

Satu Lähteenoja - Michael Lettenmeier - Arto Saari

# LiikenneMIPS

Suomen liikennejärjestelmän  
luonnonvarojen kulutus

HELSINKI 2006

*Julkaisu on saatavana myös Internetistä:  
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>*

*Suomen ympäristö 820  
Ympäristöministeriö  
Ympäristönsuojeluosasto*

*Taitto: Marjatta Naukkarinen  
Kansikuva: Petri Kuokka*

*ISSN 1238-7312  
ISBN 951-731-366-7 (nid.)  
ISBN 951-731-367-5 (PDF)*

*Edita Prima Oy*

*Helsinki 2006*

# Esipuhe

Kestävä kehitys edellyttää yhteiskunnan kaikkien toimijoiden ja toimintojen ekotehokkuuden kehittämistä. Eri liikennemuotojen ympäristövaikutuksia on perinteisesti tarkasteltu ja verrattu lähinnä päästöjen ja energiankulutuksen näkökulmasta. Tässä tutkimuksessa käytetty MIPS-indikaattori (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 osa laajempaa, kaksivaiheista FIN-MIPS Liikenne - tutkimushanketta, jossa on tutkittu liikennejärjestelmän ja eri liikennemuotojen elinkaaren aikaista luonnonvarojen käyttöä. Hankkeen alkuvaiheen osatutkimukset ovat käsitelleet meri-, lento-, rautatie-, maantie- sekä polkupyöräliikennettä. Hankkeen toisessa vaiheessa on tuotettu tämän tutkimuksen lisäksi tutkimukset paikallisesta liikenteestä sekä MIPS-laskennan kytkennästä infrastruktuurin suunnitteluun. Tässä tutkimuksessa laskettiin maantie-, pyörä-, rautatie-, lento-, meri- ja paikallisen liikenteen MIPS-luvut Suomessa hankkeen case-tutkimuksista yleistäen.

FIN-MIPS Liikenne -hankkeen päärahoittajina ovat olleet ympäristöministeriö sekä liikenne- ja viestintäministeriö. Lisäksi hankkeen rahoitukseen ovat osallistuneet Tiehallinto, Merenkululaitos, Ratahallintokeskus, Ilmailulaitos ja Suomen Luonnonsuojeluliitto ry. Suomen Luonnonsuojeluliitto on vastannut tutkimuksen toteutuksesta ja koordinoinnista. Hanke on toteutettu osana ympäristöministeriön Ympäristöklusteri-tutkimusohjelmaa.

Hankkeen ohjausryhmän työskentelyyn ovat osallistuneet Merja Saarnilehto, Mauri Heikkinen ja Jarmo Muurman ympäristöministeriöstä, Saara Jääskeläinen, Raija Merivirta ja Outi Väkevä liikenne- ja viestintäministeriöstä, 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 myös toiminut tämän tutkimuksen seuranta- ja tukiryhmänä.

FIN-MIPS Liikenne -tutkimushanketta on johtanut TkT, dos. Arto Saari ja koordinoinut ekotehokkuuskonsultti Michael Lettenmeier. Tämän tutkimuksen laskelmat on tehnyt fil.yo. Satu Lähteenoja. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja tutkimustavat ovat suunnitelleet ja raportin kirjoittaneet Satu Lähteenoja, Michael Lettenmeier ja Arto Saari.

Tutkimuksen tekemistä ovat ohjausryhmän jäsenten lisäksi merkittävästi tukeneet johtava asiantuntija Aarno Valkeisenmäki Tieliikelaitoksesta, moottori-insinööri Janne Pallonen Finnairilta, liikennesuunnitteluinsinööri Antero Naskila Helsingin kaupunkisuunnitteluvirastosta, kehityspäällikkö Harri Ajomaa Suomen Posti Oyj:ltä, laatupäällikkö Tuija Janakka TNT Finland Oy:ltä, liikennekoordinaattori Reijo Prokkola Tiehallinnosta, apulaisjohtaja Kirsti Tarnanen-Sariola Satamaliitosta, dosentti Ilmo Mäenpää Thule-instituutista, toimitusjohtaja Holger Rohn Trifoliumista, vanhempi tutkija Michael Ritthoff Wuppertal-instituutista sekä FIN-MIPS Liikenne - hankkeen muiden osatutkimusten tekijät EI-

viira Hakkarainen, Anni Nieminen, Kaisa Pusenius, Aino Rantanen, Suvi Talja ja Leena Vihermaa. Kaikkien mainittujen henkilöiden panos tutkimuksen toteutukseen ja onnistumiseen on ollut merkittävä. Merkittäviä tietoja osatutkimuksen toteuttamiseen ovat lisäksi luovuttaneet lukuisat Tiehallinnon ja Tieliikelaitoksen palveluksessa olevat henkilöt.

Julkaisussa esitetyt kannanotot ovat tekijöiden omia eivätkä edusta ympäristöministeriön virallista kantaa.

Haluamme kiittää kaikkia tutkimuksen toteutukseen osallistuneita. Toivotavasti tutkimus auttaa omalta osaltaan edistämään kestävästä kehitystä liikennesektorilla!

Helsingissä helmikuussa 2006

Satu Lähteenoja

Michael Lettenmeier

Arto Saari

# Sisällys

<i>Esipuhe</i>	3
<i>Sisällys</i>	5
<b>1 Johdanto</b>	7
1.1 Tutkimuksen taustaa, tavoitteet ja raportin rakenne	7
1.2 Suomen liikennejärjestelmä	8
<b>2 Aineisto ja menetelmät</b>	17
2.1 Ekotehokkuus ja MIPS	17
2.1.1 Ekotehokkuuden käsite	17
2.1.2 Ekotehokkuuden mittari MIPS	18
2.1.3 Materiaalivirrat pienemmiksi	19
2.1.4 MIPS-menetelmän kritiikkiä	20
2.1.5 Aikaisempi tutkimus aiheesta	20
2.2 Tutkimusaineisto	21
2.3 Tarkastelun rajaus tässä tutkimuksessa	21
2.4 Aikaisempien case-tutkimusten aineiston yleistäminen	22
2.4.1 Maantiiliikenne	23
2.4.2 Pyöräliikenne	24
2.4.3 Raideliikenne	25
2.4.4 Lentoliikenne	27
2.4.5 Meriliikenne	28
2.5 Infrastruktuurin materiaalipanosten allokointi liikenteelle	29
2.5.1 Maantiiliikenne	30
2.5.2 Pyöräliikenne	34
2.5.3 Rautatieliikenne	36
2.5.4 Lentoliikenne	37
2.5.5 Meriliikenne	38
2.6 Tutkimuksessa sovellettujen allokointitapojen valinta	39
2.7 Esimerkkilaskelmat	40
<b>3 Tulokset</b>	41
3.1 Ajoneuvoliikenteen luonnonvarojen kulutus	41
3.1.1 Ajoneuvoliikenteen MI-lukuja	41
3.1.2 Halutun reitin luonnonvarojen kulutuksen laskeminen	44
3.1.3 Ajoneuvoliikenteen MIPS-luvut tie- ja katuluokittain	44
3.1.4 Ajoneuvoliikenteen MIPS-luvut keskimäärin Suomessa	45
3.2 Pyöräliikenteen luonnonvarojen kulutus	46
3.2.1 Pyöräliikenteen MI-lukuja	46
3.2.2 MIPS-luvut ja halutun reitin luonnonvarojen kulutuksen laskeminen	47

3.3	Raideliikenteen luonnonvarojen kulutus .....	48
3.3.1	Raideliikenteen MI-lukuja .....	48
3.3.2	Halutun reitin luonnonvarojen kulutuksen laskeminen .....	49
3.3.3	MIPS-luvut ratatyypeittäin .....	49
3.3.4	Keskimääräiset MIPS-luvut .....	50
3.4	Lentoliikenteen luonnonvarojen kulutus .....	51
3.4.1	Lentoliikenteen MI-lukuja .....	51
3.4.2	Halutun reitin luonnonvarojen kulutuksen laskeminen .....	52
3.4.3	Keskimääräiset MIPS-luvut .....	53
3.5	Meriliikenteen luonnonvarojen kulutus .....	53
3.5.1	Meriliikenteen MI-lukuja .....	53
3.5.2	Keskimääräiset MIPS-luvut .....	54
3.6	Suomen liikennejärjestelmän luonnonvarojen kulutus .....	55
4	<i>Esimerkkilaskelmia</i> .....	59
4.1	Henkilöliikenteen esimerkkilaskelmia .....	59
4.2	Tavaraliikenteen esimerkkilaskelmia .....	68
5	<i>Tulosten yhteenveto ja johtopäätöksiä</i> .....	73
5.1	Tutkimuksen lähtökohdat .....	73
5.2	Keskeiset havainnot .....	74
5.2.1	Eri liikennemuotojen MIPS-luvut .....	74
5.2.2	Liikennejärjestelmän aiheuttama luonnonvarojen kokonaiskäyttö .....	77
5.3	Keinoja liikenteen materiaali-intensiteetin pienentämiseksi ..	78
5.4	Arvio tulosten luotettavuudesta .....	84
5.5	MIPS liikenteen luonnonvarojen kulutuksen mittarina .....	85
5.6	Ehdotuksia jatkotutkimukselle .....	86
5.7	Lopuksi .....	87
	<i>Lähteet</i> .....	88
	<i>Liitteet</i> .....	92
Liite 1	Liikenneinfrastruktuurin MI-lukuja .....	92
Liite 2	Ajoneuvoliikenteen MIPS-luvut .....	94
Liite 3	Rautatieliikenteen MIPS-luvut .....	96
Liite 4	Lentoliikenteen MIPS-lukuja .....	99
Liite 5	Esimerkkilaskelmat .....	104
	<i>Kuvailulehdet</i> .....	113

# Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen taustaa, tavoitteet ja raportin rakenne

Liikenteen ympäristötarkastelussa on perinteisesti keskitytty tarkastelemaan päästöjä ilmaan, veteen ja maaperään, energiankulutusta sekä meluhaittoja. Tässä tutkimuksessa keskitytään päästöjen sijasta tarkastelemaan liikenteen aiheuttamaa luonnonvarojen kulutusta. Menetelmänä käytetään niin sanottua MIPS-menetelmää (Material Input per Service Unit), joka on kehitetty Saksassa Wuppertal-instituutissa 1990-luvun alussa. Tämän menetelmän avulla voidaan suhteuttaa käytetyt luonnonvarat niillä tuotettuun palvelusuoritteeseen ja näin saada vertailtavissa olevia ekotehokkuuslukuja esimerkiksi erilaisista liikennemuodoista.

Tutkimus on osa laajempaa FIN-MIPS Liikenne -hanketta. Hankkeessa on selvitetty luonnonvarojen kulutusta Suomessa suhteessa kuljetettuihin henkilö- ja tonnikilometreihin. Tutkimuksen kohteena oli viisi liikennejärjestelmän osaluuetta: tieliikenne, rautatieliikenne, lentoliikenne, meriliikenne sekä pyöräliikenne. Nämä osatutkimukset on julkaistu erillisinä raportteina Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisusarjassa kesällä 2005. Osatutkimus paikallisen liikenneverkon ja sen käytön luonnonvarojen kulutuksesta julkaistaan samassa sarjassa keväällä 2006. FIN-MIPS Liikenne -hankkeen tulokset ovat tarpeen, kun halutaan laskea MIPS-lukuja tuotteille ja palveluille tai kun halutaan vertailutietoa eri liikennemuotojen elinkaaren aikaisesta luonnonvarojen kulutuksesta.

Tässä tutkimuksessa tavoitteena on:

- Yleistää hankkeen osatutkimusten case-tulokset eri liikennemuotojen luonnonvarojen kulutuksesta koskemaan koko Suomea
- Tuottaa laskenta-aineisto ja menettelytapa, jonka avulla voidaan laskea halutun reitin tai matkan luonnonvarojen kulutus Suomessa
- Esittää erilaisia käytännönläheisiä esimerkkitapauksia ja vertailla niiden kautta eri liikennemuotojen luonnonvarojen kulutusta
- Pohtia keinoja liikennejärjestelmän materiaali-intensiteetin pienentämiseksi

Raportti koostuu viidestä luvusta. Ensimmäisen eli johdantoluvun lopussa esitellään Suomen liikennejärjestelmää yleisesti. Toisessa luvussa kerrotaan tutkimusmenetelmistä ja aineistosta. Kolmannessa luvussa esitellään saadut tulokset liikennemuodoittain sekä koko järjestelmän tasolla. Tuloksissa esitetään myös laskentamenettely kunkin liikennemuodon MIPS-lukujen laskemiseksi. Neljännessä luvussa sovelletaan saatuja tuloksia käytäntöön esimerkkilaskelmien avulla. Viidennessä luvussa kootaan keskeiset johtopäätökset yhteen ja pohditaan, miten liikenteen materiaali-intensiteettiä voisi pienentää.

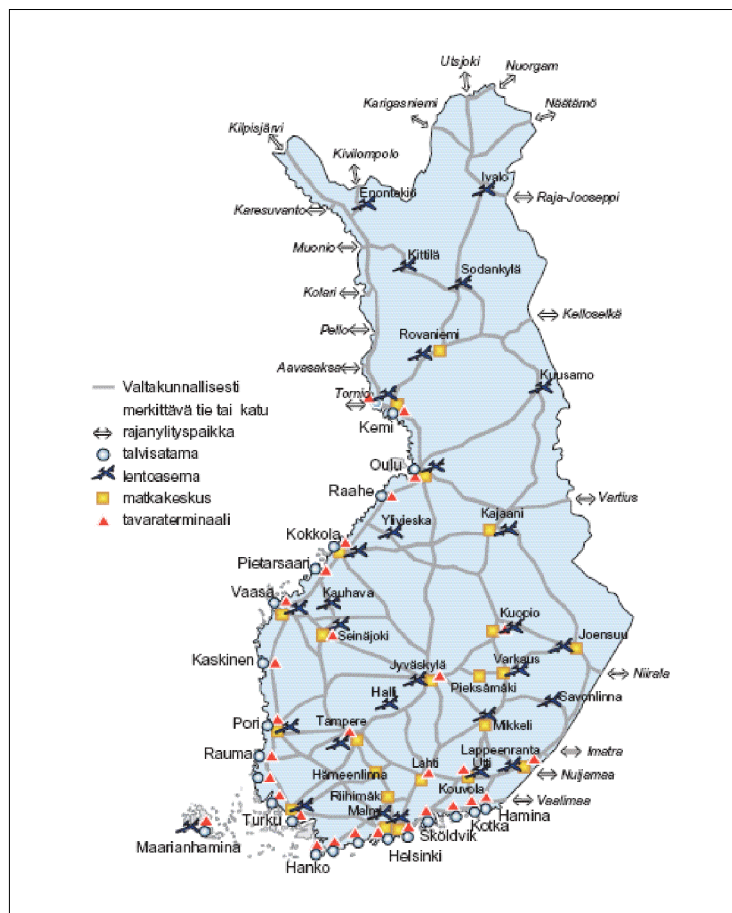
Liikennejärjestelmän MIPS-tarkastelussa jouduttiin tekemään erilaisia laskentaa helpottavia rajauksia ja oletuksia. Tämän vuoksi on hyvä muistaa, etteivät tutkimuksen tuloksina esitetyt luvut ole absoluuttisia totuuksia, mutta kertovat hyvin eri liikennemuotojen aiheuttaman luonnonvarojen kulutuksen suuruusluokista Suomessa. MIPS tuo liikenteen ympäristövaikutuskeskusteluun uuden ulottuvuuden, joka laajentaa näkökulmaa aikaisemmasta, mutta se on kuitenkin vain yksi menetelmä muiden joukossa.

## 1.2 Suomen liikennejärjestelmä

Liikennejärjestelmä koostuu liikenneinfrastruktuurista, sitä käyttävästä liikenteestä ja liikennesektoria ohjaavasta normistosta ja ohjauskeinoista (mm. verot ja lait). Tie-, rautatie-, vesi- ja ilmailiikenne muodostavat kokonaisuuden, jonka tehtävänä on mahdollistaa ihmisten liikkuminen ja tavarankuljetukset tehokkaalla ja tarkoituksenmukaisella tavalla (Tielaitos 1999).

Liikennejärjestelmä on yksi yhteiskunnan perusrakenteista. Sen kehittämistä ohjaavat yleiset yhteiskuntapoliittiset tavoitteet. Järjestelmän ominaisuuksiin vaikuttaa ratkaisevasti se, miten hyvin järjestelmän eri osat ja eri liikennemuodot yhdistyvät. Tähän voidaan vaikuttaa paljon kehittämällä liikennejärjestelmää eri osapuolten yhteistyönä kokonaisuutena eikä pelkästään erillisten osasuunnitelmien kautta (LVM 2005).

Liikennejärjestelmää käytetään henkilö- ja tavaraliikenteen tarpeisiin. Suomen liikenneväylien, joihin on laskettu maantiet, kadut, kaavatiet, yksityistiet, rautatiet, vesitiet, metro sekä raitiotiet, yhteispituus on kaikkiaan 470 000 kilometriä (LVM 2005).



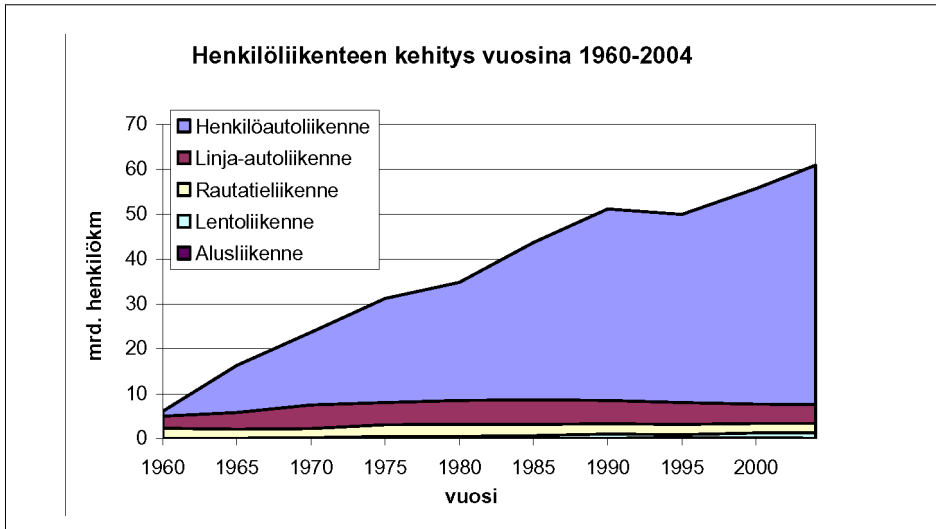
Kuva 1. Valtakunnallisesti merkittävä tie-, meri- ja lentoliikenneverkko (LVM 2000: 17).

