

# **Kahden paperinkeräysmenetelmän ympäristövaikutusten ja kustannusten vertailu**

Nea Teerioja  
Pro Gradu-tutkielma  
Helsingin yliopisto  
Taloustieteen laitos  
Ympäristöekonomia  
22.1.2009

## Sisällys

1 Johdanto .....	1
2 Hyötyjätehuolto jätepolitiikassa .....	3
2.1 Jätehierarkia .....	3
2.2 Jätehuollon ympäristövaikutukset .....	5
2.3 Jätehuollon kustannukset .....	6
2.4 Kierrätyksen kannattavuus .....	8
2.5 Syntypaikkalajitteluun perustuva materiaalihyödyntäminen .....	12
2.6 Tuottajan vastuun alaisen paperin talteenotto hyötyjätehuollon osana .....	15
3 Keräys- ja kuljetustyö .....	19
3.1 Keräysjärjestelmien tekninen toteutus ja tehostamismahdollisuudet .....	19
3.1.1 Keräysastioiden sijoittelu .....	19
3.1.2 Astiatyyppin valinta .....	22
3.1.3 Reittisuunnittelu ja käytettävä kuljetuskalusto .....	24
3.2 Keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset .....	25
3.3 Keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset .....	27
4 Empiirinen sovellus .....	30
4.1 Tutkimuksen rajaus .....	30
4.2 Tutkimuksen aineisto .....	33
4.3 Vertailussa olevat keräysmenetelmät .....	34
4.3.1 Vallitseva keräysmenetelmä .....	34
4.3.2 Uusi keräysmenetelmä .....	36
4.4 Kustannusvaikuttavuus-analyysi .....	38
4.4.1 Päästöjen laskentamalli .....	40
4.4.2 Kustannusten laskentamalli .....	44
5 Tulokset .....	46
5.1 Case 1: Aluekeräysjärjestelmä Pirkanmaalla .....	46
5.1.1 Alueen esittely .....	46
5.1.2 Eri keräysmenetelmien päästöt ja kustannukset .....	48
5.1.3 Päästöjen kustannusvaikuttavuus Pirkanmaalla .....	51
5.1.4 Herkkyysanalyysi .....	52
5.2 Case 2: Kiinteistökeräysjärjestelmä pääkaupunkiseudulla .....	58
5.2.1 Alueen esittely .....	58
5.2.2 Eri keräysmenetelmien päästöt ja kustannukset .....	60
5.2.3 Päästöjen kustannusvaikuttavuus pääkaupunkiseudulla .....	63
5.2.4 Herkkyysanalyysi .....	64
6 Johtopäätökset .....	69
6.1 Uusi menetelmä ympäristöä säästävämpi .....	69
6.2 Tonnikohtaiset päästöt pienimmät pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmässä .....	70
6.3 Tulosten yleistettävyys ja kelpoisuus .....	72
6.4 Keräysmenetelmien kehitystarpeet ja -mahdollisuudet .....	73
Lähteet .....	75

Liite 1a. Pirkanmaan ajopäiväkirja (aluekeräyspisteet) vallitsevalla keräysmenetelmällä 17.3.2008.....	79
Liite 1b. Pirkanmaan ajopäiväkirja uudella keräysmenetelmällä 10.10.2008.....	80
Liite 2. Pääkaupunkiseudun ajopäiväkirja uudella keräysmenetelmällä 28.5.2008.....	83
Liite 3. Päästökertoimien laskenta.....	87
Liite 4. Päästöjen ja kustannusten laskenta Pirkanmaan aluekeräysjärjestelmässä.....	90
Liite 5. Päästöjen ja kustannusten laskenta pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmässä.....	103

# 1 Johdanto

Viimeisen 20 vuoden aikana tuotettu sekajätteen määrä asukasta kohden on noussut noin 12 %, vaikka kierrätysmahdollisuudet ovat parantuneet. Talteen otetun keräyspaperin määrä on samassa ajassa jopa kaksinkertaistunut. (Jokinen 2004, 3;70.) Jättemäärien kasvu on seurausta lisääntyneestä kulutuksesta. Kasvavat materiaalivirrat kuormittavat ympäristöä, mikä tekee jätteiden kierrätyksestä ja jätehuollon hallinnasta entistä tärkeämpää. Jätevirtojen ja kierrätettävien materiaalityyppien lisääntyessä myös erilaiset keräysjärjestelmät ja -menetelmät lisääntyvät aiheuttaen itsessäänkin haitallisia ympäristövaikutuksia. Tulevaisuuden haasteita ovatkin jättemäärien ennakointi (Tekes 2005, 32) ja vähentäminen sekä jätelogistiikkaratkaisujen kehittäminen.

