien kuvaus.

Malli	kuntien lkm	polttoainetietoja korjattu	Poissa olevat kunnat
<i>A</i> *	35	EI	-
<i>B</i> *	33	EI	Forssa ja Virrat
<i>C</i>	33	KYLLÄ	Forssa ja Virrat

\* *Analysoinnin pääpaino polttoaineen kulutukseltaan korjaamattomissa malleissa (A ja B).*

### 2.3.1 Tilastomatemattiset menetelmät

Tarkasteltaessa kahden tai useamman muuttujan välistä riippuvuutta on tutkimuksessa käytetty korrelaatio- ja regressioanalyysiä. Alla olevissa kappaleissa on selitetty lyhyesti kummankin analyysitavan peruskäsitteitä, jotta tulosten tarkastelu olisi vaivattomampaa.

#### Korrelaatioanalyysi

Korrelaatiokerroin mittaa kahden muuttujan, *x*:n ja *y*:n, välistä lineaarista eli viivallista riippuvuutta. Korrelaatioita esiintyy muuttujien välillä aiheutuen kolmesta lajista riippuvuussuhteita.

- syy ja seuraus (esim. työtuntien määrä ja tuotos)
- variaatiolla on yhteinen syy (esim. uimapukujen myynti ja jäätelön myynti)
- keskinäinen syy (esim. palkkojen ja hintojen korrelaatio - molemmat vaikuttavat toisiinsa).

Korrelaation olemassaolo ei ole todistuksena siitä, että muuttujien, *x* ja *y*, välillä olisi kausaalinen syy-yhteys. Ts. korrelaatioanalyysillä ei voida todistaa

kausaliiteettisuhteen (syy ja seuraus) olemassaoloa, mutta se voi antaa viitteitä tästä.

Tässä työssä voidaan olettaa pääosalla kaupunkirakenteen ja tieliikenteen energiankulutuksen välillä vaikuttavan syy-seurausyhteyden. Perusteena ovat esim. taajama-alaan liittyvien muuttujien osalta kansainväliset tutkimukset, jotka ovat todenneet laajenneen kaupunkirakenteen lisäävän liikennesuoritteita.

Korrelaatioanalyysi antaa suhteellisia arvoja. Korrelaatiokerroin,  $R$ , voi saada arvoja  $-1$  ja  $+1$ :n välillä. Jos  $R$  saa arvon  $\pm 1$ , vallitsee täydellinen lineaarinen riippuvuus muuttujien välillä. Korrelaatiodiagramman havaintopisteiden ollessa nousevassa asennossa korrelaatio on positiivinen ja vastaavasti havaintopisteiden ollessa laskevassa asennossa negatiivinen. Korrelaatiokertoimen neliö  $R^2$  ilmaisee kuinka suuren osan  $x$  selittää  $y$ :n varianssista.

### Regressioanalyysi

Regressioanalyysissä muodostetaan matemaattinen malli kuvaamaan selittävän eli riippumattoman muuttujan ja selitettävien muuttujien välistä riippuvuutta.

Regressioanalyysi jaetaan lineaariseen ja käyräviivaiseen regressioon. Tässä työssä regressioanalyysi oletetaan lineaariseksi. Lineaarisen mallin valitsemista puolsi seuraava näkökohta. Aikaisemmin liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välistä yhteyttä ansiokkaasti tutkineet Kenworthy, J ja Newman, P (1987) ovat esittäneet kuvion asukastiheyden ja energiankulutuksen vuorovaikutuksesta. Tähän kuvioon piirretty yhteyttä kuvaava suora on eurooppalaisten ja pohjois-amerikkalaisten kaupunkien osalta lähes lineaarinen. Sisällyttämällä mukaan aasialaisia kaupunkeja (2 kpl) heidän esittämänsä käyrä on kuitenkin loppuosaltaan käyräviivainen. Esitutkimuksessa (Tiel 10/1995) todettiin suomalaisten kaupunkien vastaava energiankulutustasoltaan muita pohjoismaisia sekä esim. australialaisia kaupunkeja. Suomalaisten kaupunkien sijainti ko. viivalla on kokonaisuudessaan sillä osalla, jossa viiva on lineaarinen.

Lineaarinen regressio on muotoa  $y_x = \alpha + \beta x$ , jossa  $\alpha$  vastaa suoran ja  $y$ -akselin leikkauspistettä ja  $\beta$  taas suoran kulmakerrointa. Regressioanalyysissä nimitetään  $\beta$ :tä regressiokertoimeksi (regression coefficient). Yhden selittävän muuttujan tapauksessa regressioanalyysin anti on riippuvan muuttujan arvon ennustamisessa.

Sen sijaan regressioanalyysi on hyödyllinen apuväline muuttujien välisten riippuvuuksien teoreettisessa analysoinnissa, kun tutkimme riippuvan muuttujan riippuvuutta kahdesta tai useammasta muuttujasta. Selitettävien muuttujien määrällä ei periaatteessa ole ylärajaa, mutta tässä tutkimuksessa on ko. muuttujien määrä rajattu kolmeen.

Monimuuttuja-analyyseissä, joissa tutkitaan kuinka suuri merkitys kullakin yksittäisellä muuttujalla on useiden tekijöiden vaikuttaessa yhdessä selitettävään muuttujaan, on käytetty neljää menetelmää. Nämä menetelmät ovat

- *Forward*, e. eteenpäin valikoiva menetelmä. Tällöin valitaan parhaiten selittävä muuttuja korrelaatioiden perusteella. Jos korrelaatio alittaa CRITERIA PIN ( $p$ ) - alikäskyssä määritellyn merkitsevyysrajan, estimoidaan regressiosuora. Tämän jälkeen valitaan jälleen parhaiten korreloiva muuttuja malliin. Näin jatketaan kunnes malliin tuleva muuttuja ei enää alita merkitsevyysrajaa.
- *Backward*, e. takaapäin poistava menetelmä. Malli, jossa ovat kaikki selittävät tekijät. Mallissa testataan kaikkien regressiokertoimien tilastollinen merkitsevyys. Poistetaan mallista muuttuja, jonka kertoimen merkitsevyystaso on suurin ja ylittää CRITERIA POUT ( $p$ ) - alikäskyssä määritellyn merkitsevyysrajan. Tämän jälkeen estimoidaan malli loppuilla muuttujilla. Tätä jatketaan, kunnes kaikki regressiokertoimien merkitsevyystasot ylittävät annetun merkitsevyysrajan
- *Stepwise*, kuten forward-menetelmä, mutta tutkii jokaisella askeleella ovatko kaikki regressiokertoimet merkitseviä kuten Backward ja tekee vastaavat poistot.
- *Enter*, e. pakotettu menetelmä. Otetaan kaikki luetellut selittävät muuttujat malliin /1/.

### 3 KAUPUNGIN HAJAANTUMISESTA TIIVEYTEEN - TAAJAMARAKENNE KEHITYKSEN AJOPUU

#### 3.1 Taajamarakenteen kehitysportaat

Ihmisen kulkumuodot ja niiden kehittymiseen oleellisena osana liittyvä nopeuksien kasvu ovat muokanneet kaupunkien rakennetta. Jokaiseen kulkumuodon kehitysvaiheeseen on liittynyt tietyin osin asukastiheyden laskua ja yhdyskuntarakenteen hajaantumista verrattuna edelliseen vaiheeseen. Nämä eri kulkumuotojen vaikutuksille alttiina olleet kaupunkirakenteet tunnusomaisine piirteineen voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään:

- jalankulkukaupunki ( -1890)
- raidekaupunki (1890 - 1950)
- auto-/pyöräkaupunki (1950 - )

Näiden lisäksi neljäntenä vaiheena mainitaan informaatiokaupunkia (jälkiteollinen kaupunki) (1975 - ). Alla lyhyt luonnehdinta kustakin taajamarakenteen vaiheesta tunnusomaisine piirteineen.

*A. Jalankulkukaupunki.* Historiallinen kävelykaupunki muotoutui maaston, luonnonvarojen, kuljetustarpeen, yhteiskunnallisten olosuhteiden lisäksi jalankulkijan nopeuden mukaan. Ihmisen vaikutusalue rajautui piiriksi, josta ihminen aamulla lähdettyään ehti illaksi kotiin. Tällöin työ- ja asuinpaikkojen etäisyydet määräytyivät ennenkaikkea kulkumuodon nopeuden mukaan. Jalankulkukaupunki minimoi matkojen pituuden ja määrän. Kävelykaupungeissa määräpaikka saavutettiin puolessa tunnissa ja ne olivat harvoin yli viisi kilometria halkaisijaltaan. Suomessa esimerkkinä kävelykaupunkimaisesta keskustasta ruutukaavoineen voidaan mainita esim. Raahen puukaupunkikeskusta /2,3/.

Luonteenomaisia piirteitä kävelykaupungille on:

- korkea asukastiheys ja
- eri maankäyttömuotojen sekoittuminen
- luonnonolosuhteiden ja ympäristön voimakas vaikutus.

*B. Raidekaupunki.* Ensimmäinen muutos kaupunkikuvaan tapahtui teollisen vallankumouksen myötä tehtaiden tarvitessa lisää työväkeä. Kaupungit vetivät puoleensa väestöä huomattavasti laajemmalla alueella kuin vanhan kävelykaupungin vaikutusalueelta. Rautateiden kehittäminen mahdollisti teollistumisen perusedellytysten, tavara- ja ihmismäärien, kuljettamisen nopeasti ja turvallisesti. 1800-luvun loppupuolella kaupungit levisivät laajemmalle maahan ja raitiovaunujen salliessa nopeamman matkustamistavan. Rautatiet mahdollistivat alakeskusten, jotka itsessään olivat "kävelykaupunkeja", synty-

misen. Toiminnot keskittyivät kaupunkikeskukseen, jossa rautatielinjat koh-  
tasivat.

Luonteenomaista raidekaupungille on

- kävelykaupunkia matalampi asukastiheys
- maankäyttömuotojen sekoittuminen
- ruutukaava ja keskittyminen.

*C. Autokaupunki.* Maailmansotien jälkeen autosta tuli tekijä, joka on muo-  
vannut ja muovaa kaupunkirakennetta merkittävimmin. Auto on mahdollista-  
nut toimintojen lähes 'rajoituksettoman' sijoittamisen (esim. automarketit). Se  
on tuonut vapauden ihmiselle toimia ja valita asuinpaikkansa. Asutuksen laa-  
jetessa palvelut, kauppa ja muut toiminnot ovat keskittyneet ja maankäyttö-  
muotoina eriytyneet toisistaan sekä siirtyneet vanhan kaupunkikeskustan ul-  
kopuolelle jättäen osia keskustoista vajaakäyttöön. Uusi teollisuus, joka käsit-  
tää suureksi osaksi korkean teknologian ja palveluihin liittyvää toimintaa, si-  
joittuu keskusta-alueen ulkopuolelle tai ympäröiviin pienempiin kaupunki-  
hin. Tämä suuntaus on havaittu esim. Isossa-Britanniassa. Autoistumisen seu-  
rauksena 'autoliikenne vie yhä suuremman osan yhdyskuntarakenteen pinta-  
alasta /5, 13/.

Luonteenomaista autokaupungille on:

- alhainen asukastiheys
- maankäytön eriytyminen ja
- hajaantuminen.

Suomessa kaupunkien laajeneminen tapahtui aluksi keskustan lähialueille,  
mutta 1950-luvulta alkanut ja 1970-luvulle jatkunut maaltapako johti lähiöi-  
den rakentamiseen. Lähiöiden synty yhdessä autoistumisen tason nousun  
kanssa on muuttanut kaupungin sisäisen liikkumistarpeen perusteita.

Kaupunkirakenteessa tärkein muutos on näkynyt toimintojen ja väestön pai-  
nopisteen sijainnin muutoksena. Kaupunkien keskustat ovat menettäneet vä-  
estöä ja toisaalta vanhusväestön osuus keskustoissa on kasvanut. Keskustan  
merkitys asuma-alueena on vähentynyt, mutta niiden merkitys toimisto-, hal-  
linto- ja liike-elämän keskuksina on kasvanut /5/. Liikennemuotojen jakautu-  
ma on muuttunut osaltaan taajamarakenteen leviämisen seurauksena. Viimei-  
sien kolmen vuosikymmenen aikana on tapahtunut siirtymistä kevyen liiken-  
teen kulkumuodoista henkilöautojen hyväksi. Tästä osoituksena on mm. tu-  
lokset Oulun seudun liikennetutkimuksesta. Tutkimuksen mukaan kevyen lii-  
kenteen kulkumuoto-osuus on laskenut Oulussa 73,8 prosentista 44,7 pro-  
senttiin vuosien 1962 ja 1989 välillä. Samana tarkastelujaksona henkilöauton  
osuus on noussut 17,1 prosentista 48,2 prosenttiin.

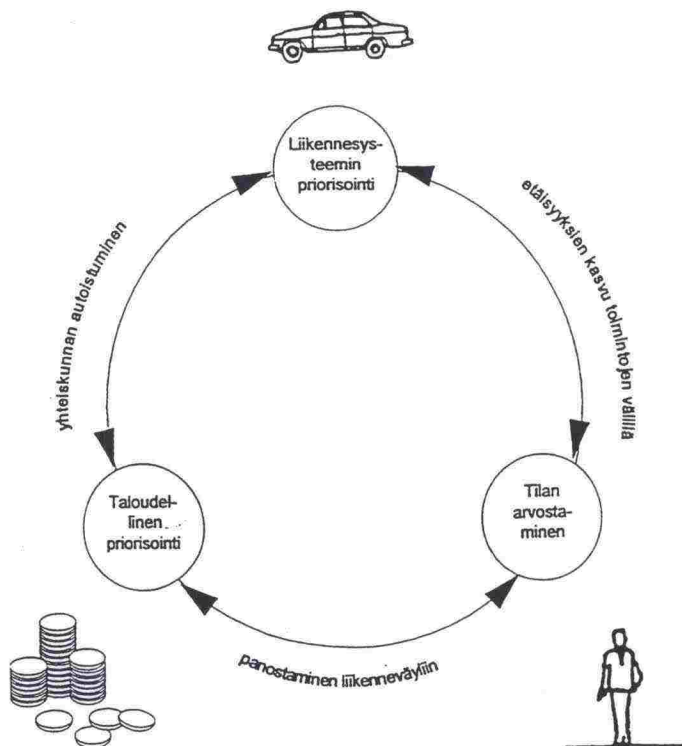
Kaupunkirakenteen hajaantumisen osin negatiivisiin seurauksiin on herätty 80- ja 90-luvun aikana. Kasvavien liikennemäärien aiheuttamiin haittavaikutuksiin kuten ympäristösaasteisiin, meluun sekä mm. liikenneonnettomuuksiin pyritään löytämään helpotuksia yhdyskuntarakenteen ja liikenteen vuorovaikutuksen paremmalla huomioimisella.

### 3.2 Kaupunkirakenteen hajaantuminen

#### Autoistuminen ja liikennemäärien kehitys

Auton korkea arvostus, priorisointi, liikennesysteemissä ei johda yksinomaan kasvaneeseen automäärään, mutta myös teiden ja mm. paikoitusalueiden suurempaan määrään. Samalla parempien tieyhteyksien ja tiestön kunnon paraneminen luovat osaltaan mahdollisuuden toimintojen, kuten asunnon ja työpaikan etääntymiseen toisistaan.

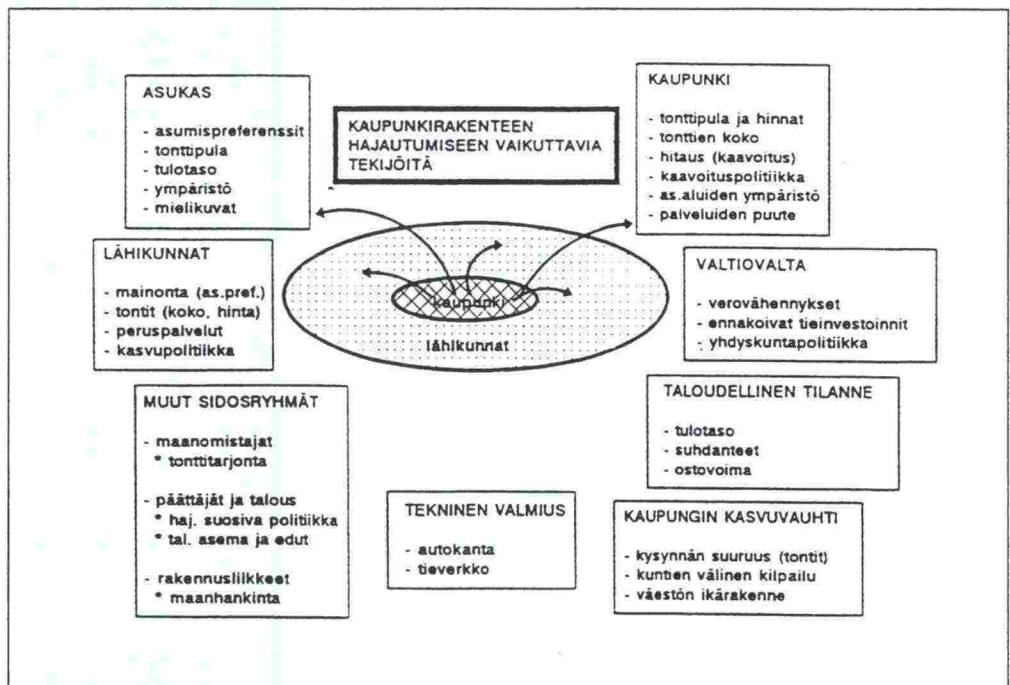
Tämän lisäksi asumisväljyyden, tilan, arvostus on osaltaan aiheuttanut - talouden niin salliessa - ihmisten muuttamista kauemmaksi työpaikasta ja ydinkeskustasta. Suomalaisena, australialaisena sekä amerikkalaisena piirteitä voidaan nimetä väljän omakotiasumisen suosimisen. Asumisympäristön rauhallisuus ja ympäristön puhtaus ovat monille asutokunnille tavoiteltavaan asumismuotoon liitettäviä ominaisuuksia ja nämä käsitteet yhdistetään usein juuri omakotitaloasumiseen kaupungin reuna- tai haja-asutusalueilla. Mm. tämän johdosta asuminen on levittäytynyt yhä etäämmäksi kaupungin ydinkeskustasta. Suurimmissa kaupungeissa asukkaita on muuttanut enenevässä määrin ympäröiviin kuntiin. Näin on tapahtunut Suomessa erityisesti suurien kaupunkiseutujen, kuten esim. Oulun tapauksessa.



Kuva 13. Yhdyskuntarakennetta muovaavien tekijöiden vuorovaikutus.

Nopeat, hyvät sekä korkeatasoiset liikenneyhteydet yhdessä autoistumisen korkean tason kanssa mahdollistavat asukkaiden siirtymisen ympäristökuntiin, vaikka työpaikka olisi edelleen keskuskunnassa. Teollisuuden, kaupan ja eri palvelujen kannalta em. liikenneväylien ominaisuudet ovat usein ensiarvoisia toimintojen taloudellisuuden kannalta. Liikenneväyliin panostaminen on siten talouselämän kannalta katsottuna toivottavaa ja valtion taloudellisen kehityksen kannalta toivottavaa /5/.

Kaupunkirakenteen hajoamiseen vaikuttavia tekijöitä on useita, joista autoistuminen ei ole vähäisin, muttei myöskään ainoa. Kaupunkien kasvuvauhti, valtiovallan toimet, tonttipula, asukkaiden asumismielitymukset, taloudellinen tilanne jne. ovat muita tekijöitä, jotka aiheuttavat kaupunkirakenteen hajoamista. Halme mainitsee työssään, *Kaupungin sisäinen rakenne*, ne tekijät jotka hän on näkee vaikuttavan kaupunkirakenteen hajoamiseen. Nämä tekijät on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Yhdyskuntarakenteen hajoamiseen vaikuttavat tekijät. (Timo Halmeen) /5/

Liikennemäärien kasvun myötä autosta on tullut tärkein liikkumaväline kaupunkien sisäisessä liikenteessä. 3-6 kilometrin pituisilla matkoilla autolla tehtyjen matkojen osuus on huomattava ollen n. 60 %. Jo matkapituuksilla 1-3 km auto on merkittävä kulkuväline. Djerfin (1989) mukaan valtaosa - n. 40 % - matkoista on lyhyitä, alle kilometrin matkoja. Yli kymmenen kilometrin mittaisia matkoja on n. 12 % ja yli 100 km matkoja runsas prosentti. Tutkituissa kohdekunnissa työssäkäyvien kuntalaisten työmatkapituudet ovat jakautumaltaan samantyyppisiä. Täten kulkumuodon valinta vaikuttaa oleellisesti liikkumisen energiankulutukseen.

Yleisillä teillä liikennesuoritteet ovat kasvaneet viimeisen 13 vuoden (1980-93) aikana +49,6 %, vaikka vuodesta 1990 alkaen liikennesuoritteiden kehitys on ollut negatiivinen laman johtuen. Vuoden 1990 liikennesuoritteesta (27 888 milj. autokm/v.) on laskua tapahtunut -2,9 % prosenttia vuoteen 1993 mennessä. Todennäköistä on, että liikennesuorite alkaa kasvamaan laman väistyessä.

Autokannan ja liikennemäärien kasvuun sekä kaupunkirakenteen hajoamiseen liittyy joukko ongelmia koskien mm. tieliikenteen energiankulutusta. Nykyinen halpa ja saatavissa oleva energia ei ole itsestään selvyys. Energian hinnoissa voi tapahtua äkillisiä erittäin voimakkaita hinnan nousuja (esim. öljykriisit vuosina 1973-74 ja 1979-1980), jotka voisivat jäädä tulevaisuudessa pysyväksi /7/.

Hajaantunut, henkilöautoliikenteeseen voimakkaasti perustuva kaupunkirakenne on siten haavoittuva ja energian voimakas hinnan nousu voi horjuttaa ko. kaupunkirakenteen taloudellista pohjaa. Tästä perspektiivistä johtuen yhdyskuntien tulisi olla rakenteeltaan tiiviitä. Samalla liikkumistarve taajamissa tulisi minimoida sekä parantaa kevyen liikenteen ja joukkoliikenteen toimintaedellytyksiä.



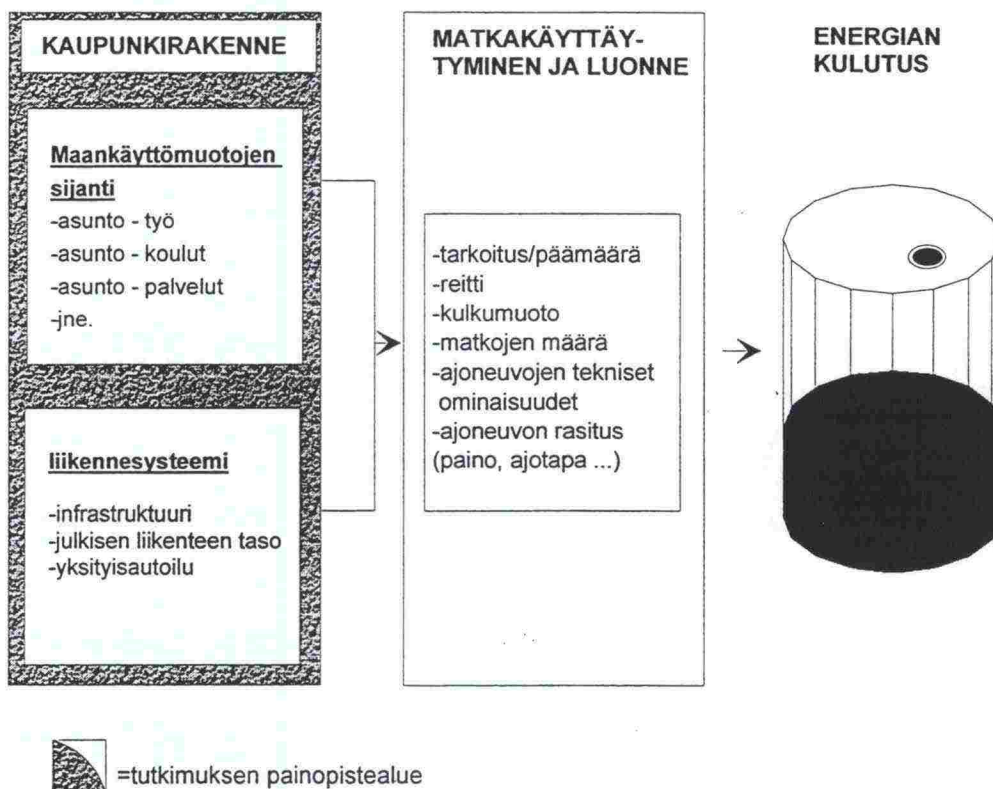
## 4 TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSESTA

### 4.1 Kulutukseen vaikuttavia tekijöitä

Liikennesuoritteiden määrään vaikuttavia suoria ja välillisiä tekijöitä ovat mm. yhdyskuntarakenne, yksilön ja yhteiskunnan taloudellinen tilanne, energian saatavuus ja hinta, tekninen kehitys eli ajoneuvojen taloudellisuus sekä ihmisen arvomaailma. Näistä selvitys keskittyy yhdyskuntarakenteen vaikutuksiin tieliikenteen energiankulutukseen.

Tieliikenteen energiankulutukseen suoranaisesti vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää:

- kaupunkirakennetta (yhdyskuntarakenne)
- matkakäyttäytymistä
- matkan luonnetta ja
- välilliset tekijöitä kuten *polttoaineen hintaa, mahdollisia ympäristöveroja ja tietulleja*



Kuva 15. Tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä.

Vaikka matkan luonteeseen ja matkakäyttäytymiseen kuuluvat tekijät ovat ensisijaisia vaikuttajia polttoaineen kulutukseen, kaupunkirakenne vaikuttaa niihin luomalla fyysiset puitteet, jotka myötävaikuttavat esim. matkareittiin ja kulkumuotoon. Siten taajamarakenteen hajaantuminen, maankäyttömuotojen sekoittuminen ja liikennesysteemin ominaisuudet vaikuttavat liikenteen energiankulutukseen.

*Matkakäyttäytymisellä ja matkan luonteella* tarkoitetaan tässä yhteydessä yksittäisen henkilön matkaan liittyviä valintoja ja mieltymyksiä. Matkakäyttäytyminen muodostuu valinnoista, joita yksilö tekee koskien matkaa liikennesysteemissä. Valinnat käsittävät asioita kuten

- tehdäänkö matka vai ei
- matkan päämäärä (työ, palvelut, vapaa-aika)
- reitti (pituus, turvallisuus, maasto, maisema)
- kulkumuoto (henkilöauto, joukkoliikenneväline, kävely ja polkupyöräily)
- auton kuormittaminen (ajotapa, kuljetettava henkilö/tavaramäärä)

Erilaiset matkan luonnetta kuvaavat tekijät, kuten matkojen lukumäärä, matkan tarkoitus, reitti, kulkumuoto, ajoneuvon kuormitus ja polttoainetaloudellisuus sekä matka- ja polttoainekustannukset vaikuttavat ensisijaisesti tieliikenteen energiankulutukseen. Suomessa aikaisemmin mm. VTT:n toimesta tehdyt tutkimukset ovat painottuneet tälle osa-alueelle.<sup>(\*)</sup>

Kaupunkirakenteen *hajaantuminen ja maankäyttömuotojen sekoittuminen* vaikuttavat epäsuoremmin polttoaineen kulutukseen. Mitä laajemmalle eri maankäyttömuodot ovat levinneet sitä suuremmaksi kasvavat systeemin tuottamat matkat. Henkilöliikenteessä tärkein elementti kaupunkirakenteen hajaantumisessa on työpaikan ja asunnon välinen etäisyys. Toinen merkittävä henkilöliikenteen kokonaissuoritteeseen vaikuttava tekijä on asunnon ja kaupallisten sekä vapaa-ajan palveluiden että koulujen välillä tapahtuva liikenne. Esimerkiksi Oulussa tehdyn tienvarsihaastattelun (*Oulun seudun liikennetutkimus, 1989-1991*) mukaan ajoneuvomatkoista keskimäärin 47 % oli työmatkoja ja 22 % asiointimatkoja. Vierailumatkojen osuus oli 8 % ja lomamatkoja keskimäärin 6 % kaikista matkoista.

Se miten sopivasti eri maankäyttömuodot sijaitsevat toisiinsa nähden vaikuttavat yksilön matkakäyttäytymiseen mm. kulkumuoto- ja reittivalinnassa. Jos matkan lähtö- ja määräpaikat (toiminnot) ovat kaukana toisistaan, aika-arvosituksen vuoksi ihminen valitsee nopeimman kulkumuodon. Tämä on yleensä henkilöauto. Maankäyttömuotojen sekoittumista ja sen vaikutusta tieliiken-

<sup>(\*)</sup> Himanen, V. VTT:n tutkimuksia 159, Kaupunkiliikenteen seurausvaikutukset ja energiankulutus.

Kallberg, H. VTT:n tutkimuksia 236, Henkilöliikenteen energiankulutusennuste.

Kallberg, H. VTT:n tiedotteita 160, Henkilöliikenteen energiankulutus eri liikennemuodoilla.

Kallberg, H. VTT:n tiedotteita 159, Tavaraliikenteen energiankulutus eri liikennemuodoilla.

Lahti, P. VTT symposium 111, Kaupunkien energiankulutus ja mahdollisuudet vaikuttaa siihen. Kaupunkien energiaa säästävä suunnittelu ja rakentaminen.

teen energiankulutukseen on pyritty tarkastelemaan selvityksessä yhdeksän kunnan osalta.