Liikenne- ja viestintäministeriö tekee kattavan tutkimuksen suomalaisten liikkumistottumuksista kuuden vuoden välein. Viimeisin henkilöliikennetutkimus on vuodelta 1999 (Liikenneministeriö 1999). Uusimman henkilöliikennetutkimuksen, jonka aineisto kerättiin vuosina 2004-2005 (Uusnäkki 2005), tulokset eivät vielä olleet käytössä tätä tutkimusta tehtäessä. Osittain tästä syystä on seuraavassa esiteltävissä tilastotiedoissa toisistaan poikkeavia lukuja, joiden suuruusluokat kertovat kuitenkin varsin hyvin Suomen tilanteesta.

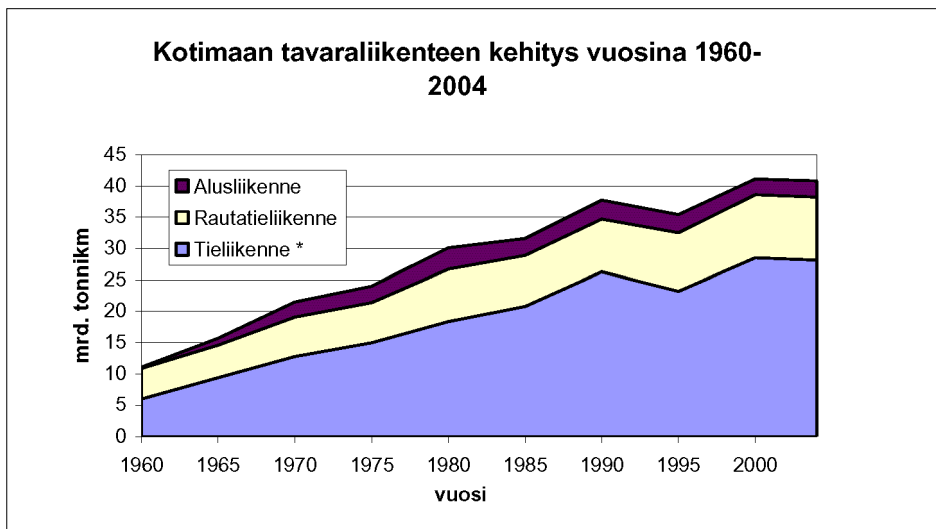


## Liikenteen kehitys

Liikenne on kasvanut voimakkaasti 1960-luvulta aina 1990-luvun alkuun saakka. Laman aikana kasvu hidastui hetkeksi mutta on jälleen 2-4 prosentin vuosiluokkaa. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty kotimaan henkilö- ja tavaraliikenteen suoritteiden kehitystä viime vuosikymmeninä.



Kuva 2. Henkilöliikenteen kehitys vuosina 1960-2004 (Tiehallinto 2005a).



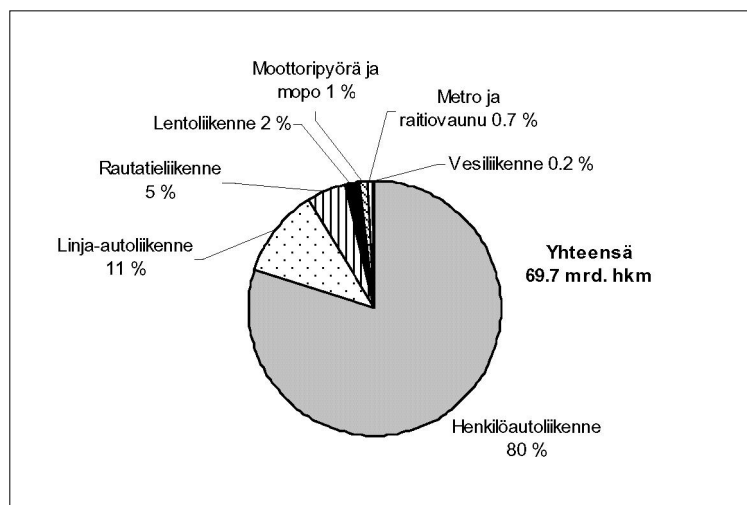
\* Tielikenne käsittää kuorma-auto- ja pakettiautoliikenteen.

Kuva 3. Tavaraliikenteen kehitys vuosina 1960-2004 (Tiehallinto 2005a).

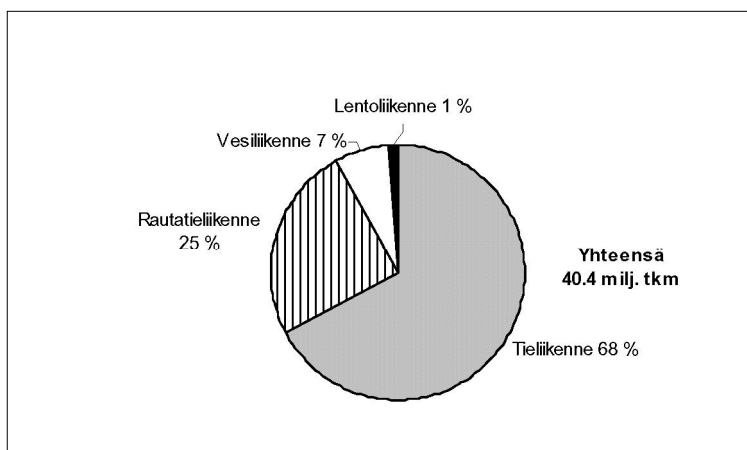
## Liikenne tänään

Suomessa tehdään vuosittain noin 4 900 miljoonaa henkilöliikenteen matkaa. Henkilöliikenteen kokonaissuorite vuonna 2004 oli 68 545 miljoonaa henkilökilometriä, josta yli 90 prosenttia on tieliikennettä ja loppu jakautuu rautatie-, vesi- ja lentoliikenteen kesken (Kuva 4). Tavaraliikenteen (Kuva 5) suorite vuonna 2004 oli yhteensä 41,9 miljoonaa tonnikilometriä (Tiehallinto 2004a).

Ylivoimaisesti suosituin liikenneväline Suomessa on henkilöauto. Matkoista noin 54 prosenttia ja henkilökilometreistä 74 prosenttia tehdään yksityisautolla. Henkilöauto on liikennemuodoista kaikkein tehottomin: se on käytössä vain viisi prosenttia eliniästään ja käyttää ajettaessa energiasta hyväksi alle kolmanneksen (Ojala 2000: 84). Puolet kaikista henkilöliikenteen matkoista on alle kymmen kilometrin pituisia (Liikenneministeriö 1999). Julkisen liikenteen osuus kotimaan liikenteen matkustajamäärästä on 16 prosenttia ja henkilökilometreistä noin 15,5 prosenttia (LVM 2005). Tavaraliikenteen suoritteesta kaksi kolmannesta on tieliikennettä ja neljännes rautatieliikennettä (Kuva 5).



Kuva 4. Eri liikennemuotojen osuudet kotimaan henkilöliikenteen suoritteista eli henkilökilometreistä vuonna 2000 (LVM 2002, Nieminen ym. 2005).

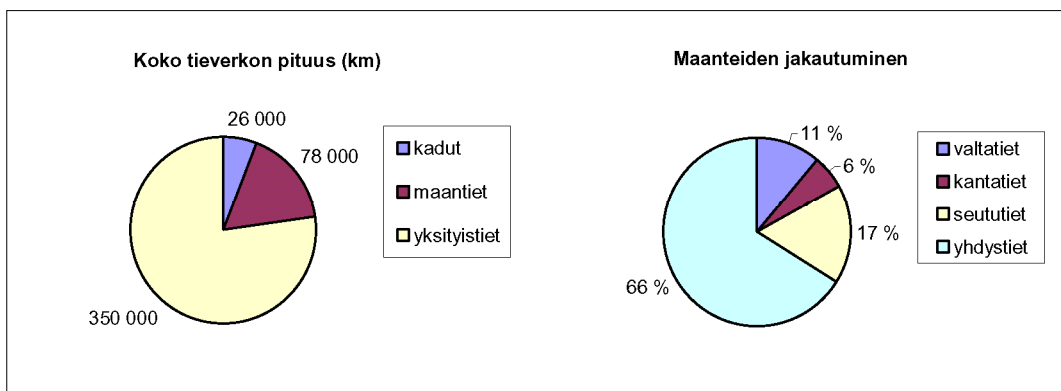


Kuva 5. Eri liikennemuotojen osuudet kotimaan tavaraliikenteen suoritteista eli tonnikilometreistä vuonna 2000 (LVM 2002, Nieminen ym. 2005).

## Ajoneuvoliikenne

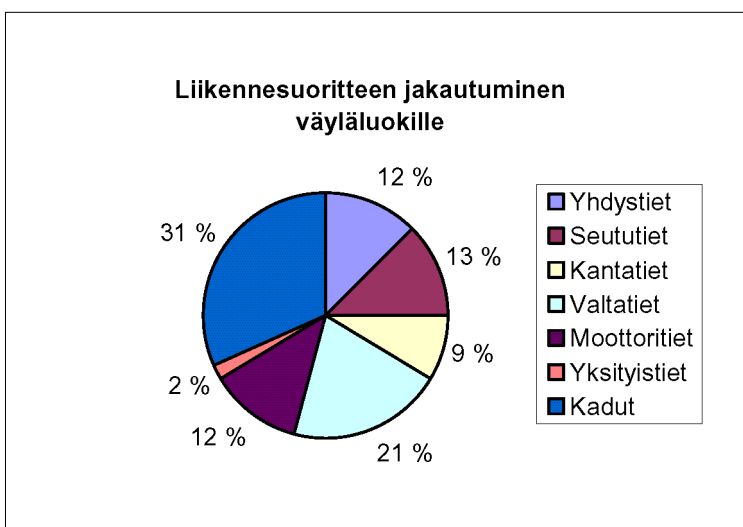
Ajoneuvoliikenteen infrastruktuuri jakautuu Tiehallinnon ylläpitämiin maanteihin sekä kuntien ja yksityisten ylläpitämiin katuihin ja yksityisteihin. Maantieliikenteen voidaan ajatella olevan pääasiassa kaukoliikennettä ja katujen ja yksityisteiden vastaavasti paikallista liikennettä. Maantie-termi korvasi yleiset tiet -termin 1.1.2006 voimaan astuneen maantielain myötä (Maantielaki 2005).

Suomen koko tieverkoston pituus on noin 454 000 kilometriä, joista maanteitä on noin 78 000 kilometriä eli 20 prosenttia tieverkosta. Suurin osa maanteiden tieverkosta sijoittuu taajamien läheisyyteen ja taajamien väleille yhdistäen erikoisia keskuksia. Tässä tutkimuksessa maantiet on jaettu toiminnallisen tieluokituksen mukaan viiteen luokkaan: moottoritiet (jotka lasketaan kuuluvaksi valta-teihin), valtatiet, kantatiet, seututiet ja yhdystiet (Kuva 6). Moottoriteitä on 653 km ja moottoriliikenneteitä 141 km eli yhteensä noin prosentti kaikista maanteis-tä (Tiehallinto 2004b).



Kuva 6. Suurin osa tieverkosta on vähäliikenteisiä yksityis- ja yhdysteitä.

Suomen maanteillä liikkuu keskimäärin 1 200 ajoneuvoa vuorokaudessa (Taulukko 1). Maanteiden kokonaisliikennesuorite vuonna 2003 oli 33 miljardia autokilometriä (Tiefakta 2004; Yleiset tiet 1.1.2004). Maanteiden liikennesuoritteesta yli 60 prosenttia tapahtuu valta- ja kantateillä. Yhdysteillä, joiden pituus on 66 prosenttia koko maanteiden tieverkoston pituudesta, tapahtuu vain noin 19 prosenttia liikennesuoritteesta (Kuva 7). Moottoriteillä tapahtuu 18 prosenttia liikennesuoritteesta.

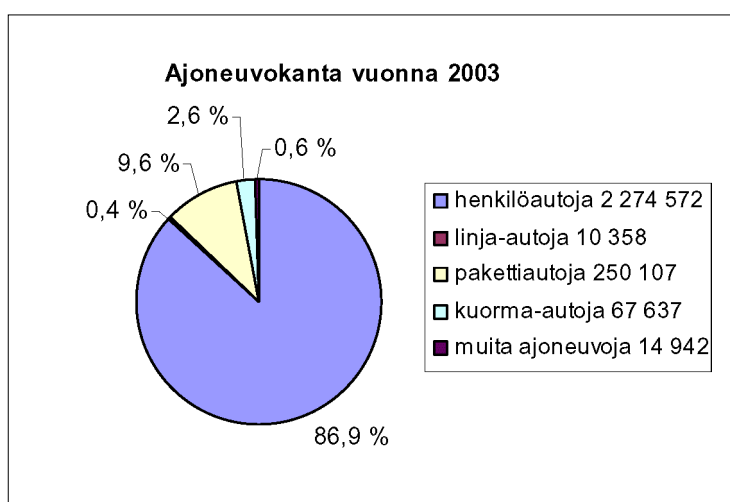


Kuva 7. Ajoneuvoliikenteen liikennesuoritteiden jakautuminen.

Taulukko 1. Maanteiden pituudet, keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) ja liikennesuoritteet tieluokittain (vrt. Pusenius ym. 2005: 15).

	Moottoritie	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie	Maantiet yhteensä
Pituus (km)	794	7 780	4 686	13 469	51 469	78 198
KVL	20 621	3 611	2 501	1 283	329	1 200
Liikennesuorite (milj. autokm / vuosi)	5 976	10 255	4 277	6 307	6 189	33 004

Suomessa on noin 2,3 miljoonaa yksityistä henkilöautoa. Määrä on ollut jatkuvas-  
ti kasvussa. Yhteensä autoja on noin 2,7 miljoonaa (Kuva 8). Nykyisin yli kahdella  
kolmesta kotitaloudesta on henkilöauto käytettävissään, ja 16 prosentilla on  
käytössään kaksi tai useampia autoja (Ojala 2000: 84).



Kuva 8. Suomen ajoneuvokanta vuonna 2003 (Tiehallinto 2005a).

Katuja ja rakennuskaavateitä on Suomessa noin 26 000 kilometriä. Kaduista suu-  
rin osa on rakennettu 1970-90 -luvulla. Valtaosa kaduista on tonttikatuja, jotka  
takaavat ajoyhteyden tonteille. Tonttikaduilta liikenne johdetaan kokoojaka-  
duille, jotka puolestaan johdattavat liikennettä pääkaduille. 69 prosenttia kaikis-  
ta kaduista on tonttikatuja, 27 prosenttia kokoojakatuja ja 4 prosenttia pääkatuja  
(Tiehallinto 2005b). Kaduilla ajetuista kilometreistä noin 70 prosenttia ajetaan  
pääkaduilla, 17 prosenttia kokoojakaduilla ja 13 prosenttia tonttikaduilla. Katu-  
jen liikennesuorite on yhteensä noin 15,8 miljoonaa ajoneuvokilometriä vuodes-  
sa (VTT 2005).

Merkittävin osa Suomen tieverkosta on erilaisia yksityisteitä, joita on yh-  
teensä noin 350 000 km eli 77 prosenttia koko tieverkosta. Yksityisteitä on raken-  
nettu vähitellen paikallisen liikennetarpeen mukaan ja niiden hallinto on haja-  
naista (Tiehallinto 2005b). Yksityisteiden liikennesuorite on tieverkon pituudes-  
ta huolimatta vain noin miljardi ajoneuvokilometriä vuodessa (Tiefakta 2004).

## Pyöräliikenne

Pyöräilyn ja pyörien määriä Suomessa ei ole tilastoitu yhtä tarkasti kuin muita liikennemuotoja. Niistä on kuitenkin olemassa useita arvioita. Liikenne- ja viestintäministeriön mukaan 80 prosentilla suomalaisista on käytössään polkupyörä (LVM 2001: 8). Tässä tutkimuksessa on käytetty Suomen polkupyöräteollisuusyhdistyksen (2004) arvioita, jonka mukaan Suomessa on noin 3,1 miljoonaa pyörää ja niillä ajetaan vuosittain yhteensä 1,3 miljardia kilometriä (Hakkarainen ym. 2005: 26). Yhdellä pyörällä ajetaan siis vuosittain noin 420 kilometriä.

Vuoden 1999 henkilöliikennetutkimuksen mukaan pyörällä kuljetaan Suomessa joka kymmenes matka eli saman verran matkoja kuin joukkoliikenteellä. Alueelliset erot ovat suuria: Oulussa pyöräilyn osuus on peräti 20 prosenttia kaikista tehdyistä matkoista. Eniten pyöräillään 8 000 - 50 000 asukkaan kunnissa (LVM 2001: 4,13). Pyörillä tehtävistä matkoista 76 prosenttia on alle kolmen kilometrin pituisia. Henkilöautoilla tehdyistä matkoista 28 prosenttia on myös alle kolme kilometrin pituisia. Lyhyillä matkoilla pyörä on nopeudeltaan kilpailukykyinen henkilöauton kanssa ja pyörä soveltuisikin hyvin kulkuneuvoksi valtaosaan näistä lyhyistä matkoista. Miehet käyttävät naisia enemmän henkilöautoa liikkumiseen, kun taas naiset kulkevat useammin polkupyörällä tai jalan (Liikenneministeriö 1999: 38-39, 48).

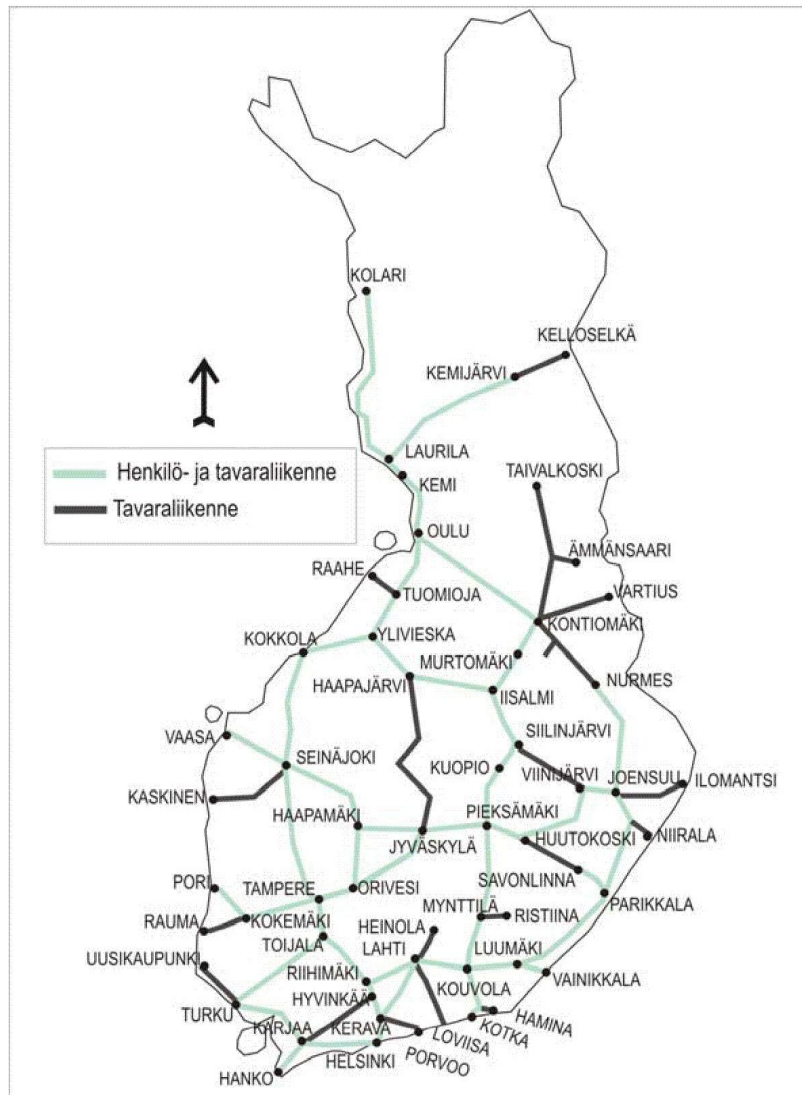
Kevyen liikenteen väylillä on usein yhdistettynä kävely- ja pyöräliikenne. Kevyen liikenteen väyliä, joissa pyöräily on sallittua, on Suomessa yhteensä 12 000 kilometriä (Hakkarainen ym. 2005: 27). Tästä 4 730 km on maanteiden varsilla eli ne ovat Tiehallinnon vastuulla ja loput ovat kuntien vastuulla (Tiehallinto 2005a).