Euroopan Unionin päästökaupan päästessä vauhtiin on valtioiden ja yhteiskunnan toimijoiden tehtävä todellisia päästöjen vähentämiskäytännöitä, jotta vähennystavoitteet olisivat saavutettavissa. Liikenne tuottaa viidesosan kaikista kasvihuonekaasupäästöistä ja vaikuttaa muiden pakokaasupäästöjen kautta merkittävästi paikalliseen ilman laatuun, joten tällä sektorilla päästöjen vähentäminen on tärkeää. Myös jätehuolto voi logistiikkaratkaisujensa avulla pyrkiä ehkäisemään ilmaston lämpenemistä ja kantaa ympäristövastuunsa. Enää ei riitä, että jätehuolto on olemassa, vaan sitä pitää pystyä parantamaan ja tehostamaan.

Jätehuollon toimivuuteen, taloudellisuuteen ja ympäristömyötävyyteen vaikuttaa suuresti se, miten jätteen keräys- ja kuljetustyö hoidetaan. Erilaiset astia- ja kuljetuskalustovalinnat sekä reittisuunnittelu vaikuttavat keräysmenetelmän aiheuttamiin ympäristöhaittoihin ja kustannuksiin. Keräysjärjestelmät aiheuttavat välillisiä ympäristövaikutuksia myös jätteen tuottajien kierrätysmotivaation kautta, sillä mitä helpompaa kierrätys on, sitä enemmän kierrätetään. Täten keräysmenetelmien kehittämisessä joudutaan ympäristön ja kustannusten lisäksi ottamaan huomioon myös palvelutaso sekä sen tuomat välilliset vaikutukset.

Tämä työ on tehty toimeksiantona Paperinkeräys Oy:lle ja sen tarkoituksena on tutkia kahden eri paperinkeräysmenetelmän ympäristövaikutuksia ja kustannuksia. Menetelmien tehokkuuksia vertaillaan kustannusvaikuttavuus-analyysiä apuna käyttäen.

Ympäristövaikutuksia tutkitaan selvittämällä paperin keräys- ja kuljetustyöstä aiheutuvia hiilidioksidi-, typpioksidi- ja hiukkaspäästöjä. Kustannustarkastelussa huomioidaan ainoastaan Paperinkeräys Oy:lle koituvat yksityiset kustannukset. Tutkimuksessa vertaillaan seuraavia keräysteknologioita:

- 1) Vallitseva menetelmä, jossa keräysastiat ovat pääasiassa 600- tai 660-litrisia muoviastioita ja tyhjennys tapahtuu perästä täytettävällä pakkaaja-autolla.
- 2) Menetelmä, jossa keräysastiat ovat tilavuudeltaan suurempia pinta- tai syväkeräysastioita ja tyhjennys tapahtuu lava-autolla.

Tutkimus toteutetaan tapaustarkastelun avulla. Case-alueita ovat aluekeräysalue Pirkanmaalta sekä kiinteistökeräysalue pääkaupunkiseudulta.

Tämän tutkielman kuten myös jätteenkeräysmenetelmien kehittämisen tarpeellisuutta yleisesti voidaan perustella sekä jäte- että ympäristöpolitiikan avulla. Jätteen keräysmenetelmien toimivuus vaikuttaa monella tapaa jätehierarkian toteutumiseen, samaten kuin keräysmenetelmien kehittelyllä voidaan edesauttaa ympäristöpolitiikan päästöjen vähennystavoitteita. Tutkielman tavoitteena on tuottaa tietoa kohteena olevien paperinkeräysmenetelmien päästöistä ja niiden kustannusvaikuttavuudesta. Tietoa voidaan hyödyntää keräysjärjestelmien kehittämisessä.

