



MateriaEuro

Luonnonvarojen käyttö Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa



Osahanke 1: Katujen materiaalipanos

Loppuraportti

Salla Hänninen, Sanna Hellén, Michael Lettenmeier, Sakari Autio

Sisällysluettelo

Esipuhe	5
1 Johdanto	6
2 Luonnonvarojen käyttö, ympäristövaikutukset ja MIPS-mittari	8
2.1 Luonnonvarojen käyttö ja ympäristövaikutukset	8
2.2 Luonnonvarojen käytön mittari - MIPS	9
2.3 Kadut ja luonnonvarojen käyttö	11
2.4 Kaavoitus, liikenne ja luonnonvarojen käyttö	12
2.5 Keskeiset käsitteet	13
3 Aineisto ja menetelmät	15
3.1 MIPS-menetelmän käyttö	15
3.1.1 Kadun rakentaminen	15
3.1.2 Kadun ylläpito.....	15
3.2 Aineisto: rakentaminen	16
3.2.1 Case-katu.....	16
3.2.2 Teoreettinen aineisto	17
3.2.3 Menetelmän soveltaminen teoreettiseen aineistoon.....	18
3.2.4 Rajaukset.....	22
3.2.5 Tutkimuksessa käytetyt yleiset oletukset.....	23
3.3 Aineisto: katujen ylläpito	24
3.3.1 Hoitoluokitus.....	24
3.3.2 Rakenteellinen kunnossapito.....	25
3.3.3 Talvikunnossapito	25
3.3.4 Katulämmitys	27
3.3.5 Valaistus.....	27
3.3.6 Puhtaanapito.....	28
3.3.7 Katuvihreän kunnossapito	28
3.3.8 Työkoneet ja ajoneuvot.....	29
3.3.9 Kadun ylläpidon vaatima rakennuskanta	29
4 Katujen aiheuttama luonnonvarojen käyttö: MateriaEuro -hankkeen tulokset	30

4.1	Katujen rakentaminen.....	30
4.1.1	Case: Mustialankadun rakentaminen	30
4.1.2	Tulosten variointi: Erilaisten muutosten vaikutus Mustialankadun MI-lukuun	35
4.1.3	Kadun rakentaminen katutyypeittäin	36
4.1.4	Esimerkkejä erilaisten katujen rakentamisen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä 39	
4.2	Katujen ylläpito.....	42
4.2.1	Katujen ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö	42
4.2.2	Abioottisten luonnonvarojen käyttö kadun ylläpidon eri toiminnoissa	47
4.3	Kadun MI kokonaisuudessaan	52
4.3.1	Case: Mustialankatu.....	52
4.3.2	Katutyypit.....	54
4.4	Eri tekijöiden vaikutus kadun MI-lukuun	57
4.4.1	Maaperä.....	57
4.4.2	Liikenne	57
4.4.3	Kadun korkeusaseman sopeuttaminen ympäristöön.....	58
4.4.4	Helsingin Energian kivihiilen polttamisen sivutuotteet.....	59
4.4.5	Katulämmitys	63
4.4.6	Muut tekijät.....	64
4.5	Katujen MIPS.....	64
5	Muita MateriaEuro –hankkeen tuotoksia	68
5.1	Ohjeet luonnonvaroja säästävästä suunnittelusta	68
5.2	Työkalu luonnonvarojen käytön laskentaan kadunrakentamisen suunnittelussa	69
5.3	Ohjeet MIPSin käytöstä kadunrakentamisen suunnittelussa.....	70
6	Yhteenvetoa ja keskustelua: Ekotehokas katu.....	73
6.1	Tulosten yhteenveto	73
6.1.1	Luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa	73
6.1.2	Luonnonvarojen käyttö kadun ylläpidossa	75
6.1.3	Luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan	76
6.2	Luonnonvarojen käytön tehostaminen	77
6.2.1	Luonnonvarapanoksen pienentäminen katujen rakentamisessa.....	77
6.2.2	Luonnonvarapanoksen pienentäminen katujen ylläpidossa (valaistus, hiekoitus).....	78
6.2.3	Kadusta saatavan hyödyn lisääminen	79

6.3	MIPS-menetelmän soveltuvuus tutkimukseen	80
6.3.1	Katujen rakentaminen	80
6.3.2	Katujen ylläpito.....	80
6.4	Tutkimuksen muita huomioita	81
6.5	Luonnonvarojen käyttötiedon hyödyntäminen kaupungin toiminnassa.....	81
6.6	Kehittämissuhteita ja jatkotutkimusaiheita	82
	Lähdeluettelo	83
	Liitteet	87

Liite 1: Tutkimuksessa käytetyt MI-kertoimet

Liite 2: Toiminnallinen katuluokitus

Liite 3: Rakennekuva kadun päällysrakenteesta

Liite 4: Maalajien kantavuusluokitus

Liite 5: Esimerkkikatujen ajoratojen rakentamisen MI-luvut

Liite 6: Kuljetusten aiheuttama luonnonvarojen kulutus Mustialankadun rakentamisessa

Liite 7: Rakennettavan kadun MI-laskentataulukko

Esipuhe

Helsingin kaupungin rakennusvirasto pääkaupungin katuverkon rakentajana ja ylläpitäjänä on volyymeiltaan suuri materiaalien kuluttaja. Rakentamisen ja ylläpidon yhteydessä käytetään runsaasti sekä raaka-aineita että jatkojalostettuja materiaaleja. Toimintamme luonnonvarapanokset ovat kokonaisuutena huomattavia.

MateriaEuro -hankkeessa selvitettiin rakennusviraston katurakentamisen, katujen rakenteellisen kunnossapidon, puhtaanapidon ja talvikunnossapidon luonnonvarojen käyttöä. Perinteisesti päätöksentekoon vaikuttavien mittareiden, rahan ja kustannustehokkuusnäkökulman sijaan tarkastelun kohteena oli luonnonvarapanokset ja ekotehokkuus.

Helsingin kaupungin sekä rakennusviraston yksi toimintaperiaate on kestävä kehitys. Tämän periaatteen toteutumiseen tarvitaan yhä uusia seurantatyökaluja sekä rakennusviraston toiminnan peilaamista eri perspektiiveistä. MateriaEuro -hanke on keskustelun avaus Helsingin kaupungin ja rakennusalan luonnonvarojen kulutuksesta sekä ekotehokkuuden ja kustannustehokkuuden nivomista yhteen katurakentamisen suunnittelussa ja toteutuksessa.

Kiitän kaikkia hankkeessa mukana olleita osapuolia sujuvasta yhteistyöstä ja innokkaasta paneutumisesta uuteen haasteeseen.

Helsingissä 23.11.2004

Toni Saarikoski

Kehittämispäällikkö

1 Johdanto

Kestävän kehityksen suurimpia haasteita on luonnonvarojen käytön vähentäminen länsimaissa, joissa kulutetaan noin 80 % maapallon luonnonvaroista. Teollisen vallankumouksen jälkeen ihmisen liikkeelle panemat ainevirrat ovat kasvaneet eksponentiaalisesti, ja ne ovat nykyisin usein moninkertaisia luonnon omiin ainevirtoihin verrattuna. Jokainen veden, malmien, hiilen ja soran käyttöönotto, jokainen maa-aineksen siirto esimerkiksi rakentamisen yhteydessä vaikuttaa ympäristöön ja ekosysteemeihin. Suomen kansantalouden luonnonvarojen kokonaiskäytöstä noin viidesosa kuuluu maa- ja vesirakentamiseen.

Teollisuusmaissa käytetään henkeä kohti vuosittain jopa 100 tonnia uusiutumattomia luonnonvaroja ja tämän lisäksi esimerkiksi 500 tonnia vettä. Keskimäärin 90 prosenttia laitteiden, rakennusten, ajoneuvojen ja infrastruktuurin tuottamiseksi käyttöönotetuista tai luonnossa siirretyistä luonnonvaroista päätyy jätteiksi. Suuret materiaalivirrat muuttavat ekosysteemejä laajasti ympäri maapalloa. Muutokset uhkaavat ihmiselle välttämättömiä ekosfäärin toimintoja, puhtaan ilman ja juomaveden tuotantoa ja ilmasto-olosuhteita.

Ekotehokkuutta lisäämällä pyritään vähemmällä luonnonvarojen käytöllä saamaan aikaan enemmän hyötyä, mikä tuo ympäristökeskusteluun uuden painopisteen. Kun perinteisesti on tarkasteltu haitallisten aineiden käyttöä ja kulkua, kiinnitetään nyt huomiota myös luonnonvarojen käytön vähentämiseen, ”dematerialisaatioon”. Dematerialisaatio on kestävän talouden ja ympäristönsuojelun uusi visio ja käytännöllinen strategia joka sisältää vaatimuksen vähentää tuntuvasti ihmisen aiheuttamia aine- ja energiavirtoja. Se merkitsee ympäristönsuojelun varovaisuusperiaatteen noudattamista, mikä on välttämätöntä, koska taloudellisen toiminnan ekologisia seurauksia ei kyetä täysin ennustamaan.

Julkishallinnolla on merkittävä rooli kestävän kehityksen mukaisten ratkaisujen kehittämisessä, sillä organisaation jokainen toiminto, hanke, hankittu tuote tai tehty työmatka kuluttavat luonnonvaroja. Kulutuksen suuruus voi vaihdella huomattavasti eri ratkaisuvaihtoehtojen välillä, vaikka saavutettu hyöty pysyisi käytännössä samana. MateriaEuro -hankkeen lähtökohta on, että julkishallinnon suunnittelu, toiminta, kustannukset ja luonnonvarojen käyttö kytkeytyvät toisiinsa. Luonnonvarojen käyttöä kuvaavan MIPS-mittarin (Material Input per Unit Service) avulla voidaan arvioida toimintojen, hankintojen ja investointien taustalla olevia materiaalivirtoja kokonaisuudessaan.. MIPS-mittari on työkalu elinkaaren aikaisen luonnonvarojen käytön arvioimiseen ja suunnitelmalliseen vähentämiseen suhteessa saavutettavaan hyötyyn. Lisäksi MIPS-konseptiin sisältyvä service-unit-ajattelu helpottaa vaihtoehtojen ja luonnonvaroja säästävien ratkaisujen kehittämistä. Tavoite on saada luonnonvarojen käyttö ja ympäristönäkökulma osaksi toiminnallis-taloudellista suunnittelua ja päätöksentekoa. Ekotehokkuuden mittaamiseen kehitettyä materiaalivirtatarkastelua on reilun kymmenen vuoden kuluessa sovellettu kansantalouden, yritysten ja julkisorganisaatioiden toimintojen sekä tuotteiden ja palveluiden tasolla.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin Helsingin kaupungin rakennusviraston katujen rakentamisen ja ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Hankeen tavoitteet ovat olleet yhdenmukaisia viraston ympäristöpolitiikan kanssa, jonka mukaan se on sitoutunut energian ja raaka-aineiden kulutuksen pienentämiseen. Tutkimuksessa selvitettiin MIPS-mittarin avulla katurakenteiden ja katujen ylläpidon ekotehokkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Katurakenteen case-tapauksena oli Viikissä sijaitseva Mustialankatu. Case-tarkastelun lisäksi selvitettiin erilaisten rakennevaihtoehtojen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Myös kivihiilen polton sivutuotteiden hyödyntäminen katura-

kentämisessä oli hankkeen yhtenä tarkastelukohteena. Katujen ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä selvitettiin eri hoitoluokissa. Lisäksi tarkasteltiin katulämmitystä ja sen ekotehokkuutta suhteessa talvikunnossapitoon ja muuhun kunnossapitoon.

Tutkimuksen keskeiset kysymykset ovat:

1. Kuinka paljon katujen rakentamisessa käytetään luonnonvaroja?
2. Kuinka paljon katujen ylläpidossa käytetään luonnonvaroja?
3. Mitkä ovat olennaisimmat luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat tekijät kadun rakentamisessa ja ylläpidossa?
4. Miten luonnonvarojen käyttöä voidaan vähentää kadun rakentamisessa ja ylläpidossa?

Termi ”luonnonvarojen käyttö” koskee kaikkea luonnonvarojen käsittelyä, siirtoa ja muokkausta, jossa ihmisen toimesta muutetaan luonnonvarojen sijaintia ja/tai niiden fysikaalis-kemiallisia tai muita ekosysteemiin vaikuttavia ominaisuuksia. Tässä yhteydessä luonnonvarat jaotellaan uusiutumattomiin (abiottiset) ja uusiutuviin (biottiset) luonnonvaroihin sekä veteen ja ilmaan.

Helsingin kaupunki on aikaisemminkin ollut edelläkävijänä kestävä kehityksen ratkaisujen kehittämisessä. Lisäksi kaupunki on kehittänyt ympäristöraportointia sekä koko kaupungin tasolla että monissa hallintokunnissa. Luonnonvarojen kulutuksen seuranta ei näissä raporteissa ole tehty kattavasti, mutta se on nimetty kaupungin ympäristöraportoinnin yhdeksi kehittämiskohteeksi.

Helsingin kaupungin rakennusviraston lisäksi hankkeeseen osallistuivat ja sitä rahoittivat kaupungin ympäristökeskus ja Helsingin Energia.

Hankkeen johtoryhmän jäseniä olivat: Toni Saarikoski (pj.), Maria Joki-Pesola ja Jaana Ellonen rakennusvirastosta, Camilla v. Bonnsdorff ja Markus Lukin ympäristökeskuksesta, Rauno Tolonen Helsingin Energiasta, Salla Hänninen Teknillisestä Korkeakoulusta, Sanna Hellén Helsingin yliopistosta sekä Sakari Autio ja Michael Lettenmeier (siht.) D-mat oy:stä (aiemmin APILA network).

Hanke käynnistyi loppuvuodesta 2003 ja se päättyi syksyllä 2004. Hankkeen sisällöllisestä toteutuksesta ovat vastanneet Michael Lettenmeier ja Sakari Autio D-mat oy:stä, Salla Hänninen Teknillisestä korkeakoulusta ja Sanna Hellén Helsingin yliopistolta yhteistyössä rakennusviraston ja kaupungin muiden laitosten kanssa. Kadun rakentamista koskevat tiedot perustuvat Salla Hännisen diplomityöhön (Hänninen 2005) ja kadun ylläpitoa koskevat tiedot Sanna Hellénin pro gradu-tutkielmaan (Hellén 2004).

2 Luonnonvarojen käyttö, ympäristövaikutukset ja MIPS-mittari

2.1 Luonnonvarojen käyttö ja ympäristövaikutukset

Jokainen rakennushanke ja hyödyntämämme tuote tai palvelu on koko elinkaarensa aikana sidoksissa luonnonvarojen käyttöön, tarvittaviin energia- ja materiaalipanoksiin. Tuotteiden ja toimintojen luonnonvarojen kulutusta on vähennettävä merkittävästi koko elinkaaren aikana, ”kehdestä kehtoon”. Syynä tähän vähennystarpeeseen ovat luonnonvarojen käytön aiheuttamat negatiiviset ympäristövaikutukset. Esimerkkeinä mainittakoon kasvihuoneilmiö, joka suurelta osin liittyy fossiilisten polttoaineiden käyttöön, tai suomalaisen metsäluonnon monimuotoisuuden väheneminen, joka liittyy metsävarojen käyttöön (noin 40% Suomen uhanalaisista lajeista on metsälajeja).

Kadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö voi johtaa esimerkiksi seuraaviin negatiivisiin ympäristönäkökohtiin ja -vaikutuksiin:

Soravarojen kulutus, joka pienentää pohjaveden muodostumisalueita ja jolla on merkittäviä maisemahaittoja. Soravarat sinällään riittäisivät vielä pitkään, mutta käytöstä aiheutuvat ympäristövaikutukset eivät ole hyväksyttäviä.

Maan pintaosan ekologisten ominaisuuksien muuttuminen, mikä esimerkiksi vähentää pohjaveden muodostumisalueita.

Maapintojen sulkemisesta (esim. asfaltoinnilla) johtuva valuma-alueiden vedenpidätyskyvyn heikkeneminen, mistä aiheutuu valumavesien nopea kertyminen, tulvien vaaraa ja jätevedenpuhdistamoiden toimintahäiriöitä.

Katuvalumavesien haitta-ainepitoisuudet ja niiden leviäminen maastoon, vesistöihin ja mereen.

Kaupunginkeskustojen ilmanlaatuongelmat (pöly- ja pakokaasuongelmat)

Suurten maankaatopaikkojen sijoitusongelmat, pilaantuneet maat, valumavedet, maisemahaitat, liikennehäiriöt.

Rakentamisen ja ylläpidon konetyöhön sekä kuljetuksiin liittyvä melu- ja muut ongelmat.

Luonnonvarojen käytön hillitsemisessä ei tarvitse saavuttaa tänään tai huomenna huomattavia muutoksia, mutta kylläkin seuraavien 30–50 vuoden aikana. Eri tutkimusten perusteella luonnonvarojen käyttöä olisi vähennettävä maailmanlaajuisesti puoleen nykyisestä vuosisadan puoliväliin mennessä. Samanaikaisesti olisi vähintään kaksinkertaistettava maailmanlaajuinen hyvinvointi, jotta kehitysmaiden elinolot muuttuisivat siedettäväksi. Tämä tarkoittaisi nelinkertaista hyvinvointia suhteessa käytettyyn luonnonvaramäärään eli ekotehokkuuden lisäämistä kertoimella neljä (“Factor 4”) globaalilla tasolla. Jotta luonnonvarojen käyttö puolittuu ja samalla voidaan lisätä hyvinvointia kehitysmaissa, on teollisuusmaissa nostettava ekotehokkuus vähintään kymmenkertaiseksi (“Factor 10”). Teollisuusmaiden hyvinvoinnin perusta on siis dematerialisoitava kymmenesosaan noin viidenkymmenen vuoden kuluessa. Tietoyhteiskunnassa luonnonvarojen tuottavuutta on nostettava vastaavalla tavalla kuin teollisuusyhteiskunnassa on lisätty työn tuottavuutta.

2.2 Luonnonvarojen käytön mittari - MIPS

Ilman seurantaan sopivia mittareita toimintaa ei pystytä johtamaan eikä kehittämään. Vuonna 1992 saksalaisen Wuppertal-instituutin tutkijat esittivät MIPS-mittarin tuotteiden ja palvelujen aiheuttaman ekologisen paineen arvioinnin ja vertailun perustyökaluksi. MIPS (Material Input per Service unit, MI/S) tarkoittaa materiaalipanosta, joka tarvitaan tietyn hyödyn tuottamiseen. MI on kaikkien elinkaaren aikaisten materiaalipanosten summa. Se sisältää myös esimerkiksi jo kaivostoiminnassa hylätyt tai energian käyttöön saamiseksi tarvitut materiaalit. S, palvelusuorite tai tavoiteltu hyöty, määritellään tapauskohtaisesti. MIPS-tarkastelu on pohjimmiltaan selkeää panos-tuotos laskentaa, jossa selvitetään määritellyn hyödyn tai palvelun aikaansaamiseksi tarvittava kokonaismateriaalipanostus.

$$MIPS = \frac{MI}{S} = \frac{\text{materiaalipanostus}}{\text{palvelusuorite}}, \text{ jossa}$$

MI on tuotteen tai palvelun koko elinkaarensa aikana vaatimien, myös käyttövaiheessa näkymättömien materiaalipanosten summa. Esim. auton tuotannon, käytön ja jätehuollon sekä infrastruktuurin (osuus) aiheuttamat materiaalivirrat.

S on tuotteen tai palvelun kaikkien käyttökertojen eli palvelusuoritteiden summa. Esim. kulkuvälineellä suoritettavat kilometrit.

Materiaalipanostus (MI) lasketaan viidessä eri kategoriassa erillisten MI-kertoimen avulla (Ritthoff ym. 2004:26):

1. Abioottiset eli uusiutumattomat materiaalit
 - Kaikki välittömästi luonnosta otettavat, ei vielä työstetyt abioottiset raaka-aineet, esimerkiksi kaivoksesta otettava malmi ja muut aiemmin työstämättömät kaivannaiset.
2. Bioottiset eli uusiutuvat materiaalit
 - Kaikki viljellyt ja viljelemättömät kasvikunnan raaka-aineet, samoin kuin kaikki luonnosta saatavat eläinperäiset aineet (hyöty- ja kotieläimet lasketaan niiden syömän ravinnon mukaisesti).
3. Maa- ja metsätaloudessa siirretty maaperä
 - Kaikki maa- ja metsätaloudessa siirretty maaperä eli kynnetty pintamaa (aktiivinen maaperän siirtäminen) ja eroosio (passiivinen maaperän siirtyminen). Koska tällä hetkellä ei ole tarjolla riittävästi luotettavia ja vahvistettuja arvoja aktiivisesti siirretyn maan suuruusluokasta, sisältävät valmiissa MI-kertoimissa ilmoitetut maaperäluvut vain eroosion.
4. Vesi
 - Kaikki luonnosta välittömästi otettu vesi. Tässä erotetaan toisistaan käyttötavan mukaan prosessi- ja jäähdytysvesi. Lisäksi erotetaan toisistaan vedenottotavan perusteella pintavesi, pohjavesi ja syväpohjavesi (vesijohdosta otettu vesi on käsiteltyä ja lasketaan siksi esituotteeksi).
5. Ilma
 - Kaikki välittömästi käytettävä ilma, jos sen koostumusta muutetaan kemiallisesti tai fyysikaalisesti (fyysikaalisissa muutoksissa vain aggregaattitilan muutos kuten nestemäinen tyyppi,

ei esimerkiksi paineilma). Ilman kulutus tarkoittaa yleensä lähinnä polttoprosesseissa poltetun hapen määrää, joka on puolestaan suorassa suhteessa hiilidioksidipäästöihin.

Materiaalipanos (MI) ilmoitetaan massayksiköissä, yleensä kilogrammoissa tai tonneissa. Tuotteiden tai toimintojen MI-arvoja voidaan laskea perusmateriaalien MI-kerrointen avulla. MI-kertoimet kertovat materiaalien ja tuotantopanosten materiaali-intensiteetistä eli siitä, kuinka paljon materiaaleja on käytetty ja siirretty kokonaisuudessaan kyseisen raaka-aineen massayksikköä kohden. MI-kertoimen yksikkönä on kg/kg eli kg materiaalipanosta per kg raaka-ainetta. Materiaalipanokseen sisältyy myös elinkaaren aikainen energiapanos, mutta sekin muunnettuna energiantuotannon ja -jakelun vaatimiksi materiaalikiloiksi.

Monille raaka-aineille on määritetty oma ns. MI-kerroin. MI-kertoimet vaihtelevat suuresti. Uusiomateriaalien MI-kertoimet ovat huomattavasti pienemmät kuin neitseellisten materiaalien. MIPS-laskennassa materiaali- ja energiapanokset lasketaan samassa yksikössä (esim. kiloina tai tonneina). Seuraavaan taulukkoon on koottu muutamia esimerkkejä Wuppertal-instituutin laskemista, eri materiaalien MI-kertoimista. Kun käytetään sähköenergiaa, energian tuottamiseksi käytetyt materiaalipanokset lasketaan kilogrammoina kilowattituntia kohti.

Materiaali	Ominaisuus	Materiaali-intensiteetti (t/t)					
		Abioottiset	Bioottiset	Vesi	Ilma	Erosio	Kohdealue
Alumiini	neitseellinen	37		1050	10,9		Eurooppa
	kierrätetty	0,85		30,7	0,95		Eurooppa
Kupari	neitseellinen	348		367	1,6		Maailma
	kierrätetty	2,38		85,5	1,32		Maailma
Betoni	B25	1,33		3,4	0,044		Saksa
Puuvilla	USA länsi	8,6	2,9	6810	2,74	5,01	USA

Taulukko 1 Esimerkkejä raaka-aineiden materiaali-intensiteetistä. MIPS-online (versio 2 28.10.2003)

Tässä työssä tehdyt laskelmat koskevat abioottisten luonnonvarojen, veden ja ilman kulutusta. Luokat bioottiset luonnonvarat ja maa- ja metsätaloudessa siirretty maaperä eivät ole kadun rakentamisen ja yläpidon kannalta merkityksellisiä, minkä vuoksi niitä on jätetty pois laskelmista.

MIPSin "S" tarkoittaa tuotteen koko käyttöikänsä aikana tarjoamien palvelusuoritteiden kokonaismäärää. Tuotteet nähdään tässä tarkastelussa nimenomaan palvelun tuottamisen välineinä. Esimerkiksi jääkaapin tuottama palvelu on elintarvikkeiden säilyttäminen kylmänä, mikä pitää saada

aikaiseksi entistä ekotehokkaammin, luonnonvaroja säästäen. Ennen MIPSin laskemista aikaansaatu palvelusuorite on määriteltävä: se voi olla tuotteen tai palvelun käyttökerta, liikennevälineellä matkustettu henkilökilometri, pesty pyykkikilo tai muu aikaansaatu hyöty.

Visio dematerialisaatiosta edellyttää suunniteltavaksi hankkeita, tuotteita ja toimintoja, jotka kuluttavat elinkaarensa aikana mahdollisimman vähän luonnonvaroja, mutta jotka tuottavat silti ensiluokkaista hyötyä tai palvelua. Kun MIPS-arvo pienenee, luonnonvarojen tuottavuus eli ekotehokkuus kasvaa. MIPS-arvoa voidaan pienentää kahden peruslähestymistavan avulla:

1. Pienennetään MI:tä, eli pienennetään tuotteen tai toiminnon tuottamiseen tarvittavaa materiaalianostaa. Kadun MI-lukua voidaan pienentää esimerkiksi käyttämällä uusiomateriaaleja neitseellisten sijaan välttämällä ylimääräistä rakentamista tai suunnittelemalla kadut luonnonvarojen kantaville pohjille.
2. Kasvatetaan S:ää, eli lisätään tuotteesta saatavaa hyötyä/palvelua. Kadun palvelusuoritetta voidaan nostaa esimerkiksi mahdollistamalla samaan tilaan enemmän kaistoja tai nostamalla kadun käyttäjien määrää esimerkiksi kimpakyytien ja joukkoliikenteen avulla. Kadun palvelusuoritetta voidaan nostaa myös lisäämällä autojen yhteiskäyttöä, jota pääkaupunkiseudulla tarjoaa CityCarClub. Palvelusuoritteen lisäämiseksi on siis usein tärkeää vaikuttaa loppukäyttäjien toimintatapoihin. Tämä merkitsee usein teknisten ratkaisujen ohella ”sosiaalisia innovaatioita”.

MIPS-menetelmän avulla mitataan luonnonvarojen käyttöä määrällisesti. MIPS-luvut eivät siten kerro yksityiskohtaisesti ympäristövaikutuksista, vaikka kasvava luonnonvarojen käyttö yleensä tarkoittaa myös kasvavia haitallisia ympäristövaikutuksia. MIPS-luku ei kuitenkaan ilmaise laadullisia tekijöitä. Esimerkiksi luonnonsuojelualueen halki rakennetulla tiellä voi olla samansuuruinen tai jopa alempi MIPS-luku kuin pellon halki rakennetulla tiellä. MIPS-tarkastelu ei siis korvaa ympäristövaikutusten laadullista tarkastelua, mutta on monissa yhteyksissä osoittautunut käyttökelpoiseksi kokonaisuutta kuvaavaksi välineeksi esimerkiksi tuotteiden tai toimintojen ekotehokkuuden arvioinnissa ja kehittämisessä.

2.3 Kadut ja luonnonvarojen käyttö

Tämä tutkimus kohdistuu katuihin ja niiden rakentamisen ja ylläpidon aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön. Kadut ovat keskeinen osa yhdyskuntarakennetta ja ne rakennetaan lähes kokonaan kivi- ja betonielementeistä. Materiaaleja ei jalosteta juuri lainkaan ja uusiutumattomien luonnonvarojen käyttömäärät ovat valtavia. Suur-Helsingin alueella käytetään vuosittain noin 12 miljoonaa tonnia kiviaineksia, joista 10-20 % on niin sanottuja kierrätysmassoja (Terho Kääriäinen, henkilökohtainen tiedonanto 24.3.2004). Toisaalta pääkaupunkiseudulta syntyy 2-3 miljoonaa m³ ylijäämämaita (Savimassojen hyötykäytön tulevaisuus 2004). Ylijäämämaista 40 % on savimaita, 30 % pintamaita, 15 % moreenia ja 15 % louhetta ja niistä hyödynnetään vain noin 30 % (Karhu ym. 2004:6-7). Helsingin alueelta kiviaineksia saadaan ainoastaan muun rakennustoiminnan sivutuotteena ja muualla Suomessa maa-ainesten ottoa vastustetaan ja rajoitetaan mm. maisemallisista syistä sekä pohjaveden pilaantumisen riskin takia. Mantereen maa-ainesten saatavuuden vähitellen heikentyessä on alettu suunnitella myös maa-ainesten nostamista merenpohjasta.

Luonnonvarojen käytön seuranta liittyy myös rakennustoiminnassa syntyvien ylijäämämassojen sijoittamisongelman ratkaisemiseen. Lisäksi Helsingissä syntyy huomattavia määriä massoja energiantuotannon sivutuotteena, joiden tehokkaampi hyödyntäminen säästäisi neitseellisiä luonnonvaroja.

Mäenpään ym. (2000 b) mukaan vuonna 1995 käytettiin Suomessa rakentamiseen maa-aineksia yhteensä 113 miljoonaa tonnia, mikä vastaa 25 % Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytöstä (TMR). Tästä päättyi suorina panoksina talouden käyttöön 78,5 miljoonaa tonnia. Piilovirtoina taloudellisen käytön ulkopuolelle (esim. ylijäämämään muodossa) jäi 34,5 miljoonaa tonnia. Maa-ainesten käytössä suorina panoksina ovat rakennuskohteissa käytetyt maa-ainekset. Piilovirtoja ovat rakennuskohteissa poisraivatut maa-ainekset, joita ei käytetä uudelleen. (Mäenpää ym. 2000 b:25-26.)

Rakentamisen maa-ainesten merkittävimmät käyttäjät ovat yleisten teiden rakentaminen (39 %) ja kuntien maarakentaminen (27 %). Kuntien maa-aineskäyttö sisältää paikallisteiden, katujen ja viheralueiden rakentamisen ja kunnossapidon sekä muun kunnallisteknisen maa- ja vesirakentamisen. Katujen ja teiden rakentamiseen liittyy lisäksi vielä asfalttisoraa, joka kuluttaa 9 % rakentamisen maa-aineksista. (Mäenpää ym. 2000 b:26, 29.) Vuonna 1995 Kuntien maa- ja vesirakentaminen vastasi 4,6 % luonnonvarojen kokonaiskäytöstä Suomessa, mikä on merkittävä osa kokonaisuudesta. Suurin osa kuntien maa- ja vesirakentamisen materiaalivirroista liittyy kadunrakentamiseen.

2.4 Kaavoitus, liikenne ja luonnonvarojen käyttö

Julkishallinnolla on merkittävä rooli kestävän kehityksen mukaisten ratkaisujen kehittämisessä esimerkiksi siinä, millä tavalla se suuntaa varoja materiaalien ja palvelujen hankintaan (Vihreä kirja... 2001; Yhdennetty tuotepolitiikka... 2003). Kaupungin suunnittelu ja päätöksenteko esimerkiksi kaavoituksessa vaikuttavat erittäin paljon kaupunkiympäristön rakentamisen ja käytön aikaiseen luonnonvarojen kulutukseen. Tällä hetkellä ei ole selvää käsitystä erilaisiin kaavoituksen ratkaisu- vaihtoehtoihin liittyvistä luonnonvarojen kulutuksen määristä. Olisiko pitkällä tähtäimellä luonnonvarojen kulutuksen osalta parempi rakentaa kantaville maille vai nykykäytännön mukaisesti tiivistää kaupunkirakennetta, jolloin ehkä joudutaan ottamaan rakennuskäyttöön siihen huonosti soveltuvia kohteita? Esimerkiksi ns. ”Eko-Viikin” hankkeesta olisi kiinnostavaa saada tietoa myös luonnonvarojen kulutuksen näkökulmasta.

Tämän tutkimuksen ohella on muissa Suomessa toteutetuissa hankkeissa selvitetty kaupunkien osatoimintojen luonnonvarojen käyttöä esimerkiksi vesi- ja viemäriverkoston rakentamisen ja talonrakentamisen hankkeissa, mutta laajemmat tarkastelut ovat toistaiseksi olleet vähäisiä.

Oulun yliopiston Thule-instituutti on selvittänyt rakentamisen materiaalivirtoja kansantalouden tasolla Suomen luonnonvarojen kokonaiskäytön tutkimisen puitteissa (vrt. Mäenpää ym. 2000 a ja b). Näistä makrotason tutkimuksista tiedetään kadunrakentamisen merkitys materiaalivirtojen kannalta, muttei kuitenkaan pystytty saamaan yksityiskohtaisia tietoja katujen suunnittelun ja rakentamisen materiaalivirroista.

FIN-MIPS Liikenne -hanke tutkii eri liikennemuotojen aiheuttamaa luonnonvarojen kokonaiskäyttöä Suomessa. FIN-MIPS Liikenne -hanketta rahoittavat pääosin ympäristöministeriö (ympäristöklusteriohjelma) ja liikenne- ja viestintäministeriö. Lisäksi tiehallinto, ratahallintokeskus, merenkulkulaitos ja ilmailulaitos osallistuvat rahoitukseen ja toimivat tutkimuksen merkittävinä yhteistyökumppaneina ja tiedonlähteinä. FIN-MIPS Liikenne -hankkeen puitteissa tulee vuosina 2004-2005 valmistumaan useita korkeakoulujen loppututkielmia sekä hankkeen omia julkaisuja. MateriaEuro- ja FIN-MIPS Liikenne -hankkeet ovat harjoittaneet aktiivista vuorovaikutusta tietopohjaa ja tutkimusmenetelmiä koskevissa kysymyksissä, ohjausryhmien työskentelyssä ja tulosten käsittelyssä ja julkaisemisessa. Rakennusviraston edustaja on osallistunut FIN-MIPS Liikennehankkeen ohjausryhmän työskentelyyn.

Wuppertal-instituutissa on tutkittu liikenteen materiaalivirtoja lähes koko 1990-luvun ajan. Tutkimustuloksista on julkaistu tavaraliikenteen MI-kertoimia (MIPS-online 2004) sekä yksittäisiä tutkimusraportteja lähinnä raide- ja laivaliikenteestä (Gers ym. 1997, Stiller 1995 a ja b). Julkisesta infrastruktuurista Wuppertal-instituutissa on tutkittu myös energia-, vesi- ja jätevesihuoltoa. Näistä tutkimuksista on julkaisuja saksan kielellä (mm. Manstein 1995 ja 1996, Reckerzügl 1997, Bringezu 2000). Viime vuosina Wuppertal-instituutti on tutkinut talonrakentamisen materiaalivirtoja. Osa tuloksista on julkaistu saksan kielellä (Wallbaum 2002, Wallbaum et al. 2003).

Teknillisen korkeakoulun Lahden keskuksella on yhteistyössä Lahden kaupungin kanssa tutkimushanke Kaupungin ekotehokkuuden parantaminen – case Lahti. Hankkeen puitteissa on selvitetty mm. vesi-, jätevesi- ja energiahuollon materiaalivirtoja. Tuloksia julkaistaan vuoden vaihteessa 2004-2005.

Kokonaisten talojen rakentamisen materiaalivirtoja on Suomessa tutkittu Helsingin yliopistolla ja Suomen ympäristökeskuksessa (Sinivuori 2004, Koskela ym. 2002). Itävallassa MIPS-mittari on käytetty yhtenä talonrakentamisen ja sen julkisen rahoituksen kehittämisen tietopohjana (vrt. Maydl 2002). Klagenfurt Innovation –hankkeessa on selvitetty myös erilaisten yhdyskuntarakenteen / asumismuotojen vaihtoehtojen materiaali-intensiteetti yleisellä tasolla ja pienehkössä mittakaavassa (Ecodesign in the EU, 104).

Luonnonvarojen kulutukseen liittyvää tietoa voidaan käyttää kaupungin ympäristöraportoinnissa. Helsingin kaupungin ympäristöraportti on julkaistu vuodesta 2000 lähtien. Rakennusvirasto on raportoinut ympäristöasioistaan vuodesta 1999 saakka. Näitä raportteja varten on Helsingin lisäksi vasta harvoissa Suomen kunnissa kehitteillä tai käytössä ympäristökustannusten seurantajärjestelmä, joka perustuu kaikkien hallintokuntien omiin seurantoihin. Luonnonvarojen kulutuksen seuranta on nimetty yhdeksi raportoinnin kehittämiskohteeksi.

Jotta luonnonvarojen käytön tehostaminen voisi alkaa toteutua, tarvitaan materiaalivirtatietojen kytkeä toiminnan ja talouden suunnittelun ja päätöksenteon käytäntöihin. Kun toiminnot ja kustannukset yhdistetään niihin liittyviin materiaalivirtoihin, voidaan saada kuva siitä, mitkä toiminnot ja kustannustekijät ovat luonnonvarojen kulutuksen, ja siten kestävä kehityksen kannalta, erityisen relevantteja. Tämän tutkimuksen tarkoitus on toimia pohjana tuleville materiaalivirtatarkasteluille ja kokeilla, millä edellytyksillä materiaalivirtatarkastelua voitaisiin käyttää kaupungin toiminnan kehittämisessä.

2.5 Keskeiset käsitteet

Abioottiset eli uusiutumattomat luonnonvarat: Kaikki välittömästi luonnosta otettavat, ei vielä työstetyt abioottiset raaka-aineet, esimerkiksi kaivoksesta otettava malmi ja muut aiemmin työstämättömät kaivannaiset ja maamassat.

Biottiset eli uusiutuvat luonnonvarat: Kaikki viljellyt ja viljelemättömät kasvikunnan raaka-aineet, samoin kuin kaikki luonnosta saatavat eläinperäiset aineet (hyöty- ja kotieläimet lasketaan niiden käyttämien panosten mukaisesti).

Dematerialisaatio tarkoittaa tuotteen tai palvelun vaatiman materiaalikulutuksen pienentämistä.

Ekologinen selkäreppu tarkoittaa niitä materiaaleja, joita on elinkaaren aikana tarvittu tuotteen aikaansaamiseksi, mutta jotka eivät näy valmiissa tuotteessa. Termiä ekologinen selkäreppu käyte-

tään eniten tuotetason tarkasteluissa, jokseenkin samaa tarkoittavaa termiä piilovirrat puolestaan eniten kansantalouden tason tarkasteluissa.

Ekotehokkuudella tarkoitetaan toimintaa jonka tarkoituksena on tuottaa enemmän palvelua ja hyvinvointia vähemmällä luonnonvarojen kulutuksella.

Factor 4 on maailmanlaajuisessa kestävä kehityksen keskustelussa käytetty tavoite, jonka mukaan tämän vuosisadan puoleenväliin mennessä on maailmassa keskimäärin luonnonvarojen kulutus puolitettava ja samanaikaisesti hyvinvointi kaksinkertaistettava. Factor 4 –tavoitteen toteutuminen edellyttää Factor 10 –tavoitteen toteutumisen teollisuusmaissa.

Factor 10 on tavoite, jonka mukaan tämän vuosisadan puoleenväliin mennessä on teollisuusmaissa aikaansaattava vähintään nykyinen hyvinvointi keskimäärin kymmenesosalla nykyisestä luonnonvarojen käytöstä. Factor 10 –tavoitteen toteutuminen teollisuusmaissa mahdollistaa Factor 4 –tavoitteen toteuttamisen maailmanlaajuisesti.

Kadun alusrakenne on joko tasattu, tiivistetty pohjamaa tai pengertäyte. Myös mahdolliset pohjanvahvistusrakenteet kuuluvat alusrakenteeseen.

Kadun päällysrakenteella tarkoitetaan kaikkia alusrakenteen yläpuolisia rakennekerroksia. Rakennekerrokset ovat pohjasta alkaen suodatinkerros, jakava kerros, kantava kerros, sidekerros ja kulutuskerros. Suodatinkerroksen ja jakavan kerroksen muodostama kokonaisuutta kutsutaan tukikerrokseksi. Tukikerros rakennetaan kantavuusluokissa D-G kaikkiin katuluokkiin ja kantava kerros, sidekerros ja kulutuskerros kaikkiin katuluokkiin kaikissa kantavuusluokissa. Rakennokuva päällysrakenteesta on esitetty liitteessä 3.

Katujen kunnossapito tarkoittaa talvikunnossapitoa, rakenteellista kunnossapitoa ja katuvihreän kunnossapitoa.

Katujen ylläpidolla tarkoitetaan erilaisia toimia, joiden avulla katu pysyy käyttökelpoisena. Kunnossapito, puhtaanapito ja valaistus kuuluvat tässä julkaisussa kadun ylläpitoon.

Katometri tarkoittaa katujuoksumetriä, joka sisältää koko katualueen eli ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja välikaistat.

MI-luku tai MI tarkoittaa materiaalipanosta eli käytettyjä luonnonvaroja piilovirtoineen.

MIPS-menetelmän (Material Input Per Service Unit) avulla lasketaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikainen materiaalinkulutus kiloina jokaista palvelusuoritetta kohti.

