

Luonnonvarojen kulutus paikallisessa liikenteessä

Menetelmänä MIPS



Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri)		Julkaisun laji	
Suvi Talja, Michael Lettenmeier, Arto Saari		Tutkimusraportti	
Suomen luonnonsuojeluliitto ry		Toimeksiantaja	
		Liikenne- ja viestintäministeriö *	
Julkaisun nimi			
Luonnonvarojen kulutus paikallisessa liikenteessä. Menetelmänä MIPS			
Tiivistelmä			
<p>Tutkimuksessa määritettiin paikallisen liikenneverkoston ja sitä käyttävän liikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Tarkastelu kattaa kadut ja yksityistiet ja niiden liikenteen sekä pyöräilyn ja pääkaupunkiseudun raideliikenteen.</p> <p>Katujen materiaalipanoksia tarkasteltiin tilastollisen kuntaryhmittymyksen mukaan. Ajoneuvoliikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä tarkasteltiin erikseen henkilöautoille, linja-autoille sekä neljälle erityyppiselle tavaraliikenteen ajoneuvolle. Yksityisteistä tarkasteltiin niitä, joiden varrella on pysyvää asutusta.</p> <p>Tarkemmin tarkastellut esimerkkikunnat olivat Forssa ja Helsinki, joista tarkasteltiin pää- ja tonttikatuja. Lisäksi laskettiin MIPS-luvut pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteelle sekä Helsingin metro-, raitiovaunu- ja polkupyöräliikenteelle.</p> <p>Tämän tutkimuksen mukaisesti rajatun paikallisen liikenteen infrastruktuuriin ja liikennöintiin käytetään vuosittain keskimäärin 23 miljoonaa tonnia abioottisia (eli uusiutumattomia) materiaaleja, 549 miljoonaa tonnia vettä ja 3,9 miljoonaa tonnia ilmaa. Katuverkoston ja sen liikenteen vuosittain aiheuttama uusiutumattomien materiaalien kulutus on keskimäärin 12,1 miljoonaa tonnia, josta pelkkä rakentaminen kuluttaa noin 7 miljoonaa tonnia. Tarkasteltujen yksityisteiden vastaava luku on 10,6 miljoonaa tonnia.</p> <p>Ilman kulutus muodostuu suurimmaksi osaksi ajoneuvoliikenteen polttoaineen kulutuksesta. Yksityistielikennettä vilkkaampi katuliikenne aiheuttaa siten suurimman osan Suomen paikallisen liikenteen ilman kulutuksesta.</p> <p>Yksityisteiden liikenteen MIPS-luvut ovat moninkertaisia katuliikenteeseen verrattuna sekä henkilö- että tavaraliikenteessä. Syynä on katujen huomattavasti vilkkaampi liikenne.</p> <p>Tutkimuksesta saadut keskimääräiset MIPS-luvut henkilöliikenteessä vaihtelevat uusiutumattomien luonnonvarojen kulutuksessa välillä 0,1 (linja-autolla kadulla) ja 7,2 (henkilöautolla yksityistiellä) kg/henkilökilometri. Myös veden kulutus on pienintä linja-autolla kadulla (3 kg/hlö-km) ja suurinta henkilöautolla yksityistiellä (160 kg/hlö-km). Vähiten ilmaan kuluttaa pyöräily (0,02 kg/hlö-km) ja eniten niin ikään henkilöautolla kulkeminen yksityistiellä (0,19 kg/hlö-km). Tavaraliikenteessä suurin ero on kadulla kulkevan täysperävaunurekan (uusiutumattomia luonnonvaroja 0,1, vettä 2 ja ilmaa 0,05 kg/tonnikilometri) ja yksityistiellä kulkevan pakettiauton (uusiutumattomia luonnonvaroja 75, vettä 1670 ja ilmaa 2 kg/t-km) välillä.</p>			
Avainsanat (asiasanat)			
MIPS, ekotehokkuus, materiaalitehokkuus, luonnonvarat, kulutus, ekologinen selkäreppu, elinkaari, infrastruktuuri, liikenne, katu, yksityistie, polkupyörä, metro, raitiovaunu, lähijuna, auto			
Muut tiedot			
* yhdessä ympäristöministeriön, Tiehallinnon, Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Ilmailulaitoksen kanssa. Tutkimus oli osa toimeksiantajatahojen rahoittamaa, eri liikennemuotoja ja koko liikennejärjestelmän kattavaa tutkimushanketta FIN-MIPS Liikenne. Hankkeesta on julkaistu useita osaraportteja. Yhteyshenkilöt/LVM Outi Väkevä ja Saara Jääskeläinen			
Sarjan nimi ja numero		ISSN	ISBN
Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 14/2006		1457-7488 (painotuote) 1795-4045 (verkkajulkaisu)	952-201-526-1 (painotuote) 952-201-527-X (verkkajulkaisu)
Kokonaissivumäärä	Kieli	Hinta	Luottamuksellisuus
116	suomi	20 €	julkinen
Jakaja		Kustantaja	
Edita Publishing Oy		Liikenne- ja viestintäministeriö	



Författare (uppgifter om organet: organets namn, ordförande, sekreterare) Suvi Talja, Michael Lettenmeier, Arto Saari, Finlands Naturskyddsförbund rf		Typ av publikation Forskningsrapport	
		Uppdragsgivare Kommunikationsministeriet	
Publikation (även den finska titeln) Användningen av naturtillgångar för den lokala trafiken. Lokaltrafik-MIPS.			
Referat I undersökningen beräknades användningen av naturtillgångar per transportinsats (Material Input per Service Unit, MIPS) för lokala gator, vägar och spår och för trafiken på dem. Undersökningen omfattar gator samt enskilda vägar med fast bebyggelse och biltrafiken på dem samt cykeltrafiken och Helsingforsregionens spår och spårtrafik. Materialinsatserna för gator indelades efter den statistiska kommungrupperingen, d.v.s. efter hur tätt bebyggda kommunerna är. Användningen av naturtillgångar för motorfordon beräknades skilt för personbilar, bussar och fyra slags fordon för varutransporter. Case-undersökningarna omfattade huvud- och tomtgatorna i Forssa och Helsingfors. Dessutom beräknades MIPS-värden för Helsingforsregionens närtåg samt för metro, spårvagn och cykel i Helsingfors. För det lokala vägnätet och trafiken, så som de avgränsas i denna undersökning, används per år räknat 23 miljoner ton abiotiskt material, 549 miljoner ton vatten och 3,9 miljoner ton luft. Gatunätets andel av det abiotiska materialet är 12 miljoner ton (varav gatubyggnaden står för 7 miljoner ton) och de undersökta enskilda vägarnas andel är 11 miljoner ton. Användningen av luft beror till största delen på motorfordonens bränsleförbrukning och gatutrafiken, som är betydligt livligare än trafiken på de enskilda vägarna, står därför för största delen. Jämfört med gatutrafiken används för både person- och godstrafiken på de enskilda vägarna flerfaldigt med naturtillgångar per transportinsats, för trafiken är så mycket mindre där. Användningen av abiotiskt material per personkilometer varierar mellan 0,1 kg för bussar i gatutrafik och 7,2 kg för personbilar på enskilda vägar. För bussar i gatutrafik används också minst vatten, 3kg, och för personbilar på enskilda vägar mest, 160 kg. För cykeltrafiken används endast 0,02 kg luft per personkilometer medan åter igen mest används för personbilar på enskilda vägar, 0,19 kg. I godstrafiken används minst naturtillgångar per tonkilometer för släpvagnsekipage (abiotiskt material, 0,1 kg, vatten 2 kg, och luft 0,05 kg) och mest för skåpbilar på enskilda vägar (abiotiskt material 75 kg, vatten 1670 kg, och luft 2 kg per tonkilometer.			
Nyckelord MIPS , ekoeffektivitet, materialeffektivitet, naturresurser, konsumtion, ekologisk ryggsäck, livscykel, infrastruktur, trafik, gata, enskild väg, cykel, metro, spårvagn, närtåg, bil.			
Övriga uppgifter * i samarbete med Vägförvaltningen, Banförvaltningscentralen, Sjöfartsverket och Luftfartsverket. Undersökningen är en del av forskningsprojektet FIN-MIPS Trafik med flera delrapporter. Kontaktpersoner/kommunikationsministeriet Outi Väkevä och Saara Jääskeläinen.			
Seriens namn och nummer Kommunikationsministeriets publikationer 14/2006		ISSN 1457-7488 (trycksak) 1795-4045 (nätpublikation)	ISBN 952-201-526-1 (trycksak) 952-201-527-X (nätpublikation)
Sidoantal 116	Språk finska	Pris 20 €	Sekretessgrad offentlig
Distribution Edita Publishing Ab		Förlag Kommunikationsministeriet	



Authors (from body; name, chairman and secretary of the body) Suvi Talja, Michael Lettenmeier, Arto Saari		Type of publication Research study report	
The Finnish Association for Nature Conservation		Assigned by Ministry of Transport and Communications *	
Name of the publication Natural Resource Consumption of Local Transport According to the MIPS Concept			
Abstract <p>The natural resource consumption of local transport was studied according to the MIPS concept (Material Input per Service Unit). MIPS values were calculated for the infrastructure and traffic of municipal streets, private roads, bicycle lanes, and local rail systems.</p> <p>The material input of streets was studied for the statistical groups of municipalities. The natural resource consumption of vehicle traffic was studied for private cars, buses and four different types of goods transport vehicles. Of the Finnish private roads, only those used by permanent residents were included in the study.</p> <p>The cities of Forssa and Helsinki were part of more detailed case studies in respect to their lot access roads. In the case of Helsinki, MIPS values were also calculated for three different rail transport systems (underground, tramway and local trains in the Helsinki metropolitan area).</p> <p>Within the scope of this study, Finnish local transport and its infrastructure consume annually an average of 23 million tons of abiotic (i.e. non-renewable) natural resources, 549 million tons of water and 3, 9 million tons of air. The average consumption of municipal street infrastructure and transport comes to 12, 1 million tons of abiotic resources, with 7 million tons used for the construction of the infrastructure. The respective value for the private roads studied is 10, 6 million tons.</p> <p>The life cycle wide consumption of air is mostly caused by the fuel combustion of vehicle traffic. As traffic is much more dense on municipal streets than on private roads, municipal street traffic accounts for the largest part of the air consumption of local transport in Finland.</p> <p>The MIPS values for transport on private roads are manifold compared to transport on municipal streets because of the much less dense traffic on private roads. The average abiotic MIPS values for passenger transport provided by the study range between 0,1 (bus on average municipal street) and 7,2 (private car on private road) kg/person-km. Bus transport on municipal streets also causes the lowest and private car transport on private roads the highest MIPS values for water consumption (3 and 160 kg/person-km, respectively). Cycling has the lowest and private car transport on private roads the highest MIPS values for air consumption (0,02 and 0,19 kg/person-km, respectively). For goods transport the biggest difference was found between a full trailer truck on municipal streets (0,1 kg of abiotic resources, 2 kg of water and 0,05 kg of air per ton kilometre) and a van on private roads (75, 1670 and 2 kg/t-km, respectively).</p>			
Keywords MIPS, eco-efficiency, natural resources, consumption, ecological rucksack, life cycle, infrastructure, municipality, local transport, street, private road, bicycle, underground, tramway, local railway, vehicle.			
Miscellaneous * together with Ministry of the Environment, Finnish Road Administration, Finnish Rail Administration, Finnish Maritime Administration, Finnish Civil Aviation Administration. The study was part of the FIN-MIPS Transport research project also covering the separate transport modes and the whole Finnish transportation system. The results of these are published in separate reports. Contact persons at the Ministry: Ms. Outi Väkevä and Ms. Saara Jääskeläinen.			
Serial name and number Publications of the Ministry of Transport and Communications 14/2006		ISSN 1457-7488 (printed version) 1795-4045 (electronic version)	ISBN 952-201-526-1 (printed version) 952-201-527-X (electronic version)
Pages, total 116	Language Finnish	Price €20	Confidence status Public
Distributed by Edita Publishing Ltd		Published by Ministry of Transport and Communications	

ESIPUHE

Kestävä kehitys edellyttää yhteiskunnan kaikkien toimijoiden ja niiden toiminnan ekotehokkuuden kehittämistä. Eri liikennemuotojen ympäristövaikutuksia on perinteisesti tarkasteltu ja verrattu päästöjen ja energiankulutuksen näkökulmasta. Tässä tutkimuksessa käytetty MIPS-mittari (material input per unit service) laajentaa näkökulman elinkaarenaikaiseen luonnonvarojen kulutukseen. Se tuo siten uuden näkökulman keskusteluun liikenteen ympäristövaikutuksista ja kestävästä kehityksestä.

Tämä tutkimus on ollut osana FIN-MIPS Liikenne -tutkimushanketta. Hankkeen päärahoittajina ovat olleet liikenne- ja viestintäministeriö sekä ympäristöministeriö ympäristöklusteritutkimusohjelman puitteissa. Lisäksi hankkeen rahoitukseen ovat osallistuneet Tiehallinto, Merenkululaitos, Ratahallintokeskus, Ilmailulaitos ja Suomen luonnonsuojeluliitto ry. Suomen luonnonsuojeluliitto on vastannut tutkimuksen toteutuksesta ja koordinoinnista.

FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa on tutkittu liikennejärjestelmän ja eri liikennemuotojen elinkaarensa aikana aiheuttama luonnonvarojen käyttö sekä niiden välitön pinta-alan käyttö. Hankkeen alkuvaiheen osatutkimukset ovat käsitelleet laiva-, lento-, juna-, yleisten teiden sekä polkupyöräliikennettä. Hankkeen toisen vaiheen tutkimukset ovat käsitelleet paikallisen liikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen kulutusta, MIPS-laskennan kytkentää infrastruktuurin suunnitteluun ja Suomen liikennejärjestelmän materiaali-intensiteettiä.

FIN-MIPS Liikenne -tutkimushanketta on johtanut TkT, dos. Arto Saari ja koordinoinut ekotehokkuuskonsultti Michael Lettenmeier. Paikallisen liikenteen osatutkimuksen laskelmat on tehnyt fil.yo. Suvi Talja. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja tutkimustavat ovat suunnitelleet ja raportin kirjoittaneet Suvi Talja, Michael Lettenmeier ja Arto Saari.

Hankkeen ohjausryhmän työskentelyyn ovat osallistuneet Saara Jääskeläinen, Raija Merivirta ja Outi Väkevä liikenne- ja viestintäministeriöstä, Merja Saarnilehto, Mauri Heikkonen ja Jarmo Muurman ympäristöministeriöstä, Arto Hovi Ratahallintokeskuksesta, Niina Rusko ja Mikko Viinikainen Ilmailulaitoksesta, Olli Holm Merenkululaitoksesta, Tuula Säämänen ja Anders Jansson Tiehallinnosta, Otto Lehtipuu VR-yhtymästä, Pertti Pitkänen Finnairista, Maria Joki-Pesola Helsingin kaupungista sekä Arto Saari ja Michael Lettenmeier Suomen luonnonsuojeluliitosta. Ohjausryhmä on toiminut myös paikallisen liikenteen osatutkimuksen tukiryhmänä.

Merkittäviä tietoja osatutkimuksen toteuttamiseen ovat lisäksi luovuttaneet useat asiantuntijat Tiehallinnosta, Tieliikelaitoksesta, Kuntaliitosta, VTT:lta sekä Helsingin ja Forssan kaupungeista.

Liikenne- ja viestintäministeriön puolesta haluan kiittää tutkijoita sekä kaikkia tutkimuksen toteutukseen osallistuneita henkilöitä.

Helsingissä, 3.3.2006

Raisa Valli
liikenneneuvos

1. JOHDANTO	10
1.1 Tutkimuksen taustaa.....	10
1.2 Tutkimuksen tavoitteet	10
1.3 Taajamien katuverkot kunnissa	10
1.3.1 Asutuksen sijoittumisen kehitys ja nykytilanne Suomessa	10
1.3.2 Katujen rakentamisen historiaa Suomen olosuhteissa	12
1.3.3 Paikallinen liikenne katuverkoilla nykyään	13
1.4 Elinkaaritarkastelu ja kadut	16
1.5 Yksityistiet lyhyesti	17
1.6 MIPS-laskenta ja aikaisempi tutkimus aiheesta	19
1.6.1 MIPS-menetelmän perusteet	19
1.6.2 Aikaisempi tutkimus kuntien ja katujen materiaalikäytöstä ja ekotehokkuudesta	20
1.6.3 Aikaisemmat tutkimukset FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa	21
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	23
2.1 MIPS-menetelmän käyttö tässä tutkimuksessa	23
2.1.1 Materiaalipanოს (MI)	23
2.1.2 Palvelusuorite (S).....	23
2.1.3 Laskelmissa käytetyt MI-kertoimet	24
2.2 Kadut	24
2.2.1 Tutkimuksessa tarkastellut kunnat, katuluokat ja ajoneuvotyypit	24
2.2.2 Tutkimusaineiston hankinta	27
2.2.3 Aineiston rajaukset	29
2.2.4 Katujen rakentamisen materiaalipanოს	29
2.2.5 Kadun ylläpidon materiaalipanokset.....	34
2.2.6 Liikennesuorite kaduilla	35
2.3 Yksityistiet.....	38
2.3.1 Tutkimuksessa tarkastellut yksityistiet	38
2.3.2 Liikenne yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta	38
2.3.3 Yksityisteiden rakentamisen ja ylläpidon MI-luvut.....	40
2.4 Paikallisen liikenteen materiaalipanokset esimerkkikunnissa.....	43
2.4.1 Forssa.....	44
2.4.2 Helsinki.....	45
2.4.2 Helsinki.....	46
2.5 Herkkyystarkastelut.....	54
3. TULOKSET	55
3.1 Yleinen tarkastelu Suomen katuverkolla: henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS eri katuluokilla.	55
3.1.1 Katuverkosto ja sen liikenteen luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan	55
3.1.2 Luonnonvarojen käytön tarkastelua katuluokittain	58
3.1.3 Henkilöliikenteen MIPS eri katuluokilla	59

3.1.4. Tavaraliikenteen MIPS eri katuluokille	61
3.1.5 Keskimääräinen katu henkilö- ja tavaraliikenteessä	63
3.2 Kuntaryhmittäinen tarkastelu: henkilöautoliikenteen MIPS eri katuluokilla.....	66
3.2.1 Suurten kaupunkimaisten kuntien pääkadut, kokoojakadut ja tonttikadut.....	66
3.2.2 Muiden kuntaryhmien ajoneuvoliikenne	68
3.3 Yksityisteiden MIPS.....	69
3.3.1 Yksityisteiden materiaalien kokonaiskulutus.....	69
3.3.2 MIPS-luvut henkilö- ja tavaraliikenteessä	70
3.4 Paikallisen liikenteen MIPS – kaksi esimerkkikuntaa.....	72
3.4.1 Ajoneuvoliikenne.....	72
3.4.2 Raideliikenne: metro-, raitiovaunu- ja pääkaupunkiseudun lähijunaliikenne	74
3.4.3 Pyöräliikenne	79
4. TULOSTEN YHTEENVETO JA ARVIOINTIA	81
4.1. Keskeiset löydökset	81
4.1.1 Luonnonvarojen kokonaiskäyttö paikallisessa liikenteessä	81
4.1.2 Paikallisen liikenteen MIPS-luvut	83
4.2 Suomen paikallisen liikenteen materiaalin käytön pienentämismahdollisuuksia.....	85
4.3 MIPS-menetelmän arviointia	88
4.4 Ehdotuksia jatkotutkimukselle	89
LÄHTEET.....	90

LIITTEET:

- LIITE 1. Maapohjatyypien arvioituja jakaumia
- LIITE 2. Laskelmissa käytetyt kuntaryhmät, laskennalliset katuluokat ja suoritteet
- LIITE 3. Laskelmissa käytettyjä ajoneuvotyyppien jakautumia ja suoritteiden määriä
- LIITE 4. Keskimääräisten katuluokkien MI-lukujen erittely
- LIITE 5. Ajoneuvoliikenteen kulutuksen erittely
- LIITE 6. Laskelmissa käytetyn yksityistien MI-luvun erittely
- LIITE 7. Esimerkkikaupunkien katujen MI-luvun erittely
- LIITE 8. Metroliikenteen MI-luvun erittely
- LIITE 9. Raitiovaunuliikenteen MI-luvun erittely
- LIITE 10. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MI-luvun erittely
- LIITE 11: Raideliikenteen vuosittainen kokonaiskulutus
- LIITE 12. MIPS-laskennan tulokset: katuluokat ja keskimääräinen katu
- LIITE 13. MIPS-laskennan tulokset: Ajoneuvoliikenteen MIPS-tulokset esimerkkikunnissa
- LIITE 14. MIPS-laskennan tulokset yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta

1. JOHDANTO

1.1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Liikenteellä ja sitä palvelevalla infrastruktuurilla on merkittäviä ympäristövaikutuksia. Näistä yleensä painotetaan liikenteen aiheuttamien päästöjen, melun ja energiantuotannon aikaansaamia haittoja ihmiselle ja luonnonympäristölle. Liikenneinfrastruktuurin rakentaminen ja ylläpito kuluttavat kuitenkin myös paljon materiaalia. Suorat materiaalivirrat ovat liikenne-sektorilla suuria. Lisäksi muun muassa liikennevälineiden valmistukseen liittyy paljon epäsuoria materiaalivirtoja. Liikenteen elinkaarenaikaisista materiaalivirroista ei ole aikaisemmin tehty Suomessa kattavaa tutkimusta. FIN-MIPS Liikenne -hanke perustettiin tätä varten ja menetelmänä käytettiin Wuppertal-instituutissa Saksassa 1990-luvulla kehitettyä MIPS-menetelmää (Material Input per Unit Service). MIPS-menetelmällä voidaan laskea tuotteiden materiaalipanosta ja suhteuttaa sitä tuotteesta saatuun hyötyyn. FIN-MIPS Liikenne –tutkimushankkeen tavoitteena oli tuottaa tietoa eri liikennemuotojen luonnonvarojen käytöstä.

Paikallisella liikenteellä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa taajamien katuverkkojen sekä haja-asutusalueiden yksityisteiden ajoneuvoliikennettä, sekä pyörätieliikennettä. Pääkaupunkiseudun paikallisesta liikenteestä tarkasteltiin myös metro-, raitiovaunu- ja lähijunaliikennettä.

1.2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli laskea paikallisen liikenteen MIPS-lukuja henkilö- ja tavaraliikenteessä. Osatavoitteena oli muodostaa käsitys katuverkkojen ja yksityisteiden ominaispiirteistä Suomessa. Tutkimuksen tavoitteena oli laskea karkeasti myös pääkaupunkiseudun lähijuna-, raitiovaunu- ja metrolinjojen MIPS-luvut samoin kun vertailla pääkaupunkiseudun pyöräliikenteen MIPS-lukuja Suomen keskimääriin lukuihin.

Tavoitteena oli tuottaa tavaraliikenteen MIPS-lukuja sellaisessa muodossa, että niitä voidaan käyttää tuotteiden ja palveluiden elinkaarenaikaisten materiaalivirtojen laskennassa. Vastavasti tavoitteena oli tuottaa sellaisia henkilöliikenteen MIPS-lukuja, joilla voidaan havainnollistaa ihmisten liikkumistottumusten ja asuinpaikan valinnan vaikutusta luonnonvarojen kuluksi.

1.3 TAAJAMIEN KATUVERKOT KUNNISSA

1.3.1 Asutuksen sijoittumisen kehitys ja nykytilanne Suomessa

Suomea kuvaillaan usein harvaan ja hajanaisesti rakennettuna maana, jossa kuitenkin asutaan ahtaasti. Nykyisessä aluerakenteessa on vielä merkkejä vanhasta maatalousyhteiskunnan rakenteesta, jossa raaka-aineet, energianlähteet tai luontaiset liikenneyhteydet ohjasivat asutusta (Ympäristö ja tietolähteet tiensuunnittelussa 1998).

Ennen teollistumisen aikakautta Suomessa asutuksen sijaintia ohjasivat pääosin vesireitit, viljelyyn soveltuva maaperä sekä harjujaksojen sijainti. Teollistuminen alkoi synnyttää pieniä

kaupunkeja ja taajamia raaka-aineiden läheisyyteen sekä energian lähteille, esimerkiksi koskien varrelle (Westerholm & Raento (toim) 1999: 134–135). Myös rautateiden rakentaminen alkoi 1900-luvusta alkaen ohjata asutuksen sijoittumista. Asutus laajeni ja asutusverkko tiheni haja-asutusalueilla. Myös maatalousasutus tihentyi maailmansotien jälkeen siirtoväen asutus-toiminnan myötä.

Suomessa kaupungistuminen alkoi myöhemmin kuin muissa teollisuusmaissa, ja alkoi kiihtyä vasta 60-luvun lopulla. Koko viimeisen vuosisadan ajalta ovat Suomen asutus- ja yhdyskuntarakenteen muotoutumiseen vaikuttaneet ennen kaikkea maatalouden työllistävän merkityksen romahtaminen, teollistuminen ja teollisuuden rakennemuutos sekä liikkuvuuden voimakas lisääntyminen. Muuttoliike on kohdistunut etenkin maan etelä- ja länsiosien asutuskeskuksiin (Westerholm & Raento (toim) 1999: 134,136). Kaupungistumisen painopiste siirtyi 1990-luvulla lisäksi yhä enemmän maan suurimpiin asutuskeskuksiin.

Suomessa on 432 kuntaa (v. 2005) ja 748 taajamaa (v. 2000). Taajama on vähintään 200 asukkaan alue, jossa rakennusten lukumäärä ja kerrosala muodostavat ympäröivää haja-asutusta selkeästi tiheämmän ryhmittymän. Hallinnollisesti kunnat voidaan luokitella ”kaupunkeiksi” tai ”kunniksi”. Tämä ei kuitenkaan välttämättä kerro kunnan yhdyskuntarakenteen ominaispiirteistä. Tilastokeskuksen *tilastollinen luokitus* (Kuva 1) ottaa huomioon kunnan taajamaväestön osuuden ja sen määrän. Näillä kriteereillä erotellaan kunnat kolmeksi luokaksi: kaupunkimaiset kunnat, taajaan asutut kunnat sekä maaseutumaiset kunnat.

Kolmasosa Suomen taajama-alasta on syntynyt viimeisen 20 vuoden aikana. Samalla taajamissa asuvan väestön osuus kokonaisväestöstä on kasvanut 71,0 prosentista 80,6 prosenttiin. Koska taajamien pinta-alan kasvu on ollut nopeampaa kuin taajamien väestökasvu, on seurauksena ollut taajamien keskimääräisen asukastiheyden lasku. Tämä oli voimakkainta 1980-luvulla ja se hidastui selvästi 1990-luvulla. Kaupunkiseutujen väestönmuutos on viimeisen 20 vuoden aikana perustunut yleisesti (Helsinkiä lukuun ottamatta) yhdyskuntarakenteen näkökulmasta pääosin niin sanottuun ulkoiseen, taajama-alueiden laajentumiseen perustuvaan kasvuun. Viimeisten vuosien aikana on kuitenkin todettu selvä käänne myös sisäisen, olemassa olevien taajamarajojen sisällä tapahtuvan väestökasvun suuntaan (Ristimäki ym. 2003).

Kaupungistuminen ja väestön muuttoliike kaupunkimaisiin yhdyskuntiin tapahtui yhdessä autoistumisen kanssa. Halpa energia ja hyvä tieverkko tekivät mahdolliseksi toteuttaa monen suomalaisen toiveen asua väljässä ympäristössä myös taajamissa ja kaupunkikeskusten liepeillä. Suomalaisten kaupunkien yhdyskuntarakenne onkin Euroopan hajanaisimpia. Hajanaisesta yhdyskuntarakenteesta aiheutuu haittoja ja erilaisia lisäkustannuksia, paitsi kunnossapidossa ja energiahuollossa, myös pitkien asuntojen sekä työpaikkojen ja palvelujen välisten etäisyyksien vuoksi (Ympäristö... 1998).

1.3.2 Katujen rakentamisen historiaa Suomen olosuhteissa

Keskiaikaisen kaupunkilain mukaan yleisten katujen tuli olla vähintään 4,8 metriä leveitä. Kaupunkien keskustoissa esiintyi kuitenkin usein suurta tuhoa aiheuttavia tulipaloja ja lähinnä tämän vuoksi alettiin vähitellen rakentaa leveämpiä katuja tulen leviämisen hidastamiseksi. Paloturvallisuudesta tuli 1700–1800 -luvuilla tärkein syy kaupunkirakenteiden väljempään suunnitteluun. Ruutukaavoituksessa erityisesti katujen leventämistä pidettiin tärkeänä. 1600-luvun asemakaavoituksessa katujen leveys oli määritelty noin 10–12 metriksi, Kuopiossa 1770-luvulla oli leveys nostettu jo runsaaseen 14 metriin, ja Turussa jopa 18 metriin. Lisäksi muodostettiin kolme 24 metrin levyistä katulinjaa - keskimmäinen reunustettiin puuistutuksilla - mikä jakoi kaupungin kolmeen paloalueeseen ja oli näin estämässä suurpalon leviämistä (Turpeinen 1995).

Katurakentamisella ja kunnossapidolla on ollut monia muitakin ongelmia kautta aikain. Eri-tyisesti katujen rakentaminen pehmeälle maaperälle on aiheuttanut pysyviä ongelmia. Kaupungeissa, jotka sijaitsevat harjualueilla ja joilla maaperä on soveltunut kadunrakentamiseen, ei näitä ongelmia yleensä ole ollut. Salpausselkien reunamuodostumat ovat alueita, jotka sisältävät suuret määrät hiekkaa ja soraa, ja soveltuvat siten hyvin rakennusmaaksi. Joitakin kaupunkeja on rakennettu näiden päälle, esimerkiksi väleillä Lahti-Imatra ja Hanko-Hyvinkää. Esimerkiksi aikoinaan Tammisaassa voitiin helposti vain kivetä katuja, koska kaupunki sijaitsi hiekkaperäisellä maaperällä. Sen sijaan tyypillisiä syvän liejusaven kaupunkialueita, joilla on esiintynyt rakentamisvaikeuksia, on Turun vanhan keskustan ympärillä Aurajoen varrella ja Salon vanhan kauppalan keskustassa, vaikka molemmissa paikoissa on myös saven jyrkästi nousevia kallioita. Yleensä ottaen Suomen rannikkoalueiden maaperä on pehmeää (Seppälä 1999; Turpeinen 1995).

Rakentamisen kannalta epäedullinen maapohja on ollut myös muun muassa Kajaanissa, Oulussa, Uudessakaarlepyyssä ja Uudessakaupungissa. Näissä kaupungeissa jouduttiin ennen tekemään muun muassa puutukeista siltoja, kun pahimpiin upottaviin kohtiin ei riittänyt hiekan tai soran tuominen (Turpeinen 1995).

Koska kadunrakentaminen tukeutuu maapohjaan, on aina ollut tarpeellista tietää, miten paljon maaperä kestää kuormitusta ja miten se vaikuttaa rakennuskustannuksiin. Tämä edellyttää maapohjan tutkimuksia ja erityistä maarakennusmekaniikan eli geotekniikan tuntemista. Jonkinasteista maapohjatutkimusta on harjoitettu rakentamisessa kautta aikojen, mutta pääasiassa tutkimukset ovat kuitenkin perustuneet silmämääräisyyteen. Suomessa rakentamiselle edulliset harjualueet ovat ohjanneet asutuksen sijaintia jonkin verran, mutta paikoitellen kaupunkia perustettaessa tai kaavoitettaessa painavimpina kriteereinä ovat olleet enemmänkin sotilaalliset seikat kuin maapohjan edes summittainen tarkastelu. Hallitsijan mahtikäskyllä kaupunki saattoi kohota savikkoon, jopa suoalueelle. Näin tapahtui esimerkiksi Pietaria rakennettaessa. Suomessakin kadut usein vedettiin ruutuasemakaavan mukaisesti maastosta riippumatta (Turpeinen 1995). Riihimäki on myös yksi esimerkki savikolle rakennetusta kaupungista, jonka sijoittumiseen vaikutti lähinnä Helsinki-Hämeenlinnan rautatien strateginen linjan veto.

Suomessa katujen rakentamiseen on myös vaikuttanut routiminen, joka on määräävä tekijä kadun rakennekerroksille lähinnä Itä- ja Pohjois-Suomessa (Katu 02, 2003). Lisäksi Suomessa on paljon suoalueita, joilla routimisilmiö korostuu.

1.3.3 Paikallinen liikenne katuverkoilla nykyään

Kadut Suomessa

Kadut ovat pääasiallinen väylämuoto taajamien asemakaava-alueilla, ja niiden pääasiallinen rakentaja on kunta. Asemakaava-alueilla voi olla myös yksityisteitä ja yleisiä teitä, joiden rakentamisesta huolehtivat vastaavasti yksityisteiden tiekunnat ja Tiehallinto. Taajaman ulkopuolelta tulevat ja siihen johtavat yleiset tiet päätetään kuitenkin yleensä ensimmäiseen sellaiseen merkittävään katu- tai tieliittymään, josta alkaen paikallisen liikenteen osuus on huomattava. (Liikenne yhdyskunnan suunnittelussa 2003).

Suomessa katuja on noin 26 000 km. Suurin osa katuverkostosta on rakennettu 1970–90 – luvuilla taajamien kasvaessa. Katuverkoston painopiste sijaitsee Etelä- ja Lounais-Suomen kaupunkimaisissa kunnissa.

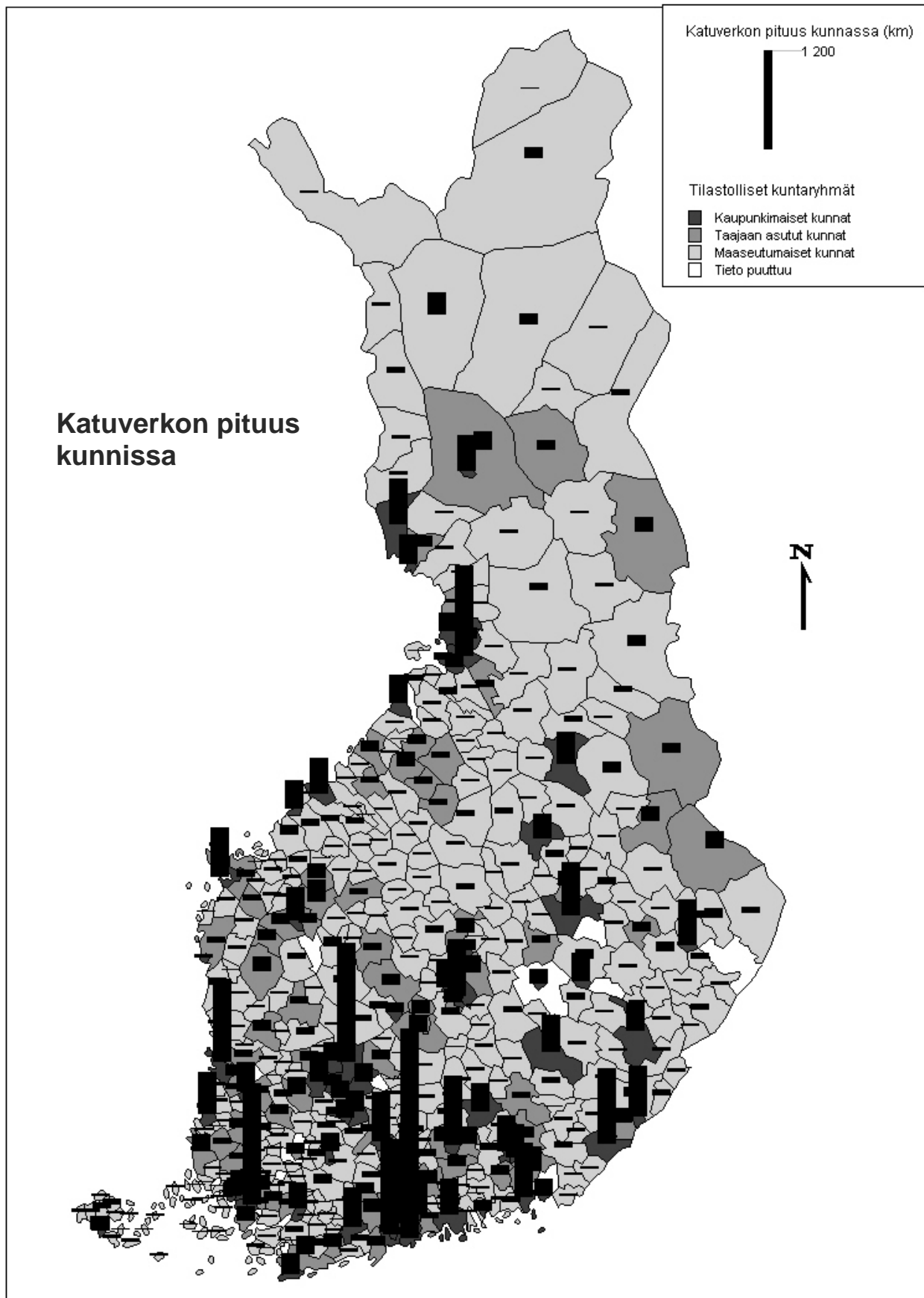
Kokonaissuorite kaduilla Tiehallinnon arvion mukaan oli noin 16,7 miljardia ajoneuvokilometriä vuonna 2003. Tähän lukuun sisältyy yksityisteiden suorite, joka on arviolta 1 miljardi ajoneuvokilometriä. Tässä työssä yksityistiet tarkastellaan erikseen. Yksityisteiden suorite on siten irrotettu katuliikenteen suoritteesta (Taulukko 2).

Suomen katujen kokonaissuorite on suhteellisen hyvin tiedossa. Yksittäisten kuntien kohdalla tietoa on kuitenkin hyvin vähän saatavilla. Kuntien taajama-alueilla tehdään liikennelaskelmia lähinnä risteysalueilla kapasiteettikysymysten ratkaisemiseksi, mutta kallista kokonaissuoritteen selvittämistä taajamassa tai koko kunnan alueella tehdään harvoin. Liikennesuoritetta kaduilla ja rakennuskaavateilla ei systemaattisesti lasketa muualla kuin Helsingissä ja Espoossa (Mäkelä 2005a).

Yksittäisten kuntien katu- ja rakennuskaavateiden suoritetta määritetään nykyään yleisimmin jakamalla kokonaissuoritetta kuntien asukasluvulla. Kovin yksityiskohtaisia päätelmiä suorittemääristä ei tälläkään menetelmällä pitäisi tehdä, koska suoritearvot ovat laskentatuloksia eivätkä kuvaa tiedon tarkkuustasoa. Se antaa kuitenkin kohtalaisen hyvän yleiskuvan erikoisista kaupungeista. Suoritetta on yritetty kuntakohtaisesti määrittää 1980-luvulla myös toiminnallisten tekijöiden perusteella kuten teollisuuden ja palveluiden määrällä ja sijainnilla, mutta tästä menetelmästä on sittemmin luovuttu (Mäkelä 2005a).

Katusuoritteesta suurin osa, noin 85 % aiheutuu henkilöautoliikenteestä (Taulukko 1).

Vähäinen tieto katuliikenteen suoritteista on todettu jo 1960-luvun alkupuolella ensimmäisiä kertoja. Ensimmäinen valtakunnallinen katuliikennelaskelma tehtiinkin vuonna 1965, ja vastaavat laskelmat 1975 ja 1986 (Manns 1987).



Kuva 1. Katuverkoston jakautuminen Suomen kuntiin. Kunnat on jaettu tilastollisiin kuntaryhmiin, joiden perusteella on laskettu MIPS-lukuja luvussa 3.2. Kuva Suvi Talja.

Taulukko 1 Ajoneuvotyyppien jakauma katuverkolla yleisesti (VTT 2005a).

Ajoneuvotyyppi	Suorite (milj. ajoneuvokm)	Suorite (%)
Henkilöautot	13 417	85,0
Pakettiautot	1 705	10,8
Kuorma-autot	489	3,1
Linja-autot	174	1,1
Yhteensä	15 785	100

Taulukko 2. Katuluokkien pituudet ja liikennesuorite Suomessa. Katuluokkien jakaumaprosentit vuodelta 1999. Niiden perusteella laskettu vuoden 2004 katuluokkien kilometripituuksien osuus (Tielaitos 1999; VTT 2005a).

Katuluokat	Katuverkon pituus		Suorite	
	km	%	milj. ajoneuvokm/a	%
Pääkadut	1 068	4,1	11 113	70
Kokoojakadut	7 123	27,4	2 747	17
Tonttikadut	17 808	68,5	1 926	12
Yhteensä	26 000	100,0	15 785	100

Yhdyskuntarakenteen vaikutus liikennesuoritteeseen määrään

Erikokoisten ja muodoltaan erilaisten yhdyskuntien energiankulutus eroaa toisistaan. Yhdyskunnan energiankulutus koostuu lämmityksestä, sähkönkulutuksesta ja liikenteen vaatimasta energiasta. Liikennettä lisäävät erityisesti pitkät etäisyydet työ- ja asuinpaikkojen välillä.

Kaupungin koon vaikutus liikennetarpeeseen on merkittävä. Liikenteen energiakulutus on eräissä Ruotsissa tehdyssä tutkimuksissa todettu riippuvan *yhdyskunnan koosta ja muodosta, rakentamistehokkuudesta ja kulkumuotojakaumasta*. Liikennesuorite kasvoi yhdyskunnan koon kasvaessa. Eniten liikennettä oli nauhamaisessa yhdyskuntarakenteessa. Tällainen rakenne tosin antaa paremmat mahdollisuudet joukkoliikenteen järjestämiseen. Nauhamainen kaupunkikeskuksen rakenne johtuu yleensä topografisista syistä, kuten sijainnista harjanteella tai kannaksella. Esimerkiksi Savonlinnan yhdyskuntarakenteen laajentumista rajoittaa osittain sen keskustaajamien sijainti kannaksella. Rakentamistehokkuuden erilaisuus vaikutti paljon liikennesuoritteeseen määrään. Omakotitaloista koostuvan yhdyskunnan henkilöautosuorite oli tutkimuksen mukaan lähes kaksinkertainen ja linja-autosuorite lähes 3,8-kertainen tiheään kerrostaloista koostuvaan alueeseen verrattuna. (Kalenoja & Kallberg 1998: 136–137; Kaupunkiseutujen pääväylät – tilaselvitys 1995.)

Yhdyskunnan henkilöautoistuminen ja samalla liikennetarpeen lisääntyminen on seurausta maankäytön tehokkuuden alenemisesta. Henkilöliikenteen varaan rakentuvilla yhdyskunnilla on tyypillistä työpaikkojen sijoittuminen hajalleen, suuret ostoskeskukset, voimakkaasti eriytynyt maankäyttö, vähäinen julkisen liikenteen tarjonta, suuri pysäköintitilan määrä ja tiheä katuverkko. Käytännössä Suomen yhdyskuntarakenne on hajautunut viimeisten vuosikymmenten aikana ja väestö keskittyy pääkaupunkiseudulle ja muihin kasvukeskuksiin (Kalenoja & Kallberg 1998).

Suomessa kaupunkimaisissa kunnissa autollisten kotitalouksien osuus ja keskimääräiset ajo-suoritteet ovat pienempiä kuin maaseutumaisissa kunnissa. Maaseutumaisissa kunnissa 85 % väestöstä asuu autollisessa taloudessa, kaupungeissa osuus on 76 % (Liikenne yhdyskunnan... 2003).

Energiankulutukseltaan ihanteellisin taajamatyyppi on tutkimusten mukaan alle sadantuhannen asukkaan tiivis kaupunki. Tätä suuremmissa kaupungeissa etäisyydet ovat suuria ja toiminnat on yleensä sijoitettu hajautetusti (Kalenoja & Kallberg 1998: 139). Liikkumisen kasvu ei ole hajautumisen ainoa vaikutus, vaan myös infrastruktuurin rakentamiselle tulee lisäpaineita. Yhdyskuntaverkoston kuten katujen on ulotuttava tällaisessa rakenteessa etäämmälle (Liikenne yhdyskunnan... 2003)

1.4 ELINKAARITARKASTELU JA KADUT

Liikennesektorin ympäristövaikutuksia laskettaessa on usein ollut tapana keskittyä vain ajoneuvojen ja tiestön käytön vaikutuksiin. Elinkaariarvioinnilla saadaan kuitenkin kokonaisvaltaisempi kuva kuin pelkkää käyttövaihetta tarkasteltaessa (Kalenoja & Kallberg 1998: 95). Elinkaariarviointia tarvitaan, koska taloudellinen ohjaus ei toistaiseksi toimi siten, että ympäristön kuormittamisesta jouduttaisiin maksamaan täyttä hintaa.

Elinkaaritarkastelulla tarkoitetaan (Kalenoja & Kallberg 1998; Laakso 1998) sellaista kokonaisvaltaista tarkastelua, jossa voidaan määrittää tuotteelle koko elinkaaren aikaiset kumulatiiviset kustannukset, energiankulutus, sekä sosiaaliset ja ympäristölliset vaikutukset. Ympäristötekijöiden elinkaarianalyysissä tarkastellaan vain tuotteen ympäristövaikutuksia, jätekertymää sekä energian ja luonnonvarojen kulutusta. Laskennassa otetaan huomioon koko tuotteen elinkaari eli raaka-aineiden hankinta ja käsittely, tuotteen valmistus ja jakelu, ylläpito, kierrätys ja loppusijoitus ja kaikki kuljetukset (Laakso 1998).

Elinkaaritutkimusmenetelmien kehittäminen alkoi 1960-luvulla yksittäisten tuotteiden kokonaisvaltaisesta tarkastelusta. Ensimmäiset elinkaarianalyysien tieteelliset sovellukset tehtiin pakkaus- ja kemian teollisuuden aloilla.

Käsitteistö eri elinkaaritutkimuksissa ei ole yksiselitteistä, vaan vaihtelee tutkimusalan ja tutkimuksen tavoitteiden mukaan. Elinkaaritutkimuksen rakenteen tulisi olla avoin ja läpinäkyvä. Laskennassa oletettujen lähtöarvojen ja eri painotus- ja arvostustekijöiden tulisi olla helposti nähtävissä tuloksia tarkasteltaessa. Yhtenevän ja yleisesti hyväksytyyn laskentatavan puuttuminen on estänyt elinkaariarvioinnin yleistymistä. Kulloisenkin tarkasteltavan kohteen rajaaminen ja laskentasuureiden valinta on erittäin vaikeasti määriteltävissä, varsinkin jos halutaan tehdä kansainvälisesti vertailukelpoista tutkimusta.

Liikenneinfrastruktuurin elinkaaren vaiheet koostuvat väylien rakentamisesta, käytön aikaisesta ylläpidosta ja rakenteen parantamisesta sekä käytöstä poistumisesta. Ajoneuvojen elinkaareen kuuluu raaka-aineiden hankinta sekä ajoneuvojen valmistus, käyttö ja jätehuolto. Tarkasteluajan tulisi olla suhteessa käyttöikänsä.

Kadunpidossa yleensä tulee pyrkiä koko käyttöiän kattavaan kustannusten optimointiin, ja tällöin käyttöikänsä käytetään tyypillisesti 20 vuotta. Kadun todellista ikää on kuitenkin mah-

dotonta ennalta arvioida – kadun ikä voi olla satojakin vuosia. Sen sijaan monien kadunrakennuksessa käytettävien tuotteiden käyttöikä on lyhyempi kuin kadun käyttöikä (Laakso 1998). Esimerkiksi kadun hoitoluokasta ja kuormituksesta riippuen ajoratojen kulutuskerroksena käytettävä asfalttiberonkerros uusitaan 6-20 vuoden välein (Hänninen ym. 2005).

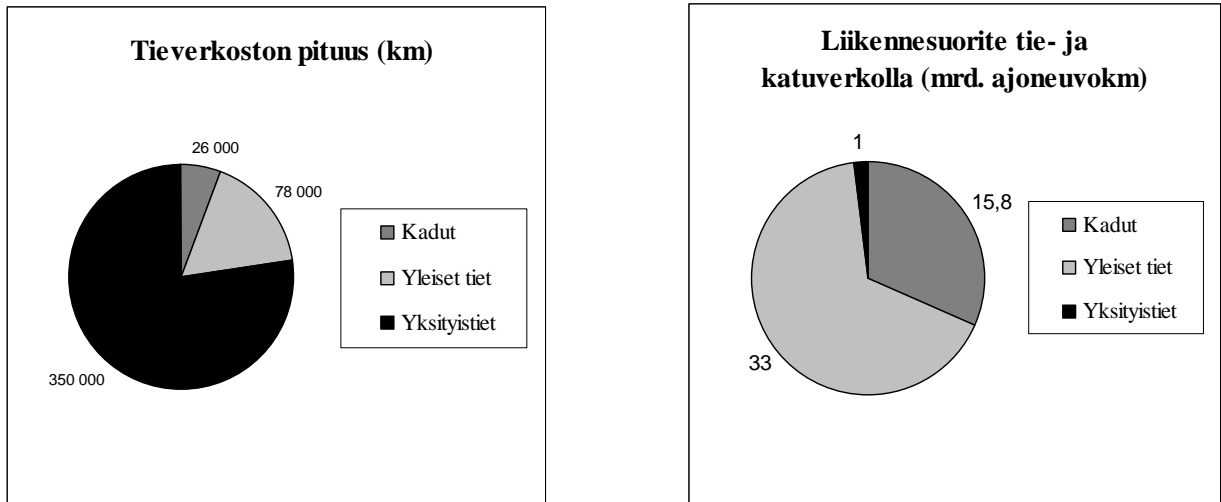
Kadut rakennetaan lähes yksinomaan kivipohjaisista materiaaleista. Materiaaleja jalostetaan vähän ja se tapahtuu lähes pelkästään mekaanisesti. Mekaaninen jalostus kuormittaa ympäristöä verrattain vähän, esimerkiksi kuumennus (mm. alumiinin valmistuksessa) vaatii paljon enemmän energiaa tuotettua yksikköä kohden kuin mekaaninen jalostus (Laakso 1998). Käytettävissä olevien kiviainesten määrä voi puolestaan olla moninkertainen verrattuna joihinkin muihin materiaaleihin. Suomessa on soranottoa jossain määrin kuitenkin jo rajoitettu, koska soranotolla on haitallinen vaikutus herkkään harjuympäristöön ja pohjavesien laatuun.