Tutkielma etenee yleisestä asiasta yksityiskohtaisempaan. Työn alussa luvussa 2 kerrotaan yleisellä tasolla taustaa ja teoriaa jätehuoltoon liittyvistä kustannuksista ja ympäristövaikutuksista sekä materiaalihyödyntämisestä. Tästä siirrytään askel alemmas seuraavaan lukuun, jossa pohditaan jätehuollon keräys- ja kuljetustyön eri tekijöitä sekä näiden aiheuttamia kustannuksia ja päästöjä sekä niiden merkitystä. Luvussa 4 esitellään varsinaisen tutkimuksen empiirinen sovellus, sekä tarkennetaan rajausta ja sovelluksessa käytettyjä menetelmiä. Luku 5 on varattu tutkimuksen case-alueiden tulosten esittelyyn sekä herkkyysanalyysiin. Työn pohjalta tehdyt johtopäätökset sekä keräysmenetelmien kehitystarpeita ja -mahdollisuuksia pohditaan viimeisessä luvussa 6.

## 2 Hyötyjätehuolto jätepolitiikassa

Tässä luvussa esitellään Suomen hyötyjätehuoltoa ja sen aiheuttamia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia yleisellä tasolla. Tarkoituksena on selventää tutkielman aiheen taustalla olevia asioita sekä liittää tutkielma yleiseen viitekehykseen.

### 2.1 Jätehierarkia

Jätehierarkia on Euroopan Unionin jätestrategiassa määritelty toimintajärjestys, johon kansallisen lainsäädännön avulla pitäisi jätepolitiikassa pyrkiä. Jätehierarkian tavoitteet noudattavat seuraavaa järjestystä:

- 1) Jätteen synnyn ehkäisy
- 2) Jätteen uudelleenkäyttö
- 3) Jätteen hyödyntäminen materiaalina
- 4) Jätteen hyödyntäminen energiana
- 5) Jätteen loppusijoitus kaatopaikalle

Jätehierarkia muutettiin neliportaisesta viisiportaiseksi kesäkuussa 2008, kun Euroopan parlamentti, neuvosto ja komissio pääsivät yksimielisyyteen uudesta jätepuitedirektiivistä. Uudessa jätepuitedirektiivissä pyritään myös sisällyttämään elinkaariajattelu jätepoliittiseen päätöksentekoon, jonka seurauksena jätettä syntyisi vähemmän ja jätehuollon ympäristövaikutukset pienenisivät. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jätehierarkiasta poikkeaminen sallitaan, mikäli se on elinkaariarvioinnin perusteella ympäristölle parempi vaihtoehto. (European parliament 2008, The Legislative Observatory, Waste: Revision of the Framework Directive.)

Jätehierarkiaan perustuvaa toimintaa ilman sen ensimmäistä tavoitetta kutsutaan tässä työssä jätehuolloksi. Hyötyjätteiksi kutsutaan niitä jätejakeita, jotka pystytään hyödyntämään jätehierarkian mukaisesti joko sellaisenaan, aineena tai energiana (YTV 2008, ympäristösanasto). Suomen kansallinen jätelaki tukee jätehierarkian toteutumista

teknisten ja taloudellisten puitteiden sallimissa rajoissa (Finnlex 2008, Jätelaki 4§ ja 6§). Uusi jätepuitedirektiivi ei vaikuta olennaisesti jätehuollon käytännön järjestelyihin Suomessa, mutta se otetaan huomioon meneillään olevassa jätelainsäädännön uudistuksessa, joka astuu voimaan vuoteen 2011 mennessä (Pfister 2008, 12-17).

Jätehierarkiaa on yleisesti käytetty EU:n jätepolitiikan ohjenuorana, vaikkakin on ollut esillä myös keskustelua siitä onko sen noudattaminen kaikkien jätejakeiden osalta kustannustehokkain ratkaisu. Ympäristön kannalta ajatellen tutkimustulokset ovat kuitenkin pääasiassa puoltaneet sitä, että kierrättäminen on monen jätejakeen kohdalla parempi ratkaisu kuin jätteen poltto tai sijoittaminen kaatopaikalle. (Schmidt, Holm, Merrild & Christensen 2007, 1519-1520.)