*Liikennesysteemi* muodostaa fyysisen linkin maankäyttömuotojen ja toimintojen välille. Se vaikuttaa eri liikennemuotojen ominaisuuksiin muovaamalla infrastruktuuria. Liikennesysteemi voi nostaa liikenteen energiankulutusta, jos se painottuu liikaa yksityisautoilun suuntaan unohtaen joukkoliikenteen ja kevyen liikenteen tarpeet.

### **Polttoaineen hinta**

Edellämainitut tekijät: kaupunkirakenne ja matkakäyttäytyminen sekä matkan luonne ovat vuorovaikutuksissa toisiinsa. Tämän ohessa tieliikenteen polttoaineen kulutukseen vaikuttaa myös luonnollisesti polttoaineen hinta ja jatkossa toteutuessaan mahdollisesti erilaiset ympäristöverot ja tietullit .

Polttoaineen hinta ei kuitenkaan ole tähän asti rajoittanut tutkimusten mukaan auton käyttöä merkittävästi, vaan polttoaineen hintaa on pidetty siedettävänä auton käytön suomiin etuihin verrattuna. Veijo Kokkarisen tutkimuksen (*polttoaineen hinnan vaikutus auton käyttöön, 1991*) mukaan polttoaineen hinnan nousu 20 % ei vähentänyt merkittävästi auton käyttöä. Tuolloin 12 % kotitalouksista ilmoitti tutkimuksen mukaan vähentäneensä autonkäyttöä vuonna 1990 tapahtuneen hinnannousun myötä.

### **Muita polttoaineen kulutukseen vaikuttavia tekijöitä**

Näiden em. fyysisten tekijöiden lisäksi Neutzen (1977) mukaan voidaan erottaa liikenteen energiankulutuksen (polttoaineenkulutuksen) tasoon myötävaikuttavia eri "taustavaikuttajia", jotka kuuluvat a) yksityiseen ja b) julkiseen sektoriin.

Julkiseen sektorin vaikuttajiin kuuluvat mm:

- maankäytön ja liikenteen suunnittelijat
- teiden kunnossapitäjät
- muut viranomaiset

Vastaavasti yksityistä sektoria edustavista tekijöistä voidaan nimetä

- rakennuttajat, maanomistajat, grynderit
- tavarantoimituksiin ja -palveluihin liittyvät liike-elämän sektorit (käyttäjät ja palveluiden tarjoajat)

Näistä eniten maankäyttömuotojen leviämiseen vaikuttavat etupäässä maankäytön suunnittelijat ja vähäisemmässä määrin rakennuttajat ja maanomistajat.

Liikennesysteemin luonteeseen vaikuttavat myös liikenteen suunnittelusta ja kunnossapidosta vastaavat tahot (tielaitos ja kunnat) sekä lisäksi epäsuorasti esim. tavarankuljetusliikenteeseen liittyvät osapuolet. Tekijät vaikuttavat toisiinsa talouden, hallinnon ja tiepolitiikan kautta.

Yksittäisen ihmisen/talouden näkökulmasta katsottuna tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavina tekijöinä voidaan mainita: tulotaso ja mahdollinen työttömyys, ikä (eli ovatko kyseessä teini-ikäiset, nuoret, keski-ikäiset vai vanhukset), sukupuoli ja perhekoko sekä asuinpaikan sijainti työhön ja palveluihin nähden.

Yllämainittujen tekijöiden vaikutus tieliikenteen energiankulutukseen syntyy niiden yhteisvaikutuksesta /12/.

#### 4.1.1 Kulutusarvojen laskeminen

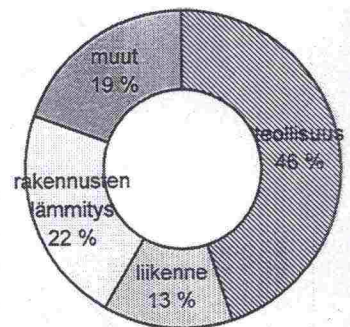
Polttoaineen myyntimäärät on saatu öljyalan keskusliitosta ja ne perustuvat koko kunnan alueella myytyihin polttoainemääriin ( $m^3$ ). Tämän vuoksi tieliikenteen energiankulutusarvot on laskettu kunnittain. Energiankulutusarvoissa on huomioitu vain ajoneuvoliikenteen polttoaineenkulutus. Mukaan ei ole huomioitu paikallista raideliikennettä, kuten vastaavan tyyppisissä tutkimuksissa pohjoismaissa (Peter Naess).

#### Raideliikenne

Mikä vaikutus on raideliikenteen poissulkemisella? Tilastojen mukaan raideliikenteen käyttämä energiamäärä on n. 1,7 % kotimaisen liikenteen käyttämästä öljypohjaisesta energiasta ja se on n. 54 kertaa pienempi kuin tieliikenteen osuus. Lisäksi tutkituista kunnista raideliikenteen osuutta voidaan pitää jossain määrin merkityksellisenä vain eräissä Vt 3:n varrella sijaitsevilla kunnissa. Näissä junalla suoritettujen mm. työmatkojen osuus on keskimääräistä suurempi. Yksittäisissä suurimmissa kunnissa raideliikenteen energiankulutus voi hieman nostaa asukaskohtaista tieliikenteen energiankulutusta. Mielestäni raideliikenteen poissulkeminen ei vaikuta analyysin.

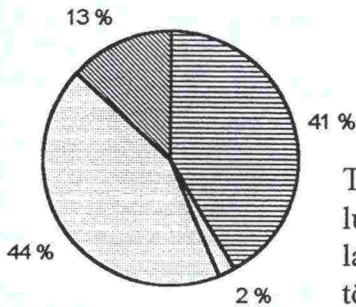
#### Energiankulutusarvojen laskenta

Saadut tilavuusyksiköt ( $m^3$ ) muutettiin painoyksiköiksi (t) muuntokertoimilla, joiden arvot ovat dieselöljyn kohdalla 0,845 ja moottoribensiinin tapauksessa 0,750-0,755 polttoaineen laadusta riippuen. Muuntokertoimena moottoribensiinin tapauksessa käytettiin 0,750, koska määrällisesti eniten (99 % koko moottoribensiinin myyntimäärästä vuonna 1992) myytiin niitä bensiinilaatuja (lyijytön 95 ja korkeaoctaaniinen. 99), joiden muuntokerroin on 0,750. Painoyksiköistä laskettiin eri energiayksiköiden muuntokertoimien avulla ko. polttoaineiden teholliset lämpöarvot (GJ) yhteenlaskettuna seuraavalla sivulla olevan kaavan mukaisesti.



Kuva 16. Energian kokonaiskulutus sektoreittain.

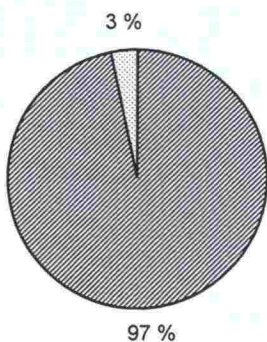
diesel käyttöiset autot (-92)



Ha La Pa Ka

Kuva 17. Dieselöljyn käyttöosuudet ajoneuvotyypeittäin.

bensiini käyttöiset autot (-92)



Ha La Pa Ka

Kuva 18. Moottoribensiinin käyttöosuudet ajoneuvotyypeittäin.

$$E = 0,750 \times \alpha \times 43,09 + 0,845 \times \beta \times 42,50,$$

jossa

$$E = \text{polttoaineiden yhteenlaskettu tehollinen lämpöarvo (GJ).}$$

$$\alpha = \text{moottoribensiinin yhteenlaskettu määrä (m}^3\text{)}$$

$$\beta = \text{dieselöljyn yhteenlaskettu määrä (m}^3\text{)}$$

Tutkimuksessa kaupunkirakenteeseen vertailtavana tieliikenteen energiankulutusarvona käytettiin asukaskohtaista tieliikenteen energiankulutusta. Tällöin laskettu polttoaineenkulutuksen tehollinen lämpöarvo GJ jaetaan koko väestön määrällä. Esiselvityksessä GJ jaettiin taajamaväestön määrällä. Koko kaupunkiväestön määrää käytetään, koska pienempien kohdekaupunkien (alle 20 000 asukasta) taajamaväestön osuus koko väestöstä on huomattavasti vähäisempi kuin esiselvityksessä mukana olleiden suurien kaupunkien, joissa taajama-aste oli pääosin luokkaa n. 92-97 %.

Jos tieliikenteen energiankulutus jaettaisiin pienissä kaupungeissa taajamaväestön määrällä, koko väestömäärän sijasta saaduissa asukaskohtaisissa polttoaineenkulutusarvoissa olisi yksittäisissä tapauksissa jopa 40 %:n eroja.

#### 4.2 Energiankulutus Suomessa

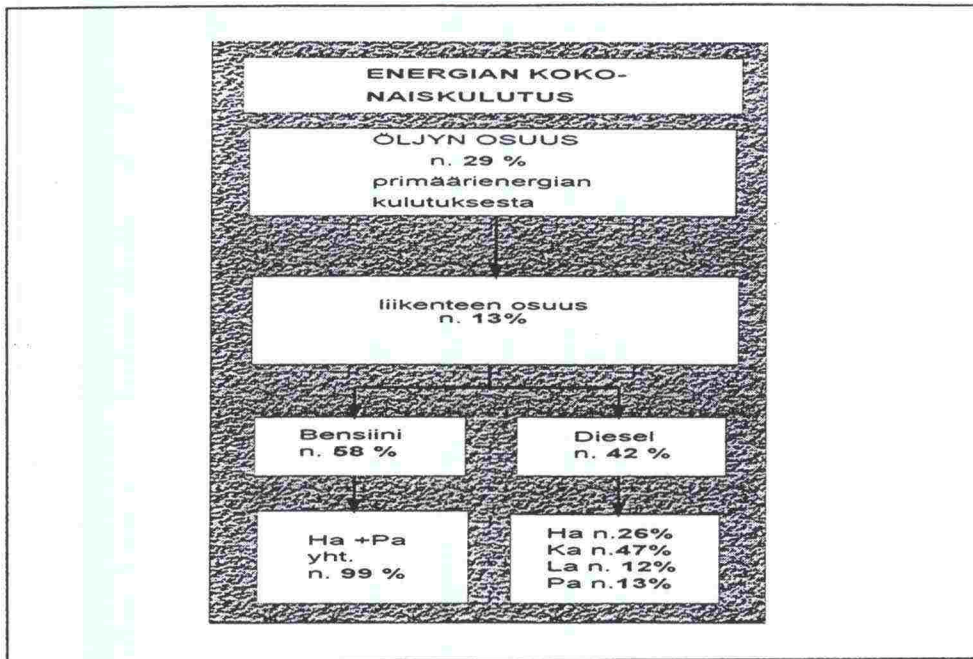
Suomessa kulutettiin vuonna 1993 energiaa 30,4 miljoonaa öljytonnia (Mtoe) vastaava määrä. Vuonna 1991 kulutuksen lasku oli vielä poikkeuksellisen suuri. Vaikka lama jatkui 1993, energian käyttö lisääntyi n. 1 % vuoteen 1992 verrattuna, johtuen vientiteollisuuden tuotannon kasvusta.

Suurin energian käyttäjä oli teollisuus 45 % osuudellaan. Muiden kuin teollisuusrakennusten lämmitykseen ja muuhun kulutukseen molempiin käytettiin n. viidesosa kokonaisenergiasta. Liikenteen osuus primäärienergian kokonaiskulutuksesta oli samana vuonna n. 13 %. On huomattava, että liikenteen osuuteen sisältyy tieliikenteen ohella myös kotimaan lento-, rautatie- ja laivaliikenne. Liikenteen öljypohjaisesta energiankulutuksesta tieliikenteen osuus on suurin ollen n. 94 %.

Öljyn kulutuksen laskun mukana myös liikennepolttoaineiden kulutus laski vuosien 1992-93 välillä. Esim. Moottoribensiinin kulutus laski ko. aikavälillä n. 6 prosenttia. Pitemmän aikajänteen puitteissa (1970-1993) moottoribensiinin ja dieselöljyn myynti on noussut voimakkaasti huolimatta viimeisten vuosien laskusta.

Dieselöljyn osuus moottoribensiiniin ja dieselöljyn yhteenlasketuista kulutusmääristä on pysynyt vuosina 1970-1992 n. 40-46 %:ssa ollen vuonna 1993 n. 43 %. Ajoneuvoryhmittäin tarkkaa tietoa moottoribensiiniin ja dieselöljyn kulutusjakautumasta ei ole. Arvion mukaan dieselöljyn kulutus jakautuu kuvan 19. mukaisesti. Raskaan liikenteen (kuorma- ja linja-autot) osuus dieselöljyn kulutuksesta on tällöin luokkaa n. 59 %. Henkilöautojen prosenttiosuus

dieselöljyn kulutuksesta on n. 26 %. Henkilö- ja pakettiautot käyttävät käytännössä lähes kaiken moottoribensiinin. Koska henkilöautojen osuus bensiinikäyttöisistä ajoneuvoista on suuri n. 97 %, oletetaan usein tutkimuksissa moottoribensiinin kulutuksen kuluva kokonaisuudessaan henkilöautoissa.



Kuva 19. Liikenteen osuus energiankulutuksesta ja arvio eri ajoneuvotyyppien %-osuudesta moottoribensiinin ja dieselöljyn kulutuksesta.

Henkilöliikenteen kuljetussuoritteesta tieliikenteen osuus kaikesta oli vuonna 1991 n. 92 % (mukaanlukien rautatie-, raitio-, alus- ja lentoliikenteen). Henkilöautoliikenteen osuus autojen yhteenlasketusta liikennesuoritteesta oli n. 84 %. Em. perusteella henkilöautoliikenteen polttoainekulutus muodostaa merkittävimmän osan tarkasteltavasta tieliikenteen energiankulutuksesta.

Henkilöautoliikenteen tehokkuus henkilökilometriä (ts. keskimääräinen autossa istuvien henkilöiden määrä) kohden on laskenut. Näin siitä huolimatta, että autojen energiataloudellisuus on parantunut jatkuvasti. Syynä ovat yleisemmät yhteiskunnalliset muutokset, jonka seurauksina:

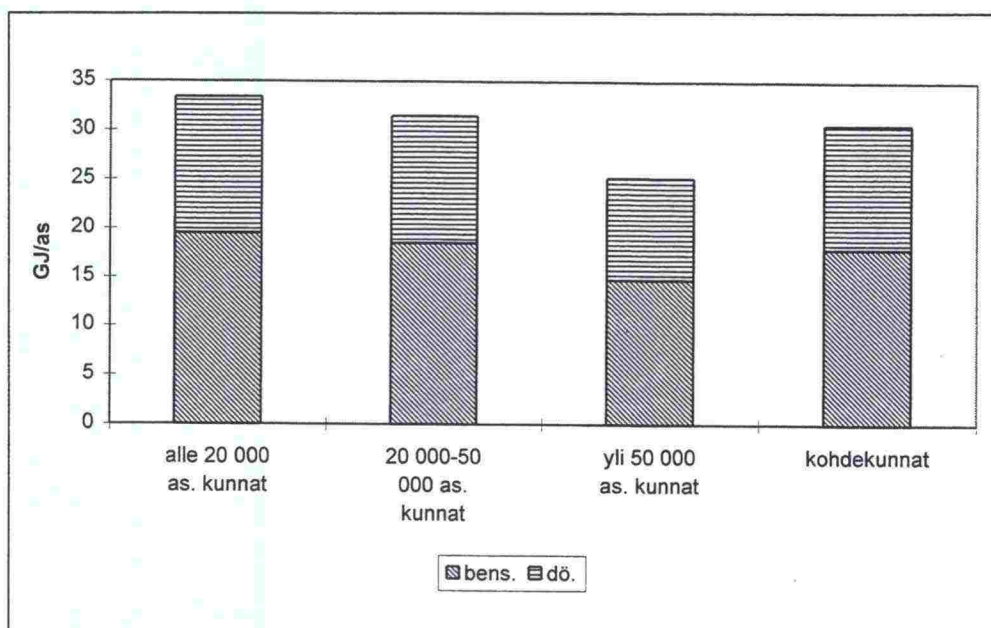
- autossa on vähemmän matkustajia ajettua kilometriä kohden
- auton omistavien yhden ja kahden hengen kotitalouksien määrä on kasvanut.
- tasa-arvon myötä naisten työssäkäynti on lisääntynyt
- harrastukset, jotka vaativat auton käyttöä, ovat lisääntyneet

### 4.3 Kohdekaupunkien energiankulutus

Tieliikenteen energiankulutus kahden pienimmän ryhmän osalta vaihtelee vähän. Alle 20 000 asukkaan kunnissa energiankulutuksen arvo on vuodessa n. 33,4 GJ asukasta kohden vuodessa ja 20 000-50 000 asukkaan kunnissa 31,5 GJ. Väkirikkaimmissa kunnissa sen sijaan tämä arvo on edellämainittuja ryhmiä selvästi pienempi ollen 25,2 GJ asukasta kohden vuodessa. Verrattaessa liikenteen energiankulutusta väestömäärien perusteella on kuvan 28 perusteella havaittavissa selvä yhteys näiden muuttujien välillä. Tätä eroa vahvistaa, jos verrataan tutkimusjaottelusta poiketen, 10 väkirikkaimman ja 10 väestömäärältään vähäisimmän kunnan tieliikenteen energiankulutuseroja. Kymmenen väkirikkaimman kunnan liikenteen energiankulutus on 24,9 GJ ja vastaavasti kymmenen väestöpohjaltaan pienimmän kunnan 34,1 GJ asukasta kohden eli n. 37 % suurempi. Väestömäärältään suurissa kaupungeilla näyttäisi olevan paremmat edellytykset pienempään tieliikenteen energiankulutukseen.

Taulukko 4. Tieliikenteen energiankulutusarvoja kohdekuntien osalta

kohderyhmät	tieliikenteen energiankulutus (GJ/asukas/vuosi)		
	tot.	bensini	dieselöljy
alle 20 000 as. kunnat	33,4	19,5	13,9
20 000 - 50 000 as. kunnat	31,5	18,5	13
yli 50 000 as. kunnat	25,2	14,7	12,5
kohdekunnat (ka.)	30,6	17,9	12,3

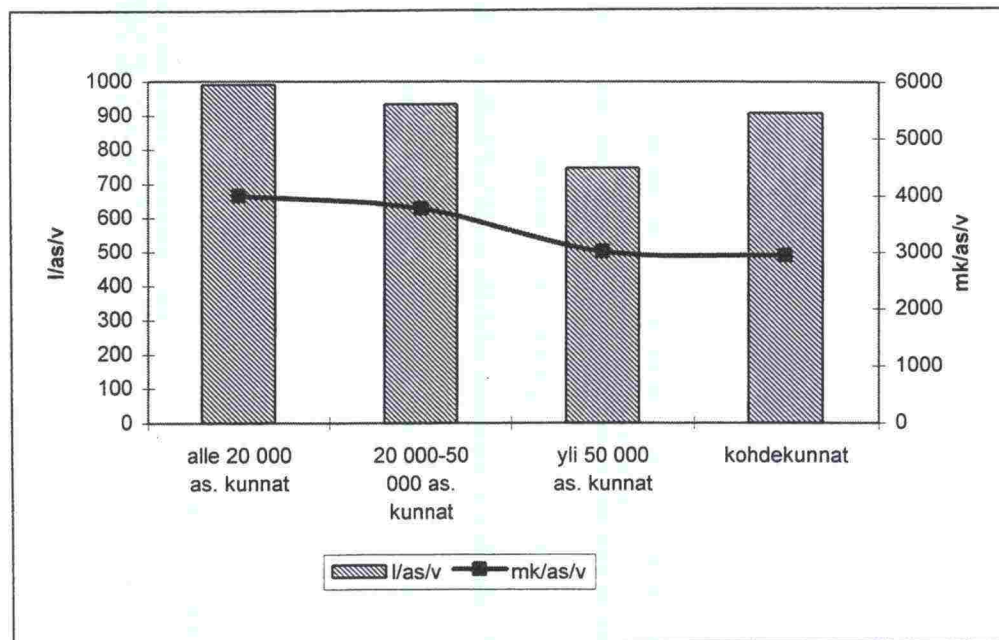


Kuva 20. Eri kohderyhmien tieliikenteen energiankulutus jaoteltuna moottoribensiiniin ja dieselöljyn

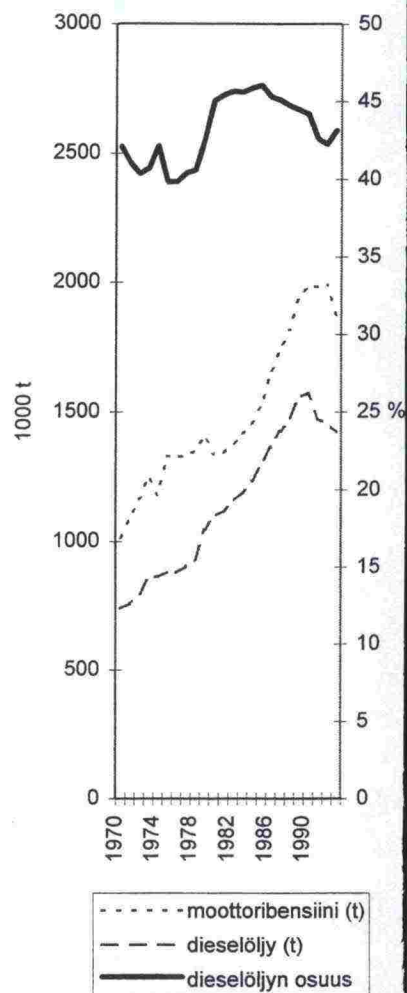
Kohde kuntien asukaskohtaisessa polttoaineen kulutuksessa ei ole havaittavissa eroja maantieteellisen sijainnin vuoksi (Pohjois-Suomi - Etelä-Suomi). Kymmenen pohjoisimman kunnan keskimääräinen asukaskohtainen liikenteen energiankulutus on 31,6 GJ ja vastaavasti kymmenen eteläisimmän 32,08 GJ, joten ero on vähäinen. Kuvassa 24 on merkitty tutkittavien kunnat etelä-pohjoissuunnassa ja niiden tieliikenteen energiankulutusarvot. Kuvan 25 perusteella voidaan vetää seuraavia päätelmiä.

- o Maantieteellinen sijainti ei vaikuta tieliikenteen energiankulutukseen merkittävästi. Kussakin kuntaryhmässä on energiankulutustasoltaan erilaisia kuntia.
- o Väestömäärältään suurimassa kuntaryhmässä energiankulutustaso on kahta muuta ryhmää selvästi alemmalla tasolla.

Kohderyhmittäin tarkasteltuna kaksi asukasluvultaan pienintä ryhmää eivät juuri eroa polttoaineenkulutukseltaan toisistaan. Alle 20 000 asukkaan (n=14 kpl) ja 20 000-50 000 asukkaan (n=12) kunnissa polttoaineen (dieselöljy ja moottoribensiini) ostoon asukasta kohden käytetään vajaat 4 000 (3 998 ja 3 774) mk/v. Yli 50 000 asukkaan kunnissa polttoaineenkulutus vuodessa oli selvästi pienempi - n. 747 litraa asukasta kohden. Tällöin polttoaineen ostoon käytetty rahamäärä oli selvästi pienempi - n. 3 000 mk/asukas/v. Laskettaessa asukkaan polttoaineeseen kuluva rahamäärä vuotta kohden on dieselöljyn hintana käytetty 313 p/l ja moottoribensiinin hintana 462 p/l (95 okt.). Hinnat ovat vuodelta 1993. (SVT: Energia 1994:1 Energiatilastot). Tiedot tukevat esiselvityksessä esitettyä väittämää suurten kaupunkien taloudellisemmasta liikenteen energiankulutuksesta.



Kuva 21. Polttoaineenkulutus ja -kustannus asukasta kohden vuodessa eri kohdekaupunki ryhmissä. Kustannuksia laskettaessa on dieselöljyn hintana käytetty 313 ja bensiinin 462 p/l.



Kuva 22. Dieselöljyn ja moottoribensiinin kulutuksen kehitys ja dieselöljyn kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta vv. 1970-1992.



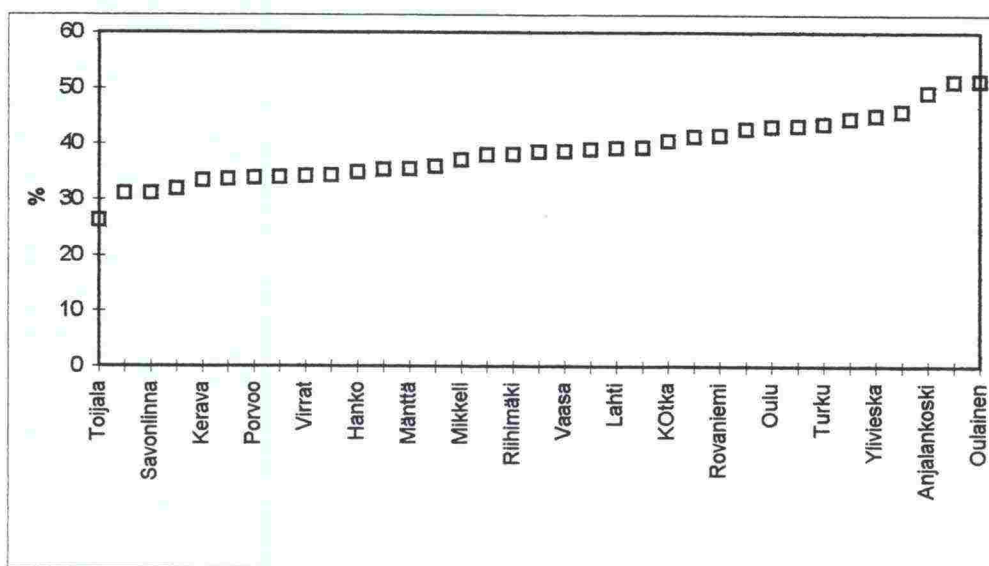
### Moottoribensiini

Bensiinin myyntimäärissä (m<sup>3</sup>) asukasta kohden ei ole merkittäviä eroja kahden pienimmän ryhmän välillä. Vähiten asukasta kohden bensiiniä (moottoribensiiniä) kuluttavat suurehkot kaupungit n. 456 l/vuodessa. Pienissä kaupungeissa vastaava luku on 602 l/vuosi eli n. 32 % enemmän.

### Dieselöljy

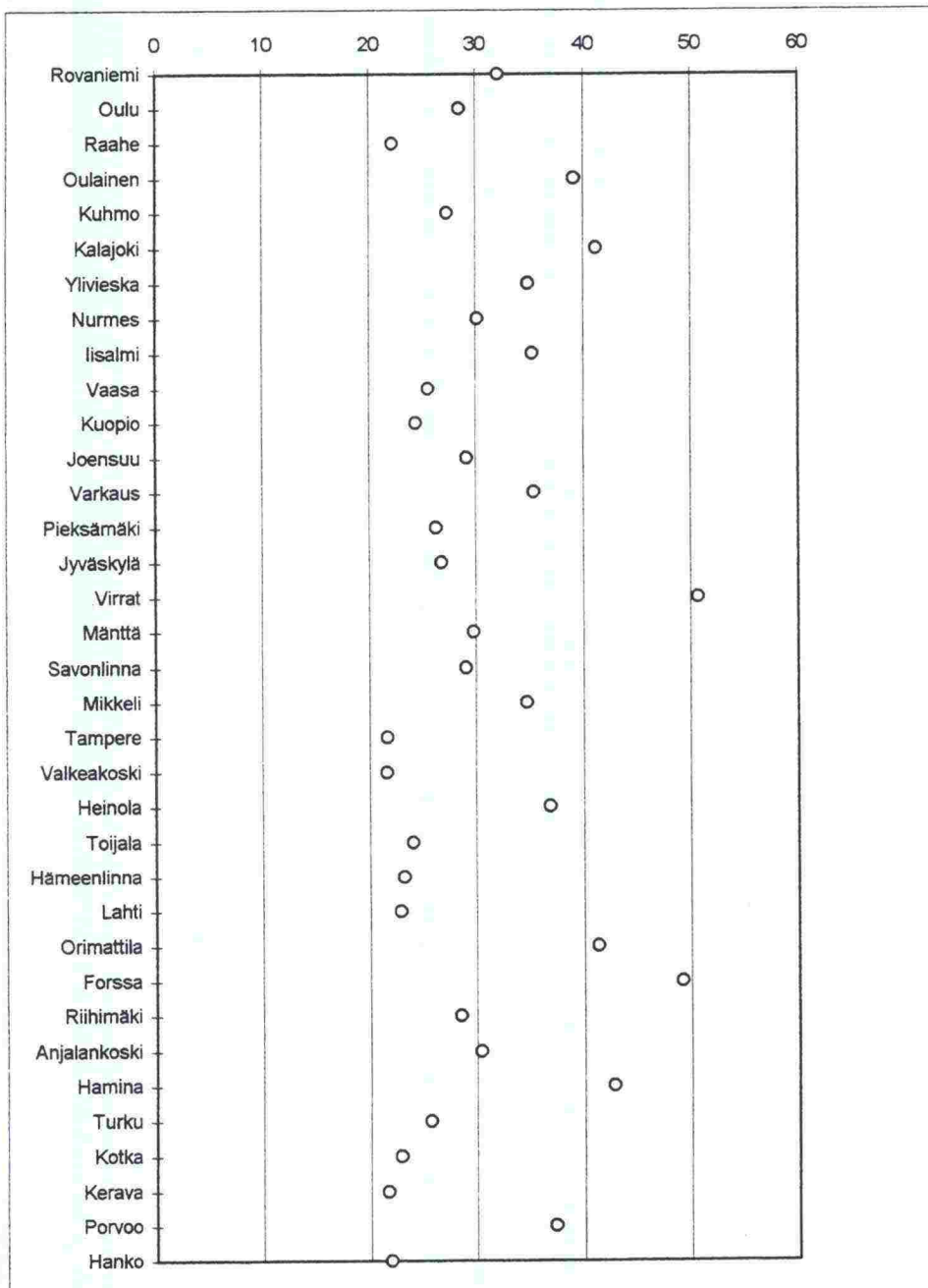
Alle 20 000 asukkaan kunnissa dieselöljynosuus polttoaineen kokonaiskulutuksesta on keskimäärin 39,3 %, kun taas 20 000-50 000 asukkaan kunnissa osuus on 38,3 % ja yli 50 000 asukkaan kunnissa keskimäärin n. 39 %. Tämä ei ole ristiriidassa sen toteamuksen kanssa, että maatalousvaltaisissa kunnissa (yleensä väestömääriltään pieniä) dieselöljyn osuus polttoaineenkulutuksesta on keskiarvoa korkeampi.