Katujen rakentaminen johtaa myös maapintojen sulkemisen kautta valuma-alueiden vedenpitävyyskyvyn heikkenemiseen, mikä aiheuttaa rankkasateilla tulvimista ja jätevesipuhdistamoiden toimintahäiriöitä.

1.5 YKSITYISTIET LYHYESTI

Suomen tiestöstä suurin osa on yksityisteitä. Niiden yhteenlasketun pituuden arvioidaan olevan noin 350 000 km, mikä vastaa 77 % koko tiestön pituudesta (Kuva 2). Yksityisteiden liikenteellinen merkitys on kokonaisuutena pienekkö, mutta paikallisesti niillä on suuri merkitys erityisesti haja-asutusalueilla (Liikenne yhdyskunnan... 2003: 144). Yksityistiet ovat yleensä mutkaisia ja mäkisiä teitä, jotka ovat syntyneet vähitellen liikennetarpeen mukaan (Tiehallinto 2005c). Yksittäiset tieosuudet ovat usein lyhyitä. Yksityisteiden hallinto on hajanaista. Näistä syistä ei ole pidetty koottuja tilastoja kaikkien yksityisteiden pituuksista tai niiden liikennemääristä (Lehtinen 2005b). Vuodesta 1996 valtio ei ole enää maksanut avustuksia yksityisteiden kunnossapitoon, mikä on laskenut yksityisteiden kuntoa sekä myös heikentänyt rekistereiden ylläpitoa (Yksityisteiden ominaisuus- ja kuntotiedon keruun kehittäminen 2004).

Yksityistieverkon tilan tuntee parhaiten Tiehallinto, joka seuraa yksityisteiden kunnan kehittymistä sekä neuvoo tiekuntia tienpidossa ja valtionavustuksiin liittyvissä asioissa. Lisäksi yksityisteiden edunvalvojana toimii Suomen tieyhdistys (Tiehallinto 2005a; Yksityisteiden ominaisuus-... 2004: 11).



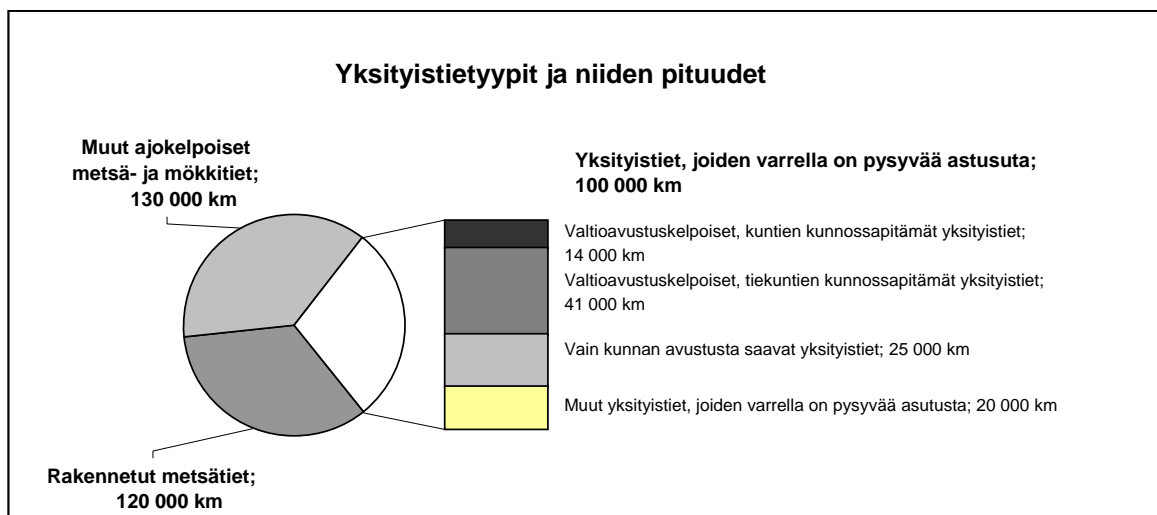
Kuva 2 Yksityisteiden osuus tieverkoston pituudesta on suurin, mutta niiden liikennesuorite on vain noin 1 miljardi ajoneuvokilometriä vuodessa.

Valtaosa yksityisteistä on haja-asutusalueilla, mutta yksityisteitä on myös taajamien lähialueilla ja jopa asemakaava-alueilla (Suomen Tieyhdistys 2005a). Taajamien lähialueilla yksityisteitä ei välttämättä erota kaduista. Yksityisteitä ei ole luovutettu yleiseen liikenteeseen. Valtaosa niistä on metsä- ja mökkiteitä. Pysyvää asutusta on noin 100 000 yksityistiekilometrin varrella.

Vaikka kunnat eivät hallinnoikaan yksityisteitä, vaikuttavat ne yksityisteiden rakentamiseen ohjaamalla asuinrakentamista haja-asutusalueilla. Kunta voi ohjata asemakaava-alueiden ulkopuolista rakentamista esimerkiksi oikeusvaikutteisella yleiskaavalla. Suunnittelemattomasti leviämään päästetty rakentaminen aiheuttaa luonnonympäristön pirstoutumista. Lisäksi se aiheuttaa kasvavia kustannuksia palvelujen järjestämisestä ja suuremmasta liikennetarpeesta johtuen (Liikenne yhdyskunnan... 2003: 58). Haja-asutusalueille rakentaminen voikin pitkällä tähtäyksellä tulla kalliimmaksi kuin taajamaan rakentaminen niin yksityis- kuin kunnallistaloudellisesti (Kopra 1992; Lahti 1996).

Paikkakunnalla liikenteellisesti merkittävät ja tiekuntien ylläpitämät tai pysyvän asutuksen kannalta merkittävät yksityistiet voivat hakea valtion avustusta tien parannusta varten. Tällaisia yksityisteitä on yhteensä 55 000 km. Kokonaisuudessaan joko kunnan tai valtion (tai molempien) avustuksiin oikeutettuja yksityisteitä on yhteensä 80 000 km. Lisäksi on 20 000 km sellaisia yksityisteitä, joilla ei ole kiinteistön omistajien lisäksi muuta hallintajärjestelmää (Sirkiä 2000; Kuva 3).

Aiemmin yksityistiet on mielletty lähes pelkästään maa- ja metsätalouden kuljetustarpeiden hoitajiksi. Nykyään muunlainen yritystoiminta, kuten matkailu, pysyvät taloudet ja vapaa-ajan asunnot ovat tulleet aiempaa merkittävimmiksi. Yksityistiet ovat tärkeitä myös metsien moninaiskäytön, esimerkiksi marjastuksen kannalta. Maa- ja metsätalouden merkitys on yksityisteillä kuitenkin edelleen suuri, ja esimerkiksi puutavarasta valtaosa lähtee liikkeelle yksityistien varresta (Suomen... 2005a). Metsäteollisuuden suoritemääristä metsäautoteillä ei kuitenkaan ole saatavilla koottua tietoa. Puunkuljetusajoneuvoissa on nykyään GPS-tunnistimet, joten yksittäisiltä metsäyhtiöiltä tietoa mahdollisesti löytyisi. Metsäteollisuuden puunkorjuuketjun ympäristövaikutuksista on tehty joitain tutkimuksia eri korkeakouluissa (Jääskeläinen 2005)



Kuva 3. Yksityistiet Suomessa tietyypeittäin. Muokattu Yksityisteiden ominaisuus- ja kuntotiedon keruun kehittämisen (2004) mukaan. Yksityistiet, joiden varrella on pysyvää astutusta, voivat saada avustuksia valtiolta tai kunnilta (poikkeuksena noin 20 000 km).

Vähäliikenteisen tiestön toimintaympäristö on muuttumassa, kun maaseudulla asutus on keskittymässä kuntakeskuksiin ja niiden lähialueille. Tämän seurauksena erityisesti vakinaisen asutuksen synnyttämä liikenne vähenee jo nykyisinkin vähäliikenteisellä tiestöllä (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

1.6 MIPS-LASKENTA JA AIKAISEMPI TUTKIMUS AIHEESTA

1.6.1 MIPS-menetelmän perusteet

MIPS-menetelmä on kehitetty Saksassa Wuppertal-instituutissa 1990-luvun alussa yhdeksi tavaksi mitata ekotehokkuutta ja yleisemmin kestävä kehityksen toteutumista. MIPS-menetelmä on yksinkertainen luonnonvarojen käytön mittari, jonka avulla voidaan seurata ekotehokkuutta. Ekotehokkuuden perusajatus on suuremman hyödyn tuottaminen vähemmistä luonnonvaroista ("vähemmästä enemmän"). Sen avulla pyritään yhdistämään talouden ja ympäristön intressit (Schmidt-Bleek 2002).

MIPS-arvo voidaan määritellä lopputuotteille, jotka tuottavat jotakin palvelua, esimerkiksi pesukoneelle, jonka tuottama palvelu on yksi pesukerta.

MI (material input) on tuotteen tai palvelun koko elinkaarensa aikana kuluttamien materiaali-panosten summa. Materiaalit lasketaan kiloissa tai tonneissa. Materiaalipanos lasketaan yleensä viidessä kategoriassa. Kaikilla kategorioilla on omat kertoimensa:

1. Abioottiset eli uusiutumattomat materiaalit ovat luonnosta suoraan otettavia raaka-aineita, kuten esimerkiksi hiekka, malmit, fossiiliset polttoaineet ja muut kaivannaiset.

2. *Bioottiset eli uusiutuvat materiaalit* ovat ihmisen käyttämien luonnonvaraisten tai viljelykasvien biomassassa sekä kotieläinten syövä ravinto.
3. *Siirretty maaperä* on maa- ja metsätaloudessa joko mekaanisesti siirrettyä maaperäainesta, esimerkiksi kynnetyä pintamaata, tai eroosion aiheuttamaa pintamaan kulumista.
4. *Vesi* on kaikki se vesi, jonka luonnollista kulkua ihminen on muuttanut teknisin keinoin. Tähän kategoriaan sisältyy myös esimerkiksi pois alkuperäiseltä kulkureitiltään siirretty sadevesi.
5. *Ilma* on lähinnä kemiallisesti muutettua ilmaa, pääasiassa poltettua happea. Ilman kulutus on siten yhteydessä hiilidioksidipäästöihin.

S (service, palvelusuorite) on tuotteen tai palvelun käytön määrä eli esimerkiksi kaikki käyttökerrat.

Jakamalla koko elinkaaren aikainen materiaalinkulutus (MI) palvelusuoritteella (S), saadaan MIPS- arvo:

$$\text{MIPS} = \frac{\text{MI}}{\text{S}} \quad \frac{\text{MATERIAALIPANOS (MATERIAL INPUT)}}{\text{PALVELUSUORITE (SERVICE)}}$$

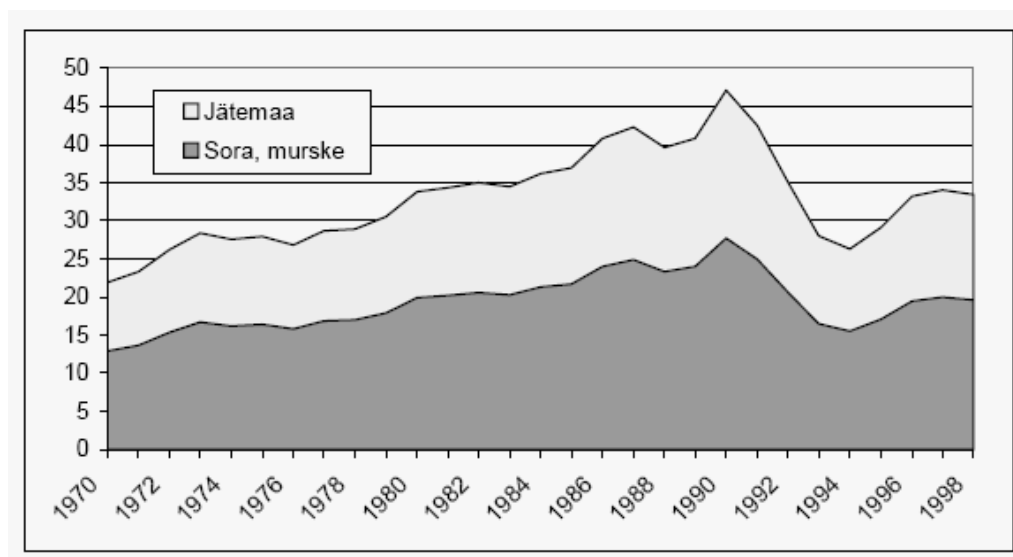
MIPS-luku laskee joko materiaalipanosta vähentämällä tai palvelusuoritteita lisäämällä. Mitä pienempi MIPS-luku on, sitä ekotehokkaampi palvelu on. Kertakäyttötuotteiden MIPS-luvun numeroarvo on sama kuin niiden elinkaaren aikana käyttämien materiaalipanosten summa, koska palvelukertoimeksi (S) tulee yksi.

1.6.2 Aikaisempi tutkimus kuntien ja katujen materiaalinkäytöstä ja ekotehokkuudesta

TMR kansantalouden materiaaliavirrat

Oulun yliopiston Thule-instituutissa on laskettu Suomen kansantalouden materiaaliavirrat eli TMR (total material requirement, luonnonvarojen kokonaiskäyttö). Mäenpään ym. (2000b) tutkimuksessa rakentamisen maa-ainesten merkittävimiksi käyttäjiksi todettiin yleisten teiden rakentaminen (39 %) ja kuntien maarakentaminen (27 %). Kuntien maa-aineskäyttö sisältää paikallisteiden, katujen ja viheralueiden rakentamisen ja kunnossapidon sekä muun kunnallisteknisen maa- ja vesirakentamisen. Yhteensä nämä kuluttivat vuonna 1992 noin 20 miljoonaa tonnia soraa, mursketta ja hiekkaa.

Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytön tutkimuksissa todettiin yhdyskuntien rakentamisen maa-aineskäytön olevan kasvussa (Kuva 4). Muuttoliike lisää infrastruktuurin rakentamisen tarvetta, kun väestö keskittyy taajamiin ja suuriin asutuskeskuksiin. Lähtöyhdyskuntien infrastruktuuri jää vajaakäyttöön ja kasvukeskuksiin on rakennettava uutta. Toisaalta yhdyskuntarakenteen tiivistäminen kasvukeskuksissa vähentää lisäinfrastruktuurin rakentamispaineita (Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa 2000)



Kuva 4. Kuntien maa-ainesten käyttö vuosien 1970 – 1998 välillä (Mäenpää ym. 2005b).

MateriaEuro – Luonnonvarojen käyttö katujen rakentamisessa ja ylläpidossa

Helsingin kaupungin rakennusviraston MateriaEuro -hankkeessa (Hänninen ym. 2005) selvitettiin esimerkkikadun ja erilaisten teoreettisten katutyypin rakentamisen ja ylläpidon luonnonvarojen kulutusta. Hankkeessa laskettiin MIPS-menetelmällä abioottisten luonnonvarojen, veden ja ilman kulutusta. Tärkeitä havaintoja oli, että katujen rakentamisessa syntyy paljon suoria materiaalivirtoja, jotka muodostavat etenkin abioottisesta kategoriasta suurimman osan. Myös kadun ylläpidossa todettiin abioottisessa kategoriassa suorien materiaalivirtojen olevan merkittävimmät. Veden kulutus johtuu lähinnä valaistuksen vaatimasta energiantuotannosta ja päällystettyjen katujen aiheuttamasta sadeveden siirtymästä. Ilman kulutus aiheutuu lähinnä polttoprosesseista. Kadun rakentamisen materiaalipanoksia todettiin olevan ylläpitoa merkittävämpi, jos kadun käyttöikä on 50 vuotta.

1.6.3 Aikaisemmat tutkimukset FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa

FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa on selvitetty liikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen kulutusta Suomessa MIPS-menetelmää käyttäen. Luonnonvarojen kulutusta on tarkasteltu eri osatutkimuksissa, jotka ovat käsitelleet maanteiden liikennettä (Pusenius ym. 2005), raideliikennettä (Vihermaa ym. 2005), lentoliikennettä (Nieminen ym. 2005), meriliikennettä (Lindqvist ym. 2005) ja pyöräliikennettä (Hakkarainen ym. 2005).

Maanteiden MIPS-laskelmissa selvitettiin eri ajoneuvojen ja neljän eri toiminnallisen tieluokan elinkaarenaikaisia materiaalipanoksia. Ajoneuvoista ja tieluokista valittiin mahdollisimman hyvin edustavia esimerkkejä, joiden materiaalipanoksia selvitettiin yksityiskohtaisesti (Pusenius ym. 2005).

Raideliikenteen osaraportissa tutkittiin kahden erilaisen rataosuuden (moderni kaksiraiteinen Kerava-Lahti -oikorata ja vanha yksiraiteinen rataosuus Pieksämäki-Kouvola) rakentamisen ja ylläpidon materiaalinkulutusta. Laskelmiin lisättiin myös henkilö- ja tavaraliikenteen kalustoista esimerkkilaskelmat.

Paikallisen liikenteen luonnonvarojen kulutuksen MIPS-laskelmissa käytetään hyväksi etenkin maanteiden (ent. yleisten teiden), raideliikenteen ja pyöräliikenteen jo laskettuja materiaallipanoksia.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 MIPS-MENETELMÄN KÄYTTÖ TÄSSÄ TUTKIMUKSESSA

Suomen paikallisen liikenteen luonnonvarojen kulutuksen mittaamisessa käytetään MIPS-menetelmää. Paikallista liikennettä palvelevan infrastruktuurin rakentamiselle ja ylläpidolle lasketaan MI-luvut (material input), joita suhteutetaan palvelusuoritteiden määrään (S) eli siihen hyötyyn, mikä kyseisestä infrastruktuurista saadaan sen elinkaaren aikana. Tässä tutkimuksessa palvelusuoritteella tarkoitetaan liikennesuoritetta eli kuljettuja matkoja henkilö- ja tavaraliikenteessä.

$$\text{MIPS} = \frac{\text{MI INFRASTRUKTUURI (rakentaminen + ylläpito + siirretty sadevesi)} + \text{MI LIIKENNEVÄLINEET (valmistus, käyttö, poisto)}}{\text{AJONEUVOSUORITE (ajoneuvon kulkema kilometri)}}$$

Kuva 5. Paikallisen liikenteen MIPS-laskelmien yleinen laskentakaava. MIPS-laskelman tulos esitetään yksikössä kilogrammaa tai tonnia ajettua kilometriä kohden (kg/ajoneuvo-km). Tämän perusteella luku voidaan esittää myös henkilö- tai tonnikilometriä kohden.

MIPS-luvut esitetään kolmessa kategoriassa, abioottiset luonnonvarat, vesi ja ilma. Muita MIPS-kategorioita (bioottiset eli uusiutuvat materiaalit ja maa- ja metsätaloudessa siirretty maaperä) ei tarkastella tässä, koska niiden kulutuksen kannalta liikenteen merkitys oli todettu pieneksi FIN-MIPS Liikenne -hankkeen aikaisemmissa osatutkimuksissa (Hakkarainen ym. 2005, Hänninen ym. 2005, Nieminen ym. 2005, Pusenius ym. 2005, Vihermä ym. 2005). Myös Suomen liikennejärjestelmää koskevassa osaraportissa (Lähteenoja ym. 2006) ne on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

2.1.1 Materiaalipanós (MI)

Materiaalipanokset paikallisessa liikenteessä koostuvat katujen, yksityisteiden, ratojen sekä niillä kulkevien liikennevälineiden elinkaarenaikaisesta materiaalien kulutuksesta. MI-luku sisältää itse rakennusmateriaalit sekä niiden valmistamiseen ja kuljetukseen liittyvien sivutuotteiden luonnonvarojen käytön. MI-luku esitetään katuliikenteessä yksikössä kg/katometri tai kg/katukilometri ja raideliikenteessä yksikössä kg/rata-metri tai kg/rata-kilometri.

2.1.2 Palvelusuorite (S)

Palvelusuorite tarkoittaa tässä tutkimuksessa liikennesuoritetta. Liikennesuorite ilmaistaan ajoneuvokilometrinä, jolla tarkoitetaan yhden ajoneuvon kulkemaa yhden kilometrin matkaa. Aikaisemmissa FIN-MIPS Liikenne -hankkeen osatutkimuksissa on yleisesti määritetty, että katujen, teiden ja ratojen tuottama palvelu on mahdollisuus liikkua paikasta toiseen. Joidenkin katujen ja yksityisteiden palvelun määrittely saattaa kuitenkin olla hankalaa. Lämpökuljetuksesta suljetun piha- ja tonttikadun ajorata voi toimia esimerkiksi nuorten pallokenttänä. Hil-

jaiset yksityistiet voivat palvella niiden varrella asuvien vakinaisten asukkaiden liikkumistarpeiden lisäksi metsätyökoneita, pyöräilijöitä ja marjastajia.

Liikennesuorite voidaan ilmaista myös tarkemmin kuin ajoneuvokilometrinä. Ajoneuvoilla on erilaisia täyttöasteita, esimerkiksi henkilöautossa kulkee keskimäärin 1,4 henkilöä ja linja-autossa 13 henkilöä. Linja-auto itsessään kuluttaa enemmän luonnonvaroja kuin henkilöauto, mutta se palvelee enemmän matkustajia. Samalla tavoin tavaraliikenteessä on määritely erityyppisten ajoneuvojen kuljettavan eri määrä tavaraa. Jotta varsinainen palvelusuorite tulisi lopullisissa MIPS-luvuissa esille, suhteutetaan materiaalipanos (MI) ajettujen ajoneuvokilometrien lisäksi myös henkilö- ja tonnikilometreihin. Tällöin lopullisissa MIPS-luvuissa pystytään huomioimaan eri ajoneuvojen erilaiset täyttöasteet.

2.1.3 Laskelmissa käytetyt MI-kertoimet

Katujen rakentamisen ja ylläpidon elinkaaren aikaiset materiaalivirrat piilovirtoineen on laskettu pääosin Wuppertal-instituutin laskemien MI-kertoimien avulla. MI-kerroin on luku, joka pitää sisällään kaikki raaka-aineen prosessoinnin aikana siirretyt materiaalimäärät tietyn raaka-aineen painoyksikköä kohden. Yksikkönä on kg/kg eli kg materiaalipanosta per kg raaka-ainetta. Sähkön MI-kerrointen yksikkönä on kg/kWh.

Kertomalla tuotteessa käytettyjen materiaalien määrät kunkin materiaalin MI-kertoimella saadaan kunkin materiaalin luonnonvarapanos kokonaisuudessaan. Samalla tavoin kerrotaan muiden tuotantopanosten (esim. sähkö, lämpö, kuljetukset) suora kulutus niille kuuluvalla MI-kertoimella. Laskemalla tuotteen elinkaaren eri vaiheiden MI-tulokset yhteen saadaan tuotteen vaatima materiaalipanos.

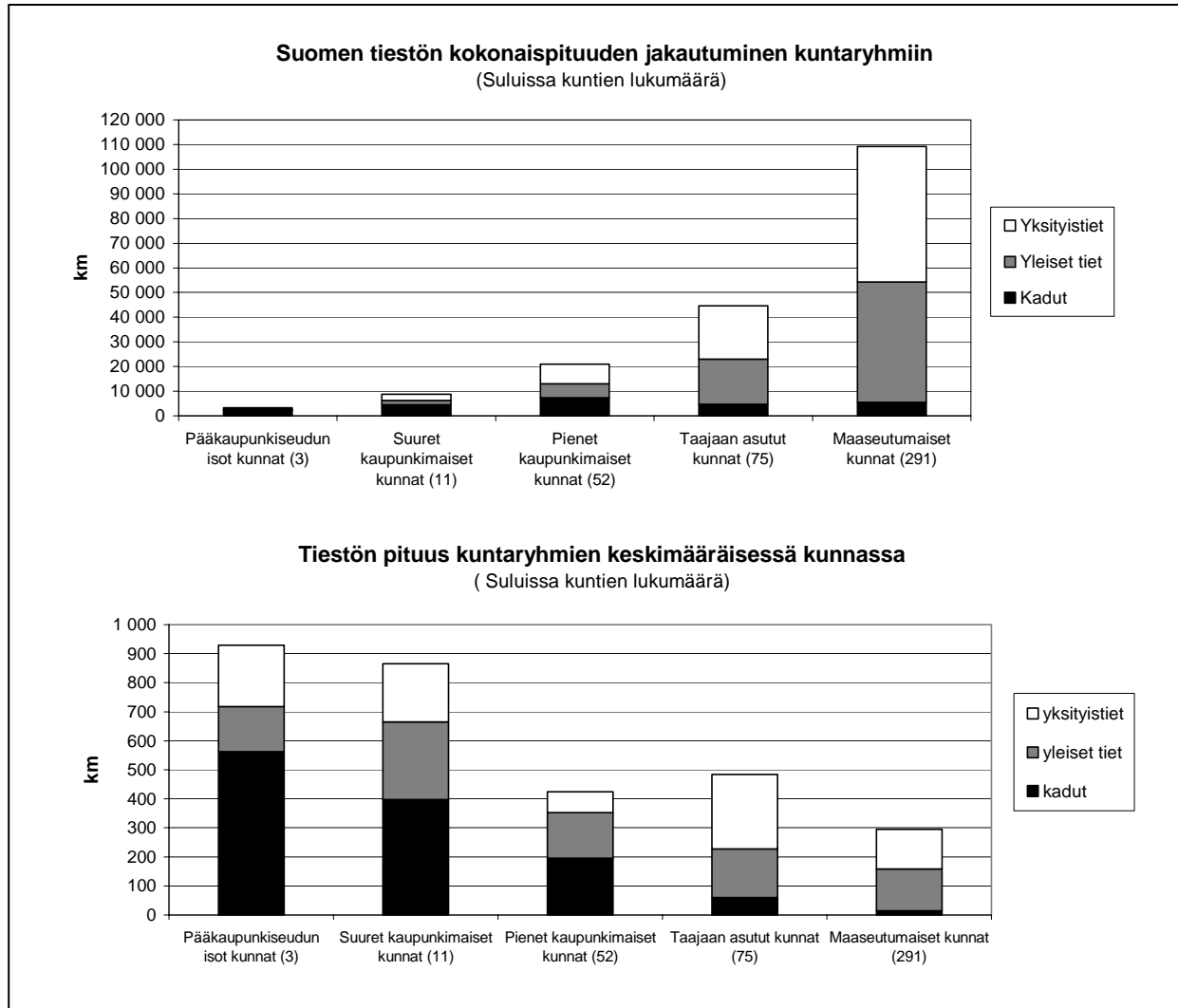
Tämän tutkimuksen laskelmat on tehty enimmäkseen aikaisempien tutkimusten (Lähteenoja ym. 2006, Hakkarainen ym. 2005, Hänninen ym. 2005, Nieminen ym. 2005, Pusenius ym. 2005, Vihermaa ym. 2005) tulosten perusteella, joten tulosten takana olevat MI-kertoimet ovat samoja kuin mainituissa tutkimuksissa. Tässä tutkimuksessa sähkön MI-kertoimena on käytetty Suomen kansallisen keskiarvosähkön MI-kerrointa, jotta tulokset ovat vertailtavissa koko Suomen liikennejärjestelmää käsittelevien tulosten (Lähteenoja ym. 2006) kanssa. Toinen mahdollisuus olisi ollut Helsingin Energian sähköntuotannon kertoimien käyttö (vrt. Hänninen ym. 2005, Vihermaa ym. 2005, Hakkarainen ym. 2005) esimerkiksi raideliikenteen laskelmissa. Veden kulutuksen MI-kerroin eroaa huomattavasti näissä kahdessa sähkönlähteessä, koska kansallinen keskiarvosähkö sisältää selvästi enemmän vesivoimaa.

2.2 KADUT

2.2.1 Tutkimuksessa tarkastellut kunnat, katuluokat ja ajoneuvotyypit

Tässä tutkimuksessa termillä kunta tarkoitetaan kaikkia Suomen kuntia ja kaupunkeja yleensä. Lisäksi kunta-termiin on lisätty sen kokoa ja taajama-astetta kuvaava lisämäärite. Katuja ja niiden liikennettä tarkastellaan tässä tutkimuksessa erikokoisissa kuntaryhmissä, koska paikallisen liikenteen luonnonvarojen käytön tehokkuuteen oletettavasti vaikuttavat taajamien katuverkon laajuus ja yksityisautoilun määrä. Lisäksi taajama-aste vaihtelee kunnittain. Jos

kunnassa asutus on hajallaan ja lähinnä yksityisteihin ja yleisiin teihin tukeutuvaa, on kyseessä usein maaseutumainen kunta, jossa katuverkkoa ei ole juuri lainkaan (vrt. Kuva 1 ja Kuva 6), tai se ei ainakaan ole selkeästi erottuva kokonaisuus. Suurissa kaupungeissa taajamien katuverkot voivat olla niin laajoja, että paikallisen liikenteen voidaan olettaa kohdistuvan enimmäkseen niille.



Kuva 6. Suomen tiestön kokonaispituuden painopiste sijoittuu maaseutumaisiin kuntiin, joita on määrällisesti suurin osa kaikista kunnista – 291 kuntaa vuonna 2003. Aineiston keskimääräisistä kunnista (jokaisen kuntaryhmän mediaaniarvo katupituudessa ja väkiluvussa) maaseutumaisissa kunnissa on hyvin vähän katuverkkoa. Tiestö on lähinnä yleisiä teitä ja yksityisteitä. Kuvissa yksityistiet tarkoittavat yksityisteitä, joiden varrella on pysyvää asutusta. Niitä on 100 000 km.

Katujen suoritteita lasketaan tässä tutkimuksessa kunnan väkilukuun pohjautuvalla menetelmällä. Tämä ei välttämättä huomioi riittävän hyvin sitä, että katujen ja yleisten teiden merkitys paikallisessa liikenteessä on erilainen erityyppisissä kunnissa. Erilaisten paikallisen liikenteen MIPS-lukujen luotettavuutta arvioidessa on siis tärkeää tietää, minkälaisesta kuntatypistä on kyse. Koko Suomen keskimääräisen kadun MIPS-laskelmissa otetaan huomioon katuverkkojen ja niiden liikenteen painopisteen sijoittuminen.

Erikokoiset kunnat

Hallinnollinen jako kaupunkeihin ja kuntiin ei aina vastaa todellista kaupunkimaisuuden eli taajamoitumisen astetta. Sen vuoksi erikokoisia kuntia tarkastellaan tässä Tilastokeskuksen *tilastollisen kuntaluokituksen* (Tilastokeskus 2005) mukaisesti, joka perustuu vuonna 2001 tehtyyn taajamarajaukseen, sekä vuoden 2000 väestölaskentaan. Tässä luokituksessa kunnat on jaettu kolmeen luokkaan niiden taajamaväestön ja suurimman taajaman väkiluvun perusteella. Helsinkiä tarkastellaan erikseen esimerkkipaikkana.

Kaupunkimaisiin kuntiin luetaan kunnat, joiden väestöstä vähintään 90 % asuu taajamissa tai suurimman taajaman väkiluku on vähintään 15 000. Tässä tutkimuksessa tämä luokka jaettiin vielä suuriin kaupunkimaisiin kuntiin ja pieniin kaupunkimaisiin kuntiin, koska katujen liikennesuorite eri katuluokilla ja eri ajoneuvotyypeillä eroaa toisistaan näissä ryhmissä (VTT 2005a). Suuria kaupunkimaisia kuntia ovat muun muassa Lahti ja Tampere. Pieniä kaupunkimaisia kuntia edustavat muun muassa Forssa ja Heinola. Pääkaupunkiseudun kuntien liikennesuoritteita ja ajoneuvotyyppien jakautumista on tutkittu tarkemmin. Näitä tietoja esitellään lähinnä esimerkinomaisesti.

Taajaan asuttuja kuntia ovat kunnat, joiden väestöstä vähintään 60 %, mutta alle 90 % asuu taajamissa ja suurimman taajaman väkiluku on vähintään 4 000, mutta alle 15 000. Kurikka on esimerkiksi tällainen kunta.

Maaseutumaisiin kuntiin kuuluvat ne kunnat, joiden väestöstä alle 60 % asuu taajamissa ja suurimman taajaman väkiluku on alle 15 000 sekä ne kunnat, joiden väestöstä vähintään 60 %, mutta alle 90 % asuu taajamissa ja suurimman taajaman väkiluku on alle 4 000. Tällainen kunta on esimerkiksi Sulkava.

(Tilastokeskus 2005)

Tarkasteltaessa kuntien katuverkkojen pituutta käytettiin vuoden 2001 tilastoja, joilla katujen kokonaispituus on 24 805 km (Kuntaliitto 2005).

Katuluokat

Tutkimuksessa tarkastellaan pääkatuja, kokoojakatuja ja tonttikatuja. Tietoa näiden katujen leveyksistä on kerätty esimerkinomaisesti kaikista kuntaryhmistä. Kaikissa kuntaryhmissä oletetaan olevan pääkatuja 4 % katuverkosta, kokoojakatuja 27 % ja tonttikatuja 68 %. Tämä lukujen jakauma perustuu annettuun keskiarvoon Suomen katuluokista (Tielaitos 1999). MIPS-laskennan tuloksia esitetään erikseen kaikille katuluokilla vain suurista kaupunkimaisista kunnista, esimerkkipaikkakunnista (Helsingistä ja Forssasta) ja lasketusta keskimääräisestä kadusta Suomessa. Muista kuntaryhmistä esitellään aineiston karkeustasosta johtuen vain keskimääräisten katujen MIPS-lukuja.

Pääkadut ovat kuntien keskustaajamien vilkasliikenteisimpiä katuja, mutta niitä on pituudeltaan vähiten. Tässä on oletettu kaikkien pääkatujen olevan 4 % koko katuverkon pituudesta. Pääkatu toimii usein jatkona taajamaan johtavalle yleiselle tielle. Liikenteen määrä on yhä suuri, mutta sen luonne muuttuu. Katu on osa kaupunkia ja liittymien määrä kasvaa (Pääväylät kaupunkialueilla 1991). Pääkadun rakentamiseen vaikuttaa usein jo ympärillä oleva

rakennettu ympäristö, mikä tekee rakentamisesta erilaisen kuin maantien rakentaminen. Pienissä maaseutumaisissa kunnissa pääkatuna toimii usein yleinen tie. Suurempienkin kuntien alueella erillään olevia taajamia usein yhdistää yleinen tie, joten pääkatuja koskevat oletukset ovat tässä tutkimuksessa karkeita arvioita. Vilkailla pääkaduilla kevyt liikenne on erotettava ajoradasta (Helin ym. 1982).

Kokoojakadut muistuttavat enemmän tonttikatuja kuin pääkatuja. Kokoojakadut ovat yleensä pääkatuja kapeampia ja linjaukseltaan pienipiirteisempiä. Kevytliikenne on kokoojakadulla yleensä erotettu (Katu 02: 69–70). Kokoojakatuja on oletettu olevan kaikissa kuntaryhmissä 27 % koko katuverkosta.

Tontti- tai asuntoalueella liikennemäärät ovat yleensä niin pieniä, ettei erillisiä jalankulun ja kevyen liikenteen väyliä tarvita. Ajonopeuksien rajoittamisella saavutetaan usein tarvittava liikenneturvallisuus. Miellyttävä katutila edellyttää mahdollisimman kapeaa mitoitusta. Tonttikatuja on eri katuluokista eniten. Tässä tutkimuksessa niiden pituusosuuden koko katuverkosta on kaikissa kuntaryhmissä oletettu olevan 68 %.

Ajoneuvotyypit

Tutkimuksessa tarkastellut ajoneuvotyypit ovat henkilöliikenteessä henkilöauto (Ha) ja linja-auto (La). Tavaraliikenteessä tarkastellaan pakettiautoa (Pa), kevyttä kuorma-autoa (Kaip), puoliperävaunurekkaa (Kapp) ja täysperävaunurekkaa (Katp). Laskelmat ajoneuvotyyppien luonnonvarojen kulutuksesta ajettua kilometriä kohden on saatu Lähteenojan ym. (2006) tutkimuksesta (Taulukko 3).

Taulukko 3. Ajoneuvojen kulutus eri MIPS-kategorioissa. Lukuihin sisältyy ajoneuvon elinkaaren (valmistus, käyttö, jätehuolto) aikainen luonnonvarojen kulutus (Lähteenoja ym. 2006: 41)

ajoneuvotyyppi	kg per ajettu kilometri		
	abioottinen	vesi	ilma
Ha	0,14	1,97	0,18
La	0,45	5,43	0,72
Pa	0,18	2,47	0,26
Kaip	0,31	3,87	0,46
Kapp	0,67	7,43	1,11
Katp	0,77	8,65	1,17

2.2.2 Tutkimusaineiston hankinta

Tutkimuksessa käytettiin hyväksi kahta aikaisempaa FIN-MIPS Liikenne -hankkeen osatutkimusta, jotka käsittelivät yleisten teiden (Pusenius ym. 2005) sekä raideliikenteen (Vihermaa ym. 2005) luonnonvarojen käyttöä. Näissä tutkimuksissa oli yksityiskohtaisesti selvitetty esimerkiksi ajoneuvojen valmistuksen ja käytön aikaista luonnonvarojen kulutusta. Samoin oli esimerkkikohteiden avulla tarkasteltu tien tai rautatien elinkaaren aikana kulutettuja luonnonvaroja.

Katuverkot ja niiden liikenne

Koottua tietoa katuverkkojen rakentamiseen ja ylläpitoon liittyvistä seikoista ei ole olemassa. Kunnat ovat suhteellisen itsenäisiä toimijoita. Niiden katuihin kohdistuvista toimenpiteistä ei vastaa yhteinen organisaatio, kuten esimerkiksi maanteistä vastaava Tiehallinto. Kuntien katuverkkojen liikennesuoritteita ei myöskään seurata yhtä kattavasti kuin yleisten teiden suoritteita. Aineiston hankinta olikin näistä tekijöistä johtuen hankalaa.

Helsingin rakennusviraston MateriaEuro -hankkeessa (Hänninen ym. 2005) oli laskettu erityyppisten katujen päällysrakenteiden luonnonvarojen kulutus ja muuhun kadun rakentamiseen ja ylläpitoon liittyviä lukuarvoja. Näitä käytettiin hyväksi myös tässä. Tutkimuksessa havaittiin, että suurin abiottisten materiaalien kulutus aiheutuu maapohjan kantavuuden määräämästä päällysrakenteen paksuudesta ja mahdollisista pohjanvahvistusmenetelmistä. Tätä varten pyrittiin saamaan suuntaa antava yleiskuva niistä maapohjan kantavuusolosuhteista, joille suomalaisten taajamien katuverkot on rakennettu (GTK 2005). Koska tutkittua tietoa aiheesta ei ollut saatavilla, lähetettiin suurimmille kaupungeille (39 kpl) kysely aiheesta. Kyselyn avulla selvitettiin lähinnä maapohjatyypin jakautumista katuverkolla ja käytettyjä pohjanvahvistusmenetelmiä.

Tietoa ajoratojen sekä viher- ja erotuskaistojen leveydestä yleistettiin Hännisen ym. (2005) tutkimuksesta, sekä kyselemällä tietoja eri kuntaryhmien keskimääräistä kuntaa (vrt. 2.2.1) edustavilta kunnilta (Heinola, Kurikka ja Sulkava).

Kunnittaiset tiedot katuverkon ja yksityisteiden pituudesta saatiin Kuntaliiton www-sivuilta (Kuntaliitto 2005), jossa aineisto kuvaa vuoden 2001 tilannetta.

Katujen liikennesuoritteina käytettiin VTT:n (2005a) kehittämästä Tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmästä (LIISA) saatuja katujen kokonaissuoritteiden määriä. Samasta lähteestä oli menetelmä, jolla suoritetta ja ajoneuvotyypin jakaumaa jaetaan eri kuntaryhmille.

Yksityistiet

Yksityisteiden rakentamista, leveyttä ja liikennemääriä koskevissa kysymyksissä autoivat eri tiepiirien yksityistievastaavat sekä Tiehallinnon henkilökunta. Päällystettyjen yksityisteiden määrästä saatiin tietoa Kuntaliitosta.

Esimerkkikunnat

Forssan tietoja saatiin kaupungin kaduista ja liikenteestä vastaavalta henkilöltä (Eerola 2005a ja b). Forssa oli myös yksi katujen maapohjaa koskevaan kyselyyn vastanneista kaupungeista.

Helsinkiin liittyvää tietoa oli kerätty katujen ylläpidosta jo Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa. Tietoja päivitettiin lähinnä katujen ja yksityisteiden rakentamisesta. Helsingistä tarkasteltiin myös pyöräliikennettä ja raideliikennettä. Raideliikenteeseen yleistettiin monia Vihermaan ym. (2005) tuloksia. Joltakin osin tietoja muokattiin vastaamaan paremmin todellisia olosuhteita, esimerkiksi metroasemien ja varikkojen energiankulutuksesta saatiin tietoa Helsingin kaupungin liikennelaitoksen tilastoista (HKL 2005c) ja ympäristöraportista (HKL 2005b).

2.2.3 Aineiston rajaukset

Merkittävä osa tutkimukseen tarvittavista tiedoista saatiin aikaisempien FIN-MIPS Liikenne ja MateriaEuro -tutkimusten raporteista. Kaikissa tiedoissa, joita näistä raporteista saatiin, käytetään tässä samoja rajauksia. Rajauksista merkittävimmät esitellään tässä, tarkemmat kuvaukset löytyvät Hännisen ym. (2005), Puseniuksen ym. (2005) ja Vihermaan ym. (2005) tutkimuksista.

Katujen, yksityisteiden, Helsingin ja pääkaupunkiseudun raideliikenteen ja pyöräliikenteen luonnonvarojen käyttöä kuvattiin kolmessa MIPS-kategoriassa: abioottiset luonnonvarat, vesi ja ilma. Bioottisten luonnonvarojen kulutus rajattiin pois (vrt. 2.1).

Katujen rakentamisessa on tarkastelun ulkopuolelle rajattu liikenteen ohjaus- ja suojalaitteet, istutukset, kadun kalusteet ja erikoisrakenteet, esimerkiksi sillat ja rummut. Siltojen ja rumpujen kohdalle on kuitenkin laskettu tavanomainen katurakenne, mikä hieman nostaa rakentamisen aiheuttamaa abioottisten materiaalien kulutuksen ja hieman laskee ilman kulutuksen tasoa. Muiden laskennasta pois rajattujen tekijöiden vaikutus MIPS-lukuihin on marginaalinen. Tarkastelusta on rajattu pois myös kadun alaiset vesi- ja viemäriverkostot. Katujen rakentamisen luonnonvarojen käytöksi lasketaan muun muassa kaikki alkuperäiseltä paikaltaan rakentamisen vuoksi siirretyt maamassat. Kallioleikkauksia ei tässä tutkimuksessa tarkastella, vaan oletetaan, että kallion louhimisesta syntyneet ylijäämät käytetään hyväksi samassa kadunrakennuskohteessa.

2.2.4 Katujen rakentamisen materiaalipanos

Tässä työssä tarkastellaan katualueen ajoratoja, keskikaistoja sekä ajoratojen vieressä olevia viherkaistoja. Kevyenliikenteen väylät rajataan tarkastelun ulkopuolelle, koska pyöräteliikenteen MIPS-lukuja on laskettu jo aikaisemmassa FIN-MIPS Liikenne-osatutkimuksessa.

Katutilan eri osien leveydet

Eriluokkaisten katujen poikkileikkauksille on valmiita malleja ja suunnitteluohjeita, jotka eivät kuitenkaan ole sitovia. Poikkileikkausta pitää suunnitella olosuhteiden mukaan. Eri kunnissa käytetäänkin erilaisia katupoikkileikkauksia, koska olosuhteet ja perinne ovat erilaisia eikä katuja ole syytä tehdä kaikkialla samanlaisiksi. Kadun ja sen ympäristön välinen suhde määräytyy yleensä jo asemakaavoituksen yhteydessä, jolloin määritellään katualueen sijainti ja leveys (Liikenne yhdiskunnan... 2003).

Katutilan olemus vaihtelee myös sen rakentamisen aikakauden mukaan. Lainsäädäntö, rakennusjärjestykset ja viranomaisten määräykset ovat ohjanneet katutilan rakentumista. Katuverkko on yleensä muodostunut vaiheittain olemassa olevan vanhan tie- tai katuverkon, yleiskaavan ja asemakaavan rajoitusten mukaan. 1700–1800-luvuilla palomääräykset ja rakennuslainsäädännön määräykset vaikuttivat katujen vähimmäisleveyteen. Kaupungistumisen ja yksityisautoilun lisääntyessä katutilan kannalta määrääviksi ovat tulleet liikennesuunnittelun asettamat vaatimukset ja katujen leveydet ovat kasvaneet yhä enemmän. Liikenne-

suunnittelun tärkeimpiä periaatteita ovat eri liikennemuotojen erottelu sekä katuverkon hierarkkinen järjestely esimerkiksi pääkatuihin, kokoojakatuihin ja tonttikatuihin (Katu 02 2003; Helin ym. 1982).

Nykyisen kehityksen toivottava suunta on kuitenkin selvä: katu voi olla kapeampi kuin ennen ajateltiin. Tällöin säästetään kustannuksia, ajonopeudet pysyvät kohtuullisina ja katuympäristö on mittakaavaltaan inhimillinen (Liikenne yhdyskunnan.. 2003).

Kadun kokonaisleveys määräytyy asemakaavan katualueen mukaan. Ylimääräinen leveys näkyy lähinnä viheralueen määrässä. Valmista selvitystä kuntakoon vaikutuksesta katujen leveyteen ei Kuntaliiton mukaan ole tehty (Kauppi 2005b). Arvioiden mukaan pienemmissä kaupungeissa katujen leveydet saattavat olla pienempiä kuin isoissa kaupungeissa. 1990-luvun alkupuolella kehitetyssä Vertti-järjestelmässä koottiin aika paljon kuntien teknistä tietoa, mutta tämän jälkeen tiedon saanti on hiipunut (Kauppi 2005b).

Kadun reuna-alue on rakennetun poikkileikkauksen uloimman liikennetilän eli joko ajoradan tai kevyen liikenteen väylän päällysteen ulkoreunan ja koko katualueen rajan välinen alue. Reuna-alueeseen saattaa sisältyä esimerkiksi avo-oja, lumitila, näkemä tai kasvillisuusalue.

Suomessa katujen mitoittamiseen vaikuttaa talvisin lumitilan tarve, koska lumen kuljetus kuorma-autolla paikasta toiseen on kallista. Sen vuoksi liikenteellisin perustein mitoitettu katu ei aina riitä. Lumitilaa varataan 1,0 m jokaista 3,5 - 4,0 metrin levyistä aurattavaa aluetta kohden. Tästä tosin joudutaan tinkimään ahtailla keskusalueilla, joissa lumi joudutaan usein kuljetamaan lumenjätöpaikoille (Liikenne yhdyskunnan... 2003; Katu 02: 51).

Tutkimuksessa tarkastellut katualueiden osat ja niiden leveydet

Tässä tutkimuksessa eri kuntaryhmien ajoratojen leveyksiä saatiin yleistämällä Hännisen ym. 2005 tuloksia sekä kysymällä oman kuntaryhmänsä keskikokoa edustavalta kunnalta katujen leveyksistä. Keskimääräinen kunta valittiin sen mukaan, että se edustaa kuntaryhmän mediaania väkiluvun ja katujen pituuksien suhteen (Taulukko 10). Väkiluku on oleellinen, koska katujen liikennesuorite määritetään suhteessa kunnan väkilukuun.

Suurten kaupunkimaisten kuntien keskimääräistä kuntaa edusti Lahti väkilukunsa puolesta ja Jyväskylä katuverkon pituuden puolesta. Katujen leveydet näille kunnille yleistettiin Hännisen ym. (2005) Helsingin katuja koskevasta tutkimuksesta. Suurin ero muihin kuntaryhmiin on, että suurten kaupunkimaisten kuntien pääkatujen oletettiin olevan kaksiajorataisia.