Piilovirrat ovat sellaiset materiaalivirrat, jotka eivät missään vaiheessa päädy taloudelliseen käyttöön, mutta joita kuitenkin aiheutuu varsinaisten raaka-aineiden tai tuotteiden aikaansaamiseksi. Termiä piilovirrat käytetään eniten kansantalouden tason tarkasteluissa, jokseenkin samaa tarkoittavaa termiä ekologinen selkäreppu puolestaan yleensä tuotetason tarkasteluissa.

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 MIPS-menetelmän käyttö

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään MIPS-menetelmää kadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttaman luonnonvarojen käytön selvittämiseksi. Kaduille lasketaan MI-luvut, jotka kuvaavat rakentamisen ja ylläpidon vaatimia luonnonvarapanoksia piilovirtoineen. Luonnonvarapanosten piilovirrat lasketaan pääasiassa Wuppertal-instituutin laskemien MI-kertoimien avulla.

3.1.1 Kadun rakentaminen

Tutkimus toteutettiin tutkimalla ensin yhden case-kadun rakentamisen luonnonvarojen käyttö erikseen abioottisille luonnonvaroille, ilmalle ja vedelle (luonnonvarojen käytön eri luokista ks. 2.1). MI-luvun yksikkönä käytetään kg/katometri. Se ilmoittaa, kuinka monta kilogrammaa luonnonvaroja on käytetty yhden keskimääräisen katometrin rakentamiseen. Katometri on katujuoksumetri, joka sisältää leveydeltään koko katualueen eli ajoradan, kevyen liikenteen väylät, välikaistat ja pientareet.

Erilaisten katutyyppeiden aiheuttama luonnonvarojen käyttö lasketaan ainoastaan abioottisille luonnonvaroille ja MI-luvun yksikkönä käytetään kg/katuneliometri. Pohjanvahvistuksessa lasketaan kuitenkin myös veden ja ilman kulutus.

3.1.2 Kadun ylläpito

Vastaavasti yhden katometrin ylläpidon vuoden aikana aiheuttamassa luonnonvarojen käytössä on huomioitu abioottiset luonnonvarat, ilma ja vesi. Bioottisten luonnonvarojen kulutusta ei ole laskettu sen vähäisyyden ja selvitystyön työläyden vuoksi. Tulokset ilmaistaan yksikössä kg/katometri ja kg/katuneliometri.

Katujen ylläpidon osa-alueet ovat talvikunnossapito, puhtaanapito, kesähoito ja kunnostus, katuvihreän hoito, liikenteen ohjaus ja varusteet (Katu 2002, 14; Helsingin kaupungin rakennusvirasto 2004) sekä tässä tutkimuksessa myös valaistus. Liikenteen ohjaus ja varusteet on kuitenkin rajattu työn ulkopuolelle, koska niiden merkitys osoittautui alustavassa arvioinnissa pieneksi.

3.2 Aineisto: rakentaminen

3.2.1 Case-katu

Case-kadun valinnassa oli olennaista, että tietoa rakennusvaiheista oli riittävästi saatavilla ja että kadun rakentamisen vaiheet kattaisivat useimmat yleiset rakennusvaiheet. Olennaista ei niinkään ollut case-kadun tyypillisuus, koska tuloksia oli tarkoitus varioida tärkeimpien muuttujien suhteen. Kadun rakentamisen materiaaliveittämätiedot on kerätty kadun teknisistä suunnitelmista, työselostuksista, kustannusarvioista sekä haastatteleamalla kadun rakentamisesta vastaavaa työnjohtoa.

Tutkittavaksi uudisrakennuskohteeksi valittiin Mustialankatu Helsingin Viikissä. Kohde ei ollut vielä aineiston keräämisen alkaessa valmistunut. Maaliskuuhun 2004 mennessä kohteessa oli tehty vesihuoltotyöt, pohjanvahvistustyöt, maanleikkaus- ja pengerrystyöt sekä louhintatyöt. Keskenäisyydestä huolimatta Mustialankatu sopii tutkimuskohteeksi, koska kadusta tehtyjen suunnitelmien paikkansapitävyys on riittävä, kun tavoitteena on kartoittaa kadun rakentamiseen kuluvat materiaaliveittämät keskimäärin.

Mustialankatu on kehittyvän yliopistoalueen kokoojakatu, jonka pituus on 600 m. Ajouradan leveys on 6,5 metriä ja sen länsipuolella on 0,75 – 3,00 metriä leveällä välikaistalla erotettu 4,0 metriä leveä jalankulku- ja polkupyörätie. Kadun eteläpäässä itäpuolella on lisäksi 2,50 metriä leveä jalkakäytävä. Kadun ja kevyenliikenteen väylien päällysteenä on asfaltti. Mustialankadun kapeiden (0,75 – 1,10 m) välikaistojen pintamateriaalina on harmaa noppakiveys. Leveä välikaista (3 m) nurmetaan. Katualueen leveys vaihtelee välillä 12,5 – 17 m ja on keskimäärin 15,4 m.

Kadun korkeustaso on sovitettu yliopiston nykyisten ja suunnitteilla olevien rakennusten korkeus-asemiin. Tästä syystä rakennuspaikalla jouduttiin tekemään kadun toisessa päässä runsaasti leikkauksia ja toisessa päässä runsaasti pengerrystä. Mustialankadun ja siihen liittyvien alueiden kuivatus hoidetaan uudella rakennettavalla sadevesiviemäröinnillä. Kadun pohjasuhteet ovat hyvin vaihtelevat. Paaluvälillä 0-300 kadun kohdalla ylin maakerros on silttistä hiekkaa tai hiekkaa 0-3 metrin syvyydelle ja tämän alla on moreenikerrokset 0,5-10 metrin syvyydelle. Paaluvälillä 250-300 kalliopinta vaihtelee 0,5 - 12 m syvyydellä jyrkkäpiirteisesti kadun poikkisuunnassa. Paaluvälillä 300-600 maaperä vaihtelee jyrkkäpiirteisesti. Ylin luonnollinen kerros on savea 0-7 metrin syvyydelle. Saven alla on 2 - 4 m paksut siltti- tai hiekkakerrokset ja tämän alla moreenikerros. Kantavuuden lisäämiseksi savialueella vahvistettiin maapohjaa kalkkipilaristabiloinnilla.

Laskelmissa on huomioitu siirretty maa-aines, rakennusmateriaalit, kuljetukset tonnikilometreinä sekä rakentamisessa käytettyjen työkonoiden polttoaineenkulutus seuraavissa työvaiheissa:

- pintamaan poisto
- maan leikkaus
- pohjanvahvistus
- pengerrystyöt
- päällysrakennetyöt

Lisäksi laskelmissa on huomioitu valaistus- ja kuivatusjärjestelmien rakenteiden valmistuksessa kuluneet luonnonvarat. Näiden työvaiheiden voidaan olettaa kattavan merkittävimmät Mustialankadun rakentamisen vaatimat materiaaliveittämät. Tarkastelun ulkopuolelle on jätetty suunnitteluvaihe, töiden järjestely rakennuspaikalla sekä viimeistelytyöt.

3.2.2 Teorettinen aineisto

Kadun rakentamisen olennaisten materiaalivirtojen selvittyä laajennettiin tuloksia erilaisten katutyypin rakentamiseen case-kadun ja kirjallisuuden tietojen perusteella. Apuna käytettiin lähinnä Suomen kuntatekniikan yhdistyksen julkaisua "Katu 2002: Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet" sekä Suomen kuntaliiton julkaisua "Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02" (KT 02). Jälkimmäistä käytetään Helsingin kaupungin rakennusvirastossa yleisenä työohjeena.

Erilaisten katutyypin MI-lukuihin otettiin huomioon case-kadulla luonnonvarojen käytön kannalta merkittäviksi osoittautuneet työvaiheet eli pintamaan poisto, mahdollinen leikkaus tai pengerrys, mahdollinen pohjanvahvistus ja kadun päällysrakenteen rakentaminen. Kuljetukset ja työmaalla kulunut energia jätettiin tarkastelun ulkopuolelle, koska niiden merkitys osoittautui vähäiseksi case-tutkimuksessa.

Erilaisten katutyypin rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö ilmaistaan neliometriä kohti. Ajourataneliömetrin MI-luku muodostetaan erilaisille kaduille alusrakenteen ja päällysrakenteen vaihtelut huomioiden. Päällysrakenteen vaihtelut saadaan laskettua eri katuluokkien normaalipäällysrakenteiden mukaan. Normaalipäällysrakenteissa on huomioitu maapohjan kantavuus sekä liikennemäärä. Alusrakenteessa huomioidaan erilaisia vaihtoehtoisia toimenpiteitä, joita ovat leikkaus, pengerrys ja pohjanvahvistus.

Koska katualue koostuu erilaisista osista, kuten ajoradasta ja viherkaistasta, esitetään kadun rakentamisen MI-luku erikseen ajorataneliömetrille ja teoreettiselle katuneliömetrille. Teorettinen katuneliometri muodostetaan katurekisterin tietojen mukaan siten, että se sisältää keskimääräisen osuuden ajorataa, kevyen liikenteen väylää ja viherkaistaa. Katurekisteristä löytyy muun muassa katutilan pinta-ala ja pituus sekä sen osien pinta-alat jaoteltuna hoitoluokituksen mukaan. Helsingin kadut on jaettu kolmeen luokkaan hoitotason mukaan (HKR: Katujen hoitoluokitus)

- I-luokka: Pääkadut ja erittäin vilkkaat kevyen liikenteen väylät.
- II-luokka: Kokoojakadut ja vilkasliikenteiset kevyen liikenteen väylät.
- III-luokka: Tonttikadut ja vähäliikenteiset kevyen liikenteen väylät.

Luokituksen mukaan priorisoidaan katujen hoito esimerkiksi runsaan lumisateen jälkeen. Katurekisterin mukaiset katuosien keskimääräiset pinta-alojen osuudet on esitetty seuraavassa taulukossa.

Hoitoluokka	Pinta-alan osuus katutilan pinta-alasta			Katualueen keskim. leveys (m)	Osuus Helsingin kaduista	
	Ajorata %	Kevyt liikenne %	Katuvihreä %		pinta-ala %	pituus %
I-luokka	50	20	30	33	23	11
II-luokka	50	30	20	20	29	23
III-luokka	50	30	20	11	48	66

Taulukko 2 Katuosien pinta-alojen osuudet katutilan pinta-alasta (HKR: Katurekisteri).

Tämän taulukon mukaisesti voidaan muodostaa teoreettisia katuneliömetrejä, jotka sisältävät I-luokassa 0,5 m² ajorataa, 0,2 m² kevyen liikenteen väylää ja 0,3 m² viheraluetta. II- ja III-luokassa osuudet ovat vastaavasti ajorata 0,5 m², kevyen liikenteen väylä 0,3m² ja viheralue 0,2 m². Kun teoreettisen katuneliömetrin MI-luku kerrotaan katualueen leveydellä, saadaan laskettua MI-luku katuneliometriä kohti, joka sisältää koko katualueen. Näin saadaan eliminoitua katualueen leveyden vaikutus MI-lukuun ja laskettua yhden MI-luvun avulla eri levyisten katujen rakentamisen aiheuttama

luonnonvarojen käyttö. Tuloksena ei siis saada todellisten katujen tarkkoja MI-lukuja, mutta kuitenkin hyvä käsitys kadun rakentamisen vaatimien luonnonvarapanosten suuruudesta.

Kadun hoitoluokitus eroaa luokituksesta, jossa kadut jaetaan luokkiin 1-6 toiminnallisen luokituksen ja liikennemäärän mukaan (KT 02, liite 2000/2). Toiminnallisen katuluokituksen 1-6 mukaan esitetään kirjallisuudessa ns. normaalipäällysrakenteet (KT 02, liite 2000/5-10). Tässä työssä käytetään ajorataneliömetrien ja teoreettisten katuneliömetrien päällysrakenteiden laskemiseksi normaalipäällysrakenteiden kerrospaksuuksia. Seuraavassa taulukossa esitetään, miten hoitoluokitus vastaa tässä työssä toiminnallista luokitusta ja mitkä ovat kantavuusvaatimukset päällysteen päältä kullakin katuluokalla (KT 02).

Toiminnallinen katuluokka	1	2	3	4	5	6
Kantavuusvaatimus (MN/m ²)	500	420	350	250	200	175
Vastaava hoito-luokka	I	I	II	II-III	III	I-III

Taulukko 3 Toiminnallisen katuluokituksen ja hoituluokituksen vastaavuus.

3.2.3 Menetelmän soveltaminen teoreettiseen aineistoon

Alusrakenne

Alusrakenne on joko tasattu, tiivistetty pohjamaa tai pengertäyte. Myös mahdolliset pohjanvahvistusrakenteet kuuluvat alusrakenteeseen. Teoreettisten katuneliömetrien laskennassa oletetaan, että ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja viherkaistan alusrakenteisiin kohdistuvat samanlaiset toimenpiteet.

Ennen rakentamisen aloittamista, tulee rakennuspaikalta poistaa pintamaa eli noin 30-40 cm:n ruokamultakerros. Humusmaan tiheys vaihtelee välillä 1100-1500 kg/m³. Normaalitilanteessa pintaan poisto lisää MI-lukua noin 400 kg/m².

Kadun ja sitä ympäröivien tonttien korkeusasemien tulee sopeutua toisiinsa, jotta saavutetaan liikenteelliset ja maisemalliset vaatimukset. Kadun korkeusaseman suunnittelussa lähtökohtana on laajemman alueen katujen tasauksen yleissuunnitelma. Suunnittelussa on varmistettava sade- ja hulevesien sekä mahdollisten putkirikkojen aiheuttamien vuotovesien pääsy pintavaluntana vesistöön tai alueille, joissa niistä ei ole haittaa myös silloin kun sadevesiviemärointi ei toimi. Puutteellisesti toteutetun tulvareitin aiheuttamissa vesivahinkotapauksissa kunta on yleensä korvausvelvollinen. Tästä syystä katujen tasausviiva on pidettävä usein melko alhaalla ja katujen rakentaminen saattaa muodostua leikkausvoittoiseksi. (Katu 2002; Hartikainen 2001)

MIPS-menetelmän periaatteiden mukaan tulee kaikki maa-aines, joka siirretään pois alkuperäiseltä paikaltaan, laskea mukaan abioottiseen luonnonvarojen käyttöön. Jos leikattu maa hyödynnetään rakennusmateriaalina jossain muualla, lasketaan hyötykäyttö sen kohteen hyväksi, johon se sijoitetaan. Tällöin MI-luvuksi tulee materiaalin osalta nolla. Pääkaupunkiseudulla hyödynnetään pääasiassa kaikki rakentamiseen kelvolliset materiaalit ja ainoastaan rakentamiseen kelvottomat

maamassat loppusijoitetaan maankaatopaikoille. Yleensä hyödynnettävät maamassat kuuluvat pohjamaan kantavuusluokkiin A-D (ks. liite 4).

Leikkauksesta aiheutuva MI-luku voidaan laskea maa-aineen tiheyden perusteella. Maa-ainesten tiheydet vaihtelevat keskimäärin välillä 1500-2000 kg/m³. Kallioleikkauksissa tiheydeksi valitaan 2500-3000 kg/m³. Kuljetusten kohotessa suuriksi, voidaan niiden vaikutus luonnonvarojen kulutukseen arvioida karkeasti tonnakilometrien avulla. Maamassojen kaivun polttoainekulutuksen merkityksen osoitettiin olevan mitätön Mustialankadun tapauksen avulla, joten se voidaan jättää huomiotta.

Usein kadun korkeusasemaa voidaan joutua myös nostamaan pengerryksen avulla. Jos pengermateriaalia ei saada saman tai toisen työmaan leikkauksista, tulee pengermateriaali huomioida MI-laskennassa. Kuten leikkauksessakin, saadaan pengermateriaalin MI-luku maa-aineksen tiheyden perusteella. Jos materiaalina käytetään jollain tavalla käsiteltyä maa-ainesta kuten murskettä, tulee myös taustavirrat huomioida laskelmissa. Murskeen tapauksessa voidaan käyttää MI-kerrointa 1,1, jolloin saadaan tiheydellä 1800 kg/m³ MI-luvuksi noin 2000 kg pengerkuutiometriä kohti.

Pohjanvahvistus: pilaristabilointi

Rakennettaessa katuja heikosti kantaville pohjamaille, täytyy kantavuutta lisätä pohjanvahvistustoimenpitein. Vahvistustoimenpiteitä vaativat pohjamaaluokat ovat yleensä E, F ja G eli lähinnä savi- ja silttimaat. Helsingissä naturakentamisessa yleisimmin käytetyt pohjanvahvistusmenetelmät ovat massanvaihto ja pilaristabilointi, joten tässä tutkimuksessa tarkastellaan ainoastaan näiden vaihtoehtojen vaikutusta kadun rakentamisessa kuluviin luonnonvaroihin. Massanvaihdossa pehmeät materiaalit korvataan joko osittain tai kokonaan kantavammalla materiaalilla.

Pilaristabilointi perustuu maan lujittamiseen sideaineiden, kuten kalkin tai sementin tai näiden sekoituksen avulla. Pilaristabiloinnissa maata lujitetaan syöttämällä sideainetta maan sisään. Sideaine sekoitetaan pehmeään maahan painetun sekoittimen avulla siten, että siihen muodostuu lujittuvia sylinterimäisiä pilareita. Sideaine syötetään maahan sekoittimen ylösnoston aikana. Tarkalla sekoitustyöllä saadaan sideaine ja maa-aines keskenään kosketukseen, eikä pilareihin synny epäjatkuvuuskohtia.

Stabiloidun rakenteen kantavuus perustuu lujittamattoman maan ja pilarin yhteisvaikutukseen. Sideaineina voidaan käyttää muun muassa sementtiä, kalkkia, lentotuhkaa, kipsiä tai näiden yhdistelmiä. Käytännössä sementin ja kalkin sekoitus on yleisin sideaine. Mahdollisia sekoitussuhteita ovat esimerkiksi 70/30 tai 50/50. Teollisuuden sivutuotteita, kuten lentotuhkaa tulisi suosia sideaineena, mutta käytännössä niiden käyttämistä vältetään lupakäytäntöjen ja epävarman lopputuloksen vuoksi. Yleisimmin käytetyt pilarikoot ovat 600 mm ja 800 mm. Sideaineen tarve vaihtelee sideaineen koostumuksen ja vahvistettavan maaperän mukaan. 600 mm:n pilarilla tarve on keskimäärin 35-40 kg/m ja 800 mm:n pilarilla 60-70 kg/m. Yleisimmin käytetty paalujen kärkiväli on 1 m. Pintamaa poistetaan yleensä stabiloitavalta alueelta. Pintamaata ei poisteta jos työkoneiden liikkuminen työmaalla vaikeutuu kohtuuttomasti. Yleensä koko katualue stabiloidaan epätasaisten painumien välttämiseksi ja stabilointisyvyys ulotetaan pehmeän maakerroksen alapuolella olevan kitkamaakerroksen yläpintaan. Yleinen stabilointisyvyys Helsingissä on 5-7 m, mutta pilaristabilointi saatetaan ulottaa jopa yli 20 metrin syvyyteen. (RIL 156; Matti Maisala, Helsingin kiinteistöviraston geotekninen osasto, henkilökohtainen tiedonanto 27.5.2004)

MIPS-menetelmän soveltaminen pilaristabiloinnin aiheuttaman luonnonvarojen käytön laskemiseksi ei ole aivan yksiselitteistä. Kun sideainetta syötetään maan sisään muuttuu pilari lujitetuksi maaksi ja kantavuus perustuu pilarin ja lujittamattoman maan yhteisvaikutukseen (RIL 156). Näin ollen

lujitettava maa muuttuu osaksi teknosysteemiä ja se voitaisiin ajatella huomioitavaksi MI-laskennassa. Toisaalta koko stabiloitava alue voidaan lukea osaksi teknosysteemiä, jolloin luonnonvarojen käytöksi tulisi laskea koko alueen maamassat. Teknosysteemin rajaaminen maarakentamisessa ei ole aivan yksinkertaista. Katuja rakennettaessa muuttuu rakennuspaikka osaksi teknosysteemiä, mutta on vaikea määrittää, kuinka syvälle pohjamaahan tämä vaikutus tulisi huomioida. Eko- ja teknosysteemien välisen rajan ylityksen perusteena on MIPS-konseptissa kysymys, onko materiaali siirretty aktiivisesti pois alkuperäiseltä paikaltaan työkalujen tai teknisten laitteiden avulla (Schmidt-Bleek et al. 1998:36). Koska menetelmän soveltamisessa on kyse rajatapauksesta, lasketaan tässä tapauksessa kaksi erilaista vaihtoehtoa. Ensimmäisenä vaihtoehtona lasketaan pilaristabiloinnin aiheuttamaksi luonnonvarojen käytöksi sideaineen valmistus, kuljetus ja syvästabilointikaluston polttoainekulutus. Toisena vaihtoehtona lasketaan luonnonvarojen käytöksi edellisten lisäksi maaperä, joka sekoitetaan sideaineen kanssa. Koko stabilointialueen maamassoja ei lasketa luonnonvarojen käytöksi, koska stabilointipilareiden ulkopuolella ei siirretä maaperää aktiivisesti.

Sideaineen oletetaan olevan kalkin ja sementin sekoitus suhteessa 1:1. Kuljetusmatkaksi oletetaan 75 km (kalkki 100 km ja sementti 50 km kuten Mustialankadullakin). Pilarin koko on 600 mm ja sideaineen tarpeeksi oletetaan 37 kg/m. Pilareiden kärkiväliksi oletetaan 1 m, jolloin yhdelle neliömetrille tulee keskimäärin yksi pilari. Pilarointisyvyyden oletetaan olevan 6 m. Sideaineen valmistuksen piilovirrat otetaan huomioon Wuppertal-instituutin MI-kertoimien avulla.

Pohjanvahvistus: massanvaihto

Massanvaihdossa pehmeät maakerrokset korvataan joko kokonaan tai osittain kantavammilla materiaaleilla. MIPS-menetelmän mukaisesti luonnonvarojen käytöksi lasketaan pois siirrettävä maa sekä tilalle tuodun materiaalin massa. Jos siirrettävä maa on savimaata, sen tiheys on noin 1500 kg/m³ ja korvaavan materiaalin tiheys on yleensä noin 2000 kg/m³ (esim. sora tai murske). Kuljetukset voidaan laskea mukaan tonnikilometreinä.

Päällysrakenne

Päällysrakenteella tarkoitetaan kaikkia alusrakenteen yläpuolisia rakennekerroksia. Rakennekerrokset ovat pohjasta alkaen suodatinkerros, jakava kerros, kantava kerros, sidekerros ja kulutuskerros. Suodatinkerroksen ja jakavan kerroksen muodostama kokonaisuutta kutsutaan tukikerrokseksi. Tukikerros rakennetaan kantavuusluokissa D-G kaikkiin katuluokkiin ja kantava kerros, sidekerros ja kulutuskerros kaikkiin katuluokkiin kaikissa kantavuusluokissa. Rakennekuva päällysrakenteesta on esitetty liitteessä 3.

Seuraavassa taulukossa esitetään, miten pohjamaan kantavuus ja katuluokka vaikuttavat päällysrakenteen paksuuteen (KT 02:liite 2000/5-10). Päällysrakenne sisältää tukikerroksen, kantavan kerroksen, sidekerroksen ja kulutuskerroksen. Pohjamaan kantavuusluokitus A-G on esitetty liitteessä 4. Pohjamaan kantavuus on paras luokassa A ja heikoin luokassa G.

	Pohjamaan kantavuusluokka						
Katuluokka	A	B	C	D	E	F	G
1	0,31	0,31	0,42	0,77	0,97	1,17	1,42
2	0,29	0,29	0,34	0,64	0,89	1,09	1,29
3	0,24	0,24	0,31	0,61	0,81	1,06	1,26
4	0,20	0,20	0,24	0,54	0,79	1,04	1,24
5	0,20	0,20	0,24	0,54	0,64	0,89	1,04
6	0,18	0,18	0,24	0,49	0,79	0,99	1,19

Taulukko 4 Normaalipäällysrakenteen kokonaispaksuus (m) kantavuusvaatimuksen mukaan (KT 02:liite 2000/5-10).

Rakennekerrosten paksuudet on määritetty kantavuusvaatimuksen mukaan ja pohjamaille E, F ja G on tehtävä lisäksi routamitoitus olosuhteiden mukaisesti. Tällöin päällysrakenteen kokonaispaksuutta voidaan joutua lisäämään. Tässä työssä lasketaan katujen aiheuttama luonnonvarojen käyttö normaalipäällysrakenteen mukaisesti ilman routamitoitusta. Erilaisten normaalipäällysrakenteiden MI-laskennassa oletetaan, että suodatinkerroksena käytetään kuitukangasta, mutta tukikerroksen kokonaispaksuutta ei tällöin vähennetä. Kuitukankaan valmistusmateriaali on polypropeenä ja sen massa on $0,155 \text{ kg/m}^2$. Polypropeenin abiottinen MI-kerroin on $4,24 \text{ kg/kg}$. Tukikerroksen ja kantavan kerroksen rakennusmateriaalin MI-luvun oletetaan olevan 2000 kg/m^3 (esimerkiksi murske tai luonnon sora). Edelleen oletetaan, että sidekerroksen materiaalina käytetään asfalttibetonia ABK 32, jota levitetään 150 kg/m^2 $0,06 \text{ m:n}$ paksuiseen kerrokseen ja 125 kg/m^2 $0,05 \text{ m:n}$ paksuiseen kerrokseen. Kulutuskerroksen materiaalina luokissa 1-5 käytetään asfalttibetonia AB 16, jota levitetään 100 kg/m^2 $0,04 \text{ m:n}$ paksuiseen kerrokseen. Katuluokan 6 (kevyen liikenteen väylät) kulutuskerroksen materiaalina on asfalttibetoni AB 8, jota levitetään 90 kg/m^2 $0,04 \text{ m:n}$ paksuiseen kerrokseen ja $67,5 \text{ kg/m}^2$ $0,03 \text{ m:n}$ kerrokseen. Asfalttibetonin sideaineena käytetään bitumia noin 5 massa-%. Bitumin abiottisena MI-kertoimena käytetään $2,6 \text{ kg/kg}$ ja murskeen $1,1 \text{ kg/kg}$. Näin saadaan asfalttibetonin MI-kertoimeksi 1,18. Näillä arvoilla saadaan laskettua kaikille normaali-päällysrakennevaihtoehdoille MI-luku.

Viherkaistalla ylimpänä kerroksena on kasvualusta, jonka syvyys vaihtelee välillä 15-80 cm riippuen siitä, istutetaanko kaistalle vain nurmikkoja vai myös puita (KT 02). Tässä työssä tarkastellaan ainoastaan puuttomia viherkaistoja. Tarkastelun ulkopuolelle jätetään nurmikon ja muiden istutusten vaatimat materiaalivirrat kasvualustaa lukuun ottamatta, koska näiden voidaan olettaa olevan kokonaisuuden kannalta vähäisiä. Välikaistat voidaan päällystää myös erilaisilla kiviaineksilla kuten betoni- tai noppakivillä. Näitä ei ole kuitenkaan tarkasteltu esimerkeissä, vaan kaikkien välikaistojen oletetaan olevan viherkaistoja.

3.2.4 Rajaukset

Tässä tutkimuksessa katurakentamisen luonnonvarojen käytöksi lasketaan rakentamisen vuoksi alkuperäiseltä paikaltaan siirretyt maamassat, kadun rakentamiseen vaaditut rakennusmateriaalit taustavirtoineen, kuljetukset sekä työkoneiden kuluttama polttoaine. Tarkastelu rajataan pohjamaan ja katurakenteen rajapintaan siten, että mahdolliset leikkaukset ja pengerrykset lasketaan mukaan, mutta esimerkiksi syvästabiloinnin pilareiden vaikutusta maaperään ei huomioida.

Kaupunkialueella jokaisen kadun alla sijaitsee yleensä runsaasti erilaisia verkostoja, muun muassa vesi- ja viemärijohtoja ja kaapeliverkostoja. Tässä työssä tarkastellaan katua ainoastaan liikenneväylänä. Kaikki kadun alaiset verkostot, jotka eivät ole välttämättömiä kadun toiminnan kannalta, rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Verkostoista huomioidaan siis ainoastaan valaistuksen ja kuivatuksen vaatimat kadun alaiset rakenteet. Sadevesiviemäri sijoitetaan normaalisti vesijohdon ja jätevesiviemäriin yläpuolelle (Katu 2002:123). Putkien asennuksesta aiheutuu materiaalivirtoja mm. kaivumassojen muodossa, mutta tässä tutkimuksessa ei ollut resursseja tutkia sadevesiviemäriin osuutta näistä materiaalivirroista. Kuivatus- ja valaistusjärjestelmien asennuksesta aiheutuvat kaivut rajataan tutkimuksen ulkopuolelle ja ainoastaan verkostojen kiinteiden osien valmistuksesta aiheutuvat materiaalivirrat huomioidaan.

Rakentamisen aikana työmaalla käytetään runsaasti erilaisia koneita muun muassa kaivuun, materiaalien levitykseen ja kerrosten tiivistykseen. Tarkastelussa huomioidaan case-kadun osalta ainoastaan koneiden kuluttama polttoaine. Työkoneiden valmistus rajataan tarkastelun ulkopuolelle lukuun ottamatta stabilointikoneen esimerkkiä, jonka avulla todistetaan valmistuksen merkityksen vähäisyys (ks. s. 30).

Kadun viimeistelytyöt rajataan tarkastelun ulkopuolelle. Eli liikenteen ohjaus- ja suojalaitteet, istutukset sekä kadun kalusteet rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

Bioottisten luonnonvarojen kulutus rajataan kokonaan tarkastelun ulkopuolelle.

Alueellinen esirakentaminen, jossa esikuormituspenkereen avulla aiheutetaan maapohjaan painuma, joka olisi pitkän ajan kuluessa suurempi kuin lopullisten rakenteiden aiheuttama painuma, rajataan tutkimuksen ulkopuolelle. Tässä oletetaan, että mahdollinen esikuormitus toteutetaan kiviainesten väliaikaisena varastointina, jolloin ne kaivetaan myöhemmin ylös ja hyödynnetään alueen rakentamisessa tai ne jäävät paikoilleen korvaamaan lopullisen rakenteen suunniteltuja rakennusmateriaaleja. (Savimassojen hyötykäytön... 2004)

Siirtymärakenteet, joita rakennetaan maapohjan kantavuuden muutoskohtiin, rajataan tarkastelun ulkopuolelle.

Kaikki erikoisrakenteet rajataan tutkimuksen ulkopuolelle. Erikoisrakenteiksi luetaan tässä tutkimuksessa esimerkiksi sillat ja rummut sekä tukimuurit.

3.2.5 Tutkimuksessa käytetyt yleiset oletukset

Maa-ainesten tiheydet

Maa- ja kalliomassojen tilavuus vaihtelee huomattavasti eri käsittelyvaiheissa. Rakenteessa olevan tiivistetyn maa-aineksen tiheys on suurempi kuin esimerkiksi kuljetusvälineen lavalla olevan maa-aineksen. Maamassojen tilavuuden vaihtelua ilmaistaan neljän massakertoimen avulla. Näitä ovat ryöstökerroin, löyhtymiskerroin, tiivistymiskerroin ja täyttökerroin. (Hartikainen 2000)

Koska MIPS-menetelmässä lasketaan kaikki materiaalit massayksiköissä (yleensä kg tai t), voidaan tilavuuden vaihtelun vaikutus eliminoida käyttämällä aina tiivistetyn maa-aineksen tiheyttä. Kadun rakennekerroksen materiaalin massa lasketaan siis teoreettisen rakennetilavuuden ja maa- tai kalliomassan maksimikuivairtitiheyden avulla. Kuljetukset lasketaan tonnikipometreinä, jolloin voidaan jättää huomiotta maamassojen tilavuuden kasvu kuormattaessa. Tonnikipometrien MI-kertoimessa on huomioitu keskimääräinen täyttöaste ja tyhjäajot, joten kuljetusten paluumatkoja ei tarvitse erikseen huomioida.

Seuraavaan taulukkoon on koottu tässä työssä MI-laskentaan käytetyt maa- ja kalliomassojen tiheydet (Hartikainen 2000; Rakentajan kalenteri 1998).

	Tiheys (kg/m ³)
Murske	1800
Savimaa	1500
Pintamaa	1300
Hiekka	2000
Louhe	1800
Kallio	2600

Taulukko 5 MI-laskennassa käytetyt maa- ja kalliomassojen tiheydet

Mustialankadun kuljetusmatkat

Työmaan kuljetuksista lasketaan vain rakennusmateriaalien ja maamassojen kuljetukset. Koneiden osalta oletetaan, että ne kiertävät lähimmältä työmaalta seuraavalle, jolloin niiden kuljetusten merkitys jää vähäiseksi. Kuljetusmatkojen osalta on käytetty tarkkaa tietoa vain poiskuljetettavan maaperän ja pengermateriaalin osalta. Muissa kuljetusmatkoissa on käytetty yleisen käytännön perusteella tehtyä karkeaa arviota. Laskelmissa käytetyt kuljetusmatkat on esitetty seuraavassa taulukossa. Kuljetuksen vaatimat materiaalipanokset lasketaan tonnikipometreinä, joten maa-aineksen löyhtymistä kuormattaessa ei tarvitse huomioida. Tonnikipometrien MI-kertoimessa on huomioitu keskimääräinen täyttöaste ja tyhjäajot, joten kuljetusten paluumatkoja ei tarvitse erikseen huomioida.

Materiaali	Kuljetusmatka (km)
Pintamaa	8
Leikattu maa	17
Kuivatuksen vaatimat rakenteet	100
Stabilointiin kuluva kalkki	100
Stabilointiin kuluva sementti	50
Kuitukankaat	100
Penger materiaalit	10
Valaistuksen vaatimat rakenteet	100
Päällysrakennekivet	100
Murske	50
Louhe	10

Taulukko 6 Laskelmissa käytetyt kuljetusmatkat

3.3 Aineisto: katujen ylläpito

3.3.1 Hoitoluokitus

Katujen ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä arvioidaan tässä työssä katuluokittain (hoitoluokitus I-III). Aluksi tarkoituksena oli valita muutamia edustavia katuja, joiden tuloksia olisi yleistetty koko kaupungin tasolle. Katujen valinta osoittautui kuitenkin vaikeaksi, koska tyypillisten tai tavallisten katujen ominaisuuksia on vaikea määrittellä, eikä katujen ylläpitoa raportoida yksittäisen kadun tasolla. Tästä syystä tutkimuksessa päädyttiin tarkastelemaan katuja niiden hoitoluokituksen mukaan. Helsingin katujen ajoradat ja kevyen liikenteen väylät on jaettu kolmeen luokkaan niiden hoitotason mukaan. Ylläpidon eri osa-alueiden luonnonvarojen kulutus on laskettu eri hoitoluokkien ajoradoille ja kevyen liikenteen väylille erikseen. Tuloksissa tarkastellaan rinnakkain saman hoitoluokan ajorataa ja kevyen liikenteen väylää (esim. I-luokan ajorata ja A-luokan kevyen liikenteen väylä), jotka pääsääntöisesti ovat rinnakkain. Eri katuluokkien ajoratojen, kevyen liikenteen väylien ja katuvihreän pituudet ja pinta-alat on laskettu Helsingin katurekisterin katutilaraportin avulla. Rekisteri sisältää erilaista tietoa Helsingin kaduista, mm. pituudet ja pinta-alat sekä kunnossapidosta vastaavan tahon.

3.3.2 Rakenteellinen kunnossapito

Rakenteellisen kunnossapidon töitä ovat mm. kadun kulutuskerroksen paikkaus ja uusiminen, kadun kalusteiden ja varusteiden korjaaminen sekä katukivien kunnossapito. Kadun alempien rakenteiden kunnostaminen on peruskorjausta ja se lasketaan kuuluvaksi rakentamisen piiriin toisin kuin rakenteellinen kunnossapito.

Ajoradoilla käytettävä asfaltti on tavallisesti asfalttibetonia AB16/100, jossa neliömetrille tulee massaa 100 kg. Massa sisältää noin 95 % murskettua ja 5% bitumia. Kevyen liikenteen väylällä käytetään yleensä asfalttia AB8/90 eli massaa levitetään noin 90 kg/m². (Asfalttinormit 2000.) Kevyen liikenteen väylillä asfalttipinnoite joudutaan uusimaan noin 25 vuoden välein. Se ei juuri kulu normaalissa käytössä, mutta routa tai jalkakäytävälle ajavat ajoneuvot voivat liian raskaina rikkoa sen. Ajoratojen pinnoite uusitaan useammin, I-luokan ajoradalle noin kuuden vuoden, II-luokan ajoradalle 12,5 vuoden ja III-luokan ajorata noin kahdenkymmenen vuoden välein. Kun kulutuskerros uusitaan, rouhitaan vanha neljän sentin paksuinen asfalttikerros jyrsimellä pois. Asfalttirouhe pyritään kierrättämään. Suurin osa siitä käytetään erilaisissa täytöissä ja pieni osa uudelleenasfaltoinneissa. Uuden asfaltin raaka-aineena se on kuitenkin heikompilaatuista ja sitä voidaan käyttää lähinnä pihateillä ja kevyen liikenteen väylillä. Jyrsimän jälkeen kadun pinta harjataan ja sille levitetään liimaseos, jossa on bitumia ja vettä. Vesi haihtuu pois emulsiosta ja neliömetrille jää bitumia noin 3 kg. Liiman päälle levitetään uusi 4 cm:n kerros asfalttia ja se tasataan jyrällä. (Kalliomaa, henkilökohtainen tiedonanto 5.5.2004 ja 13.8.2004)

Rakenteellisen kunnossapidon aiheuttaman luonnonvarojen käytön laskennassa on tutkimuksessa huomioitu kadun asfalttisen kulutuskerroksen uusiminen. Muu rakenteellinen kunnossapito, esimerkiksi asfalttipinnoitteen väliaikainen paikkaus sekä kalusteiden ja varusteiden uusiminen tai korjaus, on rajattu ulkopuolelle selvästi pieneksi arvioitun merkityksensä vuoksi. Myös liikenteen ohjaus- ja suojalaitteet on rajattu työn ulkopuolelle.

Tiedot eri katuluokkien asfalttipäällysten uusintatarpeesta saatiin HKR:lta ja tiedot asfalttoinnin työvaiheista, koneista ja materiaalmääristä asfaltointiurakoitsijalta (Lemminkäinen Oy). Kadun päällystemateriaali vaikuttaa ratkaisevasti rakenteellisen kunnossapidon töiden suorittamiseen.

Tässä työssä on tutkittu ainoastaan asfalttipäällysteisiä katuja. Seuraavaksi yleisimmät päällystemateriaalit ovat Helsingissä pinta-alojen suhteena laskettuna nupukivi (1,5%) ja sora (1,3%). Nupukivikatujen kunnossapidossa täytetään ja tiivistetään kadun alaisia rakenteita painumisen vuoksi. Pintamateriaalia ei uusita, vaan se ladotaan kunnostuksen jälkeen takaisin paikoilleen. Pintamateriaalina kivi on erittäin pitkäikäistä.

3.3.3 Talvikunnossapito

Talvikunnossapidon töitä ovat mm. auraus, hiekoitus, höyläys ja suolaus. Toimenpiteet suoritetaan tarpeen mukaan. Niihin vaikuttavat talven sääolosuhteet sekä itse katu ja sen hoitoluokka. Eri kunnossapitoluokkien ajoratojen ja kevyen liikenteen väylien muiden toimenpiteiden määrät vaihtelevat suuresti. Esimerkiksi I-luokan ajorata hiekoitetaan neljä kertaa jokaista aurauskertaa kohti, B-luokan kevyen liikenteen väylä vain 0,8 kertaa. Ajoradalla hiekoitussepeleitä levitetään vain risteysalueelle ja ennen suojateitä, mikä vastaa noin neljäsosaa ajoradan alasta. Kevyen liikenteen väylät hiekoitetaan kokonaan.

Hiekoitussepeleitä levitetään yhdellä hiekoituskerralla 100-350 g/m². Ajoradoilla hiekoitussepelein raekoko on pienempi, 1/6 (1-6 mm) ja kevyen liikenteen väylillä 3/6. Talven 2003-2004 aikana Helsingissä on säästösyistä kokeiltu menetelmää, jossa sekä ajoradoille että kevyen liikenteen väy-

lille on levitetty samaa, raekoon 1-4 mm hiekoitussepeleitä. Tämä on saanut aikaan ajallista säästöä, kun sepeleitä ei ole tarvinnut noutaa ja levittää erikseen. (Kettunen, HS 20.3.2004.) Hiekoitussepeleitä tilataan ulkopuoliselta toimittajalta ja sen kuljetusmatka on ensin tuotantopaikalta siiloon 50 km ja siilosta kadulle 10 km. Helsingissä käytetty sepeleitä on pestyä. Sepelin pesu vähentää katupölyä, jota pidetään vakavana ongelmana ja jonka vuoksi katuja on keväisin ajoittain kasteltava. Etenkin ajoratojen hiekoitus lisää pölyn määrää, koska se kiihdyttää ajoradan kulumista kaikilla rengastyypeillä. Tehokasta hiekoitusta tarvitaan yleensä talven aikana vain muutamina päivinä. Kadun pintamateriaali vaikuttaa liukkauden syntymiseen ja on todettu, että hiekoituksesta on merkittävää hyötyä ainoastaan erittäin liukkaalla kelillä. Muuna aikana hiekoitusta voitaisiin jopa vähentää, koska hiekoitus vaikuttaa varsin vähän liukkauteen normaalilla lumi- ja jääpinnalla.