Tämä johtuu siitä, että alle 20 000 asukkaan (n=14 kpl) kuntien ryhmässä on mukana seitsemän sellaista kuntaa, joissa väestömäärän alhaisuudesta huolimatta maa- ja metsätaloudesta elinkeinonsa saavien ihmisten osuus on erittäin vähäinen. Nämä kunnat sijaitsevat pääosin Etelä-Suomessa. Kunnittain dieselöljyn osuus koko polttoaineenkulutuksesta vaihtelee huomattavasti. Aineiston perusteella suurin dieselöljyn osuus polttoaineen myyntimääristä vuonna 1993 oli Oulaisissa 51,3 % ja pienin Toijalassa 26,2 %. Suurimmat dieselöljyn prosentuaaliset osuudet polttoaineiden myyntimääristä olivat harvaan asutuissa pohjois-suomalaisissa kunnissa sekä suurimmissa kaupungeissa kuten Turussa ja Oulussa. Kohderyhmässä I dieselöljyn kulutus asukasta kohden vuodessa oli vuonna 1993 388 l/asukas.

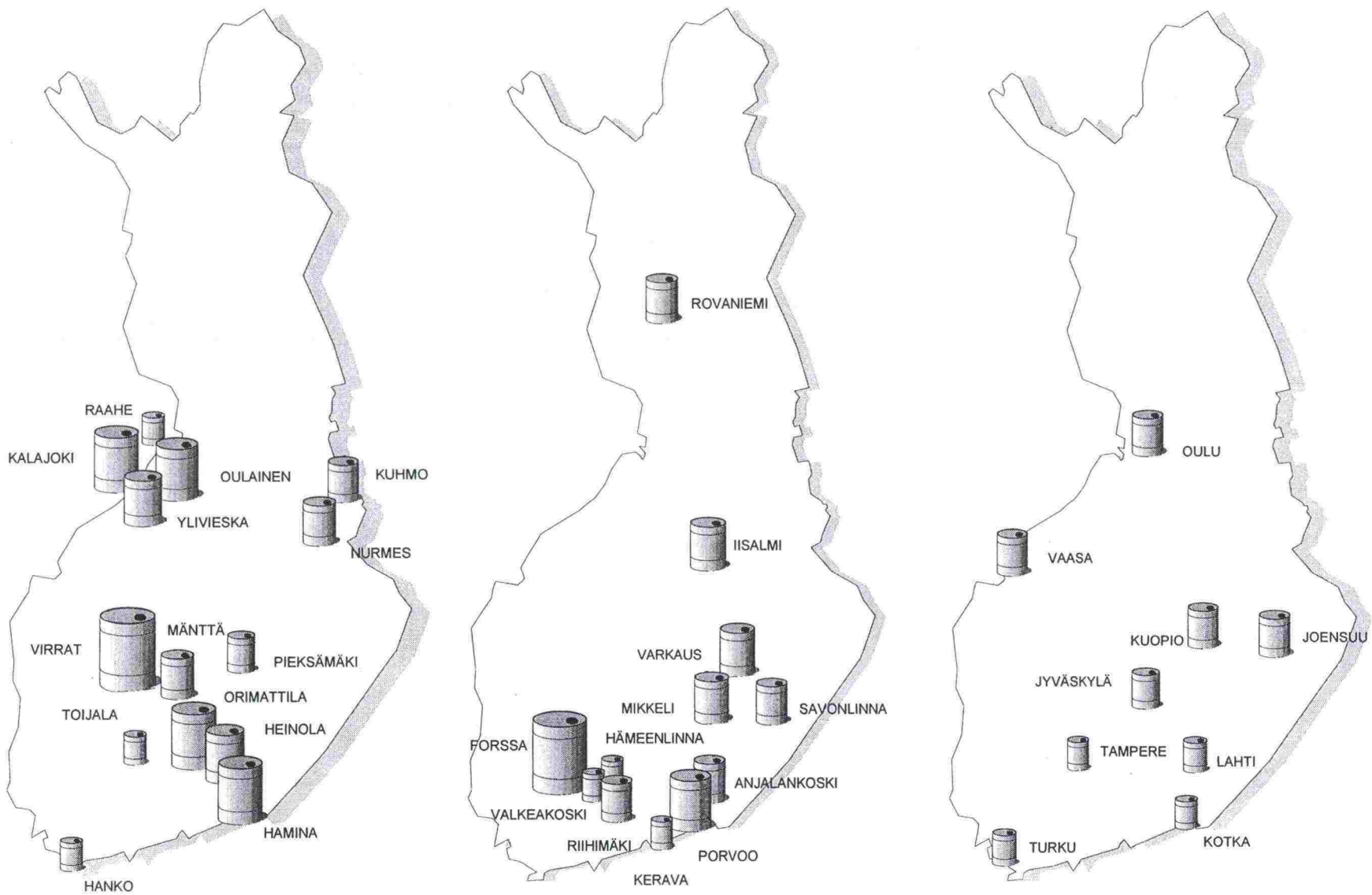


Kuva 23. Dieselöljyn kulutusosuus (%) tutkituissa kunnissa.

Muita suurempiin dieselöljyn myyntiosuuksiin voidaan pienien pohjois-suomalaisten kuntien tapauksessa olettaa vaikuttavan laajalle levinneen taajamarakenteen, pitkien etäisyyksien kuntien välillä sekä maatalouden vaikutuksen. Suurissa kunnissa dieselöljyn keskimääräistä suurempaan prosentuaaliseen kulutukseen vaikuttavat todennäköisimmin mm. ihmisten (linja-autot) ja tavaran (kuorma-autot) kuljetuksista johtuvat suuremmat raskaan liikenteen määrät. Tähän viittaisivat myös esim. kuorma-autojen liikennesuoritteet yleisillä teillä näiden kuntien alueella sekä kuorma-autojen liikennesuoritteen osuus koko liikennesuoritteesta. Muihin kohdekuntiin verraten kuorma-autojen liikennesuoritteen osuus oli korkea yleisillä teillä mm. Haminassa, Kotkassa, Lahdessa, Riihimäellä ja Hämeenlinnassa.



Kuva 24. Tieliikenteen energiankulutus kohdekunnittain jaoteltuna pohjois-etelä-suunnassa.



Kuva 25. Asukaskohtainen tiilikenteen energiankulutus jaoteltuna kohderyhmittäin

#### 4.4 Virhelähteet energiankulutustiedoissa

Tutkimuksen tuloksia arvioidaan pääasiassa energiankulutusarvoiltaan korjaamattomien mallien osalta. Esiselvityksen tulosten pääpaino oli energiankulutusarvoiltaan korjatussa mallissa K2. Tämän selvityksen osalta kaupunkirakenteen ja energiankulutuksen yhteyttä tarkastellaan myös yhden korjatun mallin perusteella.

Perusteena korjaamattomien mallien käytölle on:

- tutkittavien kuntien suurempi lukumäärä
- parempi variaatio liikenteellisen sijainnin ja väkiluvun suhteen.
- virheenarvioitsijan subjektiivisen vaikutuksen poisto

Koska polttoaineen myyntitieto on kerätty koko kunnan alueelta myydyistä polttoainemääristä, sisältyy näihin tietoihin tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen vertailua haittaavia tekijöitä. Nämä edustavat sellaista polttoaineen kulutusta, joilla on vähän tekemistä kaupunkirakenteen ja liikenteen energiankulutuksen välisen yhteyden välillä. Työn näkökulmasta polttoaineen kulutukseen "virheellisesti" vaikuttavia tekijöitä ovat

- tavaraliikenteen kaukoliikenne (kuorma-autot)
- joukkoliikenteen kaukoliikenne (linja-autot)
- läpikulku- ja lomanviettoliikenne (henkilöautot) sekä työmatkojen vuoksi naapurikunnasta tapahtuva polttoaineen osto ts. kauppavuoto
- maatalouden polttoaineenkulutus

Tavoite: Virheanalyysin tavoitteena on selventää eri kuntien liikenteellisestä sijainnista johtuvia tasoeroja liikenteen energiankulutuksessa.

Periaate: Periaatteena näiden virheiden korjaamisessa ei ole niiden eliminointi, vaan energiankulutusarvon korjaaminen suhteellisen varovaisesti oikeaan suuntaan.

Virhearvioinneissa on jouduttu hyödyntämään pääosin suuntaa-antavia muutujia, tilastotietoja sekä suppeita selvityksiä, joiden perusteella korjaus polttoaineenkulutukseen on tehty. Koska em. virhetekijöiden vaikutusta ei voida tarkasti arvioida kaupunkikohtaisesti, on niiden huomioimiseksi ko. kunnat on jaoteltu kunkin vaikuttavan tekijän osalta kolmeen ryhmään. Ryhmät ovat

1. vähäinen vaikutus,
2. kohtalainen vaikutus ja
3. merkittävä vaikutus polttoaineenkulutukseen.

Näiden jaotteluiden perusteella voidaan karkeasti arvioida em. tekijöiden vaikutusta. Kunkin virhetekijän osuus virheen kokonaissummasta on kuitenkin erilainen. Virhearviointi on suoritettu siten, että vaikutusta ei yliarvioitaisi, vaan niiden yhteisvaikutus jäisi maksimissaankin - kaikkien tekijöiden ollessa "epäedullisimmillaan" - n. -10 %:iin ilmoitetusta kunnan alueella myydystä polttoainemääristä.

Suurimmat virhearvioprosentit koskettavat lähinnä suurempia kaupunkeja ja virhearvioprosentti yleensä pienenee kaupunkikoon mukana. Periaatteena virheprosentin määrittelyssä on polttoaineenkulutuksen arvioiminen riittävällä tarkkuudella oikeaan suuntaan, jotta kaupunkien erilainen liikenteellinen sijainti pääväylien suhteen ei vaikuttaisi kaupunkirakenteen ja polttoaineenkulutuksen vertailuun. Lisäksi on huomattava, että virhearviointi kohdistuu pääosin dieselöljyn myyntimääriin, joten tieliikenteen energiankokonaiskulutuksesta virhearvion vaikutus jäi vähäisemmäksi. Esiselvityksessä polttoaineenkulutuksen keskimääräinen korjaus alaspäin oli n. 9 %. Jatkoselvityksen osalta keskimääräinen korjaus oli n. 2 %.

Pienempi virheprosenttiarvio jatkotutkimuksen yhteydessä johtuu osaltaan suuremmasta kohdekaupunkien määrästä. Koska esiselvityksen yhteydessä olleet kuntien väestömäärät ja maantieteellinen sijainti vaihtelivat hyvin vähän, saatiin suuremmalla virhearvioinnilla selvemmin erot eri muuttujien välille. Kun mukana on suurempi variaatiomäärä eri kokoisista kohdekunnista (jatkotutkimus), on virhearvioprosentin suuruus jätetty pienemmäksi.

## 5 KAUPUNKIRAKENTEEN JA TIELIIKENTEEN ENERGIANKULUTUKSEN YHTEYKSIÄ

### 5.1 Yleistä

Tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä kaupunkirakenne yhdessä liikennesysteemin kanssa vaikuttavat matkojen suuntautumiseen, pituuteen, liikennesopeuteen ja kulkumuotojakautumaan. Tieliikenteen energiankulutuksen kannalta merkityksellinen on erityisesti kaupunkirakenteen luoma mahdollisuus hyödyntää vaihtoehtoisia kulkumuotoja henkilöauton ohella. Seuraavassa tarkastellaan kaupunkirakenteeseen liittyvien tekijöiden yhteyttä energiankulutukseen.

#### Aineiston käsittely

Vuorovaikutusta tarkastellaan aluksi lyhyesti taajaman rakennetyyppien näkökulmasta, jonka jälkeen tutkitaan taajamakohtaisen kokeellisten muuttujien ja tunnuslukujen yhteyttä liikenteen energiankulutukseen. Tulosten painopiste on kaikkien kohdekuntien muodostaman kokonaisuuden arvioinnissa. Tämän lisäksi tutkitaan muuttujien merkitystä kolmen kohderyhmän sisällä. Kolmantena vaiheena selvitetään tarkemmin taajamassa olevien toimintojen sijoittumisen vaikutusta.

#### Tuloksien arvioinnista

Kaupunkirakenteellisten muuttujien ja tunnuslukujen korrelaatiokertoimia on taulukoitu kolmesta eri mallista *A*:sta, *B*:stä ja *C*:stä. Näistä tärkeimmät ovat mallit *A* ja *B*, joiden liikenteen energiankulutustietoja ei ole korjattu. Mallissa *A* kohdekuntia on 35 ja mallissa *B* 33 kappaletta. Mallissa *C* tieliikenteen energiankulutusarvoja on korjattu. Mallissa on 33 kappaletta kuntia. Mielestäni paras malli on *A*, jonka tuottamia tuloksia lähinnä tarkastellaan.

Muuttujien vaikutus ja korrelaatioarvot *kohderyhmien sisällä* vaihtelevat huomattavasti. Tämä johtuu kuntien pienestä määrästä kunkin ryhmän kohdalla ja kohderyhmän luokittelusta johtuvasta kuntien samankaltaisuudesta. Tietyn muuttujan arvot voivat olla tällöin hyvin samantapaisia ja vaihtelu siten vähäistä. Muuttujan vaikutus on tällöin vaikeammin todettavissa. Tämän vuoksi kokonaisuutta kuvaavat tunnusluvut ovat merkittävimpiä ja painoarvoltaan suurempia. Kohderyhmien sisäinen tarkastelu puoltaa paikkaansa lisätietona.

### 5.2 Kaupunkien rakennetyypit

Suomalaisen kaupungin ja sen rakennetyypin kehittymiseen ovat osaltaan vaikuttaneet väestömäärän kasvu ja väestön siirtyminen haja-asutusalueelta taajamiin sekä autoistumistason kasvu, joka mahdollistaa toimintojen sijainnin kaukanakin kaupungin ydinkeskustasta.

### Väestömäärien kasvu

Tutkittavien kuntien väestön kehityskäyriä tarkastellessa on todettavissa, että väestömäärä ei enää pääosassa ko. kunnista kasva, vaan on pysähtynyt tai pysähtymässä. Syynä on koko maan väestön kasvun hidastuminen. Näin haja-asutusalueelta ei siirry suuressa määrin uusia asukkaita taajamiin. Vaikka kuntien välillä tapahtuva muuttoliike on näin tyrehtynyt tai tyrehtymässä, kaupunkien ja kaupunkiseutujen sisäinen muuttoliike on muokannut taajamarakennetta. Sisäinen muuttoliike on suuntautunut suurilla kaupunkiseuduilla ympäröiviin lähikuntiin (esim. Oulussa Kempeleeseen, Oulunsaloon ja Haukiputaalle). Kaupungin sisällä ihmiset ovat siirtyneet etäämmälle keskustasta yleensä hyvien liikenneyhteyksien suuntaisesti. Kaupunkirakenteen hajautuminen on tapahtunut voimakkaimmin nopeasti kasvavilla kaupunkiseuduilla, joita ovat tämän tutkimukseen kuuluneista kohdekunnista esim. Turku, Tampere, Oulu ja Kuopio /5/.

Kunnan väkiluvun kasvaessa myös sen kaupunkirakennetyyppi muotoutuu erilaiseksi. Risto Linkovuoren mukaan väkimäärän kasvaessa myös taajamatyypit muuttuu pistemäisestä säteittäiseksi. Tämä on ilmenee kohdekuntien osalta jakamalla tutkittavat kunnat taajama-alueen (kunnan keskustaajama) mukaan kolmeen ryhmään; pistemäisiin, nauhamaisiin ja säteittäisiin taajamiin /8/.

Kohdekuntien aineiston perusteella *pistemäiselle* rakennetyypille on ominaista pieni väkiluku ja suhteellisen itsenäinen asema suhteessa suurempiin alueen lähikuntiin. *Nauhamaiselle* rakennetyypille ominaista pieni tai keskisuuri väkiluku. Rakenteen muovautumiseen ovat vaikuttaneet myös maastolliset tekijät. *Säteittäinen* taajamatyypit on ominaista nopeasti kasvavalle keskisuurelle tai suurelle taajamalle. Linkovuori toteaa säteittäisen rakenteen olevan tyypillistä väestöpotentiaaliltaan yli 35 000 asukkaiden taajamille. Säteittäinen taajamarakenne on yleisin n. 30 000 asukkaan kunnissa /8/.

Taulukko 5. Taajaman rakennetyyppi. Kyseessä kunkin kunnan keskustaajama.

rakennetyyppi	kaupungit	n	G/as.
pistemäinen	Mänttä, Toijala, Oulainen, Virrat, Kalajoki, Hamina, Kuhmo, Hanko, Pieksämäki, Orimattila, Anjalankoski, Valkeakoski ja Iisalmi	13	34,1
nauhamainen	Nurmes, Ylivieska, Heinola, Raahе, Forssa, Varkaus, Savonlinna, Joensuu ja Kuopio	9	32,3
säteittäinen	Porvoo, Riihimäki, Kerava, Mikkefi, Rovaniemi, Hämeenlinna, Vaasa, Kotka, Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Oulu, Turku ja Tampere	13	26,9

Verrattaessa taajaman rakennetyyppejä ja liikenteen energiankulutusta huomataan säteittäisen rakennetyypin energiakulutuskeskivertoinen olevan muita kahta ryhmää selvästi pienempi. Vaikka ero säteittäisen kaupunkirakennetyypin energiankulutus on noin viidesosan pienempi kuin pistemäisessä ja nauhamaisessa taajamatyyppissä, en pidä sitä ensisijaisena selittävänä tekijänä. Rakennetyyppi liittyy samanaikaisesti kunnan väkilukuun, joka korreloi hyvin energiankulutuksen kanssa. Siten rakennetyyppi on mielestäni väkiluvun suhteen "kolikon toinen puoli", koska väkimäärältään suuret kunnat kehittyvät tähtimäisiksi.

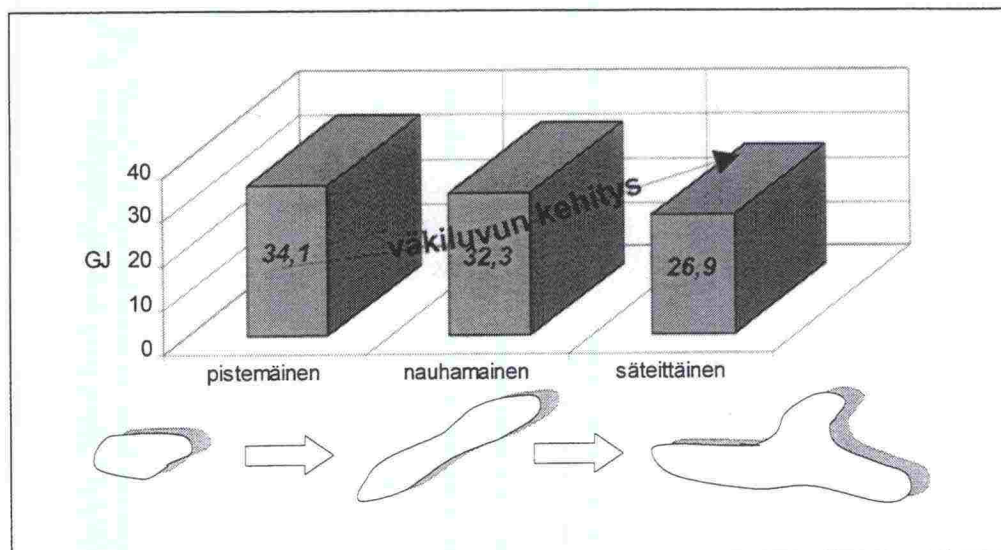
### Säteittäinen rakennetyyppi

Säteittäinen taajamatyyppin etuina voidaan kuitenkin pitää:

- taajaman kasvua liikenneyhteyksien suunnassa, jolloin liikenne kanavoituu luontevasti pääväylille.
- joukkoliikenteen järjestäminen helpottuu. Asumisvyöhykkeiden muodostuminen liikenteenvälityskyvyltään hyvän väylän suuntaisesti lisää linjan potentiaalista käyttäjämäärää.
- Joukkoliikennelinjasta tulee toiminnallisesti nopea sekä suhteellisen lyhyt.

Näiden etujen hyödyntämiseksi tulisi yhtäaikaaisesti maankäytön suunnittelussa suunnata matkoja aiheuttavien toimintojen sijainti näiden "käytävien" varalle. Puistojen ja muiden vastaavien toimintojen tulisi sijaita siten, että ne eivät tarpeettomasti kasvattaisi kävelyetäisyyksiä "käytävälle".

Säteittäisen taajamatyyppin myötä asukastiheys ei olennaisesti muutu, mutta maankäyttömuotojen hyvällä suunnittelulla voidaan luoda hyvät edellytykset julkiselle liikenteelle ja sitä kautta tieliikenteen energiankulutuksen laskulle.



Kuva 26. Taajamarakennetyyppi ja tieliikenteen energiankulutus. Tulosta tarkasteltaessa on huomioitava rakennetyypin yhteys taajaman väkilukuun.



Toisena huomionarvoisena kohtana on mainittava nauhamaisten taajamien energiankulutus. Nauhamainen taajamarakenne ei aineiston perusteella näyttäisi olevan tieliikenteen energiankulutuksen kannalta energiaystävällisempi rakenne. Vaikka sen energiankulutusarvo on n. 5 % pienempi kuin pistemäisen taajamarakenteen, arvo on selvästi säteittäistä taajamarakennetta korkeampi (n. 21 %).

Teoriassa nauhamaisen taajamarakenteen pitäisi mahdollistaa matalampi energiankulutus, koska se mahdollistaa hyvät edellytykset joukkoliikenteen järjestelyille. Erot teorian ja tutkimuksen tuottaman tulosten välillä aiheutuvat kuntien koosta. Yleensä teoreettisissa malleissa kaupunki oletetaan väestömäärältään suureksi, jolloin joukkoliikenteen järjestäminen on helppoa sekä kannattavaa. Energiankulutussäästöt saavutetaan juuri joukkoliikenteen kautta. Tutkimuksessa mukana olleissa nauhamaisissa kunnissa joukkoliikenne ei kuitenkaan ole merkittävä kulkumuotovaihtoehto niiden pienehkön väestömäärän johdosta.

### 5.3 Kaupunkirakennetta kuvaavat muuttujat

Tämän selvityksen tulokset vahvistavat niitä päätelmiä, joita saatiin esiselvityksen yhteydessä. Esiselvityksen mallin *K2* pohjalta tehtyjen päätelmien mukaan tieliikenteen energiankulutuksen kanssa parhaiten korreloivat taajamaväestön määrän ja kunnan väkiluvun lisäksi asukaskohtainen taajama-ala ja taajamarajan pituus. Tässä työssä parhaiten yhteyttä muuttujien ja energiankulutuksen välillä kuvasivat malleissa muuttujat:

- taajamarajan pituus asukasta kohden
- asukaskohtainen taajama-ala

Näiden lisäksi hyviä korrelaatioarvoja saatiin kaikissa malleissa muuttujien: taajamaväestön määrän, kunnan asukasmäärän sekä työssäkäyntimatkan pituuden osalta. Mallissa *B* ja *C* korostuivat myös rakennustiheyttä kuvaavat tekijät: rakennusten yhteenlaskettu kerrosala taajama-alaa kohden ja asuinrakennusten yhteenlaskettu kerrosala taajama-alaa kohden.

Taulukko 6. Yhteenvedo muuttujista, joilla saatiin parhaita korrelaatioita eri malleissa. K2:sta on jätetty pois muuttujia, joiden merkittävyys oli selvästi heikompi esiselvityksen muissa malleissa.

	Mallit			
	K2	A	B	C
a	taajamarajan- pituus & taajama- rajanpituus asu- kasta kohden	taajamarajan- pituus asukasta kohden 0.513	taajamarajan- pituus asukasta kohden 0.592	taajamarajan- pituus asukasta kohden 0.612
b	taajamaväestö -0.653	asukaskohtainen taajama-ala	asukaskohtainen taajama-ala	asukaskohtainen taajama-ala
c	väkiluku -0.654	taajamaväestö -0,423	rakennusten kerrosala/ taajama-ala**	rakennusten kerrosala/ taajama-ala**
d	asukaskohtainen taajama-ala	taajama-ala -0,423	taajamaväestö -0.422	taajamaväestö -0.450
e	taajama-ala	väkiluku	väkiluku	väkiluku

K2: esiselvityksen malli, jonka tieliikenteen energiankulutusarvoja korjattu.

A ja B: malleja, joiden tieliikenteen energiankulutusarvoja Ei ole korjattu.

C: malli, jonka tieliikenteen energiankulutusarvoja korjattu.

\*\* taulukosta on jätetty pois muuttuja kaikkien asuinrakennusten kerrosala/taajama-ala, samankaltaisuuden vuoksi

### 5.3.1 Taajamaväestön määrä ja kunnan väkiluku

Kunnan väkiluvulla ja taajamaväestön määrällä on selvä yhteys energiankulutustasoon. Taajamaväestön korrelaatioarvo on paras mallissa C ollen -0,450 ja heikoin mallissa B ollen -0,422. Kuten taulukosta 7 havaitaan, kaikissa kuntaryhmissä on energiankulutusarvoiltaan pieniä kuntia. Kunnissa, joissa taajamaväestön määrä sekä väkiluku ovat pieniä, energiankulutusarvot vaihtelevat kuitenkin huomattavasti (vrt. kuva 27).

Väkimäärältään suurimmissa kuntaryhmässä tieliikenteen energiankulutuksen hajonta ja keskiarvo ovat pienimmät. Keskihajonnan arvo ryhmässä I on 8,8, kun se kahdessa muussa ryhmässä jää 7,8 (II) ja 2,1 (III). Energiankulutuksen minimiarvot eroavat toisistaan kohderyhmien välillä hyvin vähän. Sen sijaan maksimiarvojen osalla ero on selvä.

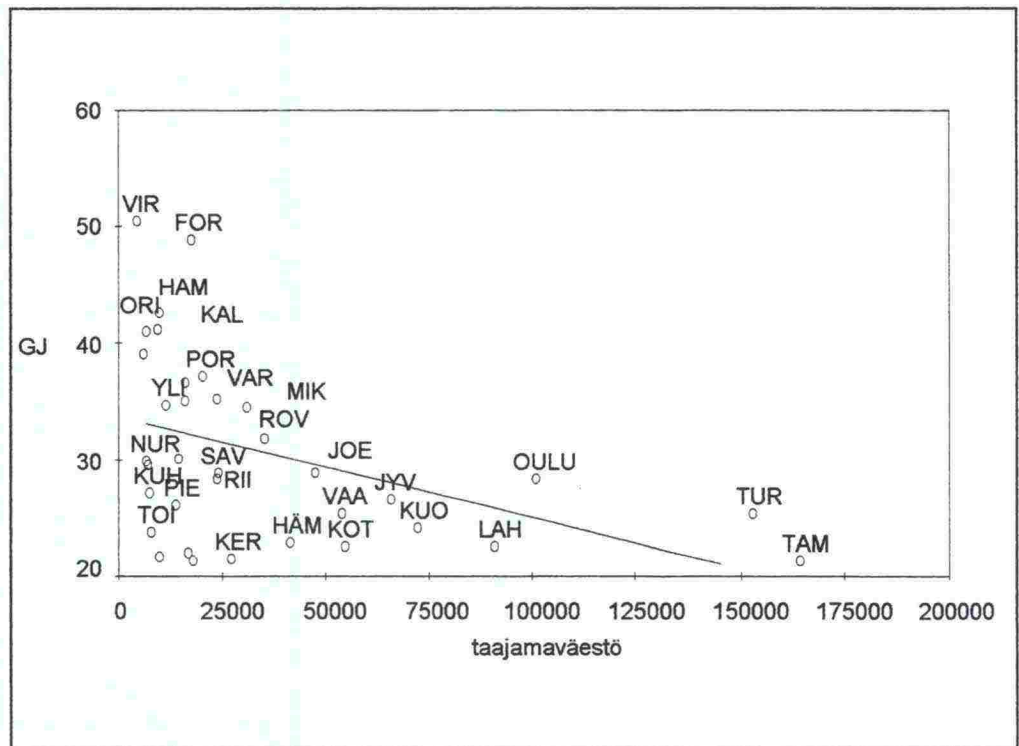
Väkiluvun ollessa alle 30 000 henkilöä kuntien tieliikenteen energiankulutustasossa ei ole säännönmukaisuutta. Arvot vaihtelevat huomattavasti kunnan väkiluvusta, taajamaväestön määrästä sekä maantieteellisestä sijainnista riippumatta. Kunnan väkiluvun ylittäessä n. 30 000 tapahtuu selvästi havaittava muutos (kuva 28). Näiden kuntien energiankulutustaso on selvästi alhaisemalla tasolla ja kulutusarvojen vaihtelu on vähäistä verrattuna alle 30 000 asukkaan kuntiin. Taajamaväestön ja tieliikenteen energiankulutustason yhteyttä kuvaava kuvio on samankaltainen kunnan väkiluvun kanssa.