Muiden kuntaryhmien kohdalla katujen leveydet saatiin kyselemällä keskikokoa edustavalta kunnalta. Otokyselyllä oli tarkoitus havainnoida, ovatko ajoradat kapeampia maaseutumaisissa kunnissa ja taajaan asutussa kunnassa kuin pienessä kaupunkimaisessa kunnassa. Kyselyotoksen kohteena olleiden kuntaryhmien keskiarvoa edustaneiden Heinolan (pienen kaupunkimaisen kunnan) ja Kurikan (taajaan asutun kunnan) kohdalla katuleveydet eivät pienentyneet tämän oletuksen mukaisesti. Luultavasti katujen leveydet ovat huomattavasti suuremmat vain suurten kaupunkimaisten kuntien pääkaduilla, jotka ovat usein kaksiajorataisia. Muuten katujen ajoratojen sekä erotus- ja viherkaistojen leveydet vaihtelevat paikallisesti. Tässä esitetyissä MIPS-laskelmissa on käytetty näiden kahden kunnan ilmoittamia ajoradan leveyksiä pienissä kaupunkimaisissa kunnissa ja taajaan asutuissa kunnissa. Maaseutumaisten kuntien katujen leveys yleistettiin mediaania edustaneen Sulkavan kunnan katujen perusteella.

Maaseutumaisissa kunnissa usein katuluokkien sijaan puhutaan rakennuskaavateistä, mutta tässä näiltäkin osin jaotellaan kadut eri katuluokkiin, jotta koko Suomen keskimääräisten katuluokkien MIPS-laskenta olisi yksinkertaisempaa.

Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa selvitettiin Helsingin kaupungin rakennusviraston katuräkisteristä viher- ja erotuskaistojen keskimääräisiä leveyksiä, joiden suhteellinen leveys ajorataan nähden lisättiin ajoratojen leveyksiin. Viher- ja erotuskaistoista poistettiin (Taulukko 6) betoniasfaltoinnin aiheuttama materiaalinkulutuksen osuus tutkimuksessa laske- tuista päällysrakenteen MI-luvuista, mutta muuten näille oletettiin tehtäneiden samat pohjan- vahvistustoimenpiteet ja päällysrakenteen kerrokset kuin ajoradoillekin (Taulukko 5). Las- kelmat saattavat tällöin olla joltakin osin ylimitoitettuja, mutta koska kadun materiaalianokseen laskettiin vain ajoratojen alla olevat rakenneosat ja sivupenkeret ja luiskat on rajattu pois, lienee lopputulos lähellä todellista tilannetta.

Taulukko 4. Laskelmissa käytettyjen eri katuluokkien ajoratojen sekä yhdessä erotuskaistan ja katuvihreän leveydet. Erotus- ja viherkaistojen leveydet saatiin laskemalla niiden suhteellinen osuus ajoradoista. Lähtötietona käytettiin Helsingin katuräkisteriä yhteneväisesti Hännisen ym. (2005) tutkimuksen kanssa.

	lähde	Pääkadut		Kokoojakadut		Tonttikadut	
		ajoradan leveys	leveys yhteensä	ajoradan leveys	leveys yhteensä	ajoradan leveys	leveys yhteensä
Helsinki	A	16,0	26,7	10,2	14,7	7,6	10,0
Suuret kaupunkimaiset kunnat	A	16,0	26,7	10,2	14,7	7,6	10,0
Kaupunkimaiset kunnat	B	7,3	12,8	6,5	9,4	5,2	6,9
Taajaan asutut kunnat	C	10,0	17,1	7,5	10,8	5,3	7,0
Maaseutumaiset kunnat	D	7	11,7	7	10,1	5	6,6

A: Hänninen ym. (2005)

B: Rautiainen (2005)

C: Linna (2005)

D: Partanen (2005)

Korkeusaseman suhteuttaminen ympäristöön

Kadun korkeusasema tulee mukauttaa ympärillä olevaan kaava-alueeseen, minkä vuoksi joudutaan tekemään usein maaleikkauksia tai vastaavasti pengerryksiä. Rakentamiseen kelpaava ylijäämämateriaali leikkauksista, esimerkiksi kallioleikkausten louhemateriaali, hyödynnetään usein toisessa tai samassa rakennushankkeessa. Uudelleen hyödynnettyjen ylijäämämateriaalien materiaalikulutus lasketaan kuitenkin sille kohteelle, mistä maa-aines on leikattu. Heikkolaatuista savimaita ei yleensä ole mahdollista hyödyntää ja ne joudutaan läjittämään maankaatopaikalle. Paikoitellen tällaisista alueista on jo pulaa (Hänninen ym. 2005).

Koska katujen korkeusaseman suhteuttaminen ympäristöön vaihtelee täysin paikallisten olosuhteiden mukaan eikä tilastoitua tietoa maaleikkauksista ole saatavilla, arvioitiin tässä työssä 10 prosentille pääkaduista tehtäneiden maaleikkauksen 2 metrin syvyydeltä. Muille katuluokille ei leikkauksia oletettu, koska ne usein noudattavat enemmän maastonmuotoja ovat pieni- piirteisempiä.

Maapohjan vaikutus kadun päällysrakenteeseen ja pohjanvahvistuksiin

Kadun rakennekerrosten paksuuteen ja mahdollisiin pohjanvahvistuksiin vaikuttavat kadun liikennemäärä ja pohjamaan kantavuus (Katu 2002: 44). Myös routiminen vaikuttaa, mutta koska se on määräävä tekijä lähinnä Pohjois- ja Itä-Suomessa, jossa ei sijaitse Suomen katuverkon pääpaino, on se rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Päällyskerrokseen kuuluvat suodatinkerros, jakava kerros, kantava kerros, sidekerros ja kuluskerros. Suodatinkerros ja jakava kerros, jotka yhdessä muodostavat tukikerroksen, rakennetaan yleensä kantavuusluokkien D - G mukaisille maapohjille. Muille kantavuusluokille tukikerrosta ei välttämättä tarvita.

Ajoratojen päällyskerrosten MI-luku todettiin Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa vaihtelevan 448 - 3050 kg/m²:n välillä. Tässä tutkimuksessa pehmeimpien maapohjien kantavuusluokat F ja G yhdistettiin yhdeksi luokaksi. Pienimmän päällysrakenteen MI-luvun saa kalliomaapohjalle (A) rakennetun vähäliikenteisen tonttikadun päällysrakenne, kun taas pehmeälle savi- maalle (G) rakennetun vilkasliikenteisen pääkadun päällysrakenne saa suurimman MI-luvun (Taulukko 5).

Taulukko 5. Ajoratojen päällysrakenteiden materiaalien kulutus eri katuluokilla ja eri pohjamaan kantavuusluokilla (vrt. Taulukko 7). Muokattu Hännisen ym. (2005) perusteella.

Ajoratojen päällysrakenteen MI	kg/m ²	Pohjamaan kantavuusluokka					
		Katuluokka	A	B	C	D	E
Pääkadut	1	772	772	1049	1750	2150	2800
	2	713	713	861	1461	1961	2561
Kokoojakadut	3	566	566	772	1373	1773	2473
	4	448	448	566	1166	1666	2366
Tonttikadut	5	448	448	566	1166	1366	2016

Taulukko 6. Viher- ja erotuskaistojen MI-luvut eri katuluokilla ja eri pohjamaan kantavuusluokilla (vrt. Taulukko 7), kun niillä oletetaan kohdistuvan samat toimenpiteet kun ajoratojen päällysrakenteelle, lukuun ottamatta asfalttibetonin levitystä, jonka MI-arvot on poistettu näistä luvuista

Viher- ja erotuskaistojen MI	kg/m ²	Pohjamaan kantavuusluokka					
		Katuluokka	A	B	C	D	E
Pääkadut	1	655	655	932	1633	2033	2683
	2	596	596	744	1344	1844	2444
Kokoojakadut	3	449	449	655	1256	1656	2356
	4	331	331	449	1049	1549	2249
Tonttikadut	5	331	331	449	1049	1249	1899

Maaperän vaikutus kadun rakentamisen MI-lukuun on merkittävä. Etelä-Suomessa, erityisesti ensimmäisen Salpausselän eteläpuolella, maaperän tyypillinen rakenne on sellainen, jossa kallioperän päällä on muutaman metrin vahvuinen pohjamoreenipeite, sen päällä savea, ja päällimmäisenä eloperäisiä maalajeja kuten turvetta (Ympäristötieto... 1998). Keski-Suomessa ja pohjoisempana ovat korkeammat alueet veden koskemattomia, joten niillä ei ole muinaiseen Itämereen kerrostuneita maalajeja kuten savea.

Eri kuntien katuverkon alla olevista maalajeista ei ole saatavilla koottua tilastotietoa, kuten ei myöskään koottua tilastotietoa vallitsevista maaperäolosuhteista eri kaupungeissa. Tietoa eri maaperätyyppien osuuksista kuntien katuverkoilla saatiin kyselyn avulla. Kysely lähetettiin 39 kaupungille, joista 32 kuuluu Suomen suurimpiin kaupunkiseutuihin (Ristimäki ym. 2003). Kaikki 39 kaupunkia kuuluu myös siihen 52 kaupungin joukkoon, joiden katuverkot ovat pisimmät Suomessa (Kuntaliitto 2005). Kaikki kyselyyn vastanneet kaupungit kuuluivat joko suuriin tai pieniin kaupunkimaisiin kuntiin. Kyselyyn vastaanottajiksi valittiin kaupunkien teknisten virastojen virkamiehiä sekä katupäälliköitä. Helsinki jätettiin tästä kyselystä pois, koska sen paikallista liikennettä pyrittiin tarkastelemaan esimerkinomaisesti myöhemmin. Tärkein kysymys kyselyssä oli virkamiesten arvio maapohjatyypin suhteellisesta osuudesta katuverkossa. Vaihtoehdot on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 7. Kyselyssä annetut maapohjavaihtoehdot. Pohjamaan luokat F ja G yhdistettiin yhdeksi luokaksi

Luokka	Kantavuus (MN/m ²)	Maalajit
A	300	kallio, louhe
B	150-280	sora
C	70-150	routimaton soramoreeni tai karkea hiekka
D	35-70	routimaton hiekkamoreeni tai hieno hiekka
E	15-35	routiva soramoreeni, hiekkamoreeni, hiekka tai kuivakuorisavi
F ja G yhdistetty	5-15	siltti, silttimoreeni, savi, lieju, turve

Kyselyssä kysyttiin kuntien katujen lisäksi tiekuntien välillä olevien yksityisten hoitosopimusteiden maapohjien osuuksista. Lähtöoletusten mukaan nämä liikenteellisesti merkittävimmät yksityistiet kulkevat osittain asemakaava-alueilla ja maaperäolosuhteiden erotteleminen katujen ja näiden yksityisteiden välillä oletettiin hankalaksi tehtäväksi. Yksityisiä hoitosopimusteita käsitellään myöhempänä muiden yksityisteiden yhteydessä eikä oteta mukaan katujen MIPS-laskelmiin.

Luotettavamman yleiskuvan saamiseksi koko katuverkon painopisteen sijainnista tehtiin silmämääräinen tarkastelu koko Suomen mittakaavaisilta maaperäkartoilta sekä geologian tutkimuskeskuksen www-sivujen maaperäkartoilta (GTK 2005). Tämän tulkinnan avulla määritettiin karkeasti jokaisen kunnan vastaavuus kyselyyn vastanneiden esimerkkikuntien kanssa.

Pohjanvahvistukset: massanvaihto-menetelmä

Suomessa joudutaan usein rakentamaan pehmeiköille (Laakso 1998). Jos vaihdettava massa on savea, se ei usein kelpaa samassa kadussa tai muissa rakennuskohteissa hyödynnettäväksi. Savimassat joudutaan kuljettamaan usein maankaatopaikoille. Kyselyyn vastanneista kaupungeista suurin osa käytti pohjanvahvistusmenetelmänä massanvaihtoa, jota oli tehty keskimäärin 6 prosentin pituudelta katuverkosta. Pilaristabilointia käytettiin hyvin vähän. Näin ollen

oletettiin kaikilla katuluokilla tehtäneen kuuden prosentin pituudelta massanvaihto. Hänninen ym. (2005) olivat tutkimuksessaan laskeneet Helsingin Viikistä esimerkkikadun massanvaihdon kuluttamaa abioottisia materiaaleja, kun kadulle tehdään massanvaihto 6 metrin syvyydeltä. Tämä on kuitenkin huomattavan syvä leikkaus, ja useammin massanvaihtoja tehdään parin metrin syvyydeltä. Tässä tutkimuksessa massanvaihto oletettiin tehtäneen kolmen metrin syvyydeltä. Pehmeää savikkoa tai muuta pehmeää maata todettiin olevan kaikissa kunta-ryhmissä niin paljon, että massanvaihtoa oletettiin tehtäneen kaikissa ryhmissä saman verran.

Massanvaihdon ilman ja veden kulutus aiheutuivat ainoastaan läjitettävän massan kuljetuksen sekä työvaiheiden aikaisen polttoaineen kulutuksesta. Läjitettäväksi kuljetettavien ylijäämämassojen kuljetusmatkaksi oli oletettu 20 km Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa. Puseniuk- sen ym. (2005) tutkimuksessa massanvaihtoa on laskettu tehtäneen 12 prosentin pituudelta maanteiltä ja kuljetusmatkan olevan vain 4 km.

Massanvaihto kuluttaa näillä oletuksilla $10\,600\text{ kg/m}^2$ abioottisia materiaaleja, 850 kg/m^2 vettä ja 33 kg/m^2 ilmaa.

2.2.5 Kadun ylläpidon materiaalienkäytöt

Kuntien katuverkot on jaettu yleensä talvikunnossapitoluokkiin, jotka määräävät missä järjes- tyksessä katujen talvihoito tehdään. Ensiksi hoidetaan yleensä pääkadut, ja sellaiset kadut joilla on joukkoliikennettä (Katu... 2003). Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa tarkasteltiin kolmea kunnossapitoluokkaa (Helsingin katurekisterin mukaiset hoitoluokat I, II ja III), joista pääkadut kuluttivat eniten luonnonvaroja katumetriä kohden. Kunnossapitoluokka vaikuttaa huomattavasti luonnonvarojen käyttöön (Taulukko 8).

Katujen ajoratojen ylläpitoon laskettiin kuuluvaksi samat toimenpiteet kuin Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa. Nämä ovat *rakenteellinen kunnossapito* (vain asfalttipäällysteen uusi- minen), *talvikunnossapito* (hiekoitus ja suolaus), *valaistus*, *puhtaanapito* ja *katuvihreän kun- nossapito*. Tutkimuksessa oli laskettu myös katulämmityksen kulutus, mutta se rajattiin tästä pois, koska Suomessa lämmitetään vain yksittäisiä katuosuuksia muutamissa isoissa kaupun- geissa (esim. Helsingissä ja Jyväskylässä). Rakenteellinen kunnossapito muodosti abioottisten materiaalien käytöstä ajoradoilla 60 %.

Katujen ylläpidon veden kulutuksesta suurin osa muodostuu valaistukseen tarvittavasta säh- kön tuotannosta. Hänninen ym. (2005) tutkimuksessa sähköntuotannon veden MI-kertoimena oli käytetty Helsingin Energian vuoden 2003 tuotannon mukaan laskettua lukua, $30,5\text{ kg/kWh}$. Tätä tutkimusta varten sähkön MI-kertoimet muutettiin vastaamaan Suomen kansallisen sähköntuotannon keskiarvoa, jotta katujen ylläpidon luvut olisivat käyttökelpoisia katuver- koille ympäri Suomea. Kansallisen keskiarvosähköntuotannon veden kerroin on 189 kg/kWh (Nieminen ym. 2005: 105).

Keskimääräinen teho Helsingin katuvalaistuksessa on 192 W Hännisen ym. (2005) mukaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin samaa lukuarvoa, koska Suomen taajamissa yleisin valaistus- muoto on vanhan malliset elohopealamput (Hautala 2005). Yleisillä teillä ovat yleistymässä tehokkaammat kellertävät natrium-lamput, mutta ne eivät tuota tarpeeksi valoa taajamissa,

jossa katualueella valaistusta tarvitaan enemmän, koska kevyttä liikennettä on enemmän. Kellertävää valoa pidetään myös epämiellyttävänä.

Katujen ylläpidon ilman kulutuksesta suurin osa johtuu valaistuksesta (Hänninen ym. 2005).

Taulukko 8 Katujen ylläpidon materiaalipanos vuotta kohden katujen ajoradoilla. Muokattu Hännisen ym. (2005) ja Hellénin (2004) tietojen perusteella. Sähkön MI-kertoimet on muutettu Helsingin Energian tuottamasta sähköstä Suomen keskivertosähköksi.

Ajoratojen ylläpidon osa- alueet	Abioottinen MI kg/a			Vesi MI kg/a			Ilma MI kg/a		
	I- luokka	II- luokka	III- luokka	I- luokka	II- luokka	III- luokka	I- luokka	II- luokka	III- luokka
Rakenteellinen kunnossapito	336,0	102,8	47,9	3,8	1,1	0,6	0,9	0,3	0,1
Talvikunnossapito	147,3	21,1	3,5	139,7	56,4	3,9	5,8	4,5	0,1
Valaistus	67,0	41,2	20,5	19629,8	12086,0	6639,2	25,2	15,5	7,9
Puhtaanapito	0,3	0,3	0,6	2,3	2,4	56,4	0,3	0,3	0,1
Katuvihreän kun- nossapito	0,9	0,4	0,2	6,6	2,8	1,6	1,7	0,7	0,4
Yhteensä/katu-m	551,5	165,8	72,7	19782,2	12148,8	6701,7	33,9	21,3	8,5
Yhteensä/katu-m2	34,5	16,3	9,6	1236,4	1191,1	881,8	2,1	2,1	1,1

2.2.6 Liikennesuorite kaduilla

Väkiluku liikennesuoritteen indikaattorina

Yksittäisten kuntien katu- ja rakennuskaavateiden suoritetta määritetään nykyään yleisimmin jakamalla kokonaissuoritetta kuntien asukasluvulla. Kovin yksityiskohtaisia päätelmiä suorittemääristä ei tällä menetelmällä voida tehdä, koska suoritearvot ovat laskennallisia. Menetelmä antaa kuitenkin kohtalaisen yleiskuvan erikokoisista kaupungeista. Suoritetta on muun muassa 1980-luvulla yritetty kuntakohtaisesti määrittää toiminnallisten tekijöiden perusteella, kuten teollisuuden ja palveluiden määrällä ja sijainnilla, mutta tästä menetelmästä on sittemmin luovuttu. Vain Helsinki ja Espoo laskevat systemaattisesti katujensa suoritetta (Mäkelä 2005a).

Tässä tutkimuksessa käytetään VTT:n (2005a) tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmän LIISA 2003-järjestelmän mukaisia suoritetietoja erikokoisissa kunnissa, eri katu- luokilla ja ajoneuvotyypeittäin. Järjestelmässä on katu- ja rakennuskaavateiden kokonaissuoritteesta vähennetty Helsingin, Espoon ja Vantaan ilmoittamat suoritetiedot (n. 14 % kokonaissuoritteesta). Loppuosa suoritteesta on jaettu muille kunnille niiden asukasluvun suhteessa.

Tässä tutkimuksessa Espoon ja Vantaan katujen pituuksia ja niiden arvioitu luonnonvarojen käytön osuutta ei ole sisällytetty suurten kaupunkimaisten kuntien kokonaislaskelmiin (vrt. Taulukko 9), koska aineiston karkeustaso on erilainen. Koko Suomen keskimääräisissä katu- verkon laskelmissa Espoon ja Vantaan materiaalipanokset ovat kuitenkin mukana. Espoosta esitetään herkkyytarkasteluna MIPS-luvun muuttuminen, kun suoritteen jakautuminen katu- luokille perustuu seurattuun tietoaaineistoon.

LIISA 2003-järjestelmässä on annettu oma jakauma ajoneuvotyypeille kaupungeista, joita tässä kutsutaan *suuriksi kaupunkimaisiksi kunniksi*. Tähän ryhmään kuuluvat Tampere, Turku, Oulu, Lahti, Kuopio, Jyväskylä, Pori, Lappeenranta, Vaasa, Kotka ja Joensuu.

LIISA 2003-järjestelmässä on annettu oma jakauma muille kaupungeille, joiden tässä oletetaan vastaavan Tilastokeskuksen tilastollisen luokituksen mukaisesti *kaupunkimaisia kuntia* tai *taajaan asuttuja kuntia*. Ajoneuvotyyppien jakauma on tämän vuoksi molemmissa ryhmissä sama. LIISA 2003-järjestelmässä on oma suoritteen jakauma annettu myös ryhmälle "maaseutukunnat", jonka tässä on oletettu vastaavan Tilastokeskuksen tilastollisen luokituksen mukaisesti *maaseutumaisia kuntia*. Maaseutumaisien kuntien katuverkko jaettiin muiden kuntien tavoin eri luokkiin, vaikka LIISA 2003-järjestelmässä tässä ryhmässä puhutaan vain *rakennuskaavateistä* (vrt. Taulukko 9).

Tieto ajoneuvotyyppien jakaumasta perustuu LIISA 2003-järjestelmässä kuntaryhmien otokuntien tietoihin. Katusuoritteesta on laskettu kohdistuvan 75 – 80 % pääkaduille, mikä kuvastaa pikemminkin ääritilanteita kuin keskiarvoa (Mäkelä 2005b).

Taulukko 9. Suoritteen jakautuminen eri katuluokilla. Rakennuskaavateitä tarkastellaan yhtenä kokonaisuutena LIISA 2003 järjestelmässä, mutta tässä tutkimuksessa suorite jaettiin eri katuluokille. Tonttikaduille kohdistuu enemmän suoritetta pienissä kaupunkimaisissa kunnissa sekä taajaan asutuissa kunnissa verrattuna muihin kuntaryhmiin. Muokattu LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) tiedoista.

Liikennesuoritteen jakautuminen eri katuluokkien välissä erityyppisissä kunnissa, %				
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	Rakennuskaavatiet
<i>Helsinki</i>	55,4	33,8	10,8	
<i>Espoo</i>	24,8	67,7	7,5	
<i>Vantaa</i>	28,6	63,7	7,7	
Suuret kaupunkimaiset kunnat	80,0	10,0	10,0	
Pienet kaupunkimaiset kunnat	75,0	10,0	15,0	
Taajaan asutut kunnat	75,0	10,0	15,0	
Maaseutumaiset kunnat				100

Kaikista tarkastelluista kuntaryhmistä otettiin mediaaniarvoa edustava kunta, jonka väkiluvun perusteella määritettiin kokonaissuorite tälle keskimääräiselle kunnalle. Mediaaniarvo otettiin katujen pituudesta ja väkiluvusta. Liitteessä 2 on esitetty kaikkien kuntaryhmien yhteenlasketuja suoritteiden arvot sekä mediaaniarvot, joiden perusteella MIPS-laskelmat on tehty.

Kaikissa kuntaryhmissä on oletettu pääkatujen osuuden olevan noin 4 % koko katuverkon pituudesta. Tämä yleistys aiheuttaa yksityiskohtaisissa tarkasteluissa todellisuudesta merkittävästi poikkeavia keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) lukuja (Taulukko 10). Pienillä kaupunkimaisilla kunnilla pääkatujen KVL-luvuksi tulee noin 23 000 ja taajaan asutuilla kunnilla 28 000 ajoneuvoa vuorokaudessa. Taajaan asuttujen keskimääräinen katuverkko on noin 60 km, kun taas pienten kaupunkimaisten kaupunkien katuverkko on noin 160 km pitkä. Väkiluku, jonka perusteella kokonaissuorite on määritetty, ei kuitenkaan eroa samassa suhteessa, mikä aiheuttaa taajaan asutuille kunnille korkeamman KVL-luvun pääkaduille. Molemmissa kuntaryhmissä pääkatujen KVL ei kuitenkaan todellisuudessa liene näin suuri. Tämän vuoksi eri MIPS-lukuja eri katuluokille esitetään vain suurista kaupunkimaisista kunnista.

Katuluokittain eroteltuna MIPS-lukuja esitellään myös esimerkkikunnista Helsingistä ja Forssasta. Lisäksi esitetään Espoosta MIPS-luvun muuttuminen eri katuluokilla suoritteen erilaisen jakauman johdosta.

Laskelmissa käytetyt ajoneuvotyyppien jakaumat eri katuluokilla esitetään liitteessä 3. Suoritteen jakautuminen eri ajoneuvotyyppien kesken on oletettu olevan sama pääkaduilla ja kokoojakaduilla keskimääräisiä katuluokkia laskettaessa. Tonttikaduilla ei ole täysperävaunurekka-liikennettä (Katp) kuin harvoin esimerkiksi talonrakennushankkeiden yhteydessä, joten tässä niiden suorite on siirretty puoliperävaunurekan (Kapp) osuuteen tonttikaduilla (ks. liite 3). Helsingissä seurattujen katusuoritetietojen mukaan ei tonttikaduilla myöskään ole puoliperävaunuliikennettä eikä täysperävaunuliikennettä (Hellman 2004 ja 2005a).

Taulukko 10. Väkiluku ja katuverkon pituus keskimääräisessä kunnassa (mediaani), laskennalliset katuluokkien pituudet ja niiden perusteella saatu laskennallinen keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL). Etenkin pienemmissä kunnissa laskennallinen KVL ei todennäköisesti vastaa todellisia olosuhteita.

Keskimääräinen kunta	Väkiluku 2003	Katuverkon pituus (km)	Laskennalliset katuluokkien pituudet km			Laskennallinen KVL			
			Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	Keskimääräinen KVL
Suuri kaupunkimainen kunta	88 250	398	15,9	107,5	270,6	38 589	715	284	1 929
Pieni kaupunkimainen kunta	22 396	158	6,3	42,7	107,4	23 127	457	272	1 233
Taajaan asuttu kunta	10 630	61	2,4	16,5	41,5	28 432	562	334	1 516
Maaseutumainen kunta	3 162	14	0,6	3,8	9,5	36 850	688	434	1 965

Katuinfrastruktuurin allokointi eri ajoneuvotyypeille henkilö- ja tavaraliikenteessä

Katuinfrastruktuuri allokoidaan eri ajoneuvotyypeille henkilöautokertoimella painotettuna. Tämä ottaa huomioon eri ajoneuvojen tarvitseman tilatarpeen. Henkilöautolla ja pakettiautolla kerroin on 1, linja-autolla ja kevyt kuorma-autolla 2 ja puoliperävaunurekalla ja täysperävaunurekalla 3. Tätä allokointitapaa käyttävät Lähteenoja ym. (2006: 30–33, 39) myös maanteiden liikenteelle FIN-MIPS Liikenne -hankkeen ohjausryhmän ehdotuksen mukaisesti.

Keskimääräinen katu ja katuluokat Suomessa

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli laskea Suomen keskimääräisten katuluokkien ja keskimääräisen kadun kulutusta. Keskimääräisiä katuluokkia laskettaessa otettiin huomioon eri tilastollisten kuntien katujen pituudet ja niille yleistettyjen materiaalipanosten osuudet.

2.3 YKSITYISTIET

2.3.1 Tutkimuksessa tarkastellut yksityistiet

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan sellaisia yksityisteitä, joiden varrella on pysyvää asutusta. Tällaisia yksityisteitä on 100 000 km. Rakennetut metsätiet ja muut ajokelpoiset metsä- ja mökkitiet rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Tällaiset yksityistiet palvelevat lähinnä metsä- tai maatalouden tarpeita eivätkä siten ole osa yleistä liikennejärjestelmää. Lisäksi materiaalin käyttö pienten ajokelpoisten metsä- ja mökkiteiden rakentamisessa ja ylläpidossa on oletettavasti vähäistä teiden kevyiden rakenteiden vuoksi.

Pysyvän asutuksen piirissä olevat yksityistiet jaetaan valtionavustuskelpoisiin yksityisteihin, jotka ovat joko *kuntien hoitosopimusteitä* tai *tiekuntien hoitamia*. Loput ovat joko *vain kunnan avustusta saavia yksityisteitä* tai sellaisia yksityisteitä, joilla ei ole mitään avustusjärjestelmää.

Tietoa eri yksityistieluokkien rakentamisesta ja materiaalikäytöstä on saatavilla vähän, joten tässä esitetään yksityisteille keskimääräinen rakentamisen ja ylläpidon vuosittainen materiaalianpanos kilometriä kohden. Yksityisteillä lienee vähän alueellisia eroavaisuuksia. Herkkyyss-tarkasteluna muutetaan muutamia oletuksia rakentamisen materiaalianpanosten määrästä.

2.3.2 Liikenne yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta

Yksityisteiden liikennesuoritteita ei seurata säännöllisesti, kuten yleisillä teillä tehdään. Arvio vuodelta 1998 on, että kaikkien yksityisteiden liikennesuorite olisi 2 % koko maan liikennesuoritteesta, eli noin 1 miljardi ajoneuvokilometriä (Lehtinen 2005b).

Yksityisteiden liikennesuoritteen jakautumisesta eri ajoneuvotyyppeihin ei ole saatavilla tietoa. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa yksityisteillä ajavien ajoneuvojen suoritteiden suhteelliset osuudet yleistetään samaksi yhdysteiden kanssa Puseniuksen ym. (2005) mukaan (Taulukko 11).

Yksityisteiden infrastruktuurin materiaalianpanos allokoidaan tien käyttäjille painotetun keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) avulla. Painotetuilla KVL-luvuilla otetaan huomioon eri ajoneuvojen aiheuttamat vaatimukset tien rakentamiselle ja tienpidolle. Raskaat ajoneuvot vievät myös enemmän tilaa, joten niillä on suurempi kerroin. KVL-luvut painotetaan henkilöautokertoimilla kuten Lähteenojan ym. (2006: 30–33, 39) maanteiden laskelmissa.

Taulukko 11. Yksityisteiden materiaalianpanosten allokointi eri ajoneuvoluokille pelkän keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) sekä painotetun henkilöautokertoimen mukaan (painotettu KVL) laskettuna. Lähteenojan ym. (2006) mukaan.

Ajoneuvoluokka	KVL	Painotettu KVL
Henkilöauto (Ha)	84,10 %	72,50 %
Linja-auto (La)	1,20 %	2,10 %
Pakettiauto (Pa)	7,30 %	9,40 %
Kevyt kuorma-auto (Kaip)	3,70 %	6,40 %
Puoliperävaunurekka (Kapp)	3,70 %	9,60 %
Täysperävaunurekka (Katp)	-	-

Liikenteellisesti merkittävimpiä ovat valtion avustukseen oikeutetut yksityistiet (Taulukko 12), joita on nykyään noin 55 000 km. Näiden yksityisteiden varrella asuu puoli miljoonaa ihmistä ja esimerkiksi kesämökkejä vaikutusalueella on lähes 190 000, mikä on 40 % koko Suomen loma-asuntokannasta (Sirkiä ym. 2000). Näiden yksityisteiden keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on noin 43 ajoneuvoa. Tämä luku on Tiehallinnon yksityisteiden avustusrekisteristä kymmenen vuoden takaa, koska uudempia lukuja ei ole saatavilla. Lisäksi KVL-luku on keskiarvo eri tieosuuksilta, jota ei ole painotettu tieosuuksien pituuksien mukaan. Paljon pitkiä ja vähäliikenteisiä yksityisteitä on etenkin Pohjois-Suomessa, joten todellinen keskimääräinen KVL-luku saattaa olla vieläkin pienempi (Lehtinen 2005b).

Tiehallinnolta saatujen arvioiden mukaan (Lehtinen 2005b) annettiin neljälle eri yksityistietyyppille eri KVL-luvut (Taulukko 12), jotka alenevat mentäessä valtionavustuskelpoisista yksityisteistä sellaisiin yksityisteihin, joilla eivät saa mitään avustuksia. Viimeksi mainituissa on oletettavasti vähiten asutusta ja siten myös vähiten liikennettä.

Keskimääräinen liikennesuorite

Eri yksityistietyyppien KVL-luvuista saadaan painotetuksi keskiarvoksi niille yksityisteille, joiden varrella on pysyvää asutusta, 26 ajoneuvoa vuorokaudessa.

KVL-luvuista saadaan laskettua myös liikennesuoritteet eri yksityistietyypeille, jotka ilmaistaan muodossa ajoneuvokilometriä vuodessa. Tarkastelluille yksityisteille saadaan tällä tavoin laskettuna liikennesuoritteeksi yhteensä noin 945 miljoonaa ajoneuvokilometriä vuodessa (Taulukko 12). Tämä vastaa 95 prosenttia yksityisteiden arvioidusta kokonaissuoritteesta, joka on 1 miljardi ajoneuvokilometriä. Liikenteellisesti merkittävien yksityisteiden KVL-luku sekä arviot muille kolmelle yksityistietyyppille yhdessä näyttävät vastaavan siten melko hyvin todellisuutta.

Taulukko 12. Tutkimuksessa huomioitujen yksityisteiden pituus, keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) sekä liikennesuorite yksityistietyypeittäin (Lehtinen 2005b; Yksityisteiden ominaisuus... 2004)

		Pituus (km)	KVL	Suorite (milj. ajoneuvokm/vuosi)
Valtionavustuskelpoiset yksityistiet (*1)	Kuntien hoitosopimustiet	14 000	43	204,4
	Tiekuntien kunnossapitämät yksityistiet	41 000	30	449,0
<i>Yhteensä</i>		<i>55 000</i>	<i>33</i>	<i>653,4</i>
Muut pysyvän asutuksen yksityistiet	Vain kunnan avustusta saavat yksityistiet	25 000	20	182,5
	Muut	20 000	15	109,5
<i>Yhteensä</i>		<i>45 000</i>	<i>18</i>	<i>292,0</i>
Yhteensä kaikki tarkastellut yksityistiet		100 000	26	945,4

*1 Edellyttää tiekunnan perustamista ja huomattavaa liikenteellistä merkitystä paikkakunnalla, tai tarpeellisuutta pysyvän asutuksen vuoksi.

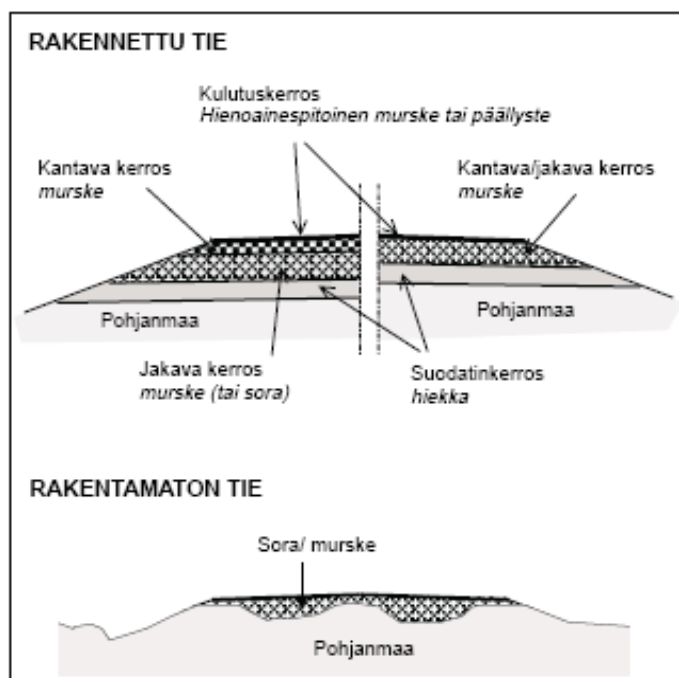
Yksityisteillä liikennemäärät ovat huomattavasti pienempiä kuin esimerkiksi maanteiden vähäliikenteisimmällä tieluokalla, yhdystiellä, jonka keskimääräinen vuorokausiliikenne on 329 ajoneuvoa (Pusenius ym. 2005).

2.3.3 Yksityisteiden rakentamisen ja ylläpidon MI-luvut

Suurin osa kaikista Suomen yksityisteistä on niin sanottuja rakentamattomia teitä (Kuva 7). Ne ovat vähitellen liikennetarpeen myötä syntyneitä teitä. Niissä ei ole esimerkiksi maapohjan kantavuuden vaihteluita tasaavia rakennekerroksia. Tiet routivat usein voimakkaasti ja ovat kelirikkoisia. Kunnossapitomenetelmät joudutaan usein valitsemaan nämä seikat huomioon ottaen (Tiehallinto 2005c)

Yksityisteillä liikennemäärät ovat pieniä ja ajonopeudet alhaisia. Vähäliikenteiset yksityistiet seuraavat oletettavasti useimmiten maastonmuotoja. Niitä varten ei siten tehdä mittavia kallio- tai maaleikkauksia. Tiehallinnolta saadun arvion mukaan leikkauksia tai pohjanvahvistuksia tehdään hyvin vähän ja vain pistemäisesti (Lehtinen 2005a). Esimerkiksi Keski-Suomen tiepiirissä valtion avustusta saavia yksityisteitä varten ei ole tehty mittavia leikkauksia. Parantamistoimenpiteinä alueella ovat yleensä kulutuskerroksen parantaminen ja kuivatus ojittamalla (Pietikäinen 2005).

Yksityisteiden yleisin päällyste on sora. Viimeisin Suomen Kuntaliiton kyselytutkimus kunnille niiden alueella olevien katujen ja yksityisteiden päällysteistä on tehty vuonna 1994 (Kauppi 2005a). Tietoa kerättiin viimeisen kerran tällöin, koska tähän vuoteen saakka katumaksut perustuivat katuluokkaan, johon päällysteellä oli merkitys. Vuoden 1994 kyselyn mukaan kunnan kunnossapitämistä hoitosopimusteistä 96 % oli sorapäällysteisiä. Tie kuntien ja vain kunnan avustusta saavista yksityisteistä 99 % oli sorapäällysteisiä. Päällyste on siksi tässä tutkimuksessa oletettu soraksi.



Kuva 7. Poikkileikkaus rakennetusta ja rakentamattomasta tiestä. Rakentamattomat tiet ovat kevytrakenteisia. Suurin osa yksityisteistä on rakentamattomia (Tiehallinto 2005c).

Rakentamisen MI-luvut

Maanteiden toiminnallisista tieluokista pienin eli yhdystie valittiin tämän tutkimuksen yksityisteiden rakennetta koskevien oletusten lähtökohdaksi Puseniuksen ym. 2005 perusteella seuraavalla tavalla. Yhdystiet ovat yksityisteiden tavoin maastoa mukailevia, vähäliikenteisiä teitä. Yhdystien nykyiset rakennekerrokset jätettiin huomioimatta, mutta yhdystien rakenteesta huomioitiin se osuus materiaalipanoksesta, joka tiehen oli käytetty jo ennen perusparannusta. Tässä tutkimuksessa käytetty rakennemalli muistuttaa kevytrakenteista, *rakentamatonta tietä* (Kuva 7). Tähän osaan kohdistuneet toimenpiteet ja materiaalinkäyttö koostuivat *pintamaan poistosta, soran tuomisesta tielle ja vanhoista rummuista*.

Tarkasteltujen yksityisteiden varrella on pysyvää asutusta ja teillä on liikennettä jatkuvasti. Tiet on siten rakennettava sellaiseksi, että sadevesi saadaan mahdollisimman hyvin johdettua pois tierakenteelta. Tämän vuoksi myös tässä tarkasteltujen yksityisteiden veden kulutukseen huomioidaan se sadeveden määrä, joka valuu pois alkuperäiseltä kulkureitiltään.

Yksityisteiden käyttöiän oletettiin olevan 60 vuotta eli sama kuin maanteillä ja kaduilla.

Valtion avustuksia kohdennetaan nykyään vain teiden ja siltojen parantamiseen. Vuosittain noin 800 - 900 tiekuntaa saavat tällaista avustusta (Liikenne- ja viestintäministeriö 2005).

Tiepiirien yksityistievastaavilta saatujen arvioiden mukaan (Heinola 2005, Tamminen 2005, Uutela 2005) suurin osa *valtionavustuskelpoisista teistä* on rakentamattomia teitä, joiden merkittävin rakennekerros on vain soraa tai mursketta käsittävä aluspenger. Erään arvion mukaan paksuus vaihtelee 10–50 cm:n välillä. Joillakin yksityisteillä voi olla myös useita rakennekerroksia, jos rahoitusta on saatu riittävästi, liikenteen vilkkaus sen vaatii tai raskasrakenteisempi maantie on hallinnollisesti muutettu yksityistieksi. Rajapinta yleisten ja yksityisteiden rakennekerrosten paksuudessa voi kuitenkin olla epäselvä. Joskus vähäliikenteinen maantie voi olla yhtä kevytrakenteinen kuin vilkasliikenteinen yksityistie. Maanteitä toisaalta muutetaan yksityistieksi vain noin 20 kilometrin pituudelta vuosittain (Lehtinen 2005b) eli kokonaisuuden kannalta hyvin vähän.

Koska tarkempaa tietoa valtionavustuskelpoisten yksityisteiden rakennekerrosten paksuuksista ei kerätty, oletettiin tässä yllämainittujen asiantuntija-arvioiden perusteella aluspenkereen paksuudeksi 60 cm, mikä toiminee suhteellisen hyvin keskiarvona *valtionavustusta saavista teistä*, koska osaa näistä perusparannetaan ajoittain ja paksuus siten voi muodostua suuremmaksi kuin 10–50 cm. Perusparannuksia ei ole sisällytetty laskelmiin.

Yksityistiet ovat usein kapeita ja yksiajorataisia teitä. Arvioita yksityisteiden leveyksistä saatiin kysymällä Uudenmaan, Keski-Suomen ja Oulun tiepiirien yksityistieasioista vastaavilta henkilöiltä (Hämäläinen 2005; Pietikäinen 2005; Uutela 2005). Arviot valtion avustusta saavien yksityisteiden leveyksistä vaihtelivat 4-6 metriin, vaihteluvälin arvioitiin kuitenkin olevan useimmiten 4-5 metriä.

Valtionavustusta saavien yksityisteiden rakenne on oletettavasti raskaampi kuin sellaisten yksityisteiden, jotka saavat vain kunnan tai ei lainkaan avustusta tien parantamiseen ja ylläpitoon.

Oulun tiepiirin (Uutela 2005) arvion mukaan *muut pysyvän asutuksen piirissä olevat yksityistiet* voivat olla vielä kapeampia kuin valtionavustuskelpoiset yksityistiet. Myös aluspenkereen paksuus voi olla paljon pienempi, jos tien parannusta varten ei ole mahdollista saada valtion-apua. Koska tietopohja näiltä yksityisteiltä on vielä heikompaa kuin valtionavustuskelpoisilta, lasketaan keskimääräinen yksityistie olettamalla sen ajoradan leveydeksi 4 m ja aluspenkereen paksuudeksi 50 cm.

Rakentamisen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 6.

Yksityistien ylläpidon MI-luku

Yksityistien kunnossapitotarpeeseen vaikuttavat liikenteen määrä ja laatu sekä sääolosuhteet. Yksityisteille voidaan antaa kunnossapitoluokituksia. Nämä ovat suoraan verrattavissa liikenteen määrään, joka vaikuttaa tien kulumiseen ja tavoitteena olevaan laatutasoon. Raskas liikenne kuormittaa tien rakennetta moninkertaisesti henkilöautoliikennettä enemmän (Tiehallinto 2005c). Ajoneuvojen painolla on siis enemmän vaikutusta yksityisteillä verrattuna yleisiin teihin tai katuihin. Laskelmissa käytetty henkilöautokertoimella painotettu KVL toimii siis tässäkin suhteessa hyvin yksityisteiden kohdalla, koska se jossain määrin nostaa raskaan liikenteen osuuden tien käytöstä.

Yksityisteiden ylläpito koostuu seuraavista toimenpiteistä: auraus, talvihöyläys, liukkauden torjunta, kinostintyöt, tierumpujen aukaisu (tulvimisen välttämiseksi), kesähöyläys, pölynsi-donta ja ojien kunnossapito (Tiehallinto 2005c). Tässä otetaan huomioon *auraus, talvihöyläys sekä liukkauden torjunta*, koska nämä luvut olivat saatavilla yhdystien elinkaarilaskennan luvuista Puseniuksen ym. (2005) tutkimuksessa.

Liukkauden torjuntaan käytetään joko suolausta tai hiekoitusta. Talvisuolausta voidaan tehdä vain päällystetyillä teillä. Yksityistiet ovat lähes poikkeuksesta sorateitä, joten niillä käy liukkauden estämiseksi vain hiekoitus. Vaikka yksityisteillä ei ole yhtä suurta hiekoitus-velvollisuutta kuin yleisillä teillä, käytännössä myös yksityisteitä hiekoitetaan niillä kulkevien posti-, koulukuljetus- ja jäteautojen vuoksi. Hiekoitus on usein pistemäistä ja kohdistuu lähinnä liittymien ja mäkien kohdille. Hiekkaa kuluu yhdellä hiekoituskerralla noin 0,5 m³/km. Jos keli on erittäin liukas, käytetään karkeampaa sepeliä (Suomen Tieyhdistys 2005b). Hiekoituksen määrä yleistettiin tässä tutkimuksessa suoraan yhdystien hiekoitusmäärästä.

Aurauksesta ja talvihöyläyksestä lasketaan mukaan vain kaluston aiheuttama luonnonvarakulu-tus. Sen osuus koko ylläpidosta on niin pieni, ettei yhdystien lukuja muutettu. Todellisuudessa yksityisteitä aurataan ja höylätään todennäköisesti harvemmin kuin yleisten teiden yhdysteitä.

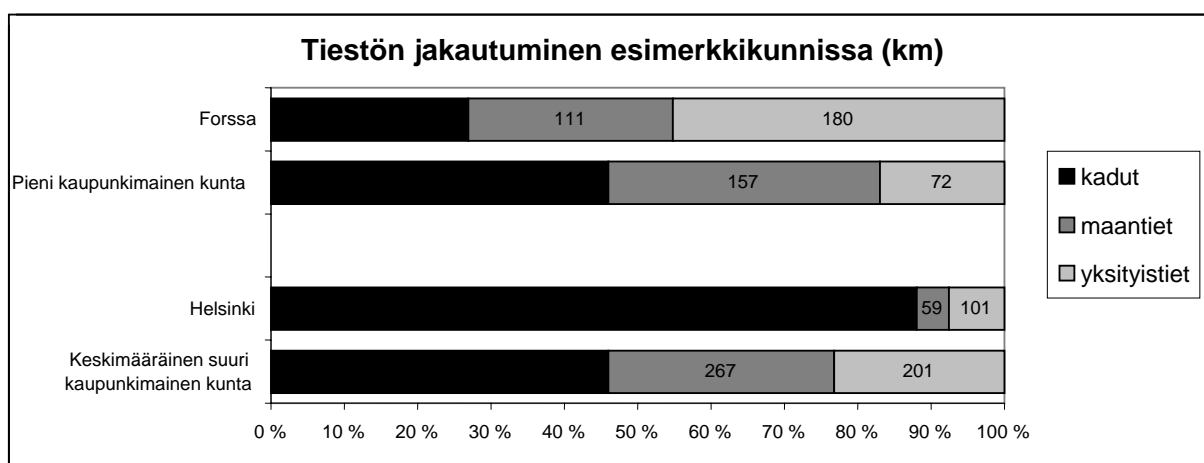
Ylläpidon MI-luvun erittely esitetään liitteessä 6.

2.4 PAIKALLISEN LIIKENTEEN MATERIAALIPANOKSET ESIMERKKIKUNNISSA

Paikallisen liikenteen luonnonvarojen käyttöä tarkastellaan yksityiskohtaisesti kahden erikoisen kaupungin avulla. Esimerkkinä ovat Suomen suurin kaupunki Helsinki ja pienempi, noin 20 000 asukkaan Forssa. Helsinki valittiin esimerkkikaupungiksi, koska paikallisen liikenteen tutkimuksessa haluttiin laskea myös metroliikenteen ja raitiovaunuliikenteen MIPS-lukuja. Suomessa kyseisiä liikennemuotoja on vain Helsingissä. Lisäksi Helsingistä haluttiin tehdä esimerkkilaskelma vilkkaasti liikennöidyn pyörätien MIPS-luvuista, koska FIN-MIPS Liikenne -hankkeen pyöräliikennettä koskevassa tutkimuksessa (Hakkarainen ym. 2005) oli käsitelty pyöriteitä keskimäärin Suomessa, muttei huomioitu suoritteiden vaihtelun vaikutusta pyöräliikenteen MIPS-lukuun.

Kriteerinä pienemmän kaupungin valitsemiselle oli löytää sellainen kaupunki tai kunta, jossa olisi selvitetty ylipäättään katujen liikennemääriä. Suomessa jatkuvaa liikennemäärien ja koko kaupungin alueen suoritemääriä seurataan vain Helsingissä ja Espoossa. Muissa kaupungeissa seuranta on lähinnä pistemäistä, etenkin pienemmissä kunnissa. Forssassa on muun muassa vuonna 2000 tehty keskustan liikennejärjestelmäsuunnitelma (Forssan kaupunki 2005b), josta saatiin keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) lukuja. Tutkimuksessa muuten tarkasteltujen pääkatujen KVL-luvuista tuli LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) pohjalta laskettuna todellisuudesta oletettavasti poikkeavia lukuja muiden kuin suurten kaupunkimaisten kuntien kohdalla. Forssan esimerkillä havainnollistetaan näin ollen laskennallisesti määritettyjen ja todelliseen tilanteeseen perustuvien pääkadulla ajamisen MIPS-lukujen väliset erot pienemmissä taajamissa.