Keväällä lumien sulettua hiekoitussepeleitä poistetaan katualueelta lakaisuautolla ja katu pestään. Hiekoitussepeleitä seulotaan ja siitä erotetaan likainen (noin 25 %) ja puhdas (75 %) osa. Puhdas sepeleitä käytetään mm. rakentamisessa erilaisiin täyttöihin. Likainen osa kuljetetaan kaatopaikalle.

Suolaa käytetään vain I- ja II-luokan ajoradoilla. Suolaa voidaan levittää hiekoitussepeleihin sekoitettuna, rakeina, liuksena tai kostutettuna. Vuorisuola laivataan Helsinkiin yhteistilauksena Tielaitoksen kanssa ja kuljetetaan Alppilassa sijaitsevaan siiloon. Suolaa kuluu talven sääolosuhteista riippuen noin 5 000 tonnia vuodessa. Suolan käyttöä on hieman lisätty sen tehokkuuden ja hiekoitussepeleiden aiheuttamien katupölyongelmien vuoksi. Liukkaudentorjunnassa on kokeiltu myös kalsiumkloridia ja kalsiumformiaattia joiden haitalliset ympäristövaikutukset ovat natriumkloridia pienemmät. Niiden käyttö on kuitenkin vähäistä korkeamman hinnan vuoksi. (Mustonen 1997; Tervonen ym. 2001)

Lunta aurataan aina silloin, kun sitä sataa yli 3 cm. Ilmatieteen laitoksen mukaan vuosina 1961 – 1990 vähintään yhden senttimetrin lumisateita oli keskimäärin 35 kappaletta talvessa. (Ilmatieteen laitos 2004). Kivimäen (1996) mukaan kaikilla katuluokilla on auraskertoja vuodessa keskimäärin 18. Aurattu lumi kuljetetaan I- ja II-luokan ajoradoilta ja A- ja B-luokan kevyen liikenteen väyliltä lumen vastaanottoapaikoille, joita on Helsingissä yhdeksän. Talven 2003-2004 aikana nämä ottivat vastaan 86 558 lumikuormaa ja lunta näissä oli yhteensä 1 092 515 m³. Kuljetusmatka lumen vastaanottoapaikalle on keskimäärin 10 km. III-luokan kadulla lumi läjitetään katualueelle eikä sitä kuljeteta pois.

Talvikunnossapidon töistä on laskettu mukaan auraus, hiekoitus ja suolaus. Talvenaikainen pölyn sidonta ja viimeistelytyöt on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle.

Kulutustiedot on saatu HKR:n tilastoista, asiantuntijahaastatteluista ja Helsingin kaupungin rakennusviraston raporteista (mm. Kivimäki 1996 ja Tervonen ym. 2001:30). Myös kunnossapidon ja puhtaanapidon työvaiheet ja -menetelmät selvitettiin raporttien ja haastattelujen avulla. Puutteellisten lähtötietojen vuoksi laskelmissa on osin käytetty yleistyksiä ja arvioita. Esimerkiksi talvikunnossapidossa suurimman materiaalipanoksen lähteen hiekoitussepeleiden kohdalla päästiin hyvin erilaisiin tuloksiin haastattelujen ja rakennusviraston raporttien pohjalta. Raporttien mukaan hiekoitussepeleitä kuluu talven sääolosuhteista riippuen noin 40 000 tonnia vuodessa, mutta haastattelujen mukaan laskettuna sepeleitä kuluisi vain 3 000 tonnia. Raporttien mukaan hiekoitussepeleitä levitetään kerralla 100- 350g/ m². Laskennoissa on käytetty suurinta määrää, jolloin on päästy samaan kokonaisuuteen kuin tilastoissa on ilmoitettu. Kaupungin eri alueilla saattaa kuitenkin olla erilaisia toimintamalleja, joten materiaalien kulutus voi vaihdella. Talvikunnossapidon töistä oli työmenekkitiedostossa tarkka tieto koneiden ajankäytöstä ja niiden osalta on laskettu sekä tehoton että tehokas työaika.

3.3.4 Katulämmitys

Katulämmitystä käytetään talviaikaan Helsingissä muun muassa Pohjois-Esplanadilla ja Aleksanterinkadulla kevyen liikenteen väylillä. Katulämmitetyllä alueella tarvitaan vähemmän kalustoa aeraukseen, lumen pois kuljettamiseen, hiekoitukseen ja hiekan poistoon. Myös kadun varrella olevien kiinteistöjen puhtaanapito helpottuu. Katulämmityksessä kaukolämmön paluuv veden lämpöä siirretään liikekiinteistön lämpökeskuksessa lämmönsiirtimellä pakkasnesteliuokseen (glykoli), joka kiertää muoviputkissa katukiveyksen alla. Paluuv veden matalampi lämpötila kasvattaa vastapaine-prosessin tuottaman sähkön määrää eli voimalaitoksen hyötysuhdetta. Kovalla pakkasella kaukolämpöä täytyy lämmittää lisää huippulämpökeskuksissa, mutta suurimman osan aikaa Vuosaaren, Salmisaaren ja Hanasaaren yhteistuotantokapasiteetti riittää Helsingissä.

Esplanadin sulana pitämisen vaatima energiankulutus on vuodessa noin 300 kWh/m². Energiankäytön vaatimat luonnonvarapanokset lasketaan tuotantotavan mukaan, mutta tässä tapauksessa todellisen kulutuksen arvioiminen on vaikeaa. Tavallisesti kulutetun sähkön ja lämmön tuottaminen vaatii luonnonvaroja Helsingin Energialla noin 0,63 kg/ kWh. Katulämmityksessä tulee kuitenkin huomioida kaukolämmön paluuv veden käyttö, minkä vuoksi katulämmityksen energiantuotannossa tarvitaan polttoainetta kokonaisuudessaan vain noin 20 % tavallisesta energiantuotannosta. Tällöin katulämmityksessä kuluu todellisuudessa energiaa noin 60 kWh/m². (Markkanen, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2004; Tolonen, henkilökohtainen tiedonanto 12.5.2004 ja 22.10.2004)

3.3.5 Valaistus

Katuvalaistuksen perustavoitteena on turvallisuuden ja turvallisuudentunteen lisääminen sekä liikumisen helpottaminen. Katuvalaistuksen suunnittelu tapahtuu erillään muusta kadun suunnittelusta ja yhteistyö eri virastojen ja laitojen välillä on tärkeää. Ajouradoilla ja kevyen liikenteen väylillä on erilaiset valaistusvaatimukset, myös kadun koko, käyttö ja sijainti vaikuttavat valaistuksen valintaan. (Katu 2002:140.) Katuvalaistus voidaan toteuttaa monin eri tavoin ja Helsingissä käytetään useita erilaisia ulkovalaisin- ja lamppumalleja. Valaisintyytit valitaan siten, että valaistustekniset vaatimukset täytetään taloudellisella tavalla. Arvioitaviin ominaisuuksiin kuuluvat mm. tavoiteltava kadun pinnan valoisuus, yleistasaisuus, pitkittäistasaisuus ja estohäikäisy (näkemistä heikentävä vaikutus). Suurimmassa osassa valaisimia käytetään vanhoja elohopealamppuja, joiden teho on tavallisimmin 200 W. Uusilla rakennuskohteilla käytetään yleisesti vähemmän energiaa kuluttavia natriumlamppuja joiden teho on tavallisimmin 100 W. Vanhemman malliset elohopealamput kuluttavat sähköä kaksi kertaa enemmän ja niitä on Helsingin ulkovaloista suurin osa, noin 2/3. Natriumlamput vaihdetaan neljän ja elohopealamput kolmen vuoden välein. Elohopealamppuja käytetään osittain siitä syystä, että monet kokevat niiden valkoisemman valon miellyttävämmäksi kuin natriumlampujen kellertävän valon. (Katu 2002:140; Markkanen, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2004; Sandstöm, henkilökohtainen tiedonanto 10.3.2004.)

Valaisinpylväät valmistetaan tavallisimmin teräksestä ja niiden vaihtoväli on noin 30 vuotta. Vanhat alumiinipylväät eivät ole osoittautuneet kestäviksi ja puupylväiden kyllästys on koettu ongelmalliseksi. Metallinen valaisin kestää hieman yli kolmekymmentä vuotta. Se sisältää alumiinia, terästä, posliinia ja hiukan kuparia. (Markkanen, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2004; Sandstöm, henkilökohtainen tiedonanto 10.3.2004; Pokkinen, henkilökohtainen tiedonanto 11.3.2004.) Lampun materiaalista suurin osa on lasia ja alumiinia, elohopeaa tai natriumia on vain joitakin kymmeniä milligrammoja (Höylä-Koskinen, henkilökohtainen tiedonanto 17.5.2004)

Helsingin ulkovalaistuksessa on valopisteitä noin 76 000 kpl. Niiden kokonaisteho 14,6 MW ja vuodessa kuluva energiamäärä 62,9 GWh. Valaistuksen polttoaika on vuodessa 4093 tuntia. Valaisimien määrää eri katuluokilla ei tiedetä. Tästä syystä niiden määrä kunkin katuluokan katumet-

rillä laskettiin eri katuluokkien pinta-alojen suhteena ja kerrottiin katuluokkien ajoratojen leveydellä. Valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on siis allokoitu ajoradoille. Kevyen liikenteen väylä kulkee lähes poikkeuksetta ajoradan vieressä, ja sitä ei yleensä valaista erikseen. Kokonaistehosta laskettu yhden lampun keskimääräinen teho on 192 W. Valaistuskaluston materiaalit ja määrät sekä kunnostuksen tarve on laskettu valmistajien ja Helsingin Energian asiantuntijoiden arvioiden mukaan. (Sandstöm, henkilökohtainen tiedonanto 5.4. 2004)

Valaistuksesta on laskettu sen kuluttama energia sekä valaisimien, lamppujen ja valaisinpylväiden uusiminen. Uusimisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö pitää sisällään ainoastaan materiaalit, esimerkiksi niiden kuljetukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Myös kadunalaiset materiaalit on rajattu pois.

3.3.6 Puhtaanapito

Puhtaanapitoon kuuluu kevyen liikenteen väylien pesu ja ajoratojen lakaisu sekä roska-astioiden tyhjennys. I-luokan katu pestään usein, viikoittain tai jopa päivittäin. III-luokan asuinkatu pestään sulan maan aikana noin kerran kuussa. Ajorata lakaistaan noin kaksi kertaa kuukaudessa. Roska-astiat tyhjenetään tarpeen mukaan, asuinkadulla noin kerran viikossa. Näiden lisäksi Helsingissä kiertää kaduilla ns. kevyt ryhmä, johon kuuluu avolavapakettiauto ja kaksi työntekijää tarkkailemassa katujen kuntoa ja siisteyttä. III-luokan asuinkadun läpi tällainen ryhmä ajaa keskimäärin joka toinen päivä, suuremmilla väylillä tarkastusajo suoritetaan päivittäin. (Kukkonen, henkilökohtainen tiedonanto 9.3.2004)

Puhtaanapidon töistä on huomioitu ajoratojen hiekan poisto, ajoratojen lakaisu, kevyen liikenteen väylien pesu, roska-astioiden tyhjennykset ja tarkastusajot.

3.3.7 Katuvihreän kunnossapito

Katuvihreällä tarkoitetaan katualueella sijaitsevia nurmia ja pensaita. Katuvihreän hoitoon kuuluu mm. nurmen ja pensaiden leikkaaminen. Nurmi leikataan noin kerran viikossa toukokuun puolesta välistä lokakuuhun asti, eli keskimäärin 21 kertaa vuodessa. Leikkaamisessa käytetään noin 850 kg painavaa taseruohonleikkuria. Nurmia ei tavallisesti kastella eikä lannoiteta. Uusintakylvöjä tehdään tarvittaessa. Matalia maanpeitepensaita käytetään monesti siitä syystä, että ne vaativat hyvin vähän hoitoa. Katualueella sijaitsee myös katupuita, mutta niitä ei lasketa katuvihreään kuuluviksi. (Pynnönen, henkilökohtainen tiedonanto 5.4.2004)

Katuvihreän hoitoon on laskettu kuuluvaksi nurmen leikkaus, mutta pensaiden hoito on rajattu pois. Myöskään lannoitusta, kastelua istutusten yhteydessä ja uusintakylvöjä tai istutuksia ei ole huomioitu. Katuvihreän ala eri katuluokilla selvitetiin Helsingin katurekisterin katutilaraportin avulla. I-luokan kaduilla katuvihreää on katumetrillä noin 9,7 neliometriä, II-luokan kadulla 4,1 ja III-luokan kadulla 2,3 neliometriä. Katuvihreän hoidosta on laskettu mukaan vain nurmen leikkaaminen, koska muita hoitotoimenpiteitä tehdään suhteessa nurmen leikkaamiseen hyvin vähän, joten niiden merkitys on oletettu pieneksi. Lisäksi niiden määrän tarkka arvioiminen olisi ollut vaikeaa. (Pynnönen, henkilökohtainen tiedonanto 5.4.2004; Helsingin katurekisteri)

Katuvihreän hoito on laskelmissa allokoitu kokonaisuudessaan ajoradalle, koska sen merkitys kokonaisuuden kannalta osoittautui pieneksi eikä sen toimenpiteitä kohdisteta erikseen kevyen liikenteen väylään (toisin kuin puhtaanapidossa).

3.3.8 Työkoneet ja ajoneuvot

Monissa kunnossa- ja puhtaanapidon töissä voidaan käyttää useampaa erilaista työkonetta tai ajoneuvoa. Työkoneen valintaan vaikuttaa mm. kadun koko ja sijainti sekä se, suoritetaanko samanlaisesti useampia töitä. Vuonna 1998 Rakennusvirastolla oli ajettavia työkoneita yhteensä 317 kappaletta ja niiden polttonesteiden kulutus oli vuoden aikana 1356 tonnia. Autoja oli 437 kpl ja niiden kulutus oli 794 tonnia, siirrettävien työkoneiden (414 kpl) polttonesteen kulutus oli 126 tonnia. (Mäkelä & Tuominen 1998:16.) Työkoneiden käyttöikä on rakennusvirastolla noin 10 000 tuntia (Tahvanainen, henkilökohtainen tiedonanto 23.2.2004).

Koneiden valmistuksen osuus kunnossapidon aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä on laskettu arvioimalla eri koneiden käyttämä aika tarkasteltavan katumetrin hoidossa vuoden aikana ja laske-malla osuus koneen koko käyttöiästä. Koneen paino on kerrottu tällä tuloksella. Koneiden käyttöikä on keskimäärin 12 vuotta ja tänä aikana käyttötunnit noin 10 000 tuntia (Tahvanainen, henkilökohtainen tiedonanto 17.3.2004). Koneen painosta suurin osa on terästä, minkä vuoksi työkoneiden valmistusmateriaaliksi on yksinkertaisesti oletettu pelkkä teräs. Vaikka menetelmä on epätarkka, saadaan sillä laskettua oikea suuruusluokka työkoneiden valmistuksen aiheuttamalle luonnonvarojen käytölle ja pystytään siten ottamaan huomioon koneiden käytöstä muutakin kuin pelkkä polttoaineen kulutus. MIPS-laskennassa teräkselle on käytetty abioottista MI-kerrointa 9,32 t/t. Polttoaineen kulutustiedot on saatu HKR:n Katko-98 –ohjelmasta, josta löytyy tietoja kaikista käytössä olevista moottoroiduista koneista ja ajoneuvoista. Työkoneiden ja ajoneuvojen huolto ja korjaukset on rajattu työn ulkopuolelle.

Monessa työvaiheessa voidaan käyttää useampaa eri työkonetta. Eri koneiden osuudet töissä on laskettu joko haastattelujen perusteella tai työmenekkitiedoston avulla. Työkoneiden käytössä ei ole huomioitu koneiden huoltoa ja korjausta. Ajoneuvojen ja työkoneiden painot vaihtelevat 850 kilon ja 18 tonnin välillä.

3.3.9 Kadun ylläpidon vaatima rakennuskanta

Katujen ylläpidon hoitaminen vaatii kunnossapitäjältä resursseja myös rakennuskannan muodossa. Helsingissä on laskettu MIPS-luvut kahdelle yliopiston rakennukselle, Infokeskukselle ja Physicummille. Niiden vaatima luonnonvarojen käyttö oli keskimäärin 260 kg vuodessa neliometriä kohti. Suurimmat materiaalianosten lähteet olivat kyseisten rakennusten kohdalla sähkönkulutus, talotekniikka ja louhinta- ja kaivutyöt. Laskennassa käytettiin rakennusten käyttöikänsä sataa vuotta. (Sinivuori 2004). Sadan vuoden käyttöikä saattaa olla ylimitoitettu oletus, mutta yliopiston rakennukset on tässä käytetty muutenkin yksityiskohtaisemman tiedon puutteen vuoksi ja ne antavat riittävän käsityksen suuruusluokasta.

Helsingissä pohjoisen aluetoimiston puhtaana-, kunnossa- ja talvikunnossapidon rakennuksissa on neliömetrejä yhteensä noin 2480 erilaisissa sosiaali- ja toimistotiloissa (Määttänen, henkilökohtainen tiedonanto 10.6. 2004). Vastaavalla alueella katutilan pituus on hieman yli 127 km (Katurekisteri).

Tässä tutkimuksessa on laskettu ylläpidon vaatiman rakennuskannan aiheuttama luonnonvarojen käyttö keskimäärin katumetriä kohti. Kunnossapidon rakennuskannasta on laskelmissa huomioitu puhtaanapidon, kunnossapidon ja talvikunnossapidon vaatimat toimistorakennukset. Halli- ja varastorakennuksia ja lumen vastaanottoaikoja ei ole laskettu mukaan, ei myöskään ulkopuolisten urakoitsijoiden rakennuksia. Rakennusten aiheuttama luonnonvarojen käyttö on laskettu käyttämällä kahden yliopistorakennuksen valmiita MIPS-lukuja.

4 Katujen aiheuttama luonnonvarojen käyttö: MateriaEuro -hankkeen tulokset

4.1 Katujen rakentaminen

4.1.1 Case: Mustialankadun rakentaminen

Luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan

Mustialankadun rakentamisen vaatimat luonnonvarapanokset on esitetty seuraavassa taulukossa. Tulokset on ilmoitettu abioottisille materiaaleille, vedelle ja ilmalle erikseen. Tulos on ilmoitettu kilogrammoina keskimääräiselle katumetrille. Katumetri sisältää koko katualueen, jonka leveys vaihtelee 12,5-17 metrin välillä ja on keskimäärin 15,4 m. Taulukossa 7 on esitetty Mustialankadun rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö katumetriä kohti sekä myös yhtä käyttövuotta kohti 50 vuoden ja 100 vuoden tarkastelujaksoilla. Stabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö on tässä laskettu vaihtoehdon 1 mukaisesti eli luonnonvarojen käytöksi on laskettu ainoastaan sideaineen valmistus ja kuljetus sekä stabilointikaluston valmistus ja sen kuluttama polttoaine. Jos stabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö laskettaisiin vaihtoehdon 2 mukaisesti eli huomioitaisiin myös maaperä, johon sideaine sekoitetaan, kasvaisi Mustialankadun rakentamisen aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö 26 % lukuun 82300 kg/m.

Materiaali	Määrä (kg/m)	Tarkastelujakso 50 a (kg/m/a)	Tarkastelujakso 100 a (kg/m/a)
Abioottiset	65 500	1 300	650
Vesi	32 800	660	330
Ilma	1 000	20	10

Taulukko 7 Mustialankadun rakentamisen vaatimat luonnonvarapanokset.

Abioottiset materiaalit

Abioottisia materiaaleja eli uusiutumattomia luonnonvaroja kului siis Mustialankadun rakentamiseen 65,5 tonnia/katumetri. Lähes koko abioottinen MI muodostuu rakennusmateriaaleista ja siirrettävästä maa-aineksesta, joiden osuus on 98,7 %. Yli 70 % luonnonvarojen käytöstä aiheutuu siirrettävästä maa-aineksesta ja runsas neljännes aiheutuu varsinaisista kadun rakennusmateriaaleista ja niiden mahdollisista piilovirroista.

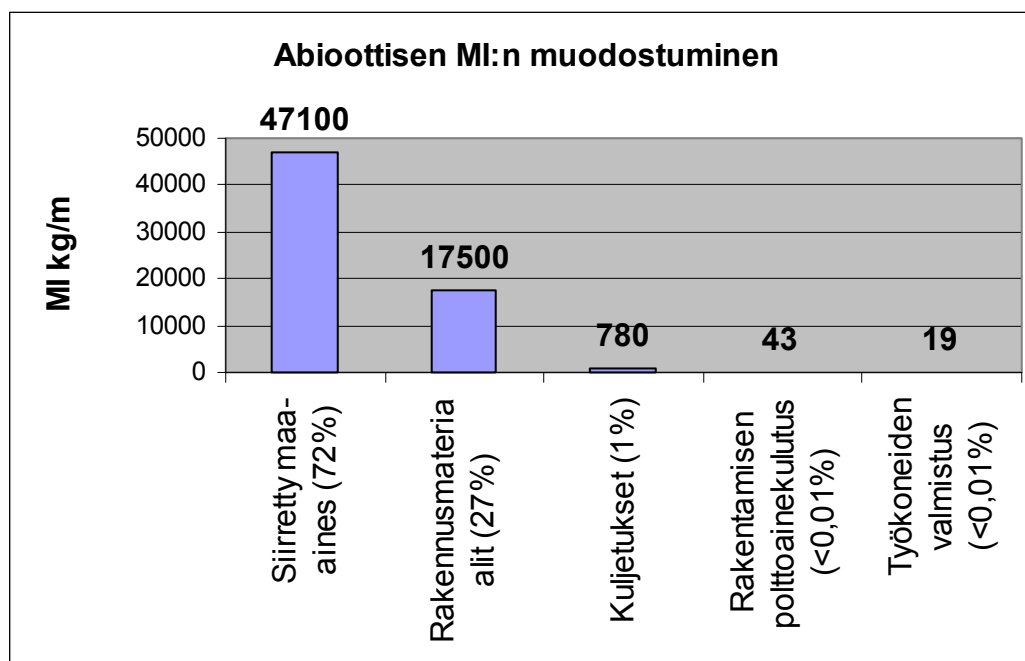
Maamassojen ja rakennusmateriaalien kuljetuksen osuus abioottisesta MI:stä on 1,2 %. Kuljetusmatkat ovat arvioita eikä työkoneiden kuljetusta työmaalle ole laskettu, mutta kuljetusten osuuden suuruusluokka on kuitenkin oikea ja näin ollen niiden merkitys on kokonaisuuden kannalta vähäinen.

Työkoneiden polttoainenkulutus on määrällisesti huomattavasti vähäisempää kuin kuljetuksiin kuluva polttoaine. Kulutusta on hyvin vaikea arvioida, koska tarkkaa seuranta ei ole olemassa. Eri työvaiheissa kuluvat polttoainemäärät on kuitenkin arvioitu keskimääräisten polttoainekulutusten ja

työmenekkitietojen avulla (ks. yksityiskohtaisesti Hänninen 2005) ja tulokseksi saatiin, että rakentamiseen kuluvan polttoaineen osuus abioottisesta MI:stä on luokkaa 0,06 %.

Kohteessa käytettyjen työkoneiden valmistuksen osuuden laskeminen olisi hyvin työlästä, joten tämän tutkimuksen puitteissa tyydytään yhteen karkeaan esimerkkiin. Hyvin pitkäkestoinen rakennusvaihe tällä kadulla oli pohjanvahvistukseksi tehty kalkkipilaristabilointi. Stabilointikoneen työtuntimäärä kohteessa oli 600 ja koneen kokonaiskäyttöikä on noin 16 000 tuntia. Kun koneen valmistusmateriaaliksi yksinkertaistetaan teräs, saadaan abioottiseksi MI:ksi 19 kg/katometri eli 0,03 % kokonaispanoksesta. Tulos on karkea arvio, mutta riittää perusteeksi sille, ettei muiden työkoneiden valmistukseen kuluneita materiaalipanoksia huomioida laskelmissa. Vaikka työkoneita tarvitaan kadun rakentamisessa useita, on niiden käyttöajan osuus kokonaiskäyttöajasta suhteellisen pieni ja merkitys kokonaisuuden kannalta lähes olematon.

Seuraavaan kuvaan on vielä koottu uusiutumattomien luonnonvarojen käytön jakaantuminen edellä esitettyihin osatekijöihin.



Kuva 1 Uusiutumattomien luonnonvarojen käytön muodostuminen Mustialankadun rakentamisessa.

Seuraavaksi jaotellaan abioottisen MI:n muodostuminen eri työvaiheista. Koska abioottinen MI muodostuu lähes kokonaisuudessaan kadun paikalta poistetuista maamassoista ja kadun rakennusmateriaaleista, jätetään tässä vaiheessa kuljetukset, polttoaineenkulutus ja työkoneet huomiotta.

Suurin osa Mustialankadun abioottisesta MI:stä muodostui maaleikkauksesta. Leikattua maata kertyi 40,7 tonnia katumetriltä, joka on 62 % abioottisesta MI:stä. Leikattu maa oli rakentamiseen kelpaamatonta savimaata, joten se kuljetettiin maankaatopaikalle. Maaleikkaus oli poikkeuksellisen suuri, koska kadun paikalta jouduttiin poistamaan suurehko mäki ja kadun korkeusasema sovitettiin olemassa olevien ja suunnitteilla olevien rakennusten korkeusasemaan. Maaleikkauksen lisäksi

poistettiin alueelta pintamaata 6,4 tonnia joka on 10 % MI:stä. Pintamaa hyödynnetään yleensä luiskien rakentamisessa.

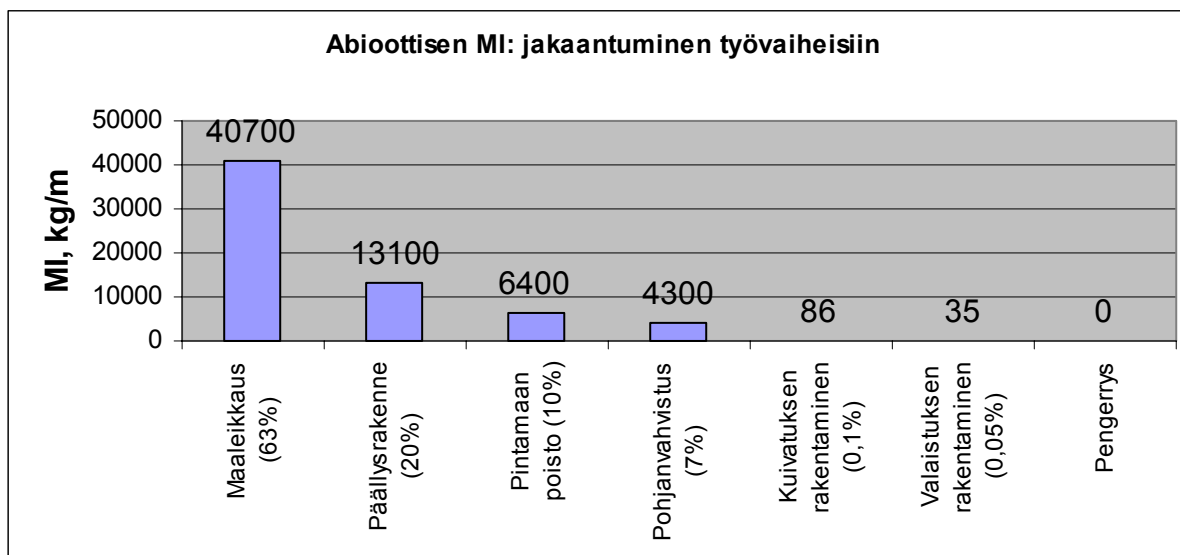
Suuri maaleikkaus kasvattaa Mustialankadun MI-lukua, mutta kierrätysmateriaalien käyttö vastavasti pienentää MI-lukua. Kaikki Mustialankadun pengermateriaalit olivat ylijäämämaita muilta työmailta, jolloin pengermateriaalin MI-luvuksi tulee nolla ja laskelmissa huomioidaan ainoastaan käsittely ja kuljetukset, joiden merkitys kokonaisuuden kannalta on olematon.

Mustialankadun pohjaa vahvistettiin paaluvälillä 290-560 kalkkipilaristabiloinnilla, jossa käytettiin sideaineena kalkkia ja sementtiä. Pohjanvahvistukseksi kadulle on levitetty myös kuitukangasta. Pohjanvahvistuksen aiheuttaman luonnonvarojen käytön osuus MI-luvusta on 7 %. Tässä on siis laskettu kalkkipilaristabiloinnin aiheuttamaksi luonnonvarojen käytöksi ainoastaan sideaineen valmistus. Sideaineeseen sekoitettu maaperä lasketaan luonnonvarojen käytöksi tulosten varioinnissa luvussa 4.1.2.

Kadun päällysrakenteeseen kuuluu tukikerros, kantava kerros, sidekerros ja kulutuskerros. Päällysrakenteen paksuuden määrittää kadun liikennemäärä ja pohjamaan kantavuus. Mustialankadun tukikerroksen paksuus on 0,5 m, kantavan kerroksen 0,15 m ja päällysteen 0,16 m. Päällyste muodostuu sidekerroksesta (2 X ABK 32/150 0.06) ja kulutuskerroksesta (AB 16/100 0.04). Päällysrakenteen kokonaispaksuus on siis 0,81 m ja katuluokituksen mukaan päällysrakenne kuuluu luokkaan 3E. Päällysrakenteen osuus MI:stä on 20 %. Merkittävä osa tukikerroksesta on rakennettu pienlouheesta, joka oli ylijäämälouhetta. Tämä pienentää kadun MI-lukua.

Valaistuksen rakentaminen vaatii hyvin vähän materiaalipanoksia. Maanalaisten ja maanpäällisten rakenteiden rakentaminen muodostaa vain 0,05 % MI-luvusta. Myös kadun kuivatuksen vaatimat putket ja kaivot aiheuttavat hyvin pientä luonnonvarojen käyttöä ja osuus MI-luvusta on näin ollen 0,1 %. Järjestelmien asennuksesta aiheutuvaa maankaivua ei tässä tutkimuksessa huomioitu työekonomisista syistä.

Seuraavaan kuvaan on vielä koottu abiottisen MI-luvun muodostuminen eri työvaiheista. Kuvassa on esitetty MI katometriä kohti, joka siis sisältää myös mahdolliset piilovirratt sekä työvaiheen osuus kadun koko MI-luvusta. Työvaiheiden lukuarvoihin sisältyy vain rakennusmateriaali tai siirretty maa-aines, ei siis kuljetuksia tai työkoneiden polttoainekulutuksia.



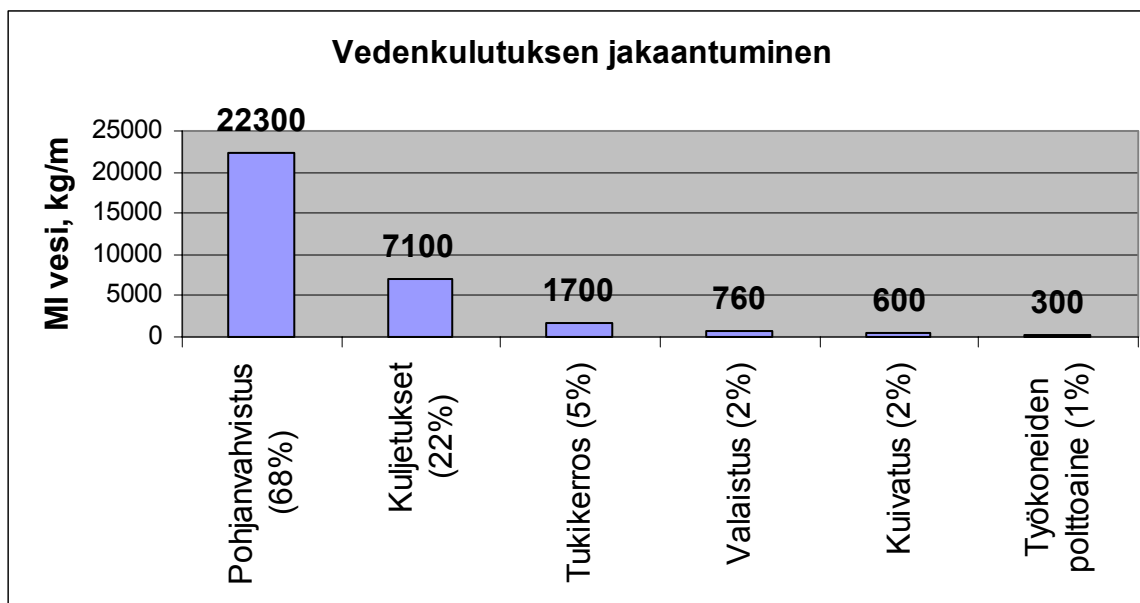
Kuva 2 Abioottisen MI:n jakaantuminen eri työvaiheisiin Mustialankadun tapauksessa.

Vedenkulutus

Mustialankadun rakentamiseen kului vettä 32,8 tonnia katometriä kohti. Laskelmissa ei ole huomioitu veden hydrologisen kierron muutoksia kadun rakentamisen johdosta eli esimerkiksi katualueelle rakennusvaiheessa satavaa vettä tai pohjaveden muutoksia, vaan ainoastaan rakennusmateriaalien valmistamiseen, kuljetuksiin ja työkoneiden polttoaineeseen kuluva vesi on huomioitu. Myöskään rakenteiden tiivistämiseen mahdollisesti tarvittavaa vettä ei ole huomioitu.

Rakentamiseen kuluva vesimäärä voidaan verrata vuotuisen sademäärään. (Sadevesi lasketaan MIPS-menetelmässä veden käyttöksi silloin, kun se ei pääse valumaan maahan luonnollisella tavalla. Tämä on tässä tutkimuksessa huomioitu vasta Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon yhteenvetovaiheessa luvussa 4.3.1.) Vuosina 1971-2000 Helsingin Kaisaniemen vuotuinen sademäärä oli keskimäärin 642 mm eli 642 l/m² (Ilmatieteen laitos). Jos kadun rakentamisen luonnonvarapanokset jaetaan 50 käyttövuodelle, on vedenkulutus katometriä kohti 660 l/a. Mustialankadun keskimääräisellä leveydellä rakentamisen vedenkulutus on noin 43 l/m² eli vajaa 7 % sademäärästä. Tarkasteltaessa kadun koko elinkaaren aikaista vedenkulutusta tulisi huomioida myös kadun ylläpidon vedenkulutus. Luvussa 4.3.1 on yhdistetty Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon vedenkulutus.

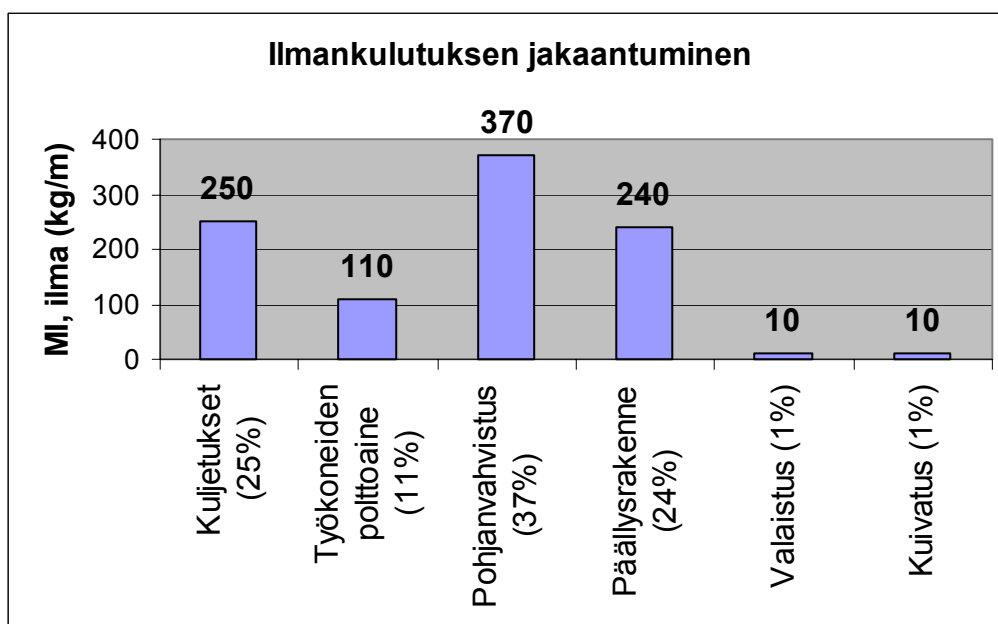
Seuraavaan kuvaan on koottu rakentamisen aiheuttaman veden käytön osatekijät. Merkittävin vedenkuluttaja on stabiloinnissa tarvittavan kalkin ja sementin valmistus. Kuljetusten aiheuttama veden kulutus on selvästi suurempi kuin työkoneiden polttoainekulutuksen aiheuttama. Tukikerroksen materiaalien jalostus eli graniitti- ja betonikivien valmistuksen osuus lienee todellisuudessa pienempi, koska laskelmissa on käytetty kiillotetun graniittilaatan MI-kertoimia. Valaistus ja kuivatus aiheuttavat molemmat noin 2 % vedenkulutuksesta.



Kuva 3 Vedenkulutuksen aiheuttavat tekijät Mustialankadun rakentamisessa.

Ilmankulutus

Määrällisesti merkittävimpien materiaalien vähäisen jalostustarpeen vuoksi ilmaa kului rakentamisessa vain 1000 kg katumetriä kohti. Ilmankulutukseksi lasketaan lähinnä polttoprosesseissa kuluva ilma. Kulutettu happi on yleensä suorassa suhteessa hiilidioksidipäästöihin. Ilman kulutuksessa korostuukin polttoainetta kuluttavat prosessit ja energiantensiiviset materiaalit. Seuraavaan kuvaan on koottu ilmankulutuksen aiheuttavat tekijät. Kuljetuksiin sisältyvät kaikkien materiaalien kuljetukset ja työkoneiden polttoaineeseen kaikkien työvaiheiden polttoainekulutus, joten esimerkiksi pohjanvahvistuksen kohdalla mainittu ilmankulutus aiheutuu ainoastaan materiaalien valmistuksesta.



Kuva 4 Ilmankulutuksen tekijät Mustialankadun rakentamisessa

4.1.2 Tulosten variointi: Eriolaisten muutosten vaikutus Mustialankadun MI-lukuun

Edellä saatujen tulosten avulla voidaan laskea muutamia vaihtoehtoisia MI-lukuja Mustialankadun rakentamiselle. Jos eliminoidaan esimerkiksi poikkeuksellisen suuri maaleikkaus tuloksista, muuttuu abioottinen MI-luku huomattavan paljon. Myös veden ja ilman kulutus laskee muun muassa kuljetustarpeen vähentyessä. Mutta koska niiden muutokset ovat abioottiseen materiaalipanokseen verrattuna pieniä, tarkastellaan tässä ainoastaan eri vaihtoehtojen vaikutusta abioottiseen MI-lukuun.

Jos pilaristabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö lasketaan vaihtoehdon 2 mukaisesti eli sideaineen lisäksi huomioidaan myös maaperä, johon sideaine sekoitetaan, kasvaa abioottisten luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa 26 % määrään 82,3 tonnia/katometri.

Materiaalipanoksen määrää pienentää ylijäämälouheen käyttö tukikerroksessa ja pengerryksessä. Jos ylijäämälouhetta ei olisi käytetty kadun rakentamisessa, tulisi tukikerroksen ja pengerryksen rakennusmateriaali huomioida laskelmissa. Näin kadun MI-luku kohoaisi puolitoistakertaiseksi lukemaan 98,3 tonnia/katometri. Lisäyksestä 20,9 tonnia kertyy pengerryksestä ja 11,9 tonnia tukikerroksesta.

Mustialankadun korkeusasema oli määritelty hyvin pitkälle jo ennen rakentamista johtuen ympäröivien tonttien asemasta. Tämän seurauksena Mustialankadun alkuosassa jouduttiin tekemään suuria leikkauksia ja loppuosassa pengertäyttöjä. Heikkolaatuisesta maaperästä johtuen leikkausmassoja ei voitu hyödyntää pengertäytöissä. Tämä aiheuttaa Mustialankadulla hyvin epäedullisen massataseen. Jos tuloksista poistetaan suuret leikkausmassat ja pengertäytöt, saadaan Mustialankadun rakentamisen abioottiseksi MI:ksi 24,3 tonnia/katometri. Tällöin päällysrakenteen osuus kokonais-MI:stä kohoaa 54 prosenttiin. Muut merkittävät MI-luvun tekijät ovat pintamaan poisto (26 %) ja stabilointi (18 %).

Jos tuloksista eliminoidaan poikkeuksellisen suuri leikkaus, pengerrys ja ylijäämämassojen käyttö, saadaan kadun abioottiseksi MI:ksi 36,2 tonnia/katometri. Lisäyksen edelliseen vaihtoehtoon aiheuttaa tukikerroksen materiaali, josta muodostuu 11,9 tonnia. Päällysrakenteen osuus MI-luvusta on tällöin jo 69 %.