Em. perusteella voidaan todeta, että kunnan väkiluvun (taajamaväestön) ollessa kunnassa alle 30 000 alkaa tieliikenteen energiankulutuksen vaihtelu suureta. Trendi on selvä.

*Väestömäärän pienetessä tieliikenteen todennäköisyys tieliikenteen energiankulutustason nousuun kasvaa. "Raja-arvona" voidaan pitää 30 000 asukasta.*

Tämä ei kuitenkaan merkitse sitä, että pelkkä kunnan tai taajaman väkimäärä selittää energiankulutustason eroja kuntien välillä. Vaikka väkiluvun kasvu ja energiankulutuksen välillä on aineiston perusteella yhteys, ei muuttujan perusteella voida tehdä liian suoria päätelmiä edullisesta kaupunkirakenteesta. Tähän tarvitaan yksityiskohtaisempaa tietoa.

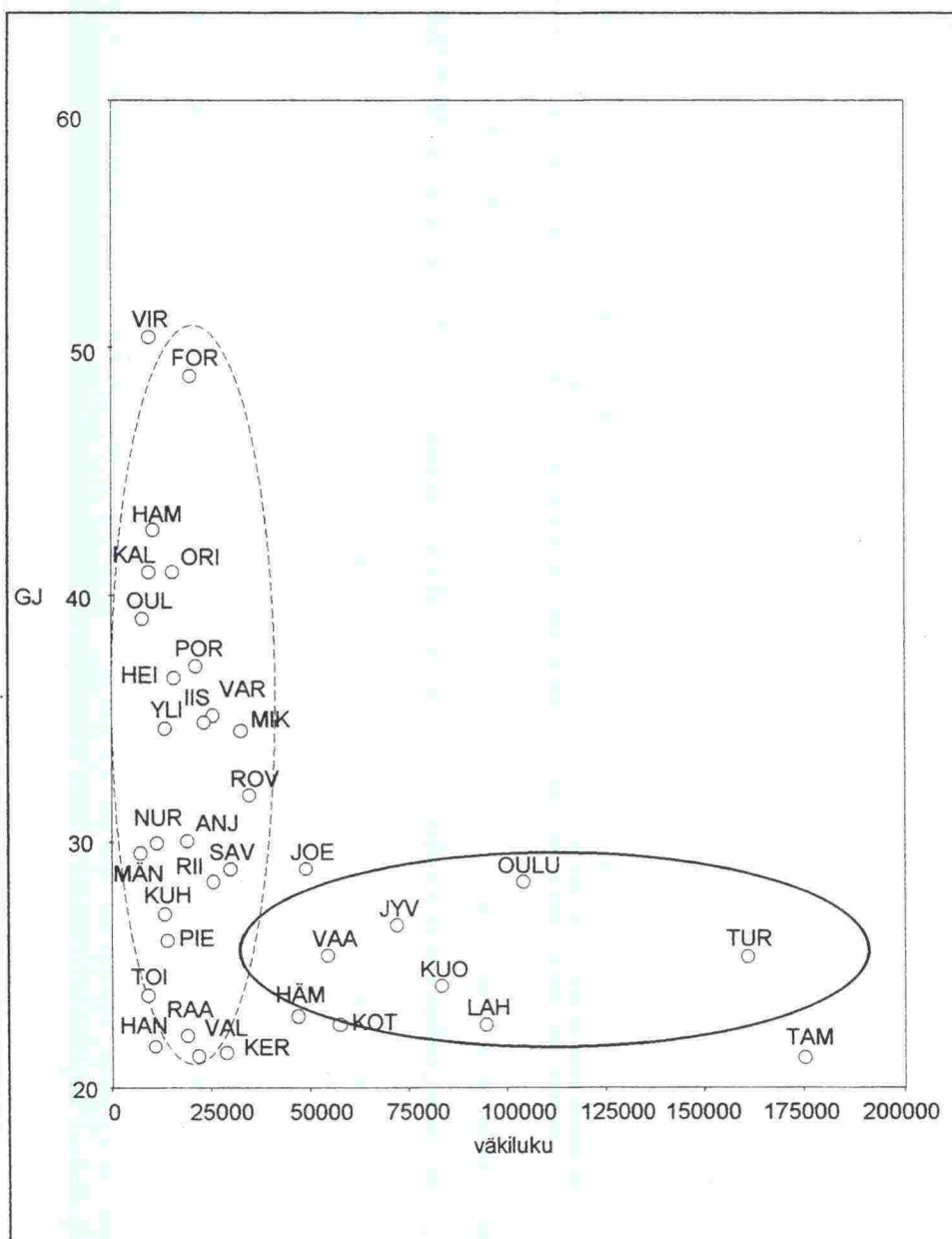
Pienemmät tieliikenteen kulutusarvot kunnissa, joissa väkiluku ja taajamaväestö on suuri, johtunee todennäköisesti myös näiden kuntien monipuolisemmasta kulkumuotojakautumasta. Tiiveys mahdollistaa autonkäytölle vaihtoehtoisten kulkumuotojen, kuten joukkoliikenteen ja kevyenliikenteen hyödyntämisen.



Kuva 27. Taajamaväestön ja tieliikenteen energiankulutuksen suhde.

Taulukko 7. Tunnuslukuja tieliikenteen energiankulutusarvoista kuntaryhmittäin.

	kuntaryhmät		
	alle 20 000 as.	20 000 - 50 000 as.	yli 50 000 as.
keskiarvo	33,4 GJ	31,5 GJ	25,2 GJ
keskihajonta	8,8	7,8	2,1
mediaani	32,5 GJ	31,2 GJ	25,5 GJ
maksimi	50,6 GJ	49,1 GJ	29,1 GJ
minimi	21,9 GJ	21,5 GJ	21,6 GJ



Kuva 28. Tieliikenteen energiankulutuksen ja kuntien väkiluvun suhde. Kuntien väkiluvun pienetessä tieliikenteen energiankulutuksen hajonta ja arvot kasvavat. Regressioyhtälö:  $Y=33,7-8,1E-5X$ , jossa Y on asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus ja X kunnan väkiluku. Korrelaatiokerroin 0,4194 ja merkitsevyystaso 0,0121.

### 5.3.2 Tiiveydellä on yhteys tieliikenteen energiankulutukseen

Maankäytön tiheyttä kuvaavien tekijöiden yhteisenä tekijänä on tiiveyden myönteinen vaikutus energiankulutustasoon. Muuttujien arvon kasvaessa säävutetaan alhaisempi energiankulutustaso. Erityisesti tekijöillä, kuten asukas-kohtaisella taajama-alalla, taajamarajan pituudella taajama-alaa kohden sekä rakennusten yhteenlasketulla kerrosalalla taajama-alaa kohden, saatiin hyviä korrelaatioita tieliikenteen energiankulutuksen kanssa.

Lähtökohtana tiiveyden merkityksen tarkastelulle on oletus, että

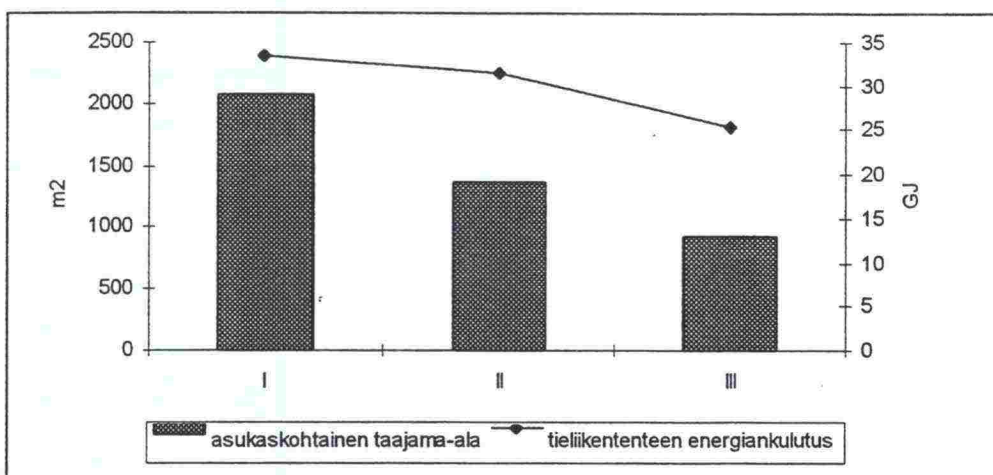
*kaupunkirakenteen tiiveydellä ja etäisyydellä, jonka ihmiset joutuvat matkustamaan, on vuorovaikutus. Kuljettavan matkan etäisyys puolestaan vaikuttaa henkilöauton käytön todennäköisyyteen.*

Tiiveyttä tarkastellaan pääosin eri suhdelukujen valossa. Esim. pelkkä taajama-ala ei kuvaa hyvin tätä yhteyttä. Taajama-alan määrä ei kerro kuinka tehokkaasti maata on käytetty. Taajama-alan korrelaatioarvo on hyvä  $-0,423$  (malli A), koska yleistäen voidaan sanoa suurella korkean asukastiheyden omaavalla kunnalla olevan luonnollisesti suuren taajama-alan.

Seuraavassa on käsitelty lähemmin niitä muuttujia, jotka viittaavat hyvään vuorovaikutukseen tieliikenteen energiankulutuksen kanssa.

#### 5.3.2.1 Asukaskohtainen taajama-ala

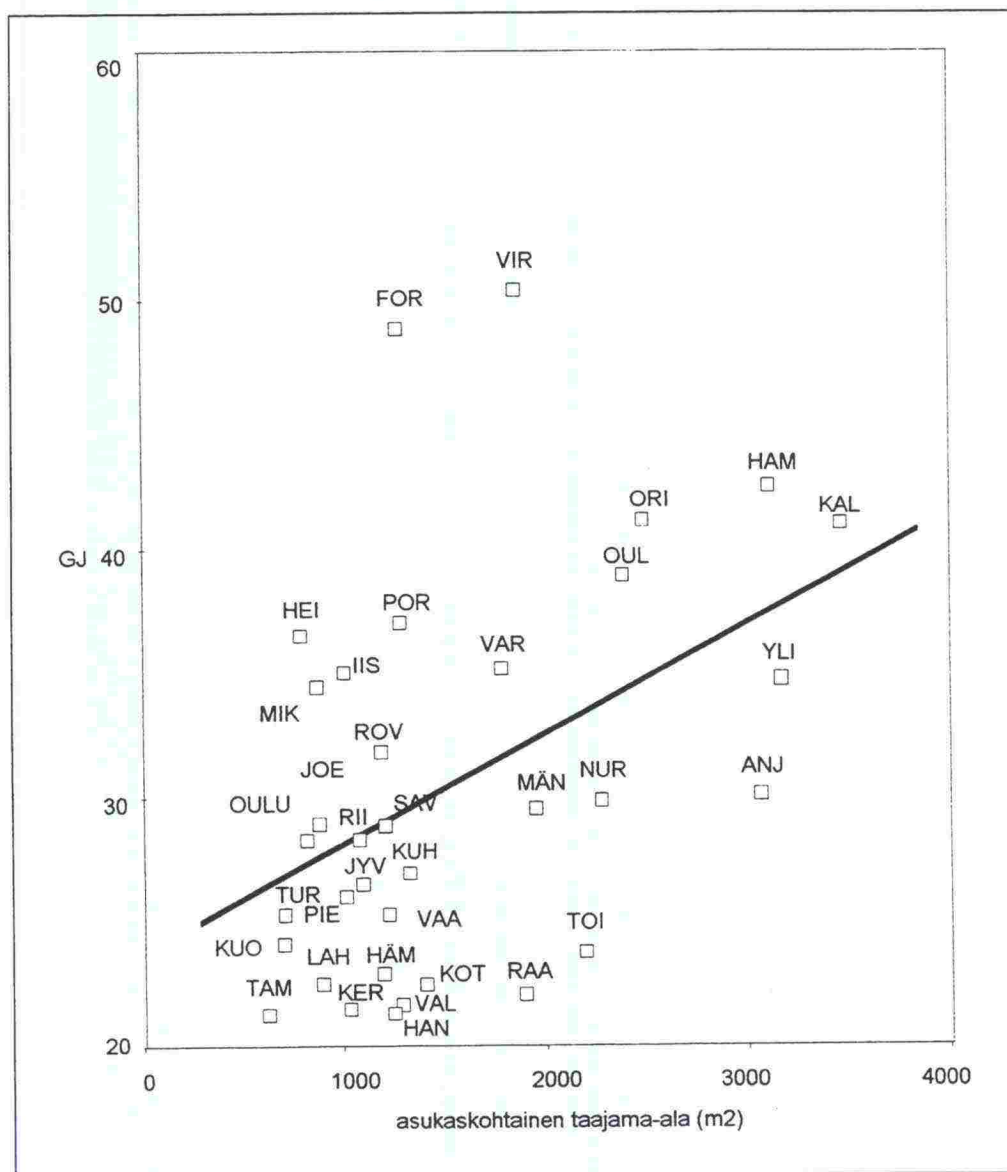
Asukaskohtaisen taajama-alan korrelaatiokertoimet, jotka yhden muuttujan tapauksessa ovat samat kuin standardoidut regressiokertoimet, vaihtelivat mallista riippuen välillä  $0,441$  (A) -  $0,562$  (C) merkitsevyytensä ollessa  $0,001-0,008$ . Positiivinen etumerkki muuttujassa merkitsee, että asukaskohtaisen taajama-alan kasvaessa tieliikenteen energiankulutus lisääntyy. Kun taajama-asukkaalla on "käytössään" enemmän tilaa, on todennäköistä, että liikenteen energiankulutustaso on korkeammalla.



Kuva 29. Asukaskohtaisen taajama-alan ja tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvot tutkituissa kohderyhmissä.

Taajama-ala jakautuu taajamassa asuvia ihmistä kohden kohderyhmissä eri tavoin. Suurehkoissa yli 50 000 asukkaan kunnissa asuvalla henkilöillä on käytössään pienin taajama-ala henkilöä kohden. Tämä tukee tulkintaa, että tieliikenteen energiankulutuksen tason muuttuminen on yhteydessä asukas-kohtaisen taajama-alan muutoksen kanssa.

Kuvan 30 perusteella eräänä muutoskohtana voidaan pitää asukaskohtaista taajama-alan lukuarvoa  $2\,200\text{ m}^2/\text{asukas}$ . Raja-arvon vasemmalla puolella sijaitsevien kuntien hajonta on vähäisempää kuin oikealla puolella olevien. Raja-arvon ylittävien kuntien tieliikenteen energiankulutusarvot ovat keskimäärin suurempia. Kunnissa, joiden asukaskohtainen taajama-ala on yli  $2\,200\text{ m}^2$  tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvo on  $37,1\text{ GJ/as}$  ( $n=7$  kpl), kun se muiden osalta on  $29\text{ GJ/as}$  ( $n=28$  kpl). Asukaskohtaisen taajama-alan keskijonon suuruus ( $258,9$ ) ryhmässä III on selvästi pienempi kuin kahdessa pienemmässä kuntaryhmässä I ja II ( $807,6$  ja  $604,8$ ).



Kuva 30. Asukaskohtaisen taajama-alan ja asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde. Malli A,  $n=35$ . Regressioyhtälö:  $Y=23,8+0,0045X$ , jossa Y on asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus ja X asukaskohtainen taajama-ala. Korrelaatiokerroin  $0,4406$  ja merkitsevyystaso  $0,0081$ .

Raja-arvot perustuvat tämän tutkimuksen aineistoon ja niitä ei voi yleistää koskemaan muuta kuin tätä tutkimusjoukkoa. Ne voivat kuitenkin antaa viitteitä mielekkästä kaupunkirakenteesta.

#### Muuttujan merkitys kohderyhmien sisällä

Asukaskohtaisen taajama-alan korrelaatioarvot vaihtelevat huomattavasti eri kohderyhmien sisällä. Paras arvo saavutetaan ryhmässä I, alle 20 000 asukkaan kunnat, jonka korrelaatioarvo on 0,444 (A). Kuten aikaisemmin todettiin tällä on vähäisempi merkitys kuin kaikkien kohdekuntien tarkastelulla kokonaisuutena.

#### **Asukastiheyden mittaamisesta**

Eri tutkimuksissa esitettyjen asukastiheyksien vertaaminen on vaikeata. Näin on erityisesti silloin, jos verrataan asukastiheyksiä Pohjoismaiden ulkopuolella tehtyihin tutkimuksiin. Esim. Sherlock (1991) puhuu asuntoalueiden asukastiheydestä (*net densities of residential areas*), joka sulkee pois ei-asunto käytössä olevan maan ja rakentamattoman maan (*open space*) ja on siten n. kolme kertaa suurempi kuin "karkea" asukastiheys (*gross density*). Viimeksi mainittu luku saadaan jakamalla asukasluku kaupunkialueen koolla. Lukua käyttivät mm. Newman ja Kenworthy (1989). Duncan McLaren mukaan em. käsitteiden ero havainnollistuu vertaamalla Lontoosta laskettuja em. määritelmien mukaisia arvoja. Karkean asukastiheyden (*gross density*) määritelmän mukaan Newman ja Kenworthy laskivat Lontoon asukastiheydeksi 56 henkilöä/hehtaari, kun keskimääräinen asuntoalueiden asukastiheys (*net densities of residential areas*) Lontoossa on 168 henkilöä/hehtaari. Tässä tutkimuksessa lasketut taajamakohtaiset asukastiheydet vastaavat lähinnä Newman & Kenworthyn käyttämää gross density määritelmää /9/.

Tästä johtuen on vaikea määritellä konkreettisesti mikä on 'korkea' ja 'matala' asukastiheys. Ne asukastiheydet, joita Suomessa saavutetaan suurimmissa kaupungeissa, luokiteltaisiin Pohjoismaiden ulkopuolisissa tutkimuksissa alhaisiksi tai erittäin alhaisiksi. Suomen osalta vain pääkaupunkiseutu on asukastiheydeltään vertailtavissa niihin suurkaupunkeihin, joissa useat tieliikenteen energiankulutusta tutkivat selvityksen on tehty. Suurimmassa kaupungeissa ja niissäkin vain ydinkeskusta alueilla (2-3 km säteellä) asukastiheys nousee keski-euroopan tasolle. Em. syystä tämän selvityksen maininnat suomalaisen kaupunkirakenteen tiheästä tai matalasta asukastiheydestä tulee projisoida lähinnä pohjoismaiseen mittakaavaan ja tarkastella tästä lähtökohdasta.

#### **5.3.2.2 Taajamarajanpituus asukasta kohden**

Muuttujan *taajamarajanpituus asukasta kohden* korrelaatio arvo vaihteli rajoissa 0,513 (A) - 0,612 (C) merkitsevyytensä ollessa 0,000-0,002. Sen merkitys tieliikenteen energiakulutustasoa kuvaavana tekijänä on hyvä. Se kuvaa

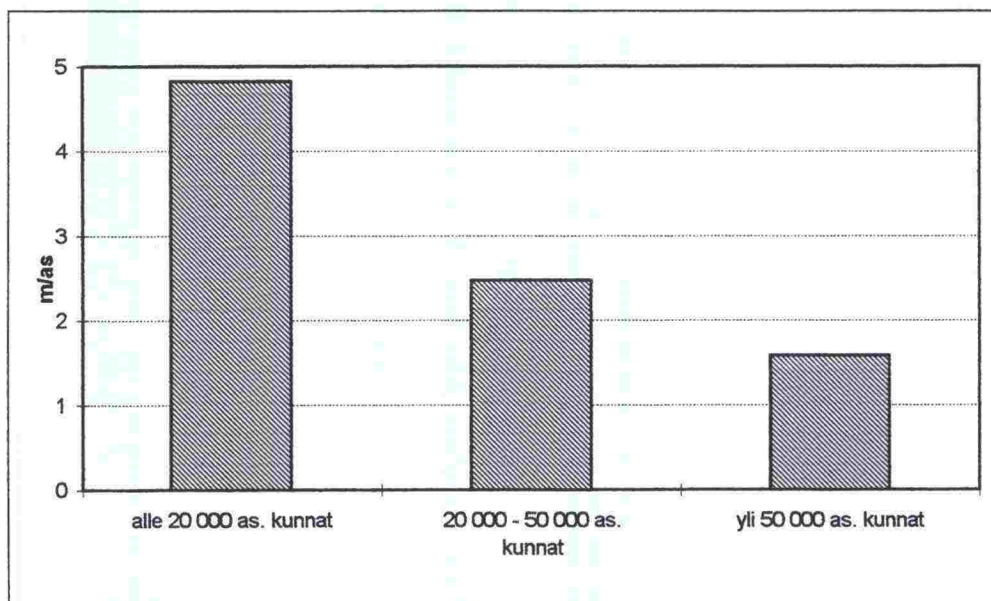
yhdessä em. asukaskohtaisen taajama-alan lisäksi kaupunkirakenteen asukastiheyttä. Mitä pienempi on asukasta kohden oleva taajamarajan pituus sitä tiiviimpi taajamarakenne on kyseessä.

Molempien muuttujien hyvät korrelaatioarvot vahvistavat esiselvityksen tuloksia, joiden mukaan tiiviimmällä kaupunkirakenteella on todennäköisesti matalampi tieliikenteen energiankulutusarvo. Kyseisten muuttujien merkitys oli tärkeä kaikissa malleissa. Päätelmää tukee kohderyhmien I-III keskiarvojen vertailu tieliikenteen energiankulutukseen.

*"Raja-arvona" asukaskohtaisen taajamarajan tapauksessa voidaan pitää lukuarvoa n. 5 m/asukas.*

Tämän arvon ylittävien kuntien tieliikenteen energiankulutusarvot ovat selvästi suurempia. Muuttujan arvon ollessa yli 5 m/as tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvo on 37,1 GJ asukasta kohden vuodessa (n=8 kpl), kun se muiden osalta on 28 GJ (n=27 kpl). Ryhmien keskihajonta on samaa luokkaa ollen 6,8 ja 6,5.

Taajamarajan pituuden merkitys muuttujana on aineiston perusteella vähäisempi kuin ym. suhdeluvun. Muuttujan korrelaatio vaihtelee, mallista riippuen, -0,315 (B) ja -0,346 (A) välillä.

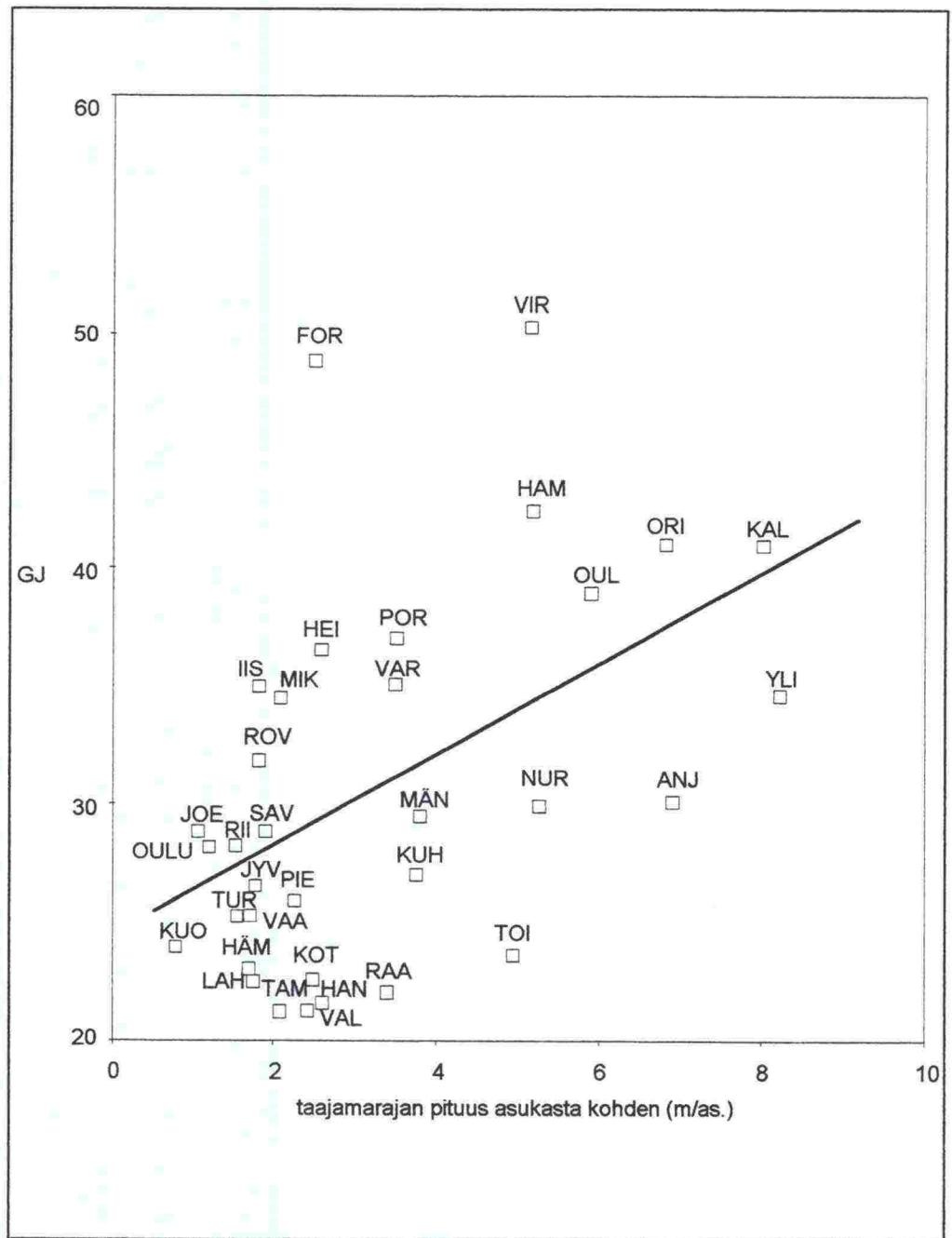


Kuva 31. Asukaskohtaisen taajamarajan pituuden kehitys eri kohderyhmissä.

#### Muuttujan merkitys kohderyhmien sisällä

Taajamarajan pituus asukasta kohden on taajamaväestön määrää kuvaavan muuttujan ohessa harvoja muuttujia, joilla on hyvä korrelaatio kaikissa kuntaryhmissä. Korrelaatioarvo on alle 20 000 asukkaan kunnissa -0,551 ja yli 50 000 asukkaan kunnissa -0,631 (malli A).





Kuva 32. Taajamarajan pituus asukasta kohden ja tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde. Malli A,  $n=35$ . Regressioyhtälö:  $Y=24,5-1,945X$ , jossa  $Y$  on asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus ja  $X$  taajamarajan pituus asukasta kohden. Korrelaatiokerroin 0,5132 ja merkitsevyystaso 0,0016.

### 5.3.2.3 Rakennusten kerrosala taajama-alaa kohden

Muuttujan korrelaatioarvo on mallissa A -0,387 ja C -0,462. Mallien perusteella taajaman yhteenlaskettujen rakennusten kerrosalan noustessa taajama-alaa kohden on todennäköistä, että tieliikenteen energiankulutustaso laskee. Ts. maankäytön tehokkuuden kasvaessa tieliikenteen energiankulutustaso todennäköisesti laskee.

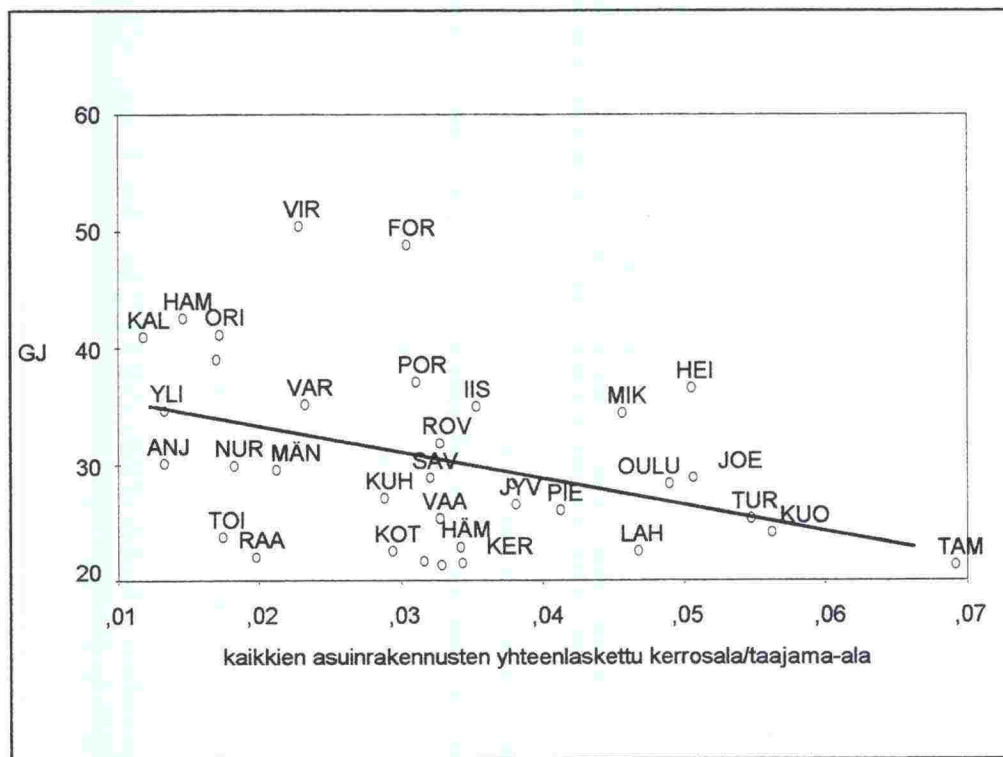
Lähes samaa asiaa kuvaa taajaman asuinrakennusten kerrosala taajama-alaa kohden. Mallissa A muuttujan arvo on jopa parempi (-0,401). Vastaavat rakennusten yhteenlasketut kerrosalat jaettuna taajamaväestöllä saavat heikoimpia arvoja.