Pyöräilyn realistisena tavoitteena on pidetty pyörämatkojen osuuden nostamista neljännekseen kaikista matkoista. Jotta pyöräily olisi houkutteleva vaihtoehto, tulisi asumisen, työpaikkojen ja palvelujen sijaita lähellä. Lisäksi tarvitaan yhtenäinen pyöräliikenteen väyläverkosto. Tämä ei kuitenkaan tarkoita omia väyliä joka paikassa, koska kadut ja tietkin ovat turvallisia pyöräilijöille, jos autoliikenteen nopeudet ovat matalia (Ojala 2000: 99).

## Rautatieliikenne

Rautateillä tehtiin vuonna 2003 lähes 60 miljoonaa henkilöliikenteen matkaa. Rautatieliikenteen osuus Suomen henkilöliikenteen matkoista on noin prosentin verran. Henkilöliikenteen suorite yhteensä rautateillä on 3 338 miljoonaa henkilökilometriä eli noin 5 prosenttia henkilöliikenteen kokonaissuoritteesta. Suomen tavaraliikenteestä noin neljännes on rautatiekuljetuksia. Vuonna 2003 tavaraa kulki rautateitse yhteensä 43,5 miljoonaa tonnia (RHK 2004).

Suomen koko rataverkon pituus on 5 851 kilometriä, josta päärataa on 5 643 kilometriä (Kuva 9). Koko rataverkon pituudesta 91,3 prosenttia eli 5 344 km on yksiraiteista rataosuutta ja 8,7 prosenttia eli 507 km kaksi- tai useampiraiteista rataosuutta. Yksiraiteisista radoista on sähköistetty 1 893 km ja kaksi- tai useampiraiteiset radat ovat kaikki sähköistettyjä. Koko raidepituus, jossa on mukana myös sivuraiteet, on 8 707 km (RHK 2004: 8).

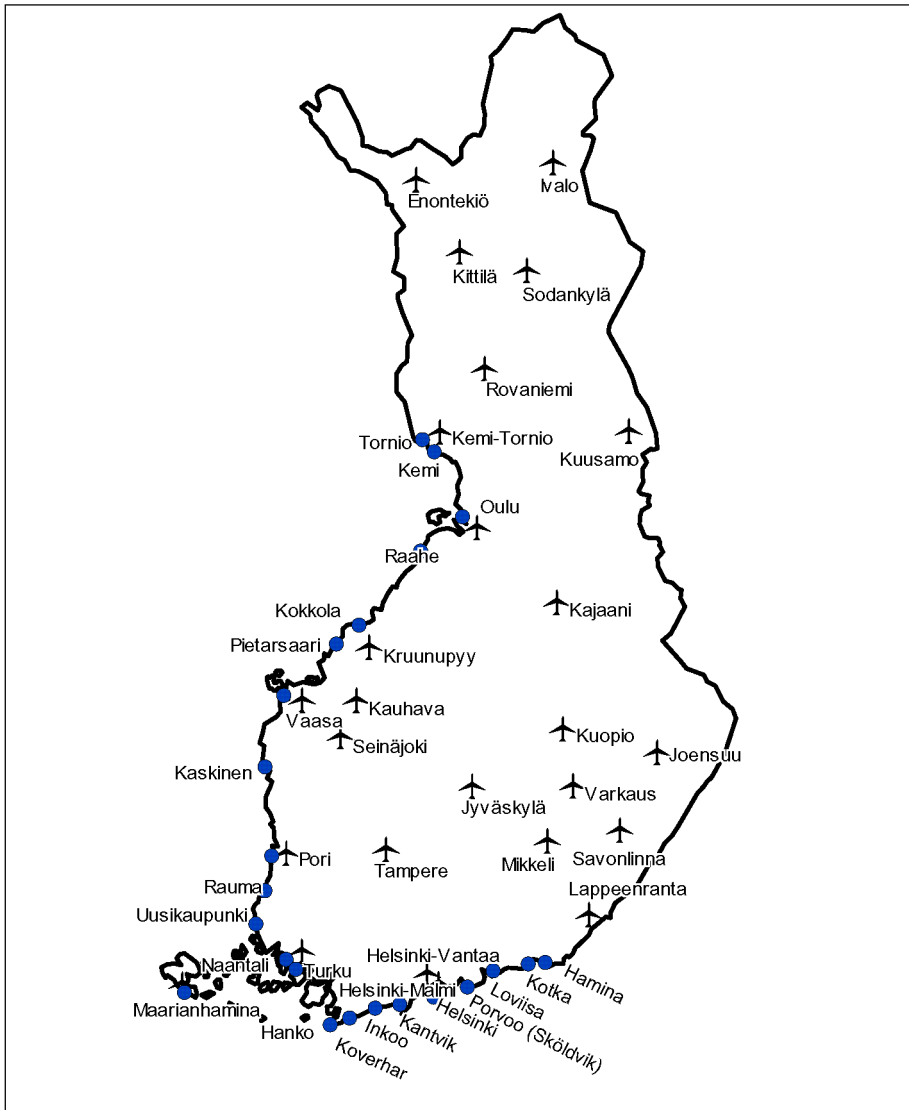


Kuva 9. Suomen rataverkko (RHK 2004: 9, muokattu).

## Lentoliikenne

Lentoliikenteen osuus kotimaan henkilökilometrisuoritteesta oli vuonna 2000 noin kaksi prosenttia ja tavaraliikenteen tonnikipometreistä noin yksi prosentti. Kansainvälisessä matkustajaliikenteessä lentoliikenteen osuus on huomattavasti suurempi kuin kotimaassa; vuonna 2000 lentoliikenne vastasi 14 prosentista Suomen kansainvälisestä henkilöliikenteestä (LVM 2002). Vuonna 2003 Suomen lentoliikenteessä matkusti yli 13 miljoonaa matkustajaa, mikä oli noin 50 prosenttia enemmän kuin 10 vuotta aikaisemmin (Ilmailulaitos 2004).

Ilmailulaitos ylläpitää Suomessa 25 lentoaseman verkostoa (Kuva 10). Näillä lentoasemilla on käytössä talvisin 27 ja kesäisin 33 kiitotietä. Kiitoteiden yhteenlaskettu pituus on noin 75 km (Ympäristöministeriö 2003). Tässä tutkimuksessa on Ilmailulaitoksen lentoasemien lisäksi mukana Seinäjoen ja Mikkelin kuntien omistuksessa olevat lentoasemat, joissa on säännöllistä liikenneilmailua.



Kuva 10. Suomen lentoasemat ja talvisatamat (kuva Satu Lähteenoja).

## Meriliikenne

Valtaosa Suomen ja ulkomaiden välisestä tavarankuljetuksesta tapahtuu meriteitse. Vuonna 2003 Suomen ja ulkomaiden välillä kuljetettiin meriteitse noin 88 miljoonaa tonnia tavaraa. Merikuljetusten osuus Suomen tuonnista ja viennistä oli vuonna 2002 tonneina mitattuna yli 77 prosenttia.

Suomen ja ulkomaiden välinen meriteitse kulkeva matkustajaliikenne käsitti vuonna 2003 yhteensä 15,6 miljoonaa matkustajaa. Tähän lukuun sisältyvät sekä saapuneet että lähteneet matkustajat. Suurin osa Suomen ja ulkomaiden välisestä meriteitse tapahtuvasta matkustajaliikenteestä suuntautuu Ruotsiin ja Viroon (Merenkululaitos 2005).

Merenkululaitoksen (2004) tilastojen mukaan Suomen alusrekisteriin kuului 636 vähintään 15-metristä alusta vuonna 2004. Sen pituiset ja sitä pidemmät laivat on lain mukaan rekisteröitävä Suomen alusrekisteriin. Tämä Suomen kaupalaivasto jakautui vuonna 2001 alustyypeittäin seuraavasti: matkustaja-aluksia

oli 35 prosenttia alusten kokonaismäärästä, kuivalastialuksia 20 prosenttia, säiliöaluksia noin 4 prosenttia ja muita aluksia noin 41 prosenttia. Suomalaisten alusten osuus Suomen meriliikenteen tavarakuljetusten kuljetussuoritteesta eli tonnikilometreistä on noin 20 prosenttia (Merenkululaitos 2002).

Suomessa on yli 50 ulkomaankuljetuksia hoitavaa satamaa. Näistä 23 toimii vuoden ympäri (Kuva 10). Kuljetukset ovat kuitenkin keskittyneet selvästi suurempiin satamiin: vuonna 2001 kymmenessä suurimmassa satamassa käsiteltiin 75 prosenttia kaikesta tavaraliikenteestä (Lindqvist ym. 2005: 14, cit. Viitanen ym. 2003).

Suomen vesiliikenteen väylästä koostuu meriväylistä, sisävesiväylistä ja kanavista. Väylästä ylläpitää Merenkululaitos. Rannikkoväyliä on yhteensä 8 200 kilometriä, josta kauppamerenkulun väyliä (syvyydeltään 4,0-15,3 metriä) on 4 600 kilometriä. Merenkululaitos ylläpitää väylästä 25 000 turvalaitetta, kuten majakoita, viittoja ja reunamerkkejä. Varustamoliikelaitoksilla on Suomessa 9 jäänmurtajaa (Vesiväylät 2005).



## Aineisto ja menetelmät

### 2.1 Ekotehokkuus ja MIPS

#### 2.1.1 Ekotehokkuuden käsite

Ekotehokkuuden käsite on ollut osa ympäristökeskustelua ja -tutkimusta jo yli kymmenen vuoden ajan. Sillä tarkoitetaan luonnonvarojen käytön tehokkuutta eli tuotteesta tai palvelusta saadun hyödyn ja siihen käytettyjen resurssien suhdetta. Perusajatus voidaan tiivistää kahteen sanaan: enemmän vähemmästä (Rissa 2001: 10). Kansainvälinen elinkeinoelämää edustava järjestö World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) nosti käsitteen julkiseen keskusteluun Rio de Janeirossa vuonna 1992 pidetyn YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin yhteydessä. Se määritteli ekotehokkuuden seuraavasti: "Ekotehokkuus saavutetaan tuottamalla hyvinvointia lisääviä, kilpailukykyisesti hinnoiteltuja tuotteita ja palveluja, samalla koko ajan vähentäen niiden elinkaaren aikaista ekologista vaikutusta ja materiaali-intensiteettiä vähintään tasolle, joka vastaa maapallon kantokykyä" (Dahlbo ym. 2003, ECOREG 2005).

Ekotehokkuusajattelu tuo mukanaan uuden näkökulman ympäristönsuojeluun. Perinteisesti ympäristönsuojelussa on keskitytty tutkimaan pääasiassa ihmisen terveyttä vaarantavia haitta-aineita ja päästöjä. Schmidt-Bleekin (2002: 67-70) mukaan tällainen perinteinen ympäristöpolitiikka, joka keskittyy jo todettujen haitta-aineiden vähentämiseen, ei voi olla tehokasta ja ennaltaehkäisevää. Yksittäisten aineiden myrkyllisyyden tutkimisen ohella tulisi kiinnittää huomio ihmisen käyttämiin ja aiheuttamiin valtaviin materiaalivirtoihin, joista esimerkiksi energian kulutuksen ympäristövaikutukset pääasiassa johtuvat. Ihmisten aiheuttamien materiaalivirtojen tutkiminen ja pienentäminen on tärkeää, koska nopeasti kasvavat materiaalivirrat muuttavat maailman ekologista tasapainoa. Tällä saattaa olla seurauksia, joista emme vielä edes tiedä (Schmidt-Bleek 2002: 23-26).

Ekotehokkuusajattelun mukaan kestävän kehityksen toteutuminen vaatii yhteiskuntien materiaali-intensiteetin pienentymistä eli dematerialisaatiota. Se puolestaan edellyttää tuotantotapojen ja kulutustottumusten muuttamista tehostamalla luonnonvarojen käyttöä. Maailmanlaajuisesti materiaalivirrat pitäisi vähentää noin puoleen nykyisestä. Kun lisäksi hyvinvoinnin halutaan jakautuvan maapallolla tasaisesti, tulisi teollisuusmaissa luonnonvarojen käytön tehokkuus kymmenkertaistaa tulevien vuosikymmenien aikana. Tästä tavoitteesta käytetään nimeä factor 10 (Schmidt-Bleek 2002: 177-190). Tämä ajattelu saattaa tuoda kauan kaivatun yhteyden myös talouden ja ympäristön välille: parantamalla materiaalien käytön tehokkuutta säästetään paitsi ympäristöä myös rahaa (Hofrén 1999: 13-14).

Jotta materiaalinkulutusta voitaisiin arvioida ja tutkia, on sitä pystyttävä luotettavasti mittaamaan. Ekotehokkuuden mittariksi on esitetty monia vaihtoehtoja, joista yksi on tässä tutkimuksessa käytetty MIPS-indikaattori.

## 2.1.2 Ekotehokkuuden mittari MIPS

Wuppertal-instituutissa Saksassa alettiin 1990-luvun alussa kehittää indikaattoria, jolla voitaisiin luotettavasti kuvata tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksia materiaalivirtojen kannalta. Mittarin tuli olla selkeäkäyttöinen ja yksinkertainen, sen piti sopia niin prosessien, tuotteiden kuin palveluidenkin mittaamiseen, ja lisäksi sen piti olla sovellettavissa sekä paikallisesti, alueellisesti että maailmanlaajuisesti (Schmidt-Bleek 2002: 107).

Tuloksena oli MIPS-mittari (Material Input Per Service unit), joka mittaa tuotteen koko elinkaaren aikaista ekotehokkuutta eli materiaalien kulutusta suhteessa tuotteesta saatavaan hyötyyn.

MIPS-mittari koostuu MI-luvusta (tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikainen materiaalin ja energian kulutus) ja S-luvusta (tuotteen tai palvelun antama palvelusuorite). MIPS lasketaan jakamalla materiaalipanos MI palvelusuoritteen kokonaismäärällä S (Autio & Lettenmeier 2002: 14):

$$MIPS = \frac{MI}{S} = \frac{\text{Material Input}}{\text{Service unit}} = \frac{\text{materiaalipanos}}{\text{palvelusuorite}}$$

### Materiaalipanos (MI)

MI on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisen materiaalinkäytön summa. MI-kerroin on luku, joka pitää sisällään kaikki raaka-aineen prosessoinnin aikana siirretyt materiaalien määrät kyseessä olevan raaka-aineen painoyksikköä kohden, mukaan lukien energiankäytön vaatimat materiaalien siirrot. Se sisältää siis myös esimerkiksi malmin louhinnassa ja kivihiihikaivoksissa siirretyt materiaalit. Yksikkönä on kg/kg eli kg materiaalipanosta per kg raaka-ainetta. Energiapanosten, erityisesti sähkön MI-kerrointen yksikkönä on kg/kWh. Laskennan helpottamiseksi Wuppertal-instituutti on määritellyt eri raaka-aineille ja energiamuodoille valmiita MI-kertoimia (Schmidt-Bleek 2002: 113-119). Kertomalla tuotteessa käytettyjen materiaalien määrät kunkin materiaalin MI-kertoimella saadaan kunkin materiaalin luonnonvarapanos kokonaisuudessaan. Samalla tavoin voidaan kertoa muiden tuotantopanosten (esim. sähkö, lämpö, kuljetukset) suora kulutus niille kuuluvalla MI-kertoimella. Laskemalla tuotteen elinkaaren eri vaiheiden MI-tulokset yhteen saadaan kunkin tuotteen vaatima materiaalipanostus. Näin tarkastelu ulottuu niihinkin osiin, mitä silmällä ei näe, eli tarkastelu ulottuu tuotteen raaka-aineen valmistuksesta sen elinkaaren loppuun asti (Autio & Lettenmeier 2002: 14-15).

MIPS-konseptin mukaan materiaalipanokset lasketaan erikseen viidessä eri kategoriassa: abioottiset eli ei-eloperäiset luonnonvarat, bioottiset eli eloperäiset luonnonvarat, vesi, ilma ja siirretty maaperä.

Abioottisia luonnonvaroja ovat kiinteät mineraaliraaka-aineet kuten kivet ja malmit kaivoksista, louhoksista ja sulatoista. Abioottisiin luonnonvaroihin lasketaan myös fossiiliset polttoaineet kuten hiili, maaöljy ja -kaasu sekä kaikki maa-ainemassat, joita joudutaan siirtämään esimerkiksi louhimisen yhteydessä ja lisäksi niin sanotut ylijäämämaat esimerkiksi rakennusten ja liikenneväylien rakentamisen yhteydessä (Schmidt-Bleek 2002: 132-134).

Bioottisia luonnonvaroja ovat kaikki ihmisen käyttöön ottama kasvien biomassa: kaikki viljellyt, viljelemättömät, poimitut, kerätyt tai muuten hyödynnetyt kasvit. Myös eläimet kuuluvat tähän luokkaan, mutta ihmisen kasvattamien eläinten kohdalla lasketaan eläinten syömän ravinnon biomassa (esim. lehmän syövä ruoho). Bioottisiin materiaaleihin kuuluvat myös villieläimet, kalat ja puut (Schmidt-Bleek 2002: 132-134).

Vesi otetaan mukaan aina silloin, kun sitä otetaan pois luonnosta teknisin toimenpitein. Myös patoaminen ja sadevesi, joka siirtyy ihmisen toiminnan vuoksi pois alkuperäiseltä paikaltaan, lasketaan mukaan. Esimerkiksi teiden materiaa- livirtoja laskettaessa kaikki asfaltille satanut sadevesi lasketaan mukaan, koska se ei pääse imeytymään luonnolliselle pinnalle. Maataloudessa käytetyt vesimää- rät kuuluvat myös tähän luokkaan (Schmidt-Bleek 2002: 132-134).