Seuraavaan taulukkoon on koottu Mustialankadun rakentamisen vaihtoehtoiset abioottiset MI-luvut ja niiden tärkeimpien tekijöiden osuudet.

Vaihtoehto	MI		Osuudet abioottisesta MI-luvusta				
	t/m	muutos todellisesta	maa-leikkaus	pintamaan poisto	pohjan vahvistus	pengerrys	päällysrakenne
Todellinen	65,5		62 %	10 %	7 %	0	20 %
Pilaristabiloinnissa vaihtoehto 2	82,3	+ 26 %	49 %	8 %	26 %	0	16 %
Ei käytetty ylijäämämassoja	98,3	+ 50 %	41 %	6 %	4 %	21 %	25 %
Ei leikkauksia eikä pengertäyttöjä	24,3	- 63 %	0	26 %	18 %	0	54 %
Ei leikkauksia, pengertäyttöjä eikä ylijäämämassoja	36,1	- 45 %	0	18 %	12 %	0	69 %

Taulukko 8 Vaihtoehtoisia MI-lukuja Mustialankadun rakentamiselle.

4.1.3 Kadun rakentaminen katutyypeittäin

Kadun rakentaminen on aina yksilöllinen projekti, jonka toteuttamistapojen valintoihin vaikuttavat monet tekijät. Muun muassa tuleva liikennemäärä, maaperän ominaisuudet, kadun sijainti ja kustannustekijät vaikuttavat kadun fyysisiin ominaisuuksiin kuten katualueen leveyteen, rakennekerrosten paksuuteen ja pohjanvahvistuksen tarpeeseen. Nämä samat tekijät vaikuttavat myös kadun rakentamisen aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön. Tässä kappaleessa esitetään MI-luku erilaisille kaduille. MI-luku esitetään ajorataneliometrille ja teoreettiselle katuneliometrille erikseen. Teoreettinen katuneliometri muodostetaan Helsingin kaupungin rakennusviraston katurekisterin tietojen mukaan siten, että se sisältää keskimääräisen osuuden ajorataa, kevyen liikenteen väylää ja viherkaistaa. Erilaisten katujen MI-lukuja laskettaessa huomioidaan luonnonvarojen käyttö aina vähintään päällysrakenteen rakentamisessa ja pintamaan poistossa. Alusrakenteen osalta huomioidaan vaihtoehtoisia toimenpiteitä ja näiden yhdistelmiä eli tutkitaan leikkauksen, pengerryksen ja pohjanvahvistuksen vaikutusta luonnonvarojen käyttöön.

Päällysrakenteen MI-luku

Normaalipäällysrakenteiden avulla voidaan laskea päällysrakenteen MI-luku erilaisille kaduille. Katuluokkien 1-5 päällysrakenteet ovat moottoriajoneuvoliikenteen väylien päällysrakennevaihtoehtoja ja katuluokan 6 kevyen liikenteen väylien. Seuraavassa taulukossa on esitetty MI-luvut yksikössä kg/m^2 .

MI kg/m^2	Pohjamaan kantavuusluokka						
Katuluokka	A	B	C	D	E	F	G
1	772	772	1049	1750	2150	2550	3050
2	713	713	861	1461	1961	2361	2761
3	566	566	772	1373	1773	2273	2673
4	448	448	566	1166	1666	2166	2566
5	448	448	566	1166	1366	1866	2166
6	380	380	506	1007	1607	2007	2407

Taulukko 9 Normaalipäällysrakenteiden abioottinen MI-luku kg/m^2 .

Taulukosta voidaan nähdä looginen tulos, että suurin päällysrakenteen MI-luku on katuluokan 1 G pohjamaalle rakennettavalla kadulla eli raskasliikenteisellä kadulla, joka rakennetaan esimerkiksi pehmeälle savelle. Luonnonvarojen käytön kannalta on merkittävämpää, millainen pohjamaa rakennuspaikalla on, kuin se, mikä on kadun liikennemäärän vaatima kantavuus. Toisaalta vilkasliikenteiset kadut ovat leveämpiä, jolloin luonnonvarojen käyttö katumetriä kohti kasvaa.

Päällysrakenteeseen voidaan lukea myös kadun reunakivet. Reunakivet ohjaavat sadevedet kaivoihin ja jäsentävät ja rajaavat katunäkymää. Graniittinen reunakivi V22 painaa 155 kg/m , jolloin yhtä katumetriä kohti tulee 310 kg . MI-luvuksi tulee 595 kg/m Wuppertal-instituutin graniittikiven MI-kertoimella. MI-kerroin on laskettu kiillotetulle graniittilaatalle, jolloin voidaan olettaa luonnonvarojen käytön olevan suurempaa kuin graniittisia katukiviä valmistettaessa. Siitä huolimatta tässä tutkimuksessa käytetään paremman puutteessa kiillotetun graniittilaatan MI-kerrointa.

Alusrakenteen MI-luku: Pintamaan poisto ja leikkaus

Pintamaan poisto lisää normaalitilanteessa MI-lukua noin 400 kg/m^2 .

Leikkauksesta aiheutuva MI-luku voidaan laskea maa-aineen tiheyden perusteella. Maa-ainesten tiheydet vaihtelevat keskimäärin välillä $1500\text{-}2000 \text{ kg/m}^3$. Kallioleikkauksissa tiheydeksi valitaan $2500\text{-}3000 \text{ kg/m}^3$. Kuljetusten kohotessa suuriksi, voidaan niiden vaikutus luonnonvarojen käyttöön arvioida karkeasti tonnakilometrien avulla. Maamassojen kaivun polttoainekulutuksen merkityksen osoitettiin olevan mitätön Mustialankadun tapauksen avulla, joten se voidaan jättää huomiotta.

Alusrakenteen MI-luku: pengerrys

Kuten leikkauksessakin, saadaan pengermateriaalin MI-luku maa-aineksen tiheyden perusteella. Jos materiaalina käytetään jollain tavalla käsiteltyä maa-ainesta kuten mursketta, tulee myös taustavirrat huomioida laskelmissa. Murskeen tapauksessa voidaan käyttää MI-kerrointa 1,1 kg/kg, jolloin saadaan tiheydellä 1800 kg/m³ MI-luvuksi noin 2000 kg pengerkuutiometriä kohti.

Alusrakenteen MI-luku: pohjanvahvistus

Pilaristabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö on MI-menetelmällä laskien huomattavasti vähäisempää kuin massanvaihdon aiheuttama. Massanvaihdossa abioottinen MI-luku muodostuu siirrettävästä maa-aineksesta sekä korvaavasta materiaalista, joiden yhteenlaskettu massa on huomattava verrattuna pilaristabiloinnin sideaineen määrään. Vaikka pilaristabiloinnissa huomioidaan vaihtoehdossa 2 sideaineen lisäksi maaperä, johon se sekoitetaan, säilyy ero pilaristabiloinnin hyväksi merkittävänä. Koska on itsestään selvää, että massanvaihdon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on moninkertainen pilaristabilointiin verrattuna, huomioidaan tässä myös veden ja ilman kulutus. Koska massanvaihdon ilman ja veden kulutus aiheutuu ainoastaan polttoaineen kulutuksesta, huomioidaan tässä työvaiheessa myös kuljetukset ja työkoneiden polttoaineenkulutus molemmissa pohjanvahvistusmenetelmissä. Seuraavassa taulukossa on esitetty pilaristabiloinnin ja massanvaihdon aiheuttama luonnonvarojen käyttö käsiteltävää neliometriä kohti, kun pohjanvahvistus ulotetaan kuuden metrin syvyyteen. Massanvaihdon kuljetusmatkaksi on oletettu 20 km ja pilaristabiloinnin raaka-aineen kuljetusmatkaksi 75 km. Pilaristabiloinnin vaihtoehdossa 2 on lisäksi huomioitu maaperä, johon sideaine sekoitetaan. Pilarin halkaisija on 600 mm ja maaperän tiheydeksi oletetaan 1500 kg/m³.

Menetelmä	Abioottisten luonnonvarojen käyttö [kg/m ²]	Veden käyttö [kg/m ²]	Ilman käyttö [kg/m ²]
Pilaristabilointi 1	730	3600	67
Pilaristabilointi 2	3270	3600	67
Massanvaihto	21 200	1700	66

Taulukko 10 Eri pohjanvahvistusmenetelmien aiheuttama luonnonvarojen käyttö neliometriä kohti

Taulukosta nähdään, että massanvaihdon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on lähes 30-kertainen pilaristabiloinnin ensimmäiseen vaihtoehtoon verrattuna. Pilaristabiloinnin toiseen vaihtoehtoon verrattuna on massanvaihdon luonnonvarojen käyttö 6,5-kertainen. Edellä mainituilla kuljetusmatkoilla on menetelmien ilman kulutus yhtä suuri. Massanvaihto kuluttaa vettä noin puolet pilaristabiloinnin kuluttamasta määrästä.

Ajorataneliometri

Ajorataneliometrin rakentamisen vaatima luonnonvarapanos eli MI-luku saadaan laskettua huomioiden katuluokan ja maapohjan kantavuuden määrittämä päällysrakenne sekä alusrakenteeseen mahdollisesti kohdistuvat toimenpiteet. Alusrakenteeseen kohdistuviksi toimenpiteiksi huomioidaan tässä työssä pintamaan poisto, maaleikkaus, pengerrys ja pohjanvahvistus.

Teoreettinen katuneliometri

Teoreettinen katuneliometri muodostetaan Helsingin kaupungin rakennusviraston katurekisterin tietojen mukaan siten, että se sisältää keskimääräisen osuuden ajorataa, kevyen liikenteen väylää ja viherkaistaa. Katuluokassa 1 ja 2 neliometri katua sisältää 0,5 m² ajorataa, 0,2 m² kevyen liikenteen väylää ja 0,3 m² viheraluetta. Katuluokissa 3-5 osuudet ovat vastaavasti ajorata 0,5 m², kevyen liikenteen väylä 0,3m² ja viheralue 0,2 m². Katuluokka 6 sisältää vain kevyen liikenteen väylät.

Teoreettiset katuneliometrit kuvaavat siis keskimääräistä katua. Kun teoreettisen katuneliometrin MI-luku kerrotaan katualueen leveydellä, saadaan laskettua MI-luku katumetriä kohti, joka sisältää koko katualueen. Näin saadaan eliminoitua katualueen leveyden vaikutus MI-lukuun ja laskettua yhden MI-luvun avulla eri levyisten katujen rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Tuloksena ei siis saada todellisten katujen tarkkoja MI-lukuja, mutta kuitenkin hyvä käsitys kadun rakentamisen vaatimien luonnonvarapanosten suuruudesta.

Teoreettisen katuneliometrin materiaalipanosta laskettaessa oletetaan, että ajoradan ja kevyen liikenteen väylän materiaalipanokset ovat alusrakenteen osalta samat ja päällysrakenteen osalta luonnonvarojen käyttö saadaan normaalipäällysrakenteiden MI-luku taulukosta (ks. Taulukko 9). Ajoradan päällysrakenne valitaan katuluokista 1-5 pohjamaan kantavuuden A-G mukaan. Kevyen liikenteen väylä saadaan katuluokasta 6 pohjamaan mukaan. Viherkaistan materiaalipanosta laskettaessa oletetaan, että alusrakenteeseen kohdistuu samanlaiset toimenpiteet kuin muuhunkin katualueeseen. Tämä voi joissakin tapauksissa olla voimakas yksinkertaistus, mutta tämän hankkeen puitteissa ei ollut mahdollisuuksia selvittää viherkaistojen rakentamista tarkemmin.

4.1.4 Esimerkkejä erilaisten katujen rakentamisen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä

Tässä luvussa esitetään MI-lukuja erilaisille katuneliometreille. Laskentamenetelmät on esitetty aikaisemmin ja tässä esitetään ainoastaan katujen ominaisuudet ja niiden rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Luonnonvarojen käyttö ilmoitetaan MI-lukuna yksikössä kg/katu-m² erikseen ajorataneliometrille ja teoreettiselle katuneliometrille. Seuraavassa taulukossa on esitetty esimerkkikatujen 1-4 ominaisuudet sekä vaihtoehtoisia alusrakenteeseen kohdistuvia toimenpiteitä.

Esimerkkikatu	Ominaisuudet	Vaihtoehto A	Vaihtoehto B	Vaihtoehto C
Esimerkki 1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu, liikennemäärä yli 30 000 ajon./vrk (katuluokka 1). Pohjamaan kantavuusluokka A eli pohjamaa esim. kalliota. Katualue käsittää ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja viherkaistan.	Ei leikkausta eikä pengerrystä.	Kalliota leikataan katualueella keskimäärin 1,5 m syvyydelle.	Pengertäytteenä 0,5 m mursketta.
Esimerkki 2	Raskaasti liikennöity pääkatu, liikennemäärä 20 000 ajon./vrk (katuluokka 2). Pohjamaan kantavuusluokka C eli pohjamaa esim. routimatonta karkeaa hiekkaa. Katualue käsittää ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja viherkaistan.	Ei leikkausta eikä pengerrystä.	Leikkaus keskimäärin syvyyteen 2 m.	Pengertäytteenä 0,5 m mursketta.
Esimerkki 3	Kokoojakatu, jonka liikennemäärä 5000 ajon./vrk (katuluokka 3). Pohjamaan kantavuusluokka E eli pohjamaa esim. kuivakuorisavea. Katualue käsittää ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja viherkaistan.	Pohjanvahvistus massanvaihdolla keskimäärin 3 m syvyyteen. Ei leikkausta eikä pengerrystä.	Pohjanvahvistus pilaristabiloinnilla keskim. 6 m syvyyteen. Ei leikkausta eikä pengerrystä.	Pohjanvahvistus pilaristabiloinnilla keskim. 6 m syvyyteen. Leikkaus keskim. 1 m syvyyteen.
Esimerkki 4	Asuntokatu, jonka liikennemäärä noin 1000 ajon./vrk (katuluokka 4). Pohjamaan kantavuusluokka D eli pohjamaa esim. routimaton hiekamoreeni. Katualue käsittää ajoradan, kevyen liikenteen väylän ja viherkaistan.	Ei leikkausta eikä pengerrystä.	Leikkaus keskim. 2 m syvyyteen.	Pengertäytteenä keskim. 1,5 m mursketta (pohjamaan kantavuusluokaksi A).

Taulukko 11 Esimerkkikatujen ominaisuudet

Pohjamaan kantavuusluokka esimerkissä 4C muuttuu D:stä A:han, koska pengertäytteen paksuuden ollessa yli metrin käytetään KT 02:n mukaan pengertäytteen kantavuusluokkaa (KT 02, liite 2000/1). Alusrakenteeseen kohdistuvat vaihtoehtoiset toimenpiteet eli leikkaukset, pengerrykset ja pohjanvahvistukset ilmoitetaan keskimääräisenä syvyytenä, jota sovelletaan myös viherkaistalla ja kevyen liikenteen väylälläkin .

Seuraavassa taulukossa on esitetty edellä esitettyjen esimerkkikatujen rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Teoreettisten katuneliömetrien koostumus ja katualueiden keskimääräiset

leveydet ovat HKR:n katurekisterin mukaiset. Taulukossa on esitetty myös näillä katualueiden keskimääräisillä leveyksillä lasketut MI-luvut katometriä kohti. Lukuihin on lisätty myös graniittisten reunakivien MI-luku. Esimerkkikaduissa 3B ja 3C, joissa on pohjanvahvistuksena pilaristabilointi, esitetään kaksi erilaista MI-lukua (vrt. luku 3.2.3 ja 4.1.3), koska kyseessä on menetelmän soveltamisen kannalta rajatapaus. Liitteessä 5 on esitetty esimerkkikatujen ajoratojen MI-lukujen muodostuminen eri tekijöistä.

Esimerkki- katu	Ajorata MI [kg/m ²]	Teor. katu-m ² MI [kg/m ²]	Katualueen keskim. leveys [m]	Katometri (sis. koko katualue) MI [kg/m]
1A	1162	930	33,4	31 700
1B	5062	4830	33,4	161 900
1C	2152	1920	33,4	64 700
2A	1251	1000	33,4	34 000
2B	5251	5000	33,4	167 600
2C	2241	1990	33,4	67 100
3A	12 758	12 406	20,3	252 400
3B	2893 / 5437	2541 / 5085	20,3	52 200 / 103 800
3C	4393 / 6937	4041 / 6585	20,3	82 600 / 134 300
4A	1556	1327	11,4	15 700
4B	5156	4927	11,4	56 800
4C	3808	3750	11,4	43 300

Taulukko 12 Esimerkkikatujen rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö eli MI-luku.

Esimerkkikaduilla 1 ja 2 (katualueen leveys 33,4 m) on ajoradan leveys keskimäärin 16,7 m, viherkaistan 10 m ja kevyen liikenteen väylän leveys 6,7 m. Esimerkkikadulla 3 (katualueen leveys 20,3 m) on ajoradan leveys keskimäärin 10,2 m, kevyen liikenteen väylän 6,1 m ja viherkaistan 4,1 m. Esimerkkikadulla 4 (katualueen leveys 11,4 m) on ajoradan leveys keskimäärin 5,7 m, kevyen liikenteen väylän 3,4 m ja viherkaistan 2,3 m.

Taulukossa 12 esitetyistä tuloksista näkyy, että katurakentamisessa kuluvien luonnonvarojen määrä vaihtelee voimakkaasti. Pohjamaan kantavuuden lisäksi merkittäviä tekijöitä ovat mahdollisen pohjanvahvistustavan valinta sekä tarvittavat leikkaukset ja pengerrykset. Esimerkkikaduissa 1 ja 2 voitaisiin leikkausmassat hyödyntää päällysrakenteessa, jolloin työmaan ulkopuolelta tuotavan ra-

kennusmateriaalin tuonti vähenisi merkittävästi. Tätä ei ole kuitenkaan huomioitu taulukossa 12 esitetyissä MI-luvuissa.

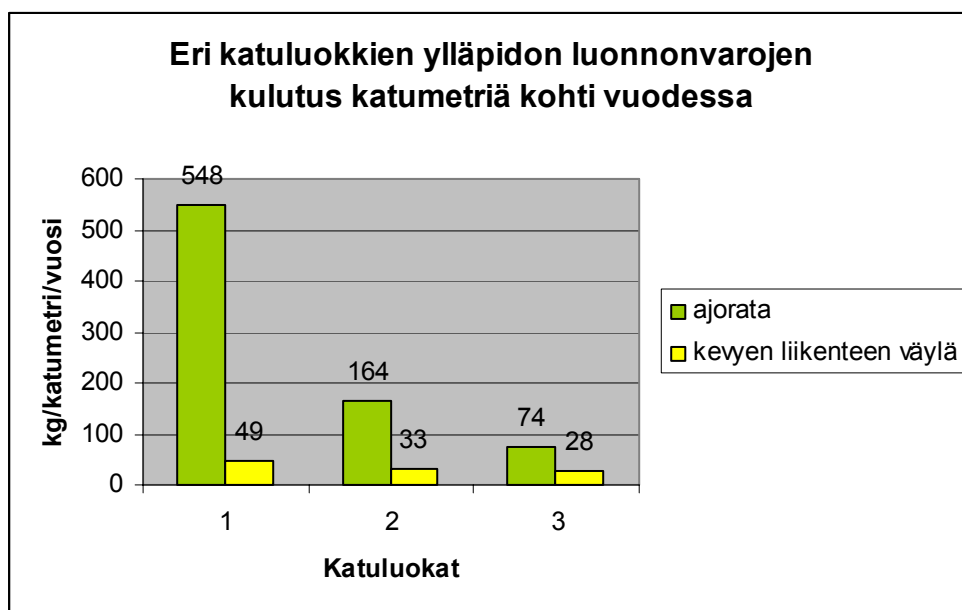
4.2 Katujen ylläpito

Katujen ylläpidon osa-alueet ovat talvikunnossapito, puhtaanapito, kesähoito ja kunnostus, katuvihreän hoito, liikenteen ohjaus ja varusteet. Tässä tutkielmassa ylläpidon piiriin on laskettu kuuluvaksi myös valaistus. Liikenteen ohjaus ja varusteet on puolestaan rajattu työn ulkopuolelle.

4.2.1 Katujen ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö

Abioottiset materiaalit

Kadun kunnossapitoluokka vaikuttaa huomattavasti luonnonvarojen käyttöön. Katumetriä kohti eniten luonnonvaroja kuluu I-luokan kaduilla ja vähiten pienillä III-luokan kaduilla. Katumetri tarkoittaa katujuoksumetriä, joka sisältää koko katualueen eli ajoradan lisäksi myös kevyen liikenteen väylät ja viherkaistat. Kuvassa 5 on esitetty eri katuluokkien koko katualueen ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö katumetriä kohti vuodessa. Kokonaisuudessaan Helsingin katujen ylläpidon vuosittain aiheuttama uusiutumattomien eli abioottisten luonnonvarojen käyttö on yli 200 000 tonnia.



Kuva 5 Eri katuluokkien ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö katumetriä kohti vuodessa

I-luokan katumetri kuluttaa lähes 600 kg Abioottisia luonnonvaroja vuodessa, pienemmällä III-luokan kadulla kulutus on noin kuudesosa tästä, hieman yli 100 kg. Merkittävimäksi materiaali-panosten aiheuttajaksi osoittautui kaikkien katuluokkien ajoradoilla rakenteellinen kunnossapito. Kevyen liikenteen väylien kulutuskerros uusitaan harvoin ja rakenteellisen kunnossapidon merkitys jää pienemmäksi. Suuremmilla kevyen liikenteen väylillä (A- ja B-luokka) talvikunnossapito aiheutti suurimmat luonnonvarapanokset, ajoradoilla se oli toiseksi merkittävin kulutuksen aiheuttaja.

Sekä rakenteellisessa kunnossapidossa että talvikunnossapidossa oli ylivoimaisesti suurin osa luonnonvarapanoksesta materiaalien eli asfaltin, bitumin, hiekoitussepin ja suolan käytön aiheuttamia. Työkoneiden käytön ja kuljetusten merkitys jäi puolestaan pieneksi. Valaistus oli kolmas merkittävä materiaaliavirtojen aiheuttaja. Sen luonnonvarapanos oli sitä suurempi, mitä leveämpi katu oli, koska leveämmällä kadulla on enemmän valaisinpisteitä. Puhtaanapidolla ja katuvihreän hoidolla ei näiden laskelmien mukaan ole juuri merkitystä. Niiden aiheuttama luonnonvarojen käyttö oli kaikilla katuluokilla hyvin pientä.

Taulukossa 13 on esitetty eri katuluokkien ajoratojen ja kevyen liikenteen väylien ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Kuten taulukosta havaitaan, on sekä katuvihreän hoito että valaistus allokoitu ainoastaan ajoradoille (vrt. 3.3.5 ja 3.3.7).

MI [kg/a]	I-luokka		II-luokka		III-luokka	
	ajorata	kevyt liikenne	ajorata	kevyt liikenne	ajorata	kevyt liikenne
Rakenteellinen kunnossapito	336	14	102,8	13,2	47,9	15,1
Talvikunnossapito	147,3	35	21,1	19,4	3,5	12,7
Valaistus	64	-	39,4	-	21,9	-
Puhtaanapito	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3
Katuvihreän kunnossapito	0,9	-	0,4	-	0,2	-
Yhteensä/katu-m	548,5	49,3	164	32,9	74,1	28
Yhteensä/katu-m²	34,5	15,9	16,1	11,4	9,8	8,5

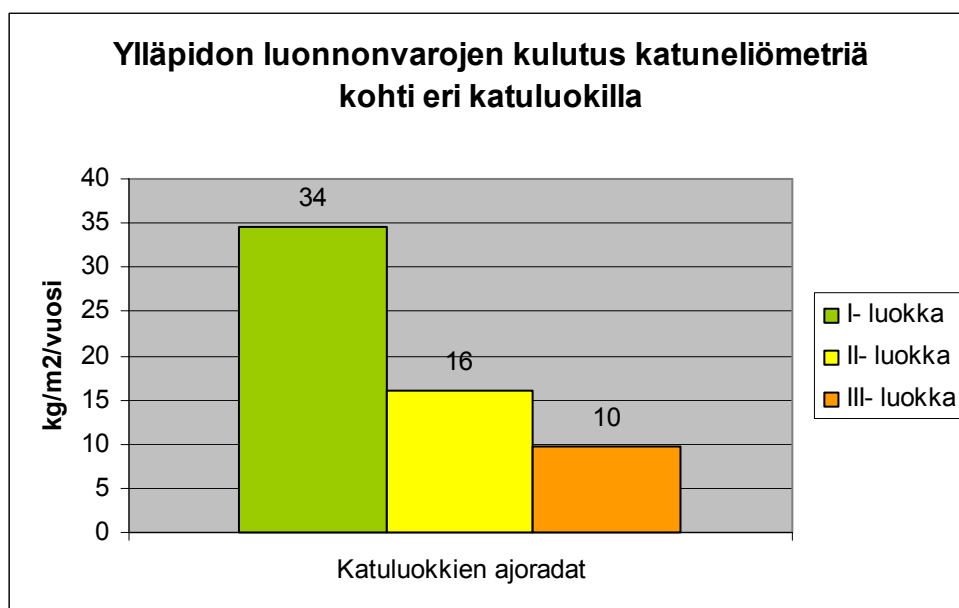
Taulukko 13 Kadun ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö, kg/vuosi

Eri katuluokkien luonnonvarojen kulutus poikkeaa toisistaan. Lukujen vertailussa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että pinta-alojen suhteena laskettuna 48 % Helsingin kaduista on kapeita III-luokan katuja ja vain 23 % I-luokan pääkatuja. II-luokan katuja on katujen pinta-alasta 29 %. Kun yhden katumetrin luonnonvarapanos kerrotaan kunkin katuluokan katujen pituudella, havaitaan, että katuluokkien ylläpidossa kuluu eniten luonnonvaroja III-luokan kaduilla. I-luokan katujen ylläpidon kokonaiskulutus on kuitenkin lähes yhtä suuri, vaikka niiden pinta-ala on alle puolet III-luokan katujen pinta-alasta. Katujen ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on Helsingissä yhteensä vuosittain 218 000 tonnia. Taulukossa 14 on esitetty kunkin katuluokan vuodessa aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö koko Helsingin alueella.

	I-luokka	II-luokka	III-luokka
Abioottisten luonnonvarojen kulutus, kg/katometri/a	598	197	102
Katujen yhteispituus, m	134 753 (11 %)	276 810 (23 %)	815 225 (66 %)
Abioottisten luonnonvarojen kokonaiskulutus, kg/a	80 582 294 (37 %)	54 531 570 (25 %)	83 152 950 (38 %)

Taulukko 14 Eri katuluokkien abioottisten luonnonvarojen kulutus vuodessa Helsingissä (koko katualue)

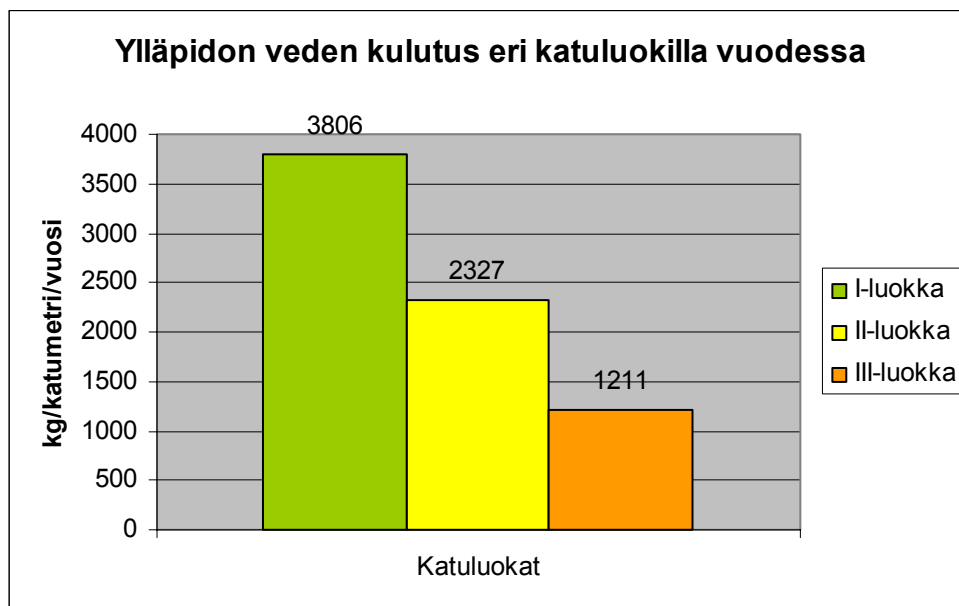
Kun ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä tarkastellaan katuneliometriä kohden, havaitaan, että erot katuluokkien välillä ovat pienemmät kuin katumetriä kohdalla (ks. taulukossa 13). Neliometri I-luokan ajorataa kuluttaa vuodessa 3,5 kertaa niin paljon luonnonvaroja kuin neliometri III-luokan ajorataa, vaikka ajoratojen juoksumetriä välinen ero oli 7,5-kertainen. Tämä johtuu siitä, että I-luokan kadulla ajoradan leveys on keskimäärin lähes 16 metriä, kun III-luokan kadulla leveys on 7,6 metriä.



Kuva 6 Kadun ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö katuneliometriä kohti eri katuluokilla.

Vesi

Helsingin katuverkoston ylläpidon koko elinkaarta kattava veden käyttö on yli 2 miljoonaa tonnia vuodessa. Seuraavassa kuvassa on esitetty vedenkulutus eri katuluokilla (kg/katometri/vuosi). Taulukossa 15 on esitetty vedenkulutus katuneliometriä kohti.



Kuva 7 Kadun ylläpidon elinkaarenaikainen veden käyttö, kg/katometri/a (ajorata + kevyen liikenteen väylä)

Katujen ylläpidossa suurin osa vedestä käytetään valaistuksen sähkön tuotannossa. Esimerkiksi I-luokan kadulla 94 % veden käytöstä oli valaistuksen sähkön aiheuttamaa. Sähkölle lasketaan kertoimet paikallisen tuotantotavan mukaan ja Helsingin Energian vuoden 2003 tuotannon mukaan laskettuna veden kerroin on 30,53 kg/kWh. Wuppertal-instituutin laskema eurooppalainen sähkön tuotannon veden kerroin on 63,8 ja maailmanlaajuinen 66,7. Veden käytön sähkön tuotannossa aiheuttaa pääasiassa vesivoiman tuotannossa ja tiettyjen polttoaineiden louhinnassa ja käsittelyssä kulutettu vesi tai sellainen vesi, jonka luonnollinen kiertokulku on muutettu. Luonnollinen kiertokulku muutetaan esimerkiksi, kun vesivoiman tuotantoa varten säännöstellään vesistöjä tai kun pumpataan pohjavettä pois polttoaineiden louhinta-alueelta. Helsingin Energian tapauksessa sähkön käyttö selittyy pääasiassa vesivoiman osuudesta, jota Helsingin Energia ostaa täydentämään omaa tuotantoa. (Pohjoismaiden sähkömarkkinoilla noin 50% on vesivoimaa.) Vanhoissa EU-maissa noin 75 % sähkön tuotannon aiheuttamasta veden käytöstä johtuu vesivoimasta, loput pääasiassa veden käytöstä ydinpolttoaineen ja fossiilisten polttoaineiden tuotannossa (Hacker 2003:53).

Muun veden käytön aiheutti pääasiassa ajoratojen pesussa käytetty vesi. Juomaveden MI-kerroin on 1,3 kg/kg. Toisin sanoen keskimääräiseen juomavesilitran tuotantoon ja jakeluun käytetään tuotetun vesilitran lisäksi 0,3 litraa vettä.

Seuraavassa taulukossa on esitetty, miten vedenkäyttö jakautuu eri katuluokilla ylläpidon eri toiminnolle. Koska valaistus on allokoitu kokonaan ajoradoille, on ajoradan ja kevyen liikenteen väylien ylläpidon vedenkulutuksessa hyvin suuri ero.

Hoito-luokka	Vedenkäyttö, kg/m ² /a	Talvikunnossapito	Puhtaanaapito	Rakenteellinen kp.	Valaistus	Katuvihreän kp.
I, ajorata	234	3,7 %	0,04 %	0,1 %	96 %	0,2 %
I, kevyt liik.	21	58 %	43 %	0,5 %	-	-
II, ajorata	223	2,5 %	0,1 %	0,04 %	97 %	0,1 %
II, kevyt liik.	19	49 %	51 %	0,4 %	-	-
III, ajorata	152	0,3 %	4,9 %	0,05 %	95 %	0,1 %
III, kevyt liik.	16,5	48 %	52 %	0,4 %	-	-

Taulukko 15 Kadun ylläpidon elinkaarenaikaisen vedenkäytön jakautuminen eri toimintoihin.

Seuraavassa taulukossa on esitetty kadun ylläpidon aiheuttama veden käyttö kokonaisuudessaan Helsingin eri katuluokilla (ajorata + kevyen liikenteen väylä).

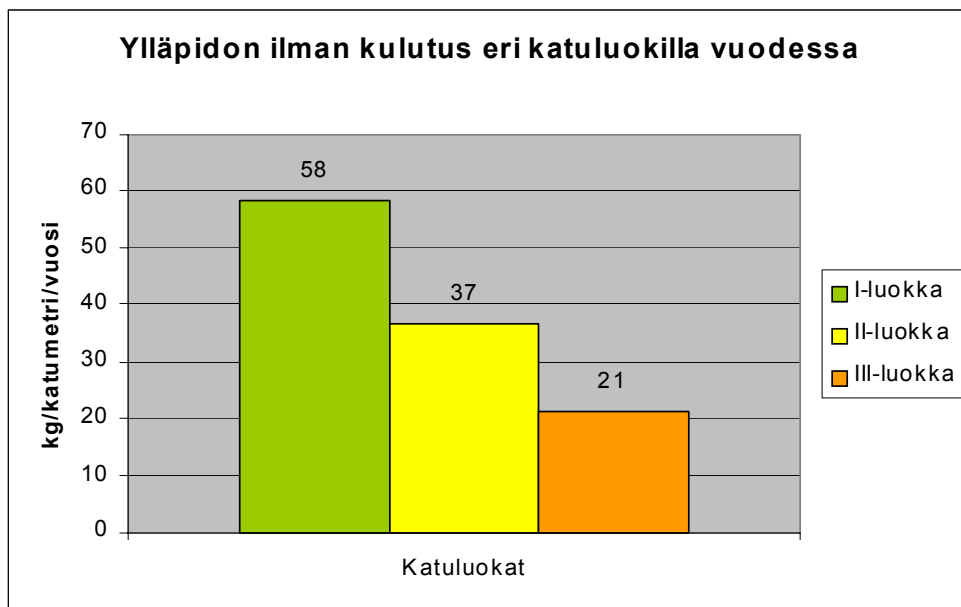
	I-luokka	II-luokka	III-luokka
Kg/katometri/a	3806	2327	1211
Katujen yhteispituus, m	134 753	276 810	815 225
Veden käyttö kokonaisuudessaan, t/a	513 000	644 000	987 000

Taulukko 16 Helsingin katuverkoston ylläpidon elinkaarta kattava vedenkäyttö, yhteensä 2 144 000 t/a.

Ylläpitoon kuluva vesimäärä voidaan verrata vuotuisen sademäärään. Vuosina 1971-2000 Helsingin Kaisaniemen vuotuinen sademäärä oli keskimäärin 642 mm eli 642 l/m² (Ilmatieteen laitos). Rakennusviraston katurekisterin mukaan Helsingin katuverkoston yhteenlaskettu pinta-ala (katuosien pinta-ala) on 19 493 158 m². Helsingin katuverkostolle sataa siis vuodessa keskimäärin 12,5 miljoonaa tonnia vettä. Näin ollen ylläpidossa kuluva vesimäärä on 16 % sademäärästä. MIPS-menetelmän mukaisesti kaikki kokonaan tai osittain pintakäsitellyltä pinnalta poisjohdettu sadevesi tulee laskea mukaan vedenkulutukseen. Päälystetylle pinnalle satava vesi ei imeydy maaperään kuten luonnontilaiselle pinnalle satava vesi. Tämän seurauksena voi pohjaveden pinta laskea ja pintavalunta lisääntyä. Pohjaveden pinnan lasku aiheuttaa mm. kasvien vedensaannin heikkenemistä ja lisääntynyt pintavalunta voi aiheuttaa jokien eroosiota ja tulvia (Ahponen 2003). Tässä tutkimuksessa kadulta pois johdettu vesi eli vuotuinen sademäärä on laskettu mukaan Mustialankadun kokonais-MI-lukuun (ks. luku 4.3.1).

Ilma

MIPS-menetelmässä ilman kulutus tarkoittaa polttoprosesseissa kulutettua happea. Kulutettu happi on yleensä suorassa suhteessa hiilidioksidipäästöihin. Katujen ylläpidossa ilman kulutus aiheutuu pääasiassa valaistuksesta. I-luokan ajoradoilla valaisimien sähkönkulutus aiheuttaa ilman kulutuksesta 74 % ja valaisimien sisältämän alumiinin valmistus noin 9 %. Työkoneiden polttoaine kuluttaa ilmasta noin 11 % ja talvikunnossapidon liukkaudentorjuntamateriaalien kuljetus noin 5 %.



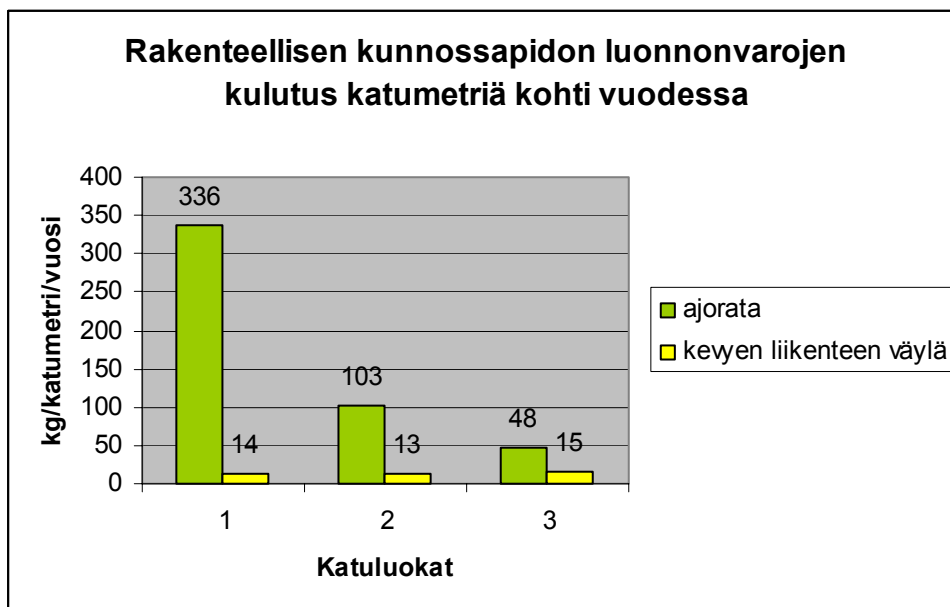
Kuva 8 Kadun ylläpidon aiheuttama ilman kulutus eri katuluokkien ajoradoilla katometriä kohti vuodessa

4.2.2 Abioottisten luonnonvarojen käyttö kadun ylläpidon eri toiminnoissa

Seuraavassa esitellään yksityiskohtaisemmin luonnonvarojen käyttöä kadun ylläpidon erilaisissa toiminnoissa. Tarkastelua rajataan abioottisiin luonnonvaroihin, koska ne ovat katujen MI-laskennan kannalta kiinnostavimpia ja merkittävimpiä. Veden käyttö keskittyy lähinnä valaistuksen sähkön tuotantoon, ilman kulutus puolestaan sähkön tuotantoon ja polttoaineiden käyttöön.