*Raja-arvona ko. aineistossa voidaan aineiston perusteella pitää suhdelukua 0,025.*

Tämän suhdeluvun alle jäävien kuntien (n=14 kpl) tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvo on 33,7 GJ/as. Muiden kuntien keskimääräisen arvon ollessa n. 15 % pienempi. Asuinrakennusten kerrosala jaettuna taajama-alalla raja-arvona voidaan pitää 0,03. Tällöin tieliikenteen energiankulutuksen kannalta paremmalla puolella olevien kuntien (n=12 kpl) ka. on n. 35,1 GJ/as. ja muiden 28,3, joka on lähes viidesosan pienempi.

#### Muuttujan merkitys kohderyhmien sisällä

Eri kohderyhmien sisällä muuttujan korrelaation arvo jäi huonoksi. Syynä tähän ovat kuntien pieni määrä kunkin ryhmän kohdalla ja kohderyhmän luokittelusta johtuvasta kuntien samankaltaisuus. Tällöin tietyn muuttujan arvot voivat olla hyvin samantapaisia ja vaihtelu siten vähäistä.



Kuva 33. Taajaman yhteenlasketujen asuinrakennusten kerrosala jaettuna taajama-alalla ja tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde. Malli A, n=35. Regressioyhtälö:  $Y=37,9-225,05 \cdot X$ , jossa Y on asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus ja X asuinrakennusten kerrosala jaettuna taajama-alalla. Korrelaatiokerroin 0,4011 ja merkitsevyystaso 0,0169.

### 5.3.3 Tiiviin kaupunkirakenteen etuja

Selvityksen tulokset antavat viitteitä kaupunkirakenteen tiiveyden positiivisesta vaikutuksesta liikenteen energiankulutustason alenemiseen. Muuttujien, asukaskohtainen taajama-ala, taajamarajan pituus asukasta kohden ja rakennuskerrosalat taajama-alaa kohden, arvot kuvaavat tiiviin kaupunkirakenteen hyvää yhteyttä matalaan energiankulutustasoon.

Tiiviin rakenteen vastakohta, haarautuva ja laajeneva kaupunkirakenne, on väistämättä osaltaan autoriippuvainen. Peter Newmanin mukaan laajat pienen asukastiheyden omaavat taajamat ovat taloudellisesti tehottomampia, vähemmän ympäristöllisesti kestäviä ja sosiaalisesti epäoikeudenmukaisempia. Al-laolevassa on käsitelty eräitä yllämainittuja kohtia.

#### Taloudelliset syyt

- Uuden infrastruktuurin luominen on kallista.

*Taloudellisesti tiiviit kaupungit ovat laajalle levinneitä kaupunkeja edullisempia, koska uusien katu-, vesi-, viemäri- ja sähköverkoston luominen vaatii paljon pääomaa.*

- Matkustuskustannukset

*Matkakustannukset todennäköisesti lisääntyvät etäisyyksien ja matka-ajan kasvaessa.*

- Maanhukka on suurempi

*laajalle levinneessä kaupungissa maanhukka lisääntyy, koska kadut ja pajoitustilat vievät suhteellisesti enemmän tilaa.*

#### Ympäristön säilyminen

- Öljyn riittävyys, kasvihuoneilmiö (CO<sub>2</sub>:n lisääntyminen), savusumu, liikenteen aiheuttama melu, ympäristön miljöokuva ja onnettomuudet.

*Nämä aiheuttavat lisääntyvässä määrin ongelmia ilman puhtaudelle ja ympäristölle.*

#### Sosiaaliset ja inhimilliset syyt

- Osa väestöstä eivät voi tai heillä ei ole varaa käyttää henkilöautoa.

*Tällaisia henkilöitä ovat mm. liian nuoret ja vanhat, sairaat, liikuntarajoitteiset ja varattomat*

- Kaupungin elinvoimaisuuden ja vihreyden menettäminen,

*jos auto on kaupunkikuvassa liian dominoiva.*

Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna kasvavalla liikenteen määrällä on negatiivisia vaikutuksia ihmisten terveyteen. Seurauksena on mm. lisääntyneet ilman saasteet, melu, liikenneonnettomuudet, viihtyvyyden lasku kaupunkiympäristön muuttuessa yhä enemmän auton ehdoilla toimivaksi. Vaikka liikenne ei esimerkiksi ole ainoa hiilidioksidin (CO<sub>2</sub>) lähde, se aiheuttaa paikallisesti ilman epäpuhtausongelmia. Esimerkkinä mainittakoon maan pinnalla liikenteen aikaansaaman otsonipitoisuuksien esiintymisen tihentyminen.

Teknisten ratkaisujen, kuten katalysaattorien avulla tieliikenteen aiheuttamia ilman epäpuhtauksia voidaan rajoittaa. Eräiden arvioiden mukaan katalysaattorien yleistyminen tuo kuitenkin vain väliaikaisen helpotuksen ongelmaan ja päästöt alkavat kasvaa jälleen ensi vuosikymmenellä. Näin siitä huolimatta, että Suomessa ajoneuvojen ilmaan tuottamat epäpuhtaudet tulevat osaltaan vähenemään ajoneuvojen käyttäessä lyijytöntä bensiiniä ja katalysaattorien yleistyessä. Samoin ei tule unohtaa tulevaisuudessa mahdollisesti toteutuvia vaihtoehtoisia energianlähteitä.

Vaikka liikennemäärät jatkossa ehkä kasvavat, on todennäköistä, ettei liikenneonnettomuuksien kokonaismäärä Suomessa juuri kasva, johtuen liikenneturvallisuustyöstä ja sen tehostumisesta. Teoreettisesti henkilöautoliikenteen kasvu lisää onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyttä.

Tiivis kaupunkirakenne luo mahdollisuuden vähentää tieliikenteen energiankulutustasoa. Tämän seurauksena saatavat hyötyjä on verrattava niihin haittoihin, joita korkeasta asukastiheydestä seuraa. Tarkastelemalla kaupunkirakennetta pelkästään tieliikenteen energiankulutuksen näkökulmasta tiivis rakenne luo mahdollisuuksia vähentää energiankulutusta

- vähentämällä auton tarvetta
- lyhentämällä eri toimintojen välillä olevia matkapituuksia ja
- parantamalla kevyen liikenteen ja joukkoliikenteen edellytyksiä toimia henkilöautoilun houkuttelevana vaihtoehtona.

### **Vähentääkö tiivis kaupunkirakenne autoliikennettä?**

Tiivis kaupunkirakenne itsessään ei välttämättä vähennä autoliikenteen määrää ja polttoaineenkulutusta. On kuitenkin viitteitä siitä (mm. Newman & Kenworthy, 1992), että laajat matalan asukas- ja rakentamistiheyden omaavat kaupunkialueet kuluttavat enemmän energiaa, kuin ne kaupunkialueet, jotka ovat tiheämpiä asukasluvultaan ja rakenteeltaan. Toisaalta Susan Owensin mukaan eräiden tutkimusten tulokset antavat viitteitä siitä, että kaupungin muodolla ja asukastiheydellä olisi vähemmän merkittävämpi vaikutus energiatehokkuuden kannalta kuin asuntojen, työpaikkojen ja palveluiden sijoittumisella kaupunkialueella ja matkatottumuksilla niiden välillä. Ko. muuttujat liittyvät kuitenkin selvästi kaupunkirakenteeseen /10/.

Pohjoismaissa liikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välistä vuorovaikutusta on tutkinut mm. Petter Naess. Hän on todennut kaavoituksellisilla tekijöillä olevan huomattavaa merkitystä liikenteen energiankulutukseen. Merkittävänä kaavoituksellisena tekijänä hän on pitänyt asukaskohtaista taajama-alaa, jonka merkitys on tullut ilmi myös tässä tutkimuksessa. Lisäksi Naess on korostanut asutuksen ja työpaikkojen keskittymisellä olevan vaikutusta tarkasteltaessa kuntia kokonaisuuksina.

Tiiviin kaupunkirakenteen puolesta puhuu myöskin Bannister (1992). Hän osoittaa tutkimuksessaan, joka käsittelee asutusta South Oxfordissa (Iso-Britannia), että laajin asutus, jossa on eniten palveluja ja paras julkinen liikenne (ja korkein asukastiheys) oli energian käytöltään tehokkain ja omasi suurimman %-osuuden jalan tehdyistä matkoista.

Tiivis kaupunki mahdollistaa siirtymisen kevyenliikenteen kulkumuotoihin: kävelyyn ja pyöräilyyn sekä joukkoliikenteen edellytysten parantamisen. Tähän perustuvat suurelta osin tiiviin kaupunkirakenteen edut. Esimerkiksi Bannisterin (1990) mukaan alle 8 km (5 mailia) matkat voidaan helposti suorittaa pyörällä? Tutkimusaineiston (35 kpl kuntia) mukaan työmatkoista 75,9 % on alle 5 km ja yli 10 km:n matkoja on vain n. 15,6 %. Korkeammilla asukastiheyksillä ja tiiviimmillä kaupunkirakenteilla voidaan luoda puitteet liikennepolitiikalle liikenteen vähentämiseksi talouden ja ympäristön hyödyksi. Vähentyneen liikenteen seurauksena vapautuu liikenteeseen sitoutunutta aikaa ja rahaa, ruuhkan aiheuttamat kustannukset ja stressi vähenevät sekä ympäristöolosuhteet paranevat.

Isossa Britanniassa tehdyt tutkimukset (Bozeat et al. 1992 ja Tarry 1992) tukevat olettamusta asukastiheyden ja auton käytön välisestä yhteydestä. Bozeat et al. tutkivat matkustamisen suhdetta eri muuttujiin mukaanlukien mm. asukastiheys ja kaupunkikoko 12 asualueella Isossa-Britanniassa. Tutkimuksessaan he totesivat avaintekijöiden olevan maankäytön osalta asukastiheyden, kaupungin keskittymisasteen, asutuksen koon. Tarryn suorittamassa tutkimuksessa ei voitu vetää suoria johtopäätöksiä asukastiheyden ja autoilla suoritettujen matkojen osuuden välille. Hän toteaa kuitenkin jalan suoritettujen matkojen osuuden olevan suoraan suhteessa asukastiheyden kanssa. Myös Tarry päättelee hajaantuneen ja matalan asukastiheyksisen (kaupunki) mallin olevan epäedullinen, jos tavoitteena on matkojen pitäminen lyhyenä /9/.

### 5.3.4 Työssäkäyntimatkat ja autoistuminen

#### Työssäkäyntimatkojen pituudet

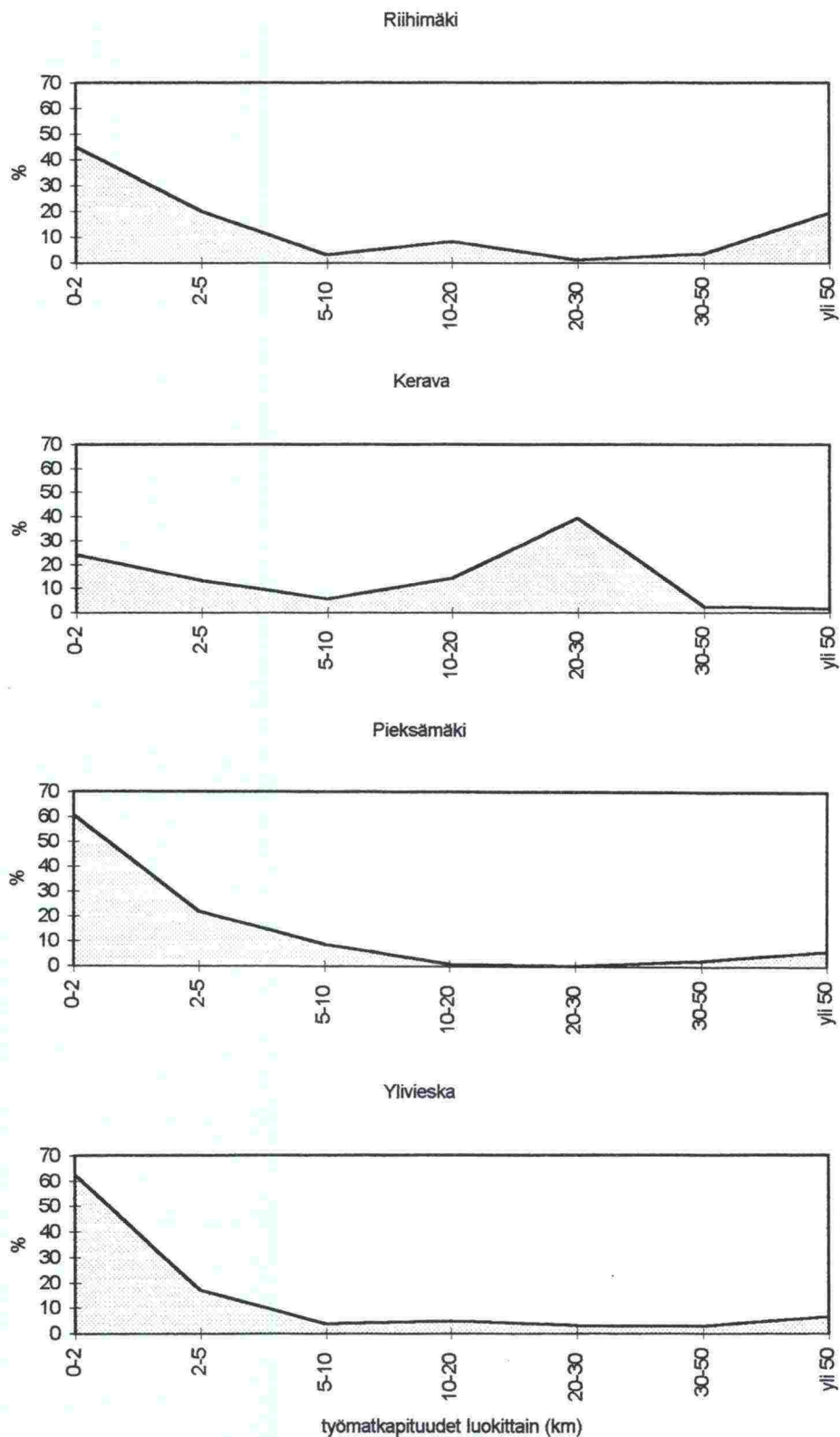
Työmatkojen kasvaviin pituuksiin vaikuttavat mm. vanhojen perinteisten teollisuuden kuoleminen kaupungin keskustassa tai muuttuminen paremmin keskusta-alueen luonteeseen soveltuvaan tarkoitukseen. Toisaalta uudet palvelut ja high-tech-teollisuus ovat siirtyneet osin pienempiin kuntiin tai

suurempien kaupunkiseutujen ympäristökuntiin, joissa maan hinta on halvempaa ja liikennöintiyhteydet ovat hyvät. Näin työpaikkojen lisääntyminen ei ole sijoittunut keskusta-alueille, vaan viimeisien vuosikymmenien suuntauksena on ollut työpaikkojen hajaantuminen. Työmatkojen pituuksien kasvua on esimerkki yhdyskuntarakenteen hajoamisesta ja autoistumisen tason noususta. Aikaisemminhan kaupunkirakenteen hajoamista rajoittivat kävellen tai pyöräillen suoritettavat työmatkojen pituudet.

Asukasluvultaan suurimmissa kunnissa lyhimpien työmatkojen osuus on pienin. Tutkituissa kunnissa työmatkoista alle 2 kilometrin pituisia on 58,5 % ryhmässä I, 44,7 % ryhmässä II ja 33,1 % ryhmässä III. Tämä johtuu taajamarakenteen kokoeroista. Yli 50 000 asukkaan kaupungeissa asuntojen ja työpaikkojen etäisyydet ovat luonnollisesti pidempiä kuin pienissä alle 20 000 asukkaan kunnissa. Keskeistä sijaintia vaativat yritykset ja toiminnot syrjäyttävät asumiseen liittyvät toiminnot ydinkeskustasta.

On merkille pantavaa, että työmatkapituusluokissa 2-5 km ja 5-10 km prosentuaalisesti eniten matkoista tehdään ryhmässä III, yli 50 000 asukkaan kunnissa. Mallien korrelaatiokertoimen etumerkistä (-) ei voida vetää johtopäätöstä, jonka mukaan kasvava työmatkan pituus vähentäisi liikenteen energiankulutusta, vaan standardoidun regressiokertoimen arvo kertoo lähinnä työmatkapituuden tärkeästä merkityksestä liikenteen energiankulutustasoon. Työmatkapituuden merkityksen parempi selvittäminen edellyttäisi asian tutkimista esim. asuinalueen kokoisissa yksiköissä.

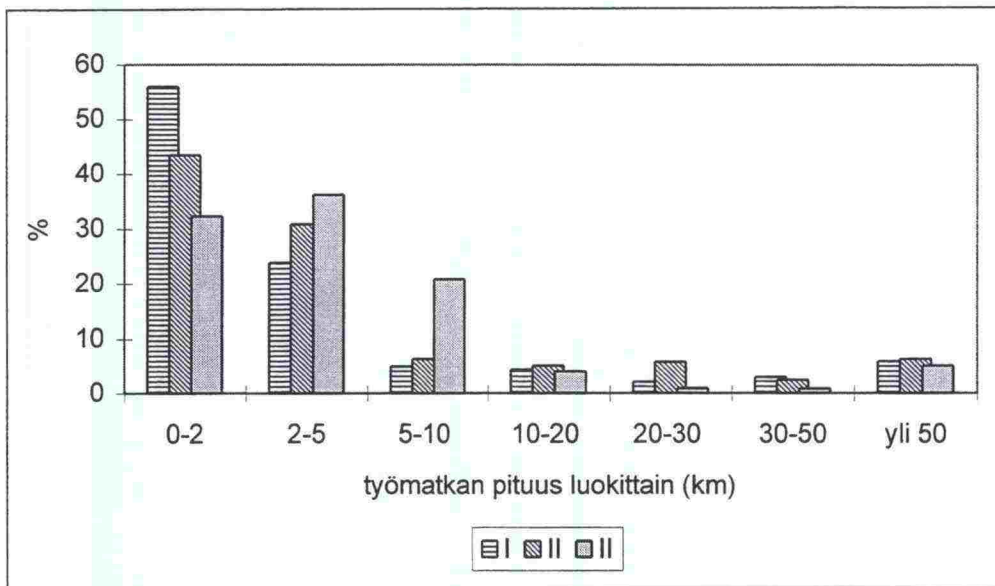
Esimerkkinä työmatkapituuksien voimakkaasta vaihtelusta on neljä kuntaa, joiden sijainti ympäristökuntiin nähden vaikuttaa voimakkaasti työmatkapituuksien jakautumaan. Verrattavat kunnat ovat asukasmääriltään lähes samaa kokoluokkaa. Ylivieskan ja Pieksämäen työmatkapituudet painottuvat voimakkaasti luokkiin 0-2 sekä 2-5 kilometriä, joiden yhteenlaskettu prosenttiosuus tehdyistä matkoista on 79 % (Ylivieska) ja 83 % (Pieksämäki). Molemmat kunnat ovat suhteellisen itsenäisiä. Niiden välittömässä läheisyydessä ei ole suurempaa kuntaa, joka houkuttelisi työvoimaa ympäristöstään. Tilanne on lähes päinvastainen Keravalla ja Riihimäellä. Lähistöllä on suuria kuntia, jotka vetävät työvoimaa lähiympäristöstään laajaltakin säteeltä. Lisäksi hyvät liikenneyhteydet (rauta- ja moottoritiet) mahdollistavat työssäkäynnin suhteellisen kaukanakin asuinkunnasta. Yli 10 km:n pituisten työmatkojen osuus kaikista työmatkoista oli Keravalla 57,2 % ja Riihimäellä 319 %, kun vastaavat luvut Ylivieskassa ja Pieksämäellä olivat 16,1 % ja 8,7 %. Kuntien työmatkajakautumaero pituusluokkien suhteen on huomattava.



Kuva 34. Esimerkki työmatkavuuksien jakautumisesta neljässä eri tutkimuskunnassa. Kyseessä taajamassa asuvat ihmiset.

Esiselvityksessä taajamassa asuvien ihmisten työssäkäyntimatkojen pituuk-  
sen yhteydet viittasivat yllättäen huonohkoon korrelaatioon liikenteen energi-  
ankulutuksen suhteen. Tarkasteltavana muuttujana olivat kuten myös tässä  
työssä kunnan taajamissa asuvien työssäkäyntimatkojen pituudet. Pituudet  
saatiin valmiiksi luokiteltuna aineistona.

Tämän selvityksessä työmatkojen merkitys on parempi. Mallissa *A*, jonka tu-  
loksia pidän luotettavimpina, työssäkäyntimatkojen pituuden korrelaatioarvo  
oli  $-0,389$ . Mallissa *B* standardoitun regressiokertoimen arvo oli  $-0,419$ . Eri-  
tisesti mallin *B* osalta muuttujan arvo on hyvä. Edellä ovat maankäytön tii-  
veyteen liittyvät muuttujat, joskin niukasti.



Kuva 35. Kohdekuntien taajamissa asuvien ihmisten työmatkojen pituus luokittain.

Työmatkaetäisyyksien vaikutusta arvioitiin ulkopaikkakunnalla työskentele-  
vien ihmisten osuudella koko väkiluvusta. Muuttujalla ei ollut aineiston pe-  
rusteella merkittävää yhteyttä liikenteen energiankulutuksen kanssa. Esim.  
mallissa *A* korrelaatioarvo oli  $-0,018$ . Tämä johtunee siitä, että samalla ei  
otettu huomioon ulkopaikkakuntalaisen työssäkäyntiä tarkastelukunnassa.  
Selvää kuitenkin on, että työmatkojen pituuden ja pitkien työmatkojen osuu-  
den kasvaessa lisääntyy myöskin liikenteen polttoaineenkulutus

Kohderyhmittäin verrattaessa suurin ulkopaikkakunnalla työssäkävien osuus  
on 20 000-50 000 asukkaan kunnissa. Osasyynä tällaiseen jakautumaan on  
kuntien sijainti. Merkittävä osa ko. kunnista sijaitsee suuremman keskuskun-  
nan läheisyydessä (esim. Riihimäki, Hämeenlinna, Valkeakoski, Kerava ja  
Porvoo). Tällöin on luonnollista, että tällaisessa kunnassa suhteellisesti suu-  
rempi osa työikäisestä väestöstä käy töissä lähiympäristön kunnissa.

Työpaikkojen sijaintiin liittyy myös teollisuuden sijoittuminen taajama-alu-  
eelle. Esiselvityksessä teollisuusrakennusten osuus koko rakennuskannasta  
sai mallissa *K2* hyvän korrelaatioarvon, jonka suhteen tutkimuksessa



esitettiin varaus. Muissa esiselvityksen malleissahan muuttujan merkitys oli huomattavasti vähäisempi. Jatkotutkimuksessa teollisuuden sijainnilla näyttäisi aineiston perusteella olevan yhteys tieliikenteen energiankulutukseen. Malleissa *A* ja *B* muuttujan arvo vaihteli -0,319 ja -0,443:n välillä.

Syynä voisivat olla esim. teollisuusrakennusten sijainnista johtuvat

- työmatkojen lyheneminen verrattuna tilanteeseen, jossa teollisuus on taajaman ulkopuolella.
- rakennusten "syrjäyttämä" asujaimisto taajamasta, joka näin ei lisäsi energiankulutusta.

Julkaisussa, Auton yhteiskunta (Tielaitoksen selvityksiä, 35/1995), Anders Jansson mainitsee erääksi huomionarvoiseksi tarkastelukohdaksi ko. taajamien historian. Eräissä vanhoissa teollisuustaajamissa teollisuus ei ole vielä siirtynyt voimakkaassa määrin taajaman ulkopuolelle ja tämä voi vaikuttaa tieliikenteen energiankulutukseen.

Teollisuuden sijoittamista taajama-alueelle rajoittavat sen aiheuttamat ympäristövaikutukset. Sana "teollisuus" antaa ihmisille osittain väärän mielikuvan voimakkaasti saastuttavasta toiminnasta, joka usein ei enää pidä paikkaansa. Tosin on huomattava, että teollisuuden sijoittuminen lisää todennäköisesti liikennemääriä ja sitä kautta melu- ja ilman epäpuhtauspäästöjä paikallisesti taajamassa.

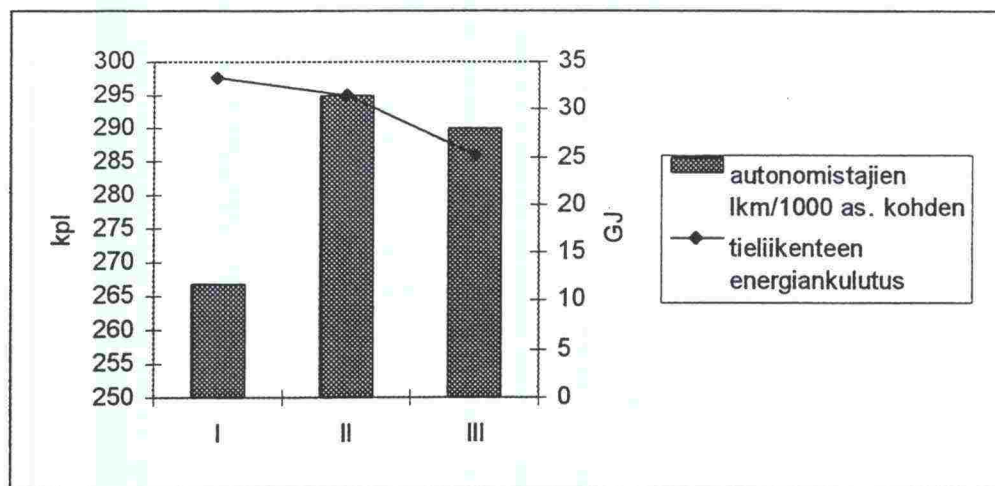
### **Autoistumisen taso**

Veli Himasen mukaan henkilöauton käyttö ei ole huomattavassa määrin sidoksissa yhdyskuntarakenteeseen ja auton hankkiminen liittyy varallisuuden nousuun eikä niinkään yhdyskuntarakenteesta johtuvista syistä. Autoistumisen tason nousu on osaltaan mahdollistanut yhdyskuntarakenteen hajoamisen.

Tässä selvityksessä paikkatietojärjestelmän kautta saatiin tietoja ei autojen määrästä, vaan autonomistajien määrästä taajamassa. Koska autonomistajalla voi olla useampiakin autoja, muuttuja ei anna oikeaa kuvaa esimerkiksi autojen määrästä 1000 asukasta kohden. Tämä tulee huomioida tarkastellessa tuloksia tämän muuttujan osalta.

Korrelaatioiden arvot jäivät maankäytön tiheyttä kuvaavia muuttujia pienemmiksi ollen välillä -0,092 (*B*) ja -0,221 (*A*). Huomionarvoinen ero esiselvitykseen on etumerkin muutos, jonka selittänee aineiston suurempi laajuus ja osittainen erilaisuus (vrt. autonomistajien lkm - autojen lkm). Vaikka maankäytön tiheyttä kuvaavat muuttujat saavat aineiston perusteella parempia korrelaatioarvoja on selvää, että autoistumisen taso vaikuttaa tieliikenteen energiankulutukseen.

Kuvassa 36 on tarkastelu ryhmittäin autojen määrää 1000 asukasta kohden. Havaitaan, että kahdessa suurimmassa ryhmässä, 20 000-50 000 asukkaan ja yli 50 000 asukkaan kunnissa autojen lukumäärä on suurin 1000 asukasta kohden. Kuitenkin keskiarvoina laskettuna näissä kunnissa tieliikenteen energiankulutus on pienempää asukasta kohden laskettuna. Tämä voisi olla viite muiden tekijöiden, kuin esim. automäärän vaikutuksesta tieliikenteen energiankulutukseen.



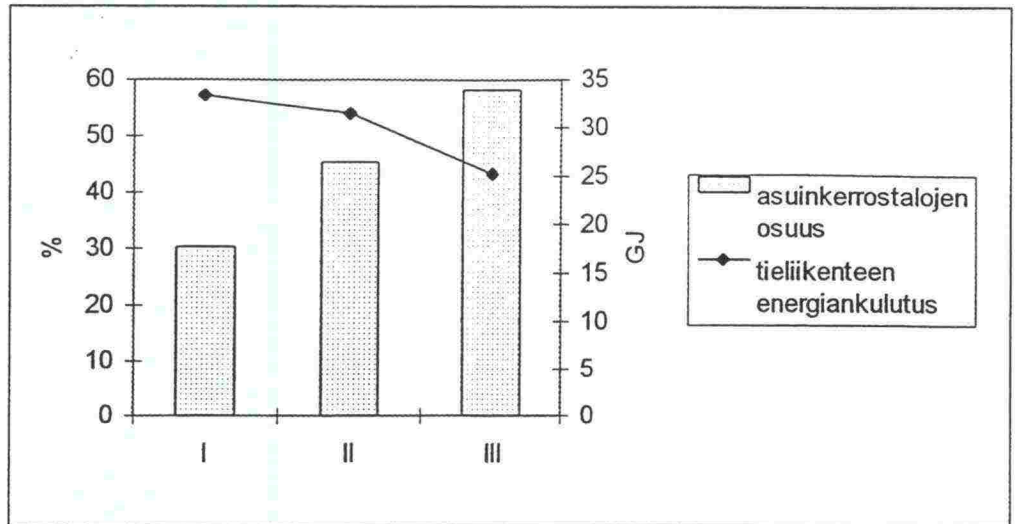
Kuva 36. Autonomistajien lukumäärä tuhatta-asukasta kohden ja tieliikenteen energiankulutus (GJ/as.) kohderyhmittäin.