Ilma otetaan huomioon silloin, kun ihminen muuttaa sitä kemiallisesti tai fysikaalisesti. Laskelmiin otetaan mukaan vain se osa ilmasta, jota muutetaan, eli esimerkiksi se osa hapesta, jota käytetään polttoprosesseissa. Mekaanisesti siir- rettyä ilmaa kuten tuulimyllyjen ja ilmastoinnin käyttämää ilmaa ei huomioida (Schmidt-Bleek 2002: 132-134).

Maa- ja metsätaloudessa siirtyy maata mekaanisen maanmuokkauksen ja eroosion takia. Käytännössä indikaattorina käytetään yleensä eroosiota. Tätä luokkaa koskeva tutkimus on Wuppertal-instituutissa vielä kesken, eikä esimer- kiksi monille maataloustuotteille ole vielä julkaistu valmiita MI-kertoimia (Ritt- hoff ym. 2005: 12).

### *Palvelusuorite (S)*

MIPS-ajattelussa tuotteet ja materiaalit nähdään tietyn palvelun tai hyödyn tuot- tajina: ihminen ei tarvitse tuotteita niiden itsensä vuoksi, vaan lähinnä niistä saatavia palveluja varten. Palvelusuoritteella tarkoitetaan tuotteesta tai palve- lusta saatavaa hyötyä, ja se määritellään aina tapauskohtaisesti. Palvelusuorite voi olla esimerkiksi vaatteita tarkastellessa yksi käyttökerta tai eri liikennemuoto- ja tarkastellessa kulkuvälineellä kuljetettu henkilö- tai tonnikilometri. Kun materiaalipanos jaetaan palvelulla, voidaan samanlaisia palveluja tuottavia hyö- dykkeitä tai järjestelmiä vertailla keskenään. Tämä edellyttää, että palvelusuo- rite on kaikissa määritelty samoin. Siten esimerkiksi eri liikennemuotojen luon- nonvarojen kulutusta voidaan vertailla keskenään, kun kaikkien liikennemuoto- jen kulutus suhteutetaan henkilö- tai tonnikilometreihin (Schmidt-Bleek 2002: 113-119).

Palvelusuoritetta määritettäessä tullaan helposti tilanteeseen, joissa tietty kuormitusta tai kulutusta aiheuttava häirtatekijä on jaettava erilaisten hyötyjen tai hyödynsaajien kesken. Tällöin joudutaan ratkaisemaan, millä perusteella tämä jakaminen suoritetaan, eli millä tavoin häirtatekijä allokoidaan eri ratkaisujen kesken. Tässä tutkimuksessa merkittävin allokointikysymys on infrastruktuurin materiaalipanosten allokointi erityyppisten käyttäjien välissä. Allokoinnista kerrotaan enemmän luvussa 2.6.

### *2.1.3 Materiaalivirrat pienemmiksi*

MIPS-menetelmän tavoitteena on kehittää tuotteita ja palveluja, jotka tuottavat laadukasta palvelua vähemmillä luonnonvaroilla kuin aikaisemmin. Tavoite saa- vutetaan joko pienentämällä materiaalipanosta MI tai kasvattamalla palvelusuo- ritetta S (Autio & Lettenmeier 2002: 16).

MIPS-mittaria voidaan käyttää apuna teollisuuden tuotesuunnittelussa sekä palveluiden, prosessien, laitosten ja infrastruktuurin suunnittelussa ja ekologi- sessa arvioinnissa. Menetelmän etuna on samaa palvelua tuottavien hyödykkei- den vertailtavuus, kun materiaalipanokset lasketaan samaa palveluyksikköä kohden. MIPS voisi tulevaisuudessa olla mukana esimerkiksi infrastruktuurin suunnittelussa muun ympäristövaikutusten arvioinnin lailla jo suunnittelun al- kuvaiheessa. Lähestymistavan avulla voidaan erottaa ekologisesti järkevät kier- rätys- ja muut prosessit ja menetelmät ekologisesti ongelmallisista. Sen avulla

voidaan jopa arvioida kolmannen maailman maiden avun sekä teknisten projektien hyväksyttävyyttä (Schmidt-Bleek 2002: 128).

MIPS-indikaattoriin läheisesti liittyvä käsite on " ekologinen selkäreppu" . Sillä tarkoitetaan tuotteen tai palvelun tuotannon vuoksi siirrettyjen materiaalien massaa, mutta tuotteen omaa massaa ei lasketa mukaan kuten MI-luvussa. Ekologinen jalanjälki taas pyrkii ilmaisemaan sen maapinta-alan, joka vaaditaan tuotteen tai palvelun tuottamiseen (mm. Rissa 2001).

#### 2.1.4 MIPS-menetelmän kritiikkiä

Ekotehokkuuden mittareiksi esitetyt indikaattorit ovat saaneet osakseen paitsi mielenkiintoa myös kritiikkiä. Ennen menetelmän käyttämistä pitääkin ymmärtää, mihin MIPS kykenee ja mihin ei. Schmidt-Bleek (2002: 127) painottaa esimerkiksi, että MIPS voidaan määritellä vain palveluja tuottaville lopputuotteille - ei raaka-aineille tai yksittäisille materiaaleille.

Yhtenä menetelmän heikkoutena on, että se asettaa kaikki materiaalit samalle tasolle ottamatta huomioon ainevirtojen haitallisuutta ja myrkyllisyyttä ympäristölle. MIPSiä on kritisoitu siitä, että se ei kykene kuvaamaan tuotteen aiheuttamien ympäristövaikutusten todellista määrää, koska se antaa saman painoarvon kaikille materiaaleille huolimatta niiden toisistaan poikkeavista ympäristövaikutuksista (mm. Koskinen 2001). Toisaalta MIPS-laskelmien ei ole tarkoituskaan syrjäyttää muita ympäristövaikutusten arviointeja, vaan täydentää niitä materiaali-intensiteetin näkökulmasta (Schmidt-Bleek 2002: 129).

Toinen menetelmän heikkous on sen työläys ja epävarmuus. Kuten muukin elinkaarilaskenta, myös MIPS-lukujen laskeminen vähänkin monimutkaisemmalle palvelulle tai tuotteelle vie paljon aikaa ja vaatii runsaasti oletuksia ja arvioita, joiden määrää ei päällepäin näe. Jo lähtökohtana olevat Wuppertal-instituutin (Wuppertal Institute 2005) julkaisemat MI-kertoimet ovat monien arvioiden ja yleistysten tulosta. Indikaattorien takana olevia laskelmia on vaikea tarkistaa, koska luvut on laskettu eri tahoilla ja nekin sisältävät arvioita. Wuppertal-instituutti ei julkaise MI-kertoimiensa taustalla olevia laskelmia eikä niiden luotettavuusrajoja, joten käyttäjällä ei ole mahdollisuutta arvioida kertoimien luotettavuutta eikä laatia rajoja niiden avulla saaduille tuloksille. Kohteesta riippuen MIPS-laskujen menestyksellinen suorittaminen saattaa vaatia myös merkittävän määrän asiantuntija-apua.

#### 2.1.5 Aikaisempi tutkimus aiheesta

MIPS on vielä suhteellisen nuori menetelmä. Siihen liittyvät tutkimukset ovat lähinnä sen kehittäjän, Wuppertal-instituutin julkaisemia. Wuppertal-instituutti on julkaissut liikennesektorilta tutkimuksia lähinnä raideliikenteestä ja laivaliikenteestä. Tieliikenteestä on julkaistu ainoastaan tavaraliikenteen MI-kertoimia (Schmidt-Bleek 2002: 66; Wuppertal Institute 2005). Muualla maailmassa ei tietävästi ole tehty tämän tutkimuksen laajuista MIPS-tarkastelua liikenteestä.

Suomessa kokeiltiin MIPS-menetelmää laajemmassa mittakaavassa ensimmäisen kerran vuosina 2000-2002 Factor X - Ekotehokkaasti markkinoille - hankkeessa. Hankkeessa yritykset tarkastelivat tuotteidensa ja palveluidensa luonnonvarojen kulutusta. Hankkeessa koulutettiin yrityksiä ja ympäristöalan ammattilaisia MIPS-menetelmän ja Factor-ajattelun soveltamiseen. Tuloksena saatiin Suomen oloja vastaavia MIPS-lukuja muun ohella toimistokalusteista, juna- matkoista ja lonkkaleikkauksesta (Autio & Lettenmeier 2002).

Helsingin kaupungin rakennusviraston MateriaEuro -hankkeessa selvitettiin vuonna 2004 katurakentamisen ja katujen kunnossapidon luonnonvarojen kulutusta (Hänninen ym. 2005). MIPS-menetelmään pohjautuvia tutkimuksia on

julkaistu pro gradu- ja diplomitöinä niin liikenteestä (Lindqvist 2005, Nieminen 2005, Vihermaa 2005, Pusenius 2004, Hellén 2004, Hänninen 2004) kuin muistakin aiheista (esim. Salo 2004 ja Sinivuori 2004).

Suomessa lasketaan vuosittain kansantalouden kokonaisuudessaan aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Suomen kansantalouden luonnonvarojen kokonaiskäytön (TMR, Total Material Requirement) laskelmiin sisältyvät myös liikenteen materiaalivirrat (Mäenpää ym. 2000). MIPS-menetelmässä erikseen tarkastelluista viidestä luonnonvarakategoriasta TMR-lukuun on laskettu yhteen abiottinen ja bioottinen MI-luku sekä eroosio.

## 2.2 Tutkimusaineisto

Tämän työn pohjana ovat olleet FIN-MIPS Liikenne - hankkeen aiemmat osatutkimukset eri liikennemuotojen ekotehokkuudesta (Hakkarainen ym. 2005, Lindqvist ym. 2005, Nieminen ym. 2005, Pusenius ym. 2005, Talja ym. 2006 ja Vihermaa ym. 2005). Näistä tutkimuksista, joista käytetään tässä tutkimuksessa yleisesti nimeä osatutkimukset, saatiin perustiedot materiaalipanoksista ja esimerkkitaustusten MIPS-tulokset. Yleistystä varten piti sen lisäksi kerätä paljon lisätietoa liikennejärjestelmän eri osista. Työn luonteesta johtuen käytetty aineisto on ollut laadullisesti varsin vaihtelevaa ja tietoja etsittiin lukuisista eri lähteistä. Kirjallisista lähteistä suuri osa on julkisesti saatavilla Internetissä. Lisäksi aineistona käytettiin paljon eri alojen asiantuntijoiden lausuntoja ja tiedonantoja suullisesti ja sähköpostitse.

Laskelmat ja yleistyksiset tehtiin enimmäkseen olemassa olevien esimerkkien pohjalta. Siten laskelmissa käytetyt MI-kertoimet ovat enimmäkseen samoja kuin FIN-MIPS Liikenne - hankkeen aikaisemmissa osatutkimuksissa.

## 2.3 Tarkastelun rajaus tässä tutkimuksessa

Liikennejärjestelmä on moniosainen ja laaja kokonaisuus, jota on vaikea rajata selkeästi. Varsinkin näin laajassa materiaalivirtalaskennassa on kuitenkin ollut pakko tehdä rajauksia jo laskennan työläyden takia. Aineiston saanti on osaltaan vaikuttanut tutkimusten rajauksiin. Jokaisessa osatutkimuksessa tehtyjä järjestelmää koskevia rajauksia on pääpiirteissään noudatettu myös tässä tutkimuksessa.

MIPSin viidestä eri luonnonvaraluokasta tässä tutkimuksessa tarkastellaan vain abiottisten luonnonvarojen, veden ja ilman kulutusta. Osatutkimuksissa oli tarkasteltu myös bioottisten luonnonvarojen kulutusta. Kaikki liikennemuodot todettiin kuitenkin bioottisten luonnonvarojen kulutuksen kannalta vähänmerkityksellisiksi, minkä vuoksi bioottiset luonnonvarat jätettiin tässä työssä kokonaan tarkastelun ulkopuolelle.

Ajoneuvoliikenne on jaettu kolmeen osaan: maanteihin, katuihin ja yksityisteihin. Ajoneuvot rajattiin kuuteen ajoneuvotyyppiin. Esimerkiksi moottoripyörät jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Yksityisteistä rakennetut metsätiet sekä muut ajokelpoiset metsä- ja mökkitiet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska metsäteiden oletettiin olevan pääasiassa metsätalouden käytössä ja mökkiteiden hyvin vähäisessä käytössä. Yksityisteiden kokonaispituudesta (350 000 km) on siis tässä tutkimuksessa mukana 100 000 km. Kaduista tutkittiin erikseen pääkatujen, kokoojakatujen ja tonttikatujen kulutusta. (Pusenius ym. 2005: 16-22, Talja ym. 2006). Kevyestä liikenteestä on tutkittu vain pyöräliikennettä. Pyörällä ajamisen luonnonvarojen kulutusta muualla kuin pyöräteillä ei ole laskettu (Hakkarainen ym. 2005: 21).

Suomen sisäinen raideliikenne on helppo rajata selkeästi, kun toimijoita ja väylätyyppejä on vähemmän kuin tieliikenteessä. Raideliikenteestä on tarkasteltu koko Suomen kaukoliikennettä sekä lisäksi pääkaupunkiseudun lähijuna-, raitiovaunu- ja metroliikennettä.

Lentoliikenteessä tutkimus on rajattu koskemaan vain liikenneilmailua, kuitenkin siten, että sotilas- ja yleisilmailun osuudet otettiin huomioon jaettaessa infrastruktuurin materiaalipanoksen kaikkien käyttäjien kesken. Suomen sisäisen lentoliikenteen lisäksi tutkimusalueeseen kuuluu myös Suomesta ulkomaille suuntautuva lentoliikenne (Nieminen ym. 2005: 11). Koko lentoliikenteen materiaalipanoksen laskennassa (kts. luku 2.4.4) on laskettu vain Suomen talousalueen sisällä tapahtuva lentoliikenne.

Laivaliikenteessä on sisävesiliikenne jätetty kokonaan tarkastelun ulkopuolelle. Uittojen osuus Suomen tavarankuljetuksesta on noin yhden prosentin luokkaa. Meriliikenteessä on jätetty myös kotimaan rannikkoliikenne ja huviveneily tarkastelun ulkopuolelle ja keskitytty vain ulkomaille suuntautuvaan ammattiliikenteeseen. Satamista ovat mukana vain talvisatamat ja väylistä talvisatamiin johtavat väylät. Aluksista on tarkasteltu neljää alustyyppiä (Lindqvist ym. 2005: 10, 16). Meriliikenteen kokonaiskulutuksen laskennassa on otettu mukaan vain Suomen talousalueella tapahtuva liikenne.

## 2.4 Aikaisempien case-tutkimusten aineiston yleistäminen

FIN-MIPS Liikenne -hankkeen osatutkimuksissa on tutkittu Suomen liikenne- ja viestintäministeriön ekotehokkuutta esimerkkitapausten pohjalta. Esimerkkitapausten pyrittiin valitsemaan niin, että ne edustaisivat mahdollisimman hyvin alansa valtatyyppisiä Suomessa. Tämän työn yhtenä tehtävänä oli yleistää esimerkkitapausten tulokset koskemaan koko Suomea. Yleistykset on tehty pitkälti osatutkimusten pohjalta, joten seuraavassa kerrotaan yleistämisestä vain niiltä osin kuin laskelmiin on tehty muutoksia.

Osatutkimusten laskelmissa käytetyt Suomen keskimääräiset sademäärät vaihtelivat välillä 600-650 mm vuodessa. Lisäksi joissakin esimerkeissä käytettiin paikallisia sademääriä. Koko Suomea koskevissa luvuissa sadeveden määrä haluttiin yhtenäistää samaksi kaikissa liikennemuodoissa. Tämän tutkimuksen laskelmissa käytettiin arviota, jonka mukaan Suomessa sataa noin 600 mm vuodessa (Ilmatieteen laitos 2005). Ulkomaille suuntautuvassa lento- ja meriliikenteessä sademääriin ei tehty muutoksia. Raideliikenteen elinkaarenaikaisen veden kulutuksen lukuja, joissa on oletettu vuotuisiksi sademääräksi 650 mm vuodessa, ei myöskään muutettu tehtävän työläyden takia. Tämä tulee ottaa huomioon vertailtaessa raideliikenteen ja muiden liikennemuotojen vedenkulutuksen lukuja.

Pusenius ym. (2005: 29) sekä Vihermaa ym. (2005) ovat käyttäneet energiankulutuksen materiaalipanosten laskennassa Helsingin Energian tuottaman sähkön MI-kertoimia. Helsingin Energia ei kuitenkaan ole kovin edustava koko Suomea ajatellen, joten tässä tutkimuksessa sähkön kulutuksen MI-luvut muutettiin Suomen kansallisen keskiarvon mukaisiksi, jonka ovat laskeneet Nieminen ym. (2005, liite C). Suomen kansallisen keskiarvosähkön abioottinen MI-kerroin on 0,53 kg/kWh, veden 189,28 kg/kWh ja ilman 0,22 kg/kWh. Suurin ero Helsingin Energian sähkön ja kansallisen keskiarvon välillä on veden kulutuksessa, koska Helsingin Energia ei juuri käytä vesivoimaa. Keskiwertosähkön veden kulutus on kuusinkertainen Helsingin Energian sähkөөn verrattuna.

Talja ym. (2006) ottivat yksityisteiden ja katujen sekä pääkaupunkiseudun raideliikenteen laskelmissa alusta asti huomioon koko Suomen tason ja yleistettävyyden myös edellä mainittujen sähkön ja sadeveden osalta. Paikallisen liikenteen osatutkimuksen tuloksia on siis käytetty sellaisenaan tässä tutkimuksessa.

## 2.4.1 Maantieliikenne

Maanteiden osatutkimuksessa tiet oli jaettu neljään toiminnalliseen luokkaan, joista jokaisesta oli valittu esimerkkitie: yksi moottoritie, yksi valtatie, yksi seututie ja yksi yhdystie. Tiehallinnon toiminnalliseen luokitukseen kuuluu omana luokkanaan kantatiet, mutta niiden luonnonvarojen kulutuksesta ei ole laskettu esimerkkiä, koska kantatiet ovat rakenteeltaan hyvin samanlaisia kuin valtatie (Säämänen 2005). Näin ollen kantateiden materiaalipanous on oletettu samaksi kuin valtateiden.

Pusenius ym. (2005: 25-26) olivat alusta alkaen huomioineet tulosten yleistettävyyden, vaikka tutkimus perustuikin olemassa oleviin esimerkkiteihin. Raportin laskelmissa on käytetty esimerkiksi Suomen keskimääräisiä liikennetietoja paikallisten liikennetietojen sijaan. Massanvaihtojen määrä sekä leikkausmassojen hyödyntäminen eri tietyyteillä on myös arvioitu valtakunnallisen tilanteen mukaan. Lähtökohdat ovat siis hyvät, jotta osatutkimuksen tulokset voidaan yleistää koskemaan kaikkia Suomen maanteitä. Seuraavassa esitellään kohdat, joissa Pusenius ym. laskelmiin on tehty muutoksia.