Rakenteellinen kunnossapito

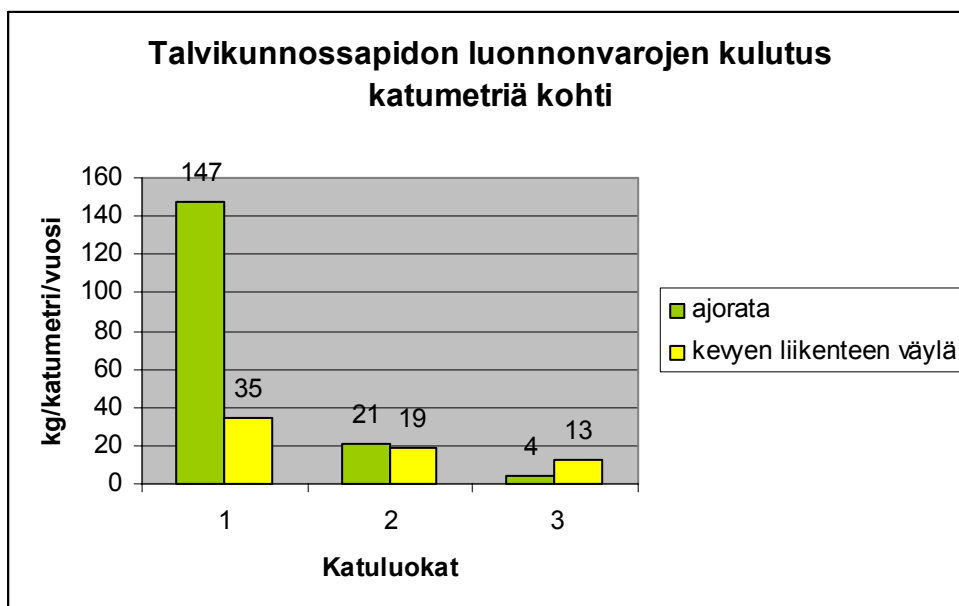
Rakenteellisen kunnossapidon osuus katujen ylläpidon luonnonvarojen käytöstä on suuri (ajoradoilla yli 60 %). Tämä johtuu suurista materiaalmääristä ja siitä, että asfalttipäällyste uusitaan ajoradoilla usein. Pelkästään asfalttikerroksen luonnonvarapanos on ajoradoilla 118 kg/ m² ja kevyen liikenteen väylillä 106 kg/ m² yhdellä asfaltointikerralla. Liimaemulsion luonnonvarapanos neliömetrillä on 7,8 kg/m². Polttoaineenkulutuksen ja työkoneiden käytön osuudet ovat hyvin pieniä. Kuvassa 9 on esitetty rakenteellisen kunnossapidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö yhdellä katumetrillä vuodessa eri katuluokkien ajoradoilla ja kevyen liikenteen väylillä. Asfalttipäällysteen uusimisessa lähes koko materiaalipanosa tulee käytettävistä materiaaleista, asfaltista ja bitumista.



Kuva 9 Rakenteellisen kunnossapidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö eri katuluokilla.

Talvikunnossapito

Talvikunnossapidossa luonnonvarojen käytön merkittävimmät lähteet ovat liukkaudentorjunnan materiaalit: hiekoitussepele ja suola. Työkoneiden, polttoaineiden ja kuljetusten osuudet puolestaan ovat melko pieniä.



Kuva 10 Luonnonvarojen käyttö eri katuluokkien talvikunnossapidossa, kg/ katometri/ vuosi

Hiekoitussepeleä kuluu Helsingissä vuosittain suorina virtoina keskimäärin 40 000 tonnia. Sepelin kuljetusmatkojen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on yhteensä 1 080 tonnia vuodessa. Suolaa kuluu vuodessa noin 5 000 tonnia.

Talven sääolosuhteet vaikuttavat talvikunnossapidon töiden suorittamiseen. Tässä tutkimuksessa kulutus on laskettu keskimääräisten materiaalmäärien ja töiden suorittamisten perusteella. 1970-luvun lopulta lähtien hiekoitushiekkan ja –sepin määrä on vaihdellut vuosittain välillä 20 000– 60 000 tonnia. Aikaisemmin käytetystä pestystä hiekasta on luovuttu ja siirrytty kahden raekoon sepeleen käyttöön. Karkeampaa levitetään kevyen liikenteen väylille ja hienompaa ajoradoille. (Kettunen, henkilökohtainen tiedonanto 27.4.2004.)

Suolaa on vuosina 1979-2003 kulunut vuosittain 2 000 – 10 500 tonnia. Suolan käytössä trendi on ollut viimeisen kymmenen vuoden aikana nouseva. Keskimäärin käyttö on ollut 5 000 tonnia vuodessa. Suolaa levitetään ainoastaan I- ja II-luokkien katujen ajoradoille. Yhdelle neliömetrille tulee suolaa vuodessa noin yhden kilon verran. Suolan MI-kerroin on 1,24 kg/kg eli vain hieman sepeleä korkeampi. Näin ollen suolan käytön aiheuttama luonnonvarojen käyttö jää raskasta hiekoitussepeleä pienemmäksi.

Katulämmitys

Katulämmityksessä kuluu energiaa noin 60 kWh vuodessa neliometriä kohden (vrt. luku 3.3.4). Käytettäessä Helsingin Energian vuoden 2003 lämmön MI-kerrointa 0,65 kg/kWh, saadaan katulämmityksen aiheuttamaksi abioottisten luonnonvarojen käytöksi 38,2 kg/m²/vuosi. Seuraavassa taulukossa on esitetty katulämmityksen ja normaalin talvikunnossapidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö I-luokan kevyen liikenteen väylällä.

	Abioottiset [kg/m ² /a]	Vesi [kg/m ² /a]	Ilma [kg/m ² /a]
Katulämmitys	39,0	63,6	24,0
Talvikunnossapito	11,2	12,2	2,2

Taulukko 17 Katulämmityksen ja talvikunnossapidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö.

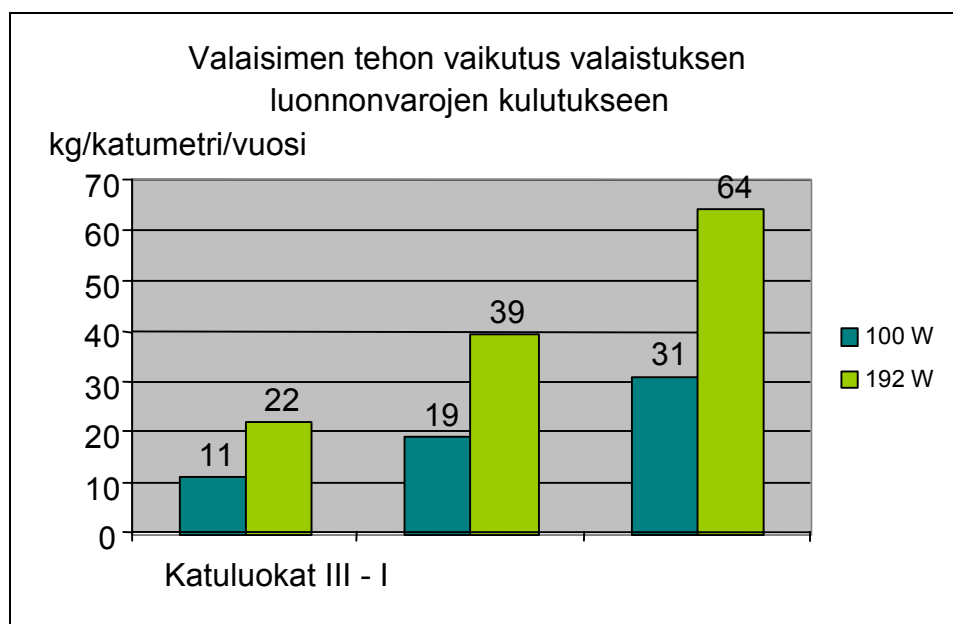
Tuloksista on nähtävissä, että katulämmityksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on selvästi korkeampi kuin talvikunnossapidon. Katulämmityksessä käytetään abioottisia luonnonvaroja noin 3,5-kertaisesti, vettä noin 5-kertaisesti ja ilmaa noin 11-kertaisesti normaaliin talvikunnossapitoon verrattuna. Katulämmityksen etuina nähdään kuitenkin myös loukkaantumisten, katupölyn ja liiketilojen siivoamisen väheneminen. Näitä hyötyjä ei kuitenkaan pystytty huomioimaan luonnonvarojen käytön laskennassa tämän tutkimuksen resurssien puitteissa.

Valaistus

Valaistuksen kokonaistehosta laskettu yhden lampun keskimääräinen teho on 192 W. Tulokset on laskettu käyttämällä tätä arvoa. Uudisrakennuskohteilla kuitenkin käytetään vähemmän energiaa kuluttavia natriumlamppuja (100 W), joten niiden käytön aiheuttama luonnonvarojen käyttö on huomattavasti pienempi. Valaistus on laskelmissa kokonaisuudessaan allokoitu ajoradoille.

Suurin osa valaistuksen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä tulee kulutetusta energiasta. Valaisuslaitteiden kunnossapidon osuus on pieni. Valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on las- kutavasta johtuen suoraan verrannollinen kadun leveyteen. Leveällä I-luokan kadulla valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on katumetrillä noin 64 kg vuodessa, II-luokan kadulla 39 kg vuodessa ja III-luokan kadulla 22 kg vuodessa.

Valaistuksessa käytetään pääasiassa 100 W ja 200 W lamppuja. Keskimääräinen teho on Helsingin katuvalaistuksessa 192 W. Uusilla rakennuskohteilla käytetään 100 W natriumlamppuja, mutta suurin osa on edelleen vanhemman mallisia 200 W elohopealamppuja. Kuvassa 11 on esitetty energia- tehokkaampien lamppujen vaikutus luonnonvarojen käyttöön.



Kuva 11 Lamppujen energiatehokkuuden vaikutus kadun valaistuksen aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön, vasemmalla katuluokka III, oikealla luokka I.

Puhtaanapito

Puhtaanapidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö on kaikilla katuluokilla hyvin pientä, vaikka suurimmilla väylillä roska-astiat tyhjenetään usein sekä ajoradat lakaistaan ja kevyen liikenteen väylät pestään usein, jopa kerran päivässä. Kunnossapidon merkitys luonnonvarojen käytössä on huomattavasti suurempi, koska siinä käytetään suorina panoksina runsaasti rakennus- ja liukkaudentorjuntamateriaaleja. Puhtaanapidossa ei tällaisia panoksia pesuvettä lukuun ottamatta ole, vaan luonnonvarojen käyttö aiheutuu lähinnä työkoneiden käytöstä. Vedenkulutus on puhtaanapidossa ainoa näkyvä osuus, suurimmillaan pesuveden käyttö aiheuttaa A-luokan kevyen liikenteen väylillä katometriä kohti vuodessa 28 kg:n vedenkulutuksen. III-luokan kadun ajoradalla puhtaanapidon osuus koko ylläpidon aiheuttamasta abioottisten luonnonvarojen käytöstä on 0,8 %, II-luokan kadulla 0,2 % ja I-luokan kadulla 0,05 %. Puhtaanapidon aiheuttamasta vedenkulutuksesta on kerrottu luvussa 4.2.1.

Katuvihreän kunnossapito

Katuvihreän kunnossapidossa kuluu hyvin vähän luonnonvaroja. Koska satunnaisia lannoituksia, uudelleenkylvöjä tai oksien leikkausta ei ole laskettu mukaan, on laskennan tulos aliarvio todellisesta. MIPS-menetelmän mukaan pitäisi laskea myös bioottisten luonnonvarojen kulutus eli tässä tapauksessa leikatun nurmen määrä. Bioottisten luonnonvarojen laskenta on kuitenkin rajattu työn ulkopuolelle, koska tässä tutkimuksessa leikattu nurmi ja rakentamisen pintamaan poisto olisivat ainoat bioottisten materiaalien aiheuttajat, kun taas abioottisten materiaalien aiheuttajia on runsaasti.

Työkoneet ja ajoneuvot

Työkoneiden valmistuksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on kaikilla katuluokilla ja kaikissa töissä pientä. I-luokan kadun ajoradalla koneiden valmistus vastaa 0,3 % (1,4 kg/m/a) ylläpidon abioottisten luonnonvarojen käytöstä, II-luokan kadulla osuus on 0,5 % (0,9 kg/m/a) ja III-luokan kadulla 0,8 % (0,6 kg/m/a).

Työkoneiden ja ajoneuvojen käytön luonnonvarapanoksesta hieman suurempi osa tulee polttoaineen kulutuksesta. Myös sen osuus jää muun ylläpidon rinnalla yksittäisen katumetrin tarkastelussa merkityksettömäksi. I-luokan kadun ajoradalla polttoaineen kulutus vastaa 0,4 % (2,4 kg/m/a) ylläpidon aiheuttamasta abioottisten luonnonvarojen käytöstä, II-luokan kadulla osuus on 1,2 % (1,9 kg/m/a) ja III-luokan kadulla 1,0 % (0,8 kg/m/a). Koko kaupungin tasolla polttoaineen kulutuksella on luonnollisesti merkitystä. Vuodessa rakennusviraston koneet ja ajoneuvot kuluttavat polttonesteitä yli 2 000 tonnia.

Työkoneiden käytön merkitys on siis abioottisten luonnonvarojen käytön kannalta hyvin pieni. Koneiden valmistus ja niiden kuluttama polttoaine aiheuttaa prosentin verran katujen ylläpidon aiheuttamasta abioottisten luonnonvarojen käytöstä. Seuraavaan taulukkoon on koottu työkoneiden käytön merkitys ylläpidon abioottisten luonnonvarojen käytössä.

	I-luokka	II-luokka	III-luokka
Valmistus	0,3 %	0,5 %	0,8 %
Polttoaine	0,4 %	1,2 %	1,0 %
Yhteensä	0,7 %	1,7 %	1,8 %

Taulukko 18 Katujen ylläpidossa käytettävien työkoneiden valmistuksen ja polttoaineen osuus abioottisten luonnonvarojen käytöstä.

Rakennuskanta

Puhtaana- ja kunnossapidon rakennusten aiheuttama luonnonvarojen käyttö on arvioitu kahden yliopistorakennuksen valmiiden MIPS-lukujen avulla. Laskennassa on tarkasteltu Helsingin pohjoisen aluetoimiston sosiaali- ja toimistotiloja ja vastaavan alueen katujen kokonaispituutta ja yleistetty tulos koskemaan koko kaupunkia. Yliopistorakennukset kuluttavat keskimäärin 260 kg luonnonvaroja rakennusneliometriä kohti vuodessa. Pohjoisen aluetoimiston sosiaali- ja toimistotilojen kokonaiskulutus on tällä arvolla laskettuna 645 060 kg vuodessa. Jaettuna alueen katutilan pituudella (127 120 m), saadaan tulokseksi 5,07 kg/katometri/vuosi. Tämän laskutavan mukaan arvioituna

rakennusten merkitys luonnonvarojen kulutuksen lähteenä on melko pieni, mutta suurempi kuin esimerkiksi puhtaanapidon tai katuvihreän kunnossapidon.

4.3 Kadun MI kokonaisuudessaan

4.3.1 Case: Mustialankatu

Tässä luvussa yhdistetään Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Mustialankadun hoitoluokan oletetaan olevan III. Tulokset ilmoitetaan abioottisille materiaaleille, ilmalle ja vedelle yksikössä kg/m/a (katualueen leveys keskim. 15,4 m). Kadun käyttöäksi oletetaan ensisijaisesti 50 vuotta, mutta tuloksia tarkastellaan myös 100 vuoden käyttöiällä. Kadun käyttöiän määrittäminen ei ole yksiselitteistä eikä se ollut myöskään tämän tutkimuksen ensisijaisena aiheena. MateriaEuro- ja FIN-MIPS Liikenne-hankkeiden puitteissa katujen ja teiden käyttöiästä käytyjen keskustelujen pohjalta voidaan kuitenkin olettaa, että kadun käyttöikä tulee hyvin todennäköisesti sijoittumaan 50 ja 100 vuoden väliin. Näin ollen tässä lasketut luvut edustavat ääripäitä. FIN-MIPS Liikenne –hankkeessa yleisten teiden käyttöiäksi oletettiin 60 vuotta. Kadun voitaisiin olettaa kestävän jonkin verran pidempään kuin yleisen tien. Toisaalta kummassakin tapauksessa toiminnallinen kestoikä saattaa olla teknisesti mahdollista kestoikää lyhyempi, mikä tekeekin käyttöiän määrittämisen vaikeaksi.

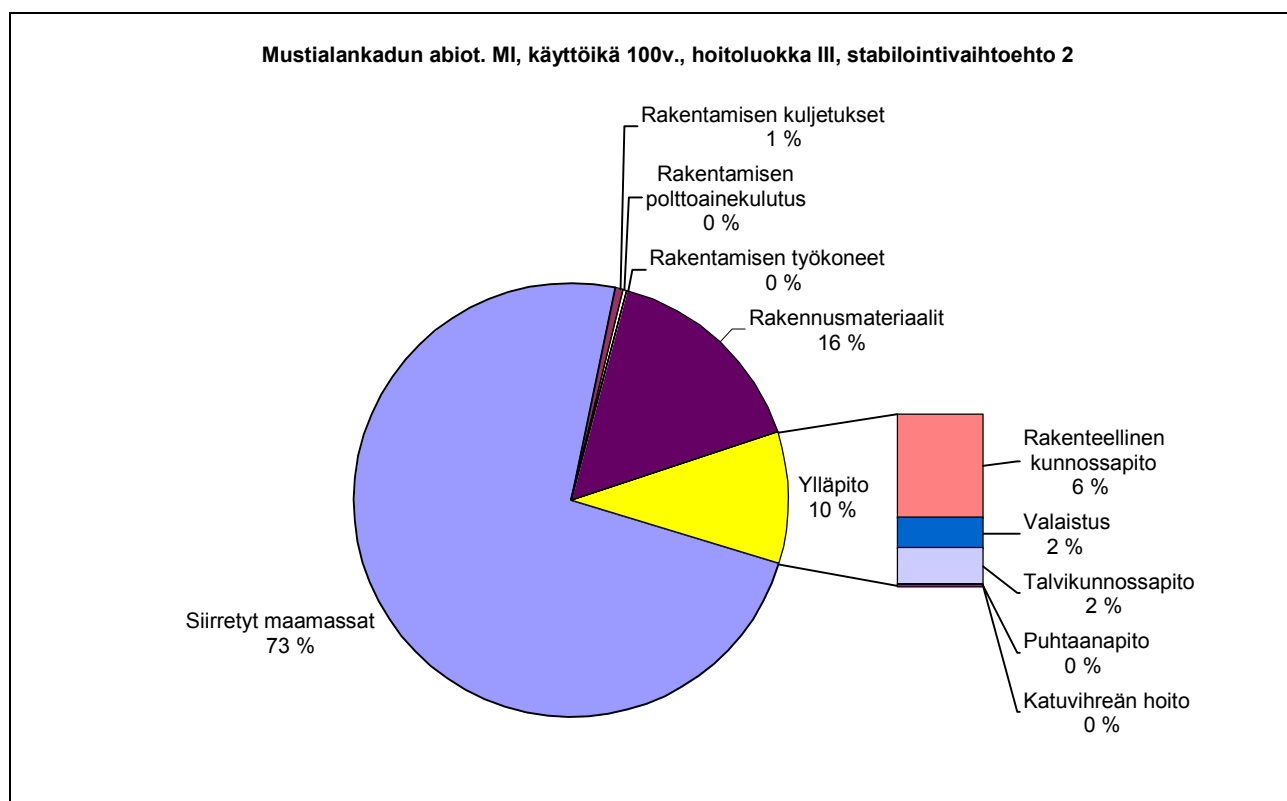
Rakentamisen aiheuttamana luonnonvarojen käyttönä käytetään tuloksia, joissa pilaristabiloinnin luonnonvarojen käytöksi lasketaan myös sideaineeseen sekoittuva maaperä (stabilointivaihtoehto 2, vrt. taulukko 19). Tuloksissa ei ole mukana kadun mahdolliseen saneeraukseen kuluvia luonnonvaroja, koska tässä tutkimuksessa ei ole niitä selvitetty. Eli mukana on vain uudisrakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Ylläpidon aiheuttaman luonnonvarojen käytön laskennassa on käytetty hoitoluokan III neliömetrituloksia (kg/m²/a). Vedenkulutukseen on lisätty myös kadulta poisjohdettu vesi (ks. luku 4.2.1, vesi). Seuraavassa taulukossa esitetään Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö yhteensä katumetriä kohti. Tuloksia tarkastellaan 50 vuoden ja 100 vuoden käyttöajoilla. Viimeisellä rivillä on esitetty kadun rakentamisessa ja koko käyttöajan aikana ylläpidossa kuluvat luonnonvarat (kg/m).

	Käyttöikä 50 vuotta			Käyttöikä 100 vuotta		
	Abioottiset	Vesi	Ilma	Abioottiset	Vesi	Ilma
Rakentaminen [kg/m/a]	1646	656	20	823	328	10
Ylläpito [kg/m/a]	106	1071	23	106	1071	23
Sadevesi [kg/m/a]	-	9887	-	-	9887	-
YHT. [kg/m/a]	1752	11 614	43	929	11 286	33
YHT. [kg/m]	87 600	580 700	2150	92 900	1 128 600	3300

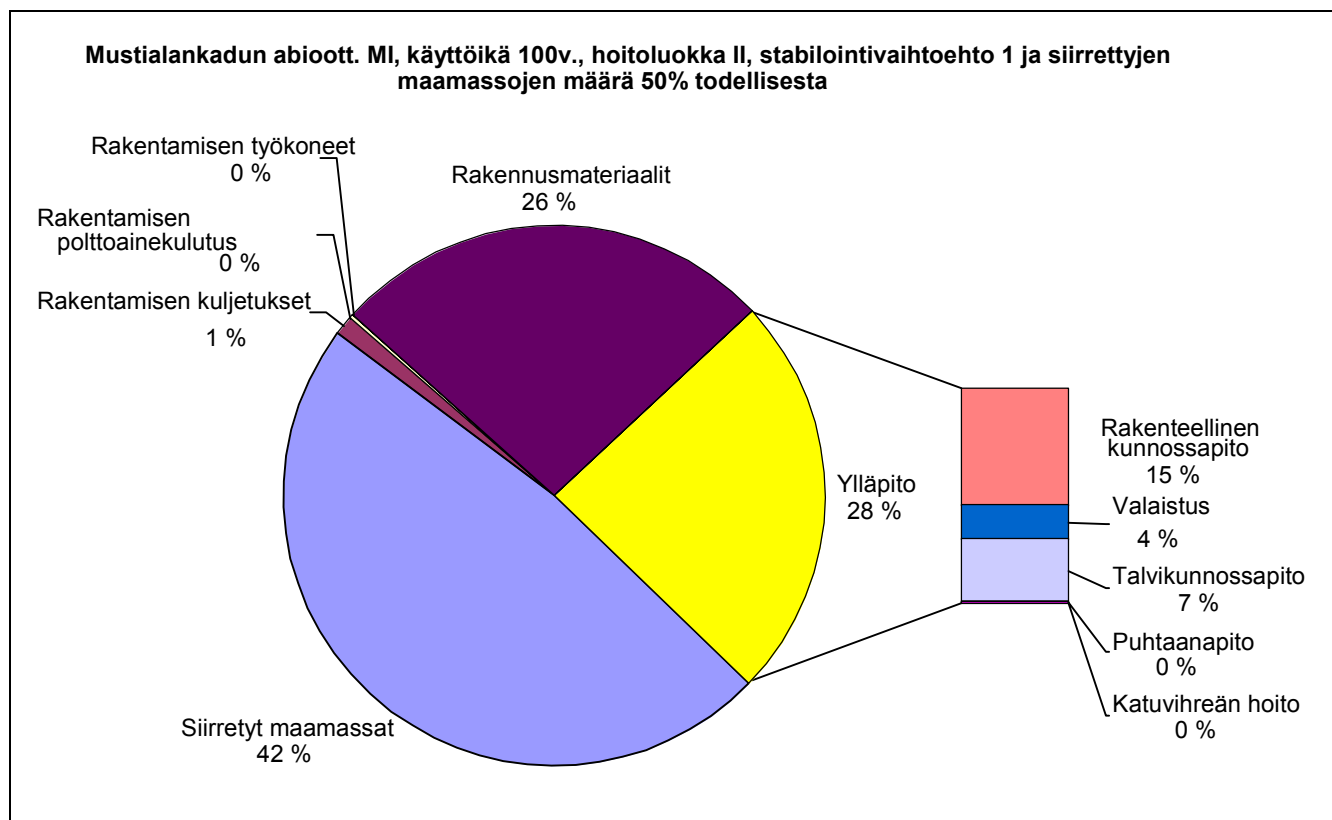
Taulukko 19 Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan, 50 ja 100 vuoden aikana.

Tuloksista voidaan havaita, että abioottisia luonnonvaroja kuluu huomattavasti enemmän rakentamisessa kuin ylläpidossa. 50 vuoden käyttöajalla rakentamisen aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on noin 15-kertainen, 100 vuoden käyttöajalla noin 8-kertainen ylläpitoon verrattuna. Sen sijaan vedenkulutus on suurempi ylläpidossa. 50 vuoden käyttöajalla ylläpidon vedenkulutus on noin 1,6-kertainen rakentamiseen verrattuna. Sadevesien johtaminen pois luonnolliselta kulultaan aiheuttaa kuitenkin 85 % veden käytöstä. Rakentamisen ja ylläpidon ilman kulutus on 50 vuoden käyttöajalla samaa luokkaa. Mustialankadun rakentamisen ja ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä verrattaessa tulee muistaa, että rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttöä verrattaessa tulee muistaa, että rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on todennäköisesti keskimääräistä katua suurempi, kun taas ylläpidon hoitoluokasta johtuen keskimääräistä alhaisempi.

Maamassojen siirtämisen suuren vaikutuksen kadun MI-lukuun osoittavat kuvat 12 ja 13. Kuvassa 12 näkyy kadun aiheuttaman abioottisten luonnonvarojen käytön eri tekijät 100 vuoden käyttöajalta edellä kuvatuilla oletuksilla. Maa-ainesten siirtäminen (sis. maaperän sekoittumisen stabilointiaineeseen, vrt. taulukko 10) vastaa lähes kolmesta neljänneksestä abioottisten luonnonvarojen käytöstä. Kuvassa 13 on edellä esitetystä poikkeavia oletuksia, jotka pienentävät siirrettyjen maamassojen osuutta luonnonvarojen käytössä: hoitoluokkaa on nostettu luokkaan II, pohjastabiloinnissa ei ole huomioitu sideaineeseen sekoitettavaa maaperää ja siirrettyjen maamassojen määrä on oletettu puolet pienemmäksi (saavutettavissa esim. toteutettua pienemmällä maanleikkauksella). Näilläkin oletuksilla siirretyt maamassat muodostavat vielä 42 % luonnonvarojen käytöstä.



Kuva 12 Eri tekijöiden vaikutus Mustialankadun aiheuttamaan uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön 100 vuoden aikana edellä ilmoitetuilla oletuksilla.



Kuva 13 Eri tekijöiden merkitys Mustialankadun aiheuttamassa uusiutumattomien luonnonvarojen käytössä ylläpidon merkitystä suurentavilla ja maa-aineksen siirtämistä pienentävillä oletuksilla.

4.3.2 Katutyypit

Tässä luvussa esitetään erilaisten katutyypien vuosittainen abiottinen luonnonvarojen kulutus (ylläpito + rakentaminen). Esimerkkikadut ovat samoja, joita käytettiin eri katutyypien rakentamisen aiheuttaman luonnonvarojen käytön laskennassa (ks. luku 4.1.4).

Esimerkkikatu 1: Erittäin raskaasti liikennöity pääkatu, jonka liikennemäärä yli 30 000 ajon./vrk. Pohjamaan kantavuusluokka on A ja kadun hoitoluokitus I.

Esimerkkikatu 2: Raskaasti liikennöity pääkatu, jonka liikennemäärä 20 000 ajon./vrk. Pohjamaan kantavuusluokka on C ja kadun hoitoluokitus I.

Esimerkkikatu 3: Kokoojakatu, jonka liikennemäärä on 5000 ajon./vrk. Pohjamaan kantavuusluokka on E ja kadun hoitoluokitus II.

Esimerkkikatu 4: Asuntokatu, jonka liikennemäärä 1000 ajon./vrk. Pohjamaankantavuusluokka on D ja kadun hoitoluokitus III.

Luvussa 4.1.4 näille esimerkkikaduille esitettiin kolme vaihtoehtoista alusrakenteeseen kohdistuvaa toimenpidettä (A, B ja C) ja esitettiin kaikille MI-luvut neliometriä kohti. Tässä luvussa jokaiselle esimerkkikadulle muodostetaan yksi MI-luku, joka sisältää sekä ylläpidon että rakentamisen aiheuttaman luonnonvarojen käytön. Ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö lasketaan hoitoluokan mukaan. Esimerkkikatujen rakentamisen erilaiset MI-luvut (ks. Taulukko 11 ja Taulukko 12) yhdistetään keskimääräisiksi MI-luvuiksi seuraavasti:

Esimerkkikadun 1 rakentamisen MI-luvuksi otetaan vaihtoehto A (ei leikkausta eikä pengerrystä). Keskimääräisen MI-luvun oletetaan muodostuvan päällysrakenteesta ja pintamaan poistosta, koska A-luokan pohjamaalla leikkausmassat voitaisiin hyödyntää päällysrakenteessa ja pengerryksessä. $MI = 1162 \text{ kg/m}^2$

Esimerkkikadun 2 rakentamisen MI-luvuksi otetaan kolmen vaihtoehdon keskiarvo, mutta pengermateriaali hyvitetään leikkauksesta. $MI = 2584 \text{ kg/m}^2$

Esimerkkikadun 3 rakentamisen MI-luvuksi otetaan B- ja C-vaihtoehtojen keskiarvo (ei massanvaihtoa). Pilaristabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö lasketaan vaihtoehdon 2 mukaisesti eli myös sideaineeseen sekoitettu maaperä huomioidaan. $MI = 6187 \text{ kg/m}^2$

Esimerkkikadun 4 rakentamisen MI-luvuksi otetaan kolmen vaihtoehdon keskiarvo, mutta pengermateriaali hyvitetään leikkauksesta. $MI = 2756 \text{ kg/m}^2$

Seuraavassa taulukossa on esitetty esimerkkikatujen 1-4 vuosittainen abiottisten luonnonvarojen kulutus 50 vuoden käyttöajalla. Tulokset on esitetty erikseen ajorataneliömetrille ja teoreettiselle katuneliömetrille. Teoreettiset katuneliömetrit ovat samoja, joita käytettiin eri katutyypin rakentamisen aiheuttaman luonnonvarojen käytön laskennassa (ks. luku 3.2.2). Eli ne muodostuvat ajoradasta, kevyen liikenteen väylästä sekä viherkaistasta.

	Ajorata-m ²			Teor. katu-m ²		
Esimerkki- katu	Rakentaminen [kg/m ² /a]	Ylläpito [kg/m ² /a]	YHT. [kg/m ² /a]	Rakentaminen [kg/m ² /a]	Ylläpito [kg/m ² /a]	YHT. [kg/m ² /a]
1	23,2	34,5	57,7	18,6	20,4	39,0
2	51,7	34,5	86,2	46,7	20,4	67,1
3	123,7	16,1	139,8	116,7	11,5	128,2
4	55,1	9,8	64,9	50,5	7,5	58,0

Taulukko 20 Esimerkkikatujen abiottinen MI kokonaisuudessaan 50 vuoden käyttöajalla.

Tarkasteltaessa teoreettisia katuneliömetrejä, jotka kuvaavat koko katualuetta, voidaan havaita, että ainoastaan esimerkissä 1 on ylläpidon aiheuttama vuosittainen luonnonvarojen käyttö suurempaa kuin kadun rakentamisen. Ero on melko pieni, ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö on noin 10 % suurempaa. Sen sijaan esimerkeissä 2 - 4 on rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö huomattavasti suurempaa kuin ylläpidon. Esimerkissä 2 rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on noin 2-kertainen, esimerkissä 3 noin 10-kertainen ja esimerkissä 4 noin 7-kertainen ylläpitoon verrattuna.

Seuraavassa taulukossa on samat tulokset 100 vuoden käyttöajalla.

	Ajourata			Teor. katu-m ²		
Esimerkki- katu	Rakentaminen [kg/m ² /a]	Ylläpito [kg/m ² /a]	YHT. [kg/m ² /a]	Rakentaminen [kg/m ² /a]	Ylläpito [kg/m ² /a]	YHT. [kg/m ² /a]
1	11,6	34,5	46,1	9,3	20,4	29,7
2	25,8	34,5	60,3	23,3	20,4	43,8
3	61,9	16,1	78,0	58,4	11,5	69,9
4	27,6	9,8	37,4	25,3	7,5	32,7

Taulukko 21 Esimerkkikatujen abioottinen MI kokonaisuudessaan 100 vuoden käyttöajalla.

Tarkasteltaessa teoreettisia katuneliömetrejä pidemmällä käyttöajalla, havaitaan, että erot ylläpidon ja rakentamisen aiheuttamassa luonnonvarojen käytössä pääosin pienenevät. Esimerkissä 1 ylläpidon kulutus kasvaa noin 2-kertaiseksi rakentamiseen verrattuna. Esimerkissä 2 rakentamisen kulutus on noin 14 % suurempaa kuin ylläpidon. Esimerkissä 3 rakentamisen kulutus on noin 5-kertainen ja esimerkissä 4 noin 3-kertainen ylläpitoon nähden.

Näiden tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavanlaisia karkeita johtopäätöksiä:

- Kun kadun käyttöikä on 50 vuotta, on rakentamisen aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö yleensä ylläpitoa huomattavasti suurempaa. Ylläpidon ja rakentamisen kulutus voi olla samaa luokkaa, jos rakentamisen kulutus on suhteellisen alhaisella tasolla (esim. kantava pohjamaa eikä suuria leikkauksia) ja ylläpidon hoitoluokka on I
- Kun kadun käyttöikä on 100 vuotta, on rakentamisen aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö suurempaa, jos kadun hoitoluokka on II tai III. Hoitoluokan ollessa I, ylläpidon kulutus voi olla rakentamista huomattavasti suurempaakin, kun on kyseessä rakentamisen kannalta edullinen tapaus. Jos katu rakennetaan pohjamaille E, F tai G (vaatii pohjanvahvistusta), on rakentamisen aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö suurempaa kuin ylläpidossa hoitoluokasta riippumatta.

Näiden tulosten pohjalta ei vielä pystytä määrittelemään Helsingin katuverkon rakentamisen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä kokonaisuudessaan, koska tämä edellyttäisi jo rakennettujen katujen maapohjan ym. olosuhteiden tuntemista. Sen selvittämiseen ei ollut tämän tutkimuksen puitteissa riittävästi resursseja. Myöskään HKR:n toiminnan kehittämisen kannalta tieto ei ole yhtä relevanttia kuin tieto rakennettavien katujen ja katujen ylläpidon luonnonvarapanoksesta. Siksi koko kaupunkia koskevia tietoja on esitetty ainoastaan katujen ylläpidosta (vrt. 4.2.1).

4.4 Eri tekijöiden vaikutus kadun MI-lukuun

4.4.1 Maaperä

Jos tarkastellaan yhden katuneliömetrin rakentamisen vaatimia luonnonvaroja, on selvää, että heikolle maapohjalle rakentaminen vaatii enemmän luonnonvaroja kuin kantavammalle maapohjalle rakentaminen. Kadun rakennekerrosten tulee olla heikoilla pohjamailla paksummat ja maapohjan kantavuutta täytyy lisätä pohjanvahvistustoimenpitein. Tarkasteltaessa pohjamaan kantavuuden vaikutusta normaalipäälysrakenteiden MI-lukuihin (ks. Taulukko 9) havaitaan, että MI-luku kasvaa melko tasaisesti pohjamaan kantavuuden pienentyessä. Heikoimman kantavuusluokan (G) normaalipäälysrakenteen MI-luku on keskimäärin viisinkertainen verrattuna kantavimman luokan (A) MI-lukuun.

Jos päälysrakenteiden lisäksi huomioidaan myös pohjanvahvistuksessa käytettävät (abioottiset) luonnonvarat, kasvaa heikolle maapohjalle rakennettavan kadun luonnonvarojen käyttö vielä lisää verrattuna kantavalle pohjalle rakennettavaan katuun. Verrattaessa 3E-luokan katua (liikennemäärä 2500-10 000 ajon./vrk ja maapohja esim. kuivak. savea), jossa pohjanvahvistusmenetelmänä on massanvaihto, ja 1E-luokan katua (liikennemäärä 2500 - 10000 ajon./vrk ja maapohja kalliota), on 3E-luokan kadun aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö 40-kertainen verrattuna 1E-luokan katuun. Pilaristabilointi on luonnonvarojen käytön kannalta selvästi parempi vaihtoehto kuin massanvaihto. Riippuen menetelmätulkinnasta, siis lasketaanko pilaristabiloinnin aiheuttamaksi luonnonvarojen käytöksi ainoastaan sideaine vai sideaine sekä maaperä, johon sideaine sekoitetaan (pilareiden tilavuus), on 3E-luokan kadun aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö 4- tai 9-kertainen verrattuna 1E-luokan katuun. Ero pilaristabiloinnin eduksi on siis huomattava.

4.4.2 Liikenne

Pohjamaan kantavuuden lisäksi kadun rakennekerrosten paksuuteen vaikuttaa kadun tuleva liikennemäärä. Liikennemäärän lisääntyessä kadun kantavuusvaatimus kasvaa eli rakennekerrosten paksuudet kasvavat. Raskaasti liikennöidyn pääkadun eli katuluokan 1 (liikennemäärä >30 000 ajon./vrk) normaalipäälysrakenteen MI-luku on keskimäärin 60 % suurempi kuin vähäliikenteisen asuntokadun eli katuluokan 5 (liikennemäärä 10-500 ajon./vrk). Jos näille kaduille lasketaan MIPS-arvot, jolloin MI-luku jaetaan kadun päällä kulkevalla liikennemäärällä on selvää, että runsasliikenteisen kadun MIPS-arvo on huomattavasti pienempi vaikka katu olisi leveämpi (ks. myös 4.5). Karkeana esimerkkinä voidaan verrata katuluokkien 1A ja 5A katuja. Jos katuluokan 1 liikennemäärän oletetaan olevan 30 000 ajon./vrk ja katuluokan 5 puolestaan 500 ajon./vrk sekä ajoradan leveyden oletetaan olevan katuluokalla 1 nelinkertainen suhteessa katuluokkaan 5, on katuluokan 5 MIPS-arvo lähes yhdeksänkertainen verrattuna katuluokkaan 1.

Kadun liikennemäärä vaikuttaa myös kadun hoitoluokitukseen. Liikenteellisesti tärkeiden katujen hoitoluokitus on korkeampi. I-luokan kaduilla suoritetaan kunnossapidon toimintoja useimmin, minkä johdosta ylläpidon aiheuttama luonnonvarojen käyttö kasvaa. Hoitoluokat eivät ole kuitenkaan kiinteästi sidottuja tiettyyn liikennemäärään. Hoitoluokkaan I kuuluvat pääkadut, hoitoluokkaan II kokooja- ja joukkoliikennekadut ja hoitoluokkaan III muut kadut.

Hoitoluokan I ajorataneliömetrin ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on noin kaksinkertainen II-luokan ajorataneliometriin verrattuna ja 3,5-kertainen III-luokan ajorataneliometriin verrattuna. Kevyen liikenteen väylillä erot ovat pienempiä: I-luokan kevyen liikenteen väylän (A-luokka) ylläpidon aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö on 40 % suurempaa kuin II-luokalla ja 90 % suurempaa kuin III-luokalla.

Erot hoitoluokkien ylläpidon vedenkulutuksessa ovat pienempiä kuin erot abioottisten luonnonvarojen kulutuksessa. I-luokan ajorataneliömetrin ylläpito kuluttaa vettä vain 6 % enemmän kuin II-luokan ajorataneliömetrin ylläpito. III-luokkaan verrattuna on ero 55 %. Kevyen liikenteen väylillä ero I- ja II-luokan välillä on 12 % ja I- ja III-luokan välillä 29 %.

Taulukossa 22 on esitetty eri luonnonvarojen käytön jakaantuminen katuluokkien ajoradoille ja kevyen liikenteen väylille.

	I-luokka (”pääkatu”)		II-luokka (”kokoojakatu”)		III-luokka (”tonttikatu”)	
	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.
Abioottiset [kg/m/a]	548,5	49,3	164,0	32,9	74,1	28,0
Abioottiset [kg/m²/a]	34,5	15,9	16,1	11,4	9,8	8,5
Vesi [kg/m/a]	3739,9	66,2	2271,6	55,3	1156,3	54,4
Vesi [kg/m²/a]	235,2	21,4	222,7	19,1	152,1	16,5
Ilma [kg/m/a]	51,4	7,0	32,0	4,7	13,9	7,2
Ilma [kg/m²/a]	3,2	2,3	3,1	1,6	1,8	2,2

Taulukko 22 Luonnonvarojen käyttö kadun ylläpidossa, kg/vuosi.

4.4.3 Kadun korkeusaseman sopeuttaminen ympäristöön

MIPS-menetelmän mukaisesti luonnonvarojen käyttöksi lasketaan kaikki alkuperäiseltä paikaltaan siirretty maaperä eli maaleikkaukset ja poistettu pintamaa. Kadun ja sitä ympäröivien tonttien korkeusasemien tulee sopeutua toisiinsa, jotta saavutetaan liikenteelliset ja maisemalliset vaatimukset. Kadun korkeusaseman suunnittelussa lähtökohtana on laajemman alueen katujen tasauksen yleissuunnitelma. Tämän vuoksi katujen tasausviiva on pidettävä usein melko alhaalla ja katujen rakentaminen saattaa muodostua leikkausvoittoiseksi (vrt. s.18). Tällöin myös kadun rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö kasvaa huomattavasti. Leikatun maaperän tiheys on yleensä luokkaa 1500-2000 kg/m³, joten maaleikkaukset kohottavat siirretyn maaperän osuuden luonnonvarojen käytöstä herkästi korkeaksi.