Molemmista kaupungeista esitellään niiden alueella oleva koko tiestön pituus ja jakautuminen maanteihin, yksityisteihin ja katuihin (Kuva 8). Ajoneuvoliikenteen MIPS-lukuja laskettiin vain kaduista. Helsingistä selvitettiin lisäksi metroliikenteen ja raitiovaunuliikenteen MI-luvut. Lähijunaliikennettä käsiteltiin koko pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen tasolla, koska tunnusluvut suoritteesta ja energiankulutuksesta olivat saatavissa vain tällä tasolla.



Kuva 8. Tarkasteltujen esimerkkikuntien Forssan ja Helsingin tiestön jakautuminen katuihin, maanteihin ja yksityisteihin. Vertailuna kuvassa esitetään myös kuntaryhmien keskimääräisen kunnan tiestön jakautuminen.

2.4.1 Forssa

Forssan kaupunki sijaitsee Kanta-Hämeessä. Suurin osa Forssan pinta-alasta on metsä- ja maatalouden piirissä. Vain 6 prosenttia on asemakaavoitettua aluetta. Tilastollisen kuntaluokituksen mukaan Forssa on kaupunkimainen kunta. Forssan katuverkosto on tosin kuntaryhmän keskimääräisen kunnan katuverkkoa suppeampi (Kuva 8). Lähes puolet tiestöstä on yksityisteitä. Kunnan alueella on perinteinen maaseutuasutus vähentynyt, mutta toisaalta omakotiasutus on levinnyt entistä kauemmaksi kaupungin keskusta-alueelta. Asutusrakenne on hajonnut jonkin verran. Lisäksi työpaikat ovat keskittyneet eri alueille verrattuna asutukseen, mikä on lisännyt liikkumistarvetta ja yksityisautoilua. Vuonna 2003 Forssan väkiluku oli 18 104 asukasta (Forssan kaupunki 2005a; Kuntaliitto 2005).

Vuoden 1986 tilastojen mukaan (Manns 1987) kaupungin katuverkosta oli pääkatujen osuus 15 %, kokoojakatujen 26 % ja tonttikatujen 67 %. Katuverkkoa kokonaisuudessaan on rakennettu noin 40 km lisää tämän jälkeen, ja sen pituus on nykyään 107 km (Kuntaliitto 2005). Tonttikatujen lisäksi myös pääkatuja on rakennettu jonkin verran lisää (Eerola 2005b), joten katuverkon vuoden 1986 osuuksia voitiin käyttää Forssan esimerkkilaskelmissa. Forssan asemakaavoitetusta alueesta 14,3 % on liikennealueita. Yksityistiet ovat kaikki tiekuntien hoidossa olevia yksityisteitä ja niitä on 180 km. Maanteitä on 111 km (Kuntaliitto 2005).

Materiaalipanokset katujen rakentamisessa

Forssan katuverkko sijaitsee arvioiden mukaan (Eerola 2005a) suurimmaksi osaksi kantavuusluokalla E. Tämän kantavuusluokan maapohja voi olla routivaa sora- ja hiekkamoreenia, hiekkaa tai kuivakuorisavea (liite 1). Forssassa 70 % katujen pengerrysmateriaaleista saadaan samasta tai toisen työmaan rakennusmateriaaleista. Pohjanvahvistusmenetelminä on käytetty arviolta 1,5 % katuverkon pituudesta massanvaihtoa. Suodatinkangasta on sen sijaan käytetty arviolta 20 % pituudelta. Kallionleikkausten ylijäämämateriaaleista 80 % käytetään hyödyksi. Avoimeksi jäi, käytetäänkö ylijäämämateriaaleja juuri kadunrakennukseen.

Forssaa koskevilla laskelmissa oletettiin, että 1,5 prosentissa katuverkosta on tehty massanvaihtoa ja 20 prosentissa on käytetty suodatinkangasta, jonka osuus rakentamisen materiaalipanoksesta on tosin merkityksetön. Maaleikkausten pituudeksi oletettiin muiden tutkimuksissa laskettujen pääkatujen tavoin 10 prosenttia. Päälyysrakenteen paksuus määritettiin maapohjatyyppin ja liikennemäärien vaatimusten mukaisesti.

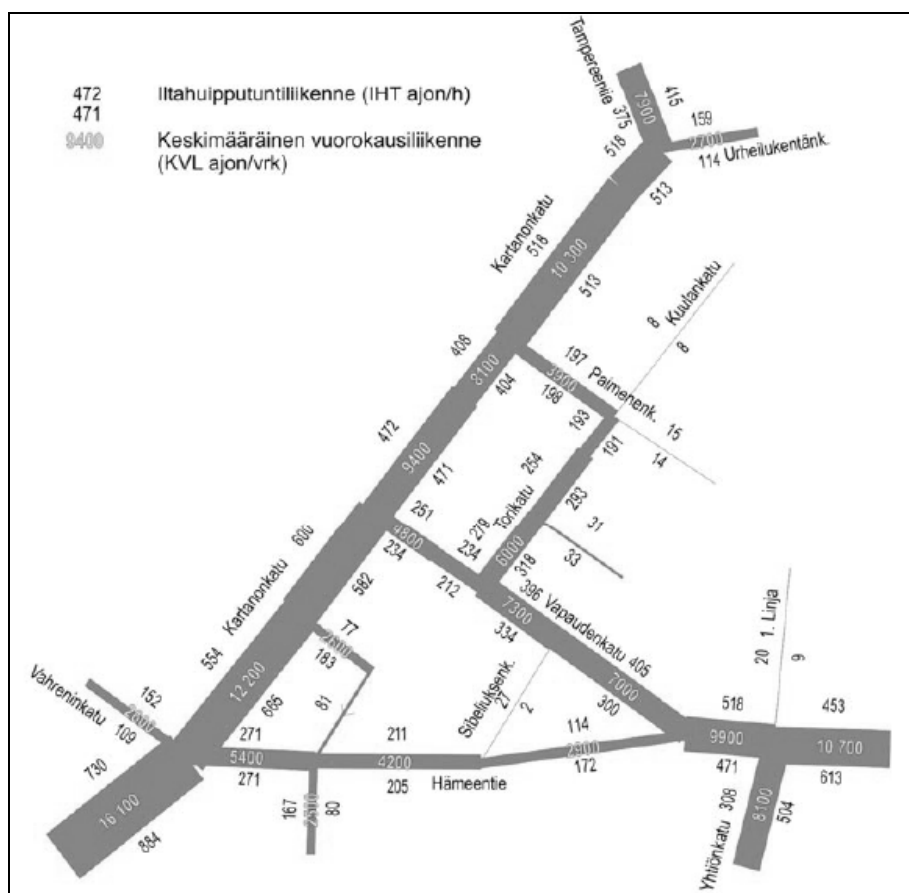
Forssan keskustan pääkaduista Kartanonkatu paikoitellen ja Yhtiönkatu kokonaan ovat 2-ajorataisia katuja. Muiden keskustan katujen ja yleisesti koko Forssassa muiden katujen ajoratojen leveys on noin 7 metriä (Eerola 2005b). Tätä leveyttä on siten käytetty myös tonttikatujen laskelmissa.

Forssalaisten käyttämästä kaukolämpöenergiasta 90 % ja sähköenergiasta noin 30 % saadaan Forssan biovoimalaitoksesta. Forssan Kiimassuon biovoimalaitos käyttää polttoaineenaan muun muassa puunkuoria, turvetta sekä lajiteltua uusiopolttoainetta (Forssan kaupunki 2005c). Forssaa koskevilla MIPS-laskelmissa käytetään energiantuotannossa kuitenkin muun tutkimuksen kanssa yhteneväisesti Suomen kansallista keskivertosähköin MI-kerrointa.

Forssan pääkatujen ja tonttikatujen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 7.

Liikenne Forssassa

Forssan keskusta sijaitsee kahden vilkkaan valtatie (vt. 2 ja vt. 10) risteyksen lähellä. Maantiet ovat ohitusteitä eivätkä kulje keskusta-alueen läpi. Yksi tärkeimmistä pääväylistä Forssan keskustaaajamassa on Kartanonkatu, jolle kohdentuu suurin osa liikenteestä (2005b). Kartanonkadun keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on keskimäärin 10 000 ajoneuvoa (Kuva 9). Forssan keskustan liikenneverkko vaihtoehtojen suunnittelutyön yhteydessä arvioitiin tonttikatujen KVL-lukuja ja keskiarvo niistä on 350 ajoneuvoa (Eerola 2005a). Kokoojkatujen liikennemääristä ei ole tietoa, mutta ne sijoittuvat todennäköisesti pääkatujen ja tonttikatujen KVL-lukujen välimaastoon. Tässä tarkastellaan MIPS-lukuja henkilöliikenteessä Kartanonkadulla ja tonttikaduilla yleensä.



Kuva 9. Forssan keskustassa mitattuja KVL-lukuja vuonna 2002 (Forssan kaupunki 2005b)

2.4.2 Helsinki

Ajoneuvoliikenne

Helsingin tiestö kokonaisuudessaan

Helsingissä on yhteensä noin 1230 km tiestöä, josta yli 90 % on katuja. Katuverkosta suurin osa on tonttikatuja. Luonnonvarojen kulutusta ja liikennesuoritteita tarkastellaan lähemmin vain katujen osalta. Koko tiestö esitetään paremman yleiskuvan muodostamiseksi (Kuva 8).

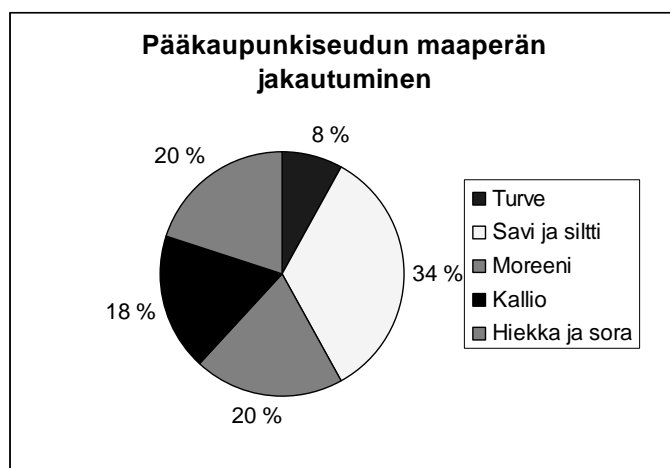
Helsingin katujen materiaalipanos

Helsingin kaupunki on kasvanut niemen kärjestä radan vartta pitkin pohjoiseen. Helsingin kaupungin maapinta-alasta on arviolta kolmannes pehmeää savea. Kaksi kolmannesta on kantavia maalajeja kuten kalliota ja moreenia. Helsingin vanhimmat kaupunginosat eli kanta-kaupunki ja muu niemen alue on suurimmaksi osaksi rakennettu kantaville maalajeille. Sotien jälkeen kaupunki laajeni (Korhonen 2005), kun uusia alueita liitettiin Helsinkiin. 1950- ja 1960-luvulla rakentuminen kiihtyi maaltamuuton vuoksi, 1970-luvulla jouduttiin rakentamaan Helsingissäkin jo savialueille. 1970-luvulla tosin ei pehmeillä rakennusalueilla tehty yleensä pohjanvahvistuksia. Ensimmäinen vahvistus tehtiin Tarvontielle 1960-luvulla. Itäkeskuksen alue on viimeinen rakentamisen alue, jossa vahvistuksia ei tehty. Nykyään joudutaan tällaisia alueita korjaamaan ja vahvistamaan, koska kadut ovat painuneet, mikä saattaa aiheuttaa vaaraa viemäri - ja muille putkiverkostoille. Pehmeille savikoille on jouduttu rakentamaan yhä enemmän 1980-luvulta lähtien, kun rakentamaton maanpinta-ala on alkanut käydä yhä niukemmaksi. Pehmeillä mailla on alettu käyttää erityyppisiä pohjanvahvistusmenetelmiä, esimerkiksi erilaisia stabilointeja 1980-luvulta lähtien. Hännisen ym. (2005) tutkimuksessa laskettiin kahden Helsingissä nykyään yleisimmin käytettävän pohjanvahvistusmenetelmän, pilaristabiloinnin ja massanvaihdon materiaalikulutusta.

Hänninen ym. (2005) selvittivät Helsingin kaupungin katuverkon ylläpidon abioottisten luonnonvarojen, veden ja ilman kulutusta. Tekijät olivat käyttäneet Helsingin Energian sähkön MI-kertoimia, mutta vertailtavuuden vuoksi tässä tutkimuksessa myös kaikkia Helsinkiä koskevissa tarkasteluissa käytetään Suomen kansallisen keskiarvosähkön MI-kertoimia. Huomattavin ero kertoimissa on veden kulutuksen luvuissa, jossa keskiarvosähkön kerroin on kuusinkertainen Helsingin Energian tuottamaan sähkөөn verrattuna.

Helsingin pääkatujen ja tonttikatujen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 7.

Helsingin ajoneuvosuoritteen jakauma eri katuluokille ja ajoneuvotyypeille Hellmanin (2004) mukaan esitetään liitteessä 3.



Kuva 10. Pääkaupunkiseudun maaperän jakautuminen (Savimassojen hyötykäytön tulevaisuus 2004 Hännisen ym. 2005 mukaan)

Metrolinjen

Metrolinjen on toimiva joukkoliikenteen muoto sellaisilla alueilla, joissa asutus on tiheää tai potentiaalisia matkustajia on hyvin paljon. Yhdellä metroradalla pystytään kuljettamaan jopa 30 000 - 40 000 matkustajaa tunnissa yhteen suuntaan. Helsingissä metrorataa on yhteensä 20,1 km. Rata kulkee niin maan päällä kuin silloilla ja tunneleissa maan alla. Helsingin metron matkustajaliikenne alkoi Itäkeskuksen ja Hakaniemen välillä vuonna 1982. Samana vuonna avattiin myös Rautatien ja seuraavana vuonna Kampin asema. Viimeisimmät laajennukset on tehty vuonna 1992 Kampista Ruoholahteen ja vuonna 1998 Itäkeskuksesta Vuosaaren. Suunnitelmia on myös metroradan jatkamisesta Espooseen (ns. länsimetro). Metroasemia on yhteensä 16, joista seitsemän sijaitsee maan alla. Metron raideleveys on Suomessa sama kuin rautateiden eli 1524 mm. Rautatiekalusto ei kuitenkaan sovi metroradalle, mutta metrolinjalta voisi tietysti edellytyksin kulkea myös rautateillä. (Kaupunkiliikenne 2005; Liikenne Helsingissä... 2003; RIL 165-2 Liikenne ja väylät 1988.)

Metrolinjen on yksi raideliikenteen erikoisala ja useat raideliikenteen suunnittelu- ja rakentamisperiaatteet koskevat myös metroa (RIL... 1988). Sen vuoksi tässä tutkimuksessa käytetään hyväksi jo olemassa olevia rautatieliikenteen MIPS-laskelmia Vihermaan ym. (2005) FIN-MIPS Liikenne-osatutkimuksesta. Metroliikenteen MI-luvut muodostuvat metroradan rakentamisesta, muusta metroliikenteen vaatimasta infrastruktuurista sekä metrojunakaluston koko elinkaaren aikaisesta materiaalien ja energian kulutuksesta.

Metroradan rakentamisen materiaalien

Helsingin metroradan pituudesta 57 % (12,1 km) on rakennettu maan päälle, 31 % (6,5 km) tunneleihin ja 12 % (2,5 km) silloille (Suomen raitiotieseura ry. 2005). Raideleveys on 1524 mm, ja metrorata on kaksiraiteinen. Tunneliosuuksilla raiteet kulkevat eri tunneleissa ja Kuloosaaren siltaa lukuun ottamatta myös eri silloilla (Hölttä 2005).

Metron tunneliosuuksista suurin osa on rakennettu kovaan peruskallioon. Poikkeuksena on niin sanottu Kluuvien ruuhje Mikonkadun ja Kaivokadun risteyksen kohdalla, jossa maaperä on

rapautunutta kalliota ja savea. Metrotunneli louhittiin ruhjeeseen jäädyttämällä maaperä, minkä jälkeen jäätynyt maa ja kallio irrotettiin varovasti räjäyttämällä (HKL 2005a). Tässä on kuitenkin oletettu kaikkien tunneliosuuksien materiaalipanosten muodostuvan louhitusta kalliosta, ja käytetty graniitin tiheyttä, joka on 2700 kg/m^3 . Minimikorkeus, johon tunneleissa pyritään, on 510 cm. Tästä tilasta 80cm on täytetty sepelillä (Hölttä 2005). Metroradan tunneliosuuksien MI-luku on yleistetty aikaisemmista laskelmista tunneleiden materiaalipanoksista, koska niiden mitoitukset todettiin vastaavan hyvin metro tunnelin mitoitusta. Tunnelissa kulkeva 1-raiteinen rata kuluttaa noin 110 tonnia abiottisia materiaaleja ratakilometriä kohden (Vihermaa ym. 2005).

Maan päällä kulkevalle kaksiraiteiselle radalle olivat Vihermaa ym. (2005) laskeneet kolme eri normaalirakenteen vaihtoehtoa: maaleikkaus, paalulaatta ja massanvaihto. Maaleikkauksessa ja paalulaatoilla kulkeva rata kuluttaa noin 200 tonnia abiottisia materiaaleja ratakilometriä kohden. Massanvaihto kuluttaa noin 330 tonnia abiottisia materiaaleja. Veden kulukseltaan paalulaatoilla kulkeva rata on kaikista epäedullisin. Tässä tutkimuksessa on oletettu, että metroradan maanpäällisen osuuden eli normaalirakenteen pituudesta kaksi kolmannesta kulkee maaleikkauksessa. Kolmannekselle ratapituudesta on oletettu tehtäneen massanvaihto. Tämä suhde kuvastaa yleisiä Helsingin maapohjan kantavuusolosuhteita (Hölttä 2005; Kuva 10).

Myös siirretty sadevesi sisällytettiin lukuihin. Suomen keskimääräisestä sademäärästä (600 mm eli 600 l/m^2) laskettiin siirretty sadevesi radan vaatimalta pinta-alalta maan päällä kulkevilta normaalirakenteen osilta, järjestelyradoilta sekä kaikilta siltaosuuksilta.

Helsingin metro on ollut käytössä vasta muutaman vuosikymmenen. Metroradan käyttöäksi on tässä kuitenkin arvioitu sama kuin yleensä raitinfraktuurin, eli 100 vuotta. Metron ratarakenne on junaliikenteen tavoin melko raskas ja investointikustannukset ovat suuret. Metrorata kulkee aina omalla väylällä muusta kaupunkiliikenteestä erotettuna. On siis oletettavaa, että ympäröivän kaupungin asemakaava- tai muilla rakennemuutoksilla ei metrorataan olisi kovin suurta vaikutusta. Maailman vanhin metrorata sijaitsee Lontoossa, jossa metrolinettä on ollut jo vuodesta 1863 saakka (London Underground 2005).

Muu metrolinenteen vaatima infrastruktuuri

Metroasemia Helsingissä on 16, joista 7 sijaitsee maan alla. Metroasemien materiaalikulutus laskettiin olettamalla kaikille metroasemille asemarakennuksen infrastruktuurin materiaali-panos Vihermaan ym. (2005) tutkimuksesta. Maan alla sijaitseville metroasemille arvioitiin lisäksi kallion louhimisesta aiheutunut materiaalikulutus, jonka merkittävimpana mitoittajana pidettiin laiturialueen minimipituutta 135 metriä (RIL... 1988). Sähkökulutus, kaukolämmönkulutus ja vedenkulutus metroasemilla perustuvat vuoden 2004 tilastoihin (HKL 2005b). Varikon materiaalipanos laskettiin samoin yleistämällä Vihermaan ym. (2005) tutkimuksesta varikon infrastruktuuri, mutta käyttämällä varikon ylläpidossa todellisia Helsingin metrovarikon energian- ja vedenkulutuksen lukuja, joilla on suuri merkitys varikon materiaalipanoksen kannalta (HKL 2005b, liite 8). Myös metroradan 18 kilometrin pituinen järjestely- ja liityntärata huomioitiin laskelmissa.

Helsingin julkisen raideliikenteen toimittajan HKL:n kiinteistöjen eli varikkojen, metroasemien ja muiden kiinteistöjen energiankulutus on merkittävä ympäristötekijä. 40 prosenttia HKL:n sähkökulutuksesta tulee tästä infrastruktuurista. Erityisesti energiaa kuluu asemien

valaisemiseen, ilmastointiin ja lämmittämiseen sekä raskaiden koneiden kulutukseen (HKL 2005b).

Metroliikennekalusto ja matkustusmäärät

Pienin liikennöivä yksikkö metroliikenteessä on vaunupari, joita päivittäisessä liikenteessä on 45 kappaletta. Suurin pituus matkustajaliikenteessä on kolme yksikköä. Yhden metrovaunun pituus on 21–22 metriä ja leveys 3,2 metriä. Metrovaunut ovat hieman junia kevyemmin rakennettuja, koska niiden on pysähdyttävä asemille tiheämpään. Energian kulutus metron liikennöinnissä ja vaihteiden lämmityksessä vuonna 2004 oli 39,6 GWh (HKL 2005b). Vihermaan ym. (2005) tutkimuksessa havaittiin, että kaikissa MIPS-kategorioissa junakaluston elinkaaren aikaisesta materiaalipanoksesta suurin osa (93–97 %) muodostuu kaluston käytön aikaisesta sähkönkulutuksesta. Metrokaluston rakentamisen ja ylläpidon materiaalinkulutus yleistettiin olettamalla sen vastaavan 5 prosenttia metron liikennöinnin materiaalipanoksesta.

Taulukko 13. Laskelmissa käytettyjä metroliikenteen energian- ja vedenkulutuksen lukuja (HKL 2005b; Hölttä 2005)

	Sähkönkulutus (GWh)	Kaukolämmönkulutus (GWh)	Vedenkulutus (m³)
Metrojunien liikennöinti	39,6	-	-
Metroasemat	17,3	7,1	19 700
Metrovarikko	2,2	2,5	3 250
Vaihteiden lämmitys	1,2	-	-

Vuonna 2003 metroliikenteen matkustajakilometrit olivat 404 miljoonaa matkustajakilometriä (HKL 2005c). Vuodessa kilometrillä matkustaa siten 19,2 miljoonaa henkilöä. Metroliikenteen kuljetuskapasiteetti on huomattavasti suurempi kuin kahden muun tarkastellun raideliikennemuodon (Taulukko 14).

Metroliikenteen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 8.

Taulukko 14. Metroliikenteen matkustajamäärät ovat huomattavasti suuremmat kuin muun raideliikenteen. S on MIPS-laskelmissa käytetty palvelusuurite (service unit), joka tässä tutkimuksessa on liikennesuurite. Suurite laskettu HKL:n vuoden 2003 tietojen perusteella (HKL 2005c).

	Miljoonaa matkustajaa vuodessa kilometrillä	Matkustajia vuoro- kaudessa kilometrillä
Metroliikenteen S	19, 2	52 500
Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen S	4, 0	11 000
Raitiovaunuliikenteen S	1, 4	3 800

Raitiovaunuliikenne

Helsingin kantakaupungissa raitiovaunuliikenne on metroliikenteen ohella ensisijainen joukkoliikenteen kuljetusmuoto. Keskustan ulkopuolella raitiovaunu palvelee hyvin asuin- ja työpaikka-alueita aina kymmenen kilometrin säteellä. Helsingissä raitiovaunuille joko liiken-

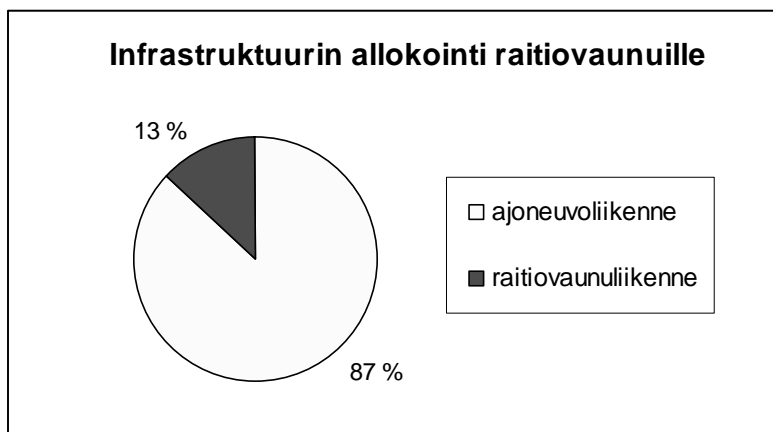
nemerkein tai rakentein varattujen kaistojen yhteispituus on 53,5 km. Yhteensä linjaratoja on 83,5 km, johon sisältyvät katualueet, jotka raitiovaunut jakavat ajoneuvoliikenteen kanssa. Raitiovaunukaistat sijoitetaan kaduille tavallisesti ajoradan keskelle ja kaistan minimileveys on 6 metriä. Raitiovaunun kuljetuskapasiteetti on noin 4 000 – 15 000 matkustajaa tunnissa, eli huomattavasti vähäisempi kuin esimerkiksi metron kuljetuskapasiteetti (Liikenne Helsingissä...2003; RIL... 1988).

Raitioteiden materiaalipanos

Raitioteiden rakentamisen materiaalipanos saatiin laskemalla Helsingin maaperällä sijaitsevan 6 metriä leveän kadun ajoradan perusteella. Materiaalien käyttö on 2639 kg/m^2 (liite 9). Veden ja ilman luvuista merkittävimmät osuudet muodostuvat muista kuin maarakentamisesta, joten nämä arvot otettiin samoista päällysrakenteen käyttämisestä yleisistä arvoista kuin muusakin katuliikenteessä. Oletettuun kadun ajoradan MI-lukuun lisättiin kiskojen ja ratapölkkyjen materiaalipanoset. Raitioteiden raideleveys on $2/3$ junaraideläydestä, joten ratapölkkyjen laskettiin tässä suhteessa. Kiskot on oletettu samanlaisiksi juna- ja raitiovaunuliikenteestä

Infrastruktuurin allokointi raitiovaunuille

Niillä linjaradoilla, jotka raitiovaunut jakavat ajoneuvoliikenteen kanssa, on tarve allokoida katualueen materiaalipanos raitiovaunuliikenteen ja ajoneuvoliikenteen kesken. Liikennevirrasta raitiovaunujen osuus ei ole kovin suuri. Esimerkkinä tarkasteltiin Tehtaankatua (KVL noin 5000 ajoneuvoa), jossa raitiovaunuliikenne kulkee ajoneuvoliikenteen seassa. Raitiovaunujen suhteellinen osuus liikennevirrasta saatiin tarkastelemalla syksyn arkivuorokauden keskimääräisiä ajoneuvoliikenteen KVL-lukuja ja molempiin suuntiin kulkevien raitiovaunuvuorojen tiheyttä Tehtaankadun yhden pysäkin kohdalla kyseisenä aikana. Kuten muissakin FIN-MIPS Liikenne -hankkeen osatutkimuksissa myös raitiovaunulle tuli määrittää niin sanottu henkilöautokerroin, jotta allokointitapa ottaisi huomioon raitiovaunujen vaatiman tilan liikennevirrassa. Kertoimeksi valittiin 3, jota ajoneuvoliikenteessä käytetään täysperävaunun rekan ja puoliperävaunun kertoimena. Allokoinnin tulos on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 11. Niillä katuosuuksilla, joilla raitiovaunut kulkevat ajoneuvoliikenteen seassa, raitiovaunuille allokoidaan 13 % niiden vaatimasta katutilasta ja sen rakentamisen materiaalipanosista.

Raitiovaunupysäkkejä on Helsingissä 242. Pysäkkien materiaalipanokset laskettiin niiden mittojen mukaan, joita suositellaan vähimmäismitoituksiksi päällystetyllä katualueella, eli 30 m pituus ja 2 m leveys (RIL... 1988). Tämä pysäkin oletettu pinta-ala laskettiin raitiovaunuradan oletetun maarakentamisen MI-luvun mukaan (2639 kg/m²).

Raitiovaunuja oli vuonna 2004 liikenteessä 127 kappaletta, joista 40 kappaletta oli uusia matalalattiaisia raitiovaunuja. Vaunujen keskimääräinen käyttöikä on sama kuin juna- ja metrovaunuillakin eli noin 40 vuotta. Keskinopeus raitiovaunuilla on 15,5 km/h. Raitiovaunuliikenteen suorite oli 118,2 henkilökilometriä vuonna 2003, mikä tarkoittaa että kilometrillä kulkee keskimäärin 1,4 miljoonaa matkustajaa vuodessa ja 3830 matkustajaa vuorokaudessa (Taulukko 14).

Vuonna 2004 raitiovaunuliikenteen sähkönkulutus oli 22,7 GWh. Nykyisissä ja uusissa raitiovaunuissa pääosa jarrutuksesta syntyvästä sähköenergiasta käytetään vaunun sisälämmitykseen. Uusien vaunujen energiankulutusta tosin lisäävät ilmastointi ja lattialämmitys. Uusissa vaunuissa jarrutuksessa syntyvä sähköenergia voidaan syöttää takaisin ajojohtoon muiden vaunujen käytettäväksi (HKL 2005b).

Liikennöinnin lisäksi energiaa kuluttavat raitiovaunuvarikot, joita on kolme: Koskelassa, Vallilassa ja Töölössä. Koskelan varikon pinta-alasta noin puolet on bussiliikenteen käytössä (Torppa 2005). Varikoiden sähkön- ja kaukolämmönkulutus laskettiin tarkastelemalla varikoiden pinta-alaosuuksia, ja niiden avulla suhteutettiin energiankäyttöä HKL:n antamiin koko varikkokalustoa koskeviin lukuihin (yllä mainittujen kolmen lisäksi Ruskeasuon ja Vartiokylän bussivarikot sekä metrovarikko).

Raitiovaunuliikenteen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 9.

Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenne

Lähijunaliikenteen luonnonvarojen kulutusta tarkastellaan Helsinkiä laajemmin, eli VR:n niin kutsutusta pääkaupunkiseudun lähiliikenteestä, joka ulottuu Helsingistä Karjaalle, Vantaankoskelle ja Riihimäelle. Tietoa löytyy parhaiten tältä tarkastelutasolta. FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa oli tarvetta selvittää lähiliikenteen MIPS-lukuja myös Helsinkiä yleisemmällä tasolla, koska aikaisemmassa rautatieliikenteen luonnonvarojen kulutusta käsittelevässä Vihermaan ym. (2005) osatutkimuksessa oli tutkittu pelkästään kaukojunaliikennettä. Suomen lähijunaliikenteen MIPS-luvut käytetään tässä kuvaamaan myös Helsingin tilannetta, mutta Helsingin todelliset luvut ovat todennäköisesti tässä laskettuja lukuja alhaisempia, koska junien täyttöaste on suurinta Helsingin alueella.

Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenne jakaantuu kolmelle rataosuudelle: pääradalle (Helsinki-Riihimäki 71 km), Vantaankosken radalle (Helsinki-Vantaankoski 15 km) ja rantaradalle (Helsinki-Karjaa 87 km). Yhteensä lähiliikennetataosuuksia on 173 ratakilometriä ja asemia on 52 kpl (VR 2005). Osa rataosuuksista on sellaisia, joita käyttävät yhteisesti henkilöliikenteen kauko- ja lähiliikenteen junat sekä rataosuudella Helsinki-Riihimäki myös tavarajunat.

Pelkästään lähiliikenteen käytössä olevia rataosuuksia on noin 55 km. Uusia, niin sanottuja kaupunkiratoja ovat rataosuudet Helsinki-Leppävaara (11 km) ja Helsinki-Kerava (29 km). Lisäksi 1960-luvun loppupuolella rakennetulla Helsinki-Vantaankoski (15 km) rataosuudella

on pelkästään lähijunaliikennettä. Leppävaaraan ja Vantaankoskelle suuntautuva lähijunaliikenne käyttää nykyään samoja raiteita Huopalahteen saakka. Yhteensä raidekilometrejä on kaupunkiratojen rataosuuksilla noin 100 km (Juuti 2005).

Ratainfrastruktuurin materiaalipanokset

Pääkaupunkiseudun lähiliikenteen ratainfrastruktuuri yleistettiin Vihermaan ym. (2005) MI-laskelmista kahdelle eri kaukoliikenteen rataosuudelle. Pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä vain välillä Kirkkonummi-Karjaa on yksiraiteinen rataosuus, joka yleistettiin aikaisemmin tutkitun rataosuuden Kouvola-Pieksämäki kaltaiseksi. Tämän materiaalipanoksen ratakilometriä kohden oli 601 t abioottisia luonnonvaroja, 233 t vettä ja 14 t ilmaa. Kaikki kaksiraiteiset rataosuudet yleistettiin vastaamaan Kerava-Lahti-oikoradan kaksiraiteista ratarakennetta, jonka materiaalipanoksen oli 2530 t abioottisia, 622 t vettä ja 10,4 t ilmaa.

Ratainfrastruktuurin allokointi lähiliikenteelle

Pääkaupunkiseudun lähiliikenteestä osa kulkee sellaisilla rataosuuksilla, joilla kulkee myös tavara- ja kaukojunaliikennettä. Näiden rataosuuksien infrastruktuuri allokoitiin lähiliikenteelle tarkastelemalla Järvenpään aseman kohdalla Helsinki-Riihimäki välisen sekä Leppävaaran aseman kohdalla Helsinki-Kirkkonummi välisten rataosuuksien junavuorojen tiheyttä (Mäkitalo 2005). Nämä painotettiin keskimääräisellä vaunujen määrällä tavarajunissa ja lähijunissa. Keskimääräisen vaunujen määrän oletettiin olevan 10 tavaravaunussa ja 4 henkilövaunussa yhteneväisesti Vihermaan ym. (2005) tutkimuksen kanssa.

Rataosuudella Helsinki-Riihimäki lähijunaliikenteelle allokoitiin 50 % ratainfrastruktuurista, rataosuudella Helsinki-Kirkkonummi 90 % ratainfrastruktuurista, koska tällä välillä ei kulje lainkaan tavaraliikennettä ja kaukoliikenteenkin vuoroja on huomattavasti vähemmän kuin lähiliikenteen vuoroja.

Muu ratainfrastruktuuri

Ratainfrastruktuurin vaatima muu luonnonvarojen käyttö laskettiin Vihermaan ym. (2005) tutkimuksen kanssa yhteneväisesti suhteuttamalla ratapihojen, varikkojen, konepajojen, radanpidon, sekä Talgo-Transtech Oy:n Otanmäen tehtaan materiaalipanoksien osuus pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteelle. Materiaalipanoksen osuus laskettiin suhteuttamalla pääkaupunkiseudun lähiliikenteelle kohdistettua raidepituutta koko Suomen raidepituuteen. Kaikki 52 lähijuna-asemaa yleistettiin vastaamaan asemarakennustyyppiä ja yleisesti aseman aluetta parkkipaikkoiheen, joka on laskettu Mäntsälän asemasta. Todellisuudessa asemien koko ja laitureiden pituus voivat vaihdella paljon. Asemien energian- ja vedenkulutusta ei ole sisällytetty laskelmiin, koska niitä ei ole kaukoliikenteenkään laskelmissa mukana. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteessä asemien merkitys olisi todennäköisesti suurempi kuin kaukoliikenteessä, koska asemia on tiheämmässä.

Raideliikennekaluston materiaalipanokset

Vihermaa ym. (2005) tutkimuksessa tutkittujen kahden erilaisen junavaunutyypin (2-kerroksinen henkilöliikenteen Ed-vaunu ja Habiness-tavaravaunu) kaikissa MIPS-kategorioissa käytön aikainen energiankulutus vastasi 93–97 prosenttia koko kaluston materi-

aalipanoksesta. Koska kaluston valmistaminen ja kunnossapito muodostavat vain noin 5 prosenttia koko materiaalipanoksesta, ei tässä tutkimuksessa tutkittu erikseen uusia junavau-
nutyyppisiä ja niiden määriä lähijunaliikenteessä. Energiankulutuksen abioottisten materiaali-
en, veden ja ilman MI-lukuihin oletettiin keskimääräinen 5 prosentin vaunujen elinkaaren
aikainen materiaalipanoksesta. Sähkön MI-kertoimena käytettiin kansallisen keskiarvosähkön MI-
kertoimia, jotta tuloksia voidaan vertailla kaukojunaliikenteen kanssa. Lähiliikenteen koko-
naisenergian kulutus on RAILI 2004 – järjestelmässä laskettu olevan 99,36 GWh (VTT
2005b). Tässä on mukana koko Suomen lähiliikenne, josta pääkaupunkiseudun lähiliikenteen
energiankulutus vastaa 91 prosenttia, eli noin 90 GWh:a vuodessa (Tuominen 2005).

Liikennemäärät

Pääkaupunkiseudun lähiliikenteessä tehtiin 48,0 miljoonaa matkaa vuonna 2004 (kaukoliiken-
teessä vastaavasti 12,1) ja liikennöinti vastasi noin 698 miljoonaa henkilökilometriä (Juuti
2005). Kilometrillä kulkee noin 4 miljoonaa matkustajaa vuodessa eli 11 000 matkustajaa
vuorokaudessa (Taulukko 14). Pääkaupunkiseudun lähiliikennettä palveleva ratainfrastruktuu-
ri laskettiin yhteen ja suhteutettiin sitä tähän liikennemäärään. Tarkasteluja eri lähiliikenteen
rataosuuksilla ei tehty.

Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MI-lukujen erittely esitetään liitteessä 10.

Pyöräliikenne Helsingissä

Helsingissä on noin 550 km sellaisia kevyen liikenteen väyliä, joilla pyöräily on sallittu
(Hellman 2005a). Helsingissä pyöräilyn osuus kaikista matkoista oli 17 prosenttia vuonna
1997. Pyöräilymatkan keskimääräinen pituus on 4,3 kilometriä (Talvipyöräilyn laajuus, sen
esteet ja motiivit sekä terveysvaikutukset 2003).

Helsingissä lasketaan pyöräilijöiden määrää sekä koneellisesti että käsin. Koko vuoden las-
kentoja tehdään koneellisesti neljässä pisteessä: Eläintarhanlahdella, Lauttasaaren sillalla,
Kulosaaren sillalla sekä Kantelettarentiellä. Pyöräiliikenteen määrää ei lasketa koko kaupungin
alueelta eikä sen kokonaissuoritetta tiedetä siten tarkalleen. Arvio on että se olisi noin 150
miljoonaa henkilökilometriä vuodessa (Naskila 2005). Koko Suomen vastaava luku on noin
1,3 miljardia henkilökilometriä vuodessa (Hakkarainen ym. 2005).

Koko Suomen pyöräiliikenteen luonnonvarojen kulutus henkilökilometriä kohden on Läh-
teenojan ym. (2006) mukaan 0,38 kg abioottisia luonnonvaroja, 12,1 kg vettä ja 0,02 kg ilmaa.
Näissä MIPS-laskelmissa on Suomen kokonaissuorite jaettu pyöräiteiden kokonaispituudella,
joka on noin 12 000 kilometriä. Pyöräiliikenteen määrä voi vaihdella kuitenkin paljon esimer-
kiksi taajamien ulko- ja sisäpuolella.

MIPS-lukuja esitetään Helsingin pyöräiteillä keskimäärin sekä esimerkinomaisesti yhdellä
Helsingin keskusta-alueen vilkasliikenteisellä pyöräiteillä esimerkiksi siitä, kuinka MIPS-luvut
muuttuvat, jos pyöräilijöiden määrä on suurempi kuin Suomen pyöräiteillä keskimäärin. Esi-
merkkipyöräiteiksi on valittu Eläintarhanlahden koneellisen laskentapisteen kohta, josta las-
kettiin kaikkien vuorokaudessa ilmoitettujen (Hellman 2005b) pyöräilijöiden keskiarvo vuo-
delle 2003.

Helsingissä pyöräilyn määrä painottuu kesäkuukausiin. Talvipyöräilyn suorite on noin 10 prosenttia koko vuoden pyöräilystä. Pyöräilijöiden määriä esitetäänkin usein vain kesäkuukausilta, mutta kun suhteutetaan pyöräteiden infrastruktuurin luonnonvarojen kulutusta niiden käyttöön eli pyöräilijöiden määrään, saadaan yleiskuva koko vuoden keskimääräisestä suoritteesta.

Pyörätien liikenteen vilkkautta voidaan havainnollistaa esittämällä pyöräilijöiden määrä kilometrin pituisella matkalla vuorokaudessa. Jakamalla koko Helsingin arvioitu pyöräiliikenteen henkilökilometrimäärä (150 milj. hlö-km) pyöräteiden pituudella saadaan pyöräilijöiden määräksi kilometrin pituudella vuorokaudessa 750. Eläintarhanlahden vilkkaalla pyörätiealueella konelaskentojen vuoden 2003 keskiarvo on vastaavasti 950. Pyöräteillä keskimäärin Suomessa liikkuu kilometrin pituisella matkalla vuorokaudessa noin 300 pyöräilijää. Pyöräilijöiden määrässä on siten yli kolminkertainen ero verratessa keskimääräistä pyörätietä ja vilkasliikenteistä pyörätietä keskenään.

Pyöräteiden ja pyörien materiaalipanokset

Pyöräteiden ja pyörien materiaalipanoksen oletettiin olevan sama kuin Lähteenojan ym. (2006: 24–25) laskelmissa. Pyörätien materiaalipanos on kyseisessä tutkimuksessa saatu allokoimalla MI-laskelmissa käytetty 3 metriä leveä kevyen liikenteen väylä tasaisesti kolmelle käyttäjäryhmälle: kävelijöille, pyöräilijöille ja muille (kuntoilijoille ja muulle käytölle). Tarkat laskelmat MI-lukujen taustalla löytyvät aikaisemmasta FIN-MIPS Liikenne -hankkeen osatutkimuksesta (Hakkarainen ym. 2005). Allokoinnin perusteita selvitetään tarkemmin Lähteenojan ym. (2006: 34–36, 39-40) tutkimuksessa.

2.5 HERKKYYSTARKASTELOT

MIPS-laskennan tulosten käyttäytymistä eri muuttujia varioimalla tutkittiin herkkyystarkaste-
lujen avulla. Herkkyystarkastelut tehtiin seuraavista aiheista:

- suoritteen painopisteen muuttumisen vaikutus katuluokkien MIPS-lukuun (luku 3.2.1, Kuva 19),
- suoritteen muuttumisen vaikutus yksityisteiden MIPS-lukuun (luku 3.3.2, Kuva 25),
- energiantuotantomuodon vaikutus metroliikenteen MIPS-lukuun (luku 3.4.2, Kuva 32).

3. TULOKSET

Tässä luvussa esitetään paikallisen liikenteen eri liikennemuotojen materiaalipanosten (MIP-lukujen) jakautumista tärkeimpiin osatekijöihin sekä näiden MIPS-luvut. Tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena oli yleistää aikaisempien tutkimusten laskelmia koko Suomen kattaviksi keskimääräisiksi MIPS-luvuiksi paikallisessa liikenteessä. MIPS-laskelmien tulokset esitetään ryhmiteltyinä seuraavasti:

- Henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS-luvut katuluokittain (luvut 3. 1. 3 ja 3. 1 .4)
- Henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS-luvut keskimääräisellä kadulla (luku 3. 1. 5)
- Henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS-luvut yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta (luku 3. 3. 3)

Paikallisen liikenteen MIPS-lukuja esitetään myös tilastollisista kuntaryhmistä ja kahdesta esimerkkikunnasta seuraavan jaottelun mukaan:

- Henkilöautoliikenteen MIPS-luvut suurissa kaupungeissa katuluokittain (luku 3. 2. 1)
- Henkilöautoliikenteen MIPS-luvut muissa kuntaryhmissä keskimääräisellä kadulla (luku 3. 2. 2)
- Henkilö- ja linja-autoliikenteen MIPS-luvut kahden esimerkkikunnan pääkaduilla ja tonttikaduilla (luku 3. 4. 1)

Paikallisen raideliikenteen MIPS-luvut henkilöliikenteessä esitetään seuraavan jaottelun mukaan (luku 3. 4. 2):

- metrolinjan liikenteen MIPS-luvut
- raitiovaunuliikenteen MIPS-luvut
- pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MIPS-luvut

Pyöräliikennettä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa keskimääräisesti Helsingissä sekä yhdellä vilkasliikenteisellä pyörätiellä Helsingissä vertailuna koko Suomen keskimääräisen pyöräliikenteen MIPS-laskelmiin (luku 3. 4. 3).

3.1 YLEINEN TARKASTELU SUOMEN KATUVERKOLLA: HENKILÖ- JA TAVARALIIKENTEEN MIPS ERI KATULUOKILLA.

3.1.1 Katuverkosto ja sen liikenteen luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan

Suomen ajoneuvoliikenne katuverkolla kuluttaa kokonaisuudessaan vuotta kohden laskettuna noin 12 miljoonaa tonnia abiottisia luonnonvaroja, 262 miljoonaa tonnia vettä ja 3,6 miljoonaa tonnia ilmaa (Taulukko 15, liite 4). Luvut sisältävät katujen rakentamisen, ajoratojen ylläpidon oletetun käyttöiän (60v.) ajan sekä kaduille kohdistuvan ajoneuvoliikenteen elinkaaren aikaiset materiaalipanokset.

Abioottisten luonnonvarojen kulutuksesta infrastruktuurin osuus on 77 prosenttia, ja liikenteen osuus 23 prosenttia. Katujen rakentamisen kulutus koostuu pitkälti niin sanotuista suoris-

ta materiaalivirroista. Näitä ovat esimerkiksi katujen rakennekerroksiin käytettävät sora- ja hiekkamassat. Vaikka MI-kertoimet näillä aineksilla ovatkin alhaiset, massavolyymit itsessään ovat merkittäviä.

Liikenteen kulutus jakautuu henkilö- ja tavaraliikenteeseen. Henkilöliikenne kuluttaa vuosittain 1,9 miljoonaa tonnia abiottisia materiaaleja, mikä vastaa 70 prosenttia koko liikenteen kulutuksesta.

Katuliikenteen vuosittaisesta veden kulutuksesta 53 % aiheutuu ylläpidosta, joka on käytännössä valaistuksen energian tuottamiseen kulunutta vettä. Siirretty sadevesi käsittää 36 % prosenttia ja liikenne loput 11 % veden kulutuksesta. Rakentamisen osuus on alle prosentin.

Vuosittainen ilman kulutus sen sijaan johtuu lähes yksinomaan liikenteestä, jonka osuus kokonaisuudesta on 93 %. Ilman kulutus kuvastaa pitkälti polttoprosesseissa käytettyä ilmaa, eli tässä tapauksessa ajoneuvojen aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä.

Taulukko 15. Katuliikenteen luonnonvarojen kulutuksen jakautuminen infrastruktuuriin (rakentaminen, ylläpito ja siirretty sadevesi) ja liikenteeseen.

Katuliikenteen osa-alueet	Miljoonaa tonnia vuodessa		
	abiottiset	vesi	ilma
Infrastruktuuri	9,3	234	0,3
Liikenne	2,8	28	3,3
Yhteensä	12,1	262	3,6

Katujen aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat seikat

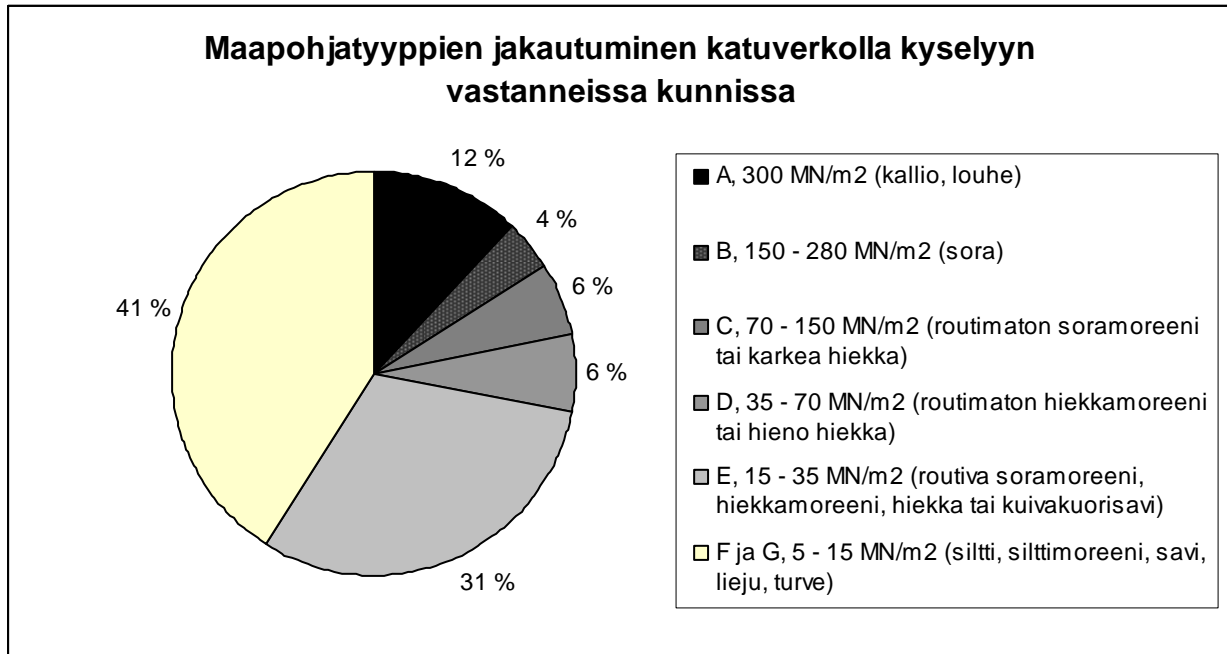
Suomen katuverkon luonnonvarojen kokonaiskäytössä tarkasteltiin ajoratojen sekä viher- ja erotuskaistojen rakentamista ja ylläpitoa. Ajoratojen materiaalien käyttöön vaikuttavat oletettu liikenteen määrä ja pohjamaan kantavuus (Taulukko 5). Hänninen ym. (2005) tutkimuksesta saatiin tätä tutkimusta varten valmiita päällysrakenteen MI-lukuja erityyppisille kaduille. Ajoradat kuluttavat sitä enemmän, mitä leveämpiä ja paksumpia ne ovat.