### *Laskelmiin tehdyt muutokset*

Tieliikenteen esimerkkiteissä on laskettu mukaan myös pyörätiet ja teiden varilla olevat jalkakäytävät. Yleistettäessä ne jätettiin pois tien materiaalipanoksesta, koska pyöräteiden luonnonvarojen kulutus laskettiin erikseen.

Maanteiden osatutkimuksessa maaperän eloperäinen osa, kuten pintamaa, on laskettu bioottiseksi luonnonvaraksi. MIPS-konseptin mukaan maaperä lasketaan kuitenkin abiottiseksi luonnonvaraksi kuten kaikki muukin eloton aines (Schmidt-Bleek 2002: 132-134). Jotta maanteiden tulokset olisivat vertailukelpoisia muiden osatutkimusten tulosten kanssa, laskettiin maaperä kokonaan abiottisiin luonnonvaroihin kuuluvaksi.

### *Ajoneuvojen polttoaineen kulutus ja täyttöaste*

Pusenius ym. (2005) olivat olettaneet puoli- ja täysperävaunurekkojen polttoaineen kulutukseksi 31 l/100 km. Tämä vastaa kuitenkin lähinnä tyhjän ajoneuvon kulutusta, keskimääräisillä kuormilla kulutus on suurempi. Kulutuslukuja korjattiin VTT:n (2005) LIPASTO-tietokannan pohjalta. Tässä tutkimuksessa oletettiin, että puoliperävaunurekka kuluttaa keskimäärin 39 l/100 km ja täysperävaunurekka 41 l/100 km. Muutos vaikuttaa varsinkin ajoneuvojen ilman kulutuksen MI-kertoimiin, mutta on nähtävissä myös abiottisen kulutuksen ja veden MI-kertoimissa.

Pusenius ym. (2005) olivat olettaneet, että tavaraliikenteen keskimääräinen kuorma on pakettiautolla 1 tonni, kevyellä kuorma-autolla 7 tonnia, puoliperävaunuyhdistelmällä 14 tonnia ja täysperävaunuyhdistelmällä 21 tonnia (Pusenius ym. 2005: 30). Pakettiautojen kohdalla tämä ei kuitenkaan vastaa todellisuutta. Suomen kuljetus ja logistiikka SKAL ry:n kuljetusasiantuntija Tuomo Heinosen (2005) mukaan pakettiautot kulkevat tuskin koskaan maksimikuormalla, kuten osatutkimuksessa on oletettu. Pakettiautojen tavarankuljetuksissa tila on usein rajoittavampi tekijä kuin paino. Niillä tehdään usein kuriirikuljetuksia, joissa kuljetetaan pieniä tavaramääriä ja kevyttä tavaraa, ja kuormaa otetaan sen verran kun päivässä ehditään jakamaan. Käytännössä pakettiautoissa ei kuljeteta läheskään maksimikuormia kiloissa laskettuna, vaan rajoittavana tekijänä on painoa useammin tilavuus. Pakettiautojen keskimääräiseksi kuormaksi Heinonen arvioi 100-200 kiloa. Suomen Postin kehityspäällikkö Harri Ajomaa (2005) arvioi karkeasti, että Postin pakettiautoissa kulkisi keskimäärin 400 kg kuormaa.

Posti on yksi suurimmilla pakettiautokuormilla ajavista yrityksistä Suomessa. Yksityisessä käytössä olevat pakettiautot kuljettavat todennäköisesti vähemmän kuormaa kuin yrityskäytössä olevat. Näiden arvioiden perusteella on tässä tutkimuksessa oletettu pakettiautojen keskimääräiseksi kuormaksi 200 kg.

#### *Valtatien MI-luvut*

Puseniuksen ym. (2005) valitsemat esimerkkiet edustavat enimmäkseen hyvin tieluokkansa tyypillistä tietä. Tutkittu valtatie 25 osuus on kuitenkin maapohjansa ja joidenkin rakenneratkaisujen vuoksi kuluttanut luonnonvaroja selvästi normaalia valtatieä vähemmän. Jotta valtatie kulutus edustaisi keskimääräistä valtatieä, tehtiin valtatie 25 laskelmiin joitakin muutoksia. Muutoksissa avusti johtava asiantuntija Aarno Valkeisenmäki Tieliikelaitokselta.

Valkeisenmäen (2005) mukaan Valtatie 25 sijainti harjulla on mahdollistanut tiellä tavallista ohuempien rakenteiden käytön. Rakenteet on saatu kestäväksi routaa vastaan noin 20 prosenttia normaalia ohuemmillä rakenteilla. Yleistettäessä valtatie 25 rakenteiden lukuihin lisättiin siis 25 prosenttia. Myös pohjanvahvistusten määrä on harjulla normaalia pienempi, mutta osatutkimuksen laskelmissa on käytetty arvioita pohjanvahvistuksen keskimääräisestä yleisyydestä kullakin tieluokalla. Siltä osin osatutkimuksen luvut vastaavat siis keskimääräistä tietä.

Valtatie 25 rakentamisessa on käytetty osalla tietä luonnonmateriaalien sijasta masuunikuonaa, joka on kierrätysmateriaalia. Yleistettäessä tämä jätettiin huomiotta ja koko tutkitun tieosuuden oletettiin olevan murskerakennetta, mikä vastaa paremmin todellisuutta Suomen valtateilla. Tämän lisäksi valtatie lukuihin tehtiin myös samat, edellä mainitut muutokset (sähkö, sadevesi, pyörätiet, bioottiset luvut) kuin muihinkin teihin. Liitteessä 1 on esitetty edellisten tietojen pohjalta lasketut uudet valtatie MI-luvut (vrt. Pusenius ym. 2005: 46, taulukko 15).

#### *Keskimääräinen maantien MI*

Puseniuksen ym. (2005: 62) mukaan MIPS-lukujen jatkokäytön kannalta olisi tärkeää määrittää yhden MIPS-luvun jokaiselle liikennemuodolle. MIPS-lukujen tulisi olla edustavia tieluokasta riippumatta. Tätä yleistystä varten laskettiin teiden pituuksilla painotettu keskiarvo eri tieluokkien ja niiden liikenteen luonnonvarojen kulutuksesta. Tähän lukuun lisättiin Taljan ym. (2006) laskemat keskimääräisten katujen ja yksityisteiden luvut, jolloin oli mahdollista laskea väyläluokasta riippumattomat ajoneuvoliikenteen MIPS-luvut (luku 3.1.4).

### *2.4.2 Pyöräliikenne*

#### *Pyörämallien yleistäminen*

Polkupyöräliikenteen osatutkimuksessa (Hakkarainen ym. 2005) tutkittiin yhteensä viittä eri Helkaman ja Tunturin pyörämallia. Mukana oli sekä teräs- että alumiinirunkoisia pyöriä. Näiden esimerkkien pohjalta laskettiin yleistämistä varten keskimääräisen suomalaisen pyörän luonnonvarojen kulutus. Eniten pyörän kulutukseen vaikuttaa rungon materiaali, joten oli selvitettävä, missä suhteessa Suomessa on tällä hetkellä alumiini- ja teräsrunkoisia pyöriä.

Hakkarainen ym. (2005) arvioivat, että toistaiseksi suurin osa pyöristä on teräsrunkoisia, mutta alumiinirunkoisten määrä kasvaa koko ajan. Teräsrunkoisten pyörien myynnin osuus oli vuonna 1985 99 prosenttia kaikista myydyistä pyöristä, mutta vuonna 2003 enää korkeintaan 60 prosenttia (Hakkarainen ym.



2005: 27). Jos arvioidaan, että alumiinirunkoisia pyöriä on myyty noin 10 vuotta ja pyörän käyttöikä on 20 vuotta, niin tällä hetkellä käytössä olevista pyöristä noin neljännes on alumiinirunkoisia. Pikainen tarkastelu Helkaman ja Tunturin internetsivuilla osoitti, että toukokuussa 2005 valmistajien sivuilla olleista 55 aikuisten ja nuorten pyörämallista 31 oli alumiinirunkoisia ja 24 teräsrunkoisia (Helkama 2005; Tunturi 2005). Ainakin alumiinirunkoisten pyörien tarjonta on ohittanut teräsrunkoisten tarjonnan. Lisäksi on myynnissä muista materiaaleista kuten titaanista tehtyjä pyöriä, joita ei osatutkimuksessa ole huomioitu. Ne lie-  
nevät kuitenkin materiaalipanokseltaan lähempänä alumiinirunkoista kuin teräsrunkoista pyörää.

Edellä olevan tarkastelun perusteella keskimääräisen pyörän kulutus laskettiin siten, että yksi kolmasosa pyöristä on alumiinirunkoisia ja kaksi kolmasosaa teräsrunkoisia. Osatutkimuksessa tultiin johtopäätökseen, että Helkaman pyörien MIPS-luvut ovat mahdollisesti realistisempia kuin Tunturin, koska niissä on laskettu mukaan enemmän valmistuksen välivaiheita (Hakkarainen ym. 2005: 41). Keskiarvolaskelmaan otettiin siis mukaan molemmat tutkitut Helkaman pyörät eli yksi alumiini- ja yksi teräsrunkoinen pyörä sekä lisäksi Tunturin teräsrunkoinen Akseli/Elina - pyörä.

### *Pyörätiet ja valaistus*

Kevyen liikenteen väylien valaistus on lähes aina yhdistetty ajoratojen valaistukseen. Näin samoista valaisimista hyötyvät autoilijat, pyöräilijät ja kävelijät. Valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen kulutus on jaettu polkupyöräliikenteen osatutkimuksessa tien leveyden perusteella. Leveysperusteinen jako ei ole kuitenkaan perusteltua niissä allokointivaihtoehdoissa, joissa kaikkia pyöräteitä ei allokoida pyörille (kts. luku 2.5.2). Siksi yleistettäessä valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen kulutus jaettiin autojen ja pyörien kesken ajettujen kilometrien perusteella. Tämä allokointitapa on esitetty myös osatutkimuksen herkkyystar-  
kasteluissa (Hakkarainen ym. 2005: 39).

Pyörillä ajetaan vuosittain 1 300 miljoonaa ajoneuvokilometriä (pyöräliikenteessä henkilö- ja ajoneuvokilometri on käytännössä sama asia). Maanteillä ajetaan moottoriteitä lukuun ottamatta 31 500 miljoonaa ajoneuvokilometriä vuosittain (Pusenius ym. 2005: 15). Moottoriteiden varsilla ei ole pyöräteitä, joten niillä ajettavia kilometrejä ei oteta huomioon. Autoilla ajetaan siis 96 prosenttia ja pyörillä 4 prosenttia kilometreistä. Kävelijöiden osuutta ei ole huomioitu. Koko tiealueen pituusmetriä kohden kuluu valaistukseen abioottisia luonnonvaroja 12,5 kg vuodessa, vettä 6 000 kg vuodessa ja ilmaa 4,9 kg vuodessa (Hänninen ym. 2005: 49). Kun tästä allokoidaan pyöräliikenteelle 4 prosenttia, vastaavat pyöräliikenteen luvut ovat: abioottisia luonnonvaroja 0,5 kg/m/a, vettä 244 kg/m/a ja ilmaa 0,2 kg/m/a. Valaistus on sisällytetty pyöräteiden MI-lukuihin, samoin kuin pyöräteiltä pois valunut sadevesi.

### *2.4.3 Raideliikenne*

Vihermaa ym. (2005) ovat yleistäneet rautatieliikenteen MIPS-luvut esimerkeistä koko Suomeen. Yleistäminen on tehty rataosuuksittain, ja siinä on otettu huomioon raiteiden määrä ja vilkkausluokka (Taulukko 2). Lisäksi pelkästään tavara-  
liikenteen käytössä oleville rataosuuksille on käytetty sitä vastaavan esimerkkita-  
pauksen MI-lukua. Tiedot rataosuuksista, niiden raiteiden määrästä ja vilkkaus-  
luokasta ovat liitteessä 3. Vihermaan ym. (2005) tekemien yleistysten pohjalta on laskettu myös, paljonko junalla matkustaminen ja kuljettaminen keskimäärin kuluttavat luonnonvaroja.

Taulukko 2. Kauko- ja tavarajunaliikenteessä käytetyt liikenteen vilkkaustasot ja niihin liittyvät täyttöasteet (vrt. Vihermaa ym. 2005: 17).

Liikennetaso	Henkilöliikenne		Tavaraliikenne	
	Henkilöliikenteen matkaa / vuosi	Täyttöaste %	Nettotonnia / vuosi	Täyttöaste %
Vilkasliikenteinen	≥ 5 000 000	60	≥ 3 000 000	50
Keskitasoinen	500 000	35	1 500 000	50
Vähäliikenteinen	≤ 50 000	20	≤ 500 000	50

Vihermaan ym. (2005) laskelmissa käytetty Helsingin Energian sähkö muutettiin paremman vertailtavuuden vuoksi Suomen kansalliseksi keskiarvosähköksi. Muutokset tehtiin Vihermaan ym. (2005) junille ja raiteille tekemien herkkyystar-kastelujen pohjalta. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 3) on esitetty, missä mää-rin sähkön MI-kertoimen vaihtaminen muutti MIPS-lukuja.

Taulukko 3. Sähkön hankinta- ja tuotantotavan oletuksen muutoksesta laskettujen MIPS-lukujen suhteet Vihermaan ym. (2005) alkuperäisiin MIPS-lukuihin prosentteina.

Henkilöliikenteen MIPS-luvut			
	Abioot.	Vesi	Ilma
<b>I-raiteinen</b>			
Vähäliikenteinen	100 %	147 %	80 %
Keskimääräinen	98 %	259 %	67 %
Vilkas	93 %	455 %	60 %
<b>2-raiteinen</b>			
Vähäliikenteinen	100 %	133 %	83 %
Keskimääräinen	100 %	203 %	70 %
Vilkas	98 %	380 %	61 %
<b>Tavaraliikenteen MIPS-luvut</b>			
<b>I-raiteinen</b>			
Vähäliikenteinen	99 %	175 %	75 %
Keskimääräinen	98 %	254 %	67 %
Vilkas	97 %	329 %	63 %
<b>2-raiteinen</b>			
Vähäliikenteinen	100 %	147 %	79 %
Keskimääräinen	100 %	198 %	71 %
Vilkas	99 %	254 %	66 %
<b>Pelkän tavaraliikenne radan liikenteen MIPS-luvut</b>			
<b>I-raiteinen</b>			
Vähäliikenteinen	99 %	161 %	78 %
Keskimääräinen	99 %	226 %	69 %
Vilkas	98 %	296 %	65 %

Vihermaan ym. (2005) julkaisemat rautatieliikenteen ja sen infrastruktuurin luvut olivat osittain pohjana myös Taljan ym. (2006) laskelmissa lähijuna-, metro- ja raitiovaunuliikenteestä. Tässä tutkimuksessa käytettiin lähijuna-, metro- ja raitio-vaunuliikenteen MIPS-lukuina suoraan Taljan ym. (2006) laskemia MIPS-lukuja.

#### 2.4.4 Lentoliikenne

Lentoliikenne on tässä tutkimuksessa jaettu neljään osaan: kotimaan ja Euroopan sekä loma- ja kaukoliikenteeseen. Lisäksi Euroopan kohteista erotettiin Suomen lähialueille suuntautuvat lennot. "Lähialueilla" tarkoitetaan tässä yhteydessä lähinnä Pietaria sekä Baltian maita ja Ruotsin itärannikkoa. Lentoliikenteen materiaalipanoksen muodostuu lentoasemien infrastruktuurin sekä koneiden ja niiden polttoaineenkulutuksen luonnonvarojen kulutuksesta.

##### *Lentoasemat*

LentoMIPS-osatutkimuksessa on tarkasteltu Helsinki-Vantaan sekä Jyväskylän lentoasemia. Jyväskylän lentoasema edustaa hyvin keskimääräistä suomalaista maakunta-asemaa (Viinikainen 2005a), joten lentoasemien materiaalipanokset arvioitiin Jyväskylän aseman perusteella. Merkittävin tekijä lentoaseman materiaalipanoksessa on lentoliikennealueen koko. Sen materiaalipanokset arvioitiin kunkin aseman kiitotien tai -teiden pituuden ja leveyden mukaan (Tilastokeskus 2003: 162). Lentoasemien muiden osien oletettiin olevan Jyväskylän lentoaseman kaltaisia. Lentoliikennealue käsittää kiitoteiden lisäksi rullaustiet ja asematasot sekä teknisiä ja lennonvarmistukseen liittyviä rakennuksia. Sen pinta-ala on suoraan suhteessa kiitoteiden pituuteen ja siksi yleistykset tehtiin koko lentoliikennealueelle. Ulkomaisten lentoasemien kohdalla oletetaan, että ne vastaavat Helsinki-Vantaan lentoasemaa (Nieminen ym. 2005: 11). Tämä on karkea yleistys, mutta ulkomaan asemien selvittäminen olisi ollut liian työlästä. Lisäksi infrastruktuurin osuus lentomatkan materiaalipanoksesta pienenee etäisyyden kasvaessa, jolloin oletuksesta johtuva virhekin pienenee, kun matkat pitenevät.

##### *Koneet ja reitit*

Nieminen ym. (2005) ovat tarkastelleet kuutta konetyyppiä, joista viisi on matkustajakoneita. Rahdin kuljettamisen luonnonvarojen kulutus (kg/tonnikilometriä) saadaan melko luotettavasti kertomalla henkilökilometriä kohden lasketut luvut kymmenellä, koska lentoliikenteessä oletetaan yleisestikin, että yksi rahtitonni vastaa kymmentä matkustajaa matkatavaroineen. Laskelmissa tavaraliikenne voitiinkin jättää lähes huomiotta, joten B757-koneen rahtiversio ei ole mukana yleistyslaskelmissa. Niiden lentokonetyyppien, joista ei ole esimerkkiä, luonnonvarojen kulutus on arvioitu sen mukaan, mitä esimerkkikonetta ne eniten muistuttavat. Arvioinnissa avusti Ilmailulaitoksen ympäristösuunnittelija Niina Rusko (2005a). Tiedot siitä, minkä konetyypin mukaiseksi koneet yleistettiin, ovat liitteessä 1.

Lentokoneiden matkustajamäärinä ja täyttöasteina käytettiin samoja kuin Niemisen ym. (2005) osatutkimuksessa. Laskelmissa käytettiin seuraavia matkustajatäyttöasteita (Nieminen ym. 2005: 44):

- Kotimaanlennot: 53 %
- Euroopan lennot: 56,6, %
- Mannertenväliset lennot: 73,1 %
- Lomalennot: 88,7 %

Materiaalipanoksen osista suurin osa on saatu suoraan Niemisen ym. (2005) esimerkkilaskelmista. Polttoaineen kulutus henkilökilometriä kohden muuttuu matka-ajan mukaan, joten se laskettiin esimerkkireiteille erikseen. Tiedot kunkin koneen polttoaineenkulutuksesta ja päästöistä saatiin Finnair Oyj:n Janne Pallosta (2005). Tuloksissa esitetään MIPS-lukuja eri reiteillä ja koneilla henkilökilometriä ja reittiä kohti.