### 5.3.5 Asumismuodon vaikutus

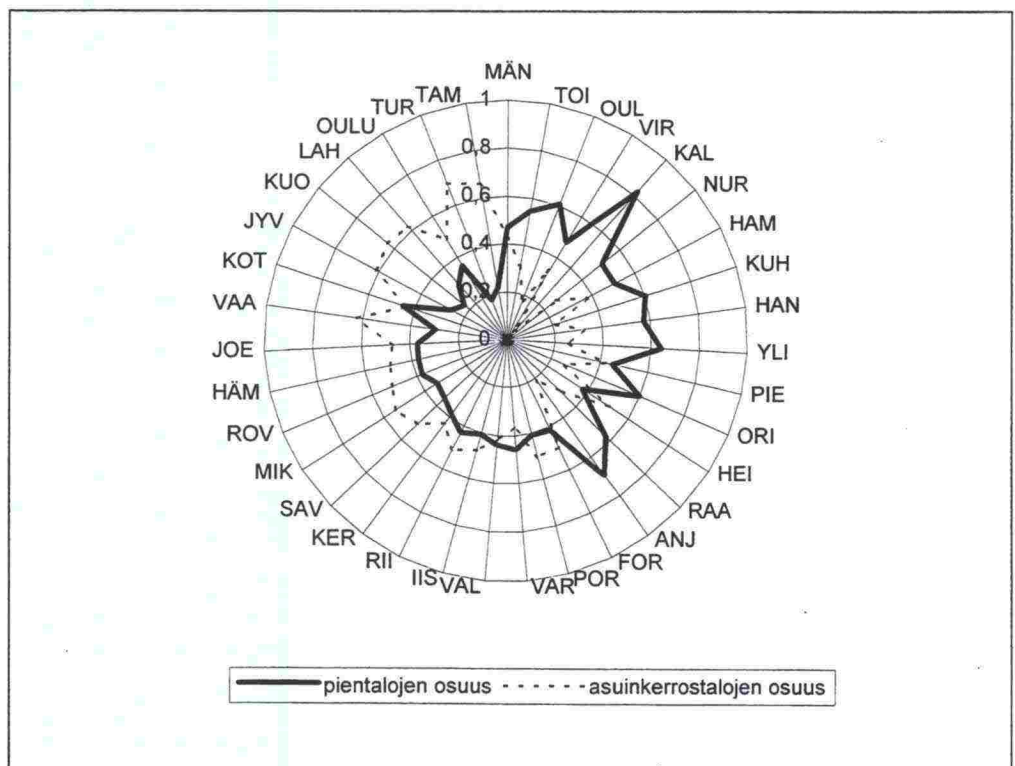
Kuten jo esiselvityksessä todettiin, kunnan yhdyskuntarakenteesta ja osittain liikenteellisistä ominaisuuksista antaa viitteitä eri asumismuotojen osuudet asuinrakennusten kerrosalasta. Kuten kuvasta 41. havaitaan asuinkekkosten %-osuudella asuinkekkosalasta on kasvava trendi asukasmäärän kasvaessa.

Tarkasteltavina muuttujina ovat tässä pientalojen ja asuinkekkosten osuudet asuinrakennusten kerrosaloista. Näiden muuttujien merkitys korostuu mallissa C, jossa muuttujat saavat arvot 0,446 ja -0,442 pientalojen korrelaatio ensinmainittuna. Aineiston perusteella voidaan yleistää sanoa, että mitä suurempi asuinkekkosten osuus yhteenlasketuista asuinrakennusten kerrosaloista on, sitä todennäköisempää on tieliikenteen energiankulutuksen pieni arvo. Pientalojen osuuden kasvun vaikutus on taas päinvastainen.

Asuinkekkosten suuri osuus asuinrakennuksista merkitsee jossain määrin tiiviimpää rakentamista ja kaupunkirakennetta. Pientalojen suuri osuus taas kertoo asutuksen vaatimasta suuresta tilasta ja taajamarakenteen laajenemisesta. Pientalothan sijaitsevat suurelta osin taajamien reuna-alueilla, jonne maan kallis hinta keskustassa ne työntää.



Kuva 37. Asuinkerrostalojen osuus asuinrakennusten kerrosaloista ja tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvot kohderyhmittäin.



Kuva 38. Asuinkerrostalojen ja pientalojen %-osuudet asuinrakennusten kerrosaloista kunnittain.

#### 5.4 Päätelmiä kaupunkirakenteen muuttujista

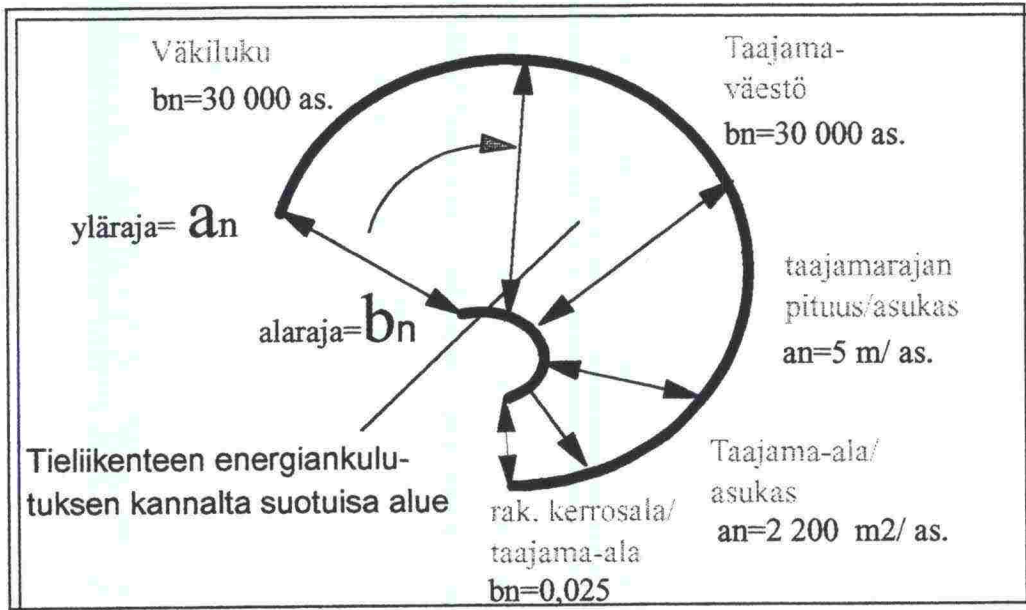
Kun kaupunkirakennetta tarkastellaan kokonaisuutena, aineiston perusteella saatujen tulosten mukaan parhaat korrelaatioarvot saatiin muuttujille, jotka liittyvät joko suoraan tai välillisesti kaupunkirakenteen tiiveyteen.

Matala tieliikenteen energiankulutustaso kunnassa on todennäköisempää jos:

- väkiluku on korkea
- taajamaväestön osuus on suuri
- taajamarajan pituus asukasta kohden on pieni
- taajama-ala asukasta kohden on pieni
- kaikkien rakennusten kerrosala taajama-alaa kohden on korkea
- asuinkerrostalojen osuus asuinrakennuksista on korkea

Lisäksi hyviä korrelaatioarvoja saivat taajama-ala ja työmatkojen pituus. Pääosin samat muuttujat kuin esiselvityksessä saivat hyviä korrelaatioarvoja tieliikenteen energiankulutusarvojen kanssa.

Tutkimusaineiston perusteella voidaan laatia jatkokeskustelua varten tutkimussuunnitelmassa esitetty karkea malli. Malliin on sijoitettu mielestäni tärkeimmät kaupunkirakenteen muuttujat tärkeysjärjestyksessä ja ehdotus niiden raja-arvoista. Muuttujasta riippuen ne muodostavat ala- tai ylärajan, jonka suotuisalle puolelle tulisi pyrkiä tieliikenteen energiankulutustason laskemiseksi.



Kuva 39. Ideakuva eri kaupunkirakenteen muuttujien vaikutuksesta tieliikenteen energiankulutukseen sekä niiden raja-arvoista.

Vaikka näiden tuloksien perusteella tiivis kaupunkirakenne on yhteydessä matalan liikenteen energiankulutustason kanssa, monet tutkijat kuten esim. Susan L. Handy (1992) kritisoivat tarkastelua pelkästään tiiveyden näkökulmasta. Handyn mukaan päätelmät siitä miten hyvin tiivis kaupunkirakenne vähentää esim. ei-työperäisiä matkoja ovat rajoitettuja. Hänen mukaansa paikallinen saavutettavuus (*local accessibility*) vaikuttaa enemmän matkojen muodostumiseen ja sitä kautta tieliikenteen energiankulutukseen. Handyn

päätelmät perustuvat mm. hänen tutkimukseensa kahdesta asuinalueesta (Santa Clara Valley ja Santa Rosa) San Fransicon alueella Yhdysvalloissa.

Taulukko 8. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien ja siihen liittyvien tekijöiden välisiä korrelaatiokertoimia. Sulkuihin on merkitty merkitsevyystaso.

muuttuja	analyysimallit		
	A n= 35 kpl	B n= 33 kpl	C n= 33 kpl
väkiluku	-0,419 (0,012)	-0,421 (0,014)	-0,448 (0,009)
taajamaväestö	-0,423 (0,011)	-0,422 (0,014)	-0,450 (0,009)
taajama-ala	-0,423 (0,011)	-0,381 (0,028)	-0,410 (0,018)
asukaskohtainen taajama-ala	0,441 (0,008)	0,546 (0,001)	0,562 (0,001)
asutokuntien lkm	-0,416 (0,013)	-0,419 (0,015)	-0,446 (0,009)
taajamarajanpituus*	-0,346 (0,045)	-0,315 (0,079)	-0,334 (0,062)
taajamarajan pituus asukasta kohden*	0,513 (0,002)	0,592 (0,000)	0,612 (0,000)
ulkopaikkakunn. työssäkäyvät/ väkiluku	-0,018 (0,917)	-0,023 (0,899)	0,032 (0,860)
automäärä**	-0,423 (0,011)	-0,418 (0,016)	-0,446 (0,009)
autoja/1000 as.**	-0,221 (0,202)	-0,092 (0,609)	-0,108 (0,549)
autoja asutokuntaa kohden**	0,220 (0,205)	0,316 (0,073)	0,321 (0,068)
työssäkäynti- matka***	-0,396 (0,018)	-0,419 (0,012)	-0,426 (0,013)

\* taajamarajanpituus käsittää koko taajaman, vaikka se leviäisi muiden kuntien alueelle. Huom! muut tiedot on pyritty rajaamaan kuntakohtaisiksi.

\*\* automäärä = autonomistajien lkm. Tämä antaa todellisuutta alhaisemman kuvan autoistumisen tasosta.

\*\*\* korrelaatio laskettu kontingenssitaulukon avulla valmiiksi luokitellusta aineistosta

Taulukko 9. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja asumismuotoja ja rakennuskantaa sekä niihin liittyvien suhdelukujen korrelaatiokertoimia. Sulkuihin on merkitty merkitsevyystaso.

muuttuja	analyysimallit		
	A n= 35 kpl	B n= 33 kpl	C n=33 kpl
pientalojen kerr.ala/ asuinrak. kerr.ala	0,336 (0,049)	0,419 (0,015)	0,446 (0,009)
kytk. pientalojen kerr.ala/ asuinrak. kerr.ala	0,098 (0,577)	0,084 (0,643)	0,104 (0,566)
asuinkerr. talojen kerr.ala/ asuinrak. kerr.ala	-0,337 (0,048)	-0,412 (0,017)	-0,442 (0,010)
pientalojen kerr.ala/rak. kerr.ala	0,315 (0,066)	0,428 (0,013)	0,443 (0,008)
kytk. pientalojen kerr.ala/ rak. kerr.ala	0,102 (0,561)	0,118 (0,513)	0,138 (0,445)
asuinkerr. talojen kerr.ala/rak. kerr.ala	-0,356 (0,036)	-0,398 (0,022)	-0,429 (0,013)
pientalojen kerr.ala/taajama-ala	-0,280 (0,104)	-0,290 (0,101)	-0,293 (0,980)
kytk. pientalojen kerr. ala/ taajama-ala	-0,332 (0,051)	-0,358 (0,041)	-0,371 (0,034)
asuinkerr. talojen kerr.ala/ taajama-ala	-0,379 (0,025)	-0,405 (0,019)	-0,433 (0,012)
rak. kerr.ala/ taajama-ala	-0,387 (0,022)	-0,437 (0,011)	-0,462 (0,007)
rak. kerr.ala/ taajamaväestö	0,143 (0,411)	0,001 (0,996)	-0,011 (0,952)
asuinrak. kerr.ala/ taajamaväestö	0,254 (0,141)	0,293 (0,098)	0,280 (0,115)
asuinrak. kerr.ala/ taajama-ala	-0,401 (0,017)	-0,427 (0,015)	-0,451 (0,008)
teoll.rak. kerr. ala/ rak. kerr. ala	-0,036 (0,839)	-0,103 (0,567)	-0,078 (0,666)
teollisuusrak. kerr.ala/taajama-ala	-0,319 (0,062)	-0,434 (0,012)	-0,443 (0,010)

Taulukko 10. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja merkittävimpien kaupunkirakennetta, asumismuotoa ja rakennuskantaa kuvaavien muuttujien sekä niihin liittyvien suhdelukujen välistä korrelaatiokertoimia jaoteltuna kohderyhmittäin. (MALLI A). Sulkuihin on merkitty merkitsevyystaso.

muuttuja	Malli A		
	kohderyhmät		
	< 20 000 as. kunnat n=14 kpl	20 000 - 50 000 as. kunnat n=12 kpl	> 50 000 as. kunnat n=9 kpl
väkiluku	-0,232 (0,423)	-0,412 (0,183)	-0,379 (0,315)
taajamaväestö	-0,399 (0,158)	-0,344 (0,274)	-0,364 (0,336)
taajama-ala	0,039 (0,895)	-0,246 (0,441)	-0,448 (0,227)
asukaskohtainen taajama-ala	0,444 (0,112)	0,042 (0,896)	-0,020 (0,960)
taajamarajan pituus asukasta kohden	0,551 (0,041)	0,259 (0,417)	-0,631 (0,068)
automäärä*	-0,274 (0,342)	-0,334 (0,289)	-0,320 (0,402)
asuinkerr. talojen kerr.ala/ asuinrak. kerr.ala	-0,157 (0,593)	0,169 (0,600)	-0,388 (0,302)
pientalojen kerr.ala/ rak. kerr.ala	0,125 (0,671)	-0,188 (0,588)	0,159 (0,682)
asuinkerr. talojen kerr.ala/ rak. kerr.ala	-0,113 (0,700)	-0,037 (0,910)	-0,523 (0,148)
asuinrak. kerr.ala/ taajama-ala	-0,253 (0,384)	-0,086 (0,792)	-0,155 (0,690)
asuinrak. kerr.ala/ taajamaväestö	0,669 (0,009)	0,037 (0,908)	-0,058 (0,880)
teollisuusrak. kerr.ala/taajama-ala	-0,276 (0,041)	0,337 (0,284)	-0,459 (0,214)

### 5.5 Monimuuttuja-analysit

Muuttujien ja tieliikenteen energiankulutuksen väliset yhteydet (korrelaatioarvot), eivät välttämättä ole osoituksena siitä, että niiden välillä olisi kausaalinen syy-yhteys. Kuten kohdassa 2.2.1 Tilastomatemaattiset menetelmät todettiin korrelaatioita esiintyy muuttujien välillä aiheutuen kolmesta eri syystä, joita ovat a. syy ja seuraus, b. variaatiolla on yhteinen syy ts. kummankin muuttujan vaikuttaa taustalla sama syy ja c. keskinäinen syy.

Jotta saisimme selville yhden muuttujan merkityksen, kun useita muita tekijöitä vaikuttaa yhdessä tieliikenteen energiankulutukseen, tehtiin monimuuttuja-analyysjä. Analyysissä käytettiin regressioanalyysi-menetelmää.

Monimuuttuja-analyysit suoritettiin erikseen valituilla tekijöillä, jotta sellaiset muuttujat, jotka ovat selvästi yhteydessä toisiinsa jäisivät pois. Näin estetään näiden tekijöiden aiheuttama multikollinearisuus. Selittävien muuttujien merkitystä arvioitiin neljällä eri menetelmällä. Nämä olivat: *Forward*, e. eteenpäin valikoiva, *Backward*, e. takaapäin poistava, *Stepwise* sekä *Enter* e. pakotettu menetelmä. Pakotettua menetelmää käytettiin arvioitaessa kolmen eri selittävän muuttujan yhteyttä tieliikenteen energiankulutukseen. Näitä yhdistelmiä muodostettiin yhteensä 47 kpl, joista parhaimmat tulokset antaneet on taulukoitu. Pakotetussa mallissa selittävien muuttujien rajoittaminen kolmeen johtuu kuntien pienestä lukumäärästä ja yllämainituista keskinäisistä riippuvuussuhteiden välttämistä.

Kun käytetään askelittaisia menetelmiä, huomataan vain muuttujalla, *taajamarajanpituus asukasta kohden*, olevan merkitsevä vaikutus asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen. Sen korrelaatioarvo tieliikenteen energiankulutuksen kanssa on 0.513 (*A*), joka kaksimuuttuja analyysin tapauksessa on sama kuin standardisoitu regressiokerroin. Tämä muuttuja selittää 26,3 % kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista. Mallissa *C* muuttuja selittää mallin mukaan 37,4 % kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista.

Backward menetelmän mukaan, jossa mallista poistetaan muuttujat, jotka ylittävät CRITERIA POUT ( $p$ ) -alikäskyssä määritellyn rajan, malliin tulee kolme muuttujaa. Merkitsevyysrajana on malleissa käytetty (CRITERIA POUT ( $p$ )) 0,10 ja (CRITERIA PIN ( $p$ )) 0,05. Takaperoisen mallin kolme selittävää muuttujaa ovat:

- taajamarajan pituus asukasta kohden
- taajamaväestön määrä
- pientalojen kerrosalan suhde asuinrakennusten kerrosalaan

Nämä muuttujat selittävät analyysimallin *B* mukaan 47,1 % ja mallin *C* mukaan 49,6 % kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista. Beta-kertoimet, joita käytetään muuttujien keskinäiseen vertailuun mallin sisällä, ovat taulukossa 12. Beta-arvojen perusteella voimakkain vaikutus on taajamarajan pituudella asukasta kohden, jonka beta-arvo on 0,931. Kertoimien etumerkeistä voidaan päätellä, että *taajamarajan pituuden asukasta kohden* kasvaessa myös asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus kasvaa.

*Taajamaväestön määrä* sekä *pientalojen kerrosalan osuuden asuinrakennusten kerrosalasta* kasvaessa tieliikenteen energiankulutustaso laskee. Nämä tulokset ovat yhdenmukaisia kaksimuuttuja-analyysin päätelmien kanssa.



Taulukko 11. Standardisoidut regressiokertoimet allaolevien muuttujien vaikutuksesta asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen. Malli A, n=35 kpl

selittävyys (R2)	0,44
taajamarajan pituus asukasta kohden	0,931 (0,0008)
taajamaväestön määrä	-0,562 (0,0078)
pientalojen kerrosalan suhde asuinrakennusten kerrosalaan	-0,834 (0,0110)

Jos malleissa korvataan *taajamarajan pituus asukasta kohden*, muuttujalla, *taajamarajan pituus*, ovat ne kolme muuttujaa, jotka alittavat merkitsevyytason: *asukaskohtainen taajama-ala*, *pientalojen kerrosalan suhde asuinrakennusten kerrosalaan ja taajama-ala*. Nämä muuttujat selittävät 36 % mallissa A olevien kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista. Muuttujien beta-arvojen etumerkit tukevat kaksimuuttuja-analyysin päätelmiä. Asukaskohtaisen taajama-alan kasvaessa energiankulutustaso nousee. Kun taas taajama-alan sekä pientalojen kerrosalan suhteen asuinrakennusten kerrosalasta kasvaessa, energiankulutustaso laskee.

Taulukko 12. Standardisoidut regressiokertoimet ao. muuttujien vaikutuksesta asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen. (Malli A).

selittävyys (R2)	0,36
asukaskohtainen taajama-ala	0,756 (0,0112)
pientalojen kerrosalan suhde asuinrakennusten kerrosalaan	-0,629 (0,0622)
taajama-ala	-0,542 (0,0078)

Pakotetun menetelmän avulla saatiin hyviä selittävyksiä mm. muuttujayhdistelmälle: *rakennusten kerrosala jaettuna taajama-alalla, taajamarajan pituus asukas kohden ja taajamaväestön määrällä*. Nämä muuttujat selittivät 41,2 % mallissa B energiankulutustason vaihteluista. Analyysi tukee kaksimuuttuja-analyysin päätelmiä lukuunottamatta muuttujaa, *rakennusten kerrosala jaettuna taajama-alalla*, jonka etumerkin mukaan tulisi kasvaessaan vaikuttaa tieliikenteen energiankulutustasoa nostavasti.

Taulukko 13. Monimuuttuja-analyysi asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja suhdelukujen välillä. Laskettaessa arvoja on käytetty eteenpäin valikoivaa (forward), takaapäin poistavaa (backward) ja askelittaista (stepwise) menetelmiä.

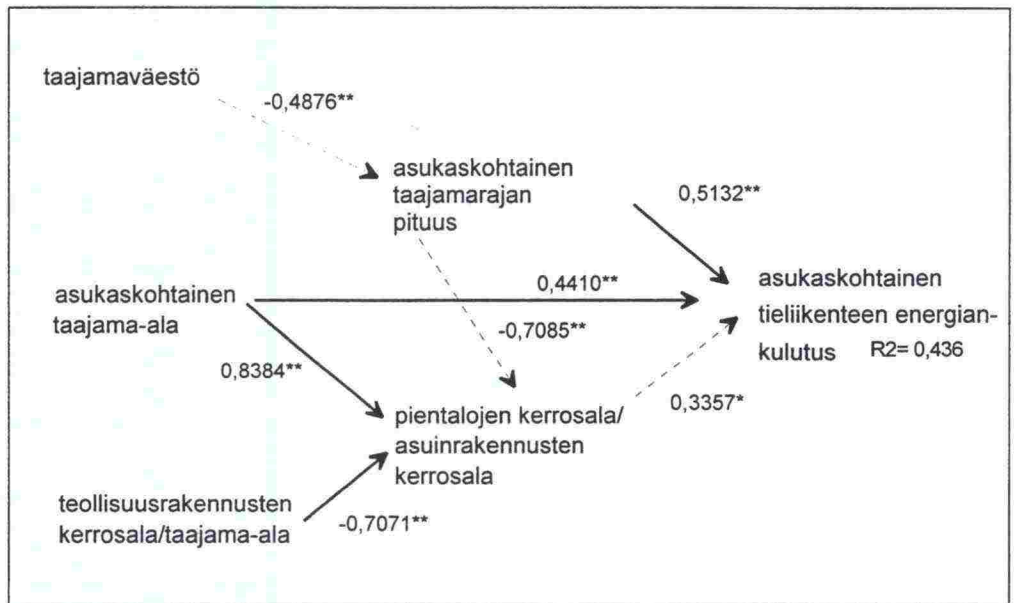
malli	menetelmä	muuttuja(t)	R	R <sup>2</sup>	F <sub>sig</sub>
A*	forward	TRAS	0,51	0,26	0,002
B*	..	TRAS	0,591	0,35	0,000
C*	..	TRAS	0,61	0,37	0,000
A*	backward	TV	0,660	0,44	0,000
		TRAS			
		PTKASR			
B*	..	TV	0,69	0,47	0,000
		TRAS			
		PTKASR			
C*	..	TV	0,7	0,5	0,000
		TRAS			
		PTKASR			
A*	stepwise	TRAS	0,51	0,26	0,002
B*	..	TRAS	0,591	0,35	0,000
C*	..	TRAS	0,61	0,37	0,000

\* multikollinearisuuden välttämiseksi kaikki muuttujat eivät ole mukana.  
lyhenteet: TV= taajamaväestö, TRAS= asukaskohtainen taajamarajan pituus ja PTKASR= pientalojen kerr. alan suhde yhteenlaskettujen asuinrakennusten kerr. alaan.

Taulukko 14. Monimuuttuja-analyysi asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja suhdelukujen välillä. Menetelmä pakotettu (enter). Selittävien tekijöiden määrä 3 kpl. Yhdistelmiä tutkittu 47 kpl, joista parhaimman tuloksen antaneet taulukoitu. Malli B (n=33 kpl, polttoainetietoja ei ole korjattu)

	F <sub>sig</sub> ⇒	0	0	0	0	0	0	0	0	0
muuttuja ↓	R <sup>2</sup> ⇒	0,38	0,39	0,38	0,43	0,41	0,44	0,37	0,38	0,39
	R ⇒	0,61	0,62	0,62	0,65	0,64	0,66	0,61	0,62	0,62
ASTA	X	X	X							X
AUTO	X			X						
KRTA				X	X	X				
KRTV							X			
TALA		X			X				X	X
TETA									X	
TRAS	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TV			X				X	X		

lyhenteet: ASTA = asukaskohtainen taajama-ala, AUTO = autonomistajien lkm/1000 henkilöä, KRTA = rakennusten kerrosala/taajama-alalla, TALA = taajama-ala, TETA = teollisuusrakennusten kerrosala/taajama-ala, TRAS = asukaskohtainen taajamarajan pituus ja TV= taajamaväestö.



Kuva 40. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavien eräiden tekijöiden selittävyysmalli. Nuolien yläpuolelle merkitty muuttujien väliset korrelaatioarvot. Alle 0,01 merkitsevyystasot on merkitty kahdella tähdellä ja yli 0,01 merkitsevyystasot yhdellä tähdellä.

## 6 TOIMINTOJEN SISOITTUMINEN

### 6.1 Taustaa

Maanhinta ja eri toimintojen tarpeet ovat edesauttaneet kaupunkien hajaantumista. Perusoletuksen mukaan saavutettavuus määrittää maanarvon eri käyttö/toimintamuodoille vaihtelevissa ympäristössä. Keskeinen sijainti maksimoi yhteydet tavarantoimittajiin ja markkinoille. Etäisyyden kasvaessa keskustasta lisääntyvät kuljetuskustannukset. Yhdessä muiden tekijöiden kanssa kuljetuskustannukset vaikuttavat päätöksiin toimintojen sijoittumisessa. Esim. keskustasijainti vähentää kuljetuskustannuksia, jotka ovat olennainen osa palveluiden hintaa.

Elizabeth Deakinin mukaan erikoistuneet yritykset, jotka vaativat face-to-face kontaktia muiden yritysten ja ihmisten kanssa, pyrkivät mahdollisuuksien mukaan sijoittumaan mahdollisimman lähelle ydinkeskustaa syrjäyttäen muita toimintoja sieltä. Syitä näiden yritysten sijoittumiseen kaupungin keskustaan ovat mm. henkilöstön korkeasta palkkarakenteesta aiheutuva ajan kalteus.

Samoin yritysten, jotka tuottavat tavaroita ja palveluja em. erikoispalveluja tuottaville yrityksille, mutta vaativat vähemmän face-to-face kontakteja, sijoittuvat lähelle ko. yrityksiä. Vaikka eräät erikoistuneet toiminnot ovat sidottuja tiettyyn paikkaan, osa yrityksistä voi valita sijaintinsa arvioimalla syntyviä kustannuksia ja saavuttamia etuja tietyssä paikassa. Teoriassa yritykset pyrkivät sijoittumaan paikkaan, jossa niiden kuljetuskustannukset ovat optimaalisella tasolla. Tämän seurauksena toiminnot kuten asutus, joiden sijainti ei ole yhtä riippuvainen keskustan läheisyydestä, siirtyvät ulommaksi kaupungin keskustasta. Samanaikaisesti ihmiset pitävät usein mielekkäämpänä asua kauempana työpaikoistaan.

#### Aineisto

Asuntojen ja työpaikkojen sijaintia taajamassa sekä maankäytön sekoittumisen ja liikenteen energiankulutuksen välistä yhteyttä tarkemmin yhdeksässä kunnassa. Tarkastelualueena on kunkin kunnan keskustaajama. Näistä on analysoitu tutkittujen muuttujien osalta tietoja 500 x 500 metrin ruuduissa. Tarkasteltavat kunnat jaoteltuna tutkimusryhmittäin ovat taulukossa 16. Yhteensä tutkittuja ruutuja oli 827. Aineistosta saadut maankäyttöä kuvaavat muuttujat on jaoteltu seitsemään laajempaan ryhmään taulukon 19 mukaisesti. Oso on valittu kuvaamaan koko kuntajoukon variaatioita, joten ryhmä koostuu asukasmäärältään vaihtelevista kunnista.