Pohjamaan kantavuutta Suomessa tutkittiin kyselyn avulla, johon saatiin 12 kaupunkimaiselta kunnalta vastaukset (vrt. liite 1). Vastanneiden kuntien katuverkon pituus käsittää noin 10 % koko Suomen katuverkosta. Tutkimuksen tavoitteena oli mahdollisemman hyvin yleistää kerättyjä tietoja koko Suomen katuverkolle. Kyselyn lisäksi tehtiin silmämääräinen tarkastelu Suomen maaperäkartoilta ja arvioitiin jokaisen kunnan maapohjaolosuhteiden vastaavuus jonkin toisen kyselyyn vastanneen kunnan maapohjan kanssa. Tarkastelu suoritettiin karkealla tasolla, eikä sen perusteella havaittu suuria eroavaisuuksia kyselyyn vastanneiden kuntien maapohjaolosuhteissa.

Pohjanvahvistuksia ja paksumpia päällysrakenteen kerroksia vaativat usein maapohjatyypit G (esim. turve), F (esim. sitkeä savi) ja E (esim. routiva hiekkamoreeni). Kantavia maapohjatyyppejä ovat A (esim. kallio), B (sora) ja C (esim. routimaton soramoreeni). Katuverkon pituudesta 72 % sijaitsee heikosti kantavilla maapohjilla (Kuva 12). Tällaisten maapohjien päällysrakenteiden abiottisten luonnonvarojen kulutus rakennettua neliometriä kohden vaihtelee 1,3 ja 2,8 tonnin välillä riippuen katuluokasta. Kaikista kantavimmalla pohjalla, esimer-

kiksi kalliomaapohjalle, päällysrakenteeseen käytetään neliometriä kohden vain 0,5 - 0,7 tonnia abioottisia materiaaleja.

On muistettava, että maapohjien pituusosuudet katuverkolla perustuvat melko karkeaan tietoon ja luvut ovat vain suuntaa antavia. Tarkkoja tietoja katujen alle jääneistä maapohjatyypeistä ei kerätä tiettävästi missään kunnassa, ja kyselyyn vastanneiden kuntien tiedot perustuvat suureksi osaksi virkamiesten antamiin arvioihin, ei mitattuihin tietoihin. Suomen yleisin maaperätyyppi on moreeni, joten siltä osin tässä tutkimuksessa tehdyt johtopäätökset ovat oikeansuuntaisia.



Kuva 12. Maapohjien arvioidut suhteelliset pituusosuudet kyselyyn vastanneissa 12 kunnassa. Kyselyyn vastanneet kunnat ja maapohjien pituusosuudet tarkemmin liitteessä 1.

Päällysrakenteen lisäksi katujen abioottisten luonnonvarojen käyttöä lisäävät myös kallioleikkaukset, pohjanvahvistukset ja maaleikkaukset. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että kallioleikkausten ylijäämäluuhe käytetään saman tai suhteellisen lähellä sijaitsevan kadun rakentamisessa, jolloin MI-luku saa arvon 0. Maaleikkauksien määrää on erittäin vaikea arvioida, koska katujen korkeussuhteet määräytyvät ympäröivän yhdyskunnan mukaan. Maaleikkauksen sivutuotteena syntyy usein ylijäämämaata, jota ei voida hyödyntää. Etenkin savimaata joudutaan läjittämään muualle. Sen vuoksi arvioidun maaleikkauksien määrän materiaalipanos laskettiin mukaan katujen luonnonvarojen kulutukseen.

Kyselyyn vastanneissa 12 kunnassa pohjanvahvistusmenetelmistä yleisin oli massanvaihto, jota oli käytetty keskimäärin kuudessa prosentissa katuverkon pituudesta. Tämä yleistettiin koko Suomen katuverkolle. Hännisen ym. (2005) Helsingin katuja koskevassa tutkimuksessa todettiin toisen käytettävän pohjanvahvistusmenetelmän olevan pilaristabilointi. Tämän menetelmän MI-arvoja sovellettiin Helsingin esimerkkilaskelmiin.

Katuverkon pinta-alan käyttö

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 16) esitetään katujen ajoratojen vaatima pinta-ala. Katuverkon suurin pinta-alan kulutus aiheutuu tonttikatuverkoston rakentamisesta (61 %). Ihmisen toiminnan aiheuttama pintamaiden sulkeminen aiheuttaa maanpinnan vesitalouden muutoksia, mikä saattaa aiheuttaa muun muassa tulvien lisääntymistä kaupunkialueilla. Veden MI-laskelmissa on otettu huomioon tämä suljetun (lähinnä asfaltoidun) pinta-alan määrä ja laskettu sen ja keskimääräisen vuosisadannan (600 mm eli 600 l/m²) avulla pois alkuperäiseltä kulkureitiltään siirretyn veden määrä.

Taulukko 16. Tutkimuksessa käytettyjen pinta-alojen, pituuksien ja vuosittaisen kulutuksen jakaantuminen eri katuluokille. Luvut sisältävät myös liikenteen kulutuksen.

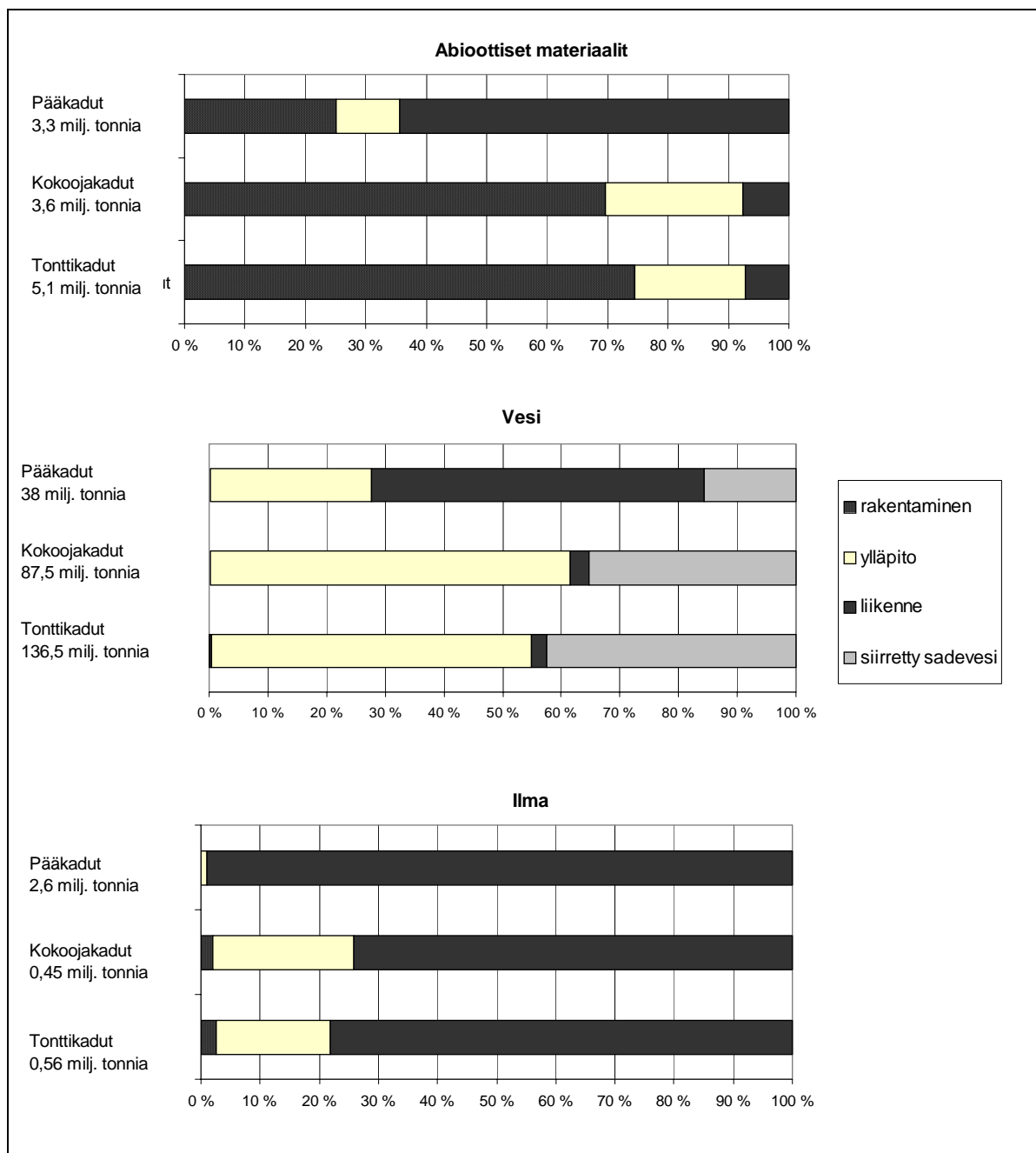
Katuluokka	Ajoradan pinta-ala, m ²	% koko pinta-alasta	% koko pituudesta	Vuosittainen kulutus, milj.tonnia		
				abioottinen	vesi	ilma
Pääkadut	9 932 524	6	4,1	3,3	38	2,6
Kokoojakadut	51 408 324	33	27,4	3,6	88	0,45
Tonttikadut	96 655 540	61	68,5	5,1	137	0,56
Yhteensä	157 996 388	100	100,0	12,1	262	3,6

3.1.2 Luonnonvarojen käytön tarkastelua katuluokittain

Abioottisen materiaalin kulutus (Kuva 13) muodostuu pääkaduilla suurimmaksi osaksi liikenteestä ja seuraavaksi eniten rakentamisesta. Pääkaduille kohdistuu tässä tutkimuksessa tehtyjen oletusten perusteella 77 prosenttia katuverkon liikenteestä. Tämän vuoksi pääkatujen liikenteen materiaalin käyttö ylittää selvästi niiden rakentamiseen käytetyn materiaalipanoksen, vaikka pääkadut ovatkin raskaammin rakennettuja kuin muut katuluokat. Vähäliikenteisimmillä kokoojakaduilla ja tonttikaduilla rakentamisen osuus on puolestaan suurin. Pääkatujen on laskelmissa oletettu muodostavan 4,1 %, kokoojakatujen 27,4 % ja tonttikatujen 68,5 % Suomen katuverkon pituudesta. Abioottisten luonnonvarojen kulutukseltaan tonttikadut ja niiden liikenne (5,1 miljoonaa tonnia vuodessa) ovat merkittävintä (42,5 %) katuluokka (vrt. Taulukko 16).

Elinkaaren aikaisen veden kulutuksen luvuissa (Kuva 13) korostuu pääkatujen liikenne. Myös ylläpidon vaikutus veden kulutukseen pääkaduilla on näkyvää. Pääkatujen ylläpitoon kuluu kaksi kertaa enemmän vettä kilometriä kohden kuin tonttikatujen ylläpitoon. Ylläpidon aiheuttama veden kulutus muodostuu suurimmaksi osaksi valaistuksen kuluttamasta sähköstä. Sähkön MI-kertoimena on käytetty Suomen kansallisen keskiarvosähkön MI-kerrointa, jossa veden kulutuksessa korostuu säädellyn vesivoiman osuus sähköntuotannossa. Tonttikadut ovat pinta-alan käytöltään merkittävin katuluokka (ks. Taulukko 16), mikä ilmenee siirretyn sadeveden suurena osuutena katuluokan veden käytöstä.

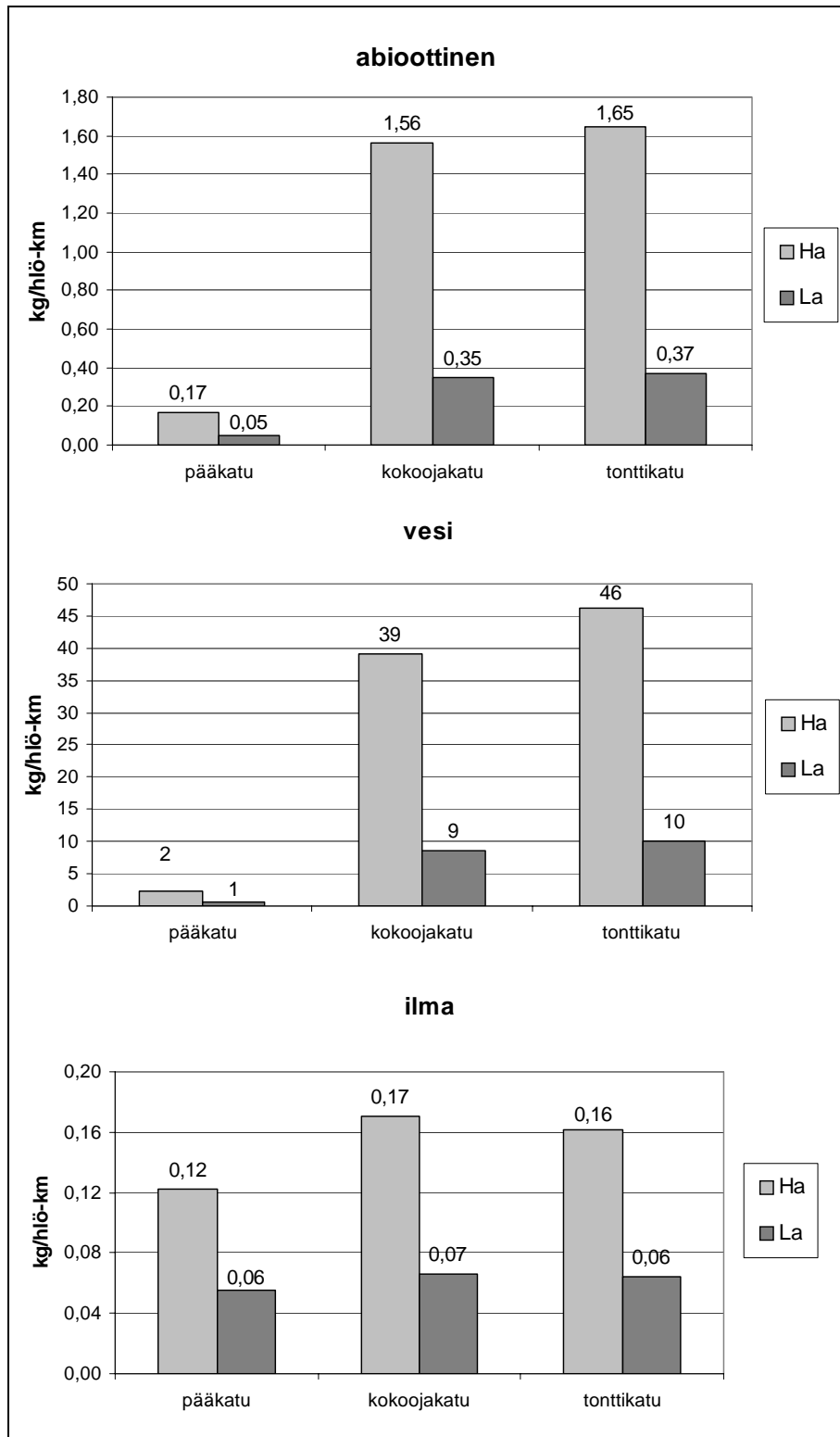
Katuverkosta suurin ilman kuluttaja ovat pääkadut ja niiden liikenne (Kuva 13). Pääkaduilla ilman kulutus aiheutuu lähes yksinomaan liikenteestä. Kokoojakatujen ja tonttikatujen yhteenlaskettu ilman kulutus on samaa suuruusluokkaa (0,45 ja 0,56 milj. tonnia), koska niille kohdennettu katusuoritteiden määrä ei eroa paljon. Ylläpidon ilman kulutus on myös samansuuruisia.



Kuva 13. Eri katuluokkien vuotta kohden laskettu luonnonvarojen kulutus ja sen jakauma eri MIPS-kategorioissa.

3.1.3 Henkilöliikenteen MIPS eri katuluokilla

Henkilöliikenne koostuu henkilöauto- ja linja-autoliikenteestä (Ha ja La). MIPS-luvut esitetään yksikössä kilogrammaa henkilökilometriä kohden (Kuva 14). Yksikkönä käytetään yhden henkilön kulkemaa kilometriä eli henkilökilometriä.



Kuva 14. Henkilöliikenteen MIPS-luvut eri katuluokilla. Ha=henkilöauto, La=linja-auto.

Henkilöauton käytön abioottinen MIPS pääkadulla on keskimäärin 0,17 kg/hlö-km. Kokoojkatujen abioottisten luonnonvarojen käyttö henkilökilometriä kohden on 1,56 ja tonttikatujen 1,65 kg. Kokoojkatujen suorite eli keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on suurempi kuin tonttikaduilla, mutta myös kokoojkatujen materiaalipanous on suurempi. Tämän vuoksi kokooja- ja tonttikatujen MIPS-luvut ovat samaa suuruusluokkaa. Kokoojkatujen ajoradat

sekä viher- ja erotuskaistat ovat hieman leveämmät kuin tonttikatujen vastaavat (ks. Taulukko 4).

Veden kulutuksen MIPS-luvut käyttäytyvät samalla tavoin abioottisten luonnonvarojen kulutus. Henkilöauton veden kulutus henkilökilometriä kohden on tonttikaduilla 46 kg kuljettua henkilökilometriä kohden.

Ilman kulutuksen luvuissa sen sijaan erot pääkatujen ja vähäliikenteisten kokoojakatujen tai tonttikatujen välillä ovat pieniä. Ilman kulutus aiheutuukin suurelta osin liikenteestä.

Henkilökilometriä kohden linja-autolla matkustamisen MIPS-luku on kaikilla katuluokilla henkilöautoa huomattavasti pienempi. Linja-autossa oletetaan matkustavan keskimäärin 13 henkilöä ja henkilöautossa 1,4 henkilöä. Keskimääräiset matkustajamäärät ovat liikenneministeriön henkilöliikennetutkimuksesta 90-luvun lopulta (Henkilöliikennetutkimus 1998 – 1999).

3.1.4. Tavaraliikenteen MIPS eri katuluokille

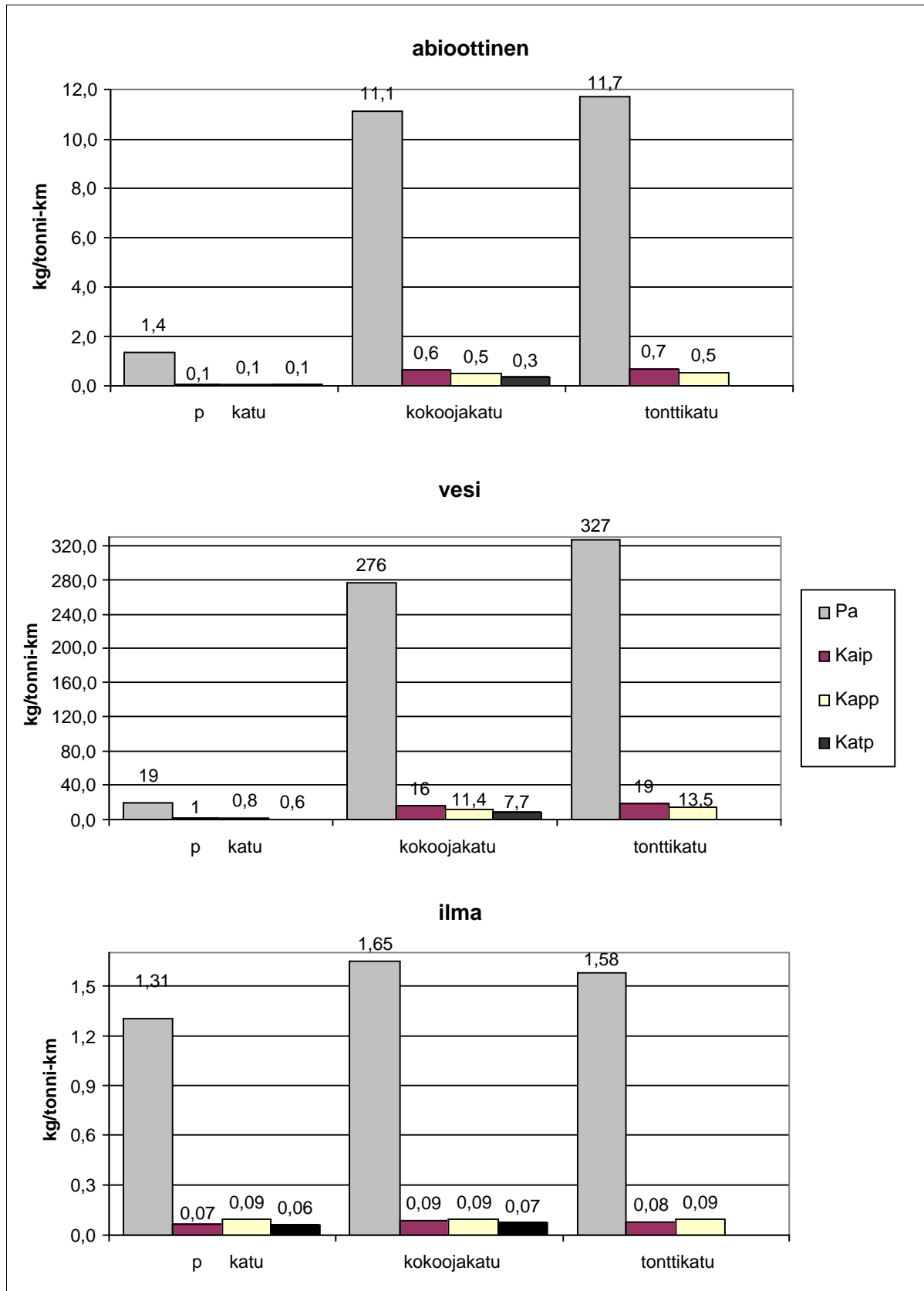
Tavaraliikenteessä tarkastellaan neljä eri ajoneuvotyyppiä (Kuva 15). Ajoneuvot ovat pakettiauto (Pa), kevyt kuorma-auto ilman perävaunua (Kaip), puoliperävaunurekka (Kapp) ja täysperävaunurekka (Katp). Tavaraliikenteen MIPS-luvut esitetään tonnikipometriä kohden. MIPS-lukujen määrittämisessä käytetyt tavaraliikenteen ajoneuvojen kuljettamat keskimääräiset tonnimäärät esitetään seuraavassa taulukossa. Keskimääräiset tonnimäärät ovat yhteneväiset Lähteenojan ym. (2006: 23–24) maanteiden liikenteen sekä tämän tutkimuksen yksityisteiden liikenteen MIPS-laskelmien kanssa.

Taulukko 17. Tavaraliikenteessä kuljetetut tavaramäärät ajoneuvotyypeittäin.

Ajoneuvotyyppi	Kuljetettu tonnimäärä keskimäärin (t)
Pakettiauto	0,2
Kevyt kuorma-auto	7
Puoliperävaunurekka	14
Täysperävaunurekka	21

Kaikilla katuluokilla eniten abioottisia luonnonvaroja tonnikipometriä kohden tarkasteltuna kuluttaa pakettiauto. Pääkadulla pakettiauton kulutus on pääkadulla 1,4, kokoojakaduilla 11,1 ja tonttikaduilla 11,7 kg/tonnikilometri. Muun tavaraliikenteen abioottisten luonnonvarojen kulutus muuttuu samassa suhteessa katuluokkien välillä, mutta MIPS-luvut ovat pakettiautoa huomattavasti pienemmät. Tämä johtuu kuljetetun tonnimäärän eroista. Pakettiautolla kuljetaan pienempiä määriä (0,2 t), joten ajoneuvon käyttö ei ole niin tehokas kuin muiden tarkasteltujen ajoneuvojen. Tonttikaduilla ei kulje raskasta tavaraliikennettä. Siksi täysperävaunurekan kohdalla ei esitetä tonttikaduilla kuljettamisen MIPS-lukuja.

Veden ja ilman MIPS-luvut käyttäytyvät eri katuluokkien välillä samoin kuin henkilöliikenteessäkin. Pakettiauton MIPS-luvut ovat näissä MIPS-kategorioissa moninkertaiset verrattuna raskaampaan tavaraliikenteeseen.



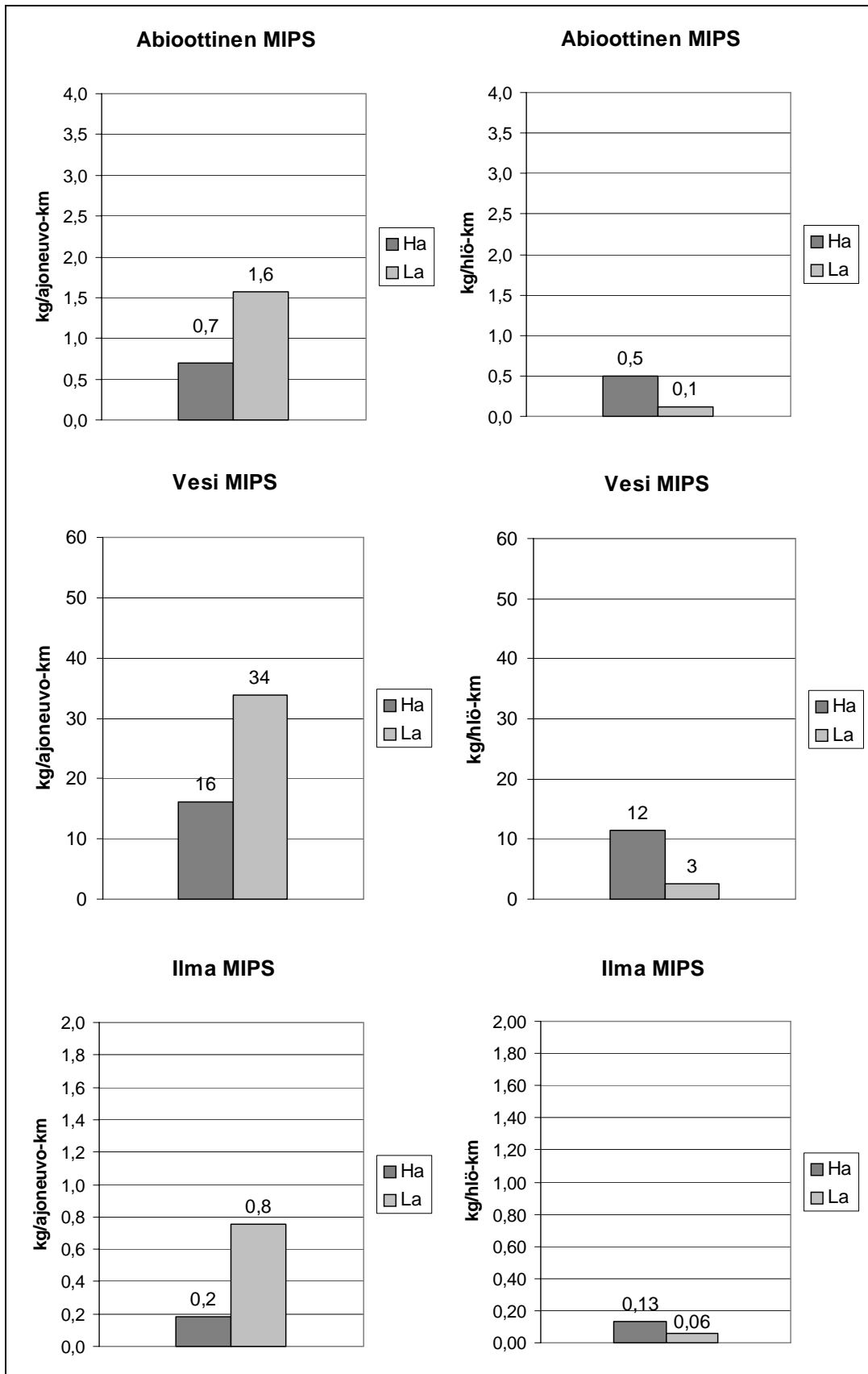
Kuva 15. Tavaraliikenteen MIPS-luvut eri katuluokilla. Pa=pakettiauto, Kaip=kuorma-auto, Kapp=puoliperävaunurekka, Katp=täysperävaunurekka.

3.1.5 Keskimääräinen katu henkilö- ja tavaraliikenteessä

FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa tutkittiin koko Suomen liikennejärjestelmän ja sen osien luonnonvarojen kulutusta. Paikallisen liikenteen luonnonvarojen käytön tutkimuksessa oli yhtenä tavoitteena määrittää keskimääräisen kadun MIPS-luvut, joista on hyötyä esimerkiksi yritysten MIPS-laskennassa. Keskimääräisen kadun luvut ovat myös tarpeelliset, kun lasketaan keskimääräisen ajoneuvolla tehdyn kuljetuksen tai matkan aiheuttamaa luonnonvarojen kulutusta Suomessa. Laskettaessa keskimääräisen kadun MIPS-lukuja on eri katuluokkien MIPS-lukuja painotettu niiden suoritteella.

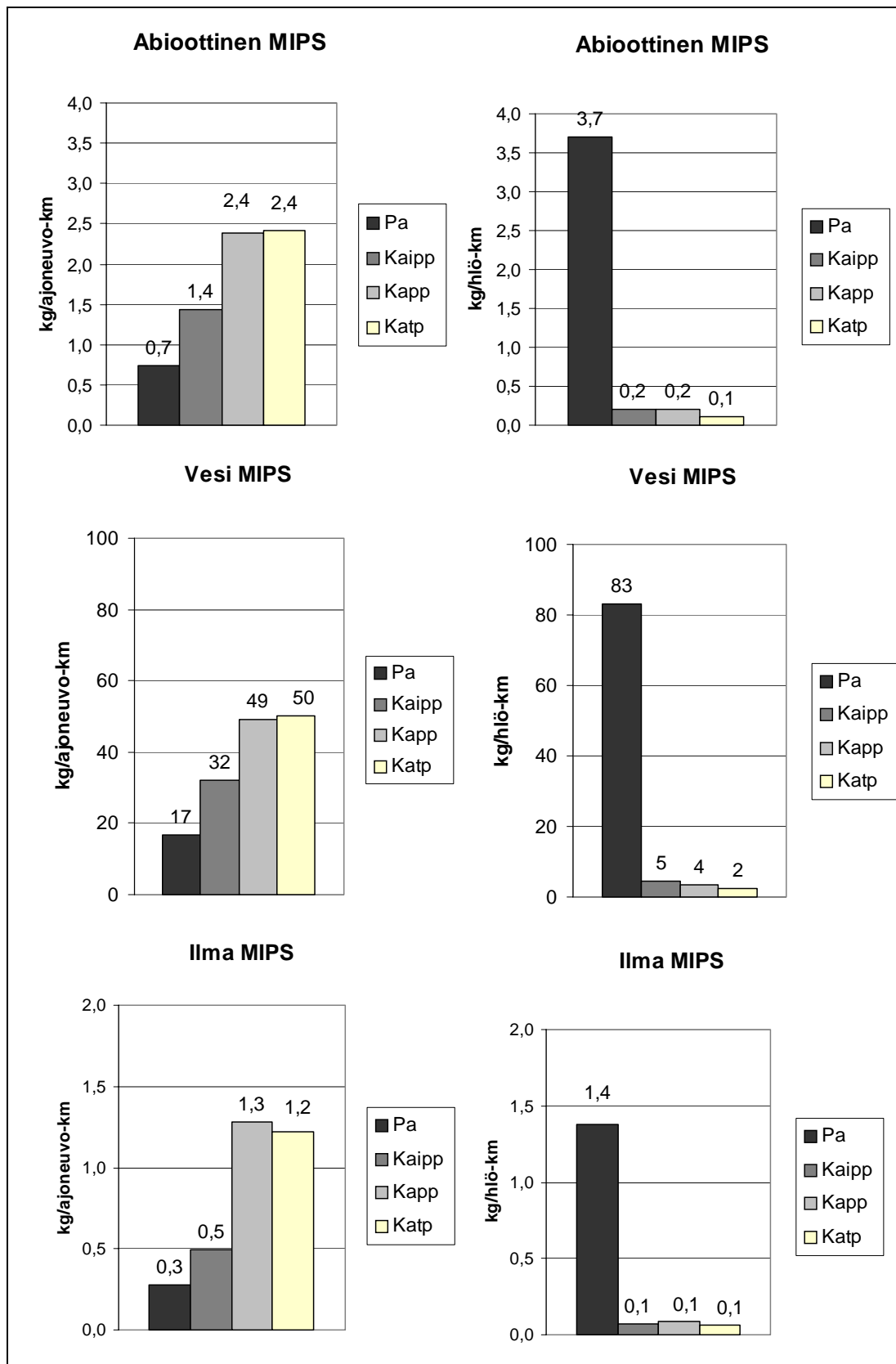
Keskimääräisen kadun liikenteen MIPS-luvut on esitetty ajoneuvokilometriä sekä henkilö- ja tonnikilometriä kohden (Kuva 16 ja Kuva 17). Kun MIPS-luku esitetään ajoneuvokilometriä kohden, saavat raskaammat ajoneuvot aina korkeamman luvun, koska niiden kulutus kuljettua kilometriä kohden on suurempi. Esimerkiksi henkilöauton abioottisten materiaalien kulutus keskimääräisellä kadulla ajoneuvokilometriä kohden on 0,7 kg ja raskaamman linja-auton 1,6 kg. Koska linja-auton keskimääräinen matkustajamäärä on suurempi, on linja-auton henkilökilometriä kohden laskettu MIPS-luku pienempi kuin henkilöauton. Keskimääräisellä kadulla henkilöauto kuluttaa 0,5 kg ja linja-auto 0,1 kg abioottisia luonnonvaroja henkilökilometriä kohden.

Keskimääräisellä kadulla henkilöautolla ajamisen MIPS-luvut ovat 0,5 kg abioottisia luonnonvaroja, 12 kg vettä ja 0,13 kg ilmaa. Lähteenojan ym. (2006) tutkimuksen mukaan maantien (entiseltä termiltään ”yleinen tie”) liikenteessä kuluu keskimäärin 2,4 kg abioottisia luonnonvaroja, 14 kg vettä ja 0,19 kg ilmaa. Katuliikenteen MIPS-luvut ovat pienempiä, koska katujen materiaalipanosten on laskettu olevan alhaisempia kuin maanteilla. Lisäksi etenkin pääkadun suorite on suurempi kuin esimerkiksi moottoritien suorite.



Kuva 16. Henkilöliikenteen MIPS keskimääräisellä kadulla. MIPS-luvut on vasemmalla puolella esitetty ajoneuvokilometriä kohden ja oikealla puolella henkilökilometriä kohden.

Ha = henkilöauto, La = linja-auto



Kuva 17. Tavaraliikenteen MIPS keskimääräisellä kadulla. MIPS-luvut on vasemmalla puolella esitetty ajoneuvokilometriä ja oikealla puolella tonnikilometriä kohden.

Pa = pakettiauto, Kaipp = kevyt kuorma-auto, Kapp = Puoliperävaunurekka, Katp = Täysperävaunurekka

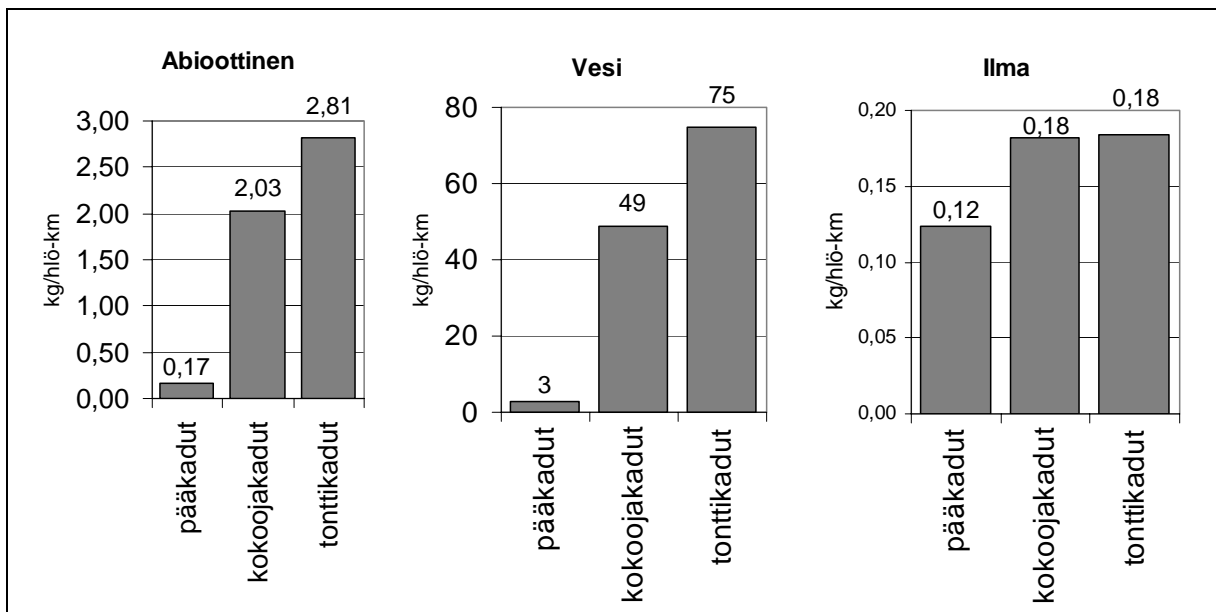
3.2 KUNTARYHMITTÄINEN TARKASTELU: HENKILÖAUTOLIIKENTEN MIPS ERI KATULUOKILLA

Kuntaryhmittäisen tarkastelun tavoitteena oli saada käsitystä erityyppisten kuntien (vrt. 2.2.1) katuverkkojen ja niiden liikenteen ominaispiirteistä sekä näiden mahdollisista vaikutuksista ajoneuvoliikenteen MIPS-lukuihin. Lisäksi Suomen keskimääräisten katuluokkien ja kadun MI-laskelmissa on otettu huomioon kuntaryhmien katuverkkojen rakentamiseen ja ylläpitoon tehdyt oletukset.

Suurissa kaupunkimaisissa kunnissa (esim. Lahti ja Jyväskylä) katuverkko on suhteellisesti pisin tiestötyyppi koko kunnan hallinnoimalla alueella, ja yli 90 prosenttia väestöstä asuu taajamissa. Koska katusuoritetta suhteutetaan kunnan väkilukuun, voidaan olettaa, että näiden kuntien MIPS-laskelmat kuvaavat parhaiten todellista kaduille kohdistuvaa suoritteen määrää. Pienemmissä kunnissa suurempi osa väestöstä asuu haja-asutusalueilla, joten maantiet ja yksityistiet voivat muodostaa merkittävän osan ihmisten käyttämistä väylistä. Silloin on vaikeampi erotella katuluokkien tarkkuudella suoritteen kohdentumista.

3.2.1 Suurten kaupunkimaisten kuntien pääkadut, kokoojakadut ja tonttikadut

Suuria kaupunkimaisia kuntia ovat muun muassa Lahti, Kuopio, Tampere ja Oulu. Niissä pääkatujen henkilöautolla ajamisen abioottinen MIPS on keskimäärin 0,17 kg/hlö-km. Kokoojakatujen vastaava luku on 2 kg/hlö-km ja tonttikatujen 2,8 kg/hlö-km. Veden käytön MIPS-luvut käyttäytyvät samalla tavalla, ilman kulutuksen MIPS-luvuissa erot tasoittuvat (kts. Kuva 18).



Kuva 18. Henkilöautolla kulkemisen luonnonvarojen kulutus eri katuluokilla ja eri MIPS-kategoriassa.

Pääkatujen alhainen MIPS-luku johtuu suurelta osin siitä, että pääkatujen pituuden on oletettu olevan 4 % koko kaupungin katuverkon pituudesta, jolloin yhdelle keskimääräiselle vuorokaudelle laskettu liikenteen määrä (KVL) koko vuoden suoritteesta muodostuu hyvin suureksi. Tämä MIPS-luku kuvaa siis erittäin vilkasliikenteisiä pääkatuja.

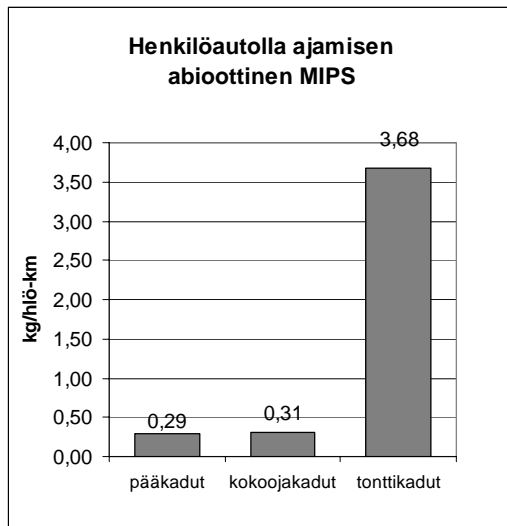
Herkkyytarkastelua: katusuoritteen erilainen jakauma: esimerkkinä Espoo

Suurten kaupunkimaisten kuntien MIPS-lukujen taustalla on oletus, jonka mukaan suurin osa (80 %) katuliikenteestä kohdistuu pääkaduille LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) mukaisesti. Tämä 80 % edustanee pääkaduille kohdistuvan suoritteen ääritapausta. Suorite eri katuluokilla voi myös joissakin tapauksissa kohdistua toisin kunnan liikennejärjestelmästä ja yhdyskuntarakenteesta riippuen. Esimerkiksi Espoossa ei ole selkeää yhtä keskustaa, johon liikenne suuntautuisi ja jossa sijaitisivat vilkasliikenteiset pääkadut. Liikenne eri kaupunginosakeskusten ja asutustaajamien välillä tapahtuu maanteillä kuten Länsiväylällä ja Turunväylällä. Lisäksi Espoossa on hallinnollisesti muutettu monia pääkatuja kokoojakaduiksi. Espoossa liikennesuorite kohdistuu katuluokille seuraavasti:

Taulukko 18. Espoossa seuratun katusuoritteen ja LIISA 2003-mallin (VTT 2005a) ilmoittaman suurten kaupunkimaisten kuntien katusuoritteiden jakautuminen eri katuluokille.

Katusuoritteiden jakautuminen katuluokille %			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut
Espoo	24,8	67,7	7,5
Suuret kaupunkimaiset kunnat	80,0	10,0	10,0

Koska tutkimuksessa ei selvitetty eri kuntaryhmien sisäisiä vaihteluita katusuoritteiden painotumisissa, voidaan Espoon esimerkin avulla havainnollistaa vaikutus MIPS-lukuun, jos katuliikenne on vilkasta jollakin muulla katuluokalla kuin pääkadulla. Herkkyytarkastelussa oletettiin Espoon katuverkon olevan muuten samanlainen suurten kaupunkimaisten kuntien keskimääräisen kunnan kanssa. Ainoa asia, jota muutettiin, oli katusuoritteiden jakautuminen katuluokille. Tarkastelussa esitetään henkilöautolla ajamisen MIPS-abioottisessa kategoriassa (Kuva 19).



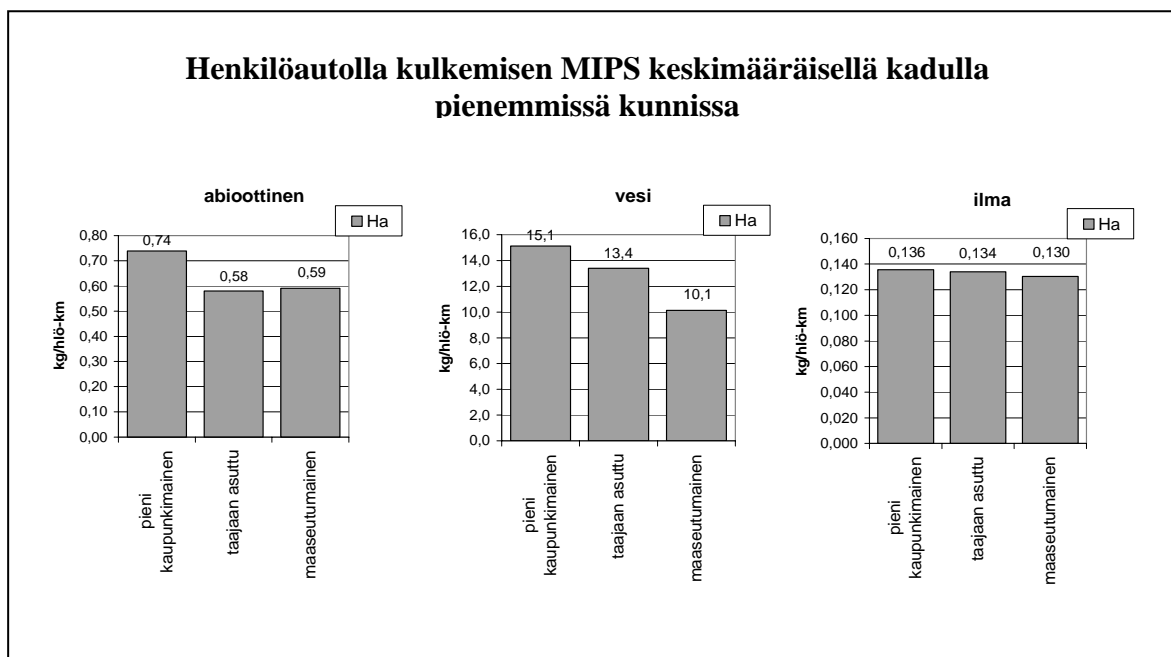
Kuva 19. Myös kokoojakadun henkilöautoliikenne saa alhaisen MIPS-luvun, jos kokoojakatujen asema kunnan liikenneväyläjärjestelmässä palvelee pääkatuja vastaavia liikennemääriä.

Espoossa kokoojakadulle kohdistuu katuluokista eniten suoritetta, mikä vaikuttaa MIPS-lukuihin pienentämällä kokoojakadun MIPS-lukua, ja suurentamalla pääkatujen ja tonttikatujen MIPS-lukuja.

3.2.2 Muiden kuntaryhmien ajoneuvoliikenne

Muita tarkasteltuja kuntaryhmiä olivat pienet kaupunkimaiset, taajaan asutut ja maaseutumaiset kunnat. Näissä kuntaryhmissä ei MIPS-laskennan tuloksia eritelty erikseen katuluokille, koska yksityiskohtaista tietoa katujen olosuhteista ei ollut saatavilla ja yksityiskohtaisten lukujen esittäminen ei vastaisi kuitenkaan riittävän hyvin todellista tilannetta. Katujen liikennesuoritetta ei Suomessa seurata yhtä systemaattisesti kuin maanteillä, joten katujen suoritteet perustuvat väkiluvun perusteella jaettuun osaan katujen kokonaissuoritteesta.

Eri kuntaryhmien mediaania edustavissa kunnissa erot henkilöautolla kulkemisen luonnonvarojen kulutuksessa eri MIPS-kategorioissa osoittautuivat suhteellisen pieniksi. Abioottisten luonnonvarojen kulutus vaihtelee välillä 0,59 - 0,74 kg/hlö-km (Kuva 20).



Kuva 20. Eri kuntaryhmien MIPS-laskelmia eri MIPS-kategorioissa

LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) mukaan laskettuna keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) kasvaa kunnan pienetessä, kun katusuoritteiden määrä on laskettu suhteessa väkilukuun. Jos koko kunnan katusuoritteesta lasketaan keskimääräisen vuorokausiliikenteen luku katuverkon pituuden avulla, havaitaan, että KVL-luvut kasvavat, kun taajamarakenne muuttuu maaseutumaisemmaksi. Tällaisten kuntien tiestö muodostuu suurimmaksi osaksi yksityisteistä ja maanteistä (Kuva 6). Onkin mahdollista, että osa LIISA 2003-menetelmällä lasketusta katusuoritteesta kohdistuu yksityisteille ja maanteille. LIISA 2003-järjestelmää ei suositella käytettäväksi yksityiskohtaisten päätelmien tekemiseen, mutta se on toistaiseksi kuitenkin käyttökelpoinen tapa määrittää suoritetta. Toisaalta Suomen ajoneuvojen vuosittainen kokonaissuorite on tiedossa, ja suoritteen jakautuminen katujen, maanteiden ja yksityisteiden välillä lienee siten oikein ainakin yleisellä tasolla.