Esimerkkien perusteella on laskettu, paljonko lentäminen kuluttaa keskimäärin henkilökilometriä kohti lennettäessä Helsingistä Suomeen, Eurooppaan, lomakohteisiin ja kaukomaihin. Suomen keskimääräisiin MIPS-lukuihin on otettu huomioon kaikki konetyypit ja reitit. Eri koneiden ja reittien kulutusta on painotettu niiden operaatiomäärillä. Koska Ulkomaan lennoilla erot kilometrikohtaisessa luonnonvarojen kulutuksessa ovat pienempiä, on keskimääräiset MIPS-luvut voitu määrittää esimerkkireittien perusteella.

#### 2.4.5 Meriliikenne

Meriliikenteessä on tutkittu vain ulkomaille suuntautuvaa liikennettä. Satamien kohdalla on oletettu, samoin kuin lentoliikenteessä, että ulkomaan satama on samanlainen kuin Suomen lähtösatama.

Meriliikenteen MIPS-lukujen yleistäminen tehtiin lähdetietojen puutteen ja niiden keräämisen työläyden takia suoraan Lindqvistin ym. (2005) esimerkkilaskelmien tuloksista, joten oletukset muun muassa täyttöasteista ovat samoja kuin osatutkimuksessa. Henkilöliikenteessä oli tarkasteltu kahta alustaa ja kolmea reittiä, joista laskettiin keskiarvo painottamalla MIPS-lukuja reittien matkustajamäärillä (Merenkululaitos 2005). Yleistys tehtiin hyvin karkeasti siten, että kaikki Ruotsiin matkustavat yleistettiin Helsinki-Tukholma -reitille ja muualle matkustavat ulkomaiset risteilyalukset mukaan lukien yleistettiin Helsinki-Travemünde -reitille. Viroon matkustavista 70 prosentin arvioitiin kulkevan autolautoilla ja 30 prosentin pika-aluksilla (Lindqvist ym. 2005: 38). Tavaraliikenteessä oli laskettu hieman useampia esimerkkitapauksia kuin henkilöliikenteessä, mutta yleistys tehtiin samalla periaatteella kuin henkilöliikenteessä eli kaikki kuljetetut tonnit yleistettiin sen mukaan, mihin esimerkkitapaukseen ne parhaiten sopivat.

Meriliikenteen vuosittaisen kokonaiskulutuksen laskemista varten piti selvittää, paljonko satamat, väylät ja alukset kuluttavat yhteensä luonnonvaroja Suomessa. Satamien osalta tutkimus on rajattu talvisatamiin. Esimerkkisatamista valittiin kaksi satamatyyppiä, rakenteeltaan raskaampi Sompasaari ja kevyempi Naantali. Satamien kulutus arvioitiin niiden maapinta-alan perusteella ja sen mukaan, vastaavatko ne rakenteeltaan enemmän laajoja alueita täyttämällä rakennettua Sompasaaren vai luonnonsyvään rantaan perustettua Naantalin satamaa. Suomen satamaliiton apulaisjohtaja Kirsti Tarnanen-Sariolan (2005) avustuksella talvisatamat jaettiin kahteen ryhmään sen perusteella, kumpaa satamatyyppiä ne paremmin vastaavat. Maarianhaminan satamaa ei ole laskettu mukaan.

Väylistä mukana ovat talvisatamiin johtavat väylät, joita on noin 2 000 km (Holm 2005). Näiden väylien yhteiskulutus arvioitiin vuosittaisten ruoppausmäärien ja Lindqvistin ym. (2005) laskemien esimerkkien perusteella. Väylien materiaalipanoksessa suurin tekijä ovat ruoppaukset, jotka muodostavat noin 90 % abioottisesta kulutuksesta. Holmin (2005) mukaan saaristoväylillä tehdään kunnostus- ja syvennysruoppauksia yhteensä noin 250 000 m<sup>3</sup> verran vuodessa. Lindqvistin ym. (2005) laskemien kolmen esimerkkiväylän perusteella voidaan yleistää sanoa, että veden kulutus väylillä on noin 70 prosenttia ja ilman kulutus noin 5 prosenttia abioottisten luonnonvarojen kulutuksesta. Väylien kulutusta arvioitiin myös toista kautta. Lindqvistin ym. (2005) esimerkkiväylistä laskettiin keskimääräinen luonnonvarojen kulutus väyläkilometriä kohden ja nämä luvut kerrottiin väyläkilometreillä. Kahdella tavalla saadut tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan. Yleisesti ottaen väylien kulutus on vain murto-osa satamien kulutuksesta.

Alusten luonnonvarojen kulutuksen tarkastelu rajattiin Suomen talousalueelle samaan tapaan kuin lentoliikenteessä. Tietoja alusten polttoaineen kulutuksesta saatiin VTT:n (2005) Lipasto-tietojärjestelmästä ja alusten muu kulutus ar-

vioitiin tämän tiedon perusteella. VTT:n MEERI-tietokannan mukaan laivaliikenteessä kuluu vuodessa noin 800 000 tonnia polttoainetta. Lindqvist ym. (2005) ja Stiller (1995: 30) ovat laskeneet, paljonko laivojen luonnonvarojen kulutuksesta johtuu polttoaineen kulutuksesta ja paljonko aluksen valmistuksesta. Laskelmissa oli päädytty suunnilleen samoihin tuloksiin: abioottisista luonnonvaroista noin 72 prosenttia, vedestä noin 65 prosenttia ja ilmasta noin 97 prosenttia on käytönaikaista eli lähinnä polttoaineen kulutusta. Alusten luonnonvarojen kulutus vuodessa saatiin laskettua näiden tietojen perusteella.

## 2.5 *Infrastruktuurin materiaalipanosten allokointi liikenteelle*

### *Allokointikysymykset elinkaaritarkastelussa*

Elinkaaritarkastelun tarkoituksena on ilmaista tuotteiden tai toimintojen aiheuttamaa ympäristön kuormitusta tai kulutusta konkreettisin numeroin koko elinkaaren laajuudelta. Tällaisessa tarkastelussa tullaan yleensä tilanteisiin, joissa tietty kuormitusta tai kulutusta aiheuttava haittatekijä on jaettava erilaisten hyötyjen tai hyödynsaajien kesken. Tällöin joudutaan ratkaisemaan, millä perusteella tämä jakaminen tehdään, eli millä tavoin haittatekijä allokoidaan eri hyötyjen tai tuotosten kesken.

Silloin, kun prosessin tuotokset ovat hyvin samankaltaisia tai toisiinsa verrattavissa, allokointi voidaan tehdä varsin yksinkertaisesti ja helposti. Sen sijaan monimutkaisissa prosesseissa tai järjestelmissä allokointimenettely voi muodostua varsin hankalaksi, etenkin kun prosessin tai järjestelmän tuotoksia tai niiden antamia hyötyjä ei voida helposti rinnastaa toisiinsa.

MIPS-konseptissa allokoitukysymykset tulevat vastaan, kun tietystä prosessista saadaan toisistaan esimerkiksi toiminnallisesti tai taloudellisesti poikkeavia tuotoksia tai kun tietystä materiaalipanoksesta saadaan toisistaan poikkeavia palvelusuoritteita. Prosessi tai tuoteketju saattaa tuottaa pää- ja sivutuotteita, joiden määrälliset ja taloudelliset suhteet voivat vaihdella esimerkiksi ajasta, paikasta tai taloudellisesta tilanteesta riippuen. Esimerkiksi puunjalostusketju tuottaa muun muassa paperia, puutavaraa, lastulevyä, lämpöä ja hakkuutähteitä. Näillä kaikilla on käyttöä, mutta metsänhakkuiden materiaalivirtojen jakaminen eli allokointi eri tuotosten välille vaatii pohdintaa. Julkista infrastruktuuria kuten Helsingin keskustan katuja käyttävät muiden ohella kuorma-autot, linja-autot, henkilöautot, polkupyöräilijät, liikekiinteistöihin ja ohikulkevat jalankulkijat sekä vapun viettäjä. Miten katujen aiheuttama materiaalipanos olisi jaettava mainittujen ja muiden käyttäjien kesken? Miten vesistöjen säännöstelyn aiheuttama materiaalipanos voidaan jakaa niin erilaisten hyötyjen kesken kuin sähköntuotanto, tulvasuojelu ja vesien virkistyskäyttö?

MIPS-konseptin peruskirjallisuus käsittää allokoitukysymyksiä, muttei pysty useinkaan antamaan valmista vastausta niihin. Esimerkiksi jätemateriaalien kierrätys yleensä säästää materiaalia verrattuna neitseellisen raaka-aineen käyttöön. Kierrätysprosessin säästöt allokoidaan MIPS-konseptissa uusiotuotteelle, jonka valmistuksen ansiosta neitseellisten raaka-aineiden käyttö vähenee (Schmidt-Bleek 2002: 113-114). Kierrätysprosessin tuomia säästöjä sen sijaan ei hyvitetä sille tuotteelle, jonka jätteet pystyttiin käyttämään hyödyksi. Tämä allokointi on perusteltavissa, koska luonnonvarojen säästö syntyy siitä, että jätteet käytettiin uuden tuotteen raaka-aineena. Lisäksi olisi vaikea ennustaa, missä määrin ja missä muodossa erityisesti pitkäikäinen tuote (esimerkiksi televisio, talo tai tienpohja) pystytään tai halutaan aikanaan käyttää toisen tuotteen raaka-aineena. Toisaalta tämä allokoitintapa ei anna hyvitystä sille, että valmistaja huomioi

tuotteensa kierrätyskelpoisuuden jo tuotesuunnitteluvaiheessa ja saattaa sitä varten esimerkiksi joutua käyttämään suurempaa materiaalipanosta.

Allokointitavoista on siis tehtävä päätöksiä, joihin ei ole olemassa yhtä tuotua. Näitä päätöksiä on punnittava, perusteltava ja lopulta dokumentoitava mahdollisimman hyvin. Tässä ja seuraavassa luvussa on dokumentoitu FIN-MIPS Liikenne -hankkeen eri osatutkimuksissa esillä olleet allokointivaihtoehdot sekä se, miten ja miksi lopullisiin vaihtoehtoihin päädyttiin.

#### *Tutkitut vaihtoehdot tässä tutkimuksessa*

FIN-MIPS Liikenne -tutkimuksessa suurimmat allokointikysymykset koskevat infrastruktuurin materiaalipanosten jakamista eri liikennemuotojen kesken. Näihinkään kysymyksiin ei ole olemassa yhtä oikeaa ratkaisua. Esimerkiksi henkilö- ja tavaraliikenne käyttävät yleensä samoja väyliä ja muuta infrastruktuuria. Painavimmat tavaraliikenteen kulkuneuvot kuluttavat enemmän väylärakenteita, vievät enemmän tilaa ja ovat hitaampia kuin henkilöliikenteen kulkuneuvot. Kevyet, mutta lukumäärältään suuremmat ajoneuvot tukkivat väyläkapasiteettia ja aiheuttavat sitä kautta lisärakentamisen painetta. Eri allokointitavoille löytyy siis yleensä perusteita, mutta valinta voi vaikuttaa suuresti lopputuloksiin ja eri liikennemuotojen MIPS-lukujen välisiin eroihin. Infrastruktuurin osuus liikennemuotojen MIPS-luvuissa on hyvin merkittävä, jopa 90 prosenttia kokonaiskulutuksesta. Siksi lopullisten tulosten kannalta on hyvin ratkaisevaa, millaisin osuuksin infrastruktuurin materiaalipanos jaetaan eli allokoidaan henkilö- ja tavaraliikenteen kesken. Tämän takia asiaa pohdittiin ja eri vaihtoehtoja esitettiin ja punnittiin tarkkaan kunkin liikennemuodon kohdalla.

Tässä luvussa esitetyt vertailut allokointitapojen vaikutuksista MIPS-lukuihin tehtiin alustavilla tai suoraan osatutkimuksista saaduilla luvuilla, joten ne eivät ole täysin yhtenevät lopullisten tulosten kanssa. Vertailujen tarkoituksena on havainnollistaa valitun allokointitavan merkitystä tuloksiin.

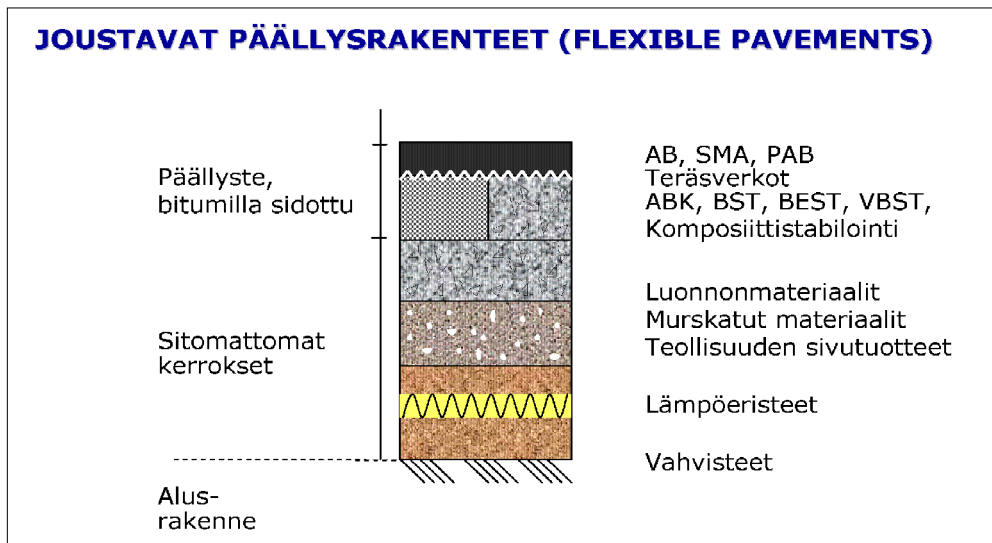
#### *2.5.1 Maantieliikenne*

Tien infrastruktuurin allokoinnissa keskeinen kysymys on, kuinka suuri osa teiden elinkaaren materiaaleista osoitetaan eri käyttäjien, lähinnä kevyemmän ja raskaamman liikenteen aiheuttamaksi. Osatutkimuksessa (Pusenius ym. 2005) ongelmaa lähestyttiin kolmella tavalla: tien elinkaaren aikainen kulutus jaettiin 1) väyläkustannusten mukaan, 2) ajoneuvojen bruttopainon mukaan sekä 3) keskimääräisen vuorokausiliikenteen mukaan. Väyläkustannusallokointi perustui Tielaitoksen julkaisuun teiden väyläkustannuksista (Tielaitos 2000). Kustannukset eivät kuitenkaan jakaudu teille samalla tavoin kuin materiaalien kulutus, joten se ei ole käyttökelpoinen allokointitapa ja se jätettiin pois vaihtoehtoista. Kolmanneksi vaihtoehdoksi tutkittiin kahta muuta allokointitapaa: tien rakennekerrosten jakamista eri tavoin eri liikennemuodoille sekä keskimääräisen vuorokausiliikenteen painottamista niin sanotulla henkilöautokertoimella.

#### *Allokointi tien rakennekerrosten kulutuksen mukaan*

Tien infrastruktuurin allokoinnissa kevyen ja raskaan liikenteen kesken tarkasteltiin, paljonko raskas liikenne todella vaikuttaa tien rakenteiden mitoitukseen (Kuva 11). Ajatuksena oli, että ne osat tierakenteesta, jotka rakennetaan paksumiksi ja vahvemiksi raskaan liikenteen takia, allokoitaisiin enemmän raskaalle liikenteelle. Tien muut osat allokoitaisiin enemmän henkilöautoliikenteelle, koska sitä on määrällisesti enemmän ja teitä rakennetaan lisää ensisijaisesti kasvavan liikennemäärän takia (mm. Ojala 2000: 86-87). Tarkastelu tehtiin tutustumalla tien rakenteen suunnittelun ohjeisiin (mm. Tammirinne ym. 2002, Pihlajamäki

2001, Tiehallinto 2004c) sekä haastattelemalla Tiehallinnon sekä Tieliikelaitoksen asiantuntijoita.



Kuva 11. Tien rakennekerrokset (Ehrola 2005).

Tarkastelun perusteella huomattiin, että tien rakenteiden mitoitukseen vaikuttavat monet tekijät, eikä niitä voida eritellä selvästi minkään ajoneuvoryhmän aiheuttamiksi. Lehtosen (2005) mukaan yhdys- ja seututeillä kantavan kerroksen murskerakennetta paksunnetaan 50 mm:llä, kun raskaan liikenteen määrä tiellä 2,5-kertaistuu. Valta- ja kantateillä samansuuruinen raskaan liikenteen lisäys edellyttää vain päällysteen paksuntamista, mikä ei ole merkittävä osa materiaalien kokonaiskulutuksessa. Päällysrakenteen kokonaispaksuus eli siihen tarvittavan materiaalin kokonaismäärä määräytyy käytännössä pohjamaan routivuuden ja tien tasaisuudelle asetettujen tavoitteiden mukaan: mitä korkealuokkaisempi väylä, sitä parempi tasaisuuden on oltava (Tolla 2005).

Tollan (2005) mukaan myös pohjarakenteiden määrän ja laadun määrittelee Suomessa käytännössä tien tasaisuudelle asetetut tavoitteet eikä niinkään liikennekuormitus. Pohjarakenteiden osalta tärkein mitoitusmäärittävä tekijä on pohjamaan laatu (lujuus- ja kokoonpuristuvuusominaisuudet) sekä tien sijoittuminen maastoon (penkereen korkeus, leikkauksen syvyys, maaston kaltevuus jne.), mikä määrittelee pohjamaalle tulevan kuormituksen.

Edellä esitettyjen perusteella päädyttiin jättämään rakenteisiin perustuva allokointi pois tutkittavista allokointivaihtoehdoista.

#### *Allokointi ajoneuvojen bruttopainon mukaan*

Ajoneuvojen bruttopainot (ajoneuvon omapaino + kuljetettu paino) on arvioitu seuraavasti: Henkilöauto 1,5 t, linja-auto 15,5 t, pakettiauto 2,2 t, kevyt kuorma-auto 17 t, puoliperävaunuyhdistelmä 30 t ja täysperävaunuyhdistelmä 43 tonnia (vrt. luku 2.4.1 ja Pusenius ym. 2005: 32). Nämä luvut kerrottuna tieluokkien keskimääräisellä vuorokausiliikenteellä tuottavat seuraavan taulukon esittämän allokointijaottelun (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tiemateriaalien allokointi ajoneuvoluokkien välille bruttopainojen mukaan.

	Moottoritie	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie
Ha	31,4 %	33,9 %	33,9 %	35,5 %	37,7 %
La	4,6 %	5,0 %	5,0 %	5,2 %	5,6 %
Pa	4,0 %	4,3 %	4,3 %	4,5 %	4,8 %
Kaip	9,3 %	13,7 %	13,7 %	17,2 %	18,8 %
Kapp	11,2 %	17,7 %	17,7 %	19,4 %	33,2 %
Katp	39,6 %	25,4 %	25,4 %	18,1 %	-

Tämän allokointitavan mukaan laskettuna henkilöliikenteen osuus teiden materiaalikulutuksesta on noin 40 prosenttia ja tavaraliikenteen noin 60 prosenttia. Allokointitapa poikkeaa tuloksiltaan selvästi kahdesta muusta vaihtoehdosta, ja lisäksi sille ei löydy perusteita esimerkiksi liikennesuunnittelusta. Tämä allokointitapa todettiinkin FIN-MIPS Liikenne -hankkeen TieMIPS-työryhmässä epäsovivaksi ja se ei ollut enää mukana lopullisessa valinnanteossa.