Taulukko 15. Kunnat, joissa tarkastellaan asuntojen ja työpaikkojen sijaintia taajamassa sekä niitä kuvaavia maankäyttöindeksejä.

	luokat		
	alle 20 000 as. kunnat	20 000 - 50 000 as. kunnat	yli 50 000 as. kunnat
kunnat	Mänttä, Kuhmo, Ylivieska, Oulainen ja Pieksämäki	Varkaus	Oulu ja Joensuu

## 6.2 Asuntojen ja työpaikkojen sijoittuminen kohdekunnissa

### Asunnot

Kuntakokoluokasta riippumatta asukas- ja työpaikkatiheys kasvavat lähestyttäessä keskustaa. Näin tapahtuu niin suurissa yli 50 000 asukkaan kunnissa, kuten Joensuussa ja Kotkassa, kuin myös pienissä alle 20 000 asukkaan kunnissa. Asuntojen ja työpaikkojen määrien kasvu etäisyyden kasvaessa on kuvattu yhdeksän kohdekunnan osalta liitteellä 1.

Tarkasteltavat kunnat voidaan jakaa kahteen eri sijoitusmalliin asuntojen ja työpaikkojen sijainnin perusteella. Nämä mallit ovat *keskustakeskitetty-* ja *palvelukeskusmalli*. Jako perustuu Eija Kivilaakson tutkimukseen sijaintipäättösten vaikutuksesta yhdyskuntien energiankulutukseen. Näiden lisäksi on neljä muuta mallia, *keskitetty sektori-*, *hajautettu sektorimalli* ja *kokonaan hajautettu malli* sekä *kehälle keskitetty malli*, joita edustavia kuntia ei mielestäni joukossa ollut /8/.

Keskustakeskitetyssä mallissa työpaikat ja palvelut sijaitsevat keskustassa ja asutus sekä viheralueet ovat sijoittuneet tasaisesti koko alueelle. Palvelukeskusta mallissa, johon kuuluvat mielestäni lähinnä suurimmat kunnat, tietyt palvelut sijaitsevat keskustassa. Asunnot ja työpaikat ovat jakautuneet tasaisesti koko taajaman alueelle.

Taulukko 16. Sijoittumisen vaikutus tieliikenteen energiankulutukseen. Arvot keskiarvoja

mallit	kaupungit	n	GJ/as
kuntakeskitetty	Mänttä, Oulainen, Kuhmo, Ylivieska ja Varkaus	5	33,3
palvelukeskitetty	Pieksämäki, Joensuu, Kotka ja Oulu	4	26,6

Asumisen ja työpaikkojen sijoittumisen e. lähinnä keskittymisen vaikutusta tarkasteltiin keskittymisindekseillä. Indeksien perusteella saatuja lukuarvoja verrattiin kaksimuuttuja-analyysillä tieliikenteen energiankulutukseen. Indeksit on määritelty alla:

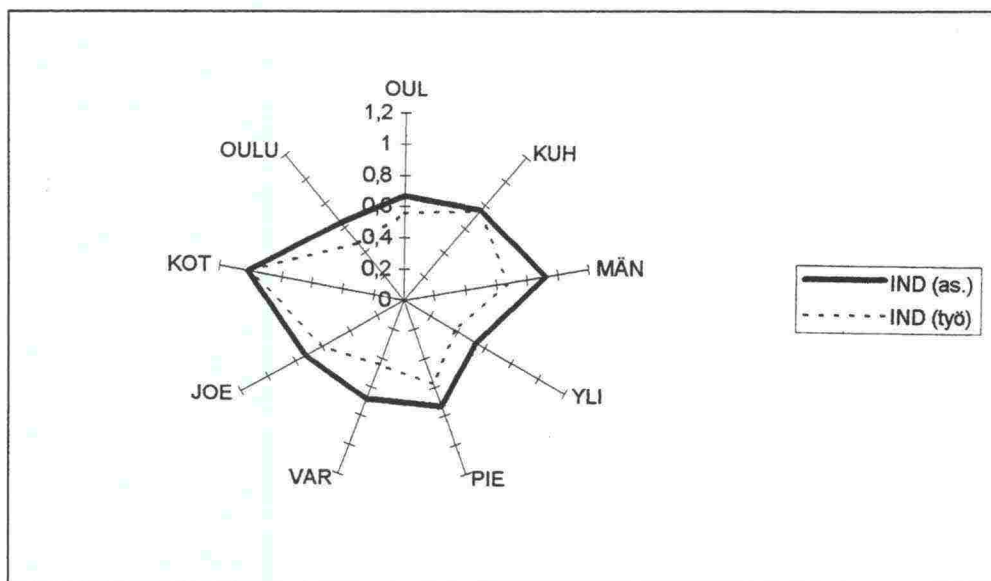
*asukkaiden keskittymisindeksi* ( $IND_{as}$ ) = taajaman asukkaiden keskimääräinen etäisyys aluekeskuksesta jaettuna alueiden maantieteellisen etäisyyden keskiarvolla.

*työpaikkojen keskittymisindeksi* ( $IND_{työ}$ ) = taajamassa sijaitsevien työpaikkojen keskimääräinen etäisyys aluekeskuksesta jaettuna alueiden maantieteellisen etäisyyden keskiarvolla.

Asukkaiden ja työpaikkojen keskimääräinen etäisyys taajaman keskustasta saatiin laskemalla ensin yksittäisen aineistoruudun etäisyys linnuntietä taajamakeskustaan. Tämän jälkeen saatu etäisyys kerrottiin, sillä väestö- tai työpaikkaosuuden kokonaismäärällä, joka sijaitsi ko. ruudussa. Jokaisen ruudun osalta saadut luvut laskettiin yhteen ja jaettiin tarkasteltavien ruutujen lukumäärällä. Maantieteellinen etäisyys laskettiin tarkasteltavien ruutujen etäisyyden keskiarvona taajamakeskuksesta. Taajamakeskuksen paikka on yleensä kirkko tai hallinnollinen keskus, joten tämä tekijä voi vaikuttaa erityisesti suurissa taajamissa tuloksia vääristävästi.

Mitä suurempi indeksin arvo on sitä tasaisemmin väestö tai työpaikat ovat jakautuneet taajama-alueelle. Indeksien ollessa 0 asujaimisto/työpaikat ovat sijoittuneet teoriassa taajaman keskustaan. Tarkasteltavien kuntien osalta asukkaiden keskittymisindeksi vaihteli välillä 0,537 - 1,02. Tekijä ( $IND_{as}$ ) sai korrelaatioarvon -0,644 ja  $IND_{työ}$  -0,697. Kaksimuuttuja-analyysin etumerkin (-) perusteella voidaan päätellä, että mitä suurempi keskittymisindeksi on taajaman asutuksen ja työpaikkojen suhteen, sitä matalampi on tieliikenteen energiankulutustaso.

Vaikka indeksien arvot näyttävät kasvavan taajamakoon kasvaessa, Oulun kohdalla ei käy näin. Syynä tähän ilmiöön on todennäköisesti Oulun taajamarakenteen voimakas leviäminen, jolloin alueen keskimääräinen etäisyys saa suuren arvon. Muuttuja, asukkaiden keskimääräinen etäisyys taajaman keskustasta, korreloi kohtuullisesti (-0,479) tieliikenteen energiankulutuksen kanssa.



Kuva 41. Asukkaiden ja työpaikkojen keskittymisindeksi kunnittain. Kunnat on lueteltu alkaen taajamaväestöltään pienimmästä. Trendinomaisesti indeksien arvot kasvavat taajamaväestön lukumäärän lisääntyessä.

Taulukko 17. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet.

muuttuja	analyysi mallit	
	A+ n = 9 kpl	C+ n = 9 kpl
asukkaiden keskittymisindeksi (INDas)	-0,644	-0,609
työpaikkojen keskittymisindeksi (INDtyö)	-0,697	-0,666
asukkaiden keskimääräinen etäisyys kuntakeskuksesta	-0,299	-0,479

### 6.3 Maankäyttömuotojen sekoittuminen

Usein käytettyä termiä *maankäyttömuotojen sekoittuminen* tai pikemminkin maankäytön sekoittumista kuvaa astetta on tutkittu harvoin. Eräät kansainväliset tutkimukset (Watt & Ayres 1974) ovat tuottaneet mittaindeksejä, mutta niiden käyttöarvo on kuitenkin rajallinen. Julkaisussa; *Mixed land-use and transport energy: defining the connection* kirjoittajat Neville, S.D, Campbell, R., Duxbury, M.L. & Newman, P.W.G. ovat pyrkineet kehittämään mittaindeksejä, joilla maankäytön sekoittumista voitaisiin kuvata. Näitä indeksejä on käytetty hyväksi tässä selvityksessä, joskin hieman muutettuina johtuen määritelmäeroista.

Mitattaessa maankäyttömuotojen sekoittumista (*mixed land-use*) joudutaan tarkastelemaan eri maankäyttömuotoja. Tällöin on tehtävä alustavia huomioita

- aineiston ja mittaindeksin sopivuudesta
- tutkittavan alueen koosta
- tulosten yhteydestä alueen liikenteen energiankulutukseen

### Indekseistä

Maankäyttömuotojen sekoittumista kuvaavat indeksit ovat kehittyneet *Wattin ja Ayresin indeksistä* (1), jossa maankäyttömuodot jaoteltiin työ- ja asuinalueisiin liittyviin toimintoihin. He totesivat, että mitä suurempi indeksi (I) sitä pienempi etäisyys työalueelta asuntoalueelle ts. sekoittuminen on voimakkaampaa. Indeksia kehitettiin edelleen *parannetuksi Wattin ja Ayresin indeksiksi* (2). Molempia indeksia rajoittaa niiden maankäyttömuotojen jaottelu vain kahteen - asuin- ja työalueisiin.

Indeksi, jota voidaan käyttää yksityiskohtaisemmassa työssä on  $I_L$ . Indeksi ( $I_L$ ) tarkastelee seitsemää päämaankäyttötyyppiä ja niiden määrää ruuduittain. Viimeksimainitun indeksin lisäksi on kohdekuntien osalta tarkasteltu asukastiheys indeksiä  $I_{pd}$  (4).

Indeksi  $I_L$  kuvaa toimintojen sekoittumista alueella. Indeksi  $I_{pd}$ , joka mittaa niiden ihmisten määrää (as/ha), joiden saavutettavissa ko. palvelut ovat. Teoriassa liikennetarpeiden tulisi vähentyä mitä suurempaa maankäyttömuotojen sekoittuminen on, koska palvelut ovat tällöin lähempänä.

Indeksien ( $I_L$  ja  $I_{pd}$ ) arvoja tarkastellessa oletetaan, että

*mitä suurempi indeksin arvo sitä voimakkaampi on maankäytön sekoittuneisuus ja suurempi palvelujen saavutettavuus.*

Kaavoja:

$$I = \frac{\sum (W + R \text{ ruudut})}{W \text{ ruudut}} \quad (1)$$

$$I = \frac{\sum (W + R \text{ ruudut})}{\text{kaikkien ruutujen summa}} \quad (2)$$

$$I_L = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{maankäyttömuodot eri ruuduissa}) \times 100}{\text{ruutujen yhteenlaskettu määrä} \quad 1} \quad (3)$$

$$I_{pd} = \frac{\sum \underline{IL \text{ maankäyttöindeksi}} \times \text{alueen as. tiheys (as/ha)}}{100} \quad (4)$$

,jossa  $W$ = työhön liittyvien ruutujen lkm

$R$ = asumiseen liittyvien ruutujen lkm



Taulukko 18.  $I_L$  ja  $I_{pd}$  indekseissä käytettyjen maankäyttömuotojen pääryhmät.

Neville, S.D, Campbell, R., Duxbury, M.L. ja Newman, P.W.G.:n käyttämä ryhmittely	tässä työssä käytetty ryhmittely
asuminen	asuinpienitalot, kytketyt pienitalot ja asuin kerrostalot
kunnalliset palvelut	hoitoala ja opetus
vähittäiskauppa ja palvelut	palvelut, toimistotilat
muut	maa- ja metsätalous, kokoontuminen ja muut
teollisuus	teollisuusrakennukset
varastot	varastorakennukset
aputoiminnot	liikenne

#### Tulosten yhteys liikenteen energiankulutukseen

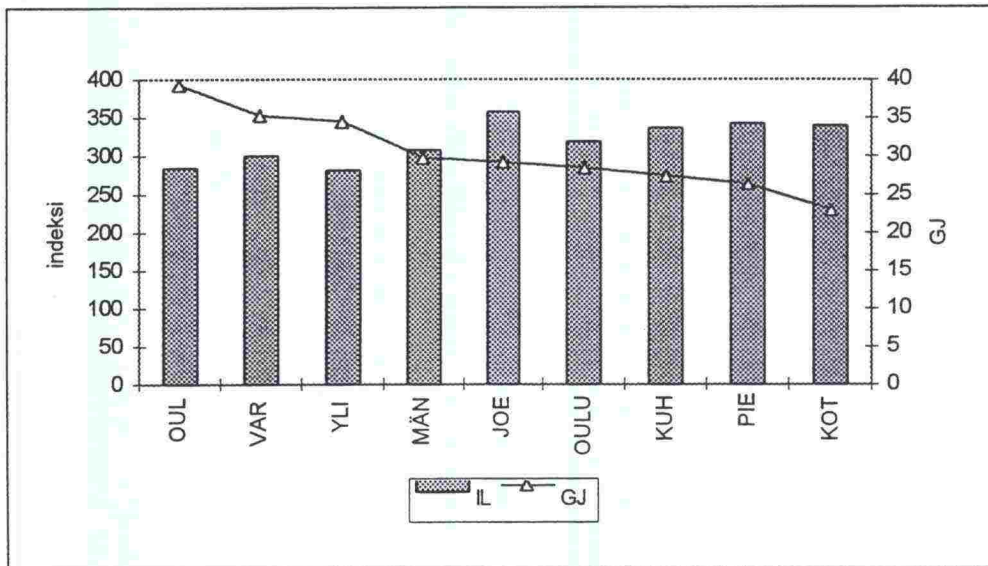
Maankäyttömuodoiltaan sekoittuneimpia ( $I_L$ :n arvo suuri) kuntia olivat Joensuu, Kotka ja Pieksämäki. Odotettua pienempiä indeksiarvoja saatiin Oulussa. Oulun pienemmän arvon selittävät keskustaajaman laajuus, taajamienleviäminen tiestön varsille ja useamman kunnan alueelle. Liitteellä 1 on verrattavissa kolmen suurimman kohdekunnan taajama-alueen leviäminen. Kaikille on ominaista taajamarakenteen haarautuminen säteittäiseksi.

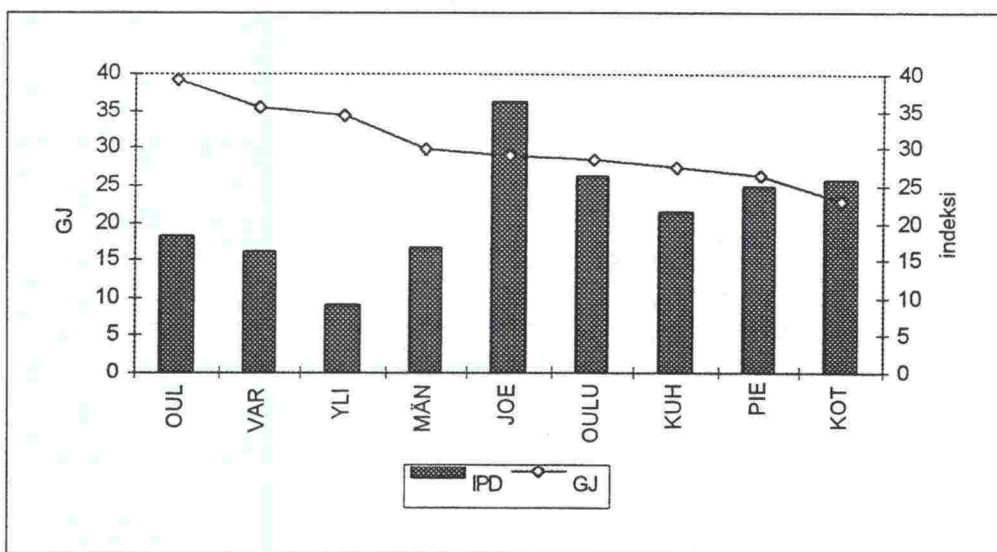
Suurimmissa kunnissa on keskustaajamaan rajoittuvan tarkastelun lisäksi tutkittu maankäytön sekoittumista pienemmällä alueella keskustaajamassa (6 km x 6 km). Muissa kunnissa tarkempi mittakaavainen lähestyminen ja tuloksien vertaaminen ei ole mielekäästä, koska alue käsittää tällöin suurimmaksi osaksi koko keskustaajaman. Oulussa, Kotkassa ja Joensuussa indeksien arvot muuttuvat suuremmaksi. Eli keskusta-alueella toiminnot ovat monipuolisempia ja asukastiheys kasvaa.

Tulokset viittaavat yhteyteen maankäytön sekoittumisasteen ja liikenteen energiankulutuksen välillä. Kuvassa 42 ja 43 on havaittavissa yhteys vähenevän energiankulutuksen ja indeksien  $I_L$  ja  $I_{pd}$  välillä. Maankäyttömuotojen sekoittumista kuvaavalla indeksillä  $I_L$  on vaikutusta asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen (korrelaatioarvo -0,813). Myös indeksin  $I_{pd}$  korrelaatio -0,554 on hyvä. Korrelaatioarvojen painoarvoa laskee kuntien pieni määrä.

Taulukko 19. Maankäyttömuotojen sekoittumista kuvaavat indeksit  $I_L$  ja  $I_{pd}$ .  
 Kohdealueena kuntien keskustaajamat.

kunnat	ruutuja yht.	maan- käyttömu- tojen sum- ma ruuduissa	$I_L$	$I_{pd}$	$I_L^*$ rajattu alue (6x6 km)	$I_{pd}^*$ rajattu alue (6x6 km)
Mänttä	56	173	308,9	16,6		
Kuhmo	51	172	337,3	21,4		
Oulainen	70	199	284,3	18,2		
Ylivieska	132	372	281,8	9,2		
Pieksämäki	96	328	341,7	24,9		
Varkaus	159	475	298,7	16,2		
Joensuu	196	704	359,2	36,3	362,5	24,8
Kotka	292	993	340,1	25,9	415,9	51,7
Oulu	606	1 929	318,3	26,3	417	59,9


 Kuva 42. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutus ja maankäyttöindeksi  $I_L$  eräissä kohde-  
 kunnissa. Tarkasteltava alue on kunnan keskustaajama.



Kuva 43. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutus ja maankäyttöindeksi  $I_{pd}$  eräissä kohdekunnissa.

Taulukko 20. Tarkasteltavien keskustaajamien maankäyttöindeksien ja liikenteen energiankulutuksen väliset korrelaatiot .

muuttuja johon verrataan	maankäyttöä kuvaavat indeksit	
asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus	$I_L$	$I_{pd}$
korrelaatiot	-0,81	-0,55
kaupunkien lkm	9	9

Tulokset tukevat oletusta maankäyttömuodoiltaan sekoittuneen sekä tiiviisti rakennetun (asutun) ja asukastiheydeltään korkeamman kaupunkirakenteen edullisuudesta tieliikenteen energiankulutuksen suhteen verrattuna matalatiheyksiseen kaupunkirakenteeseen.

Samalla ne antavat viitteitä, että tieliikenteen energiankulutustasoltaan matalalle kaupunkirakenteelle on ominaista

- maankäyttömuotojen hyvä sekoittuminen
- asuntojen, työpaikkojen tasainen jakautuminen alueelle

Asukkaiden keskimääräisellä etäisyydellä kuntakeskuksesta ei ole yhtä merkittävää vaikutusta. Tuloksia on kuitenkin pidettävä suuntaa-antavina pienen kuntamäärän vuoksi.

Taulukko 21. Yhteenvedo eri tekijöiden vaikutus liikenteeseen aineiston perusteella.

Tekijä	vaikutus
maankäyttömuotojen sekoittuminen	+
kaupungistuminen	+
asutuksen hajaantuminen	+/-
työpaikkojen hajaantuminen	+/-
pieni taajamapinta-ala asukasta kohden	+
korkea väkiluku ja taajamaväestö	+
taajama-alan kasvun rajoittaminen ts. taajamarajan pituus asukasta kohden	+

+ = suosii matalaa tieliikenteen energiankulutusta

- = suosii korkeaa tieliikenteen energiankulutusta

+/- = ei selvää vaikutusta

## 7 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkimuksessa selvitettiin tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakenteen välisiä yhteyksiä. Tarkoituksena oli määrittää ne kaupunkirakenteelliset muuttujat, joiden lähempi tarkastelu olisi tärkeää verrattaessa eri tekijöiden vaikutusta tieliikenteen energiankulutukseen. Tämän lisäksi tavoitteena oli tuottaa tunnuslukuja, joilla voidaan karkesti suosittaa määritellyn muuttujan "optimiarvo".

Tutkittavat kunnat on jaettu väkilukunsa perusteella kolmeen eri ryhmään. Ryhmä I eli alle 20 000 asukkaan kunnat ovat maapinta-alaltaan laajoja taajama-asteeltaan alhaisia kuntia, jotka eivät yleensä sijaitse merkittävimpien valtateiden eivätkä myös siten tavarakuljetusreittien varrella. Näissä kunnissa on matalin asukastiheys ja esim. maatalouden osuus työllisestä työvoimasta on suurehko. Ko. kuntia voitaisiin luonnehtia yleisilmeeltään "pelto- ja metsäkaupungeiksi".

Ryhmän III eli yli 50 000 asukkaan kunnat ovat puolestaan taajama-asteeltaan suurimpia kuntia, joissa taajamapinta-alan osuus koko kunnan maapinta-alasta on suuri keskiarvona ollen n. 32 %. Nämä kunnat sijaitsevat pääsääntöisesti merkittävimpien valtateiden varrella. Yleisilmeeltään niitä parhaiten kuvaavat sanat "metroalue tai väestöpohjaltaan laajan alueen keskuskaupunki". Ryhmän II kunnat, joiden asukasluku vaihtelee 20 000 ja 50 000 asukkaan välillä ovat ominaisuuksiltaan näiden edellämainittujen ryhmien väli-  
maastossa.

Tutkituissa kuntaryhmissä tieliikenteen energiankulutus kahden pienimmän ryhmän osalta vaihtelee vähän. Alle 20 000 asukkaan kunnissa energiankulutuksen arvo on vuodessa n. 33,4 GJ asukasta kohden ja 20 000-50 000 asukkaan kunnissa 31,5 GJ. Väkirikkaimmissa kunnissa sen sijaan tämä arvo on edellämainittuja ryhmiä selvästi pienempi ollen 25,2 GJ asukasta kohden vuodessa. Väestömäärältään suurilla kaupungeilla näyttäisi olevan paremmat edellytykset pienempään tieliikenteen energiankulutukseen.

Tämä päätelmä vahvistuu, jos verrataan 10 väkirikkaimman ja 10 väestömäärältään vähäisimmän kunnan tieliikenteen energiankulutuserot. Kymmenen väkirikkaimman kunnan liikenteen energiankulutus on 24,9 GJ ja vastaavasti kymmenen väestöpohjaltaan pienimmän kunnan 34,1 GJ eli n. 37 % suurempi.

Kohdekuntien asukaskohtaisessa polttoaineen kulutuksessa ei maantieteellisen sijainnin vuoksi Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä ole havaittavissa eroja. Kymmenen pohjoisimman kunnan keskimääräinen asukaskohtainen liikenteen energiankulutus on 31,6 GJ ja vastaavasti kymmenen eteläisimmän 32,08 GJ.

Kaupunkirakennetta ja tieliikenteen energiankulutuksen suhdetta toisiinsa on verrattu korrelaatio- ja regressioanalyysillä kolmessa eri mallissa. Mallit ovat *A*, *B* ja *C*. Tulosten tarkastelun pääpaino oli tutkimuksen osalta malleissa *A* ja *B*, joiden energiankulutustietoja ei ole korjattu. Syyt analysoinnin pääpainoon korjaamattomien mallien *A* ja *B* johtuvat tutkittavien kuntien suuremmasta lukumäärästä ja monipuolisemmasta sijainnista. Lisäksi virheanalyysin poistuminen eliminoi tutkijan oman subjektiivisen vaikutuksen tuloksiin. Tuloksista käsitellään lähinnä mallin *A* tuottamia arvoja. Mallissa *A* kohdekuntia on 35 ja mallissa *B* 33. Mallissa *C* tieliikenteen energiankulutusarvoja on korjattu. Kuntia mallissa on 33 kappaletta.

Parhaiten yhteyttä muuttujien ja energiakulutuksen välillä kuvasivat malleissa muuttujat: taajamarajan pituus asukasta kohden ja asukaskohtainen taajama-ala. Näiden lisäksi hyviä korrelaatioarvoja saatiin kaikissa malleissa: taajamaväestön määrän, kunnan asukasmäärän ja myös työssäkäyntimatkan pituuden osalta. Mallissa *B* ja *C* korostuivat myös rakennustiheyttä kuvaavat tekijät: rakennusten yhteenlaskettu kerrosala taajama-alaa kohden ja asuinrakennusten yhteenlaskettu kerrosala taajama-alaa kohden.

Väkiluvun ollessa alle 30 000 asukasta kuntien tieliikenteen energiankulutustasossa ei ole säännönmukaisuutta. Arvot vaihtelevat kunnan väkiluvusta, taajamaväestön määrästä sekä maantieteellisestä sijainnista riippumatta. Kunnan väkiluvun ylittäessä n. 30 000 tapahtuu selvästi havaittava muutos. Näiden kuntien energiankulutustaso on alhaisemmalla tasolla ja kulutusarvojen vaihtelu on vähäistä verrattuna alle 30 000 asukkaan kuntiin. Toisinsanoen väestömäärän pienetessä todennäköisyys tieliikenteen energiankulutustason nousuun kasvaa. Raja-arvona voidaan pitää 30 000 asukasta.

Kunnan väkiluvulla ja taajamaväestön määrällä on selvä yhteys energiankulutustasoon. Taajamaväestön korrelaatioarvo on paras mallissa *C* ollen -0,450 ja heikoin mallissa *B* ollen -0,422.

Maankäytön tiheyttä kuvaavilla tekijöillä on aineiston perusteella hyvä yhteys tieliikenteen energiankulutustasoon. Tiiveyttä kuvaavien muuttujien arvon kasvaessa saavutetaan alhaisempi energiankulutustaso. Erityisesti tekijöillä, kuten asukaskohtaisella taajama-alalla, taajamarajan pituudella taajama-ala kohden sekä rakennusten yhteenlasketulla kerrosalalla taajama-alaa kohden, saatiin hyviä korrelaatioita tieliikenteen energiankulutuksen kanssa.

Taajama-ala jakautuu taajamassa asuvia ihmistä kohden kohderyhmissä eri tavoin. Suurehkoissa yli 50 000 asukkaan kunnissa asuvilla taajamaväestöllä on pienin taajama-alan määrä henkilöä kohden. Tämä tukee tulkintaa, että tieliikenteen energiankulutuksen tason muuttuminen on yhteydessä asukaskohtaisen taajama-alan muutoksen kanssa.

Asukaskohtaisen taajama-alan raja-arvopisteenä voidaan pitää arvoa 2 200 m<sup>2</sup>/asukas. Raja-arvon vasemmalla puolella sijaitsevien kuntien energiankulutuksen hajonta on vähäisempää kuin oikealla puolella olevien. Raja-arvon ylittävien kuntien tieliikenteen energiankulutusarvot ovat keskimäärin suurempia. Kunnissa, joiden asukaskohtainen taajama-ala on yli 2 200 m<sup>2</sup> tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvo on 37,1 GJ asukasta kohden vuodessa (n=7 kpl), kun se muiden osalta on 29 GJ/as (n=28 kpl).

*Asukaskohtaisen taajama-alan* korrelaatiokertoimet vaihtelivat mallista riippuen välillä 0,441 (A) ja 0,562 (C). Positiivinen etumerkki muuttujassa merkitsee, että asukaskohtaisen taajama-alan kasvaessa tieliikenteen energiankulutus lisääntyy. Kun taajama-asukkaalla on "käytössään" enemmän tilaa, on todennäköistä, että liikenteen energiankulutustaso on korkeammalla.

Kolmas kaupunkirakenteen tiiveyttä kuvaava muuttuja on *taajamarajanpituus asukasta kohden*. Muuttuja kuvaa yhdessä em. asukaskohtaisen taajama-alan lisäksi kaupunkirakenteen asukastiheyttä. Mitä pienempi on asukasta kohden oleva taajamarajan pituus, sitä tiiviimpi taajamarakenne on kyseessä.

"Raja-arvona" asukaskohtaisen taajamarajan tapauksessa voidaan pitää lukuarvoa n. 5 m/asukas. Tämän arvon ylittävien kuntien tieliikenteen energiankulutusarvot ovat selvästi suurempia. Arvon 5 m/as. ylittävissä kunnissa tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvo on 37,1 GJ asukasta kohden (n=8 kpl), kun se muiden osalta on 28 GJ asukasta kohden vuodessa (n=27 kpl). Taajamarajan pituuden merkitys muuttujana on aineiston perusteella vähäisempi kuin em. suhdeluvun.

Monimuuttuja-analyysi vahvistaa kaksimuuttuja-analyysistä saatuja tuloksia. Käytettäessä askelittaisia menetelmiä huomataan vain muuttujalla, *taajamarajanpituus asukasta kohden*, olevan merkitsevä vaikutus asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen. Tämä muuttuja selittää 26,3 % kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista.