Rakentamiseen kelpaava leikattu maa kuitenkin hyödynnetään yleensä joko samassa kohteessa tai toisessa rakennuspaikassa. Vaikka tällaisia ylijäämämaita kohdistetaan MIPS-menetelmän mukaisesti luonnonvarojen käyttönä siihen kohteeseen, josta maa-aines on siirretty, on laajemman kokonaisuuden kannalta olennaisinta, että kaikki hyödynnettävissä olevat maamassat yleensä käytetään. Savimaat sen sijaan kuljetetaan yleensä maankaatopaikoille. Ylijäämäsavua syntyy leikkausten lisäksi massanvaihdossa. Rakentamiseen kelpaamattomia ylijäämämassoja syntyy pääkaupunkiseudulla vuosittain 2-3 miljoonaa m³, josta savimaiden osuus on noin puolet. Vastaanottoaikojen vähäisyyden vuoksi on Helsingissä tavoitteena saven poiskuljetustarpeen merkittävä vähentäminen.

Tähän voidaan päästä muun muassa suosimalla pohjanvahvistusmenetelmiä, jotka mahdollistavat saven paikalleen jättämisen sekä kehittämällä saven hyötykäyttöä massastabiloinnilla. Helsingin Viikissä on koerakennuskohde, jossa tutkittiin massastabiloidun saven soveltuvuutta katurakenteen tukikerrokseen. Savikatukokeilu oli onnistunut eli kantavuuden alenemaa jäätyminen ja sulamisen vaikutuksesta ei esiintynyt. Kehittämällä saven hyötykäyttöä edelleen voitaisiin vähentää luonnonvarojen käyttöä maarakentamisessa. (Savimassojen hyötykäytön tulevaisuus 2004; Mäkelä ym. 2000)

Kadun korkeusasemaa voidaan joutua myös nostamaan pengerryksen avulla. Jos pengermateriaalia ei saada saman tai toisen työmaan leikkauksista, voi pengermateriaali nostaa MI-lukua selvästikin.

4.4.4 Helsingin Energian kivihiilen polttamisen sivutuotteet

Yksi keino katurakentamisen ekotehokkuuden parantamiseen on rakennusmateriaalien korvaaminen kierrätysmateriaaleilla. Tällöin MIPS-menetelmän mukaisesti kierrätysmateriaalin materiaalipanoksena huomioidaan ainoastaan mahdollinen materiaalin käsittely ja kuljetus. Itse materiaalin MI-luvuksi tulee nolla. Kadun rakentamisen MI-luku pienenee siis käytännössä korvattun materiaalin MI-luvun verran. Katurakentamisessa käytettyjä uusiomateriaaleja tai sivutuotteita ovat muun muassa kaivosteollisuuden sivukivet, kivihiili- ja turvetuhkat, metallurgiset kuonamurskeet, maasuunihiekka ja betonimurske (Mäkelä & Höynälä 2000). Tässä tutkimuksessa tarkastellaan lyhyesti katurakentamisen aiheuttaman luonnonvarojen käytön vähentämistä Helsingin Energian kivihiilivoimalaitosten tuhkia käyttämällä.

Helsingissä on käytössä kaksi kivihiilivoimalaitosta, Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitokset. Kivihiilen poltossa syntyy tuhkaa noin 10-15 % kivihiilen alkuperäisestä painosta. Tuhkia syntyy vuosittain noin 120 000 tonnia. Tuhkista hyödynnetään tilanteesta riippuen suuruusluokaltaan noin 50 000 tonnia. Hyödyntämättömät tuhkat viedään kaivostäyttöön Lohjan Tytyriin.

Muodostuvasta tuhkasta suurin osa on lentotuhkaa (LT), joka erotetaan savukaasuista sähkösuodattimien avulla. Lentotuhka on jauhemaista materiaalia, jonka ominaisuuksiin vaikuttaa kivihiilen laatu ja polttotekniikka. Lentotuhka on kevyttä, rakenteessa lujittuvaa ja sen lämmönjohtavuus on pienempi kuin esimerkiksi karkearakeisilla kiviainesmateriaaleilla. Varastointi heikentää lentotuhkan ominaisuuksia. Raskaimmat partikkelit laskeutuvat polttokattilan pohjalle, josta pohjatuhka (PT) otetaan talteen. Pohjatuhka vastaa rakeisuudeltaan karkeaa hiekkaa tai soraa, sen raekoko on 1,5-5 mm. Pohjatuhka ei lujitu rakenteessa ja sen ominaisuuksiin ei vaikuta välivarastointi. Rikinpoistoprosessissa syntyy lisäksi rikinpoistotuotetta (RPT). Rikinpoistotuotteen raekoko on lähellä lentotuhkaa. Hanasaaren ja Salmisaaren voimalaitoksissa syntyy vuosittain yhteensä noin 80 000 t lentotuhkaa, 20 000 t pohjatuhkaa ja 20 000 t rikinpoistotuotetta. Suurin osa tuhkamäärästä syntyy kylmien kuukausien aikana eli syyskuun ja maaliskuun välillä. (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001; Mäkelä & Höynälä 2000; Finergy 2000)

Maarakentamisessa käytetään yleensä lentotuhkaa ja pohjatuhkaa. Rikinpoistotuotetta voidaan käyttää lentotuhkan seassa suositusten mukaan korkeintaan 15 % massan kuiva-ainepitoisuudesta. Tuhkia voidaan käyttää esimerkiksi kadun päällysrakenteissa ja erilaisissa täytöissä. Jotta katu täyttää toiminnalliset ja rakenteelliset vaatimuksensa, tulee kadun rakentamisessa käyttää laatuvaatimukset täyttäviä rakennusmateriaaleja ja kerrospaksuuksien tulee olla riittävän suuria. Käytettäessä tuhkia maarakentamisessa tulee muun muassa seuraavia asioita ottaa huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa:

- Kivihiilen sisältämät epäpuhtaudet, lähinnä raskasmetallit päätyvät lähes kokonaan lento- ja pohjatuhkaan. Vaikka haitta-ainepitoisuudet ovat yleensä melko alhaiset, tulee tuhkamateriaalin käyttökelpoisuus ympäristön kannalta varmistaa. Myös ympäristöluvan tarve tulee selvittää. (Finergy 2000)
- Tuhkia muodostuu soveliaimman maarakentamisajan aikana vähän, joten tuhkan saatavuus tulee varmistaa jo kohteen suunnitteluvaiheessa (Finergy 2000).
- Tuhkien ominaisuudet ovat parhaimmillaan kuivana varastoituna. Siilokapasiteettia on Hanasaassa lentotuhkalle $2 \times 800 \text{ m}^3$ ja rikinpoistotuotteelle $2 \times 900 \text{ m}^3$. Salmisaassa on lentotuhkalle 2000 m^3 ja 300 m^3 siilo sekä rikinpoistotuotteelle 2000 m^3 siilo. Yhden varastosiilon purkunopeus on noin 35 t/h. (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001)
- Pohjavesialueilla ei saa käyttää tuhkia (Finergy 2000).
- Tuhkarakenne tulee suojata muilla materiaaleilla siten, että se ei joudu alttiiksi eroosiolle tai kulutukselle. Kaduilla tavanomainen asfalttipäällyste on riittävä suoja tuhkarakenteelle. (Finergy 2000)
- Lujittuva lentotuhka ei sovellu putkikaivantojen alkutäyttöön putkien ja kaapeleiden päälle ylöskaivun vaikeuden vuoksi. Tuhkia, joiden puristuslujuus on enintään 1 Mpa (eli puolilujat tai heikot tuhkat, esim. kasatuhka tai pohjatuhka), voidaan käyttää kaivantojen täytemateriaalina, kun pohjavedenpinta on riittävän alhaisella tasolla. Sivutäyttö on mahdollista tehdä tuhkalla putken puoliväliin saakka, jolloin putken uusiminen tai korjaaminen ei tuota vaikeuksia. (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001)
- Tuhkien korroosio-ominaisuudet on otettava huomioon putkijohtokaivannoissa. Haponkestävä teräs, lyijy, betoni ja muovi kestävät tuhkakäytössä, mutta valurauta, teräs ja alumiini syöpyvät voimakkaasti. Helsingin Vesi suhtautuu kielteisesti tuhkien käyttöön vesijohto- ja viemärikaivannoissa. Lisäkustannuksia aiheuttaa korroosiosuojaus sekä putkikaivantojen kaivumassojen kuljetus kaatopaikalle, koska lentotuhkia käytettäessä kaivumassat on yleensä kuljetettava kaatopaikalle. Mikäli lujittunut tuhka kaivetaan pois rakenteesta, sitä ei voida käyttää uudelleen vastaavassa rakenteessa vaan se on kuljetettava kaatopaikalle, maankaatopaikalle tai toisarvoiseen täyttöön ympäristönäkökohdat huomioiden. Poiskaivettu tuhka korvataan vastaavan kantavuuden ja tilavuuspainon omaavalla materiaalilla. Mikäli poiskaivettu lujittunut tuhka halutaan käyttää uudelleen, on se murskattava ja stabiloitava sopivalla sideaineella. Pohjatuhka voidaan käyttää uudelleen rakenteessa, koska se ei lujitu. (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001)
- Tuhkamateriaalit voivat liettyä joutuessaan kosketuksiin veden kanssa ennen lujittumistaan, joten tuhkan levitys ja tiivistys ei saa tapahtua rankkasateen aikana (Finergy 2000).
- Tuhkan pölyäminen on huomioitava rakentamisessa ja kuljetuksissa. (Finergy 2000)
- Rakennuspohjan on oltava kuiva tuhkia levitettäessä. Kostealle pohjamaalle on rakennettava veden nousun katkaiseva suodatinkerros. Mahdollinen lumi ja jää on myös poistettava tuhkarakenteen alta. (Finergy 2000)
- Koska kivihiilen laatu ja polttoprosessi vaikuttavat tuhkien laatuun, tulee niiden ominaisuudet tutkia aina otettaessa tuhkaa ensimmäisen kerran käyttöön sekä sen jälkeen vähintään aina kun kivihiilen koostumus tai polttoprosessi muuttuu. (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001)
- Suunnittelussa on huolehdittava, että kasvien juuret eivät joudu suoraan kosketuksiin kivihiilituhkan kanssa, ellei ole näyttöä, että kyseiset kasvit viihtyvät tuhkassa (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001).
- Käytettäessä tuhkia päällysrakenteen yläosassa tulee tuhkien routimattomuus tarkistaa (Finergy 2000).
- Välivarastointitapa ja -aika vaikuttaa oleellisesti lentotuhkan ja rikinpoistotuotteen ominaisuuksiin (Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001).

Tuhkarakenteiden ekotehokkuus

Lujittuvien tuhkien (LT, LT + RPT ja sideainestabiloitu tuhka) käyttö on teknisesti mahdollista kaikissa päällysrakenteen kerroksissa suodatinkerroksesta kantavaan kerrokseen saakka. Rakenteesen tiivistettynä lujittumatonta tai heikosti lujittuvaa kasavarastoitua tuhkaa (LT tai LT + RPT) ja pohjatuhkaa tai -kuonaa voidaan lisäksi käyttää pengertäytteenä sekä alempiluokkaisten rakenteiden jakavassa kerroksessa. Tyypilliset tuhkarakennetyypit on esitetty seuraavassa kuvassa. (Finergy 2000)

	Tuhka pengertäytteessä	Tuhka jakavassa kerroksessa	Tuhka kantavassa kerroksessa	Tuhka "massiivirakenteena"
Asfaltti				
Kantava kerros	murske	murske	tuhka A, (B) murske tuhka A, B	murske
Jakava kerros	murske (tuhka)	tuhka B, C tuhka D, E (alempiluokkainen)	murske/ vanha tierak.	tuhka A, B
Pengertäyte/ Suodatinkerros	tuhka C, D, E (pengert.)	hiekkä (suodatink.) pohjamaa	hiekkä (suodatink.) pohjamaa	hiekkä (suodatink.) pohjamaa

Kuva 14 Tyypillisiä tuhkarakennetyyppejä (Finergy 2000)

tuhka A = erittäin luja tuhka esim. stabiloitu siilotuhka

tuhka B = luja tuhka, esim. LT+ RPT-seos

tuhka C = puoliluja tuhka, esim. pelkkä siilovarastoitu LT tai stabiloitu kasatuhka

tuhka D = heikko tuhka, esim. kasavarastoitu tuhka

tuhka E = lujittumaton tuhka, esim. pohjatuhka tai kuona

Finergyn tuhkarakentamisohteessa on esitetty normaalipäällysrakenteiden kerrospaksuudet kun tuhkaa on käytetty jakavassa kerroksessa. Seuraavassa taulukossa on esitetty näiden tuhkarakennevaihtoehtojen MI-luvut neliometriä kohti. (Finergy 2000)

MI kg/m ²	Pohjamaan kantavuusluokka						
	A	B	C	D	E	F	G
1	772	772	1049	949	1549	1549	1549
2	713	713	861	861	1461	1461	1461
3	566	566	772	772	1372	1372	1372
4	448	448	566	566	1166	1166	1166
5	448	448	566	566	1166	1166	1166
6	380	380	506	406	1006	1006	1006

Taulukko 23 Normaalipäällysrakenteiden rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö (MI-luku kg/m²), kun tuhkaa on käytetty jakavassa kerroksessa.

Pohjamailla A, B ja C ei tukikerrosta (jakava kerros + suodatinkerros) tarvitse rakentaa. Pohjamailla E, F ja G on 0,3 metrin paksuinen suodatinkerros. Suodatinkerroksessa käytettävä hiekka voidaan korvata erityistapauksissa myös suodatinkankaalla. Sen käyttö tulee harkita tapauskohtaisesti, joten näissä laskelmissa ei kangasvaihtoehtoa huomioida. Laskelmissa on huomioitu ainoastaan rakennusmateriaalit eli kuljetukset ja muu energiankulutus on rajattu ulkopuolelle. Laskelmissa on myös oletettu, että tuhkaa ei ole käsitelty millään tavalla eli mahdollista sideaineen lisäystä ei ole huomioitu.

Katurakentamisen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä voidaan siis vähentää kivihiilen polton sivutuotteita käyttämällä. Kun MI-luku pienenee, ekotehokkuus lisääntyy, koska tässä tapauksessa saadaan pienemmällä luonnonvarapanoksella sama hyöty kuin aikaisemmin. Tuhkarakenteiden MI-lukuja voidaan verrata normaalipäällysrakenteiden MI-lukuihin (ks. Taulukko 9). Tuhkarakenteille voidaan laskea ns. factor-luku. Factor-luku on kerroin, joka ilmaisee, kuinka paljon luonnonvarojen tuottavuus kasvaa. Seuraavassa taulukossa on esitetty taulukon 23 rakenteiden factor-luku verrattuna rakenteisiin, joissa on käytetty ainoastaan neitseellisiä luonnonvaroja. Nämä kertoimet kertovat ainoastaan kadun päällysrakenteen ekotehokkuuden kasvun eivätkä koko kadun rakentamisprosessin tehostumista. Päällysrakenteen osuus koko kadun rakentamisen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä vaihtelee runsaasti. Mustialankadulla osuus oli 20 %. Jos Mustialankadun tuloksista eliminoidaan leikkaus, pengerrys ja ylijäämämassojen käyttö, on päällysrakenteen osuus kadun rakentamisen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä jo 70 %.

Factor-luku	Pohjamaan kantavuusluokka				
Katuluokka	A, B, C	D	E	F	G
1	1,0	1,8	1,4	1,6	2,0
2	1,0	1,7	1,3	1,6	1,9
3	1,0	1,8	1,3	1,7	1,9
4	1,0	2,1	1,4	1,9	2,2
5	1,0	2,1	1,2	1,6	1,9
6	1,0	2,5	1,6	2,0	2,4

Taulukko 24 Kadun päällysrakenteen tuhkaratkaisujen factor-luku eli kerroin, joka ilmaisee kuinka paljon luonnonvarojen tuottavuus kasvaa verrattuna rakenteisiin, joissa on käytetty ainoastaan neitseellisiä luonnonvaroja. Pohjamaan kantavuusluokilla A-C ei siis ole tuhkille käyttökohdetta päällysrakenteessa.

Tuhkien käytön edellytykset ja mahdollisuudet

Teknisesti kivihiilivoimalaitosten tuhkat soveltuvat hyvin katurakentamisen raaka-aineiksi korvaamaan luonnon kiviaineeksiä. Käyttö edellyttää kuitenkin erityissuunnittelua ja rakennuskohteen soveltuvuutta tuhkarakentamiseen. Tuhkien hyötykäytön suurin este on tuhkien syntyajan ja soveltuvimman rakentamisajankohdan eriaikaisuus. Yli 90 % tuhkista syntyy syyskuun ja huhtikuun välillä. Rakentamisominaisuuksiltaan käyttökelpoisinta tuhkaa eli lentotuhkaa syntyy 120 000 tonnin kokonaismäärästä noin 60-70 %. Lentotuhkan ominaisuudet heikkenevät kasavarastoinnissa ja koska lentotuhkan siilokapasiteetti on 3900 m³, ovat hyötykäytön mahdollisuudet rajalliset. Saatavuusongelmien vuoksi tuhkakohneiden rakentaminen tulisi suunnitella huolellisesti. Jos koko vuosittain syntyvä tuhkamäärä (120 000 t) voitaisiin hyödyntää rakentamisessa, säästettäisiin kiviaineeksiä karkeasti arvioiden n. 300 000 t, sillä tuhkat ovat luonnon kiviaineeksiä kevyempiä rakennemateriaaleja ja niitä käyttämällä voidaan rakennekerrokset rakentaa ohuempina (vrt. Finergyn tuhkarakentamisohje, johdanto ”tuhkien hyötykäytön merkitys”, s.1). Säästöä voidaan verrata tietoon, että Suur-Helsingin alueella käytetään vuosittain rakentamiseen n. 12 milj. tonnia kiviaineeksiä. Tästä määrästä n. 80 % on varta vasten louhittua ja 10-20 % on ylijäämämaita (Terho Kääriäinen, henkilökohtainen tiedonanto 24.3.2004).

Jos Suur-Helsingin alueella syntyisi karkeasti ottaen yhteensä kaksin verroin tuhkia kuin Helsingissä, voitaisiin niillä korvata noin 5 % käytetystä kiviaineksesta. Tässä valossa kivihiilen polton sivutuotteiden käytön lisäämisellä voisi olla potentiaalia maa-aineksen käytön vähentämisessä, vaikkei se yksin pystyisi pienentämään rakentamisen materiaalipanosta ratkaisevasti nykyisestä. Käytön lisääminen lienee enemmän järjestely- ja työtapojen kehittämisen kuin tekninen kysymys. Ekotehokkuuden ja dematerialisaation kannalta kiviainesten korvaaminen kivihiilen polton sivutuotteilla on siis toivottavaa ja sen lisäämiseen kannattaisi pyrkiä.

4.4.5 Katulämmitys

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin myös katulämmityksen vaikutusta katujen ylläpidon aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön. Katulämmitysjärjestelmän rakentamista tai huoltoa ei tutkittu, vaan järjestelmän energiankulutuksen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä verrattiin normaalin talvikunnossapidon aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön.

Katulämmityksen vaatiman energian arvioiminen ei ole yksiselitteistä. Lämmityksessä hyödynnetään kaukolämmön paluuvettä. Tämän vuoksi katulämmitys parantaa voimalaitoksen hyötysuhdetta ja energian tuottaminen vaatii noin 20 % tavallisen energiantuotannon vaatimasta polttoainemäärästä (ks. luku 3.3.4). Katulämmityksessä kuluu siten todellisuudessa energiaa 300 kWh:n sijaan noin 60 kWh vuodessa neliometriä kohti. Tämä pätee silloin, kun katulämmitys on pienimittakaavaista. Jos lämmitettäviä katuosuuksia rakennetaan huomattavasti enemmän, joudutaan samanlaiseen tilanteeseen kuin hyvin kylminä talvipäivinä, jolloin ei ”ylijäämäenergia” enää riitä, vaan katulämmitystä varten joudutaan varsinaisesti tuottamaan lämpöä.

Tulosten perusteella on nähtävissä, että katulämmityksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on selvästi suurempi kuin talvikunnossapidon. Katulämmitys kuluttaa abioottisia luonnonvaroja noin 3,5-kertaisesti, vettä noin 5-kertaisesti ja ilmaa noin 11-kertaisesti normaaliin talvikunnossapitoon verrattuna (vrt. taulukko 17).

Kun katulämmitystä käytetään liukkauden torjunnankeinona, säästyy luonnonvaroja mm. vähemmän liukastumisen ja kiinteistöjen pienemmän siivoustarpeen muodossa. Näistä säästöistä ei ole

julkaistu sellaista kvantifioitua tietoa, jonka avulla voitaisiin säästöjen suuruusluokkaa arvioida ja verrata kadunlämmityksen aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön. Pihlajan (2001:4-5) mukaan Helsingin kantakaupungissa sattuu liukkaan kelin jalankulkuonnettomuuksia vuodessa keskimäärin 13-16. Tämä suhteellisen pieni lukumäärä viittaa siihen, että onnettomuuksien vähentämiseksi olisi lämmitettävä melko suuri pinta-ala.

4.4.6 Muut tekijät

Kadun alaiset verkostot

Kaupunkialueella jokaisen kadun alla sijaitsee yleensä runsaasti erilaisia verkostoja, muun muassa vesi- ja viemärijohtoja ja kaapeliverkostoja. Tässä työssä tarkastellaan katua ainoastaan liikenneväylänä. Kaikki kadun alaiset verkostot, jotka eivät ole välttämättömiä kadun toiminnan kannalta, on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Verkostoista huomioidaan siis ainoastaan valaistuksen ja kuivatuksen vaatimat kadun alaiset rakenteet.

Muiden verkostojen rakentamisen ja korjauksen aiheuttamat materiaalivirrat ovat kuitenkin yhteydessä kadun materiaalivirtoihin. Katurakenteita joudutaan esimerkiksi avaamaan näiden verkostojen korjaamisen vuoksi. Korjaamisen vaatimat materiaalipanokset on luonnollisesti laskettava kunkin verkoston eikä kadun materiaalipanokseen kuuluvaksi. Näin on menetelty esimerkiksi parhaillaan käynnissä olevassa TKK:n ja Lahden kaupungin hankkeessa Kaupungin ekotehokkuuden parantaminen, case Lahti, jossa selvitetään muun ohella vesi- ja jätevesihuollon materiaalipanoksia.

Erilaisten kadunalaisten verkostojen rakennus- ja korjaustoimenpiteet aiheuttavat ylimääräisiä materiaalivirtoja, koska niissä esimerkiksi sekoittuu eri kiviaineksia keskenään, joita on sitten korvattava uusilla materiaaleilla. Siksi tällaisten töiden koordinointi ja samanaikainen toteuttaminen vähentää paitsi liikenteen häirintää myös materiaalipanoksia.

4.5 Katujen MIPS

MIPS-luku (material input per service unit eli materiaalipanoksen palvelusuoritetta kohden) voidaan laskea loppukuluttajan tavoiteltavissa oleville palveluille (Schmidt-Bleek 2000:112-113). Katujen kuluttajalle tarjottava palvelu, eli niistä saatava hyöty, on mahdollisuus liikkua paikasta toiseen. Palvelusuorite, johon materiaalipanoksen suhteutetaan, on silloin henkilön tai tavaratonnin siirtyminen kilometrin verran eli henkilökilometri tai tonnikilometri. Lisäksi on järkevää ottaa palvelusuoritteeksi myös ajoneuvokilometri, koska silloin voidaan laskea MIPS-lukuja myös ajoneuvojen erilaisille täyttöasteille. Tarkasti ottaen henkilö- tai tonnikilometritkään eivät ole kuluttajan kannalta varsinaisia loppupalveluja, vaan pelkkiä välineitä loppupalvelujen (kuten elintarvikkeiden saaminen kotiin tai loma-ajan virkistys) aikaansaamiseksi. Ne ovat kuitenkin välttämätön välivaihe loppupalvelujen määrittämiseksi.

Tie- ja raideliikenteelle on ominaista, että erittäin suuri osa abioottisesta materiaalipanoksesta muodostuu infrastruktuurista ja melko pieni osa infrastruktuuria käyttävästä liikenteestä (vrt. Pusenius 2004 ja Vihermaa 2004). Tämän tutkimuksen kannalta tieto on olennaista kahdella tavalla. Ensinnäkin se tarkoittaa, että yleisesti sovellettavia MIPS-lukuja ei voida laskea ilman laajempaa katu-

verkon ja sen alla olevan maapohjan analysointia. Tähän ei kuitenkaan ollut resursseja tämän tutkimuksen puitteissa. Toiseksi, on katujen MIPS-tarkastelussa, kuten tie- ja raideliikenteen tapauksessa, kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, millä perusteella infrastruktuurin materiaalipanokset jaetaan eli allokoidaan eri hyötyjien (esimerkiksi erilaiset katua käyttävät liikennemuodot) kesken. Tähän allokontikysymykseen liittyy katujen tapauksessa kaksi kysymystä. Ensimmäinen kysymys on infrastruktuurin jakaminen eri liikennemuotojen kesken ja toinen kysymys, minkä verran katurakenteen materiaalipanokset on allokoitava sitä käyttävälle liikenteelle, ja minkä verran ne ovat kaupungissa elämisen välttämätön ja nykyisenlaisesta liikenteestä riippumaton edellytys.

Liikenteen ja muun toiminnan välinen allokonti on ratkaistu tässä tutkimuksessa allokoimalla ajoradan materiaalipanoksen kokonaisuudessaan ajoneuvoliikenteelle, mutta jättämällä suhteellisen merkittävät viheralueiden ja kevyen liikenteen väylien materiaalipanokset tarkastelun ulkopuolelle. Tämä menettely johtanee melko alhaisiin MIPS-lukuihin, koska viherkaistan ja kevyen liikenteen väylän (MI:n kannalta merkittävä) alusrakenne on yleensä samanlainen koko kadun leveydeltä, ja yhtenä sen määrittävänä tekijänä on liikenne. Alusrakenteen kannalta merkittävämpi tekijä on kadun maapohja, jonka puolestaan määrää kaupunkirakenne ja sen suunnittelu. Esimerkiksi Viikin pehmeisiin, savipitoisiin maihin ei olisi rakennettu niin paljon katuja ilman Viikkiin suunniteltua huomattavaa asutusta. Tämän toisen allokontikysymyksen ratkaiseminen vaatisikin laajempaa keskustelua ja pohdintaa yhdyskuntarakenteen kehityksestä ja materiaali-intensiteetistä, mihin ei tämän tutkimuksen puitteissa ollut resursseja eikä se myöskään ollut tutkimuksen tavoite.

Katua käyttävien liikennemuotojen välisen allokontin ääri vaihtoehdot ovat liikenteen painoon ja ajoneuvomäärään perustuva allokonti. Liikennevälineiden paino vaikuttaa päällysrakenteen, erityisesti päällysteen kulumiseen (ja uusimistarpeeseen), kun taas ajoneuvojen määrä vaikuttaa kadun mitoitustarpeeseen ja siten myös alusrakenteen materiaalipanokseen. Tässä tutkimuksessa on käytetty allokontiperusteena ajoneuvomäärää, koska sen perusteella voidaan tehdä alustavia MIPS-tarkasteluja ilman katuverkon ja sen käyttäjien syvällistä analyysiä. Tässä käytetty allokontitapa tarkoittaa, että painoltaan kevyt, mutta määrältään merkittävä henkilöautoliikenne saa suhteellisen korkeat MIPS-luvut ja painava, mutta määrältään vähäisempi raskas liikenne saa suhteellisen alhaiset luvut (vrt. Pusenius 2004:72). Jos kaupunkiliikenteen materiaali-intensiteettiä halutaan analysoida kattavasti, on tarkasteluun sisällyttävä myös ajoneuvojen pysäköintijärjestelyt ja muita tähän tutkimukseen kuulumattomia tekijöitä. On siis muistettava, että tässä esitettyjä lukuja voidaan pitää ainoastaan alustavina, suuruusluokkaa ilmaisevina katuliikenteen MIPS-lukuina. Kaupunkiliikenteen tarkempaa MIPS-tarkastelua on tarkoitus suorittaa FIN-MIPS Liikenne –hankkeessa.

Katujen MIPS-luvut (MI/S) on laskettu tässä huomioimalla sekä katujen rakentaminen että ylläpito esimerkkikaduilla 1-4 (ks. Taulukko 11 ja luku 4.3.2). MI on siis kadun käyttöiän aikana rakentamiseen ja ylläpitoon kuluneet luonnonvarat piilovirtoineen (ks. Taulukko 20 ja Taulukko 21). Palvelu-suorite (S) on kadun liikennesuorite eli katuluokan keskimääräinen ajoneuvomäärä kilometriä kohti. Seuraavassa taulukossa on esitetty esimerkkikatujen MIPS-luvut 50 vuoden ja 100 vuoden käyttöiällä. Ajouratojen leveydet ovat HKR:n katurekisterin mukaiset.

50 v.	Ajoradan MI		vrk-liikenne	MIPS
Esimerkkikatu	[kg/m ² /a]	[kg/km/a]	[ajoneuvoa/km]	[g/ajon.km]
1	57,7	963 590	30 000	88
2	86,2	1 439 540	20 000	197
3	89	907 800	5 000	497
4	64,9	369 930	1 000	1014

100 v.	Ajoradan MI		vrk-liikenne	MIPS
Esimerkkikatu	[kg/m ² /a]	[kg/km/a]	[ajoneuvoa/km]	[g/ajon.km]
1	46,1	769 870	30 000	70
2	60,3	1 007 010	20 000	138
3	52,5	535 500	5 000	293
4	37,4	213 180	1 000	584

Taulukko 25 Esimerkkikatujen MI- ja MIPS-lukuja 50 tai 100 vuoden käyttöiällä.

Tuloksista voidaan havaita, että liikennesuorite (S) määrittää kadun MIPS-lukua selvästi enemmän kuin kadun materiaalipanoksen (MI). Jos kadulla on paljon liikennettä, MIPS-luku on suhteellisen pieni rakenteen raskaudesta huolimatta (esimerkiksi katu 2 verrattuna katuun 3).

Taulukossa 25 näkyy selvästi kasvavan liikennemäärän MIPS-lukua pienentävä vaikutus. Tämä vastaa pääsääntöisesti Puseniuksen (2004:72) yleisistä teistä laskemia MIPS-lukuja yhtä eroa lukuun ottamatta: Puseniuksen tutkimuksessa moottoritien MIPS-luvut eivät vilkkaasta liikenteestä huolimatta enää laskeneet valtatie luvuista. Tämä johtuu moottoritien huomattavasti raskaammasta rakenteesta (kaksinkertaiset kaistat, eritasoliittymät jne.) verrattuna valtatiehen. Sen sijaan kaupunkiliikenteessä liikenteen vilkastuminen lisää rakenteen materiaalipanosta tasaisemmin.

Taulukossa 26 esitetään eri ajoneuvoilla tapahtuvan liikenteen MIPS-lukuja samoilla esimerkkikatilla 1-4 siten, että kadun materiaalipanoksen on allokoitu eri ajoneuvoille pelkän ajoneuvomäärän mukaan (30 000, 20 000, 5000 ja 1000 ajoneuvoa, vrt. taulukko 25). Kadun käyttöiäksi on tässä valittu 50 vuotta. Luvut kertovat suuruusluokista, mutta ne eivät ole yleisesti sovellettavissa toisaalta katujen ja katurakenteiden esimerkinomaisuuden vuoksi, toisaalta hyvin alustavan allokointitavan vuoksi. Kaupunkiliikenteessä ei liene järkevää allokoida katuinfrastruktuuria pelkän ajoneuvojen määrän pohjalta huomioimatta esimerkiksi raskaiden ajoneuvojen suurempaa tilantarvetta. Toistaiseksi ratkaisemattomista allokointitavoista päättäminen ei ollut kuitenkaan tämän tutkimuksen tarkoitus.

Kun taulukon 26 lukuja verrataan Puseniuksen (2004:72) yleisten teiden liikenteen samalle allokointitavalle perustuviin MIPS-lukuihin, ovat tässä esitetyt luvut kaikkia yleisten teiden lukuja pienempiä. Tähän voi olla seuraavia syitä. Tämän tutkimuksen esimerkkikatujen liikennemäärät ovat selvästi suurempia kuin vastaavanrakenteisten yleisten teiden keskimääräiset liikennemäärät. Liikennemäärän vaikutus MIPS-lukuun on huomattava. Esimerkkikatut eivät välttämättä edusta rakenteeltaan tyypillisiä katuja. Lisäksi näissä laskelmissa on (em. syistä) katujen ajoneuvoliikenteelle allokoitu vain ajoradan rakenteet, kun Puseniuksen laskelmissa koko tien materiaalipanos on kohdistettu ajoneuvoliikenteelle.

50 v.	katu	henkilöauto		linja-auto	
Esim.katu	[g/ajon.km]	[g/ajon.km]	[g/hlökm]	[g/ajon.km]	[g/hlökm]
1	88	228	163	613	47
2	197	337	241	691	53
3	497	637	455	905	70
4	1014	1154	824	1274	98

50 v.	katu	pakettiauto	kevyt kuorma-auto		puoliperävaunurekka		täysperävaunurekka	
Esim.katu	[g/ajon.km]	[g/ajon.km]	[g/ajon.km]	[g/tkm]	[g/ajon.km]	[g/tkm]	[g/ajon.km]	[g/tkm]
1	88	268	398	57	668	48	738	35
2	197	377	507	72	777	56	847	40
3	497	677	807	115	1077	77	1147	55
4	1014	1194	1324	189	1594	114	1664	79

Taulukko 26 Ajoneuvokohtaiset MIPS-luvut esimerkkikatujen liikenteelle 50 vuoden käyttöiällä. Ajoneuvojen aiheuttamat materiaalipanokset ja käyttöasteet Puseniuksen (2004) mukaan. Kadun materiaalipanosten allokointi eri ajoneuvoille vain ajoneuvomäärän perusteella.

Kadun liikenteen MIPS-lukua voidaan pienentää joko vähentämällä kadun (ja liikenteen) aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä tai lisäämällä kaduista saatavaa hyötyä (vrt. 2.2). Erilaisia ratkaisuja tähän on lueteltu luvussa 6.2.

5 Muita MateriaEuro –hankkeen tuotoksia

5.1 Ohjeet luonnonvarojen säästävästä suunnittelusta

Merkittävä osa kadun rakentamisen aiheuttamasta luonnonvarojen käytöstä määräytyy jo kaavoitusvaiheessa. Kadun rakentaminen heikosti kantaville maille ja korkeusaseman sopeuttaminen ympäröiviin alueisiin kasvattavat luonnonvarojen käyttöä. Kaavoitusvaiheessa tulisi mahdollisimman tehokkaasti huomioida pohjamaan ominaisuudet. Puistot ja muut kohteet, jotka eivät vaadi suuria kantavuuksia ja joilla painumat eivät ole haitaksi, tulisi rakentaa mahdollisuuksien mukaan heikommin kantaville maille. Väylät ja rakennukset tulisi sen sijaan rakentaa mahdollisimman kantavalle maalle. Helsingissä suurin osa hyvin kantavista maa-alueista on jo otettu käyttöön aiemmin. Hyvin kantaville maille on sijoitettu myös puistoja ja muita virkistysalueita. Näitä alueita ei enää voida ottaa rakentamiskäyttöön, joten kaupungin väestön ja liikennemäärien kasvaessa joudutaan rakentamaan yhä enemmän heikommin kantaville maille (Savien hyötykäytön tulevaisuus 2004).

Luonnonvarojen käytön huomioiminen jo kaavoitusvaiheessa lisää haasteita monimutkaisessa prosessissa, jossa on sovittava yhteen erilaisia intressejä. Luonnonvarojen käytön tarkastelu tarjoaa kuitenkin kokonaisvaltaisen näkökulman, jolla pystytään löytämään kokonaisuuden kannalta edullisia vaihtoehtoja, niin kustannus- kuin ympäristömielessäkin. Esimerkiksi pehmeälle pohjamaalle rakennettaessa kohoavat luonnonvarojen käytön lisäksi myös kustannukset.

MIPS-menetelmää voidaan soveltaa luonnonvarapanosten laskentaan sekä suunnitteluvaiheessa että myös jälkiseurantana. Menetelmän soveltamisessa suunnittelutyökaluna on huomioitava katujen suunnittelun eri vaiheet. Helsingissä liikennesuunnittelu ja maankäytön suunnittelu tapahtuvat Kaupunkisuunnitteluvirastossa. Liikennesuunnittelu sisältää sekä yleiskaavatason että asemakaavatason. Tarkat katusuunnitelmat ja tekniset suunnitelmat tehdään rakennusvirastossa liikennesuunnitelman pohjalta.

Rakenteellisen suunnittelun vaiheessa keinot luonnonvarojen käytön vähentämiseksi keskittyvät kierrätysmateriaalien käyttöön. Tämä vaatii yleensä erikoissuunnittelua, mutta pystyy vähentämään luonnonvarojen käyttöä selvästi.

Asemakaavassa määritetään kadun sijainti ja korkeustaso, joten merkittävä osa luonnonvarojen käytöstä voi määräytyä jo tässä vaiheessa. Näin ollen alustava luonnonvarapanosten laskenta tai arviointi kannattaa suorittaa jo kaavoitusvaiheessa.

Kaavoitusvaiheessa luonnonvarapanosten laskennassa olisi hyvä luoda käsitystä paitsi katujen, niin myös rakennusten ja muun infrastruktuuri materiaalivirtatiedoista. Materiaalivirtoihin vaikuttaa kuitenkin rajallinen määrä tekijöitä, joiden huomioiminen ei edellytä liian monimutkaisia laskentamalleja. Lisäksi jo pelkällä MIPS-ajattelun sisäistämällä (minimoidaan materiaalivirrat) kaupunkisuunnittelussa voitaisiin saavuttaa merkittäviä parannuksia myös katu- ja muun kaupunkirakentamisen luonnonvarojen käytön kannalta.

Keskeisiä ohjeita luonnonvarojen säästämiseksi suunnittelussa

- liikennetarpeen minimointi ja joukkoliikenteen tehokas hyödyntäminen suunnittelun avulla
- katujen (ja muiden kiinteiden rakenteiden) suunnittelu mahdollisimman kantaville maille
- puistojen ja vastaavien alueiden suunnittelu vähemmän kantaville maille
- leikkausten ja pengerrysten minimointi
- ylijäämämassojen käyttö rakenteissa niin pitkälle kuin mahdollista
- kivihiilen polton sivutuotteiden käyttö rakenteissa niin pitkälle kuin mahdollista
- huonosti kantavissa kohteissa stabiloinnin käyttö massanvaihdon sijaan
- valaistuksen suunnittelu mahdollisimman energiatehokkaaksi

5.2 Työkalu luonnonvarojen käytön laskentaan kadunrakentamisen suunnittelussa

Kattavaa ja silti helppokäyttöistä työkalua on vaikea laatia, koska kadunrakentamisen materiaalit ja materiaaliavirrat vaihtelevat huomattavasti tapauskohtaisesti. MateriaEuro -hankkeen puitteissa on laadittu helppokäyttöinen excel-lomakepohja käyttöohjeineen, jonka avulla voidaan laskea suunnittelutietojen pohjalta kadulle odotettava luonnonvarapanos (MI). Excel-lomakepohjaa ei ole testattu vielä laajamittaisesti, mutta esimerkiksi testaus Mustialankadun suunnittelutiedoilla tuotti tuloksen, joka oli vain noin 10 % korkeampi kuin Mustialankadun rakentamisessa toteutunut luonnonvarojen käyttö. Ero johtui siitä, että todellisuudessa käytettiin enemmän uusiomateriaalia kuin suunnittelutietojen pohjalta olisi odotettu.

Mustialankadun esimerkkituloilla täytetty excel-lomake on liitteenä 7. Ohje vastaa luvun 5.3 tekstiä. Rakennusvirasto on kiinnostunut lomakkeen laajemmasta testauksesta, minkä vuoksi lomake käyttöohjeineen on saatavissa testitarkoituksiin sähköisessä muodossa HKR:n ympäristöasiantuntijalta (maria.joki-pesola@hel.fi) ja D-mat oy:ltä (michael.lettenmeier@iki.fi).

MateriaEuro -hankkeen kanssa yhteistyössä toimineessa FIN-MIPS Liikenne -tutkimuksen yhtenä tuloksena julkistetaan keväällä 2005 excel-pohjaisen MIPS-laskentasovellus. Sovellus perustuu pitkälti yleisten teiden MIPS-tutkimuksessa vastaan tulleisiin kysymyksiin ja on siten sovellettavissa kaduillekin. Sovellus vaatii käyttäjältä jonkin verran ymmärrystä MIPS-laskennasta. Sovellusta voi myöhemmin tiedustella tekijältä (jlaturi@cc.helsinki.fi) sekä FIN-MIPS Liikenne -tutkimuksen johtajalta (arto.saari@hut.fi) ja koordinaattorilta (michael.lettenmeier@iki.fi).

5.3 Ohjeet MIPSin käytöstä kadunrakentamisen suunnittelussa

Sovellettaessa MIPS-menetelmää katurakentamisen luonnonvarojen käytön laskemiseksi, on pitkälti kyse massojen yhteenlaskemisesta. Myös siirretty maa-aines lasketaan menetelmässä luonnonvarojen käytöksi. Maa-ainesten siirroista ja rakennekerrosten kiviainesmateriaaleista muodostuu niin valtavia massoja, että esimerkiksi energiankulutuksen ja kadun kalusteiden valmistuksen merkitys jää hyvin pieneksi. Kadun karkea abiottinen MI-luku voidaan laskea melko nopeasti katusuunnitelmien avulla noudattamalla seuraavaa ohjetta.