#### *Allokointi keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) mukaan*

Tämä allokointitapa on sama kuin maanteiden osatutkimuksessa. Käyttämällä tutkittavana olevien tietyyppien valtakunnallisia keskimääräisiä vuorokausiliikennetietoja teiden kulutus jakautuu ajoneuvojen kesken seuraavan taulukon mukaisesti (Pusenius ym. 2005: 32). Liikenteen jakautuminen kantatiellä arvioidiin samaksi kuin valtatiellä (Taulukko 5). KVL-alkokointi kohdentaa tien materiaalien kulutuksen sille liikennemuodolle, jota tien päällä kulkee määrällisesti eniten. Se ottaa huomioon vain ajoneuvojen määrän teillä, ei niiden muita ominaisuuksia kuten kokoa ja nopeutta, joiden takia ne varaavat tien eri tavoin käyttöönsä.

Taulukko 5. Eri tieluokkien materiaalipanoksen jakautuminen ajoneuvojen kesken keskimääräisen vuorokausiliikenteen (KVL) mukaisesti.

	Moottoritie	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie
Ha	84,1 %	84,1 %	84,1 %	84,1 %	84,1 %
La	1,2 %	1,2 %	1,2 %	1,2 %	1,2 %
Pa	7,3 %	7,3 %	7,3 %	7,3 %	7,3 %
Kaip	2,2 %	3,0 %	3,0 %	3,6 %	3,7 %
Kapp	1,5 %	2,2 %	2,2 %	2,3 %	3,7 %
Katp	3,7 %	2,2 %	2,2 %	1,5 %	-

*Ha = henkilöauto, La = linja-auto, Pa = pakettiauto, Kaip = kevyt kuorma-auto, Kapp = puoli-perävaunuyhdistelmä, Katp = täysperävaunuyhdistelmä*

#### *Allokointi henkilöautokertoimella painotetun keskimääräisen vuorokausiliikenteen mukaan*

Suomen Rakennusinsinöörien Liiton käsikirjan (RIL165-1 1987: 144) mukaan ajoneuvokoostumukseltaan erilaiset liikennevirrat saadaan vertailukelpoisiksi muuttamalla eri ajoneuvoryhmien liikennemäärät henkilöautoyksiköiksi tietyillä vastaavuuskertoimilla. Raskaat ajoneuvot vievät enemmän tilaa ja ovat erityisesti nousuissa hitaampia kuin muu liikenne, joten niiden vaikutus on sama kuin tietyn suuremman henkilöautomäärän lisääminen liikenteeseen. Tie- ja vesirakennuslaitoksen (nykyiset Tiehallinto ja Tieliikelaitos) normien mukaiset kertoimet ajoneuvoille ovat:



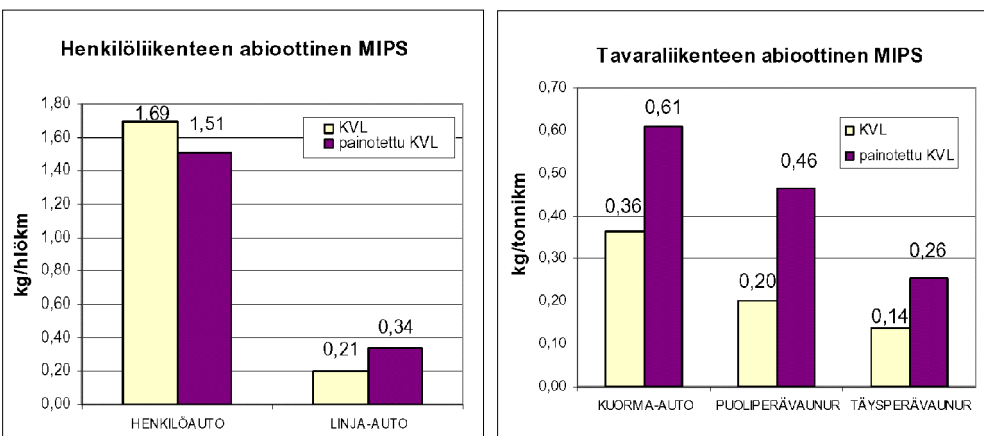
Henkilöauto 1.0  
 Linja-auto ja kaksiakselinen kuorma-auto 2.0  
 Useampiakselinen kuorma-auto 3.0  
 Moottoripyörä 0.5

Prokkolan (2005) mukaan tämä on käyttökelpoinen tapa painottaa raskasta liikennettä KVL:ssä, vaikka nykyisin enää vähän käytetty. Tiesuunnittelussa käytetään enemmän ns. vastaavuuskerroinmenetelmää raskaan liikenteen painottamisessa liikennesuunnittelun laskemiseksi (Tiehallinto 2004c: 24-25). Siinä eri raskaan liikenteen ajoneuvomäärät painotetaan kuormituskertaluvulla, joka tarkoittaa standardiakselin (100 kN yksittäinen paripyöräakseli) ylityskertojen lukumäärää. Kuormituskertaluku ei kuitenkaan suhteuta raskasta liikennettä henkilöautoihin eikä henkilöautoille myöskään ole kerrointa. Lukua käytetäänkin lähinnä teillä, joilla kulkee erityisen paljon raskasta liikennettä. Siksi tähän työhön sopii paremmin vanhempi ja yksinkertaisempi henkilöautokerroinmenetelmä, jonka kertoimet ovat samaa luokkaa kuin vastaavuuskerroinmenetelmässä, mutta suhteutettuna henkilöautoihin (Taulukko 6).

Taulukko 6. Teiden materiaali panostenen allokointi eri ajoneuvoluokkien välille henkilöautokertoimella painotetun KVL:n mukaan. Kuorma-autojen jakautumisessa eri tieluokille on käytetty samoja arvioita kuin KVL:n mukaisessa allokointivaihtoehdossa. Pakettiauton oletetaan vastaavan henkilöautoa.

	Moottoritie	Valtatie	Kantatie	Seututie	Yhdystie
Ha	73,9 %	74,4 %	74,4 %	74,8 %	74,9 %
La	2,1 %	2,1 %	2,1 %	2,1 %	2,1 %
Pa	6,4 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %	6,5 %
Kaip	3,9 %	5,3 %	5,3 %	6,4 %	6,6 %
Kapp	4,0 %	5,8 %	5,8 %	6,1 %	9,9 %
Katp	9,8 %	5,8 %	5,8 %	4,0 %	-

Tämä allokointitapa sijoittuu kahden ääripään väliin, mutta painottaa kuitenkin henkilöautoliikennettä selvästi raskasta enemmän. Näiden kahden allokointitavan välillä ei henkilöliikenteessä ole merkittäviä eroja tuloksissa, mutta tavara-liikenteessä ero on merkittävä (Kuva 12).



Kuva 12. Allokointitapojen aiheuttamat erot maanteiden liikenteen keskimääräisissä abiottisissa MIPS-luvuissa.

## 2.5.2 Pyöräliikenne

Pyöräliikenteen MIPS-tarkastelussa allokointikysymykset koskevat lähinnä infrastruktuurin eli kevyen liikenteen väylän materiaalien allokointia pyöräliikenteen, kävelyn ja muiden käyttäjien välillä. Polkupyöräliikenteen osatutkimuksessa on esitetty kahdella eri allokointitavalla saadut MIPS-luvut, jotka ovat ääripäitä mahdollisista allokointitavoista. Tässä esitetään lisäksi vielä yksi uusi allokointitapa, joka sijoittuu tuloksiltaan osatutkimuksen tulosten väliin. Valaistus on laskettu kaikkien ajoradalla ajettujen ajoneuvokilometrien mukaan kaikissa vaihtoehtoissa, vaikka pyörätietä ei olisikaan allokoitu pyörille kaikilta osin.

Kevyen liikenteen väylän allokointia pohdittaessa keskusteltiin paljon myös siitä, kenen ehdoilla pyöräteitä on rakennettu ja rakennetaan. Pyöräteiden olemassaoloa perustellaan usein pyöräilijöiden turvallisuuden kannalta. Erillisten pyöräteiden maine ja suosio turvallisena kulkuväylänä on onnettomuustilastojen valossa kuitenkin kyseenalainen. Useiden tutkimusten mukaan pyöräily on turvallisinta autojen seassa kaduilla ja teillä ja vähiten turvallista kadun kyljessä olevalla pyörätiellä. Näiden väliin sijoittuvat katuverkosta erillään olevat pyörätiet. Samansuuntaisia havaintoja pyöräteiden turvattomuudesta on raportoitu niin Suomesta (Räsänen & Summala 1998) kuin myös Pohjois-Amerikasta (Aultman-Hall & Hall 1998; Aultman-Hall & Kaltenecker 1999) ja Saksasta (Monheim & Dandorfer-Monheim 1990).

Pyöräilyn lisäämisen kannalta kuitenkin koettu turvallisuus on vähintään yhtä tärkeä asia kuin todellinen turvallisuus. Liikenne- ja viestintäministeriön pyöräilypoliittisessa ohjelmassa (LVM 2001) todetaan, että pyöräteitä tarvitaan lisää. Pyörätiet lisäävät pyöräilyn houkuttelevuutta ja ainakin tunnetta turvallisuudesta pyöräilystä (Kallioinen 2002, Neuvonen 2002).

Turvallisuusperusteista allokointia pohdittaessa todettiin, että pyöräilijöiden turvallisuutta voitaisiin parantaa myös alentamalla autojen nopeuksia. Esimerkiksi taajamissa nopeusrajoituksen ollessa 30-40 km/h pyöräilijät voisivat ajaa autojen seassa eikä erillisiä väyliä tarvittaisi. Taajamien ulkopuolella, missä autojen nopeudet ovat selvästi pyöriä kovempia, pyörätien olemassaololle on suuremmat perusteet pyöräilijän turvallisuuden ja viihtyvyyden kannalta. Siellä pyörätiet myös rakennetaan usein selvästi erilleen teistä, mikä vähentää pyöräilijöiden ja autojen törmäyssonnettomuuksia (Räsänen & Summala 1998). Näillä perustein kevyen liikenteen väylät voisi allokoida eri tavoin taajamissa ja taajamien ulkopuolella.

MIPS-konseptin kannalta infrastruktuuri on kuitenkin selkeintä allokoida sen todellisille käyttäjille huolimatta siitä, minkä takia ja kenen ehdoilla infrastruktuuria on rakennettu. Muussa tapauksessa jouduttaisiin pohtimaan vastavia infrastruktuurin käytön syy-seuraus-taustoja myös muissa liikennemuodoissa, jolloin menisi pohja tavoitteesta luoda MIPS-lukuja muiden toimintojen MIPS-laskennan avuksi. Siksi turvallisuuspohtintoihin perustuvista allokointitavoista luovuttiin. Lopullisessa keskustelussa valinta tehtiin kolmen allokointitavan välillä. Niistä kolmas, jossa pyöräteitä ei allokoida pyörille, oli mukana lähinnä esimerkin vuoksi näyttämässä, että asiaa on pohdittu useasta suunnasta.

### *Allokointi 1: Pyörätiet pyörille*

Ensimmäisessä allokointitavassa MIPS-lukuun on huomioitu pyörien, pyöräteiden sekä valaistuksen aiheuttama materiaalien kulutus (Hakkarainen ym. 2005: 28). Pyörätiellä tarkoitetaan tässä puolikasta kevyen liikenteen väylää, eli väylä on jaettu tasan pyöräilijöille ja kävelijöille.

Tässä allokointitavassa, joka on myös osatutkimuksen ensimmäinen vaihtoehto, infrastruktuuri lasketaan sille, joka sitä käyttää. Allokointitapa lähtee siitä, että pyöräteitä suunnitellaan pyöräilijöiden lähtökohdista. Kunnolliset ja näky-

vät väylät antavat pyöräilylle todellisen liikennemuodon aseman. Pyöräily pyöräteillä koetaan turvallisemmaksi tavaksi liikkua kuin pyöräily autojen keskellä. Pyöräteitä käyttävät monet sellaiset ihmiset, kuten lapset, jotka eivät tunne liikennesääntöjä kovinkaan hyvin. Lapsena opittu liikennekäyttäytyminen ja asenne kevyttä liikennettä kohtaan siirtyvät helposti käytäntöön myöhemmissä ikävaiheissa (Neuvonen 2002: 37, 48, 62).

Tällä allokointitavalla polkupyöräliikenteen MIPS-luvut lasketaan siis seuraavasti:

$$\frac{\text{MI kevyen liikenteen väylämetri/vuosi} / 2 \times 12\,000 \text{ km} + \text{MI pyörä/vuosi} \times 3\,100\,000 \text{ kpl}}{1\,300\,000\,000 \text{ hlö-km}}$$

### *Allokointi 2: Tasan kaikkien käyttäjien kesken*

Suuren kansallisen liikuntatutkimuksen (2002) mukaan kevyen liikenteen väylästä on Suomen suurin ja suosituin liikuntapaikka. Kevyen liikenteen väylät ovat aina ja kaikille avoinna, ne sijaitsevat lähellä asutusta ja ovat lisäksi käyttäjille ilmaisia. Tutkimuksen mukaan 26 prosenttia suomalaisista käyttää kevyen liikenteen väylää liikuntapaikkanaan. Seuraavaksi suosituimmat liikuntapaikat, joita käyttää 21 prosenttia suomalaisista, ovat erilaiset ulkoilureitit eli pururat, ladut ja vaellusreitit.

Liikenne- ja viestintäministeriön Jaloin-hankkeessa tehdyn kevyen liikenteen haastattelututkimuksen (Jaloin 2005) mukaan jalankulku on suosituin liikuntapaikka. Noin 33 prosenttia vastaajista harrastaa hölkkää tai juoksua, sauvakävelyä noin 27 prosenttia vastaajista. Rullaluistelijoita ja lastenvaunujen kuljettajia on molempia suunnilleen 14 % vastaajista. Hiihtoa harrastaa noin 23 % vastaajista. Saman tutkimuksen vastaajista noin 83 % pyöräilee ainakin joskus. Selvä enemmistö (noin 59 %) harrastaa yleistä hyötypyöräilyä eli esimerkiksi ostos-, asiointi- ja harrastuksiin pyöräilyä. Muita merkittäviä pyöräilijäryhmiä ovat työmatkapyöräilijät, joita on noin 35%, kuntopyöräilijät 32 % sekä pyöräretkeilijät ja muut virkistypsyöräilijät 45 %.

Siitä, paljonko kuntoilijoita kevyen liikenteen väylillä on, ei ole olemassa tilastotietoa. Erilaiset liikkujat myös käyttävät kevyen liikenteen väylää usein eri vuorokaudenaikoina, esimerkiksi työmatkapyöräilijät käyttävät tilaa ainakin osittain eri aikoina kuin sauvakävelijät. Koska kevyen liikenteen väylät ovat kuitenkin merkittäviä kuntoilupaiikkoja, on niille allokoitava osansa kevyen liikenteen väyliä materiaalipanoksesta. Edellä mainittujen tutkimusten pohjalta kolme metriä leveän kevyen liikenteen väylän voisi karkeasti jakaa kolmeen osaan: kolmanneksen kävelijöille, kolmanneksen pyöräilijöille ja kolmanneksen muille (kuntoilijoille ja muulle käytölle).

Allokointitavassa 2 polkupyöräliikenteen MIPS-luvut on siis laskettu seuraavasti:

$$\frac{\text{MI kevyen liikenteen väylämetri/vuosi} / 3 \times 12\,000 \text{ km} + \text{MI pyörä/vuosi} \times 3\,100\,000 \text{ kpl}}{1\,300\,000\,000 \text{ hlö-km}}$$

### Allokointi 3: Pyöräteiden rakentaminen allokoidaan autoliikenteelle

Tämä allokointitapa lähtee siitä, että pyörätiet on rakennettu ensisijaisesti autoliikenteen sujuvuuden parantamiseksi, jolloin pyöräteiden voitaisiin katsoa kuuluvan autoilijoiden aiheuttamiin materiaalipanoksiin eikä niitä sisällytetä pyöräliikenteen materiaalipanoksiin. Autoteillä tapahtuvalle pyöräilylle ei ole laskettu erillistä MIPS-lukua, koska autoteillä pyöräily vaatii niin vähän tilaa.

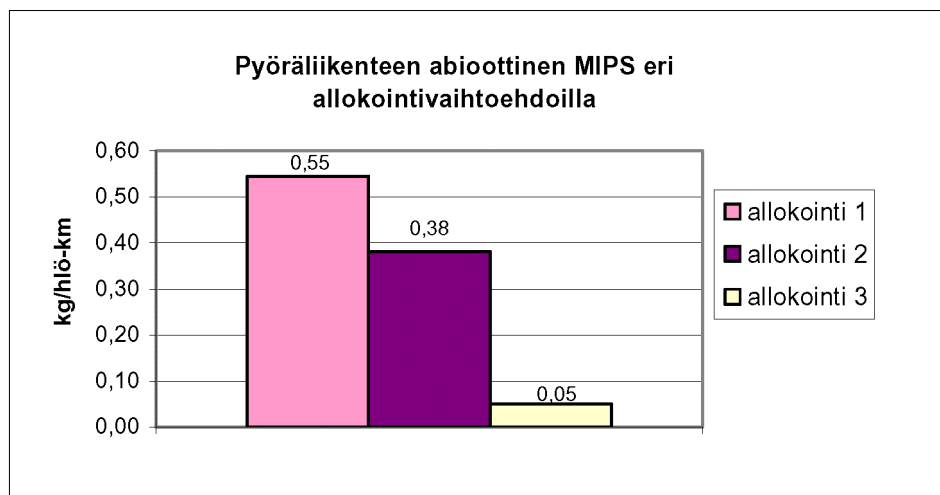
Perusteet tälle allokointitavalle ovat samansuuntaisia kuin edellä on esitetty. Autoliikenteen aiheuttamien ongelmien (melu, pöly jne.) vuoksi liikennemuodot erotettiin toisistaan autoistumisen yleistyessä ja pyöräily ja kävely niputettiin yhteen, mikä on kuitenkin täysin keinotekoinen jako. Pyöräteiden rakentamisen syynä oli siis autoliikenteen nopeuden ja sujuvuuden parantaminen, ei niinkään pyöräilijöiden turvallisuus. Tuolloin tehdyt ratkaisut vaikuttavat liikennesuunnittelussa vieläkin. Pyöräteitä myös rakennetaan edelleen autoteiden linjausten mukaisesti miettimättä tarkemmin pyöräilyn tarpeita ja sujuvuutta.