Muuttujat: taajamarajan pituus asukasta kohden, taajamaväestön määrä ja pientalojen kerrosalan suhde asuinrakennusten kerrosalaan selittävät yhdessä analyysimallin B mukaan 47,1 % kaupunkien asukaskohtaisen energiankulutustason vaihteluista. Tämän mukaan kaupunkirakenteen tiiveydellä ja etäisyydellä, jonka ihmiset joutuvat matkustamaan, on vuorovaikutus. Kuljetettavan matkan etäisyys puolestaan vaikuttaa henkilöauton käytön todennäköisyyteen.

Tiivis kaupunkirakenne luo mahdollisuuden vähentää tieliikenteen energiankulutustasoa. Tarkastelemalla kaupunkirakennetta pelkästään tieliikenteen energiankulutuksen näkökulmasta tiivis rakenne luo mahdollisuuksia laskea energiankulutusta vähentämällä auton tarvetta ja lyhentämällä eri toimintojen välillä olevia matkapituuksia sekä parantamalla kevyen liikenteen ja joukko-liikenteen edellytyksiä.

Taajaman rakennetyypeistä liikenteen energiankulutuksen kannalta edullisin on säteittäinen rakennetyyppi. Sen energiakulutuskeskisarvo on kahta muuta rakennetyyppiä pienempi. Ero säteittäisen kaupunkityypin hyväksi on 20 %. Rakennetyyppi liittyy samanaikaisesti kunnan väkilukuun, koska väkimäärältään suuret kunnat kehittyvät tähtimäisiksi.

Säteittäisen taajamatyyppin etuna on taajaman kasvu liikenneyhteyksien suunnassa, jolloin liikenne kanavoituu luontevasti pääväylille. Samalla joukkoliikenteen järjestäminen helpottuu. Asumisvyöhykkeiden muodostuminen liikenteenvälityskyvyltään hyvän väylän suuntaisesti lisää linjan potentiaalista käyttäjämäärää. Tämän ohessa joukkoliikennelinjasta tulee toiminnallisesti nopea ja suhteellisen lyhyt.

Nauhamainen taajamarakenne ei aineiston perusteella näyttäisi olevan tieliikenteen energiankulutuksen kannalta energiaystävällinen. Vaikka sen energiakulutusarvo on n. 5 % pienempi kuin pistemäisen taajamarakenteen, on arvo selvästi säteittäistä taajamarakennetta korkeampi. Teoriassa nauhamaisen taajamarakenteen tulisi mahdollistaa alhaisempi energiankulutus, koska se mahdollistaa hyvät edellytykset joukkoliikenteen järjestelyille. Erot teorian ja tutkimuksen tuottaman tulosten välillä aiheutuvat todennäköisesti tutkittavien kuntien koosta. Yleensä teoreettisissa malleissa kaupunki oletetaan väestömäärältään suureksi, jolloin joukkoliikenteen järjestäminen on helppoa sekä kannattavaa. Energiankulutussäästöt saavutetaan juuri joukkoliikenteen kautta. Tutkimuksessa mukana olleet kunnat puolestaan olivat väkimäärältään alhaisia.

Asumisen ja työpaikkojen sijoittumisen eli lähinnä keskittymisen vaikutusta tarkasteltiin keskittymisindekseillä  $IND_{työ}$  ja  $IND_{as}$ . Indeksien perusteella saatuja lukuarvoja verrattiin kaksimuuttuja-analyysillä tieliikenteen energiankulutukseen. Mitä suurempi indeksin arvo on sitä tasaisemmin väestö tai työpaikat ovat jakautuneet taajama-alueelle. Tuloksien mukaan työpaikkojen ja asuinpaikkojen jakaantuminen tasaisesti alueelle on voimakasta keskittymistä parempi vaihtoehto.

Maankäytön sekoittumisen vaikutusta tutkittiin indekseillä  $I_L$  ja  $I_{pd}$ . Indeksillä  $I_L$  kuvaa toimintojen sekoittumista alueella. Indeksillä  $I_{pd}$  mittaa niiden ihmisten määrää (as/ha), joiden saavutettavissa ko. palvelut ovat. Arvoja tarkasteltaessa oletetaan, että mitä suurempi indeksin arvo sitä suurempi on maankäytön sekoittuneisuus ja palvelujen saavutettavuus. Maankäyttömuodoiltaan sekoituneimpia ( $I_L$ :n arvo suuri) kuntia olivat Joensuu, Kotka ja Pieksämäki. Teoriassa liikennetarpeiden tulisi vähentyä mitä suurempaa maankäyttömuotojen sekoittuminen on, koska palvelut ovat tällöin lähempänä. Maankäyttömuotojen sekoittumista kuvaavalla indeksillä  $I_L$  on vaikutusta asukaskohtaiseen liikenteen energiankulutukseen (korrelaatioarvo -0,813). Myös indeksin  $I_{pd}$  korrelaatio -0,554 on hyvä.



Tuloksien mukaan maankäyttömuodoiltaan sekoittunut sekä tiiviisti rakennettu ja asukastiheydeltään korkea kaupunkirakenne on tieliikenteen energiankulutuksen suhteen edullisin.

## 8 KIRJALLISUUS

- /1/ Mauranen Kari, Halonen Pirjo, Jokela Veikko, 1993, SPSS-opas, Kuopion yliopisto, Atk-keskus.
- /2/ Jere Maula, 1985, Nykyiset kaupungit, TTKK arkkitehtuurin osasto, yhdyskuntasuunnittelun laitos, Tampere.
- /3/ Peter Newman, 1992, The compact city: An Australian perspective p 285-299, Built environment vol 18 num 4.
- /4 / F.V Webster & P.H. Bly, Changing pattern of urban travel and implications for land use and transport strategy, Transportation research record 1125.
- /5/ Timo Halme, 1995, Kaupunkien sisäinen rakenne, kaupunkirakenteen hajaantuminen, työmatkaliikenne ja toiminnallisen rakenteen muutos.
- /6/ Oulun seudun liikennetutkimus 1989-1991, yhteenvetoraportti, Suunnittelukolmio Oy.
- /7/ Öljyalan vuosikirja 1985-1991, Öljyalan keskusliitto
- /8/ Risto Linkovuori, 1994, Taajamarakenne ja autoistumisen aika, Tielaitoksen selvityksiä 61/1994.
- /9/ Duncan McLaren, 1992, Compact or dispersed? Dilution is no solution, p 268-285, Built environment vol 18 num 4.
- /10/ Susan E. Owens & Peter Rickaby, 1992, Settlements and energy revisited, p 253-268, Built environment vol 18 num 4.
- /11/ Elizabeth Deakin, Jobs, housing, and transportation: Theory an devidence on interactions between land use and transportation.
- /12/ Roger Stuart, Liquid Fuels, Transport and Urban Structure: A Social science Resesearch Review.
- /13/ 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 researsh paper.
- /14/ Tilastokeskus, 1993, Energiatilastot, Energia 1994:1
- /15/ Naess Peter, 1994, Liikenteen vaatima energia ja kaupunkirakenne, Helsinki, s. 49, Tielaitoksen selvityksiä 9/1994.

## KUVALUETTELO

1. Tutkittavien kuntien sijainti.
2. Kaupungeissa asuvien ihmisten osuus koko väestöstä.
3. Eräiden eurooppalaisten kaupunkien ja kaupunkiseutujen väestömäärien kehitys vv. 1960-88.
4. Alle 20 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=15).
5. 20 000 - 50 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=12).
6. Yli 50 000 asukkaan kuntien keskimääräinen väestön kehitys vv. 1900-2000(e) (n=9).
7. Elinkeinojen osuus työllisestä työvoimasta vuonna 1990. Keskiarvot on laskettu kunnittaisista prosenttiosuuksista.
8. Ammateissa toimivien ihmisten osuus elinkeinoittain.
9. Taajama-asteen kehitys vv. 1980-1990 tutkituissa kunnissa.
10. Autoistumisen kehitys eri maissa.
11. Ulkopaikkakunnalla työssä käyvien %-osuus kunnassa asuvista työllisistä ihmisistä.
12. Ulkopaikkakuntalaisten prosentuaalinen osuus kunnassa työssäkäyvistä ihmisistä.
13. Yhdyskuntarakennetta muovaavien tekijöiden vuorovaikutus.
14. Yhdyskuntarakenteen hajaantumiseen vaikuttavat tekijät. (Timo Halme).
15. Tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä.
16. Energian kokonaiskulutus sektoreittain.
17. Dieselöljyn käyttöosuudet ajoneuvotyypeittäin.
18. Moottoribensiinin käyttöosuudet ajoneuvotyypeittäin.
19. Liikenteen osuus energiankulutuksesta ja arvio eri ajoneuvotyyppien %-osuudesta moottoribensiinin ja dieselöljyn kulutuksesta.
20. Eri kohderyhmien tieliikenteen energiankulutus jaoteltuna moottoribensiinin ja dieselöljyn.
21. Polttoaineen kulutus ja -kustannus asukasta kohden vuodessa eri kohdekaupunkiryhmissä.
22. Dieselöljyn ja moottoribensiinin kulutuksen kehitys ja dieselöljyn kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta vv. 1970-1992.
23. Dieselöljyn kulutusosuus (%) tutkituissa kunnissa.

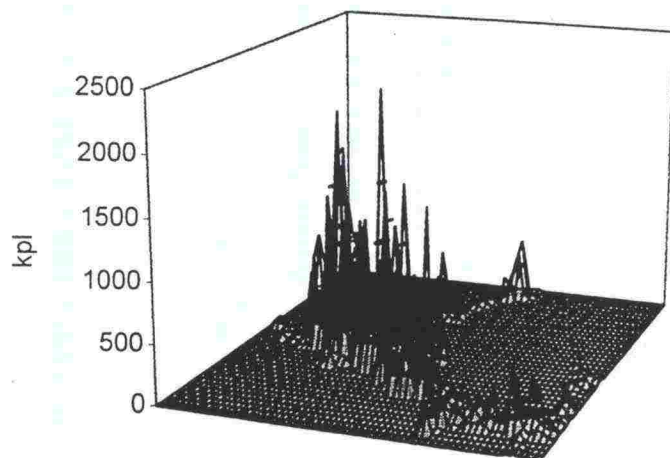
24. Tieliikenteen energiankulutus kohdekunnittain jaoteltuna pohjois-etelä-suunnassa.
25. Asukaskohtainen tieliikenteen energiankulutus jaoteltuna kohderyhmittäin.
26. Taajamarakennetyyppi ja tieliikenteen energiankulutus.
27. Taajamaväestön ja tieliikenteen energiankulutuksen suhde.
28. Tieliikenteen energiankulutuksen ja kuntien väkiluvun suhde.
29. Asukaskohtainen taajama-alan ja tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvot tutkituissa kohderyhmittä.
30. Asukaskohtaisen taajama-alan ja asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde.
31. Asukaskohtaisen taajamarajan pituuden kehitys eri kohderyhmissä.
32. Taajamarajan pituus asukasta kohden ja tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde.
33. Taajaman yhteenlaskettujen asuinkerrosten kerrosala jaettuna taajama-alalla ja tieliikenteen energiankulutuksen välinen suhde.
34. Esimerkki työmatkapituuksien jakautumisesta neljässä eri tutkimuskunnassa.
35. Kohdekuntien taajamissa asuvien ihmisten työmatkojen pituus luokittain.
36. Autonomistajien lukumäärä tuhatta-asukasta kohden ja tieliikenteen energiankulutus (GJ/as.) kohderyhmittäin.
37. Asuinkerrostalojen osuus asuinrakennusten kerrosaloista ja tieliikenteen energiankulutuksen keskiarvot kohderyhmittäin.
38. Asuinkerrostalojen ja pientalojen %-osuudet asuinrakennusten kerrosaloista kunnittain.
39. Ideakuva eri kaupunkirakenteen muuttujien vaikutuksesta tieliikenteen energiankulutukseen sekä niiden raja-arvoista.
40. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutukseen vaikuttavien eräiden tekijöiden selittävyysmalli.
41. Asukkaiden ja työpaikkojen keskittymisindeksi kunnittain.
42. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutus ja maankäyttöindeksi  $I_L$  eräissä kohdekunnissa.
43. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutus ja maankäyttöindeksi  $I_{pd}$  eräissä kohdekunnissa.

## TAULUKKOLUETTELO

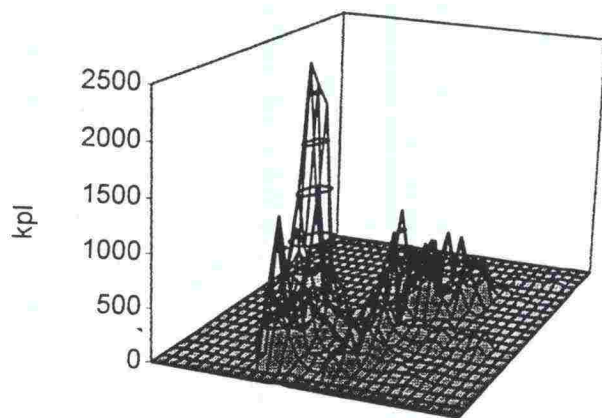
1. Luettelo kuhunkin ryhmään kuuluvista kunnista.
2. Prosentuaaliset muutokset aikavälillä 1980-1990 eräiden elinkeinojen välillä.
3. Analysointimallien kuvaus.
4. Tieliikenteen energiankulutusarvoja kohde kuntien osalta.
5. Taajaman rakennetyyppi. Kyseessä kunkin kunnan keskustaajama.
6. Yhteenvedo muuttujista, joilla saatiin parhaita korrelaatioita eri malleissa.
7. Tunnuslukuja tieliikenteen energiankulutusarvoista kuntaryhmittäin.
8. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien ja siihen liittyvien tekijöiden välisiä korrelaatiokertoimia.
9. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja asumismuotoja ja rakennuskantaa sekä niihin liittyvien suhdelukujen korrelaatiokertoimia.
10. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja merkittävimpien kaupunkirakennetta, asumismuotoa ja rakennuskantaa kuvaavien muuttujien sekä niihin liittyvien suhdelukujen välisiä korrelaatiokertoimia jaoteltuna kohderyhmittäin.
11. Standardisoidut regressiokertoimet allaolevien muuttujien vaikutuksesta asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen.
12. Standardisoidut regressiokertoimet ao. muuttujien vaikutuksesta asukaskohtaiseen tieliikenteen energiankulutukseen.
13. Monimuuttuja-analyysi asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja suhdelukujen välillä.
14. Monimuuttuja-analyysi asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja suhdelukujen välillä.
15. Kunnat, joissa tarkastellaan asuntojen ja työpaikkojen sijaintia taajamassa sekä niitä kuvaavia maankäyttöindeksejä.
16. Sijoittumisen vaikutus tieliikenteen energiankulutukseen.
17. Asukaskohtaisen tieliikenteen energiankulutuksen ja kaupunkirakennetta kuvaavien tekijöiden väliset korrelaatiokertoimet.
18.  $I_L$  ja  $I_{pd}$  indekseissä käytettyjen maankäyttömuotojen pääryhmät.
19. Maankäyttömuotojen sekoittumista kuvaavat indeksit  $I_L$  ja  $I_{pd}$ .
20. Tarkasteltavien keskustaajamien maankäyttöindeksien ja liikenteen energiankulutuksen väliset korrelaatiot.
21. Yhteenvedo eri tekijöiden vaikutus liikenteeseen aineiston perusteella.

**Liite 1. Asukastiheys tutkituissa kunnissa.  
Ruutukoko 500 x 500 m.**

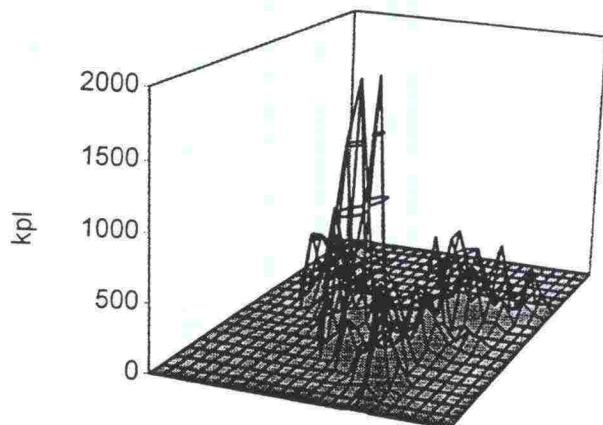
Oulu



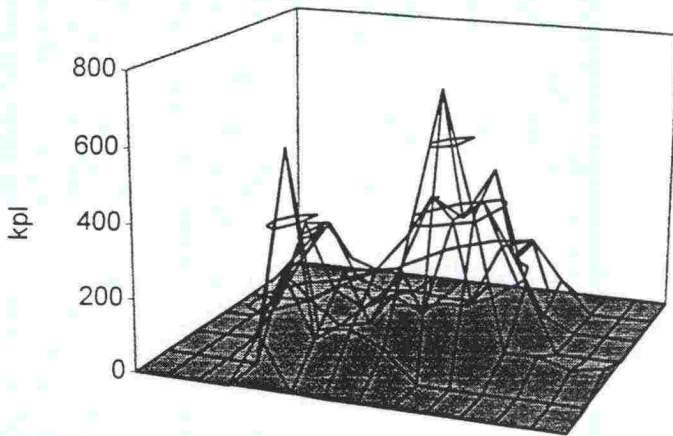
Kotka



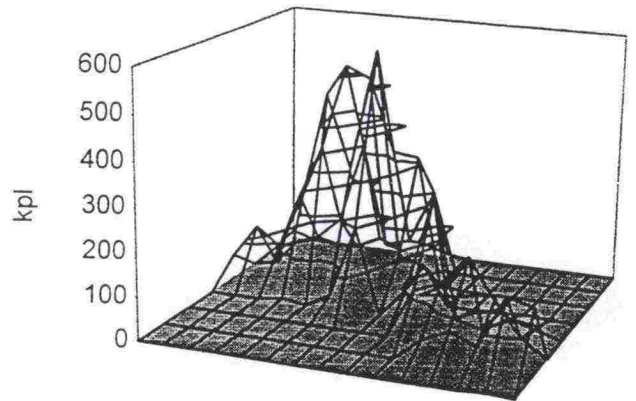
Joensuu



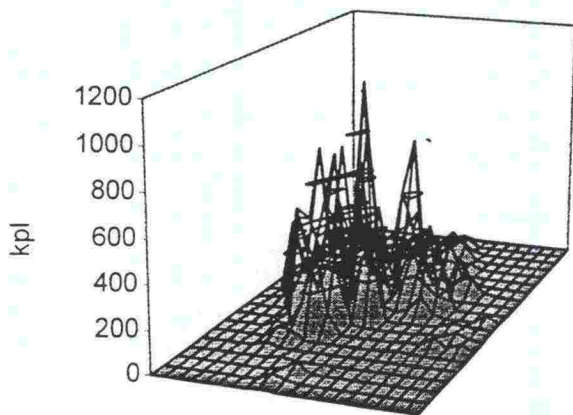
Kuhmo



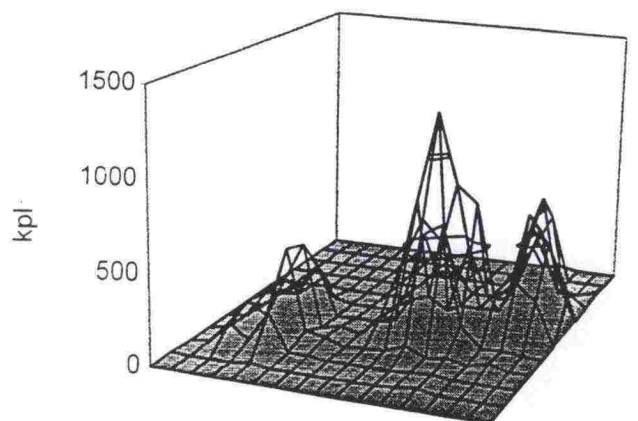
Mänttä



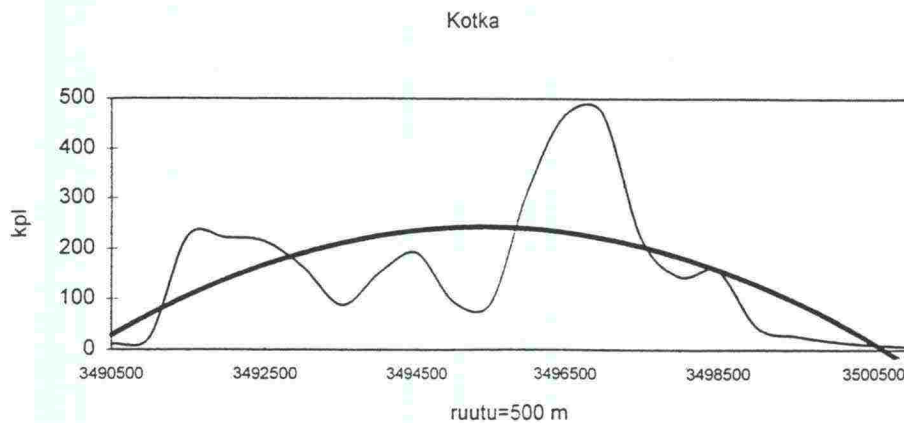
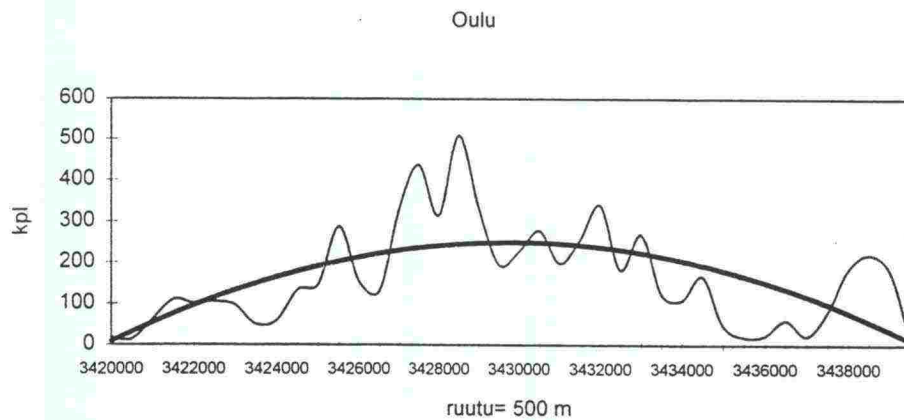
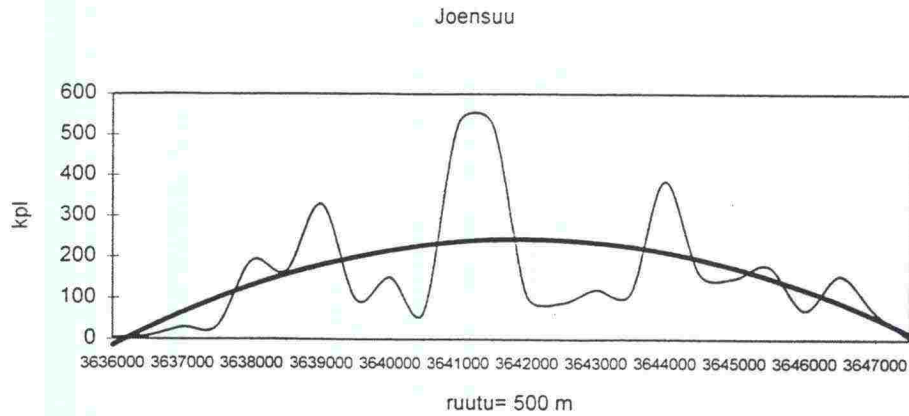
Varkaus



Pieksämäki

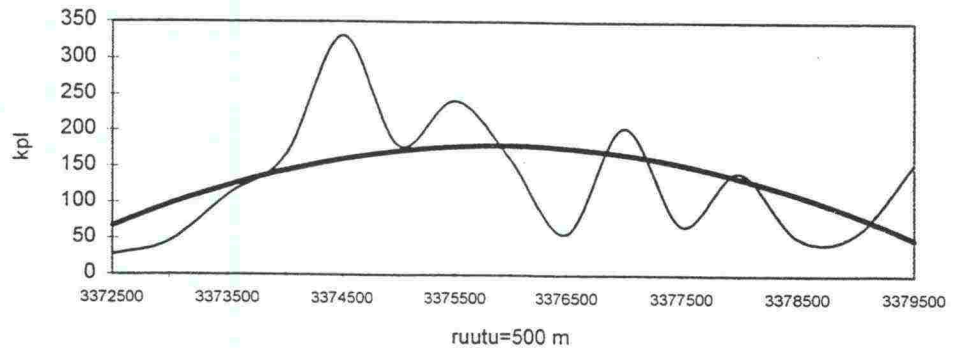


**Liite 2. Poikkileikkaus asukastiheyden kehittämisestä etäisyytenä keskustasta. Paksummalla viivalla on merkitty trendi (2 asteen polynomi).**

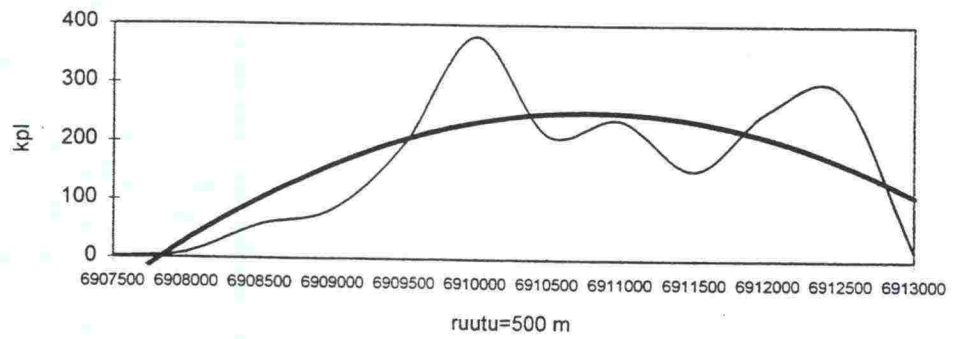




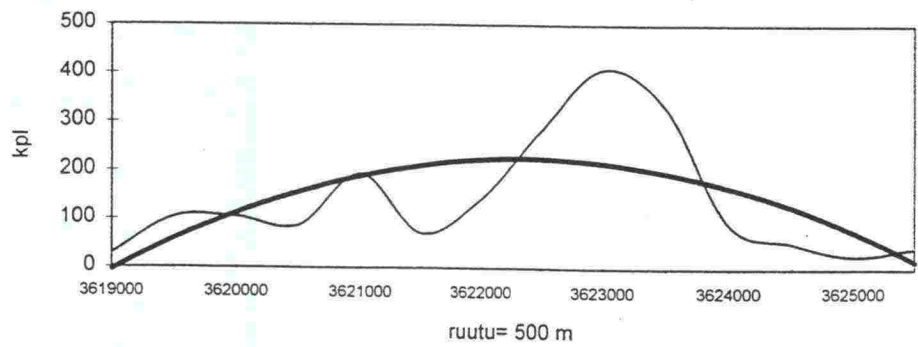
Mänttä



Pieksämäki



Kuhmo



## TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 84/1995 Soratien tasaisuuden ja pinnan kiinteyden vaikutukset ajokustannuksiin. TIEL 3200359
- 85/1995 Valo-ohjatun liittymän välityskyky. TIEL 3200360
- 86/1995 Valtatien 4:n Järvenpää-Mäntsälä-välin muuttuvan reittiopastusjärjestelmän vaikutukset. TIEL 3200361
- 87/1995 Moottoriväylien rinnakkaistiet; Esiselvitys alemman tieverkon ominaisuuksista ja suunnitteluperiaateista moottoriväylän liikennekäytävässä. TIEL 3200362
- 88/1995 Remixer-stabilointi. TIEL 3200363
- 89/1995 Lauttapaikkojen palvelutaso. TIEL 3200364
- 90/1995 Lossin ohjauksoyhtä korvaavat laitteistot. TIEL 3200365
- 91/1995 Heinolan ohikulkutien seurantatutkimus. TIEL 3200366
- 92/1995 Voidaanko henkilöautoliikennettä vähentää? TIEL 3200367
- 93/1995 PTM-auton mittaaman megakarkeuden soveltuvuus päällysteen tasaisuuden arviointiin. TIEL 3200368
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 1/1996 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutus ajonopeuksiin, aikaväleihin ja kuljettajien käsityksiin. TIEL 3200370
- 2/1996 Kestävä kehitys tiensuunnittelussa. TIEL 3200371
- 3/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - luonto. TIEL 3200372
- 4/1996 Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttäytymiseen - pyöriteiden ylityskohdat. TIEL 3200373
- 5/1996 Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävä ja toiminnot. TIEL 3200374
- 6/1996 Tuotannon laatu-, päälly- ja routarakenteet. TIEL 3200375
- 7/1996 Terminaaliviivituksen periaatteet. TIEL 3200376
- 8/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - taajamat. TIEL 3200377
- 9/1996 Salaojan ympärysaineiden toiminta koerakenteessa; Loppuraportti TIEL 3200378
- 10/1996 Tielaitoksen toiminnan ympäristövaikutusten indikaattorit; Viitekehys TIEL 3200379
- 11/1996 Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittausten menetelmien vertailu. TIEL 3200380
- 12/1996 Pärjäisimmekö vuoden 1970 tieverkolla? Tieverkon kehittymisen vaikutus kuljetus- ja tuotantotalouteen sekä kaupunkirakenteeseen. TIEL 3200381
- 13/1996 Masuunihiekkastabilointi. TIEL 3200382