Rakennusvirasto

Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa - laskentaohje

Kadun rakentamisratkaisuihin vaikuttavat monet tekijät kuten kadun tuleva liikennemäärä, maaperän ominaisuudet, kadun sijainti ja kustannustekijät. Luonnonvarojen käytön osalta kadun rakentamisen tärkeimmät osatekijät ovat vastaavasti katualueen leveys, rakennekerrosten paksuus ja pohjanvahvistuksen tarve. Tämä ohje käsittelee luonnonvarojen käytön arviointia kadun rakentamisessa. Ohjeessa luonnonvarojen käyttö esitetään MI-luvun avulla (MI = material input), jonka yksikkönä kadunrakentamisen tapauksessa on yleensä kg/m².

Ohjeen rinnalla käytetään Excel-pohjaista MI-laskentalomaketta, johon perustiedot lisäämällä saadaan arviolaskelma uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä kyseisessä kadunrakennuskohteessa. Ohjeessa ja laskentataulukossa esitetty tapa kadun rakentamisen luonnonvarojen käytön laskemiseksi on yksinkertaistus, joka jättää huomiotta esimerkiksi erilaisia erikoisrakenteita (sillat, maisemoinnit, siirtymärakenteet ym.). Luonnonvarojen käytön kokonaisuuden kannalta myös kuljetusten osuus on niin vähäinen, että ne voidaan rajata lomakkeen tarkastelun ulkopuolelle.

Ohjeen avulla voidaan siis laskea kaduille suuntaa antava MI-luku, joka perustuu lähinnä kadun sijaintiin ja mitoittukseen. Nämä tekijät on kuitenkin todettu yleensä merkittävimmiksi kadun rakentamisen uusiutumattomien luonnonvarojen käytön kannalta.

Kadun rakentamisen vaatima luonnonvarapanos eli MI-luku saadaan laskettua ottamalla huomioon katuluokan ja maapohjan kantavuuden määrittämä kadun päällysrakenne, alusrakenteeseen kohdistuvat toimenpiteet (pengerrys ja pohjanvahvistus), ja valmistelutyöt (pintamaan poisto ja maaleikkaus).

Luonnonvarojen käytön laskentaa varten on määritelty keskimääräinen, teoreettinen katuneliometri, joka on muodostettu Helsingin kaupungin rakennusviraston katurekisterin tietojen mukaan. Se sisältää keskimääräisen osuuden ajorataa, kevyen liikenteen väylää ja viherkaistaa siten, että katuluokassa 1 ja 2 neliometri katua sisältää 0,5 m² ajorataa, 0,2 m² kevyen liikenteen väylää ja 0,3 m² viheraluetta. Katuluokissa 3-5 osuudet ovat vastaavasti ajorata 0,5 m², kevyen liikenteen väylä 0,3m² ja viheralue 0,2 m². Katuluokka 6 sisältää vain kevyen liikenteen väylät. Kun teoreettisen katuneliometrin MI-luku kerrotaan katualueen leveydellä, saadaan laskettua MI-luku katumetriä kohti, joka sisältää koko katualueen. Näin saadaan eliminoitua katualueen leveyden vaikutus MI-lukuun ja laskettua yhden MI-luvun avulla erilevyisten katujen rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö. Tuloksena ei saada todellisten katujen tarkkoja MI-lukuja, mutta kuitenkin hyvä käsitys työkohteena olevan kadun rakentamisen vaatimien luonnonvarapanosten suuruudesta.

Kadunrakentamisen valmistelutyöt: pintamaan poisto ja maaleikkaus

Pintamaan poisto

Ennen rakentamisen aloittamista poistetaan rakennuspaikalta pintamaa eli noin 30-40 cm:n ruokamultakerros. Humusmaan tiheys vaihtelee välillä 1100-1500 kg/m³. Normaalitilanteessa pintamaan poisto lisää MI-lukua noin 400 kg/m².

Maa- ja kalliroleikkaus

Leikkauksesta aiheutuva MI-luku voidaan laskea maa-aineen tiheyden perusteella. Maa-ainesten tiheydet vaihtelevat keskimäärin välillä 1500-2000 kg/m³. Kalliroleikkauksissa tiheydeksi valitaan 2500-3000 kg/m³. (ks. laskentalomake kohta 2.1)

Kadun alusrakenteen MI-luvun laskeminen: pohjanvahvistus ja pengerrys

Alusrakenteen MI-luku: pohjanvahvistus

Pohjanvahvistusta joudutaan käyttämään heikosti kantavilla maapohjilla. Vahvistusmenetelmistä tarkastellaan tässä yhteydessä kahta vaihtoehtoa: massan vaihtoa ja pilaristabilointia. Pilaristabiloinnin aiheuttama luonnonvarojen käyttö on MIPS-menetelmällä laskien huomattavasti vähäisempää kuin massanvaihdon aiheuttama. Massanvaihdossa abioottinen MI-luku muodostuu siis siirrettävästä maa-aineksestä sekä korvaavasta materiaalista, joiden yhteenlaskettu massa on huomattava verrattuna pilaristabiloinnin sideaineen määrään. Vaikka pilaristabiloinnissa huomioidaan sideaineen lisäksi maaperä, johon se sekoitetaan, säilyy ero pilaristabiloinnin hyväksi merkittävänä. Seuraavassa taulukossa on esimerkinomaisesti esitetty pilaristabiloinnin ja massanvaihdon aiheuttama luonnonvarojen käyttö stabiloitavaa kuutiometriä kohti. Pilaristabiloinnin vaihtoehdossa on myös huomioitu maaperä, johon sideaine sekoitetaan. Pilarin halkaisija on 600 mm ja maaperän tiheydeksi oletetaan 1500 kg/m³.

Menetelmä	Abioottisten luonnonvarojen käyttö [kg/m ³]
Pilaristabilointi	545
Massanvaihto	3530

Taulukko 27 Pohjanvahvistusmenetelmistä aiheutuva luonnonvarojen käyttö

Laskentalomakkeeseen kirjataan käytetty sideaine ja sen määrä (kg/m³). Lomake laskee MI-luvut Helsingissä yleisimmälle sideaineelle (kalkki-sementti) ja tuhkalle.

Alusrakenteen MI-luku: pengerrys

Kuten leikkauksessakin, saadaan pengermateriaalin MI-luku maa-aineksen tiheyden perusteella. Jos materiaalina käytetään jollain tavalla käsiteltyä maa-ainesta kuten murskettä, tulee myös taustavirrat huomioida laskelmissa. Murskeen tapauksessa voidaan käyttää MI-kerrointa 1,1, jolloin saadaan tiheydellä 1800 kg/m³ MI-luvuksi noin 2000 kg pengerkuutiometriä kohti.

Kadun päällysrakenteen MI-luvun laskeminen katuluokan ja maapohjan kantavuuden perusteella

Kadun päällysrakenteen toteuttamiseen vaikuttavat tuleviin liikennemääriin perustuva katuluokka ja kadun maapohjan kantavuus. Normaalipäällysrakenteiden avulla voidaan laskea päällysrakenteen MI-luku erilaisille kaduille. Katuluokkien 1-5 päällysrakenteet ovat moottoriajoneuvoliikenteen väylien päällysrakennevaihtoehtoja ja katuluokan 6 kevyen liikenteen väylien. Seuraavassa taulukossa on esitetty MI-luvut yksikössä kg/m^2 .

MI kg/m^2	Pohjamaan kantavuusluokka						
Katuluokka	A	B	C	D	E	F	G
1	772	772	1049	1750	2150	2550	3050
2	713	713	861	1461	1961	2361	2761
3	566	566	772	1373	1773	2273	2673
4	448	448	566	1166	1666	2166	2566
5	448	448	566	1166	1366	1866	2166
6	380	380	506	1007	1607	2007	2407

Taulukko 28 Normaalipäällysrakenteiden abioottinen MI-luku kg/m^2 .

Taulukosta voidaan nähdä, että suurin päällysrakenteen MI-luku on katuluokan 1 G-luokan pohjamaalle rakennettavalla kadulla eli raskasliikenteisellä kadulla, joka rakennetaan esimerkiksi pehmeälle savelle. Luonnonvarojen käytön kannalta on merkittävämpää, millainen pohjamaa rakennuspaikalla on kuin mikä on kadun liikennemäärän vaatima kantavuus. Toisaalta vilkasliikenteiset kadut ovat leveämpiä, jolloin luonnonvarojen käyttö katumetriä kohti kasvaa.

Kun lomakkeen kaikki tarpeelliset kohdat on täytetty, saadaan tulokseksi kadun yhteenlasketun luonnonvarojen käytön kokonaisuudessaan sekä katumetriä että katuneliötä kohden laskettuna.

6 Yhteenvetoa ja keskustelua: Ekotehokas katu

6.1 Tulosten yhteenvetoa

Tässä tutkimuksessa on ensisijaisesti pyritty selvittämään, kuinka paljon katujen rakentamisessa ja ylläpidossa käytetään luonnonvaroja. Sen ohella on tutkittu, mitkä ovat olennaisimmat luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat tekijät ja miten luonnonvarojen käyttöä voitaisiin vähentää kadun rakentamisessa ja ylläpidossa.

Luonnonvarojen käyttöä tutkittiin kolmessa eri luokassa: abioottiset eli uusiutumattomat luonnonvarat, vesi (mukaan lukien vesi, jonka luonnollinen kulku on muutettu käsiteltyjen pintojen vuoksi tai energiantuotantoa varten) ja ilma (lähinnä polttoprosesseissa kulunut happi). Katujen rakentamisessa ja myös ylläpidossa tapahtuu paljon suoria maa-ainesten siirtoja. Tämän vuoksi abioottisten eli uusiutumattomien luonnonvarojen luokka on kadun kannalta merkittävin ja kiinnostavin.

Luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa ja ylläpidossa vaihtelee huomattavasti tapauskohtaisesti. Eniten vaikuttavat tekijät ovat kadun ympäristön maastomuoto, kadun korkeustaso, maapohjan kantavuus ja kadun päällä kulkeva liikenne. Suuruusluokaltaan yhden katuneliömetrin rakentaminen ja ylläpito kuluttavat yhtä käyttövuotta kohden useita kymmeniä kiloja uusiutumattomia luonnonvaroja, useita satoja litroja vettä ja useita kiloja ilmaa.

Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa aiheutuu hyvin suureksi osaksi (yli 95 %) maaston muokkauksen ja rakennusmateriaalien suorista materiaalivirroista. Myös kadun ylläpidossa suorat materiaalivirrat (esimerkiksi hiekoituksen muodossa) ovat olennaisimpia ja vain noin 20 % luonnonvaroista kuluu piilovirtoihin eli välillisiin materiaalivirtoihin, esimerkiksi valaisuksen kautta. Kadun rakentamisen ja ylläpidon materiaalivirroista suurin osa on siis käytettyjä tai paikaltaan siirrettyjä maa-aineksia.

6.1.1 Luonnonvarojen käyttö kadun rakentamisessa

Kadun rakentamisen vaatima luonnonvarapanos eli MI-luku saadaan laskettua ottamalla huomioon pintamaan poisto, katuluokan ja maapohjan kantavuuden määrittämä päällysrakenne sekä alusrakenteeseen kohdistuvat toimenpiteet. Alusrakenteeseen kohdistuviksi toimenpiteiksi on tässä työssä huomioitu maaleikkaus, pengerrys ja pohjanvahvistus.

Normaalipäällysrakenteiden aiheuttaman abioottisten eli uusiutumattomien luonnonvarojen käytön (ns. MI-luvun) vaihteluväli ilmenee taulukosta 29. Suurin päällysrakenteen MI-luku on katuluokan 1 G-luokan pohjamaalle rakennettavalla kadulla eli raskasliikenteisellä kadulla, joka rakennetaan esimerkiksi pehmeälle savelle.

Päällysrakenteen MI (kg/m ²)	Pohjamaan kantavuusluokka	
	A (paras kantavuus)	G (huonoin kantavuus)
1 (vilkkain liikenne)	772	3050
5 (hiljaisin liikenne)	448	2166
6 (kevyen liikenteen väylä)	380	2407

Taulukko 29 Kadun rakentaminen: Normaalipäällysrakenteiden aiheuttaman uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vaihtelun ääripäät katuluokan ja pohjamaan kantavuuden mukaan (kg/m²).

Päällysrakenteen lisäksi kadun rakentamisen luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat pintamaan poisto ja kadun alusrakenne. Normaalitilanteessa pintamaan poisto lisää MI-lukua noin 400 kg/m².

Kadun alusrakenne vaihtelee tapauskohtaisesti huomattavasti riippuen maaleikkausten, pengerrysten ja pohjanvahvistuksen tarpeesta. Siksi alusrakenteen osalta tuloksia ei voida esittää yleisessä muodossa taulukkona, vaan laskentaohjeina, joita voidaan soveltaa erilaisissa käytännön kadun rakennustilanteissa. Esimerkiksi tutkimuksen case-katuna olleen Viikin Mustialankadun rakentamisessa käytettiin luonnonvaroja reilut 4200 kg/m², mutta kun poikkeuksellisen suuret leikkaus- ja pengerrysmassat eliminoidaan laskelmasta, on luonnonvarojen käyttö suuruusluokkaa 1600 kg/m².

Leikkauksesta aiheutuva MI-luku voidaan laskea maa-aineen tiheyden perusteella. Maa-ainesten tiheydet vaihtelevat keskimäärin välillä 1500-2000 kg/m³. Kalliroleikkauksissa tiheydeksi valitaan 2500-3000 kg/m³. Kuljetusten merkitys on yleensä pieni. Jos yleiset kuljetusetäisyydet nousevat 50 kilometriin tai yli, voidaan niiden vaikutus luonnonvarojen käyttöön arvioida karkeasti tonnikilometreissä ilmaistavan kuljetussuorituksen avulla.

Myös pengermateriaalin MI-luku saadaan maa-aineksen tiheyden perusteella. Murskeen tapauksessa saadaan MI-luvuksi noin 2000 kg pengerkuutiometriä kohti. Kun penger- tai muuna rakennusmateriaalina on toisen rakennuskohteen ylijäämämassoja, huomioidaan ainoastaan käsittelyn ja (pitkien) kuljetusten aiheuttama luonnonvarojen käyttö ja niiden MI-kerroin jää lähelle nollaa.

Tutkimuksessa verrattiin kahta pohjanvahvistuksen menetelmää, pilaristabilointi ja massanvaihto. Pilaristabiloinnin aiheuttama uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö on 545 kg käsiteltävää kuutiometriä kohden. Massanvaihdossa MI-luku muodostuu siirrettävästä maa-aineksestä sekä korvaavasta materiaalista ja nousee arvoon 3530 kg/m³.

Case-katuna olleen Viikin Mustialankadun rakentamiseen kului vettä 2 tonnia katuneliometriä kohden. Mustialankadun rakentamisessa aiheutui merkittävin veden käyttö pohjanvahvistuksesta ja kuljetuksista. Veden käyttö on kuitenkin pientä verrattuna valmiin kadun alkuperäiseltä kulkureitiltään siirtämään sadeveteen. Tämän vuoksi veden käyttöä ei tarkasteltu teoreettisten esimerkkikatujen rakentamisen osalta enää yhtä yksityiskohtaisesti kuin Mustialankadun tapauksessa.

Määrällisesti merkittävimpien materiaalien vähäisen jalostustarpeen vuoksi ilmaa kului Mustialankadun rakentamisessa vain 65 kg katuneliometriä kohden. Ilman kulutuksessa korostuvat polttoainetta kuluttavat prosessit ja energiaintensiiviset materiaalit. Mustialankadun tapauksessa merkittävimmät ilman kulutuksen aiheuttavat tekijät olivat pohjanvahvistus, kuljetukset, päällysrakentaminen ja maanrakentaminen.

kenne ja työkoneiden polttoaineen käyttö. Ilman kulutuksen suhteellisen vähäisen merkityksen vuoksi sitä ei tarkasteltu teoreettisten esimerkkikatujen rakentamisen osalta enää yhtä yksityiskohdaisesti kuin Mustialankadun tapauksessa.

6.1.2 Luonnonvarojen käyttö kadun ylläpidossa

Helsingin kadut on jaettu kolmeen luokkaan hoitotason mukaan

- I-luokka: Pääkadut ja erittäin vilkkaat kevyen liikenteen väylät.
- II-luokka: Kokoojakadut ja vilkasliikenteiset kevyen liikenteen väylät.
- III-luokka: Tonttikadut ja vähäliikenteiset kevyen liikenteen väylät.

Luokituksen mukaan priorisoidaan katujen hoito esimerkiksi runsaan lumisateen jälkeen. Katujen ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä arvioitiin tässä työssä katuluokittain (hoitoluokitus I-III).

Taulukossa 30 on esitetty uusiutumattomien luonnonvarojen käytön jakaantuminen eri katuluokkien ajoradoille ja kevyen liikenteen väylille.

Kadun ylläpidon MI	I-luokka (”pääkatu”)		II-luokka (”kokoojakatu”)		III-luokka (”tonttikatu”)	
	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.
Abioottiset luonnonvarat [kg/m ² /a]	34,5	15,9	16,1	11,4	9,8	8,5

Taulukko 30 Kadun ylläpidon aiheuttama uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö eri katuluokkien ajoradoilla ja kevyen liikenteen väylillä, kg/m²/vuosi.

Kadun kunnossapitoluokka vaikuttaa ylläpidon aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön sekä kadun pinta-alan että kunnossapitotoimenpiteiden taajuuden kautta. I-luokan katu on levein ja sillä suoritetaan kunnossapitoa useimmin. I-luokan ajoradalla rakenteellinen kunnossapito on materiaalipanosten tärkein aiheuttaja, koska pääkatujen ajoratojen asfalttipinnoite uusitaan keskimäärin kuuden vuoden välein. Myös talvikunnossapidon osuus on merkittävä, koska katualue on leveä ja ajorata hiekoitetaan keskimäärin 72 kertaa talven aikana. Valaistuksen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on muita katuluokkia suurempi katualueen leveyden vuoksi.

Myös II- ja III-luokan kokoojakadun ylläpidon tärkein luonnonvarojen käytön aiheuttaja on rakenteellinen kunnossapito. Talvikunnossapidon merkitys on pienempi kuin I-luokan kaduilla, koska hiekoitus suoritetaan harvemmin. Vaikka III-luokan katujen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on vain murto-osa I-luokan kadun kulutuksesta, aiheuttaa näiden katujen ylläpito niiden suuren lukumäärän vuoksi suurimmat materiaalipanokset koko kaupungin mittakaavassa.

Kevyen liikenteen väylät poikkeavat toisistaan huomattavasti vähemmän kuin eri katuluokkien ajoradat. Kun ajoradoilla I- ja III-luokan katujen välinen ero luonnonvarojen käytössä on noin kuusinkertainen, on se A- ja C-luokan kevyen liikenteen väylien välillä vain puolitoistakertainen.

Taulukossa 31 on esitetty ilman ja veden käytön jakaantuminen eri katuluokkien ajoradoille ja kevyen liikenteen väylille.

Kadun ylläpidon MI	I-luokka ("pääkatu")		II-luokka ("kokoojakatu")		III-luokka ("tonttikatu")	
	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.	ajorata	kevyt liik.
Ilma [kg/m ² /a]	3,2	2,3	3,1	1,6	1,8	2,2
Vesi [kg/m ² /a]	235	21,4	223	19,1	152	16,5

Taulukko 31 Kadun ylläpidon aiheuttama ilman ja veden kulutus eri katuluokkien ajoradoilla ja kevyen liikenteen väylillä, kg/m²/vuosi.

Katujen ylläpidon ilman kulutuksesta aiheutti valaistus ja sen vaatima energian tuotanto 82 %. Talvikunnossapidon liukkaudentorjuntamateriaalien kuljetukset aiheuttivat noin 6 % ilmankulutuksen kokonaismäärästä. Katujen ylläpidon veden kulutus aiheutuu lähes ainoastaan valaistuksen kuluttamasta sähköstä, joka on osittain tuotettu vesivoimalla. Ylläpidossa vuosittain kuluva vesimäärä on 16 % vuotuisesta sademäärästä.

6.1.3 Luonnonvarojen käyttö kokonaisuudessaan

Yhden katuneliömetrin rakentaminen ja ylläpito kuluttaa useita kymmeniä kiloja abioottisia eli uusiutumattomia luonnonvaroja yhtä käyttövuotta kohden. Luonnonvarojen käyttömäärät vaihtelevat kohteen katuluokan ja maapohjan kantavuuden perusteella, jotka määräävät kadun leveyden, tarvittavan päällysrakenteen ja alusrakenteeseen kohdistuvat pohjanvahvistus- yms. toimenpiteet.

Yleensä ottaen kadun rakentamisen abioottisten luonnonvarojen käyttö aiheutuu suureksi osaksi (yli 95 %) maaston muokkauksen ja rakennusmateriaalien suorista materiaalivirroista. Myös kadun ylläpidossa suorat materiaalivirrat, esimerkiksi hiekoituksen vuoksi, ovat olennaisimpia ja vain noin 20 % luonnonvaroista kuluu välillisiin materiaalivirtoihin, pääasiassa valaistuksen kautta. Kadun rakentamisen ja ylläpidon materiaalivirroista suurin osa on siis käytettyjä tai paikaltaan siirrettyjä maa-aineksia.

Kun kadun käyttöikäksi oletetaan 50 vuotta, jää rakentamisen materiaalipanos useimmiten ylläpidon materiaalipanosta suuremmaksi. Kun käyttöikä pitenee sataan vuoteen, on ylläpito monesti rakentamista merkittävämpi tekijä.

Katuneliötä kohden käytetään ja siirretään vettä useita satoja litroja vuodessa, josta yli 80 % on alkuperäiseltä paikaltaan pois johdettua sadevettä. Katuneliön aiheuttama ilman kulutus on muutama kilo vuodessa, mikä aiheutuu mm. kadun rakennusmateriaalien valmistuksessa erilaisten poltto-prosessien seurauksena.

6.2 Luonnonvarojen käytön tehostaminen

6.2.1 Luonnonvarapanoksen pienentäminen katujen rakentamisessa

Jotta katu täyttää toiminnalliset ja rakenteelliset vaatimuksensa, tulee kadun rakentamisessa käyttää laatuvaatimukset täyttäviä rakennusmateriaaleja ja kerrospaksuuksien tulee olla riittävän suuria. Merkittävimmät keinot vähentää katurakentamisen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä ovat kaupunki- ja liikennesuunnittelun lisäksi (ks. luku 5.1) rakennusmateriaalien korvaaminen sivutuotteilla tai kierrätysmateriaaleilla. Tällöin on MIPS-menetelmän mukaisesti korvaavan materiaalin MI-luku nolla, vain mahdolliset lisäkäsittelyt ja kuljetukset huomioidaan MI-laskennassa. Myös rakentamisessa hyödynnettävien ylijäämämassojen MI-luvuksi tulee nolla, koska MIPS-menetelmän mukaisesti maa-aineksen siirto lasketaan luonnonvarojen käytöksi siirtokohteessa, ei hyödyntämiskohteessa.

Pilaristabilointi on luonnonvarojen käytön kannalta huomattavasti parempi vaihtoehto kuin massanvaihto. Riippuen menetelmätulkinnasta on 3E-luokan kadun aiheuttama abioottisten luonnonvarojen käyttö 4- tai 9-kertainen verrattuna 1A-luokan katuun (vrt. taulukko 10). Ero pilaristabiloinnin eduksi on siis huomattava, joten luonnonvarojen käytön näkökulmasta massanvaihdon käyttöä pohjanvahvistusmenetelmänä tulisi välttää.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin myös kivihiilen polton sivutuotteena syntyvien tuhkien käytön ekotehokkuutta katurakentamisessa. Tuhkat soveltuvat teknisesti hyvin katurakentamiseen. Suurin ongelma tuhkien käytössä on tuhkien syntyajan ja soveliaimman maarakentamisajan ajoittuminen eri vuodenaikoihin. Suurin osa syntyvästä tuhkasta on lentotuhkaa, jonka laatu heikkenee huomattavasti kasavarastoinnissa ja siilokapasiteetti on rajallinen. Jos tuhkaa käytetään katurakenteessa korvaamaan luonnon kiviaineksiä, pienenee kadun MI-luku käytännössä korvattavan kiviaineksen massan verran. Jos Suur-Helsingin alueella syntyisi karkeasti ottaen yhteensä kaksin verroin tuhkia kuin Helsingissä, voitaisiin niillä korvata noin 5 % rakentamisessa käytetystä kiviaineksestä. Tässä valossa kivihiilen polton sivutuotteiden käytön lisäämisellä voisi olla potentiaalia maa-aineksen käytön vähentämisessä, vaikkei se yksin pystyisi pienentämään rakentamisen materiaalipanosta ratkaisevasti nykyisestä. Käytön lisääminen lienee ennemmin järjestely- ja työtapojen kehittämisen kuin tekninen kysymys. Ekotehokkuuden ja dematerialisaation kannalta kiviainesten korvaaminen kivihiilen polton sivutuotteilla on siis toivottavaa ja sen toiminnan lisäämiseen kannattaisi pyrkiä.

Pääkaupunkiseudulla syntyvistä ylijäämämaista 70 % jää hyödyntämättä (Karhu ym. 2004:6-7). Hyödyntäminen vaihtelee huomattavasti eri työmaiden välillä. Mustialankadun rakentamisessa ylijäämälouheen käyttö vähensi uusiutumattomien luonnonvarojen käytön kolmanneksella. Tehokkaalla ylijäämämassojen käytöllä voidaan siis säästää huomattavasti luonnonvaroja. Erityisiä kehittämistarpeita olisi savimassojen hyötykäytössä, joita syntyy pääkaupunkiseudulla vuosittain noin miljoona kuutiometriä.

Myös muissa Pohjoismaissa käytössä olevan maa-ainesveron säätäminen Suomessakin voisi omalta osaltaan lisätä kierrätysmassojen hyödyntämistä.

6.2.2 Luonnonvarapanoksen pienentäminen katujen ylläpidossa (valaistus, hiekoitus)

Kadun ylläpidon aiheuttamaan luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat tehokkaimmin sellaiset toimenpiteet, jotka vähentävät luonnonvarojen käyttöä valaistuksessa ja rakenteellisessa kunnossapidossa. Luonnonvaroja voidaan merkittävästi säästää myös pieneltäkin vaikuttavilla uudistuksilla esimerkiksi kadun ylläpidon työtavoissa tai muissa toimenpiteissä erityisesti kun ne toteutetaan kattavasti Helsingin kokoisessa kaupungissa.

Katuvalaisimien 200 watin lamppujen vaihtaminen energiatehokkaampiin 100 watin lamppuihin säästää huomattavasti luonnonvaroja. Myös valaistukseen käytetyn sähkön piilovirtojen pienentäminen (esimerkiksi tuulisähkön osuutta lisäämällä) voi vähentää selvästi luonnonvarojen käyttöä. Sähkön kulutus aiheuttaa lisäksi valtaosan ilman ja veden käytöstä katujen ylläpidossa. Sähkönkulutuksen vähentäminen ja tuotantotavan saivat siten aikaan merkittäviä säästöjä näidenkin luonnonvarojen käytössä.

Kestävempien materiaalien käyttäminen rakenteellisessa kunnossapidossa vaikuttaisi sekin näkyvästi luonnonvarojen käyttöön katujen ylläpidossa. Ajoradoilla asfalttipäällysteen uusiminen on kaikilla katuluokilla ylläpidon merkittävin MI:n aiheuttaja. Tämän vuoksi myös kierrätysmateriaalien käyttö asfalttoinnissa on keino vaikuttaa kadun ylläpidon materiaalipanokseen.

Yleensä voidaan todeta, että kadun hoitoluokituksen pudottaminen alempaan luokkaan selvästi vähentää talvihoidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Samalla se vähentää talvihoidon kustannuksia, minkä vuoksi sitä on joissakin tapauksissa myös toteutettu.

Hiekoitussepin käytön vähentämisellä on potentiaalia luonnonvarojen käytön vähentämisessä, koska usein sepin levitys ei ole tarpeellista eikä hyödyllistä. Hiekoituksesta on merkittävää hyötyä vain harvoin talvipäivinä, muulloin esimerkiksi pelkkä harjaus voi olla riittävää. Lisäämällä harkitusti suolan käyttömäärää sepin kustannuksella voidaan niin ikään säästää luonnonvaroja. Suolan käytön yleisenä vähentämisperusteena on pohjavesien suojeleminen, mikä osassa Helsingin aluetta ei välttämättä ole tarpeellista. Suolan käytön haitat ovat yleensäkin hyvä esimerkki siitä, että luonnonvarojen käytön ohella on seurattava muitakin ympäristövaikutuksia.

Tieliikelaitos on tutkinut hiekoitussepin uudelleenkäyttöä vuonna 2003 valmistuneessa tutkimuksessaan (esim. Vähätalo 2004). Tutkimuksessa todettiin, että hiekoitusmateriaaleista saadaan takaisin vajaat puolet materiaalien kokonaismäärästä. Sepelin käsittelykokeessa saatiin uudelleenkäytettävää sepeleä kolmannes käsittelystä materiaalista, mikä vastaa 15 % alunperin levitetystä materiaalista. Yli puolet käsittelystä sepeleistä alitti vaaditun raakoon. Tästä materiaalista suurin osa oli hyödynnettävissä esimerkiksi viherrakentamisessa. Kannattavinta oli karkeampien, etenkin kevyen liikenteen väyliltä kerättävän sepin käsittely. Ajoratojen hiekoitussepeleitä jauhautuu ja sisältää liikaa hienoaainesta. Käsittelyn hinnaksi arvioidaan noin 2,5 – 3 euroa tonnilta. Tavallisen pestyn sepin hinta on keskimäärin 10,2 euroa/tonni. (Tervonen ym. 2001:19)

Katulämmityksen hyötyjä ja haittoja tulisi tarkastella myös muilla mittareilla. MIPS-mittarilla mitattuna perinteinen kadun ylläpito kuluttaa luonnonvaroja alle kolmasosan katulämmitykseen verrattuna, mutta katulämmityksellä on sellaisia etuja, joita ei tämän selvityksen puitteissa pystytty määrittämään.

Nupukivikatujen lisääminen vähentäisi rakenteellisen kunnossapidon tarvetta ja päällysteen kulumista. Nupukivikatujakin pitää kuitenkin aika ajoin peruskorjata.

Puhtaanapidolla ja katuvihreän hoidolla sekä ylläpitotoiminnan käytössä olevilla työkoneilla ja rakennuksilla ei ole kokonaisuuden kannalta kovin suuri merkitys. Niissäkin on kuitenkin löydettävissä

sä keinoja vähentää luonnonvarojen käyttöä. Vaikka yksittäinen toimenpide saattaisikin vaikuttaa kadun kokonaisuuden kannalta mitättömältä, voi sillä kuitenkin olla näkyvää vaikutusta luonnonvarojen käytön ja kustannusten vähentämiseen Helsingin kokoisen kaupungin mittakaavassa.

MIPS-mittarin lisäksi tulee tarkastella muitakin tekijöitä, kuten aineiden haitallisia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi suolan edullisuus luonnonvarojen käytön kannalta ei ole enää yksiselitteistä, kun otetaan huomioon myös suolan käytön muita ympäristövaikutuksia. Vastaavasti työkoneiden käyttöön liittyy kohteittain muita merkittäviä vaikutuksia, esimerkiksi koneen melu tai pakokaasut.

6.2.3 Kadusta saatavan hyödyn lisääminen

MIPS-menetelmän mukaan luonnonvarojen tuottavuutta voidaan parata pienentämällä materiaalien käyttöä (Material Input) tai suurentamalla saatavaa hyötyä / palvelua (Service Unit). Katujen ensisijainen tarkoitus on tarjota mahdollisuus liikkua paikasta toiseen. Tämän ”liikkumishyödyn” lisäämiseen on eritasoisia keinoja, joiden syvempi tarkastelu ei ole ollut mahdollista tämän tutkimuksen resursseilla. Peruslähtökohta on kuitenkin, että selvittää mahdollisimman pitkälle nykyisen katuverkon ”liikkumishyötykapasiteetilla” ja uuden katuverkon rakentamista voidaan välttää tai vähentää suhteessa asukasmäärään. Osa keinoista kohdistuu liikkumistarpeeseen, osa liikkumisjärjestelyihin ja osa katuverkkoon osana kaupunkirakennetta:

Liikkumistarpeen vähentäminen työ- ja vapaa-ajan liikenteen vähentämiskeinoilla.

Liikkumistarpeen hoitaminen kevyen- ja joukkoliikenteen keinoilla.

Autojen yhteiskäyttöön perustuvat ratkaisut, joissa katutilaa käytetään tehokkaammin, koska autojen käyttö on tasaisempaa kuin perinteisessä autojen omistuksessa ja liikenteessä on vähemmän autoja kaikkiaan.

Kadun käyttöajan pidentäminen ja kestävien katurakenteiden käyttäminen. 50 vuoden käyttöajalla kadun rakentamisen aiheuttama luonnonvarojen käyttö on useimmiten suurempaa kuin kadun ylläpidossa.

Ruuhkahuippujen leikkaaminen ja kadunvarren pysäköintitilan hallinta. Ruuhkahuippujen leikkaamiseen on olemassa hyvin erilaisia keinoja, joiden käyttö vaatii hyvin eritasoisia ratkaisuja. Esimerkkeinä mainittakoon työaikojen joustoratkaisujen lisääminen esimerkiksi etätyön avulla tai vaikkapa Lontoon ruuhkamaksut.

Autottomien kortteleiden lisääminen vähentää korttelikatujen tarvetta, jolloin ne voidaan korvata kevyen liikenteen väylillä tai ”poluilla”. Esimerkiksi Itävallassa on selvitetty, että pysäköinnin sijoittaminen asuinkortteleiden ulkopuolelle paitsi lisää asumisen viihtyisyyttä myös parantaa julkisen liikenteen kilpailukykyä sekä vähentää matkojen määrää ja pituutta (Knoflacher 1995). Tällöin katujen tarve vähenee usealla eri tavalla.

Kaduilla on myös muita hyötyjä kuin liikenneväylä. On esitettävä selvästi, että painotetaanko hyödyn määrittelyssä kauttakulkua vai kyseisen alueen hyötyjä, jolloin hyödyt voivat olla muitakin kuin pelkästään liikenteellisiä. Ratkaisuehdotukset ja kehittämisideat riippuvat siitä.

6.3 MIPS-menetelmän soveltuvuus tutkimukseen

6.3.1 Katujen rakentaminen

MIPS on melko yksinkertainen menetelmä katurakentamisen aiheuttaman luonnonvarojen käytön määrittämiseen. Katurakentamisessa suurin osa rakennusmateriaaleista on jalostamattomia tai hyvin vähän jalostettuja, joten merkittävä osa MI-laskennasta on massojen yhteenlaskemista. Maanrakentamisessa pystyttäisiin siis varsin pitkälle toimimaan ilman MIPS-laskentaa ja kehittää materiaali-virtakirjanpitoa esimerkiksi osana SAPin käyttöä suorien panosten perusteella.

Jalostetumpien materiaalien ja painottomien panosten (esim. sähkö ja kuljetukset) kohdalla täytyy kuitenkin käyttää MI-kertoimia, jotka kertovat materiaalin valmistuksessa kuluvien luonnonvarojen määrän. Laskenta voidaan kuitenkin kohdistaa muutamaan selkeästi merkittävään osa-alueeseen.

Kun rakentamiseen kelpaava leikattu maa- ja kiviaines hyödynnetään joko samassa kohteessa tai jossakin muussa tarkoituksenmukaisessa rakennuspaikassa, lasketaan MIPS-menetelmän mukaisesti luonnonvarojen käyttö ainoastaan kohteeseen, josta maa-aines on siirretty. Hyödyntämiskohteessa huomioidaan luonnonvarojen käytöksi ainoastaan maamassojen mahdollinen käsittely ja kuljetus. Laajemman kokonaisuuden kannalta ei ole merkitystä, mihin leikkausmassojen hyödyntäminen kohdistetaan MIPS-laskennassa, vaan olennaisinta on, että kaikki hyödynnettävissä olevat maamas-
sat yleensä käytetään. MIPS-menetelmän mukainen laskentatapa kuitenkin voi lisätä tietoisuutta ylijäämämassojen hyödyntämisen tarpeellisuudesta.

MIPS-menetelmän hyvänä puolena on tulosten helppo tulkinta. Tuloksena on korkeintaan viisi luku-
kuarvoa massayksiköissä ilmaistuna, käytännössä usein yhdestä kolmeen. Katurakentamisessa abi-
oottisten materiaalien veden ja ilman laskenta kattaa suurimmat luonnonvarapanokset. Ilman
kulutuksen laskenta mahdollistaa myös yhteyden hiilidioksidi- eli kasvihuonekaasupäästöihin, joita
pidetään tällä hetkellä keskeisenä ympäristöongelmana.

Menetelmän soveltamisessa työläin vaihe oli tiedonkeruu, mikä oli tiedossa jo ennen tutkimuksen
aloittamista. Kaikista työvaiheista ei ollut saatavilla tarkkoja tietoja, joten materiaali-
virtojen lasken-
nassa jouduttiin turvautumaan myös arviointiin. Merkittävimmät materiaali-
virrat muodostuivat kui-
tenkin työvaiheista, joiden tietojen saatavuus oli hyvä.

Kaikille materiaaleille (esimerkiksi murske, bitumi, graniittinen päällyskivi) ei ollut olemassa val-
miita tai kattavia MI-kertoimia, joten näissä tapauksissa käytettiin karkeampaa arviota. Katujen
rakentamisessa maa- ja kiviainesmassat ovat kuitenkin niin suuria, että jalostetummilla materiaaleil-
la on vähäinen merkitys luonnonvarojen käytön kannalta.

Sovellettaessa MIPS-menetelmää katurakentamiseen tai yleensäkin maarakentamiseen, saattaa ra-
janveto teknoosysteemin ja ekosysteemin välille muodostua ongelmaksi. Tässä tutkimuksessa mene-
telmän soveltamista teknoosysteemin rajaamiseksi pohdittiin pilaristabiloinnin aiheuttaman
luonnonvarojen käytön laskemisessa (ks. luku 3.2.3). Rajaukset tulisi aina muistaa, kun verrataan
erilaisia tutkimustuloksia keskenään. Erilainen menetelmätulkinta saattaa aiheuttaa huomattavia
eroja tuloksiin, jolloin ne eivät ole vertailukelpoisia.

6.3.2 Katujen ylläpito

Pohdittaessa vaihtoehtoja pienentää ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä MI-laskennan
tulosten pohjalta, näyttäisi suolan käytön lisääminen liukkaudentorjunnassa järkevältä. Levitettävät
suolamäärät ovat sepeliä pienempiä, joten korvaamalla osa sepelistä suolalla voitaisiin laskea luon-

nonvarojen käyttöä katujen ylläpidossa (eli saada pienempi MI-luku). Eräs MIPS-menetelmän heikkouksista näkyy juuri tässä. Kerroin ei kuvaa suoraan materiaalin ympäristövaikutuksia eikä ota huomioon paikallisia olosuhteita. MIPSin rinnalla on syytä käyttää ”perinteisiä” ympäristöhaittojen vähentämiseen liittyviä menetelmiä ja mittareita. Luonnonvarojen käytön ja ympäristöhaittojen tarkastelu ovat toisiaan täydentäviä eivätkä korvaavia lähestymistapoja.

6.4 Tutkimuksen muita huomioita

Tutkimuksen kuluessa tehtiin myös muita luonnonvarojen käyttöön liittyviä huomioita, joita tässä yhteydessä olennaisimpia olivat seuraavat kaksi seikkaa.

HKR:lla on katurekisteri joka on kehittämistyön kohteena. Olisi hyvä jos katurekisterissä olisi tietoja myös katujen rakentamisvuodesta ja rakenteellisen kunnossapidon tai muun syyn vuoksi tehtyjen korjausten ajankohdista. Näin saataisiin koottua tietoa katujen käyttöajoista, niiden vaihteluista, suunnitelluista tavoitekäyttöajoista, sekä käyttöaikaa rajoittavista tekijöistä.

Materiaalien kulutustietojen ja vastaavien työmäärätietojen kirjaamisessa havaittiin eroja eri katu-
piirien välillä. Lisäksi tuli ilmi merkittäviä eroja eri tietolähteistä saatujen tietojen välillä. Kulutus-
tietojen ja niitä vastaavien työmäärätietojen yhtenäisen kirjaamistavan kehittämistä voisi harkita. Se
voisi olla hyvä lähtökohta luonnonvarojen tuottavuuden ja vastaavien töiden tuottavuuden kehittä-
miseen.

6.5 Luonnonvarojen käyttötiedon hyödyntäminen kaupungin toiminnassa

Tutkimuksessa luotu MI-laskentamalli on yksinkertainen työkalu, jota voidaan soveltaa kadunra-
kentamisen luonnonvarojen käytön laskennassa esimerkiksi katusuunnittelussa ja kaavoituksessa.
Laskentamalli on alustavien kokeilujen mukaan antanut riittävän paikkaansa pitäviä tuloksia, mutta
se vaatii lisätestausta ja henkilöstön koulutusta.