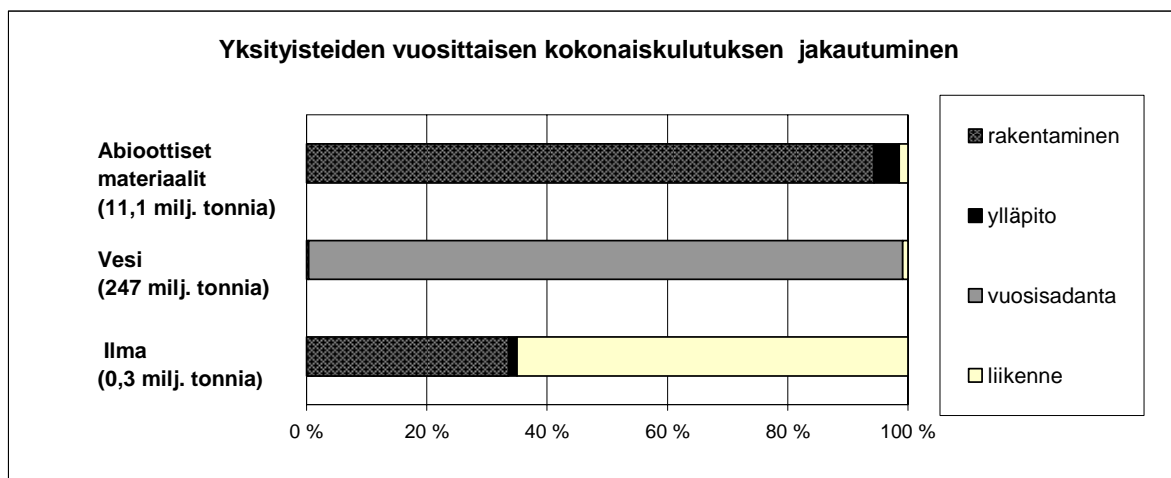
3.3 YKSITYISTEIDEN MIPS

3.3.1 Yksityisteiden materiaalien kokonaiskulutus

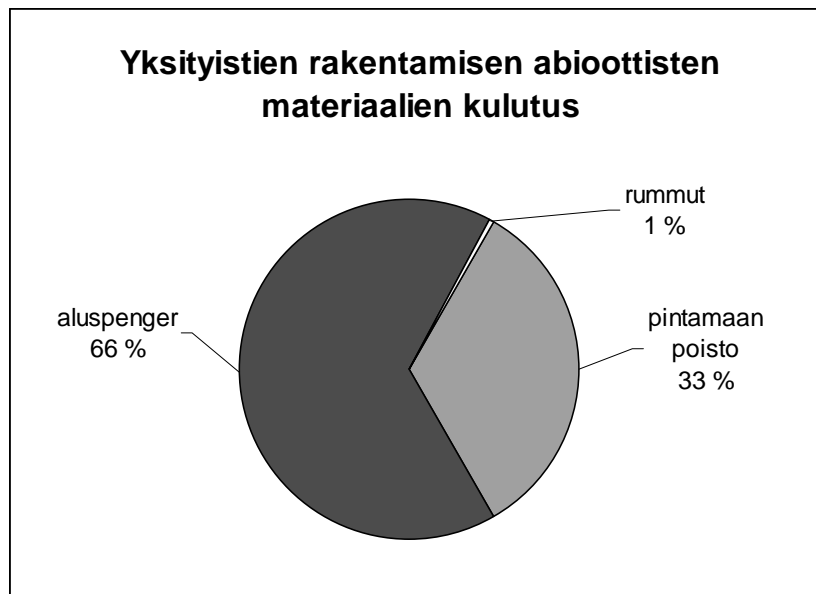
Niiden yksityisteiden (100 000 km), joiden varrella on pysyvää asutusta, koko infrastruktuurin ja niitä käyttävien ajoneuvojen vuosittainen luonnonvarojen kokonaiskulutus on noin 11 miljoonaa tonnia abioottisia materiaaleja, 247 miljoonaa tonnia vettä ja 0,3 miljoonaa tonnia ilmaa (Kuva 21, Taulukko 19).

Lähes koko yksityistien abioottisten materiaalien käyttö johtuu rakentamisesta. Suurimmat tekijät ovat aluspenkereen rakentaminen ja pintamaan poisto (Kuva 22). Ylläpidolla on pieni merkitys. Jos ylläpitoon olisi laskettu mukaan mahdollinen soran tuominen tielle sen kantavuuden parantamiseksi, olisi ylläpidon osuus suurempi. Kun otetaan huomioon myös ajoneuvojen aiheuttama kulutus, muodostuu yksityistien abioottisten materiaalien kulutus edelleen lähes yksinomaan tien rakentamisesta.

Siirretty sadevesi muodostaa yksityisteillä suurimman osan veden luvusta (Kuva 21). Jos siirrettyä sadevettä ei huomioida, on veden kulutus tiekilometriä kohden ainoastaan 9,5 tonnia. Yksityistien veden käytön MI-luku olisi suurempi, jos tietä valaistaisiin. Tämä on kuitenkin harvinaista. Ilman kulutuksen luvuista yli puolet aiheutuu liikenteestä, joka on yksityistiellä kuitenkin pientä.



Kuva 21. Yksityisteiden materiaalipanosten jakautuminen eri MIPS-kategorioissa. Tien pinnasta pois luonnolliselta kulkureitiltään siirretty vesi on laskettu vuosisadannan mukaan. Tarkastelussa yksityistiet, joiden varrella on pysyvää asutusta.



Kuva 22. Yksityistien rakentamisen abioottisten materiaalipanosten jakautuminen.

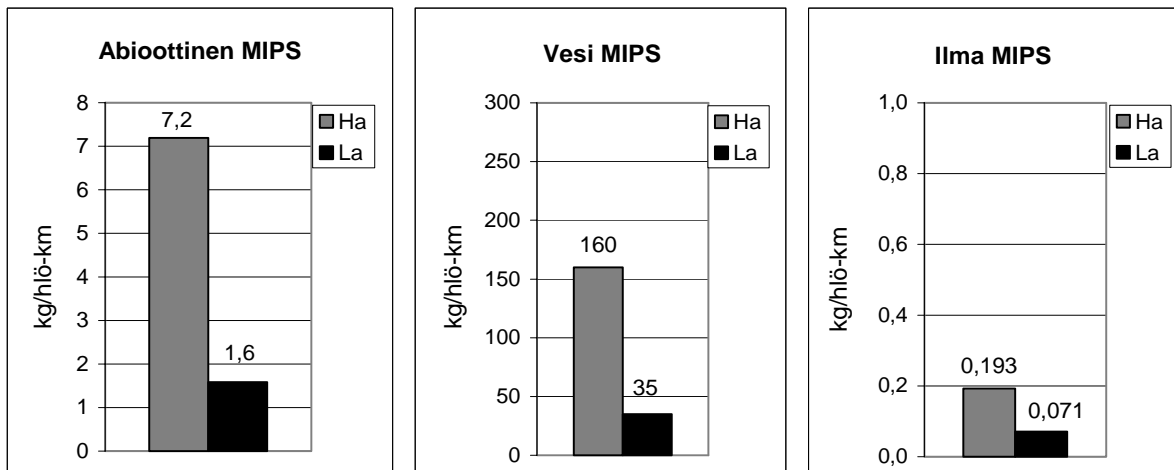
Taulukko 19. Yksityisteiden infrastruktuuriin ja liikenteen vuosittainen luonnonvarojen käyttö. Tarkastelussa yksityistiet, joiden varrella on pysyvää asutusta.

	Kulutus vuodessa (miljoonaa tonnia)		
	Abioottiset	Vesi	Ilma
Yksityisteiden infrastruktuuri ja liikenne			
Rakentaminen ja ylläpito	10,5	244,0	0,10
Tavaraliikenne	0,04	0,5	0,06
Henkilöliikenne	0,10	1,6	0,14
Yhteensä	10,64	246,1	0,30

3.3.2 MIPS-luvut henkilö- ja tavaraliikenteessä

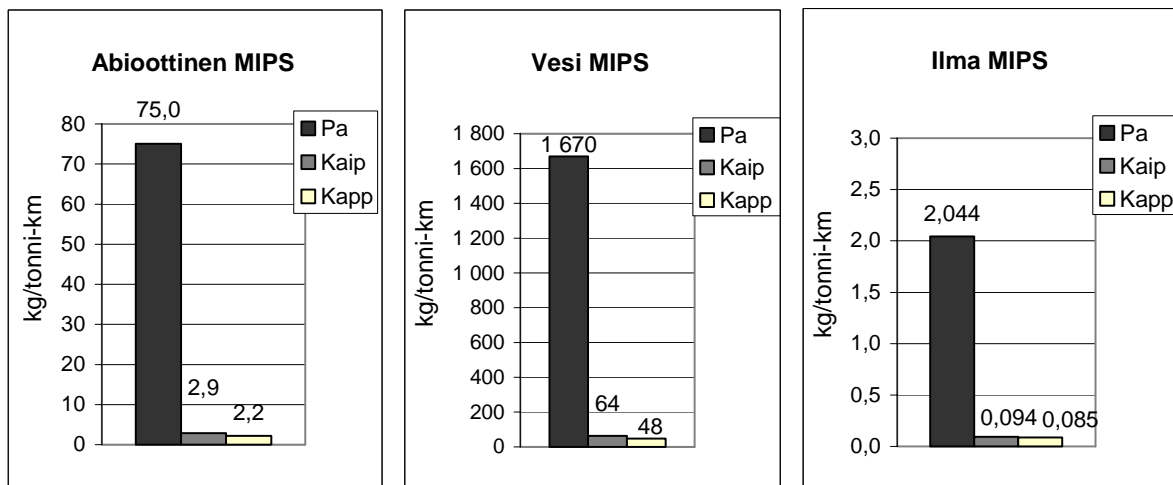
Tässä esitetään tarkasteltujen yksityisteiden henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS-luvut henkilö- ja tonnikilometriä kohden. Liitteessä 6 esitellään yksityistien rakentamisen materiaalipanosten yksityiskohtaisemmat laskelmat. Yksityistien rakentamisen ja ylläpidon materiaalikulutus on allokoitu sitä käyttäville ajoneuvotyypeille painotettujen KVL-lukujen mukaan (Taulukko 11).

Henkilöliikenteessä (Kuva 23) abioottinen MIPS-luku on 7,2 kg/hlö-km, kun kuljetaan henkilöautolla. Linja-autolla kulutus on 1,6 kg/hlö-km. Tässä on otettava huomioon, että yksityisteillä, joilla kulkee linja-auto kerran päivässä, saattaa olla raskaampi rakenne kuin tässä tutkimuksessa on oletettu. MIPS-luku nousisi tällöin. Toisaalta muiden yksityisteiden materiaalipanosta ei tarvitsisi välttämättä ollenkaan allokoida linja-autoille. Yksityiskohtaisen suoritiedon puuttuessa päätettiin käyttää samaa keskimääräistä linja-autoliikenteen osuutta kaikilla tarkastelluilla yksityisteillä.



Kuva 23. Henkilöliikenteen MIPS-luvut henkilökilometriä kohden yksityistiellä.

Tavaraliikenteessä pakettiautolla kuljettaminen kuluttaa abioottisia materiaaleja 75 kg/tonni-km. Korkeaan lukuun vaikuttaa eniten se, että pakettiautolla oletetaan kuljetettavan keskimäärin 0,2 tonnia tavaraa kerralla, kun kuorma-auton (Kaip) oletetaan kuljetettavan 7 tonnia ja puoliperävaunurekan (Kapp) 14 tonnia.



Kuva 24. Tavaraliikenteen MIPS-luvut tonnikipometriä kohden tarkastelluilla yksityistietyypeillä.

Herkkyystarkastelua: suoritteiden vaihtelu yksityisteillä

Neljälle eri yksityistietyypille saatiin Tiehallinnon arvioimat erilliset suorite- eli KVL-luvut (vrt. Taulukko 12). Jos MIPS-luvut esitetään näille yksityistietyypille erikseen kunkin tietyyypin KVL-luvun pohjalta, vaihtelee henkilöautoliikenteen kulutus välillä 4,4 – 12,4 kg/hlö-km (Kuva 25). Tässä herkkyyystarkastelussa rakentamisen ja ylläpidon luonnonvarojen kulutus on oletettu olevan sama eri yksityistietyypeillä, mikä ei vastanne todellisuutta. Vilkkaammin liikennöidyillä yksityisteillä todennäköisesti panostetaan enemmän myös tierakenteeseen ja sen ylläpitoon.



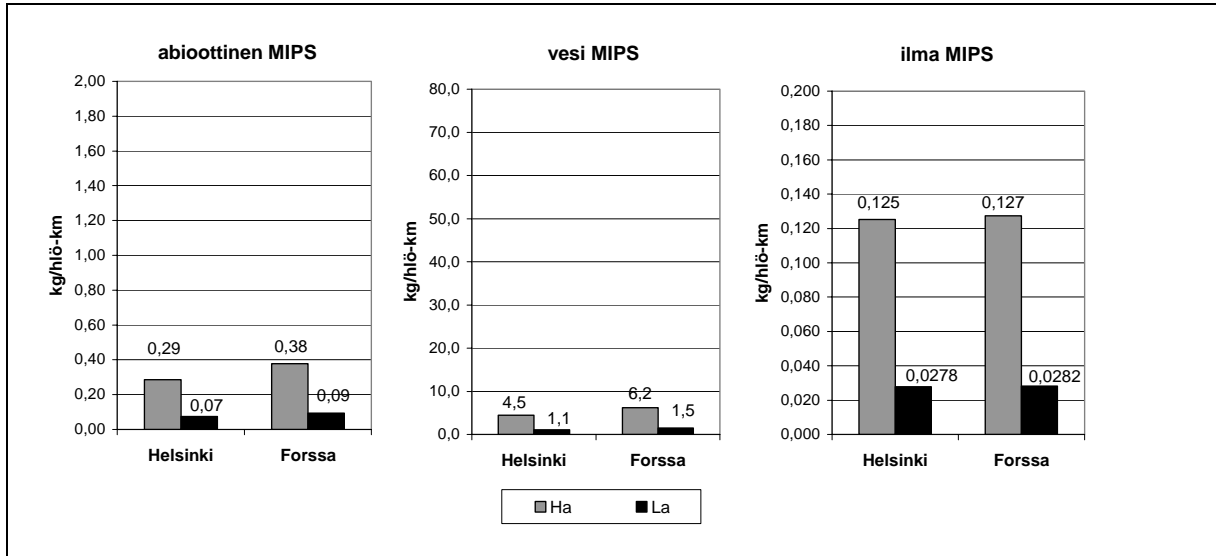
Kuva 25. Keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) vaihtelun vaikutus MIPS-lukuun eri yksityisteillä, kun oletetaan yksityisteiden rakentamisen ja ylläpidon materiaalipanoksen olevan sama. Henkilöautolla kulkemisen MIPS-luku kasvaa yli kymmeneen kiloon henkilökilometriä kohden, kun KVL on alle 19 ajoneuvoa. Eri yksityisteiden seurattuja ja arvioituja KVL-lukuja edellä (Taulukko 12). Tarkastelussa yksityistiet, joiden varrella on pysyvää asutusta

3.4 PAIKALLISEN LIIKENTEEN MIPS – KAKSI ESIMERKKIKUNTAA

3.4.1 Ajoneuvoliikenne

Pääkatujen henkilöliikenne

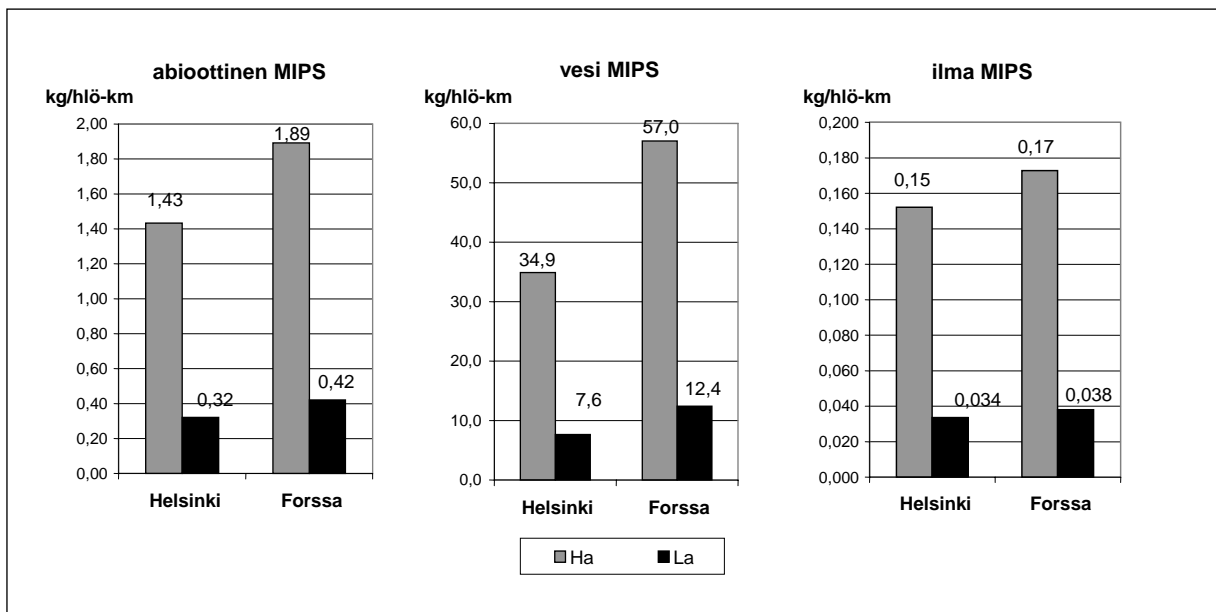
Forssasta oli saatavissa seurattuja suoritustietoja, joiden mukaan vuonna 2002 yhdellä merkittävimmistä pääkaduista, Kartanonkadulla keskimääräinen vuorokausiliikenne eli KVL oli noin 10 000 ajoneuvoa (vrt. Kuva 9). Helsingissä pääkatujen keskimääräinen vuorokausiliikenne on noin 17 000 ajoneuvoa. Forssassa pääkadulla henkilöautolla (Ha) kuljettaessa kulutus on 0,38 kg/hlö-km, ja linja-autolla (La) matkustettaessa 0,09 kg/hlö-km (Kuva 26). Helsingissä abioottisten luonnonvarojen kulutus on laskelmien mukaan pienempää. Henkilöliikenteen MIPS-luvut pääkadulla ovat 0,29 kg/hlö-km (Ha) ja 0,07 kg/hlö-km (La). Keskimääräisellä pääkadulla Suomessa kulkeminen henkilöautolla kuluttaa 0,17 kg/hlö-km. Melko alhainen luku johtuu siitä, että keskimääräisen pääkadun laskennallinen KVL on korkeampi kuin Forssan ja Helsingin esimerkeissä. Näin ollen Forssan ja Helsingin pääkatujen MIPS-luvut todennäköisesti kuvaavat paremmin todellisia olosuhteita.



Kuva 26. Esimerkkikuntien pääkatujen MIPS-lukuja. Helsingin pääkatuilla keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on 17 263 ja Forssan esimerkkikadulla 10 000 ajoneuvoa. Ha= henkilöauto, La= linja-auto

Tonttikatujen henkilöliikenne

Helsingissä tonttikatujen KVL (560 ajoneuvoa) oli suurempi kuin Forssassa (350 ajoneuvoa). Henkilöautolla kulkeminen tonttikadulla kulutti Forssassa 1,9 kg/hlö-km ja Helsingissä 1,4 kg/hlö-km abiottisia luonnonvaroja. Keskimääräisen tonttikadun henkilöautolla kulkemisen abiottinen MIPS-luku Suomessa on 1,7 kg/hlö-km (vrt. Kuva 14).



Kuva 27. Esimerkkikuntien tonttikatujen MIPS-lukuja. Helsingin tonttikaduilla keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on keskimäärin 560 ajoneuvoa ja Forssan tonttikaduilla 350.

3.4.2 Raideliikenne: metro-, raitiovaunu- ja pääkaupunkiseudun lähijunaliikenne

Helsingissä tarkasteltiin myös raideliikennettä. Metro- ja raitiovaunuliikenteestä saatiin hyvin luotettavia tietoja MIPS-laskelmia varten, esimerkiksi liikennöinnin ja metroasemien energiankulutus perustuu Helsingin liikennelaitoksen vuosittaiseen seurantaan. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen energiankulutus perustuu VTT:n (2005b) RAILI 2004 -laskelmiin. Ratojen rakentamisen materiaalipanoksessa jouduttiin tekemään hieman karkeampia oletuksia laskelmia varten.

Suoritteen määrittäminen perustuu myös VR:ltä ja HKL:ltä saatuihin seurattuihin lukuihin. Kaikki MIPS-luvut esitetään muodossa materiaalipanos (kg) suhteessa suoritteeseen (hlö-km). Metroliikenteen vaatima infrastruktuuri on kokonaan metroliikenteen käytössä. Metroliikenteessä ei ollut siten infrastruktuurin materiaalipanoksen allokoinnin kysymyksiä ratkaistavana. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen ratoja ja Helsingin raitiovaunuliikenteen raitioteitä käyttää muukin liikenne, joten näiden kohdalla allokoitiin osa infrastruktuurin materiaali-panoksesta muulle sitä käyttävälle liikenteelle.

Metroliikenteen materiaalipanos ratakilometriä kohden osoittautui kaikissa MIPS-kategorioissa suurimmaksi kolmen tarkastellun raideliikennemuodon välillä (Taulukko 20). Metroliikenteen liikennesuorite on kuitenkin niin suuri, että MIPS-laskelmissa metro on selvästi ekotehokkain raideliikenteen muoto abioottisten luonnonvarojen kategoriassa. Veden ja ilman kulutuksen MIPS-luvuissa raitiovaunuliikenne on lähes yhtä tehokas.

Raideliikenteen MI-lukujen erittelyt esitetään liitteissä 8, 9 ja 10. Raideliikenteen vuosittaisen kulutuksen erittely esitetään liitteessä 11.

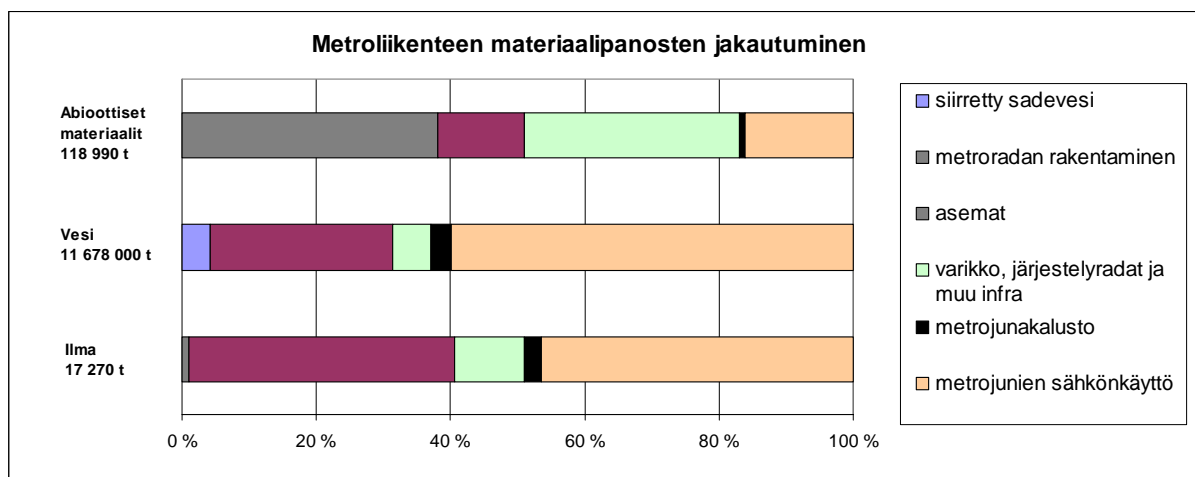
Metrolinjan MI

Abioottisten materiaalien kulutuksesta metroradan rakentamisen osuus on 38 %, kun metroradan käyttöikä on tässä arvioitu 100 vuotta. Seuraavaksi eniten abioottisia luonnonvaroja käyttävät varikko ja siihen kuuluvat järjestelyradat sekä metrojunien liikennöinnin kuluttama sähkö. Metroliikenteessä abioottisia materiaaleja kuluu myös asemien rakentamiseen. Helsingin metrolinjan varrella on 16 asemaa, joista 7 sijaitsee maan alla.

Suurin osa veden kulutuksesta muodostuu metrojunien liikennöinnistä (62 %) sekä metroasemista (27 %). Näissä molemmissa sähkönkulutus on suurin tekijä. Veden MI-luvuissa on huomioitava, että niissä on käytetty kansallisen kerkiarvosähkön MI-kerrointa, jonka veden kulutus on merkittävästi suurempi kuin Helsingin Energian tuottaman sähkön.

Myös ilman kulutuksessa suurin tekijä oli metroasemien ja metrojunien liikennöinnin aiheuttama sähkönkulutus.

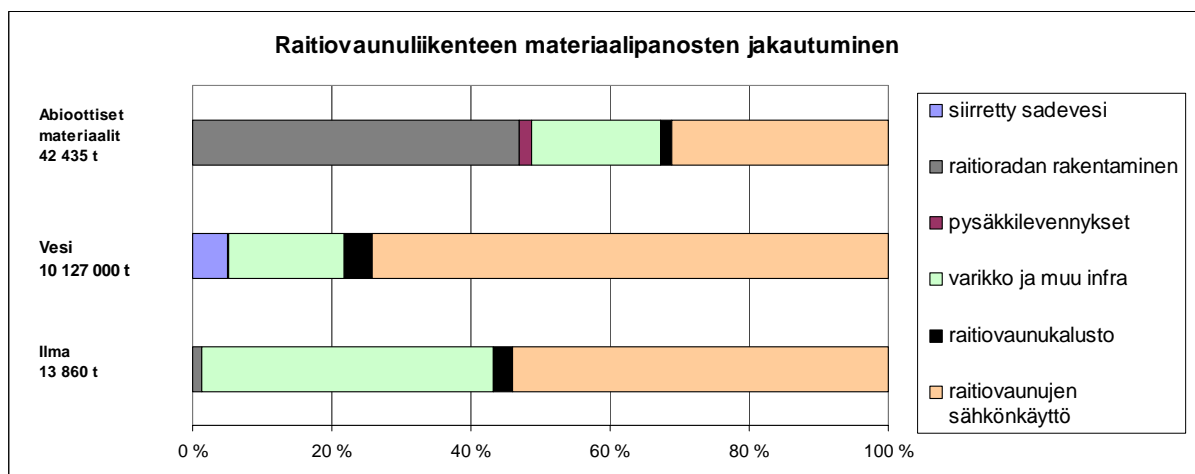
Varikoiden, muun ylläpidon ja liikennöinnin yhteenlaskettu abioottisten luonnonvarojen kulutus on ratakilometriä kohden vuodessa puolitoistakertaista ja veden sekä ilman kulutus merkittävästi suurempaa verrattuna ratainfrastruktuurin kulutukseen.



Kuva 28. Metroliikenteen (infrastruktuuri ja liikennöinti) vaatiman vuosittaisen materiaalipanoksen jakautuminen kolmessa luonnonvarakategoriassa.

Raitiovaunuliikenteen MI

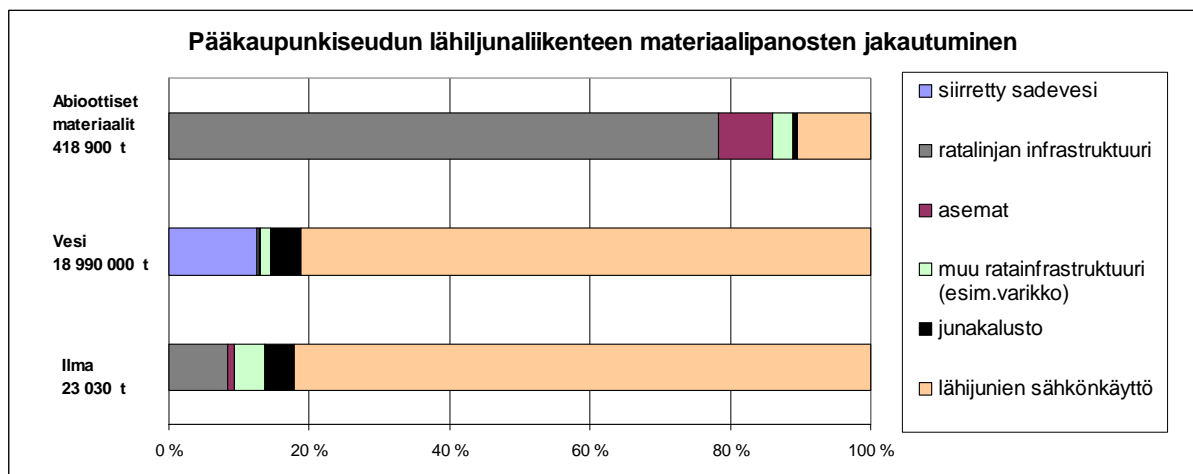
Raitiovaunuliikenteen abioottisten luonnonvarojen kulutus koostuu lähinnä raitioradan rakentamisesta, sekä varikoiden ja muun ylläpidon kulutuksesta (Kuva 29). Veden kulutus muodostuu raitiovaunuliikenteen sekä varikon ja muun infrastruktuurin sähkökulutuksesta. Siirretty sadevesi ei raitiovaunuliikenteessäkään muodostunut merkittäväksi tekijäksi. Suurin syy lienee se, että liikennöinnin ja ylläpidon infrastruktuurin sähkökertoimena on käytetty Suomen keskiarvosähköä, jossa veden MI-kerroin on erityisen suuri. Myös ilman kulutus muodostuu raitiovaunujen liikennöinnistä sekä varikon ja muun ylläpidon kulutuksesta.



Kuva 29. Raitiovaunuliikenteen (infrastruktuuri ja liikennöinti) vaatimien materiaalipanosten jakautuminen

Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MI

Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteessä korostuu raitiovaunu- ja metroliikennettä enemmän junaradan rakentaminen abiioottisessa MIPS-kategoriassa (Kuva 30). Veden ja ilman kulutuksesta suurin osa muodostuu junien liikennöinnistä. Lähijunaliikenteen asemien infrastruktuuriin ja ylläpitoon ei sisällytetty asemien energiankulutusta, joka olisi saattanut kasvattaa veden ja ilman kulutusta. Kaukoliikenteen junien tarkastelussa asemien energiankulutusta ei myöskään ole huomioitu, joten lähi- ja kaukojunaliikenteen välillä voidaan tehdä vertailua paremmin kuin lähijunaliikenteen ja muun Helsingin sisäisen raideliikenteen välillä.



Kuva 30. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen (infrastruktuuri ja liikennöinti) vaatimien materiaalipanosten jakautuminen.

Taulukko 20. Raideinfrastruktuurin kulutus ratakilometriä ja vuotta kohden laskettuna. Luvut sisältävät ainoastaan ratalinjan rakentamisen (ei asemia) ja siirretyn sadeveden.

	t/rata-km vuodessa		
	Abioottinen	Vesi	Ilma
metroliikenteen MI	2146	13 936	9
pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MI	1889	14 934	11
raitiovaunuliikenteen MI	205	3 502	1

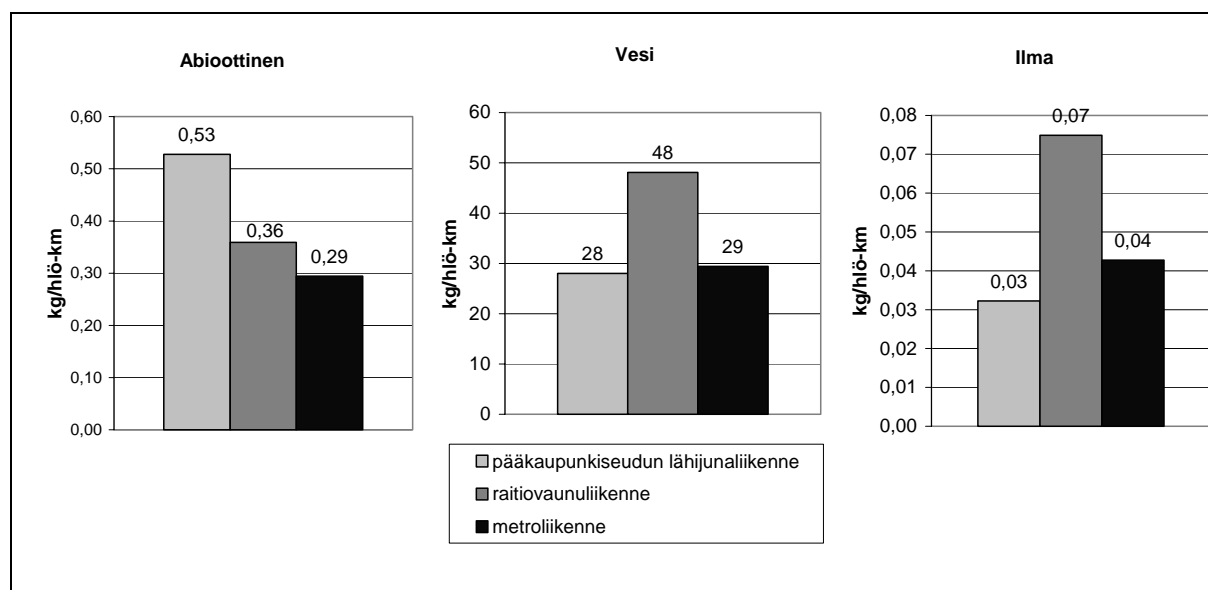
MIPS-laskennan tulokset raideliikenteessä

Metroliikenne kuluttaa abiioottisia materiaaleja 0,29 kg, vettä noin 30 kg ja ilmaa 0,04 kg yhtä henkilökilometriä kohden (Kuva 31).

Raitiovaunuliikenne kuluttaa abiioottisia materiaaleja 0,36 kg/hlö-km, vettä noin 48 kg/hlö-km ja ilmaa 0,07/hlö-km (Kuva 31). Metroliikenteen raitiovaunua alhaisemmat veden ja ilman kulutuksen MIPS-luvut aiheutuvat metron huomattavasti paremmasta kuljetuskapasiteetista ja siten moninkertaisesta suoritteesta. Jos suoritetta ei huomioida ja tarkastellaan vain ratalinjan MI-lukua (Taulukko 20), metroliikenteen kulutus on huomattavasti suurempi kuin raitiovaunuliikenteen. Abioottisessa MIPS-luvussa ero on pienempi, koska raitiovaunuliikenteen rata- ja pysäkki-infrastruktuuri on huomattavasti kevyempi kuin metron vastaava. Lisäksi raitiovaunuliikenne käyttää osaksi samaa infrastruktuuria ajoneuvoliikenteen kanssa. Tältä osuu-

delta raitiovaunuliikenteelle allokoitui vain 13 % pohjanrakentamisesta. Metrorataa ei käytä mikään muu liikennemuoto.

Lähijunaliikenne kuluttaa abioottisia materiaaleja 0,53 kg, vettä noin 28 kg ja ilmaa 0,03 kg yhtä henkilökilometriä kohden (Kuva 31). Veden kulutus on huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi raitiovaunuliikenteessä, mikä aiheutuu muun ohella siitä, että lähiliikenteen asemien energiankulutusta ei ole sisällytetty laskelmiin. Lähijunaliikenteen alhainen ilman kulutus johtuu todennäköisesti siitä, että lähijunalla on tarkastelluista raideliikennemuodoista harvimmat pysähdysvälit.



Kuva 31. Helsingin metro- ja raitiovaunuliikenteen sekä pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MIPS-luvut

Herkkyystarkastelua: Energiatuotantomuodon vaikutus metroliikenteen MIPS-lukuihin

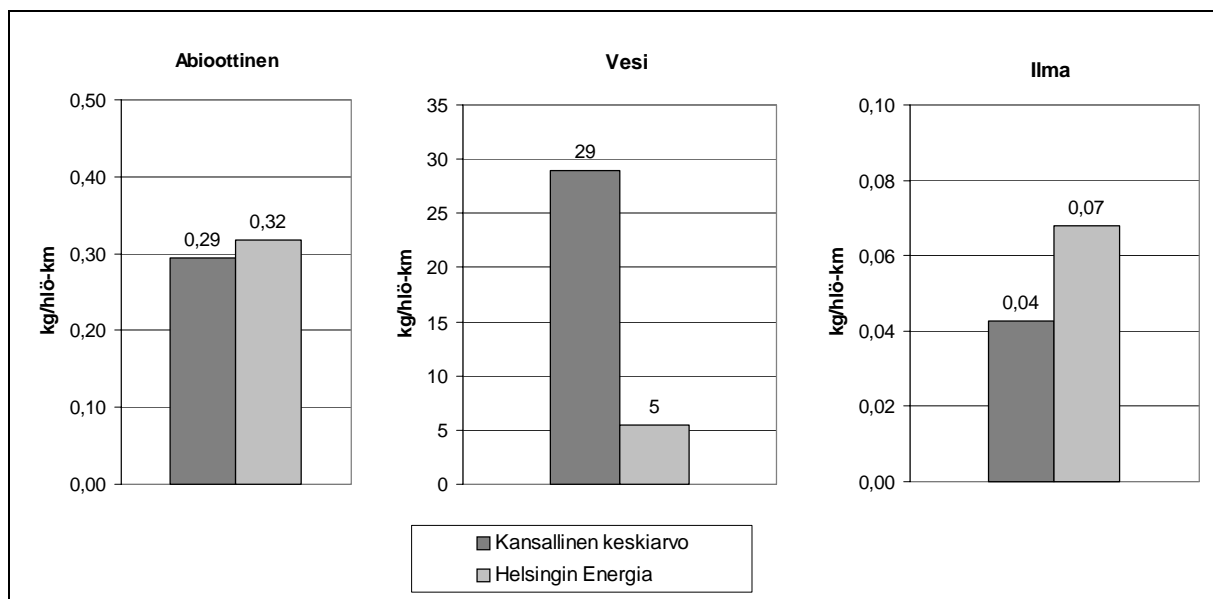
Suurin osa metroliikenteen aiheuttamasta veden kulutuksesta (Kuva 28) muodostuu metrojunien liikennöinnin ja metroasemien kuluttamasta sähköstä. Sähkön kertoimena laskelmissa on käytetty Suomen vuoden 2002 kansallista keskimääräistä verkkosähköä. Helsingin Energian myymän vuoden 2003 sähkön veden kerroin on kuudesosa kansallisesta keskiarvosta (Taulukko 21). Koska energiatuotantomuodon veden MI-kertoimella voi olla niin suuri vaihteluväli, tutkittiin tässä eri energiatuotantomuotojen vaikutuksia metroliikenteen MIPS-lukuihin.

Taulukko 21. Energiatuotantomuotojen MI-kertoimia (Vihermaa ym. 2005: 56)

Energiatuotantomuoto	MI-kertoimet kg/kWh		
	Abioottinen	Vesi	Ilma
Helsingin Energia 2003	0,63	30,0	0,37
Kansallinen keskiarvo 2002	0,50	186,0	0,21

Kertoimen vaihtaminen lievästi kasvatti MIPS-lukua. Sen sijaan veden kulutuksen MIPS-luku metroliikenteessä laski merkittävästi, yli 80 prosenttia. Ilman kulutus nousi lähes puolitoistakertaiseksi. Kahden energiatuotantomuodon vertailu on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 32).

Raitiovaunuliikenteessä ei tutkittu energiatuotantomuodon muuttamisen vaikutuksia, mutta sen MIPS-luvut käyttäytyisivät samansuuntaisesti kuin metroliikenteenkin, koska veden ja ilman MI-luvuista suurin osa tulee liikennöinnin sähkönkulutuksesta.

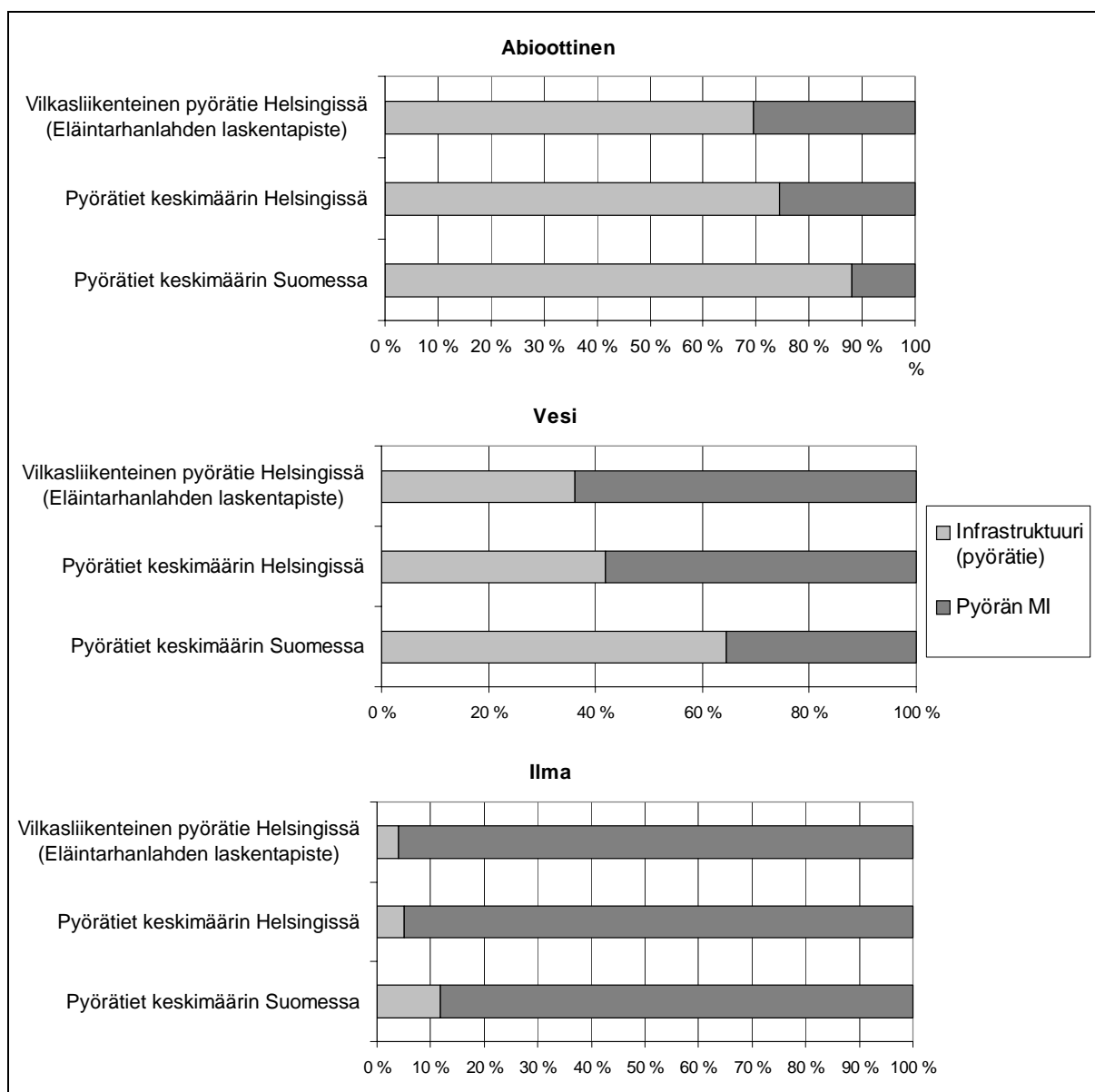


Kuva 32. Sähkön tuotantomuodon vaikutus metroliikenteen MIPS-lukuun. Helsingin Energian vuoden 2003 myymä sähkö Vihermaan ym. (2005: 56) mukaan. Kansallinen keskiarvo vuonna 2002 Vihermaan ym. (2005: 56) mukaan.

3.4.3 Pyöräliikenne

MI-luku

Pyöräliikennettä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa Helsingissä keskimäärin sekä yhdellä erittäin vilkkaasti liikennöidyllä pyörätiellä. Pyörätien infrastruktuuriin (rakentaminen ja ylläpito) sekä käytettyjen pyörien materiaalipanokset oletettiin yhteneväiseksi Hakkaraisen ym. (2004) osatutkimuksen kanssa. Osatutkimuksessa oli laskettu pyöräliikenteen MIPS-luvut keskimäärin koko Suomessa.



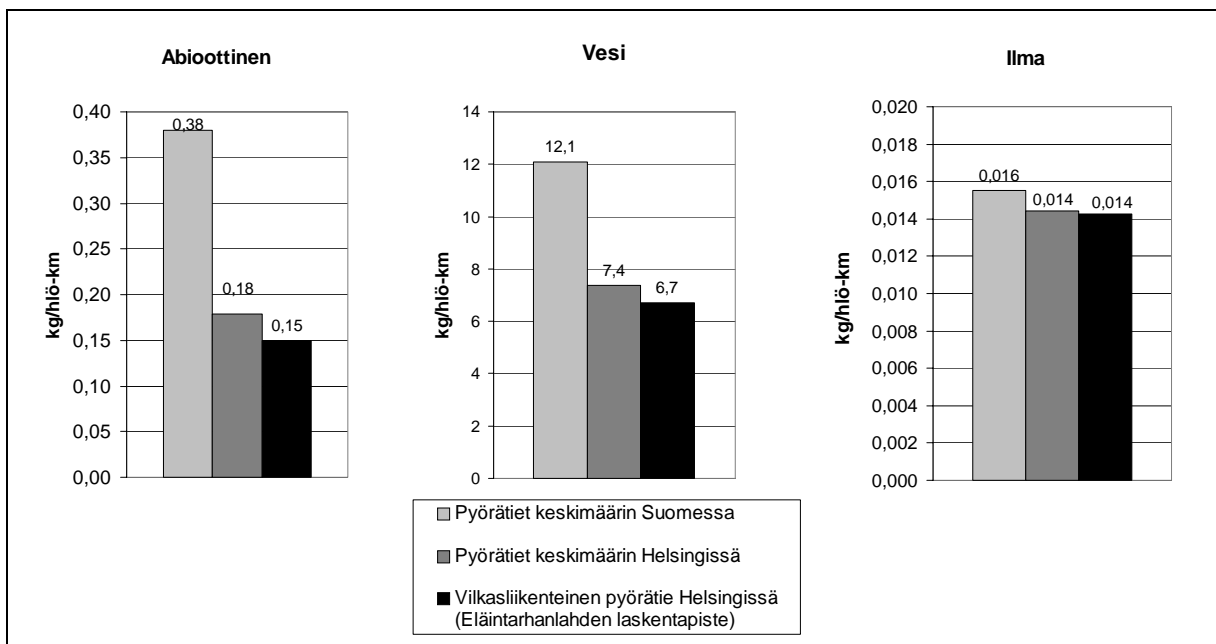
Kuva 33. Pyörätieliikenteen materiaalipanous jakaantuu pyöriin ja pyörätieinfrastruktuuriin, johon lasketaan myös valaistus.

Abioottiseen MI-lukuun vaikuttaa eniten pyörätien rakenne, joka on yli 70 % materiaali-panoksesta kaikilla eri vilkkaustason pyöräteillä (Kuva 33). Veden kulutuksen MI-lukuihin vaikuttaa eniten valaistus ja paikaltaan siirretty sadevesi keskimääräisellä pyörätiellä Suomessa. Pyöräteiden osuus ajoratojen ja pyöräteiden yhteisestä valaistuksesta on allokoitu pyörätiekilometrille pyörä- ja ajoneuvoliikenteen valtakunnallisten kilometrisuoritteiden suhteessa (Lähteenoja ym. 2005: 25).

Pyörien merkitys on kuitenkin infrastruktuuria suurempi Helsingin pyörätiellä yleensä ja hyvin vilkasliikenteisellä pyörätiellä. Ilman kulutukseen vaikuttaa pyörien valmistus ja pyöräteiden valaistus.

Pyörien materiaalipanoksien osuus pyöräilyn materiaalipanoksesta (infrastruktuuri ja liikenne) kasvaa pyörätien liikenteen vilkkauksen kasvaessa.

Helsingin keskimääräisten pyöräteiden abioottinen MIPS-luku on puolet Suomen keskimääräisestä MIPS-luvusta (Kuva 34). Kun tarkastellaan Helsingin keskustan alueen vilkasliikenteistä pyörätietä Eläintarhanlahden laskentapisteessä, on abioottisessa kategoriassa MIPS-luku vieläkin pienempi. Veden kulutuksen MIPS-luvut käyttäytyvät samalla tavoin. Ilman kulutuksen MIPS-luvuissa ei ole suurta eroa, koska suurin osa materiaalipanoksesta aiheutuu pyörien valmistuksesta.



Kuva 34. Pyörällä ajon MIPS-lukuja eri vilkkaustason pyöräteillä.

4. TULOSTEN YHTEENVETO JA ARVIOINTIA

Tutkimuksessa määritettiin Suomen katuverkon luonnonvarojen käyttöä ja käytön tehokkuutta. Katujen rakentamisen materiaalipanoksia tarkasteltiin tilastollisen kuntaryhmyksen mukaan. Katurakenteen luonnonvarojen käytön laskelmien pohjaksi muodostettiin yleiskuva siitä, millaisilla maapohjilla kuntien kadut sijaitsevat. Liikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä tarkasteltiin erikseen henkilöautoille, linja-autoille sekä neljälle erityyppiselle tavara-liikenteen ajoneuvolle. Lisäksi selvitettiin paikalliseen liikenteeseen kuuluvien yksityisteiden materiaalipanoksia suhteessa niiden liikennesuoritteeseen.