Pyöräliikenteen MIPS-lukuun on otettu huomioon vain pyörien ja valaistuksen materiaalipanokset, pyöräteiden materiaalipanosta ei ole huomioitu. Tässä allokointitavassa pyöräliikenteen MIPS lasketaan siis seuraavasti:

$$4 \% \text{ MI valaistus} / \text{vuosi} + \text{MI pyörä} / \text{vuosi} \times 3\,100\,000 \text{ kpl}$$

$$\frac{\quad}{1\,300\,000\,000 \text{ hlö-km}}$$

Tämä allokointitapa oli jo ennen lopullista valinnantekoa todettu epäsopivaksi vaihtoehdoksi, koska pyöräilijätkin vaativat kuitenkin jotakin infrastruktuuria, ja tässä niille ei laskettaisi osuutta myöskään ajoratojen materiaalipanoksesta. Seuraavassa kuvassa (Kuva 13) on esitetty allokointitavan vaikutus pyöräliikenteen abioottiseen MIPS-lukuun.



Kuva 13. Allokointitavan vaikutus pyöräliikenteen abioottiseen MIPS-lukuun.

### 2.5.3 Rautatieliikenne

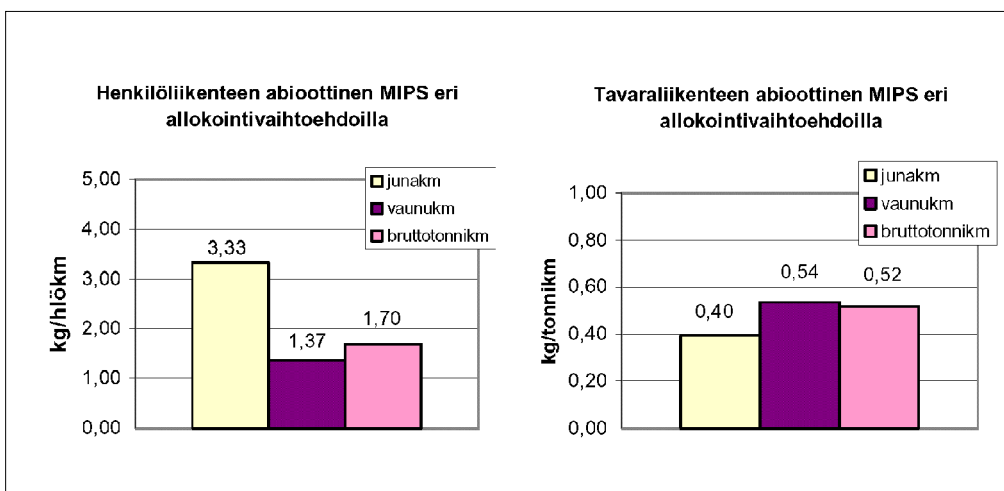
Rautatieliikenteessä allokointikysymykset liittyvät tapaan jakaa rataverkon infrastruktuurin materiaalipanokset kahden erilaisen palvelun, tavaraj- ja henkilöliikenteen kesken. Vihermaa ym. (2005) tutkivat neljää erilaista allokointiperustetta: bruttopainoon sekä juna-, vaunu- ja vaunuakselisuoritteeseen perustuvaa allokointitapoja. Vaunuakselikilometreihin perustuva allokointi todettiin kuitenkin jo FIN-MIPS Liikenne -hankkeen RautatieMIPS-työryhmässä sekavaksi ja vaikeakäyttöiseksi, koska tavaravaunuja on sekä 2- että 4-akselisia (Vihermaa

ym. 2005: 43). Lopullinen päätös valittavasta allokointitavasta tehtiin kolmen ensiksi mainitun tavan välillä siten, että tulokset ovat perusteltavissa ja yhteensopivia hankkeessa tutkittujen muiden liikennemuotojen tulosten kanssa.

Bruttotonnikilometriallokointi jätettiin vaihtoehtoista pois, koska muidenkin liikennemuotojen vaihtoehdot olivat yksikköpohjaisia ja yksikköpohjaisen allokoinnin on ajateltu kuvaavan paremmin todellisia käyttäjiä. Lisäksi radan materiaali-intensiteettiä ensisijaisesti määrävien rakennekerrosten paksuuteen vaikuttavat lähinnä routatekijät eikä liikenteen paino.

Junakilometriallokoinnissa rataverkon infrastruktuuri jaetaan tasan sitä käyttävien junien kesken. Suomessa kulkevista junista 65 prosenttia on henkilöjunia ja 35 prosenttia tavaraliikenteen junia (Vihermaa ym. 2005: 16). Junien määrä on merkittävä tekijä etenkin vilkasliikenteisillä rataosuuksilla ja ruuhka-aikoina, koska ratakapasiteetti on rajallinen ja voi rajoittaa liikenteen määrää. Se ei kuitenkaan ota huomioon sitä, että junat ovat eripituisia ja niiden nopeus vaihtelee.

Vaunukilometriallokoinnissa infrastruktuuri jaetaan tasan junavaunukilometrien kesken. Vaunusuoritteesta 32 prosenttia on henkilöliikennettä ja 68 prosenttia tavaraliikennettä eli henkilö- ja tavaraliikenteen suhde on päinvastainen kuin junien määrän mukaan laskettuna. Juna- ja vaunukilometriallokoinnit tuottavatkin hyvin erilaisia tuloksia varsinkin henkilöliikenteessä (Kuva 14). Vaunukilometriallokointi ottaa huomioon eripituiset junat: pitkät tavara- ja yöjunat ovat muuta liikennettä painavampia ja hitaampia ja varaavat infrastruktuuria enemmän kuin lyhyet ja nopeat junat. Lisäksi pisimpien henkilöjunien vaunujen määrä määrää laiturien pituuden ja siten myös asemainfrastruktuurin laajuuden. Tämäkään allokointitapa ei ota huomioon sitä, että nopeudeltaan erilaiset junat varaavat infrastruktuurin käyttöönsä eripituisiksi ajoiksi.



Kuva 14. Allokointitavan vaikutus keskimääräisiin rautatieliikenteen MIPS-lukuihin henkilö- ja tavaraliikenteessä.

#### 2.5.4 Lentoliikenne

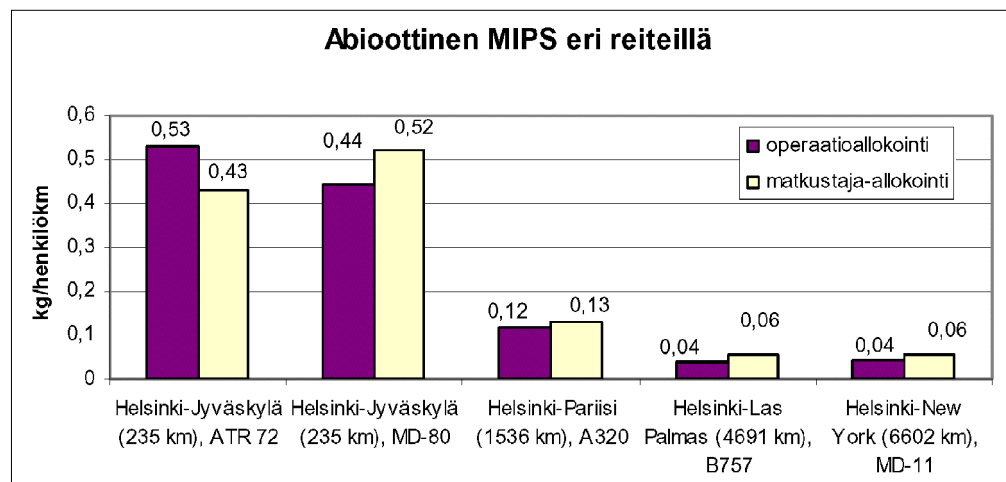
LentoMIPS-tutkimuksessa esiteltiin kolme vaihtoehtoista tapaa allokoida lentoliikennealueen infrastruktuuri käyttäjien kesken. MTOW-painotettu (Maximum Take-Off Weight, vrt. Nieminen ym. 2005: 40) allokointi oli kuitenkin jo aiemmin todettu epäsopivaksi vaihtoehdoksi FIN-MIPS Liikenne -hankkeen LentoMIPS-työryhmässä. MTOW-painotus on kehitetty lentokenttämaksujen perimisen näkökulmasta eikä kuvaa tilannetta luonnonvarojen käytön näkökulmasta, joten se jätettiin pois tarkastelusta. Lopullinen valinta käytettävästä allokointitavasta tehtiin operaatioallokoinnin ja matkustaja-allokoinnin välillä.

## Operaatioallokointi

Operaatioallokoinnissa lentoliikennealueen infrastruktuuri jaetaan tasan kaikkien operaatioiden eli lentoonlähtöjen ja laskeutumisten kesken. Yksittäiset lentokoneet ajatellaan siis infrastruktuurin käyttäjiksi. Tämä allokointitapa on selkeä, mutta se ei ota huomioon erilaisten koneiden infrastruktuurin rakentamiselle asettamia erilaisia tarpeita eikä sitä, että eri koneet mahdollisesti varaavat infrastruktuurin eripituisiksi ajaksi tai kuluttavat sitä eri tavoin. Infrastruktuurin käyttämiseen vaikuttavat kuitenkin koneen ominaisuuksien lisäksi monet muutkin asiat, kuten ilmaliikenteen ja lentoliikennealueella liikkuvan maakaaluston liikenteen ohjaus sekä sääolot. Infrastruktuuri rakennetaan aina koko liikennettä ajatellen, joten erottelu yksittäisen koneen ominaisuuksien perusteella on mahdotonta. Lisäksi kysynnän vaihteluihin reagoidaan yleensä ensin konetyyppiä vaihtamalla eikä lisäämällä tai peruuttamalla laskeutumislupia (Pitkänen 2005).

## Matkustaja-alkokointi

Matkustaja-alkokoinnissa infrastruktuuri jaetaan tasan sitä käyttävien matkustajien kesken. Ilmailualalla on käytössä yleinen rinnastus, jonka mukaan yksi matkustaja vastaa sataa kiloa rahtia (Nieminen ym. 2005: 39). Tällöin materiaallipanokset kohdistuisivat suoraan palvelusuoritteeseen, henkilö- tai tonnikiilometrin, kuluttajalle. Tällainen allokointi ei kuitenkaan vastaa lentoliikennealueen todellisuutta, jossa käsitellään koneita eikä matkustajia tai rahtia. Seuraavassa kuvassa (Kuva 15) näkyy allokointitapojen vaikutus abiottiseen MIPS-lukuun eri reiteillä.



Kuva 15. Abiottinen MIPS-luku eri reiteillä ja koneilla molemmilla allokointitavoilla (Nieminen ym. 2005).

## 2.5.5 Meriliikenne

Meriliikenteen osatutkimuksessa ei tullut ilmi merkittäviä allokointiongelmia, joten kysymykset ratkaistiin jo osatutkimuksessa (Lindqvist ym. 2005). Sataman infrastruktuuri jaettiin suoraan aluskäynneille, koska ajateltiin, että jokainen alus varaa sataman toiminnot tietyn ajaksi käyttöönsä, vaikka satamat mitoitetaan isojen alusten mukaan. Tämä allokointi vastaa lentoliikenteen operaatioallokointia.

Satamainfrastruktuurin allokointi aluskäyntien perusteella nostaa matkustaja-autolauttoja pienemmillä pika-aluksilla tehtyjen matkojen materiaali-intensiteettiä. Pika-alus viettää suhteessa vähemmän aikaa merellä, jolloin kertyy

enemmän satamakäyntejä. Toisaalta Helsinki-Tallinna - väliä kulkevista laivoista suurin osa (kaikki pika-alukset ja valtaosa matkustaja-autolautoista) on öisin satamassa, joten satamakapasiteettia on mitoitettava alusten määrän mukaan. Alusten pituuden suhde laiturien pituuteen olisi saattanut huomioida paremmin eri laivojen kokoerot, mutta sen perusteella tehtävät laskelmat olisivat muodostuneet varsin monimutkaisiksi ja kuitenkin kuvastaneet ainoastaan nykyhetken tilannetta. Lisäksi satamaan tulo ja satamasta lähtö voi tapahtua vain alus kerrallaan, mikä saattaa viikkaina aikoina vaikuttaa kapasiteetin jakoon.

Toinen meriliikennettä koskeva allokointikysymys on ollut matkustaja-autolautan sekä Ropax-alusten (Roro-passenger) eli myös matkustajia kuljettavien rahtilaivojen rakentamisen ja käytön edellyttämien materiaalipanosten jakaminen niiden kuljettamien matkustajien ja rahdin välillä. Nämä kysymykset ratkaistiin jo osatutkimusvaiheessa siten, että matkustaja-autolautasta ja sen käytästä infrastruktuurista allokointia rahdille 20 prosenttia ja matkustajille 80 prosenttia (Lindqvist ym. 2005: 40). Ropax-alusten aiheuttamat materiaalipanokset allokointiin kokonaisuudessaan rahdille, koska matkustajien aiheuttama lisäys materiaalipanoksiin voidaan nykytilanteessa pitää merkityksettömänä. On kuitenkin muistettava, että tilanne kummassakin tapauksessa voi muuttua esimerkiksi muuttuvan markkinatilanteen mukaan, jolloin nyt käytetyt allokointitavat saattavat olla tarkistuksen tarpeessa.

## 2.6 Tutkimuksessa sovellettujen allokointitapojen valinta

Lopullisten allokointitapojen valinta tehtiin allokointiaiheisessa workshopissa, johon oli kutsuttu kaikki FIN-MIPS Liikenne-hankkeen tutkijat sekä ohjausryhmän ja työryhmien jäsenet. Workshop toteutettiin eräänlaisena korttipelinä: jokainen vaihtoehto oli kuvattu omalla pelikortillaan, jossa näkyi allokointitavan ominaisuudet ja vaikutus tuloksiin. Keskustelemalla tiputettiin huonoja vaihtoehtoja pois, kunnes jäljelle jäivät "voittajavaihtoehdot" kustakin liikennemuodosta.

Keskustelun pohjalta päädyttiin käyttämään lentoliikenteelle operaatioallokointia. Se kuvastaa parhaiten lentoliikenteen todellisuutta ja vastaa lisäksi melko hyvin meriliikenteessä käytettyä allokointia, jossa sataman infrastruktuuri jaettiin suoraan aluskäyntien kesken. Lento- ja meriliikenne ovatkin siinä suhteessa samanlaisia, että niissä infrastruktuuri on pistemäistä ja yksi operaatio varaa infrastruktuurin tietyksi ajaksi käyttöönsä huolimatta siitä, minkä kokoinen kulkuväline on.

Viinikaisen (2005b) mukaan operaatioallokointia vastaavat allokointitavat olisivat tieliikenteessä kvl-alkokointi ja rautatieliikenteessä junakilometriallokointi. Keskustelussa todettiin kuitenkin, että eri liikennemuodot eivät ole täysin rinnastettavissa, koska liikennemuodot ovat keskenään niin erilaisia. Siksi haluttiin valita sellaiset allokointitavat, jotka kuvaavat mahdollisimman hyvin kunkin liikennemuodon erityispiirteitä, kuitenkin niin, että vertailtavuus säilyy.

Workshopin osallistajat päätyivät pitkän keskustelun jälkeen valitsemaan tieliikenteeseen painotetun kvl:n mukaisen allokoinnin ja rautatieliikenteeseen sitä parhaiten vastaavan vaunukilometriallokoinnin. Nämä allokointitavat ovat yksikköpohjaisia kuten operaatioallokointikin, mutta ne ottavat kuitenkin huomioon erilaisten yksikköjen erilaisen tilantarpeen ja muut seikat, joiden takia ne varaavat verkostomaisen infrastruktuurin kapasiteettia eri tavalla.

Pyöräliikenne poikkeaa muista liikennemuodoista siten, että tietopohja kevyen liikenteen käytöstä on vähäistä eikä virallista tilastotietoa ole saatavilla. Myös allokointikysymykset ovat erilaisia, koska infrastruktuuria käyttävät useat eri liikkujaryhmät. Naskilan (2005) mukaan kevyen liikenteen väylää käyttävät monet muutkin kuin kävelijät ja pyöräilijät. Pyöräliikenteeseen päätettiin

valita allokointitapa, jossa yksi kolmasosa kevyen liikenteen väylästä allokoitetaan pyörille. Tämän allokointitavan todettiin huomioivan myös vähäisemmän pyöräliikenteen talvikautta.

Tämän tutkimuksen tulokset esitetään jatkossa tässä luvussa esitetyillä valituilla allokointitavoilla. Tuloksia tarkastellessa on hyvä muistaa, että niissä heijastuu voimakkaasti valitun allokointitavan vaikutukset. Siksi lukuihin ei pidä suhtautua ainoana eksaktina totuutena, vaikka ne kertovatkin melko hyvin kulutuksen suuruusluokan. Osatutkimuksissa on esitelty tulosten vaihteluvälejä niissä tutkituilla allokointitavoilla.

## 2.7 Esimerkkilaskelmat

Saatujen tulosten pohjalta laskettiin erilaisten reittien luonnonvarojen kulutusta eri liikennemuodoilla. Esimerkkilaskelmien tarkoituksena on osoittaa käytännönläheisten esimerkkien avulla, kuinka MIPS-lukuja lasketaan ja käytetään sekä etsiä ekotehokkuuden kannalta parhaita liikennemuotoja eri reiteille. Eri reittien luonnonvarojen kulutusta laskettiin henkilöliikenteessä sekä pelkästään kaukoliikennetasolla että paikallisella tasolla. Osassa kaukoliikenteen laskelmista käytettiin kaupunkien välisiä välimatkatietoja jättäen huomiotta tarkat lähtö- ja saapumispaikat. Tällä tasolla laskelmien teko on melko helppoa ja tietoja etäisyyksistä on hyvin saatavilla. Hieman enemmän aikaa ja vaivaa vaativat tarkemmat, ns. ovelta ovelle -tarkastelut, joissa on myös paikallisen liikenteen matkat mukana. Lyhyillä matkoilla, joita suurin osa suomalaisten tekemistä matkoista on, esitettiin joitakin tyypillisiä matkoja taajamassa ja haja-asutusalueella. Tyypillisimpiä matkoja ovat työ- ja koulumatkat sekä kauppa- ja vapaa-ajan matkat (Liikenneministeriö 1999).

Henkilöliikenteen laskelmissa (luku 4.1) huomioitiin reitin katujen ja teiden luokitus, ratojen liikenteen vilkkaus ja raiteiden määrä, matkalla käytetty lento-reitti ja matkalla käytetyn laivareitin pituus. Kun väylätyyppi- tai reittikohtaista kerrointa ei ollut tai ei ollut määriteltävissä, käytettiin kyseisen liikennemuodon keskivertokerrointa.

Tavaraliikenteen esimerkkilaskelmia (luku 4.2) tehtiin yhteistyössä Suomen Posti Oyj:n ja TNT Suomi Oy:n kanssa. Postin esimerkissä laskettiin keskimääräisen kirjeen lähettämisen luonnonvarojen kulutusta. TNT:n lähetysten luonnonvarojen kulutusta havainnollistettiin neljän esimerkkikuljetuksen avulla.