Suurin osa katurakentamisessa käytetyistä materiaaleista on jalostamattomia tai hyvin vähän jalos-
tettuja. Näin ollen merkittävä osa MI-laskennasta on massojen yhteenlaskemista joten maanraken-
tamisessa pystyttäisiin myös toimimaan ilman MIPS-laskentaa. Materiaalivirtakirjanpitoa voitaisiin
kehittää esimerkiksi osana SAPin käyttöä suorien panosten perusteella.

Erityisesti kadun ylläpidossa täytyy valaistuksen ja jalostetumpien materiaalien kohdalla kuitenkin
käyttää MI-kertoimia, jotka kertovat materiaalin ja muiden panosten valmistuksessa käytettyjen
luonnonvarojen määrän. Laskenta voidaan kuitenkin kohdistaa muutamaan selkeästi merkittävään
osa-alueeseen kuten valaistukseen.

Materiaalien kulutusmäärien ja vastaavien työmäärien yhtenäinen kirjaaminen katuyksiköittäin on
lähtökohta luonnonvarojen käytön seurannalle katujen ylläpidossa. Pidemmällä tähtäimellä kyse on
paljolti samankaltaisista asioista kuin esimerkiksi energian tai veden kulutuksen seuraaminen.

Luonnonvarojen käyttötietojen yhdistäminen kaavataloustarkasteluihin voi avata uudenlaisia perus-
teluita esimerkiksi autottomille kortteille, joista liikkuminen tapahtuu lähietäisyydellä olevia
isompia liikenneväyliä pitkin. Esimerkiksi kadun rakentamisessa liikennemäärän lisääntyessä kadun
kantavuusvaatimus kasvaa eli rakennekerrosten paksuudet kasvavat. Raskaasti liikennöidyn pääka-
dun eli katuluokan 1 (liikennemäärä >30 000 ajon./vrk) normaalipäällysrakenteen MI-luku on kes-

kimäärin 60 % suurempi kuin vähäliikenteisen asuntokadun eli katuluokan 5 (liikennemäärä 10-500 ajon./vrk). Eli kun MI-luku kasvaa 1,6 -kertaiseksi niin samalla liikennesuoritekapasiteetti voi kasvaa 100 -kertaiseksi, esimerkiksi 300 ajoneuvosta 30 000 ajoneuvoon. Luonnonvarojen käytön kannalta vaikuttaa hyvältä ratkaisulta rakentaa harvempaan katuja, joille keskitetään enemmän liikennesuoritetta.

Luonnonvarojen käyttötietojen sisällyttäminen kaupungin ympäristöraportointiin on kehitystyön alla. Tämä tutkimus edustaa ensiaskeleita luonnonvarojen käyttötietojen kokoamisessa ja raportoinnissa.

Luonnonvarojen käyttöä ja siihen liittyvää MIPS-menetelmää voidaan soveltaa yhtenä kriteerinä suunnittelussa ja päätöksenteossa. Määraävien taloudellisten tekijöiden ohella luonnonvarojen käyttö kannattaa ottaa huomioon perinteisten haitta-aine- ja päästötarkasteluiden lisäksi, mikäli ympäristönäkökulma on osana päätöksentekoa. Lisäksi on muistettava, että MIPS-mittari aggregoi, niputtaa yhteen, monenlaisia ympäristöön vaikuttavia tekijöitä. Sen vuoksi se ei päätöksentekotilanteissa voi olla ainoa ”ympäristöä säästävän” ratkaisun osoittaja. Mikäli eri kriteerit antavat samansuuntaisen käsityksen ratkaisusta ja mikäli niiden hyväksyttävyydestä vallitsee yhteisymmärrys sidosryhmien kesken, on päätöksenteko perusteltua.

6.6 Kehittämisehdotuksia ja jatkotutkimusaiheita

Tutkimuksen kuluessa muodostettuja rakennusvirastoa koskevia kehittämisehdotuksia:

- HKR:n katurekisterin kehittäminen siten, että se käsittelee myös katujen rakentamis- ja korjausajankohtatietoja.
- HKR:n katupiirien materiaalien kulutuksen (esim. hiekoitushiekan) ja vastaavien työmäärien yhtenäisen kirjaamistavan kehittäminen.
- Materiaalien kulutus ja työmäärätietojen yhdistäminen SAP-järjestelmään taloudellisen informaation lisäksi.

Ehdotuksia luonnonvarojen käyttöön liittyvistä jatkotutkimusaiheista:

- Tutkimus Suur-Helsingin alueen kivihiiilen polton sivutuotteiden syntymisestä ja käyttömahdollisuuksista koko vuoden aikana.
- Kaupunkirakenteen luonnonvarojen käyttö: miten luonnonvarojen käyttö on jakaantunut rakennusten, katujen, pihojen ja puistojen kesken. (kaavatalous ja luonnonvarojen käyttö 1)
- Autottomuusratkaisujen (asuinalueet, korttelit jne.) vaikutus uusien asuinalueiden infrastruktuurin ja sen mitoituksen tarpeeseen ja materiaali-intensiteettiin (kaavatalous ja luonnonvarojen käyttö 2).
- Maapohjan kantavuuden ja vaihtoehtoisten sijoitusratkaisujen vaikutus luonnonvarojen käyttöön asuinalueiden ja katuverkon rakentamisessa ja ylläpidossa sekä liikenteessä (kaavatalous ja luonnonvarojen käyttö 3).
- Katujen ja asuinalueiden korkeustasojen vaikutus luonnonvarojen käyttöön ja siihen pohjautuvat kehittämismahdollisuudet.
- Kadun toiminnallinen, tekninen ja toteutunut käyttöaika ja siihen vaikuttavat tekijät.
- Kadun ja sen alla olevan infrastruktuurin rakentamisen ja kunnossapidon synkronointi, taloudellinen ja luonnonvarojen käytön näkökulma.
- Kadun elinkaaren hallinta: raaka-aineiden hankinta, rakentaminen, käyttövaihe ja käytöstä poistuminen.

LÄHDELUETTELO

Abetoni Oy. Tuotetiedot yrityksen internet-sivuilla 18.6.2004.
<http://www.abetoni.fi/abetoni/control/?page=Luonnonkivet>

Ahponen, Hannele. 2003. *Kohti luonnonmukaisempaa taajamahydrologiaa*. Teknillisen korkeakoulun rakennus- ja ympäristötekniikan osaston diplomityö. Espoo 2003.

Asfalttinormit 2000. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry. Jyväskylä 1999.

Autio, Sakari & Lettenmeier Michael. 2002. *Ekotehokkuus – Business as Future. Yrityksen ekotehokas*. Dipoli-raportit/Dipoli-reports C, ympäristökoulutus. Espoo.

Bringezu, S. 2000. *Ressourcennutzung in Wirtschaftsräumen. Stoffstromanalysen für eine nachhaltige Raumentwicklung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Eco-Design in the EU. Four projects focussing on information technology, education and product design. 2000. Edited by E. Tanninen, C. Manstein, L. Bistagnino & M. Hellemann. Arcade Project: The Kuopio Academy of Crafts and Design.

Finergy 2000. *Tuhkarakentamisohje. Tie-, katu- ja kenttärakenteisiin*.

Gers V., Hübner H., Otto P. & Stiller H. 1997. *Zur Ressourcenproduktivität von spurgeführten Hochgeschwindigkeitssystemen: Ein Vergleich von ICE und Transrapid*. Wuppertal Papers Nr. 75.

Hacker, J. 2003. *Bestimmung des lebenszyklusweiten Naturverbrauches für die Elektrizitätsproduktion in den Ländern der Europäischen Union*. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.

Hartikainen, O.-P. 2000. *Maarakennustekniikka*. Kahdeksas korjattu painos. Helsinki.

Hartikainen, O.-P. 2001. *Tietekniikan perusteet*. Kolmas korjattu painos. Helsinki.

Hellén, S. 2004. *Katujen ylläpidon luonnonvarojen kulutus*. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos, ympäristöekonomia.

Helsingin kaupungin rakennusvirasto (HKR):

- <http://www.hkr.hel.fi/katu/kunnossapito.shtml>. luettu 16.2. 2004

- http://www.hkr.hel.fi/katu/l_lukuina.shtml. luettu 18.2. 2004

- Katukisteri 2004

- *Katujen hoitoluokitus*. Nähtävissä esim. http://www.hkr.hel.fi/katu/kp_hoitoluokitus.shtml (31.5.2004)

- *Katuosaston laatukäsikirja 1999*.

- *Mustialankadun katusuunnitelma ja katupiirustukset nro 28421*.

Helsingin kaupungin tuhkarakentamisohje 2001. Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston julkaisut 2001:7.

Hänninen, S. 2005. *Luonnonvarojen käyttö katurakentamisessa*. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja ympäristötekniikan osasto.

- Ilmatieteen laitos. Ilmastotilastot, vuositilastot. http://www.fmi.fi/saa/tilastot_99.html#6 (15.6.2004)
- Karhu, H., Penttilä, M. & Suominen, M. 2004. Malminkartanon täyttömäen laajennuksen YVA. Helsinki: Suunnittelukeskus Oy.
- Katu 2002. Katusuunnittelun ja -rakentamisen ohjeet. Suomen kuntatekniikan yhdistys. Jyväskylä 2003.
- Kaupunkisuunnitteluvirasto. 2004. <http://www.hel.fi/ksv/>. 19.3.2004.
- Kiviexpertit Oy. Tuotetiedot yrityksen internetsivuilla 18.6.2004. <http://www.kiviexpertit.fi/kivi/graniitti/viistereunakivet/index.html>
- Kivimieskalenteri 2003*. Suomen maarakentajien keskusliiton julkaisu 2003.
- Kivimäki, J. 1996. *Talvikunnossapidon vaihtoehtoiset toimintamallit*. Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston selvityksiä 1996:2.
- Knoflacher, H. 1995. *Kaupungin ja liikenteen harmonia. Vapaus autolla ajamisen pakosta*. Liikennesuunnittelun Seura ry.
- Koskela, S., Seppälä, J. & Leivonen, J. 2002. *Ympäristövaikutukset rakennusten ekotehokkuuden arvioinnissa*. Suomen ympäristö 585. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Kunnallisteknisten töiden yleinen työselostus 02. KT 02*. Suomen Kuntaliitto. Helsinki 2002.
- Lakan Betoni. *Lakka Betonituotteet*. Pdf -esite. http://www.lakanbetoni.fi/main.site?action=siteupdate/view&id=6&menu_open=1/5. 18.6.2004
- Manstein, C. 1995. *Quantifizierung und Zurechnung anthropogener Stoffströme im Energiebereich*. Diplomarbeit. Bergische Universität - Gesamthochschule Wuppertal.
- Manstein, C. 1996. *Das Elektrizitätsmodul im MIPS-Konzept*. Wuppertal Papers Nr. 51. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.
- Maydl, P. 2002. *Rakennusalan luonnonvaratehokkuuden laskentamalli*. Teoksessa: *Ekotehokkuus rakennusalalla*. Erja Heino (toim.). S. 30-33. Helsinki: Suomen luonnonsuojeluliitto.
- MIPS-online. Tabelle mit Werten für die Materialintensität von Materialien und Energieträgern. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Ks. <http://www.mips-online.com>
- Mustonen, J. 1997. *Katupölyn vähentäminen talvikunnossapidon keinoin. Nykytilaselvitys*. Helsingin kaupungin rakennusviraston katuosaston selvityksiä 1999:8.
- Mäenpää I. ym. 2000 (a). *Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa*. Suomen ympäristö, ympäristöpolitiikka, 428. Helsinki: ympäristöministeriö. Ks. myös <http://thule oulu.fi/ecoef/>
- Mäenpää I. ym. 2000 (b). *TMRFIN. Suomen luonnonvarojen käytön tilastointijärjestelmä*. Oulun yliopisto/Thule-instituutti, CD-tallenne, Oulu. [www-dokumenttina: <http://thule oulu.fi/ecoef/>]
- Mäkelä, H. & Höynälä, H. 2000. *Sivutuotteet ja uusiomateriaalit maarakenteissa. Materiaalit ja käyttökohteet*. TEKESin teknologiakatsaus 91/2000. Helsinki 2000.

Mäkelä, H., Höynälä, H., Halkola, H. & Kettunen, A. 2000. *Viikin savikatu*. Helsingin kaupunki, kiinteistövirasto, geotekninen osasto. Geoteknisen osaston julkaisut 81/2000.

Mäkelä, K. & Tuominen, A. 1998. *Kaupunkien omistaman moottoroidun kaluston päästöjen las-
kentajärjestelmä KATKO 98, Helsingisovellus*. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti 466.

Pihlaja, M. 2001. *Jalankulkijan ja pyöräilijän liukastumistapaturmat sekä liukkaan kelin liikenne-
onnettomuudet Helsingissä*. Liite 1 teoksessa: Tervonen, J., Hämekoski, K., Myllynen, M., Pihlaja,
M. & Penttinen, P. 2001. *Liukkaus, hiekoitus ja katupöly – Yhteiskuntataloudelliset vaikutukset*.
Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2001:30.

Pusenius, K. 2004. *Suomen yleisten teiden ja tieliikenteen luonnonvarojen kulutus – tutkimusmene-
telmänä MIPS*. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, maantieteen laitos, luonnonmaantiede.

Rakentajan kalenteri. 1998. 83. vuosikerta. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Reckerzügl, T. 1997. *Vergleichende Materialintensitätsanalyse zur Frage der zentralen und dezent-
ralen Abwasserbehandlung anhand unterschiedlicher Anlagenkonzepte*. Diplomarbeit an der Uni-
versität Gesamthochschule Paderborn, Abt. Höxter, Fachbereich Technischer Umweltschutz.

RIL 156 Maarakennus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Jyväskylä 1995.

Ritthoff, M., Rohn, H., Liedtke C. & Merten T. 2004. *MIPS-laskenta. Tuotteiden ja palvelujen
luonnonvaratuottavuus*. Wuppertal Special 27fi. Wuppertal Institute ja Suomen luonnonsuojeluliit-
to: Helsinki. <http://www.mips-online.info>

Savimassojen hyötykäytön tulevaisuus- kehityspolun arviointi. Raportti. Vantaa-Helsinki-Espoo
2004. SCC Viatek Oy 2004.

Schmidt-Bleek, F. 2000. *Luonnon uusi laskuoppi - ekotehokkuuden mittari MIPS*. Gaudeamus, Hel-
sinki. Alkuperäisteos: Schmidt-Bleek (1993): *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS- Das
Maß für ökologisches Wirtschaften*. Berlin, Basel, Boston: Birkhäuser. Kirjaan sisältyy myös kes-
keisiä osia teoksesta: Schmidt-Bleek (1998): *Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch- mehr
Lebensqualität durch Faktor 10*. München: Droemer Knauer.

Schmidt-Bleek F., Bringezu S., Hinterberger F., Liedtke C., Spangenberg J., Stiller H. & Welfens
M.J. 1998. *MAIA. Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept*. Berlin,
Basel, Boston: Birkhäuser.

Sinivuori, P. 2004. *Kahden Helsingin yliopiston rakennuksen luonnonvarojen kulutuksen selvittä-
minen MIPS-laskennan avulla*. Pro gradu -työ. Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteen laitos,
ympäristönsuojelutiede.

Stiller, H. 1995. *Materialintensitätsanalysen von Transportleistungen (1). Seeschiffahrt*. Wuppertal
Papers 40/1995. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Stiller, H. 1995. *Materialintensitätsanalysen von Transportleistungen (2). Binnenschiffahrt*. Wup-
pertal Papers 41/1995. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Tervonen, J., Hämekoski, K., Myllynen, M., Pihlaja, M. & Penttinen, P. 2001. *Liukkaus, hiekoitus
ja katupöly – yhteiskuntataloudelliset vaikutukset*. Loppuraportti. Helsingin kaupungin Rakennusvi-
raston julkaisut 2001:30, Katuosasto.

Tien tekemisen työsuunnittelutiedot. Tie- ja vesirakennushallitus. Helsinki 1977.

Työ- ja materiaalimenekkitiedot. 2001. Helsingin kaupungin rakennusvirasto.

Vihermaa, L. 2004. *Suomen raideliikenteen ekotehokkuus MIPS-laskentaa hyödyntäen.* Pro gradu – tutkielma. Helsingin yliopisto, bio- ja ympäristötieteen laitos, ympäristönsuojelutiede.

Vihreä kirja yhdennetystä tuotepolitiikasta. 2001. KOM(2001) 68. Bryssel: Euroopan yhteisöjen komissio. http://europa.eu.int/eur-lex/fin/com/gpr/2001/com2001_0068fi01.pdf

Vähätalo, L. 2004. *Hiekoitusmateriaali kierto.* Tekniikka ja kunta 1/2004.

Walbaum, H. 2002. *Denk- und Kommunikationsansätze zur Bewertung des nachhaltigen Bauens und Wohnens.* Dissertation im Fachbereich Architektur an der Universität Hannover.

Wallbaum, H., Herzog, K., Ritthoff, M. & Liedtke C. 2003. *Projekt Ressourcenoptimierung der Landesvertretung NRW in Berlin. Endbericht.* Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Yhdennetty tuotepolitiikka - Elinkaariajattelu politiikan perustana. Komission tiedonanto yhdennetystä tuotepolitiikasta. KOM (2003) 302. Bryssel: Euroopan yhteisöjen komissio. http://europa.eu.int/eur-lex/fin/com/cnc/2003/com2003_0302fi01.pdf

LIITTEET

LIITE 1

MI-laskennassa käytetyt MI-kertoimet kertoimet ja niiden lähteet.

[1] MIPS-online versio 2, 28.10.2003

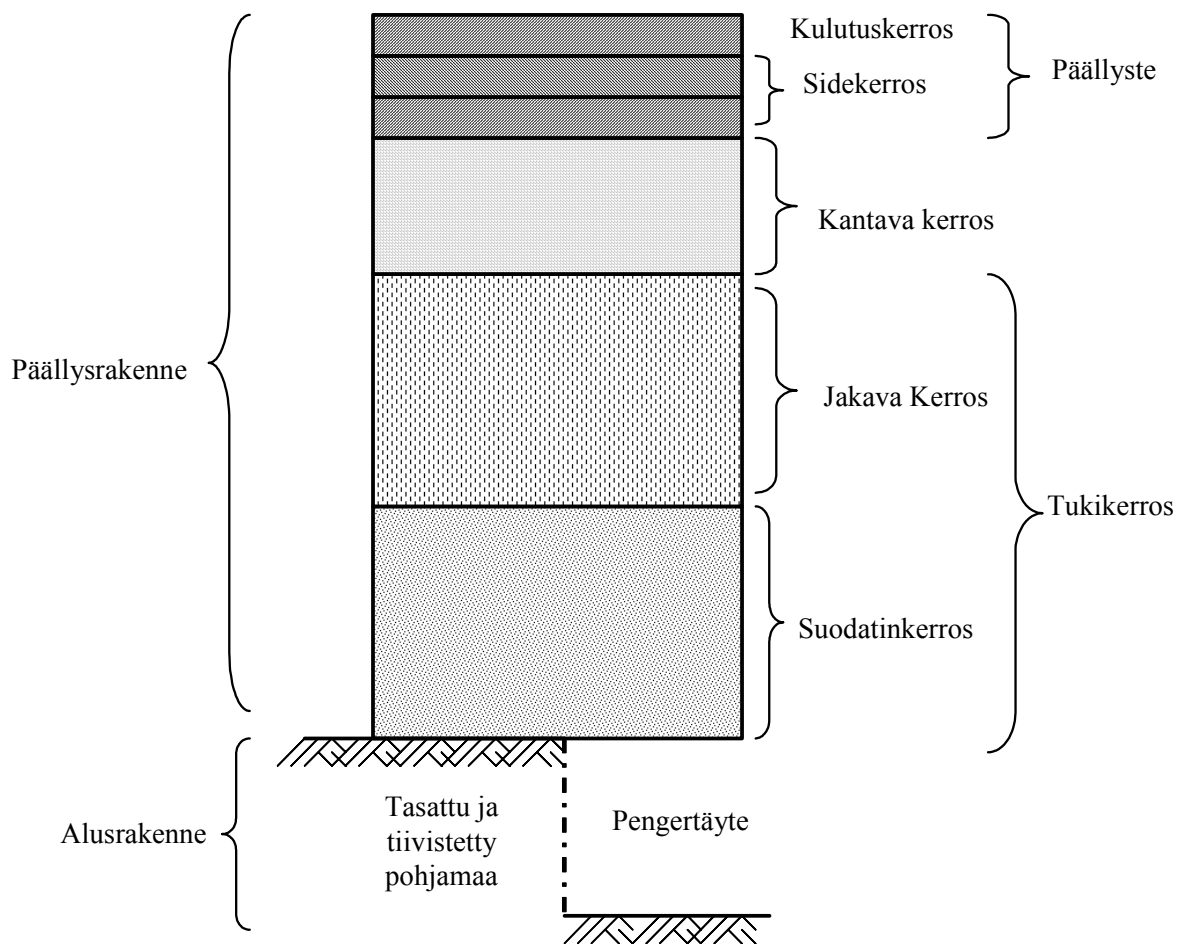
[2] Autio & Lettenmeier: Ekotehokkuus – Business as Future.

Materiaali	MI-kerroin			Lähde
	Abioottinen	Vesi	Ilma	
dieselöljy [kg/kg]	1,36	9,7	3,219	[1]
kuljetukset [kg/tkm]	0,45	4,124	0,144	[1]
HD polyeteeni [kg/kg]	2,52	105,9	1,904	[1]
betoni [kg/kg]	1,33	3,4	0,044	[1]
teräs [kg/kg]	9,32	81,9	0,772	[1]
teräs, valaisimet [kg/kg]	7,63	56	0,414	[1]
polypropeeni [kg/kg]	4,24	205,5	3,373	[1]
kalkki [kg/kg]	3,23	14,7	0,12	[1]
Sementti [kg/kg]	3,22	16,9	0,332	[1]
kevyt polttoöljy [kg/kg]	1,36	9,4	3,219	[1]
murske [kg/kg]	1,1	-	-	arvio
bitumi [kg/kg]	2,6	-	-	[2]
graniitti [kg/kg]	1,92	3,4	0,593	[1]
alumiini [kg/kg]	37	1047,7	10,87	[1]
PVC [kg/kg]	3,47	305,3	1,703	[1]
akryylimuovi [kg/kg]	2,78	175,3	3,15	[1]
kupari [kg/kg]	348,47	367,2	1,603	[1]
Suola [kg/kg]	1,24	2,3	0,02	[1]
Sähkö [kg/kWh]	0,63	30,53	0,37	Helsingin Energia
Vesi [kg/kg]	0,01	1,3	0,001	[1]

LIITE 2

Toiminnallinen katuluokitus KT 02:n mukaan.

Katuluokka	Kuvaus	Liikennemäärä (ajon./vrk)
1	Erittäin raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	> 30 000
2	Raskaasti liikennöity moottori- tai pääkatu (ajokaistoja 2+2)	10 000- 30 000
3	Pääkatu, kokooja- tai vilkasliikenteinen kerrostaloalueen asuntokatu (ajokaistoja 1+1)	2 500 - 10 000
4	Asuntokatu tai pientaloalueen kokoojakatu, raskaiden ajoneuvojen pysäköintialueet	500 - 2 500
5	Pientaloalueen asuntokatu, huoltoliikenteenväylät, henkilöautojen pysäköintialueet	10 - 500
6	Jalkakäytävät, pyörätiet, puistotiet. Ei ajoneuvoliikennettä.	

LIITE 3**Kadun päällysrakennesien nimitykset KT 02:n mukaan**

LIITE 4**Maalajien kantavuusluokitus tiehallinnon mukaan. (Katu 2002.)**

Luokka	Maalajit	Kantavuus (MN/m²)
A	kallio (Ka)	300
	louhe (Lo)	
	murske (M)	
	kivet (Ki)	
B	sora (Sr)	150...280
C	routimaton soramoreeni (rton SrMr)	70..150
	routimaton karkea hiekka (rton kaHk)	
D	routimaton keskik. hiekka (rton keHk)	35..70
	routimaton hieno hiekka (rton hHk)	
	routimaton hiekkamoreeni (rton HkMr)	
E	routiva soramoreeni (SrMr)	15..35
	routiva keskik. hiekka (keHk)	
	routiva hieno hiekka (hHk)	
	routiva hiekkamoreeni (HkMr)	
	kuivakuori savi (kuivak. Sa)	
F	siltti (Si)	5..15
	silttimoreeni (SiMr)	
	sitkeä savi (Sa)	
G	pehmeä savi (Sa)	5
	lieju (Lj)	
	turve (Tv)	

LIITE 5

Esimerkkikatujen 1-4 ajoratojen rakentamisen MI-lukujen muodostuminen eri tekijöistä.

Esimerkkikatu 1	MI kg/m²		
	A	B	C
Päällysrakenne	772	772	772
Pintamaan poisto	390	390	390
Kallioleikkaus 1,5 m ³		3900	
Pengerrys 0,5 m ³ (murske)			990
YHT.	1162	5062	2152

Esimerkkikatu 2	MI kg/m²		
	A	B	C
Päällysrakenne	861	861	861
Pintamaan poisto	390	390	390
Maaleikkaus 2 m ³		4000	
Pengerrys 0,5 m ³ (murske)			990
YHT.	1251	5251	2241

Esimerkkikatu 3	MI kg/m²		
	A	B	C
Päällysrakenne	1773	1773	1773
Pintamaan poisto	390	390	390
Massanvaihto 3 m	10595		
Pilaristabilointi 6 m		730/ 3274	730/ 3274
Leikkaus 1 m ³			1500
YHT.	12758	2893/5437	4393/6937

Esimerkkikatu 4	MI kg/m²		
	A	B	C
Päällysrakenne	1166	1166	448
Pintamaan poisto	390	390	390
Maaleikkaus 2 m ³		3600	
Pengerrys 1,5 m ³ (murske)			2970
YHT.	1556	5156	3808

Liite 6

Kuljetusten aiheuttama luonnonvarojen käyttö Mustialankadun rakentamisessa.

Materiaali	Kuljetusmatka [km]	Kuorma [t]	Kuljetus-suorite [tkm]	MI, abioot-tinen [kg/m]	MI, vesi [kg/m]	MI, ilma [kg/m]
Pintamaa	8	3 820	30 600	23	210	7
Leikattu maa	17	24 300	413 100	310	2840	99
Kuivatuksen vaa-timat rakenteet	100	30	3 100	2	21	1
Stabilointiin kulu-va kalkki	100	240	24 200	18	166	6
Stabilointiin kulu-va sementti	50	560	28 200	21	194	7
Kuitukankaat	100	2	200	0,1	1	0,04
Penger materiaalit	10	11 410	114 100	86	784	27
Valaistuksen vaa-timat rakenteet	100	2	200	0,1	1	0,04
Päällysrakenne-kivet	100	260	26 400	20	182	6
Murske	50	6 400	321 200	241	2210	77
Louhe	10	6 500	65 100	49	447	16
YHTEENSÄ			1 030 000	800	7 100	250
% KOK. KULU-TUKSESTA				1 %	22 %	25 %

Liite 7

MateriaEuro

Rakennettavan kadun MI-laskentataulukko

Kadun nimi: Mustialankatu
 Kadun pituus: 600 m
 Kadun leveys: 15,4 m (keskim.)
 Katuluokka: 3
 Maapohjan kantavuus: E

Työvaihe	Määrä	Yks.	Massa	yks.	MI-kerroin	Yks.	MI [t]
1. Valmistelutyöt							
1.1. Pintamaan poisto							
Pintamaan poisto	9 800	m ²			400	kg/m ²	3 920,0
1.2. Leikkaus							
Kallioleikkaus	50	m ³	2 500	kg/m ³	1	kg/kg	125,0
Muu leikkaus	16 200	m ³	1 500	kg/m ³	1	kg/kg	24 300,0
2. Pohjanvahvistus							
2.1. Massanvaihto							
Poistettava maa-aines	0	m ³		kg/m ³	1	kg/kg	
Tilalle tulevat:		m ³		kg/m ³		kg/kg	
2.2. Pilaristabilointi							
stabilointiaine, kalkki-seme	3 336	m	34	kg/m	3	kg/kg	363,0
	11 537	m	60	kg/m	3	kg/kg	2 215,1
3. Pengerrys							
Pengermateriaali	0	m ³	0	kg/m ³	1	kg/kg	0
Pengermateriaali, ylijäämä	6 790	m ³			0	kg/kg	0
4. Päällysrakenne							
	ks. päällysrakenteen MI-luku alla						
Ajorata, katuluokka 3E	4 400	m ²			1 773	kg/m ²	7 799,7
Kevyen liikenteen väylä	3 610	m ²			1 607	kg/m ²	5 800,8
MI YHTEENSÄ							44 523,5 t
Todellinen:							39 279,0 t
ero							5 244,6 t

13,35 %

Mustialankadulla päällysrakenteen tukikerroksessa käytetty ylijäämälouhetta 6500 t (MI-kerroin 0)

Päällysrakenteen MI-luku							
MI kg/m ²	Pohjamaan kantavuusluokka						
Katuluokka	A	B	C	D	E	F	G
1	772	772	1049	1750	2150	2550	3050
2	713	713	861	1461	1961	2361	2761
3	566	566	772	1373	1773	2273	2673
4	448	448	566	1166	1666	2166	2566
5	448	448	566	1166	1366	1866	2166
6	380	380	506	1007	1607	2007	2407

Tekijä(t) Hänninen Salla, Sanna Hellén, Michael Lettenmeier, Sakari Autio	
Julkaisun yhdyshenkilö rakennusvirastossa Maria Joki-Pesola	
Nimeke MateriaEuro – Luonnonvarojen käyttö Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa	Mistä julkaisua saa (henkilö ja huone) Kehittämissyksikkö, Maria Joki-Pesola, huone 122
Sarjan nimeke Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut	
Sarjanumero 2005:1/ HKR-Ympäristötuotanto	Julkaisuaika 02/2005
Sivuja 109	Litteitä 7
ISBN 952-473-399-4	ISSN 1238-9579
Kieli koko teos Suomi	Yhteenveto Suomi, Ruotsi, Englanti, Saksa
Tiivistelmä <p>MateriaEuro –hankkeessa on tutkittu Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa käytettyjen luonnonvarojen määrää. Sen ohella on selvitetty, mitkä ovat olennaisimmat luonnonvarojen käyttöön vaikuttavat tekijät ja miten luonnonvarojen käyttöä voitaisiin vähentää kadun rakentamisessa ja ylläpidossa. Kadun rakentamisen case-tapauksena oli Viikissä sijaitseva Mustialankatu, jonka lisäksi selvitettiin erilaisten katurakennevaihtoehtojen aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä. Katujen ylläpidon aiheuttamaa luonnonvarojen käyttöä selvitettiin eri hoitoluokissa, joiden lisäksi tarkasteltiin katulämmityksen ekotehokkuutta.</p> <p>Kadun rakentamisen ja ylläpidon luonnonvarojen käyttöä selvitettiin MIPS-menetelmän avulla (MIPS = Material Input per Service Unit), jolla luonnonvarojen käyttömääriä suhteutettiin katometriä ja katuneliometriä kohden. Menetelmän mukainen termi ”luonnonvarojen käyttö” koskee kaikkea luonnonvarojen käsittelyä, siirtoa ja muokkausta. Tutkimuksessa on luonnonvarat jaoteltu MIPS-menetelmän käytännön mukaisesti uusiutumattomiin (abiioottiset) ja uusiutuviin (bioottiset) luonnonvaroihin sekä veteen ja ilmaan.</p> <p>Sekä kadun rakentamisessa että sen ylläpidossa luonnonvarojen käyttömäärät vaihtelevat huomattavasti kadun liikenteen ja maapohjan kantavuuden perusteella. Nämä määräävät kadun leveyden, tarvittavan päällysrakenteen ja alusrakenteeseen kohdistuvat pohjanvahvistus- yms. toimenpiteet. Suuruusluokaltaan yhden katuneliometrin rakentaminen ja ylläpito kuluttavat yhtä käyttövuotta kohden useita kymmeniä kiloja uusiutumattomia luonnonvaroja.</p> <p>Luonnonvarojen käyttöä voidaan vähentää esimerkiksi suunnittelemalla kadut hyvin kantaville maille ja minimoimalla leikkaukset ja pengerrykset. Luonnonvaroja säästää ylijäämämassojen ja esimerkiksi kivihiilen polton sivutuotteiden käyttö rakenteissa. Huonosti kantavissa kohteissa pilaristabiloinnin käyttö pohjan vahvistusmenetelmänä massanvaihdon sijaan säästää merkittävästi luonnonvaroja. Katujen ylläpidossa tehokkaimmin vaikuttavat energian käytön tehostaminen katuvalaistuksessa ja keinot, joilla voidaan vähentää rakenteellisen kunnossapidon tarvetta. Laajemmassa mittakaavassa autojen käyttöä ja siten uusien katujen rakentamistarvetta vähentävät kaavoitus- ja liikenneratkaisut, esimerkiksi autottomat korttelit tai joukkoliikenteen tehostaminen, luovat merkittäviä mahdollisuuksia luonnonvarojen säästämiseen.</p>	
Avainsanat ekotehokkuus, materiaalitehokkuus, luonnonvarojen käyttö, luonnonvarojen kulutus, MIPS, katu, rakentaminen, ylläpito, kunnossapito.	
UDK	

MateriaEuro – Användning av naturresurser i byggande och underhåll av gator i Helsingfors

Sammandrag

Projektet MateriaEuro har undersökt hur mycket naturresurser som använts i byggandet och underhållet av gator i Helsingfors. Dessutom har det utretts vilka som är de mest väsentliga faktorer som påverkar användning av naturresurser och hur användningen kunde skäras ner inom gatubyggande och gatuunderhåll. Mustialagatan i Vik utgjorde en fallstudie i gatubyggande, vidare utreddes hur olika gatustrukturalternativ förbrukar naturresurser. Hur gatuunderhållet utnyttjar naturresurser utreddes i olika underhållskategorier, vidare granskades vilken ekoeffektivitet gatuuppvärmningen har.

Användningen av naturresurser i gatubyggandet och gatuunderhållet utreddes med MIPS-metoden (Material Input per Service Unit). Här undersöktes använd mängd per meter och kvadratmeter gata. Begreppet ”användning av naturresurser” gäller all behandling, flyttning och bearbetning av naturtillgångar. Indelas Naturresurserna indelas i icke förnybara (abiotiska) och förnybara (biotiska) naturresurser samt i vatten och luft.

Både när det gäller att bygga och att underhålla gator varierar mängden använda naturresurser avsevärt beroende på trafiken och markens bärighet. Dessa bestämmer gatans bredd och överbyggnad och underbyggnaden samt grundförstärkningen. Att bygga och underhålla en kvadratmeter gata förbrukar flera tiotals kilo icke förnybara naturresurser per varje år som ytan används.

Användningen av naturresurser kan minimeras t.ex. genom att planera gator på bärande mark och minimera skärningarna och terrasseringarna. Att i konstruktioner utnyttja överskottsmassor och biprodukter av t.ex. stenkolsbränning sparar på naturresurserna. På dåligt bärande mark är stabilisering med pelare en skonsammare grundberedningsmetod än utbyte av jordmassor. När det gäller gatuunderhåll är det mest verkningsfulla att effektivisera energiförbrukningen i gatubelysningen och tillämpa metoder som minskar behovet av strukturellt underhåll. Planläggning och trafiklösningar som i större skala minskar bilism och därmed behovet av nya gator (bl.a. bilfria kvarter och effektivare kollektivtrafik) skapar avsevärda möjligheter att hushålla med naturresurser.

Nyckelord: ekoeffektivitet, materialeffektivitet, användning av naturresurser, förbrukning av naturresurser, MIPS, gata, byggande, underhåll.

MateriaEuro –Natural Resource Use in Street Construction and Maintenance in Helsinki

Summary

MateriaEuro Project is a study on the amount of natural resources used in street construction and maintenance in Helsinki. The most important factors affecting resource use were identified as well as options for the reduction of resource use in street construction and maintenance. Mustialankatu street in the Viikki district was chosen as a case study. In addition, the resource use of different hypothetical street structures was studied. The resource use of street maintenance was studied in different day-to-day maintenance categories, as was also the eco-efficiency of street heating.

The resource use of street construction and maintenance was studied by means of the MIPS method by proportioning the amounts of natural material used per one street metre and square metre. The term 'resource use' as per the MIPS method refers to all handling, transferring and processing of natural material. According to the MIPS practice, natural resources were categorised as abiotic resources, biotic resources, water and air.

The amounts of natural material used in both street construction and maintenance vary considerably depending on the traffic load of a street and the bearing capacity of the soil. These factors determinate the street width, the required pavement structure, soil stabilization and other subgrade preparations. The construction and maintenance of one street square metre consume several tens of kilos of abiotic resources per operation year.

The use of natural resources can be reduced e.g. by constructing streets on soil with a strong bearing capacity and by minimizing excavations and terracing. Another means of saving natural material is to use surplus material and, for instance, by-products of pit coal incineration in street structures. In places with a weak bearing capacity, column stabilization as a subgrade strengthening method instead of replacement of soil saves natural resources considerably. In street maintenance, the most relevant ways of saving natural material are to increase the efficiency of energy use in street lighting and to apply solutions decreasing the need for structural restoration. In a wider scale, town planning and traffic solutions that discourage the use of private cars and consequently the need to construct new streets create considerable opportunities of saving natural resources. Good examples of such measures are car-free districts and improvement of public transport services, to name a few.

Subject terms: eco-efficiency, resource efficiency, resource use, natural resources, resource consumption, MIPS, street, construction, maintenance.

MateriaEuro – Ressourcennutzung bei Bau und Unterhalt von Straßen in Helsinki

Zusammenfassung

Das Projekt MateriaEuro untersuchte den Verbrauch natürlicher Ressourcen für Bau und Unterhalt der Straßeninfrastruktur in Helsinki. Ziel des Projektes war es zu ermitteln, welche Faktoren den größten Einfluss auf den Ressourcenverbrauch haben und wie der Ressourcenverbrauch für Bau und Unterhalt von Straßen optimiert werden kann.

Als Fallstudie für den Straßenbau wurde die Sammelstraße Mustialankatu im wachsenden Universitätsviertel Viikki betrachtet. Der Ressourcenverbrauch für die Bauphase wurde dann allgemein anhand theoretischer Modellstraßen ermittelt. Die Analyse für Unterhalt und Instandhaltung erfolgte anhand der Klassifizierung der Straßen. Ferner wurde der Ressourcenverbrauch der Straßenbeheizung untersucht.

Der Ressourcenverbrauch wurde nach dem MIPS-Konzept (MIPS = Material Input pro Service-Einheit) analysiert und dabei jeweils der spezifische Ressourcenverbrauch pro Meter und pro Quadratmeter Straße ermittelt. Gemäß dem MIPS-Konzept beinhaltet der Begriff „Ressourcenverbrauch“ sämtliche Stoffströme zur Bearbeitung, Verlagerung und Verbrauch natürlicher Ressourcen durch den Menschen. Es wurden die Kategorien „abiotische Ressourcen“, „biotische Ressourcen“, „Wasser“ und „Luft“ des MIPS-Konzepts untersucht. Sowohl beim Bau als auch beim Unterhalt von Straßen variiert der Ressourcenverbrauch stark aufgrund der Verkehrsleistung und der Tragfähigkeit des Grundes, da diese beiden Faktoren die Breite, den Oberbau und den Unterbau und dessen eventuelle Stabilisationsverfahren bestimmen. Der abiotische Ressourcenverbrauch in Kilogramm pro Quadratmeter und Jahr liegt in den meisten Fällen im Bereich von 30 bis 90 kg.

Eine Verringerung des Ressourcenverbrauchs von Strassen kann durch die Planung von Strassen auf bestehendem möglichst festem Untergrund und durch die Minimierung von Einschnitten und Aufschüttungen erreicht werden. Auch die Verwendung von Restmassen anderer Baustellen und von Abfallprodukten aus Steinkohlefeuerungsanlagen spart Ressourcen. Auf schwachem Grund bewirkt die Pfeilerstabilisierung als Alternative zum Austausch der Substratmassen eine Ressourceneinsparung. Beim Unterhalt der Strassen wurden die größten Ressourceneinsparungspotenziale in der Energieeinsparung bei der Straßenbeleuchtung und in den Mitteln zur Verringerung struktureller Instandhaltung (insb. der Neubeschichtung) festgestellt. Wird die Betrachtung auf die Stadtplanung erweitert, haben den Straßenbaubedarf verringernde Lösungen wie autofreie Stadtviertel und einen effizienten öffentlichen Verkehr fördernde Lösungen großes Einsparpotenzial.

Schlagwörter: Ökoeffizienz, Ressourceneffizienz, Ressourcennutzung, Ressourcenverbrauch, MIPS, Strasse, Straßenbau, Tiefbau, Unterhalt, Instandhaltung.

Rakennusviraston julkaisut 2005

2005:1 / HKR-Ympäristötuotanto

MateriaEuro – Luonnonvarojen käyttö Helsingin katujen rakentamisessa ja ylläpidossa

Vastuuhenkilö: Maria Joki-Pesola, puh. (09) 166 2882

ISBN: 952-473-399-4