Tutkimuksessa tarkasteltiin tarkemmin kahta esimerkkikuntaa, Forssaa ja Helsinkiä. Niistä tarkasteltiin pää- ja tonttikatuja. Lisäksi laskettiin MIPS-luvut pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteelle sekä Helsingin metro-, raitiovaunu- ja polkupyöräliikenteelle. Tutkimuksessa tarkasteltiin vain osaa paikallisesta ajoneuvoliikenteestä, sillä sitä tapahtuu myös taajamien sisäisillä ja ulkopuolisilla maanteilla. Toisaalta myös kaduilla ja yksityistiellä on kaukoliikennettä, koska useimmat kaukomatkat alkanevat tonttikadulta tai yksityistieltä. Paikallista ja kaukoliikennettä toisistaan erottavan suoritiedon puuttuessa maanteiden paikallinen liikenne jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Näin ollen tässä tutkimuksessa tarkasteltiin tarkasti ottaen paikallisesti hallinnoitua liikenneinfrastruktuuria ja sitä käyttävää liikennettä.

Tutkimus on ollut osana FIN-MIPS Liikenne -tutkimushanketta. Pääosin vuosina 2004–2005 toteutetun hankkeen rahoittajat olivat ympäristöministeriö, liikenne- ja viestintäministeriö, Tiehallinto, Ratahallintokeskus, Merenkululaitos, Ilmailulaitos ja Suomen luonnonsuojeluliitto. Hankkeen toteutti Suomen luonnonsuojeluliitto. Tutkimuksen lähtökohtana olivat hankkeen case-tarkasteluihin perustuvat osatutkimukset luonnonvarojen käytöstä tie-, polkupyörä-, rautatie-, lento- ja meriliikenteessä (Pusenius ym. 2005, Hakkarainen ym. 2005, Vihermaa ym. 2005, Nieminen ym. 2005, Lindqvist ym. 2005). Samanaikaisesti tehtiin osatutkimus koko Suomen liikennejärjestelmän materiaali-intensiteetistä (Lähteenoja ym. 2006).

4.1. KESKEISET LÖYDÖKSET

4.1.1 Luonnonvarojen kokonaiskäyttö paikallisessa liikenteessä

Paikallisen liikenteen materiaalikulutus koostuu suurimmaksi osaksi liikennettä palvelevan infrastruktuurin rakentamisesta ja ylläpidosta. Valtakunnallista kokonaiskulutusta laskettiin tässä tutkimuksessa taajamien katuverkoilta, haja-asutusalueiden yksityisteiltä, joiden varrella on pysyvää asutusta, sekä pääkaupunkiseudun alueen raideliikenteeltä (metro-, raitiovaunu- ja lähijunaliikenne).

Katuverkoston merkitys

Suomen katuverkoston elinkaarelta laskettu rakentamisen ja ylläpidon vuosittainen abioottisten materiaalien kulutus on keskimäärin 9,2 miljoonaa tonnia. Pelkkä rakentaminen kuluttaa noin 7 miljoonaa tonnia. Katuverkon käyttöäksi arvioitiin 60 vuotta.

Oulun yliopiston Thule-instituutin tutkimuksissa kuntien maa- ja vesirakentamisen materiaalinkulutukseksi on arvioitu 20 miljoonaa tonnia vuosittain (Mäenpää & Rintala 2000), johon sisältyy muutakin kuin katujen ajoradat, viher- ja erotuskaistat.

VTT:n viimeisin arvio (Jääskeläisen 2004 mukaan) kadunrakentamiseen kuluneista materiaaleista on vuodelle 1997. Tämän mukaan kyseisenä vuonna materiaaleja kului katujen rakentamiseen 10 miljoonaa tonnia.

Tässä tutkimuksessa saadut luvut ovat samaa suuruusluokkaa muiden tutkimusten kanssa. Huomioitavaa on, että tässä tutkimuksessa on kadun vuosittainen materiaalinkulutus laskettu olettamalla rakennetun kadun käyttöikäksi 60 vuotta. Jos oletettua käyttöikää lyhennettäisiin, nousisi myös vuosittainen laskennallinen kulutus. Jos oletettua käyttöikää vastaavasti pidennettäisiin, laskisivat tässä esitetyt luvut.

Katuverkoston infrastruktuuri kuluttaa vuosittain yhteensä 234 miljoonaa tonnia vettä. Veden kulutuksessa korostuu vesivoiman osuus katuverkon valaistukseen tarvittavan energian tuottamisessa. Katuvalaistuksen materiaalipanoksen laskemisessa käytettiin Suomen keskiverstosähkön tuottamisen MI-kerrointa, jonka mukaan veden kulutus on 189 kg / kWh (Nieminen ym. 2005: 105). Luku voi kuitenkin vaihdella paljon paikallisen sähköntuotantotavan mukaan. Tutkimuksessa laskettu veden kulutus sisältää myös ajoradoilta siirretyn sadeveden. Maanpinnan sulkeminen estää veden luonnollisen imeytymisen maaperään, minkä seurauksena esimerkiksi pohjaveden pinta voi laskea ja pintavaluma lisääntyä. Tiheään rakennetuilla kaupunkialueilla voi suljettua pinta-alaa olla paikallisesti hyvin paljon, mikä lisää tulvariskiä. Esimerkiksi Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen arvion mukaan liikenteeseen liittyvät rakennelmat peittävät noin 25 % Helsingin kaupungin maapinta-alasta (Jääskeläinen 2004).

Katuverkon aiheuttama ilman kulutus (lähinnä polttoprosesseissa poltettu happi) johtuu valaistuksessa käytetystä sähköstä, mutta on vain pieni osa katujen liikenteen polttoainekulutuksen kautta aiheutuvasta ilman kulutuksesta. Ilman kulutusta käsitellään seuraavassa.

Paikallisen liikenteen luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan

Tämän tutkimuksen mukaisesti rajatun paikallisen liikenteen infrastruktuuriin ja liikennöintiin käytetään vuosittain keskimäärin 23 miljoonaa tonnia abioottisia materiaaleja, 549 miljoonaa tonnia vettä ja 3,9 miljoonaa tonnia ilmaa (Taulukko 22).

Taulukko 22. Tutkimuksessa käsitellyn paikallisen liikenteen osa-alueet ja niiden vuotta kohden laskettu luonnonvarojen käyttö. Luvut sisältävät infrastruktuurin ja liikenteen (vrt. myös liitteet 4 ja 11).

Paikallisen liikenteen tutkitut osa-alueet	Luonnonvarojen kulutus vuodessa (miljoonaa tonnia)					
	Abioottinen	%	Vesi	%	Ilma	%
Katuliikenne	12,06	52	262	48	3,6	94
Yksityistieliikenne	10,64	46	247	45	0,2	5
Raideliikenne	0,58	2	41	7	0,1	1
Yhteensä	23,28		549		3,85	

Katu- ja yksityistieliikenne kuluttavat lähes saman verran abioottisia eli uusiutumattomia luonnonvaroja. Katujen yhteenlaskettu pituus vuonna 2001 oli noin 25 000 km ja yksityisteiden pituus, joiden varrella on pysyvää asutusta, on 100 000 km. Katujen keskimääräinen materiaalianos kilometriä kohden on kuitenkin noin nelinkertainen verrattuna yksityisteihin, mikä saa vuosittaisen kokonaiskulutuksen samalle tasolle.

Abioottisten luonnonvarojen kulutus pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteessä aiheutuu pääosin ratojen rakentamisesta. Sen sijaan raitiovaunu- ja metroliikenteessä korostuvat myös varikot ja järjestelyradat.

Veden kulutuksesta suurin osa on kaduilta ja yksityisteiltä pois siirrettyä sadevettä, jolloin yksityisteiden osuus veden kokonaiskäytöstä on niiden verkoston pituuden vuoksi yhtä suuri kuin katujen osuus. Katujen aiheuttamaan veden käyttöön vaikuttaa lisäksi valaistuksen vaatima sähkö. Metro- ja raitiovaunuliikenteessä liikennöinnin ja asemien käyttämä sähkö muodostui merkittävimmäksi veden käyttäjäksi, tosin Suomen tasolla niiden merkitys on pieni.

Ilman kulutus muodostuu suurimmaksi osaksi ajoneuvoliikenteen polttoainekulutuksen perusteella. Yksityistieliikennettä vilkkaampi katuliikenne aiheuttaa siten suurimman osan Suomen paikallisen liikenteen ilman kulutuksesta.

4.1.2 Paikallisen liikenteen MIPS-luvut

Tutkimuksen tuottamat paikallisen liikenteen keskimääräiset MIPS-luvut on esitetty seuraavassa taulukossa. Tuloksia esitellään yksityiskohtaisemmin alla.

Taulukko 23. Paikallisen henkilö- ja tavaraliikenteen MIPS-lukuja eri kulkuvälineillä ja väylillä keskimäärin, kg/hlö-km tai kg/t-km.

Kulkuväline	Abioottinen	Vesi	Ilma
Henkilöliikenteen MIPS, kg/hlö-km			
Ha kadulla	0,5	12	0,13
La kadulla	0,1	3	0,06
Ha yksityistiellä	7,2	160	0,19
La yksityistiellä	1,6	35	0,07
Lähijuna pääkaupunkiseudulla	0,5	28	0,03
Metro	0,3	29	0,04
Raitiotie	0,4	48	0,07
Polkupyörä	0,4	12	0,02
Polkupyörä Helsingissä	0,2	7	0,01
Tavaraliikenteen MIPS, kg/t-km			
Pa kadulla	3,7	83	1,38
Kaip kadulla	0,2	5	0,07
Kapp kadulla	0,2	4	0,07
Katp kadulla	0,1	2	0,05
Pa yksityistiellä	75,0	1670	2,04
Kaip yksityistiellä	2,9	64	0,09
Kapp yksityistiellä keskimäärin	2,2	48	0,09

Ha=henkilöauto, La=linja-auto, Pa=pakettiauto, Kaip=kuorma-auto, Kapp=puoliperävaunurekka, Katp=täysperävaunurekka

Katujen liikenne

Suomessa katuverkkoa on noin 25 000 km (v. 2001). Keskimäärin pääkatuja on 4 %, kokoojakatuja 28 % ja tonttikatuja 68 %. Kaduille kohdistuva kokonaissuorite on 15,7 mrd. ajoneuvokilometriä. Katujen liikenteen keskimääräiset MIPS-luvut eri ajoneuvoille on esitetty edellisessä taulukossa (Taulukko 23).

Suurimmat katuluokkien väliset erot esiintyvät vilkasliikenteisten pääkatujen ja vähäliikenteisten tonttikatujen välillä. Pääkatujen keskimääräinen abioottinen MIPS oli henkilöautolla kulkiessa 0,17 kg/hlö-km ja tonttikatujen 1,65 kg/hlö-km. Katujen suoritteita ei seurata niin systemaattisesti kuin maanteiden suoritteita, minkä vuoksi tutkimuksessa jouduttiin tekemään yleistyksiä laskelmien pohjaksi. Tässä esitetyt MIPS-luvut kertovat kuitenkin hyvin katuliikenteen luonnonvarojen käytön suuruusluokasta.

Tonttikatujen korkeat MIPS-luvut ovat esimerkki yksityisautoiluun tukeutuvan ja hajanaisen yhdyskuntarakenteen ongelmallisuudesta. Väljät omakotitaloalueet, jossa tonttikatuja on paljon suhteessa niiden käyttäjiin, vaativat suuria materiaalipanoksia suhteellisen vähäistä käyttöä varten.

Yksityisteiden liikenne

Yksityisteitä on Suomessa yhteensä 350 000 kilometriä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ainoastaan sellaisia yksityisteitä, joiden varrella on pysyvää asutusta. Tällaisia yksityisteitä on yhteensä 100 000 km. Yksityisteiden abioottisten materiaalien ja veden kulutuksen MIPS-luvut muodostuivat kaikilla ajoneuvoilla moninkertaiseksi verrattuna katujen MIPS-lukuihin. Esimerkiksi henkilöautolla kulkiessa yksityistiellä on abioottisten luonnonvarojen kulutus 7,2 kg/hlö-km. MIPS-luvut yksityisteillä ovat siten FIN-MIPS Liikenne -hankkeessa tutkituista ajoneuvoliikenteen väylistä suurimmat (ks. Lähteenoja ym. 2006: 44–45).

Yksityistien suuri MIPS-luku viittaa haja-asutuksen korkeaan materiaali-intensiteettiin. Yksityisteillä on vähän käyttäjiä. Tutkittujen yksityisteiden keskimääräinen vuorokausiliikenne oli 26 ajoneuvoa. Jos liikenne kasvaa esimerkiksi 44 ajoneuvoon, laskee abioottisten luonnonvarojen kulutus 4,4 kilogrammaan kuljettua henkilökilometriä kohden (vrt. Kuva 25). MIPS-luku voi olla myös huomattavasti pienempi, jos yksityistie on erittäin kevytrakenteinen, lähinnä metsäpolkuun rinnastettavissa oleva väylä. Kuitenkin esimerkiksi posti- ja koulukuljetukset asettavat yleensä jonkinlaista vähimmäisvaatimusta sellaisen yksityistien rakenteeseen ja kunnossapitoon, jonka varrella on pysyvää asutusta.

Esimerkkikunnat: Forssa ja Helsinki

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahta esimerkkikuntaa, joiden pääkaduille ja tonttikaduille laskettiin henkilöautolla ajamisen MIPS-luvut.

Forssan pääkadun abioottinen MIPS henkilöautoliikenteessä on 0,37 kg/hlö-km, Helsingin keskimääräisillä pääkaduilla 0,28 kg/hlö-km. Suomessa keskimääräisellä pääkadulla abioottinen MIPS on 0,17 kg/hlö-km. Tämä luku on luonteeltaan karkea, koska tarkkaa tietoa pääkatujen keskimääräisestä vuorokausiliikenteen määrästä Suomessa ei ole saatavilla. Tässä tutkimuksessa erot erilaisten kuntien MIPS-luvuissa johtuvatkin liikennesuoritetietojen karkeudesta eikä niinkään niiden todellisesta vaihtelusta (vrt. luvut 2.2.6 ja 3.2).

Pyöräliikenne

Pyöräliikennettä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa Helsingin pyöräteillä keskimäärin ja Helsingin Eläintarhanlahden vilkasliikenteisellä pyörätiellä. Tavoitteena oli mallintaa, kuinka pyörällä ajamisen MIPS-luku muuttuu, kun pyöräliikennettä on huomattavasti enemmän kuin Suomen pyöräteillä keskimäärin. Vilkasliikenteisillä pyöräteillä abioottisten luonnonvarojen MIPS-luku pienenee alle puoleen keskimääräisen pyörätien 0,38 kilogrammasta 0,15 kilogrammaan ajettua kilometriä kohden.

Pyöräliikenne ei aiheuta päästöjä kuten ajoneuvoliikenne, mutta sen vaatiman infrastruktuurin rakentaminen, ylläpito ja valaistus kuluttavat luonnonvaroja. Pyöräilijät siirretään usein ajoneuvoliikenteestä erilleen turvallisuussyistä. Erillisten pyöräliikenteen väylien rakentamisen sijaan pyöräilijöiden turvallisuutta voitaisiin myös parantaa esimerkiksi ajonopeuksia madaltamalla (kts. tarkemmin Lähteenoja ym. 2006: 34-36).

Raideliikenne

Paikallisen tason raideliikenteestä tarkasteltiin tässä tutkimuksessa Helsingin metroliikenteen ja raitiovaunuliikenteen sekä pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen materiaalinkulutusta kuljettua henkilökilometriä kohden. Metrolla kulkeminen kuluttaa 0,29 kg, raitiovaunulla 0,36 kg ja pääkaupunkiseudun lähijunalla 0,53 kg abioottisia materiaaleja henkilökilometriä kohden.

Metroliikenteessä kuluu abioottisia materiaaleja henkilökilometriä kohden vähemmän kuin raitiovaunuliikenteessä, vaikka sen ratalinjan infrastruktuuri ilman asemaakin on huomattavasti raskaampi (vrt. Taulukko 20). Metroliikenteen täydellinen erottaminen muusta liikenteestä mahdollistaa nopeamman liikenteen ja suuremman kapasiteetin kuin raitiovaunuliikenne.

4.2 SUOMEN PAIKALLISEN LIIKENTEEN MATERIAALIN KÄYTÖN PIENENTÄMISMAHDOLLISUUKSIA

Paikallisen liikenteen materiaali-intensiteetin ja luonnonvarojen kokonaiskäytön pienentämismahdollisuuksia voidaan pohtia eri näkökulmista. Seuraavassa niitä on jaoteltu infrastruktuurin, sitä käyttävän liikenteen ja yhdyskuntarakenteen kannalta.

Infrastruktuuri

Abioottisten luonnonvarojen ja veden kokonaiskäytön kannalta infrastruktuuri on ratkaisevasa asemassa (vrt. luku 3.1.1). Uusien väylien rakentaminen lisää aina luonnonvarojen kokonaiskäyttöä. Olemassa olevien väylien kunnossapito sen sijaan kuluttaa luonnonvaroja uudisrakentamista vähemmän (vrt. luvut 2.2.4 ja 2.2.5). Uudet väylät myös pikemmin lisäävät kuin vähentävät suoritetta eli liikenteen määrää, koska ne nostavat liikennejärjestelmän palvelutarjonnan myötä myös kysyntää. Tämä omalta osaltaan lisää luonnonvarojen kokonaiskäyttöä.

Jos uuden väyläosuuden rakentaminen kuitenkin selvästi lyhentää matkoja tai edistää vähemmän luonnonvaroja kuluttavan liikennemuodon käyttöä (Taulukko 23), saattaa infrastruktuu-

rin lisärakentaminen johtaa luonnonvarojen käytön vähentämiseen. Esimerkkejä tästä voivat olla pyöräliikenteen kannalta olennaisen pyörätieosuuden rakentaminen tai bussiliikennettä nopeuttavan katuosuuden tai kaistan rakentaminen (kuten tehtiin esimerkiksi Helsingissä Jokeri-bussireittiä varten).

Etelä-Espoon ja Helsingin välisen joukkoliikenteen kehittämisestä on keskusteltu pitkään. Joulukuussa 2005 julkaistussa ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa (Ruoholahti-Matinkylä... 2005) verrataan erilaisia linja-auto-, pikaraitiotie- tai metroyhteyteen perustuvia vaihtoehtoja. YVA-selostus ei ota yksityiskohtaisesti kantaa eri vaihtoehtojen materiaali-intensiteettiin eikä sitä tässä tutkimuksessa enää ehditty huomioimaan yksityiskohtaisesti. Tämän tutkimuksen tulosten valossa voidaan todeta, että niin linja-auto kuin metro ja raitiotie ovat materiaali-intensiteettinsä kannalta edullisia liikennevälineitä (Taulukko 23). Tämän tutkimuksen tulosten mukaan linja-auto kuluttaa näistä vaihtoehtoista vähiten abiottisia luonnonvaroja ja vettä, metro vähiten ilmaa. Raitiotie kuluttaa eniten kaikissa kolmessa luonnonvarakategoriassa. Erot linja-autoon ja metroon ovat kuitenkin melko pieniä, joten nykyistä raitiotietä nopeamman ja kapasiteetiltaan tehokkaammin käytetyn pikaraitiotien MIPS-luvut olisivat todennäköisesti samaa tasoa (vrt. myös 3.4.2). Abioottisten luonnonvarojen kokonaiskäytön kannalta edullisin ratkaisu olisi vähiten uutta infrastruktuuri tarvitseva vaihtoehto, todennäköisesti lähinnä jo olemassa olevia väyliä käyttävä linja-auto. Raitiotien abiottisten luonnonvarojen käyttö väyläkilometriä kohden on metroa huomattavasti alhaisempi (Taulukko 20), mutta katuliikenteestä erillään olevan pikaraitiotien materiaalipanokset olisivat nykyistä raitiotietä korkeampia. Tämän tutkimuksen tulokset siten tukevat YVA-selostuksen (Ruoholahti-Matinkylä... 2005: 136) karkeata arviota, jonka perusteella linja-auto- ja pikaraitiotievaihtojen edellyttämä maa- ja kallioainesten käyttö olisi murto-osa maanalaisen metroradan tarpeesta. Ilman kulutuksen kannalta metro on edullisin ratkaisu (Taulukko 23), muttei perinteinen raitiotie täysin vastaa pikaraitiotietä. Tämäkin tukee YVA-selostuksen tulosta, jonka mukaan ilman kulutusta vastaavien hiilidioksidipäästöjen kannalta metro olisi 45 % ja pikaraitiotie 32 % bussia edullisempää (Ruoholahti-Matinkylä... 2005: 124).

Kadun rakentamiseen käytettävillä materiaaleilla on huomattavaa vaikutusta materiaalipanoksen suuruuteen. Käyttämällä neitseellisten rakennusmateriaalien sijaan kierrätysmateriaaleja tai toisten rakennushankkeiden sivutuotteita voidaan kadun ekotehokkuutta parantaa merkittävästi. Hänninen ym. (2005: 77 - 79) tutkimuksessa on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin luonnonvarojen käytön tehostamista katujen rakentamisessa ja ylläpidossa.

Infrastruktuuria käyttävä liikenne

Vilkaasti liikennöityjen katujen suhteellisen pienistä MIPS-luvuista (Kuva 14, Kuva 15, Kuva 18) saattaa syntyä mielikuva, että liikenteen kasvu olemassa olevilla väylillä lisää ekotehokkuutta. Jos liikenne eli palvelusuorite kasvaa olemassa olevilla väylillä, MIPS-luvut pienenevät (vrt. luku 1.6.1). Tämä ei kuitenkaan tarkoita luonnonvarojen kokonaiskäytön pienenemistä. Ympäristön kannalta relevanttia on lopulta kokonaiskulutus eikä suhteellisten MIPS-lukujen suuruus, mikä on hyvä pitää mielessä liikenteen materiaali-intensiteetistä keskusteltaessa. Suurempi ekotehokkuus eli pienempi MIPS-luku ei ole siis yhtä kuin pienempi luonnonvarojen kokonaiskäyttö. Tämä tutkimus tukee siten näkökulmaa, jonka mukaan ekotehokkuuden lisäksi on tavoiteltava kohtuullisuutta (esim. Schmidt-Bleek 2000: 109–111). Ekotehokkuutta lisää esimerkiksi liikennevälineen täyttöasteen tai infrastruktuurin käytön nostaminen. Kummassakin tapauksessa luonnonvarojen kulutus suhteessa suoritteeseen laskee.

Kohtuullisuutta edustaa pyrkimys liikennesuoritteiden pienentämiseen, jolloin seurauksena on myös kokonaiskulutuksen lasku.

Vaikuttamalla kulkumuototapaan voidaan myös tehostaa luonnonvarojen käyttöä. Joukkoliikennevälineet ovat MIPS-luvuiltaan edullisia (Taulukko 23). Lisäksi joukkoliikenteen suunnitelmallinen edistäminen lisää katujen käyttöä, koska kuljetuskapasiteetti on parempi kuin yksityisautoilussa. Tämä vähentää infrastruktuurin lisärakentamisen tarvetta, mikä on oleellista abiottisten luonnonvarojen ja veden käytön kannalta. Myös polttoaineen kulutus vähenee, mikä on tärkeää ilman kulutuksen ja sen myötä myös hiilidioksidipäästöjen kannalta. Raide liikenteen suhteellisen korkeata veden kulutusta voidaan laskea käyttämällä sellaista sähköä, jonka vesivoiman osuus on pientä (vrt. Vihermaa ym. 2005: 19).

Pakettiautokuljetusten korkeat MIPS-luvut (Kuva 15, Kuva 17, Kuva 24) viittaavat siihen, että tavarakuljetuksissa kuluu merkittävästi luonnonvaroja kuljetusketjujen alku- ja loppupään nouto- ja jakelukuljetuksissa. Myös Lähteenojan ym. (2006: 68–72) tulokset vahvistavat tätä. Pakettiautoilla on keskimäärin huomattavasti alhaisempi täyttöaste kuin kuorma-autoilla (vrt. Taulukko 17). Nouto- ja jakelukuljetusten tehostaminen voi siten merkittävästi vähentää liikennesuoritetta ja luonnonvarojen käyttöä.

Kaupunkialueiden ruuhkaisuutta on pyritty vähentämään ruuhkamaksuilla esimerkiksi Lontoossa ja Tukholmassa. Alustavien kokemusten perusteella ruuhkamaksujen avulla henkilöautoliikenne on sekä vähentynyt että siirtynyt vähemmän ruuhkaisiin reitteihin tai ajankohtiin. Jos nuo alustavat kokemukset osoittautuvat pysyviksi, eli jos ruuhkamaksut vähentävät pysyvästi paineita infrastruktuurin lisärakentamiseen sekä vähentävät henkilöauton käyttöä, voidaan ruuhkamaksut todeta keinoksi kaupunkiliikenteen materiaali-intensiteetin ja luonnonvarojen kokonaiskäytön pienentämiseen.

Yhdyskuntarakenne

Tonttikatujen ja yksityisteiden korkeat MIPS-luvut (esim. Kuva 14, Kuva 15, Kuva 18, Kuva 19) ovat esimerkki yksityisautoiluun tukeutuvan ja hajanaisen yhdyskuntarakenteen ongelmallisuudesta. Väljät omakotitaloalueet ja haja-asutusalueet, joissa tonttikatuja tai yksityisteitä on paljon suhteessa niiden käyttäjiin, vaativat suuren energiakulutuksensa (vrt. luku 1.3.3) lisäksi myös suuria materiaalipanoksia, vaikka väyliä käytetään vähän. Tiivistämällä yhdyskuntarakennetta niin taajamissa kuin myös haja-asutusalueilla voidaan lisätä asutusta olemassa olevien liikenneväylien varteen, lisätä olemassa olevien väylien käyttöä ja vähentää samalla uusien vähäkäyttöisten väylien rakentamista. Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen voi myös pienentää liikenteen luonnonvarojen kokonaiskulutusta, mikäli sen avulla pienenee liikennesuorite.

Jos yhdyskuntarakennetta tiivistetään rakentamalla uusia asuinalueita heikolle maapohjalle, nousee uuden infrastruktuurin materiaali-intensiteetti (vrt. Taulukko 5 ja Taulukko 6). Tällöin saattaa abiottisten luonnonvarojen kulutus nousta verrattuna tilanteeseen, jossa rakentaminen kohdistuu kantavammalle maapohjalle, mutta pidemmän matkan päässä sijaitsevalle alueelle. ”Kannattavuuden” raja luonnonvarojen käytön näkökulmasta on laskettava tapauskohtaisesti. Tämän tutkimuksen tuottamat luvut helpottavat tällaisten tarkastelujen tekemistä.

Uusien asuinalueiden suunnittelussa autojen pitäminen korttelin tai alueen ulkopuolella voi merkittävästi vähentää luonnonvarojen kulutusta. Jos autottomuus mahdollistaa ajoväyliä

pienempien ja kevyempien kulkuyhteyksien rakentamisen esimerkiksi kortteleiden sisällä, voi liikenneinfrastruktuurin rakentamisen tarve vähentyä huomattavasti. Lisäksi autojen pitäminen alueen ulkopuolella saattaa edistää muiden liikennemuotojen kuin eniten luonnonvaroja kuluttavan henkilöauton (vrt. Taulukko 23) käyttöä. Esimerkiksi Itävallassa pysäköinnin järjestäminen asuinkortteleiden ulkopuolelle on parantanut joukkoliikenteen käyttöä ja vähentänyt asukkaiden liikennesuoritetta eli matkojen pituutta ja määrää (Knoflacher 1995).

4.3 MIPS-MENETELMÄN ARVIOINTIA

MIPS-menetelmä tarjoaa yksinkertaisen mittarin ekotehokkuuden määrittämiseen. Kuten kaikessa elinkaarilaskennassa joudutaan myös MIPS-laskennassa tekemään laskentaa helpotettavia oletuksia ja rajauksia. MIPS-laskentaa onkin kutsuttu eräänlaiseksi alustavaksi elinkaariarvioinniksi, jossa analyysien tulee olla vähemmän työläitä ja riittää, että tulokset osoittavat oikean suunnan (Schmidt-Bleek 2002). Suomen paikallisen liikenteen luonnonvarojen käytön tehokkuuden laskemiseksi MIPS-menetelmä soveltuu tältä osin hyvin, koska tutkimus on ensimmäisiä lajissaan ja tutkimuskohteen hajanaisuuden vuoksi on mahdotonta kerätä kattavasti yksityiskohtaista ja tarkkaa tietoa laskelmien pohjaksi. MIPS-menetelmällä voidaan nähdä, mitkä tekijät katujen, yksityisteiden ja rataverkon sekä niillä kulkevan liikenteen materiaalinkäytössä ovat olennaisimmat.

MIPS-menetelmä soveltuu parhaiten sellaisille tuotteille, joiden käyttöikä ja joiden tarjoama palvelu on helposti määriteltävissä. Liikenneväylien kohdalla on vaikea määrittää käyttöikää, koska niiden ”käytöstä poisto” ei ole selkeästi rajattavissa oleva toimenpide. Metro- ja raitiovaunuliikenne ovat yhden tahon ylläpitämiä, ikään kuin suljettuja systeemejä. Näin ollen niiden materiaalipanos ja palvelusuorite ovat helposti määritettävissä, mutta infrastruktuurin käyttöiän määrittely ei ole niissäkään yksiselitteistä.

Yksitysteiden ja katujen kohdalla palvelusuoritteen määrittäminen on huomattavasti hankalampaa, koska niiden liikennettä ei täysin kattavasti voida nykyisin menetelmin kustannustehokkaasti seurata. Nykyisellä karkealla seurantamenetelmällä on hyvin todennäköistä, että osa näille ilmoitetusta liikennesuoritteesta kohdistuuakin maanteille. Lisäksi yksityistiet ja kadut palvelevat muitakin tarkoituksia kuin ihmisten tarvetta liikkua ajoneuvoilla paikasta toiseen. Toisaalta ajoneuvojen vuosittainen kokonaissuorite on Suomessa tiedossa, joten siltä osin FIN-MIPS Liikenne -tutkimuksessa ei ole tapahtunut kaksoislaskentaa.

Tämä tutkimus on ensimmäinen koko Suomea kattava tutkimus paikallisen liikenteen luonnonvarojen käytöstä. Luonnonvarojen käytön tehokkuutta tutkittaessa on tärkeää määrittää mahdollisimman hyvin materiaalipanos (material input, MI). Paikallisessa liikenteessä tämä tarkoittaa katujen, yksityisteiden ja raideliikenteen infrastruktuurin ja ylläpidon, sekä liikenteen ajoneuvojen elinkaaren aikaisten materiaalivirtojen tarkastelua. Helsingin raitiovaunu- ja metroluokasta sekä pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteestä oli helppo saada tietoa MI-lukuun merkittävimmin vaikuttavista tekijöistä, kuten energiankulutuksesta. Katujen ja yksityisteiden kohdalla tiedon kerääminen oli kuitenkin vaikeampaa, ja tietopohjan ollessa heikko jouduttiin liikkumaan karkealla tasolla. Katuja ja yksityisteitä hallinnoivat, rakentavat, ylläpitävät ja käyttävät monet eri tahot. Tässä tutkitut systeemit eivät ole siis kovin rajattuja systeemejä, joita koskeva tieto olisi helposti kerättävissä. Tästä huolimatta tulokset ilmentävät hyvin paikallisen liikenteen luonnonvarojen kulutuksen suuruusluokan.

4.4 EHDOTUKSIA JATKOTUTKIMUKSELLE

Kuntien katuverkkoihin käyttämien maa-ainesvirtojen seuranta on hyvin vähäistä, puhumattaakaan systemaattisesta seurannasta katuinfrastruktuurin rakentamiseen ja ylläpitoon kuluneista luonnonvaroista. Kokonaisvaltainen maapohjaolosuhteiden tuntemus on myös heikolla pohjalla. Koska Suomessakin yksi kadunrakentamisessa käytetyistä materiaaleista, sora, on paikotellen muodostumassa jo niukaksi luonnonvaraksi ja soranotolla on haitallisia vaikutuksia muun muassa harjuluontoon ja pohjavesiin, olisi tärkeää tutkia kuntien maa-ainesvirtoja nykyistä paremmin ja kehittää sen perusteella lisää keinoja neitseellisten maa-ainesvirtojen käyttöönoton vähentämiseksi.

Tutkimuksessa ilmeni, että tietopohja katujen ja yhdyskuntien maapohjasta oli hämmästyttävän heikkoa. Kehittämällä tutkimusmenetelmiä ja erityisesti tiedonkeruuta yhdyskuntien maapohjasta voitaisiin saada parempaa tietoa katuverkon alle jäävistä maapohjista. Tällainen tieto myös helpottaisi yhdyskuntasuunnittelua.

Lopullisten MIPS-laskelmien tekemiseksi tarvitaan myös tietoa siitä palvelusta, johon tuotteen materiaalipanosta suhteutetaan. Tässä tutkimuksessa palvelulla tarkoitettiin väylien tuomaa mahdollisuutta liikkua paikasta toiseen. Palvelun yksikkönä käytettiin liikenteen ajoneuvokilometriä, ja siitä johdettuja henkilö- ja tonnikilometrejä. Tiehallinto seuraa säännöllisesti maanteiden keskimääräisiä vuorokausiliikenteen määriä, mutta kuntien katusuoritteiden seuraaminen on hyvin vähäistä. Muutamassa suuressa kaupungissa suoritteita seurataan, mutta muualla seuranta on tapauskohtaista. Jotta voitaisiin paremmin määrittää paikallisen liikenteen ekotehokkuutta, olisi olennaista saada nykyistä tarkempaa tietoa liikennesuoritteista. Tämä auttaisi myös mahdollisten väyläinvestointien tehokasta kohdistamista.

Yhdyskuntarakenteen tiivistämistä pidetään liikenteen energiankulutuksen ja kokonaistaloudellisuuden kannalta tavoiteltavana. Yhdyskuntarakenteen tiivistäminen rakentamalla heikolle maapohjalle saattaa kuitenkin nostaa materiaali-intensiteettiä. Tiivistämisen ”kannattavuuden” edellytysten ja rajoitusten etsiminen luonnonvarojen käytön näkökulmasta olisi tutkimisen arvoista, koska siihen liittyy myös kaavataloudellisia näkökulmia. Kaavataloudellisten tarkastelujen kehittäminen kattamaan myös luonnonvarojen kulutusta auttaisi yhdistämään taloudellista ja ekologista näkökulmaa yhdyskuntien kehittämisessä. Tämän tutkimuksen tuottamat luvut helpottavat tällaisen tarkastelun tekemistä.

LÄHTEET

- Eerola, Esa (2005a). Forssan kaupunki. Tiedonannot sähköposteilla 4.8.2005 ja 28.9.2005
- Eerola, Esa (2005b). Forssan kaupunki. Suullinen tiedonanto 1.12.2005
- Forssan kaupunki (2005a). Forssan ympäristön tilan katsaus 2004. Ladattu 1.11.2005.
<<http://www.forssa.fi/ymparisto/Ympariston%20tilan%20katsaus.pdf>>
- Forssan kaupunki (2005b). Forssan keskustan liikenneverkkovaihtoehtojen mitoitus ja ympäristövaikutusten vertailu. Ladattu 10.9.2005.
<<http://www.forssa.fi/kaavoitus/pdf/Forssa%20liikenneverkkoraportti%20190303.pdf>>
- Forssan kaupunki (2005c). Forssan kaupungin kestävän kehityksen toimintaohjelma 2003. Ladattu 12.11.2005. <http://www.forssa.fi/ymparisto/Forssan_kekeohjelma.pdf>
- GTK (2005). Geokartta. Geologian tutkimuskeskus. Ladattu 1.6. 2005.
<http://geokartta.gtk.fi/geokartta_uk/paaframe_uk.htm>
- Hakkarainen, Elviira, Michael Lettenmeier, Arto Saari (2005). *PyöräMIPS – Pyöräliikenteen aiheuttama luonnonvarojen kulutus Suomessa (PyöräMIPS)*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 55/2005. Helsinki. 49 s. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService%253Dlvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1971&menuid=97&channelitemid=11996>>
- Hautala, Pentti (2005). SITO-yhtiöt. Suullinen tiedonanto 15.9.2005
- Heinonen, Alpo (2005). Uudenmaan tiepiiri. Suullinen tiedonanto 23.9.2005
- Helin, Pekka, Jukka Turtiainen, Matti Vesikansa (1982). *Kaupunkikuva ja rakentaminen*. Kaupunkimaisten yhdyskuntien kehittämiskampanja, julkaisu 5/1982. Helsinki. 72 s
- Hellén, Sanna (2004). *Katujen ylläpidon luonnonvarojen kulutus*. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopiston taloustieteen laitos, ympäristöekonomia. Helsinki. 82 s.
- Hellman, Tuija (2004). Liikenteen suorite Helsingissä vuonna 2003. Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosaston muistio. Ladattu 12.12.2005.
<<http://www.hel.fi/wps/wcm/resources/file/eb0e60475e6dc7e/Liikenteen%20suorite%20Helsingiss%20vuonna%202003.pdf>>
- Hellman, Tuija (2005a), Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirasto, suullinen tiedonanto 25.10.2005
- Hellman, Tuija (2005b). Helsingin Kaupunkisuunnitteluvirasto, Tiedonanto sähköpostilla 25.10.2005

- HKL (2005a). HKL-tietoa, Metron neljäkymmentä vuotta. Ladattu 26.10.2006.
<http://www.hel2.fi/HKL/suomi/07_hkltietoa/historia/histo3.html>
- HKL (2005b). Helsingin kaupungin liikelaitos. Ympäristöraportti 2004.
Ladattu 26.10.2005.
<http://www.hel.fi/hkl/suomi/07_hkltietoa/ymparisto/raportti2004.pdf>
- HKL (2005c). Helsingin kaupungin liikennelaitos. Toimintakertomus 2003. Ladattu 26.10.2005.
<http://www.hel2.fi/HKL/suomi/07_hkltietoa/toimintakertomus/joukkoliikenne_main.html>
- Hämäläinen, Hilikka (2005). Uudenmaan tiepiiri. Suullinen tiedonanto 21.9.2005
- Hänninen, Salla (2005). *Luonnonvarojen käyttö katurakentamisessa*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto. Espoo.
- Hänninen, Salla, Sanna Hellén, Michael Lettenmeier, Sakari Autio (2005). *MateriaEuro – Luonnonvarojen käyttö Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa*. 86 s. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisuja 1. 96 s. Saatavana pdf-muodossa:
< http://www.hel.fi/static/hkr/julkaisut/2005_materiaeuro.pdf>
- Hölttä, Tapio (2005). HKL. Tiedonannot sähköpostilla 17.8.2005 ja 1.11.2005.
- Juuti, Vesa (2005). Valtion rautatiet. Tiedonanto sähköpostilla 26.10.2005
- Jääskeläinen, Saara (2004). Liikennesektorin ympäristökäsikirja. Luonnos. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 2004. Edita Publishing Oy. Helsinki. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://www.mintc.fi/oliver/upl921-Ymp%C3%A4rist%C3%B6k%C3%A4sikirja.pdf>>
- Jääskeläinen, Saara (2005). Liikenne- ja viestintäministeriö. Tiedonanto sähköpostilla 14.10.2005.
- Kalenoja, Hanna & Harri Kallberg (1998). Liikenteen energiankulutus, päästöt ja ympäristövaikutukset. *Liikenne- ja kuljetustekniikan laitoksen opetusmonisteita*. Tampereen teknillinen yliopisto. 216 s.
- Katu 02 (2003). *Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet*. Suomen kuntatekniikan yhdistys. Jyväskylä 2003.
- Kauppi, Jussi (2005a). Yhdyskuntatekniikan päällikkö, Suomen Kuntaliitto. Tiedonanto ja taulukko kuntien päällysteistä sähköpostilla 15.6.2005
- Kauppi, Jussi (2005b). Yhdyskuntatekniikan päällikkö, Suomen Kuntaliitto. Tiedonanto sähköpostilla 4.8. 2005.
- Kaupunkiliikenne (2005). Ladattu 17.8.2005. <www.kaupunkiliikenne.net/mikametro.htm>

- Kaupunkiseutujen pääväylät: tilaselvitys* (1995). Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 41. 66 s. Helsinki.
- Knoflachner, Hermann (1995). *Kaupungin ja liikenteen harmonia. Vapaus autolla ajamisen pakosta*. Liikennesuunnittelun Seura ry. 120 s.
- Kopra, Pekka (1992). *Haja-asutusalueen rakentamisen ja asumisen kustannukset*. YM KRO Selvitys 6. 96 s.
- Korhonen, Osmo (2005). Helsingin kaupungin rakennusvirasto, geotekninen osasto. Suullinen tiedonanto 28.7.2005.
- Kuntaliitto (2005). Kunnat.net, Liikenne, kadut ja yleiset alueet. Excel-taulukko kuntien hoitamista liikenneväylistä 1997-2001. Ladattu 5.2005.
<http://www.kunnat.net/k_peruslistasivu.asp?path=1;29;356;24706>
- Laakso, Kari (1998). *Elinkaariarviointi katutoimen päätöksenteon apuvälineenä*. Helsingin kaupungin rakennusviraston selvityksiä 1. 34 s. Helsinki.
- Laakso, Seppo & Heikki A. Loikkanen (2004). *Kaupunkitalous*. Gaudeamus Kirja. 500 s.
- Lahti, Pekka (1996). *Yhdyskuntarakenne ja infrastruktuuri*. Kaupunkien kehittämistyöryhmän julkaisu III. Aluekehitysosaston julkaisu 3, Sisäasiainministeriö.
- Lehtinen, Jukka (2005a). Pientieasiat, Tiehallinto. Tiedonannot sähköpostilla 5.8.2005 ja 9.9.2005.
- Lehtinen, Jukka (2005b). Pientieasiat, Tiehallinto. Suullinen tiedonanto 23.9.2005
- Liikenne Helsingissä 2002* (2003). Helsingin kaupungin tietokeskuksen tilastoja 3. Helsinki. 128 s.
- Liikenne yhdyskunnan suunnittelussa* (2003). Ympäristöopas 103. Alueidenkäyttö. Ympäristöministeriö. Helsinki. 295 s.
- Henkilöliikennetutkimus 1998–1999* (1999). Liikenneministeriön julkaisuja 43/99, Helsinki
- Liikenne- ja viestintäministeriö (2005). *Liikenneväyläpolitiikan linjauksia vuosille 2004–2013*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 8/2004. Ladattu 15.9.2005.
<http://www.mintc.fi/oliver/upl540-Vaylat_2004-2013_Selvitys.pdf>
- Lilleberg, Irene & Tuija Hellman (2004). *Liikenteen kehitys Helsingissä vuonna 2004*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 6. Helsinki 42 s.
- Linna, Rami (2005). Kurikan kaupunki. Tiedonanto sähköpostilla 29.9.2005.

London Underground (2005). The Tube, Company Information. Ladattu 11.11.2005.
<<http://www.tfl.gov.uk/tube/company/>>

Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa (2000). Suomen ympäristö 428. Helsinki. 90 s.

Lähteenoja, Satu, Michael Lettenmeier, Arto Saari (2006). *LiikenneMIPS. Suomen liikennejärjestelmän luonnonvarojen kulutus*. Suomen ympäristö 820. Edita, Helsinki.

Manss, Bo (1987). Katuverkolla 25 % maan autoliikenteen kokonaissuoritteesta. Suomen kunnallislehti 13.

Mäenpää, Ilmo & Jari Rintala (2000). Rakentamisen maa-ainesten käyttö. Ekotehokas Suomi –projekti. Thule-instituutti. Ladattu 17.5.2005.
<<http://thule.oulu.fi/ecoef/assets/pdfs/maa.pdf>>

Mäkitalo, Miika (2005). Ratahallintokeskus. Liikennejärjestelmäosasto. Tiedonanto sähköpostilla 5.11.2005

Mäkelä, Kari (2005a). Erikoistutkija, VTT. Tiedonanto sähköpostilla 9.8.2005.

Mäkelä, Kari (2005b). Erikoistutkija, VTT. Suullinen tiedonanto 25.11.2005.

Naskila, Antero (2005). Helsingin kKaupunkisuunnitteluvirasto, suullinen tiedonanto 27.9.2005

Nieminen, Anni, Michael Lettenmeier, Arto Saari (2005): *Luonnonvarojen kulutus Suomen lentoliikenteessä (LentoMIPS)*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 57/2005. 130 s. Edita, Helsinki. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1971&menuid=97&channelitemid=11999>>

Partanen, Jukka (2005). Sulkavan kunta. Tiedonanto sähköpostilla 30.9.2005

Pietikäinen, Aino (2005). Keski-Suomen tiepiiri. Suullinen tiedonanto 21.9.2005

Pusenius, Kaisa, Michael Lettenmeier, Arto Saari (2005). *Luonnonvarojen kulutus Suomen tieliikenteessä (TieMIPS)*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 54/2005. 68 s. Edita, Helsinki. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1971&menuid=97&channelitemid=11995>>

Pääväylät kaupunkialueilla. Pääväylä ja ympäristö (1991). Tielaitoksen selvityksiä 60/1991. Tiehallitus. Kehittämiskeskus. Helsinki. 36 s.

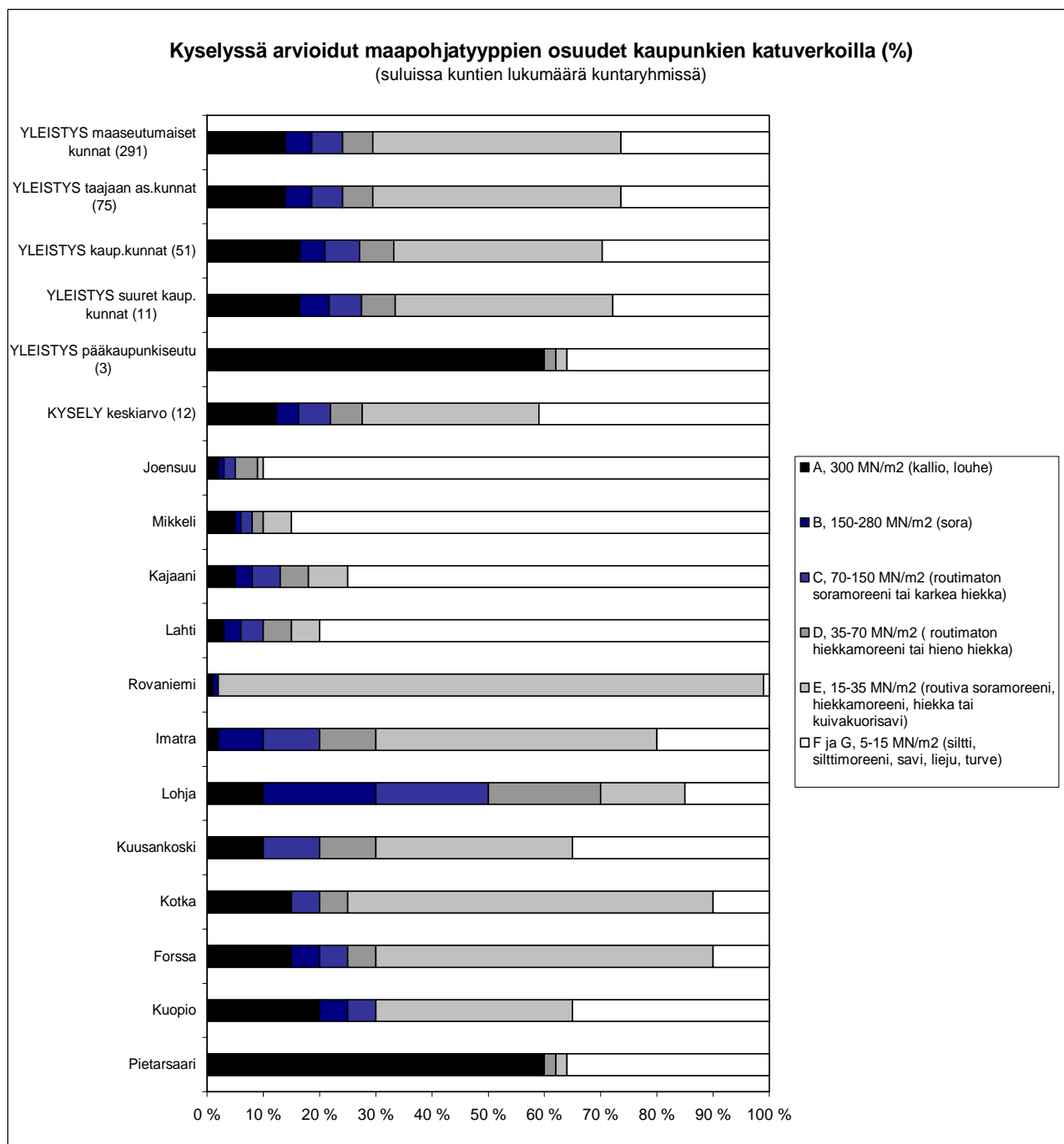
Rautiainen, Jari (2005). Heinolan kaupunki. Tiedonanto sähköpostilla 29.9.2005.

RIL 165-2 Liikenne ja väylät II (1988). Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL. 558 s. Helsinki.

- Ristimäki, Mika, Kari Oinonen, Harri Pitkäranta, Kaisu Harju (2003). *Kaupunkiseutujen väestömuutos ja alueellinen kasvu*. Suomen ympäristö 657, Alueiden käyttö. Helsinki. 196 s
- Ruoholahti-Matinkylä metron/raideyhteyden ympäristövaikutusten arviointimenettely, arviointiselostus (2005). Espoon kaupunki, Helsingin kaupunki, liikenne- ja viestintäministeriö, YTV. 167 s. Ladattu 13.2.2006.
<<http://www.raideyva.fi/index.htm>>
- Savimassojen hyötykäytön tulevaisuus - kehityspolun arviointi*. Raportti. Vantaa-Helsinki-Espoo 2004. SCC Viatek Oy 2004.
- Schmidt-Bleek, Friedrich (2002). Suom. ja toim. Michael Lettenmeier. *Luonnon uusi lasakuoppi – ekotehokkuuden mittari MIPS*. 320 s. Gaudeamus, Helsinki.
- Seppälä, Matti. (1999). Geomorphological aspects of road construction in a cold environment, Finland. *Geomorphology* 31: 65-91
- Sirkiä, Ari, Antti Markkanen, Heikki Metsäranta (2000). *Henkilöliikenteen infrastruktuurin nykytila ja muutostekijät*. Liikenneministeriön julkaisuja 21. 112 s. Helsinki.
- Westerholm, John & Pauliina Raento (toim) (1999). *Suomen kartasto 1999: 100-vuotisjuhlakartasto*. Suomen maantieteellisen seuran julkaisuja. 207 s. Porvoo.
- Suomen raitiotieseura ry (2005). Helsingin metro. Ladattu 17.8.2005.
<<http://www.nettilinja.fi/~ahellman/metro/mperus.htm>>
- Suomen Tieyhdistys (2005a). Yksityistiet. Ladattu 1.7.2005.
<<http://www.tieyhdistys.fi/yksityistiet/>>
- Suomen Tieyhdistys (2005b). Yksityistie uutiset 2005. Ladattu 19.9.2005.
<<http://www.tieyhdistys.fi/ladattavattiedostot/tie5sivu.pdf>>
- Talvipyöräilyn laajuus, sen esteet ja motiivit sekä terveysvaikutukset 2003. Liikenne- ja viestintäministeriön Jaloin-hanke. Oulu. Saatavana pdf-muodossa:
<http://www.hel2.fi/ksv/Mita_suunnitellaan/Liikenne/jarjestelma_pyora/talvipp_raportti.pdf>
- Tamminen, Jukka (2005). Kaakkois-Suomen tiepiiri. Suullinen tiedonanto 23.9.2005
- Tiehallinto (2005a). Yksityistiet. Ladattu 1.7.2005.
<http://www.tiehallinto.fi/servlet/page?_pageid=75&_dad=julia&_schema=PORTAL30&kieli=fi&menu=602&_pageid=71&linkki=889&julkaisu=466&kieli=fi>
- Tiehallinto (2005b). Tiefakta 2004. Ladattu 15.9.2005.
<www.tieh.fi/thtieto/tiefakta-04su.pdf>
- Tiehallinto (2005c). Yksityisteiden kunnossapito. Ladattu 11.8.2005.
<<http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/6090.PDF>>

- Tielaitos (1999). *Tietoa teistä ja tieliikenteestä*. 78 s. Helsinki.
- Tilastokeskus (2005). Alueluokitukset. Ladattu 20.7.2005.
<http://www.stat.fi/tk/tt/luokitukset/index_alue_keh.html>
- Torppa, Juhani (2005). Koskelan varikko. Suullinen tiedonanto 17.11.2005.
- Tuominen, Anu (2005). VTT. Tiedonanto sähköpostilla 7.11.2005.
- Turpeinen, Oiva (1995). *Kunnallistekniikkaa Suomessa keskiajalta 1990-luvulle*. 360 s. Jyväskylä.
- Uutela Kari (2005). Oulun tiepiiri. Suulliset tiedonannot 21.9.2005 ja 23.9.2005.
- Vihermaa, Leena (2005). *Suomen raideliikenteen ekotehokkuus MIPS-laskentaa hyödyntäen*. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto. Biotieteellinen tiedekunta. Ympäristönsuojelutiede. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/bio/bioja/pg/vihermaa/>>
- Vihermaa, Leena, Michael Lettenmeier, Arto Saari (2005). *Luonnonvarojen kulutus Suomen rautatieliikenteessä (RautatieMIPS)*. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 56. Helsinki. Saatavana pdf-muodossa:
<<http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService=lvm/cm/pub/showdoc.p?docid=1971&menuid=97&channelitemid=11998>>
- VR (2005). Lähiliikenteen maantieteellinen kartta. Ladattu 1.11.2005.
<<http://www.vr.fi/heo/lahi/freittikartta.htm>>
- VTT (2005a). LIISA-2003 -järjestelmä. Ladattu 5.6.2005.
<<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/liisa2003raportti.pdf>>
- VTT (2005b). RAILI-2004 -järjestelmä. Ladattu 12.10.2005.
<<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/raili/raili2004raportti.pdf>>
- Yksityisteiden ominaisuus- ja kuntotiedon keruun kehittäminen* (2004). Tarveselvitys. Tiehallinnon selvityksiä 23. 30s. Helsinki.
- Ympäristötieto ja tietolähteet tiensuunnittelussa* (1998). Tielaitos. 85 s. Helsinki.

LIITE 1. Maapohjatyypin arvioituja jakaumia



LIITE 2. Laskelmissa käytetyt kuntaryhmät, laskennalliset katuluokat ja suoritteet

Kuntaryhmien katupituuksia ja laskennallisia liikennemääriä				Laskennalliset katuluokkien pituudet *1			Suoritteiden jakautuminen % *5			Laskennallinen KVL			
	väkiluku 2003	liikennesuorite (ajoneuvokm/a)*4	katuverkon pituus (km) *2	pääkadut	kokoojakadut	tonttikadut	pääkadut	kokoojakadut	tonttikadut	pääkadut	kokoojakadut	tonttikadut	keski-määräinen KVL
Pääkaupunkiseudun suuret kunnat													
yhteensä	967 600	2 271 624 348	2 243										
Suuret kaupunkimaiset kunnat													
yhteensä	1 075 038	3 414 416 129	4 573										
keskimääräinen kunta*3	88 250	280 289 835	398	16	107	271	80	10	10	38 589	715	284	1 929
Kaupunkimaiset kunnat													
yhteensä	1 192 686	3 788 076 622	7 677										
keskimääräinen kunta	22 396	71 131 684	158	6	43	107	75	10	15	23 127	457	272	1 233
Taajaan asutut kunnat													
yhteensä	911 281	2 894 309 359	4895										
keskimääräinen kunta	10 630	33 761 824	61	2	16	41	75	10	15	28 432	562	334	1 516
Maaseutumaiset kunnat													
yhteensä	1 071 074	3 401 826 113	5417										
keskimääräinen kunta	3 162	10 042 793	14	0,6	3,8	9,5	75	10	15	34 393	728	434	1 965
YHTEENSÄ													
<i>Yhteensä ilman Helsinkiä, Espoota ja Vantaata</i>													
	4 252 400	13 505 999 924	22 562										

*1 Laskennallisissa katujen pituuksissa on oletettu olevan pääkatuja 4 %, kokoojakatuja 28 % ja tonttikatuja 68 % katuverkon pituudesta. Jakauma Tietoa teistä... (1999) mukaan.

*2 Kuntaliiton vuoden 2001 tilastojen mukaan (Kuntaliitto 2005).

*3 Keskimääräinen kunta on tarkastellun tilastollisen kuntaryhmän mediaaniarvoa edustava kunta katuverkon pituuden ja väkiluvun suhteen.

*4 Liikennesuorite lasketaan LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) mukaisesti suhteessa väkilukuun lukuun ottamatta pääkaupunkiseudun kuntia.

*5 Jakauma LIISA 2003-järjestelmän (VTT 2005a) mukaan, lukuun ottamatta maaseutumaisia kuntia, jotka tässä esitetty katuluokittain, ei rakennuskaavateinä.

LIITE 3. Laskelmissa käytettyjä ajoneuvotyyppien jakautumia ja suoritteiden määriä

Moottoriväylät (maantiet) ja katuluokat Helsingissä	Ha	La	Pa	Kaip	Kait ja Katp	Kokonaissuorite (milj. km/a)	Pituus (km)	KVL
Moottoriväylät ja rampit (suorite milj. km/a)	853	18	108	38	19	1036	98	28 963
Ajoneuvojakauma %	82,3	1,7	10,4	3,7	1,8			
Pääkadut (suorite milj. km/a)	588	23	85	29	6	731	116	17 265
Ajoneuvojakauma %	80,4	3,1	11,6	4,0	0,8			
Kokoojakadut (suorite milj. km/a)	371	22	53	16	2	464	276	4 606
Ajoneuvojakauma %	80,0	4,7	11,4	3,4	0,4			
Tonttikadut (suorite milj. km/a)	123	4	16	6	0	149	722	565
Ajoneuvojakauma %	82,6	2,7	10,7	4,0	0,0			
Yhteensä (suorite milj. km/a)	1935	67	262	89	27	2380	1212	5 380
Ajoneuvojakauma %	81,3	2,8	11,0	3,7	1,1			

(Hellman 2004)

PÄÄKADUT, KOKOOJAKADUT	Suoritteiden jakautuminen ajoneuvotyyppien mukaan (%)						Infrastruktuurin allokointi ajoneuvoille painotetulla henkilöautokertoimella (%)					
	Ha	La	Pa	Kaip	Kapp	Katp	Ha	La	Pa	Kaip	Kapp	Katp
Suuret kaupunkimaiset kunnat*1	83,4	2,5	11,3	2,0	0,4	0,4	78,5	4,7	10,6	3,8	1,2	1,2
Pienet kaupunkimaiset kunnat*2	85,2	0,8	11,0	2,3	0,4	0,4	81,2	1,5	10,5	4,4	1,2	1,2
Taajaan asutut kunnat*2	85,2	0,8	11,0	2,3	0,4	0,4	81,2	1,5	10,5	4,4	1,2	1,2
Maaseutumaiset kunnat*3	87,0	0,1	10,0	2,0	0,5	0,5	83,7	0,1	9,6	3,8	1,4	1,4
Koko Suomi (VTT 2005)	85,0	1,1	10,8	2,3	0,4	0,4	81,0	2,1	10,3	4,4	1,1	1,1
TONTTIKADUT*4												
Suuret kaupunkimaiset kunnat*1	83,4	11,3	2,5	2,0	0,9		78,5	10,6	4,7	3,8	2,4	
Pienet kaupunkimaiset kunnat*2	85,2	11,0	0,8	2,3	0,8		81,2	10,5	1,5	4,4	2,3	
Taajaan asutut kunnat*2	85,2	11,0	0,8	2,3	0,8		81,2	10,5	1,5	4,4	2,3	
Maaseutumaiset kunnat*3	87,0	10,0	0,1	2,0	1,0		83,7	9,6	0,1	3,8	2,7	
Koko Suomi	85,0	10,8	1,1	2,3	0,8		81,0	10,3	2,1	4,4	2,3	

*1 LIISA 2003-järjestelmässä (VTT 2005a) annettu oma ajoneuvotyyppien jakauma seuraaville kaupungeilla joita tässä kutsutaan suuriksi kaupunkimaisiksi kunniksi.

*2 LIISA 2003-järjestelmässä (VTT 2005a) tämä suoritteiden jakauma annettu ryhmälle "muut kaupungit", jotka tässä yleistetty vastaavan Tilastokeskuksen tilastollisen luokituksen mukaisesti kaupunkimaisia kuntia tai taajaan asuttuja kuntia.

*3 LIISA 2003-järjestelmässä (VTT 2005a) tämä suoritteiden jakauma annettu ryhmälle "maaseutukunnat", joka tässä oletettu vastaavan Tilastokeskuksen "maaseutumaisia kuntia".

*4 Tonttikaduilla jakauma muuten sama, mutta täysperävaunurekkojen (Katp) suorite on siirretty puoliperävaunurekoille (Kapp).

LIITE 4. Keskimääräisten katuluokkien MI-lukujen erittely

RAKENTAMINEN	tonnia/vuosi			tonnia/kilometri		
	Abioottiset	vesi	ilma	Abioottiset	vesi	ilma
PÄÄKADUT	832 985	71 064	2 229	774	66	2
KOKOOJAKADUT	2 561 228	299 842	9 233	378	44	1
TONTTIKADUT	3 784 969	514 928	14 525	223	30	1
YHTEENSÄ t/a	7 179 182	885 834	25 987			
YLLÄPITO	t/a			t/km		
	Abioottiset	vesi	ilma	Abioottiset	vesi	ilma
PÄÄKADUT	342 353	10 436 853	21 068	318	9 695	20
KOKOOJAKADUT	835 856	53 593 880	107 385	123	7 900	16
TONTTIKADUT	924 462	74 612 713	108 595	55	4 404	6
YHTEENSÄ t/a	2 102 671	138 643 446	237 048			
SIIRRETTY SADEVESI	t/a			t/km		
		vesi			vesi	
PÄÄKADUT		5 959 514			5 536	
KOKOOJAKADUT		30 844 994			4 547	
TONTTIKADUT		57 993 324			3 423	
YHTEENSÄ t/a		94 797 833				
YHTEENSÄ INFRASTRUKTUURI	t/a			t/km		
	Abioottiset	vesi	ilma	Abioottiset	vesi	ilma
PÄÄKADUT	1 175 338	16 457 499	23 296	1 092	15 287	22
KOKOOJAKADUT	3 397 084	84 698 360	116 618	501	12 485	17
TONTTIKADUT	4 709 431	133 036 795	123 120	278	7 852	7
YHTEENSÄ t/a	9 281 853	234 192 654	263 035	374	9 442	11
AJONEUVOJEN KULUTUS	t/a					
	Abioottiset	vesi	ilma			
PÄÄKADUT	2 130 904	21 608 253	2 562 242			
KOKOOJAKADUT	277 732	2 793 369	333 371			
TONTTIKADUT	368 233	3 525 358	438 036			
YHTEENSÄ ajoneuvot t/a	2 776 869	27 926 980	3 333 649			
YHTEENSÄ INFRA JA AJONEUVOT t/a	12 058 722	262 119 635	3 596 685			

LIITE 5. Ajoneuvoliikenteen kulutuksen erittely

Ajoneuvojen kuluttamat luonnonvarat henkilö- ja tavaraliikenteessä eri katuluokilla				
Abioottinen				
	henkilöliikenne eri katuluokilla kg			YHTEENSÄ
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	1 514 792 812	196 885 539	257 177 036	1 968 855 386
Yhteensä t	1 514 793	196 886	257 177	1 968 855
	tavaraliikenne eri katuluokilla kg			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	616 111 536	80 846 117	111 056 206	808 013 859
Yhteensä t	616 112	80 846	111 056	808 014
YHTEENSÄ TONNIA	2 130 904	277 732	368 233	2 776 869
Vesi				
	henkilöliikenne eri katuluokilla kg			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	17 192 964 237	2 221 800 773	2 803 242 719	22 218 007 728
Yhteensä t	17 192 964	2 221 801	2 803 243	22 218 008
	tavaraliikenne eri katuluokilla kg			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	4 415 288 596	571 568 225	722 115 715	5 708 972 536
Yhteensä t	4 415 289	571 568	722 116	5 708 973
YHTEENSÄ TONNIA	21 608 253	2 793 369	3 525 358	27 926 980
Ilma				
	henkilöliikenne eri katuluokilla kg			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	1 803 937 800	234 158 732	303 490 792	2 341 587 325
Yhteensä t	1 803 938	234 159	303 491	2 341 587
	tavaraliikenne eri katuluokilla kg			
	Pääkadut	Kokoojakadut	Tonttikadut	
Yhteensä kg	758 303 936	99 212 592	134 545 488	992 062 016
Yhteensä t	758 304	99 213	134 545	992 062
YHTEENSÄ TONNIA	2 562 242	333 371	438 036	3 333 649

LIITE 6. Laskelmissa käytetyn yksityistien MI-luvun erittely

Rakentamisen ja ylläpidon MI *1				MI-kerroin (t/t)			MI/tiemetri (leveys 4m)	
RAKENTAMINEN	t/ m (yhdystietä,leveys 7m)	t/m2	käytetty MI-arvo	abiottinen	vesi	ilma	abiottinen (t)	vesi (t)
pintamaan poistoa*2	3,640	0,520	luonnonhiekkä, sis 4 km:n kuljetus lajitykseen	1,003	0,013	0,003	2,086	0,028
tilavuus tielle (alusperger 50 cm)*3 soraä, mursketta	4,10	1,026	luonnonhiekkä, sis. kuljetus 50 km	1,01	0,11	0,01	4,160	0,447
vanhat rummut	0,045	0,006	betoni	1,33	3,4	0,044	0,034	0,087
Yhteensä (t)							6,281	0,562
Yhteensä (kg)							6280,650	561,696
Yhteensä kg/m/vuodessa							104,678	9,362
Yhteensä kg/km/vuodessa*4							104677,507	9361,605
YLLÄPITO								
vuosisadanta n. 600 mm*5 60 vuodessa	255,600	36,514	veden tiheys 1000kg/m3					146,057
hiekoitus (8t/km/v) 60 vuodessa	0,480	0,069	kuljetus	1,003	0,013	0,003	0,275	0,004
kunnossapidon kaluston polttoaineen kulutus (auraus 25 krt/talvi+ tasaus 1 krt/talvi+ hiekoitus) 60 vuodessa	0,00100	0,00014	diesel	1,36	9,7	3,219	0,001	0,006
Yhteensä (t)							0,275	146,061
Yhteensä (kg)							275,109	146060,787
Yhteensä kg/m/vuodessa							4,585	2434,346
Yhteensä kg/km/vuodessa*4							4585,143	2434346,446
RAKENTAMINEN JA YLLÄPITO YHTEENSÄ kg/km/a							109 263	2 443 708

*1 Yleistetty Puseniuksen ym. (2005) yhdystien rakentamisen luvuista lukuun ottamatta sadevettä (ks. kohta *3) ja aluspenkereen paksuutta (ks. kohta *3)

*2 Pintamaan poisto Lähteenoja ym. (2006: 22) mukaisesti siirretty bioottisiin abiottisiin luonnonvaroihin.

*3 Aluspenkereen paksuus oletettu olevan yhdystietä ohuempi (50cm).

*4 Alimmalla rivillä MI-luku on esitetty kilometriä kohden, kun taas kaikissa ylemmissä luvuissa MI-luku on esitetty tiemetriä kohden.

*5 Vuosisadanta on koko Suomen sademäärän keskiarvo (600 mm) Lähteenoja ym. (2006) mukaan.

LIITE 7. Esimerkkikaupunkien katujen MI-luvun erittely

Esimerkkikunta: Forssa. Pääkatu (KVL 10 000, ajoradat: 2+2)						
Toimenpiteet	MI kg/katu-m2			MI kg/katu-km vuodessa		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Kadun rakentaminen						
pintamaan poisto *1	390	14	0,8	152 145	5 462	312
päällysrakenne *2	2 167	150	4	686 317	58 517	1 560
<i>sisältää viher- ja erotuskaistat</i>	1 614					
suodatinkangas 6 % *3	0,3	5,1	0,2	8	39	8
massanvaihto 1,5 % *4	10 600	850	33	62 028	4 974	193
maaleikkaus 10 % *5	2 651	100,6	9	103 431	3 925	351
Siirretty sadevesi	laskettu Suomen keskimääräisen sademäärän mukaan (600 mm)				8 400 000	
Ylläpito *6	34,5	1236,4	2,1	482 551	17 309 600	29 695
Yhteensä				1 486 480	25 782 516	32 120

*1 Hännisen ym. (2005) ja Hännisen (2005) mukaan.

*2 Abioottisten luonnonvarojen kulutus laskettu Forssan maaperätyypijakauman vaatiman päällysrakennepaksuuden ja liikenteen määrän mukaan. Veden ja ilman luvut kokonaisuuden kannalta pienet, joten niissä on käytetty valtatie (Pusenius ym. 2005) päällysrakenteen pohjalta yleistettyjä lukuja. Suurin osa tulee asfalttibetonista.

*3 Forssan kaupungin arvio suodatinkankaan käytöstä katuverkolla on noin 25 %. Pääkaduille käytetty määrä tekijän arvio. Suodatinkankaan materiaali laskettu yhteneväisesti Vihermaa ym. (2005) mukaan (polypropeenia 130 g/m²).

*4 Forssan kaupungin arvio massanvaihdon pituusosuudesta katuverkolla.

*5 Oletettu tehtäneen saman verran kuin tutkimuksessa tarkastelluilla muillakin pääkaduilla, perustuu omaan arvioon.

*6 Hännisen ym. (2005) tutkimuksesta yleistetty.

Esimerkkikunta: Helsinki. Pääkadut (KVL 17 265, ajoradat 2+2)						
Toimenpiteet	MI kg/katu-m2			MI kg/katu-km vuodessa		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Kadun rakentaminen						
pintamaan poisto *1	390	14	1	173 550	6 230	356
päällysrakenne *2	2 939	150	4	659 122	66 750	1 780
<i>sisältää viher- ja erotuskaistat</i>	1 411					
massanvaihto 6 % *3	10 600	850	33	283 020	22 695	881
maaleikkaus 10 % *4	2 651	101	9	117 983	4 477	401
Siirretty sadevesi	laskettu Suomen keskimääräisen sademäärän mukaan (600 mm)				9 600 000	
Ylläpito *5	34,5	1236,4	2,1	551 487	19 782 400	33 937
Yhteensä rakentaminen				1 785 161	29 482 552	37 355

*1 Hännisen ym. (2005) ja Hännisen (2005) mukaan.

*2 Abioottisten luonnonvarojen kulutus laskettu pääkaupunkiseudun maaperätyypijakauman vaatiman päällysrakennepaksuuden ja liikenteen määrän mukaan. Veden ja ilman luvut ovat kokonaisuuden kannalta hyvin pienet, joten niissä on käytetty valtatie (Pusenius ym. 2005) päällysrakenteen pohjalta yleistettyjä lukuja.

*3 Pituusosuus arvio, yleisimmät pohjanvahvistusmenetelmät pääkaupunkiseudulla ovat pilaristabilointi ja massanvaihto (Hänninen ym. 2005).

*4 Oletettu tehtäneen saman verran kun tutkimuksen muillakin pääkaduilla, perustuu omaan arvioon.

*5 Hänninen ym. (2005) tutkimuksesta yleistetty, sähkön kertoimet muutettu kansalliseksi keskiarvoksi.

Esimerkkikunta: Forssa. Tonttikatu (KVL = 350, ajoradat 1+1)						
Toimenpiteet	MI kg/katu-m2			MI kg/katu-km vuodessa*2		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Kadun rakentaminen						
pintamaan poisto *1	390	14	0,8	59 958	2 152	123
päällysrakenne *2	1197	150	4	184 995	58 517	1 560
<i>sisältää viher- ja erotuskaistat</i>	1 080					
suodatinkangas 6 % *3	0,3	5,1	0,2	3	15	3
massanvaihto 1,5 % *4	10 600	850	33	24 444	1 960	76
Siirretty sadevesi	laskettu Suomen keskimääräisen sademäärän mukaan (600 mm)				4 200 000	
Ylläpito *5	34,5	1236,4	2,1	66 952	6 172 600	7 865
Yhteensä rakentaminen				336 352	10 435 245	9 627

*1 Hännisen ym. (2005) ja Hännisen (2005) mukaan.

*2 Abioottisten luonnonvarojen kulutus laskettu Forssan maaperätyyppijakauman vaatiman päällysrakennepaksuuden ja liikenteen määrän mukaan. Veden ja ilman luvut kokonaisuuden kannalta pienet, niissä on käytetty valtatie (Pusenius ym. 2005) päällysrakenteen pohjalta yleistettyjä lukuja. Viher- ja erotuskaistat huomioitu.

*3 Forssan kaupungin arvio suodatinkankaan käytöstä katuverkolla on noin 25 %. Pääkaduille käytetty määrä oma arvio. Suodatinkankaan materiaali (polypropeenia) laskettu yhteneväisesti Hännisen ym. (2005) mukaan.

*4 Forssan kaupungin arvio massanvaihdon pituusosuudesta katuverkolla

*5 Hännisen ym. (2005) tutkimuksesta yleistetty, sähkön MI-kertoimet muutettu kansalliseksi keskiarvoksi.

Esimerkkikunta: Helsinki. Tonttikatu (KVL = 565, ajoradat1+1)						
Toimenpiteet	MI kg/katu-m2			MI kg/katu-km vuodessa		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Kadun rakentaminen						
pintamaan poisto *1	390	14	1	61 100	2 193	125
päällysrakenne *2	1 275	150	4	156 827	23 500	627
<i>sisältää viher- ja erotuskaistat</i>	800					
massanvaihto 6 % *3	10 600	850	33	99 640	7 990	310
pilaristabilointi 6 % *4	3 270	6 700	67	30 738	10 406 283	630
Siirretty sadevesi	laskettu Suomen keskimääräisen sademäärän				4 200 000	
Ylläpito *5	34,5	1236,4	2,1	66 952	6 172 600	7 865
Yhteensä rakentaminen				415 256	20 812 567	9 557

*1 Hännisen ym. (2005) ja Hännisen (2005) mukaan.

*2 Abioottisten luonnonvarojen kulutus laskettu pääkaupunkiseudun maaperätyyppijakauman vaatiman päällysrakennepaksuuden ja liikenteen määrän mukaan. Veden ja ilman luvut kokonaisuuden kannalta hyvin pienet, niissä on käytetty valtatie (Pusenius ym. 2005) päällysrakenteen pohjalta yleistettyjä lukuja.

*3 Pituusosuus oma arvio, yleisimmät pohjanvahvistusmenetelmät pääkaupunkiseudulla ovat pilaristabilointi ja massanvaihto (Hänninen ym. 2005).

*4 Oletettu tehtäen saman verran kun tutkimuksen muillakin pääkaduilla, perustuu täysin tekijän omaan arvioon.

*5 Hännisen ym. (2005) tutkimuksesta yleistetty, sähkön MI-kertoimet muutettu kansalliseksi keskiarvoksi.

LIITE 8. Metroliikenteen MI-luvun erittely

Metroradan rakentaminen	MI kg/rata-m*1			MI kg/rata-km vuodessa*2		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Tunnelit						
raiteet eri tunneleissa (6,5 km)*3	110 000	12 700	241	677 725	78 246	1 485
Sillat						
raiteet samalla sillalla 0,5km*4	65 700	179 000	2 110	15 849	43 181	509
raiteet eri silloilla 1,9km*5	41 800	113 000	1 310	78 513	212 248	2 461
Normaalirakenne maan tasalla*6						
maaleikkaus (7,9 km)	195 000	21 700	665	738 043	82 131	2 517
massanvaihto (4,0 km)	333 000	22 500	850	635 904	42 966	1 623
Siirretty sadevesi*7	laskettu Suomen keskimääräisen sademäärän mukaan (600 mm)				13 477 686	
Yhteensä rakentaminen				2 146 033	13 936 458	8 595

*1 Sarakkeissa esitetään laskelmien lähtökohdانا olevat eri radan rakennetyyppien Vihermaan ym. (2005: 22–25) rakentamisen MI-luvut ratametria kohden.

*2 Lukujen täsmällinen yksikkö: kg / keskimääräinen metroratakilometri vuodessa. Radan käyttöön oletettu olevan 100 vuotta.

*3 Laskelmien lähtökohdانا oleva yksiraiteisen radan MI kg/rata-m on kerrottu kahdella, jotta omissa tunneleissaan kulkevat raiteet saadaan huomioitua kokonaan. Rata-km kohti laskettaessa eri tunneleissa kulkevat raiteet käsitetään kuitenkin yhdeksi rataosuudeksi

*4 Yleistetty modernin kaksiraiteisen radan sillan mukaan.

*5 Yleistetty yksiraiteisen radan sillan mukaan ja kerrottu kahdella, jotta saadaan huomioitua molemmat sillat.

*6 Molemmat normaalirakennetyypit yleistetty modernin kaksiraiteisen radan mukaan Vihermaan ym. (2005) tutkimuksesta.

*7 Laskettu normaalirakenteen, kaikkien siltojen ja järjestelyratojen osalta.

Muu metroliikenteen infrastruktuuri	Lisätietoja			MI kg/rata-km vuodessa		
				Abioottinen	Vesi	Ilma
Asemat						
asemien infrastruktuuri*1	yleistetty	yleistetty	A	44 643	10 942	208
tunneliasemien tila kalliioon	76 545	t, graniitti	B	99 503	30 732	30 732
sähkönkulutus	17 300 000	kWh, Kansallinen	C	408 019	151 815 660	171 368
kaukolämmön kulutus	7 134 000	kWh, Kansallinen	C	164 890	262 477	121 143
veden kulutus	19 700	m3	C	9 292	1 208 019	929
Kalusto						
metrojunien liikennöinnin sähkönkulutus	38 400 000	kWh, Kansallinen	C	905 660	336 978 113	380 377
kalusto*3	yleistetty	yleistetty	A	47 666	17 735 690	20 020
Vaihteiden lämmitys						
sähkönkulutus	1 200 000	kWh, Kansallinen	D	28 302	10 530 566	11 887
Tehdas*4	yleistetty	yleistetty	A	7 259	1 116 548	2 970
Metrovarikko						
varikon infrastruktuuri*5	yleistetty	yleistetty	A	3 524	21 652	142
sähkönkulutus	2 200 000	kWh, Kansallinen	D	51 887	19 306 038	21 792
kaukolämmön kulutus	2 500 000	kWh, Kansallinen	D	57 783	91 981	42 453
veden kulutus	3250	m3	D	1 540	200 237	154
järjestelyradat (18 km)*6		yleistetty		1 663 507	185 118	5 673
Yhteensä MI				3 493 476	539 493 774	809 849

*1 Yleistetty Vihermaan ym. (2005) esimerkiasemasta.

*2 Tunneliasemiin (7 kpl) on lisätty laiturialueen louhimisesta aiheutunut materiaalipan-os. Kulutus on arvioitu metrolaiturialueiden mitoitushjeiden perusteella.

*3 Junavaunujen materiaalipan-oksesta noin 95 % aiheutuu energiankulutuksesta ja loput 5 % kaluston valmistuksesta ja kunnossapidosta. Kalusto on laskettu siten suhteutettuna energiankulutuksen määrään.

*4 Tehdasrakennus on yleistetty Talgo-Transtech Oy:n Otanmäen tehtaasta. Metrорadan osuus tehtaan koko materiaalipan-oksesta on laskettu kuten muissa raideliikenteen MIPS-laskelmissa: raidepituus (metrolla 42km) on suhteutettu Suomen kokonaisraidepituuteen (8707km) ja suhdeluvulla allokoitu tehtaan materiaalipan-os kyseiselle rataosuudelle. Tehtaan osalta ei ole eroteltu sen sähkön tai lämmönkulutusta, mutta luvussa niitä on huomioitu Vihermaan ym. (2005) tutkimuksessa. Sähkön kertoimena on käytetty Suomen keskiarvosähköä.

*5 Oletettu olevan samaa kokoluokkaa kuin tehtaan infrastruktuuri, ja koko varikon materiaalipan-oksesta vähäinen merkitys kaikissa MIPS-kategorioiden verrattuna mm. sähkönkulutukseen.

*6 Järjestelyradat oletettu kulkevan maaleikkauksessa.

A Vihermaa ym. (2005).

B RIL 165-2 Liikenne ja väylät (1988).

C HKL 2005b, vuosittainen kulutus. Tieto vuodelta 2004.

D Hölttä (2005).

LIITE 9. Raitiovaunuliikenteen MI-luvun erittely

Raitiovaunuradan rakentaminen*1				MI kg/km/a		
Rakenneosa	Materiaali	Määrä	Yksikkö	Abioottiset	Vesi	Ilma
Maarakennus radalle						
Raitiovaunuliikenne omalla kaistalla 53,5 km	<i>kadun rakentamisen materiaalipanokset, 2630kg/m2</i>	321 000	m2	168 711	9 622	257
Raitiovaunuliikenne yhdessä ajoneuvoliikenteen kanssa 30 km *2	<i>kadun rakentamisen materiaalipanokset, 2630kg/m2</i>	23 400	m2	12 299	701	19
Päällysrakenne radalle						
kiskot	teräs (neitseellinen)	108	kg/m	13 734	100 800	745
ratapölkkyt	betoni	722,00	kg/m	10 563	27 003	349
Siirretty sadevesi	Suomen keskimääräinen sademäärä 600 mm	467 400	m2		3 364 160	
Yhteensä MI				205 306	3 502 287	1 370

*1 Materiaalipanosten laskemisessa käytetty hyväksi Vihermaan ym. (2005) raideliikenteen sekä Hännisen ym. (2005) katujen luonnonvarojen käyttöä koskevia tutkimuksia.

*2 Raitiovaunuliikenteelle allokoitu 13 % pohjarakentamisen materiaalipanoksesta, loput on allokoitu ajoneuvoliikenteelle.

Muu raitiotieliikenteen infrastruktuuri ja liikennöinti					MI kg/km/a		
	Lisätietoja	Määrä	Yksikkö	Lähde	Abioottiset	Vesi	Ilma
Pysäkit	<i>kadun rakentamisen materiaalipanokset, 2630kg/m2</i>	14 520	m2	C	7 622	435	12
jarruhiekka	hiekkä	230 000	kg	A	2 793	69	11
varikot*							
varikon infrastruktuuri	<i>yleistetty</i>			B	7 569	1 169 829	3 112
sähkö *1	sähkö, kansallinen keskiarvo	3 900 000	kWh	A	23 353	8 689 293	9 808
kaukolämpö *1	kaukolämpö	6 500 000	kWh	A	38 144	60 719	28 024
veden kulutus	vesi	17 670 000	kg	A	2 116	275 102	212
Varayhteydet, halliradat ja järjestelyradat (20,5km)	<i>kadun rakentamisen materiaalipanokset, 2630kg/m2</i>	123 000	m2	C	64 569	3 683	98
kiskot	teräs (neitseellinen)	108	kg/m	B	3 788	27 799	206
ratapölyt	betoni	722,00	kg/m	B	2 913	7 447	96
Tehdas	<i>yleistetty</i>			B	7 569	1 169 829	3 112
Raitiovaunukaluston ja sen vuosittainen energiankulutus							
kaluston rakentaminen ja ylläpito 5 %	<i>yleistetty</i>			B	7 154	2 661 902	3 005
liikennöinnin energiankulutus	sähkö, kansallinen keskiarvo	22 700 000	kWh	A	135 928	50 576 144	57 090
Yhteensä MI					303 518	64 642 250	104 785

*1 Varikon sähkön- ja lämmönkulutus arvioitu raitiovaunuille varattujen varikoiden pinta-alan mukaan.

*2 Kaluston rakentaminen ja ylläpito havaittiin Vihermaan ym. (2005) tutkimuksessa aiheuttavan vain noin 5 % koko liikenteen materiaalipanoksesta.

A HKL 2005b.

B Vihermaa ym. (2005).

C Hänninen ym. (2005).

LIITE 10. Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenteen MI-luvun erittely

Radan rakentaminen	MI kg/a yhteensä			MI kg/rata-km vuodessa*1		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Rataosuudet, joilla vain lähiliikennettä (49 km)*2						
2-raiteiset radat*3	123 970 000	30 478 000	509 600	2 530 000	622 000	10 400
Rataosuudet, joilla lähiliikennettä, kaukoliikennettä, ja tavaraliikennettä (158 km)						
1-raiteinen rata (Kirkkonummi-Karjaa, 49 km)*4	26 504 100	10 269 861	617 400	540 900	209 589	12 600
2-raiteinen rata (Helsinki-Riihimäki 71 km) *5	89 815 000	22 081 000	369 200	1 265 000	311 000	5 200
2-raiteinen rata (Helsinki-Kirkkonummi 38 km) *6	86 526 000	21 272 400	355 680	2 277 000	559 800	9 360
Yhteensä ratojen rakentaminen (173 km)	326 815 100	84 101 261	1 851 880	1 889 105	486 134	10 705
Siirretty sadevesi (laskettu Suomen keskimääräisen sadannan mukaan 600 mm)						
2-raiteinen rata, vain lähiliikennettä *3		598 190 530			12 207 970	
1-raiteinen rata *4		270 263 895			5 515 590	
2-raiteinen rata *5		433 382 935			6 103 985	
2-raiteinen rata *6		1 197 601 857			10 987 173	
Yhteensä sadevesi		2 499 439 217			14 447 626	
Yhteensä rakentaminen ja siirretty sadevesi	326 815 100	952 555 686	1 851 880	1 889 105	14 933 760	10 705

*1 Sarakkeissa esitetään laskelmien lähtökohtana olevat eri radan rakennetyyppien Vihermaan et al. (2005: 22-25) rakentamisen MI-luvut rata-km kohden. Luvuissa huomioitu kuitenkin jo mahdollinen allokoinnin vaikutus

*2 Ratarakenne yleistetty Vihermaan et al. (2005; 83–88) Lahti-Heinola oikoradan välisestä rataosuudesta.

*3 Rataosuudet ovat Helsinki-Leppävaara (11 km), Helsinki-Kerava (29 km) ja Huopalahti-Vantaankoski (9 km).

*4 Ratarakenne yleistetty Vihermaan et al. (2005; 89 - 92) laskemasta Kouvola-Pieksämäki välisestä rataosuudesta,

90 % ratalinjan infrastruktuurista ja vuosittaisesta sadannasta allokoitu lähiliikenteelle. Osuudella ei kulje tavarajunia, eikä kaukojunia yhtä paljon kuin pääradalla

*5 Ratarakenne yleistetty Vihermaan et al. (2005) Lahti-Heinola oikoradan välisestä rataosuudesta. Ratalinjan infrastruktuurista ja vuosittaisesta sadannasta 50 % on allokoitu lähiliikenteelle

*6 Muuten sama kuin *5, mutta lähiliikenteelle allokoitu 90 % ratarakenteesta ja vuosittaisesta sadannasta.

Muu lähijunaliikenteen infrastruktuuri *1	Pääkaupunkiseudun lähiliikenteen radoille allokoitu MI kg/a			MI kg/rata-km vuodessa		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Asemat*2						
asemien (52 kpl) infrastruktuuri*2	32 248 944	16 040 934	216 216	186 410	92 722	1 250
Ratapihat						
pks-seudun rataosuuden suhteellinen osuus	6 485 351	5 460 506	144 003	37 488	31 564	832
Radanpito*3						
pks-seudun rataosuuden suhteellinen osuus	311 735	115 999 398	130 926	1 802	670 517	757
Konepajat						
pks-seudun rataosuuden suhteellinen osuus	547 439	47 764 024	218 472	3 164	276 093	1 263
Tehdas						
Talgo-Transtech Oy:n Otanmäen tehdas						
pks-seudun rataosuuden suhteellinen osuus	4 083 027	73 260 554	194 747	23 601	423 471	1 126
Varikot						
pks-seudun rataosuuden suhteellinen osuus	805 451	67 296 045	281 656	4 656	388 994	1 628
Yhteensä	44 481 948	325 821 461	1 186 020	257 121	1 883 361	6 856

*1 Pääkaupunkiseudun lähiliikenteelle allokoitun koko raidekilometrimäärän (179 km) osuus koko Suomen raidekilometrimäärästä (8707 km) on n. 2 %. Tässä suhteessa on muu lähijunaliikenteen vaatima infrastruktuuri allokoitu rataosuuksille. Samaa menetelmää käytetty kaukojunaliikenteen MIPS-laskelmissa Vihermaan ym. (2005) tutkimuksessa.

*2 yleistetty Mäntsälän aseman MI-laskelmista.

*3 Radanpitoon kuuluu ratapihojen valaistus, vaihteiden lämmitys, jäänesto, turvalaitteet, puomit sekä eräät muut toiminnot (Vihermaa ym. 2005: 16).

Junakaluston elinkaaren aikainen MI	Pääkaupunkiseudun lähiliikenteen radoille allokoitu MI kg yhteensä			MI kg/rata-km vuodessa*2		
	Abioottinen	Vesi	Ilma	Abioottinen	Vesi	Ilma
Lähiliikenteen sähkönkulutus						
90 427 000 kWh*1	45 213 727	16 823 123 599	18 989 765	252 591	93 983 931	106 088
Kaluston valmistus ja ylläpito*2	2 379 670	885 427 558	999 461	13 294	4 946 523	5 584
Yhteensä	47 593 397	17 708 551 157	19 989 227	265 885	98 930 453	111 672

*1 RAILI 2003- järjestelmässä laskettu pääkaupunkiseudun lähiliikenteen energiankulutus.

*2 Laskettu Vihermaan ym. (2005) tutkimuksen havaintoon perustuen, että kaluston valmistus ja ylläpito muodostavat vain 5 % koko liikenteen kulutuksesta.

LIITE 11: Raideliikenteen vuosittainen kokonaiskulutus

Raideliikenteen kokonaiskulutus (tonnia/vuosi)	Abioottinen	Vesi	Ilma
Metrolinno			
Infrastrukturi	98 878	4 192 917	8 821
Kalusto	20 115	7 484 461	8 448
Yhteensä	118 994	11 677 378	17 269
Raitiovaunuliikenne			
Infrastrukturi	30 487	5 682 059	8 842
Kalusto	11 947	4 445 377	5 018
Yhteensä	42 435	10 127 436	13 860
Pääkaupunkiseudun lähijunaliikenne			
Infrastrukturi	371 297	1 278 377	3 038
Kalusto	47 593	17 708 551	19 989
Yhteensä	418 890	18 986 928	23 027
Kaikki yhteensä	580 319	40 791 742	54 157

LIITE 12. MIPS-laskennan tulokset: katuluokat ja keskimääräinen katu

MIPS-luvut: henkilöliikenne							
Henkilöauto (Ha)	MI/ajoneuvokm			MI/henkilökilom			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	0,23		3,26	0,17	0,17	2,33	0,12
kokoojakatu	2,19		54,78	0,24	1,56	39,13	0,17
tonttikatu	2,31		64,83	0,23	1,65	46,31	0,16
keskimääräinen katu	0,7		16,11	0,20	0,50	11,51	0,13
Linja-auto (La)	MI/ajoneuvokm			MI/henkilökilom			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	0,63		8,02	0,72	0,05	0,62	0,06
kokoojakatu	4,56		111,29	0,86	0,35	8,56	0,07
tonttikatu	4,79		131,44	0,83	0,37	10,11	0,06
keskimääräinen katu	1,60		33,77	0,80	0,10	2,60	0,06

MIPS-luvut: tavaraliikenne							
Pakettiauto (Pa)	MI/ajoneuvokm			MI/tonnikm			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	0,27		3,76	0,26	1,4	18,81	1,65
kokoojakatu	2,23		55,28	0,33	11,1	276,41	1,58
tonttikatu	2,35		65,33	0,32	11,7	326,67	1,40
keskimääräinen katu	0,70		16,6	0,30	3,70	83,04	1,40
Kuorma-auto (Kaip)	MI/ajoneuvokm			MI/tonnikm			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	0,49		6,45	0,46	0,07	0,92	0,07
kokoojakatu	4,41		109,49	0,60	0,63	15,64	0,09
tonttikatu	4,64		129,6	0,57	0,66	18,51	0,08
keskimääräinen katu	1,40		32,15	0,50	0,20	4,59	0,07
Puoliperävaunurekka (Kapp)	MI/ajoneuvokm			MI/tonnikm			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	0,93		11,31	1,11	0,07	0,81	0,08
kokoojakatu	6,82		159,9	1,32	0,49	11,42	0,09
tonttikatu	7,17		188,9	1,28	0,51	13,5	0,09
keskimääräinen katu	2,39		49,18	1,16	0,21	3,51	0,09
Täysperävaunurekka (Katp)	MI/ajoneuvokm			MI/tonnikm			
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)	
pääkatu	1,02		12,52	1,18	0,05	0,6	0,06
kokoojakatu	6,91		161,1	1,38	0,33	7,67	0,07
keskimääräinen katu	2,42		50,23	1,22	0,11	2,39	0,06

LIITE 13. MIPS-laskennan tulokset: Ajoneuvoliikenteen MIPS-luvut esimerkkikunnissa

Suluissa ajoneuvotyyppille allokoitu katuinfrastruktuurin osuus	MIPS-luvut: pääkadut Helsingissä (KVL=17 265)		
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)
Henkilöliikenne	MI/ajoneuvokm		
Ha (74,0 %)	0,401	6,274	0,175
La (5,8 %)	0,971	14,039	0,361
	MI/henkilökm		
Ha (74,0 %)	0,286	4,482	0,125
La (5,8 %)	0,075	1,080	0,028
Tavaraliikenne	MI/ajoneuvokm		
Pa (10,7 %)	0,441	6,8	0,265
Kaip (7,3 %)	0,831	12,5	0,471
Kapp (1,1 %)	1,362	19,7	0,906
Katp (1,1 %)	1,432	20,7	0,916
	MI/tonnikm		
Pa (10,5 %)	2,203	33,9	1,327
Kaip (4,4 %)	0,119	1,8	0,067
Kapp (1,2 %)	0,097	1,4	0,065
Katp (1,2 %)	0,065	0,9	0,042

Suluissa ajoneuvotyyppille allokoitu katuinfrastruktuurin osuus	MIPS-luvut: pääkadut Forssassa (KVL= 10 000)		
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)
Henkilöliikenne	MI/ajoneuvokm		
Ha (81,0 %)	0,81	8,7	0,178
La (1,5 %)	1,79	18,9	0,367
	MI/henkilökm		
Ha (81,0 %)	0,58	6,2	0,127
La (1,5 %)	0,14	1,5	0,028
Tavaraliikenne	MI/ajoneuvokm		
Pa (10,5 %)	0,85	9,2	0,268
Kaip (4,4 %)	1,65	17,3	0,477
Kapp (1,2 %)	2,58	26,8	0,915
Katp (1,2 %)	2,76	29,0	0,926
	MI/tonnikm		
Pa (10,5 %)	4,26	46,0	1,342
Kaip (4,4 %)	0,24	2,5	0,068
Kapp (1,2 %)	0,18	1,9	0,065
Katp (1,2 %)	0,13	1,3	0,042

Suluissa ajoneuvotyypille allokoitu katuinfrastruktuurin osuus	MIPS-luvut: tonttikadut Helsingissä (KVL=565)		
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)
	MI/ajoneuvokm		
Henkilöliikenne			
Ha (76,5 %)	2,006	48,9	0,213
La (5 %)	4,182	99,3	0,436
	MI/henkilökkm		
Ha (76,5 %)	1,433	34,9	0,152
La (5 %)	0,322	7,6	0,034
	MI/ajoneuvokm		
Tavaraliikenne			
Pa (10,7 %)	2,046	49,4	0,303
Kaip (7,5 %)	4,042	97,7	0,546
	MI/tonnikm		
Pa (10,7 %)	10,230	246,9	1,515
Kaip (7,5 %)	0,577	14,0	0,078

Suluissa ajoneuvotyypille allokoitu katuinfrastruktuurin osuus	MIPS-luvut: tonttikadut Forssassa (KVL=350)		
	abioottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)
	MI/ajoneuvokm		
Henkilöliikenne			
Ha (81,0 %)	2,65	79,9	0,24
La (1,5 %)	5,47	161,2	0,49
	MI/henkilökkm		
Ha (81,0 %)	1,89	57,0	0,17
La (1,5 %)	0,42	12,4	0,04
	MI/ajoneuvokm		
Tavaraliikenne			
Pa (10,5 %)	2,69	80,4	0,33
Kaip (4,4 %)	5,33	159,6	0,60
Kapp (2,3 %)	8,24	242,3	1,33
	MI/tonnikm		
Pa (10,5 %)	13,45	401,8	1,66
Kaip (4,4 %)	0,76	22,8	0,09
Kapp (2,3 %)	0,59	11,5	0,09

LIITE 14. MIPS-laskennan tulokset yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta

Ajoneuvot (suluissa suhteellisesti allokoitu osuus MI:stä)	MIPS-LUVUT: PYSYVÄN ASUTUKSEN PIIRISSÄ OLEVAT YKSITYISTIET		
	abiottinen (kg)	vesi (kg)	ilma (kg)
	MI/ajoneuvokm		
Henkilöliikenne			
Ha (72,5 %)	10,065	223,956	0,270
La (2,1 %)	20,599	456,061	0,922
	MI/henkilökm		
Ha (72,5 %)	7,190	159,968	0,193
La (2,1 %)	1,585	35,082	0,071
	MI/ajoneuvokm		
Tavaraliikenne			
Pa (9,4 %)	15,006	334,050	0,409
Kaip (6,4 %)	20,225	449,281	0,660
Kapp (9,6 %)	30,453	674,887	1,190
	MI/tonnikm		
Pa (9,4 %)	75,028	1 670,249	2,044
Kaip (6,4 %)	2,889	64,183	0,094
Kapp (9,6 %)	2,175	48,206	0,085