Jätehierarkian ensimmäistä tavoitetta on usein vaikea saavuttaa. Sen toteutuminen tarkoittaisi paperin osalta esimerkiksi lehtien valmistamista vähemmällä paperimateriaalin määrällä. Immaterialisaatio, eli lehden korvaaminen esimerkiksi sähköisellä palvelulla edistäisi myös paperijätteen määrän vähenemistä. (Dahlbo, Joutijärvi, Koskela & Melanen 2002, 49.) Suuri merkitys on myös jätteen tuottajien kulutustottumuksilla. Esimerkiksi päivittäisen sanomalehden tilaaminen lisää henkilöä kohden lasketun paperijätteen määrää lähes kolmanneksella. Lisäksi on tutkittu, että yleisesti lainaamista ja vuokraamista harjoittavat ihmiset tuottavat myös keskimääräistä vähemmän paperijätettä. (Toukola, Haapaniemi & Vehmas 2007, 22.)

Tanskalaisessa tutkimuksessa (Schmidt ym. 2007) tutkittiin elinkaariarvioinnin perusteella jätehierarkian toimivuutta keräyspaperin kohdalla ja tuloksien mukaan sijoitus kaatopaikalle oli ehdottomasti huonoin vaihtoehto. Vertailtaessa paperin kierrätyksen lisäämistä ja jätteenpolton lisäämistä Tanskan nykytilasta tulokset eivät olleet yhtä yksiselitteisiä. Kierrätyksen lisääminen oli parempi vaihtoehto ilmaston lämpenemisen ja happamoitumisen kannalta, mutta jätteen polton lisääminen puolestaan rehevöitymisen ja fotokemiallisen savun kannalta. Jätehierarkian oikeellisuuden puolesta puhuu kuitenkin se, että kierrätyksen lisäämisen edut olivat huomattavasti suuremmat kuin energiahyödyntämisen tuottamat hyödyt. (Schmidt ym. 2007, 1528.)

Suomessa toteutetussa LCA-WASTE-hankkeessa tutkittiin elinkaariarvioinnin avulla erilaisten jätehuoltomenettelyjen kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Tulosten

mukaan jätteeksi päätyneen sanomalehden kohdalla ympäristövaikutukset näyttivät olevan pienimmät tanskalaisesta tutkimuksesta poiketen polttamisvaihtoehdossa. Sanomalehden käsittelyvaihtoehtojen edullisuus ja ekologisuus olivat kuitenkin tulosten perusteella kääntäen verrannollisia, joten tarkka vastaus vaihtoehtojen paremmuudesta olisi vaatinut tapauskohtaista kustannushyöty-vertailua. Lisäksi tulokseen vaikutti merkittävästi se, mitä polttoainetta poltosta syntyvällä energialla oletettiin korvattavan sekä polttamisesta saadun energian hyödynnettävyys. (Myllymaa, Dahlbo, Ollikainen, Peltola & Melanen 2005, 86-87.)

## 2.2 Jätehuollon ympäristövaikutukset

Jätepolitiikan ja jätehuollon tavoitteisiin kuuluu kierrätyksen ja jätteiden muun hyödyntämisen lisääminen, koska tällöin vähennetään luonnonvarojen käyttöä ja ympäristön kuormitusta. Jätehuolto itsessäänkin kuitenkin kuormittaa ympäristöä, koska sen järjestäminen vaatii energiaa ja aiheuttaa päästöjä. Täten kierrätyksen lisääminen ei ikuisesti vähennä jätehuollon aiheuttamaa ympäristökuormitusta, sillä jossakin välissä sen haitalliset vaikutukset ohittavat vastaavat hyödylliset vaikutukset, eikä kierrätyksen voida enää sanoa olevan kestävä. Optimaalista kierrätystasoa on erittäin vaikea käytännön tasolla absoluuttisesti määrittää, koska se riippuu kierrätettävästä materiaalista, paikallisista olosuhteista sekä kierrätyksen teknisestä ja toiminnallisesta toteuttamisesta. (Kaila 1997, Skoglundin 2001, 12 mukaan.) Kierrätyksen kannattavuuteen palataan luvussa 2.4.

Suurimmat jätehuollon ympäristövaikutukset ovat seurausta jätteiden kuljetuksesta, käsittelystä sekä loppusijoituksesta (Tanskanen 1996, 47). Jätteiden keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuu päästöjä ilmakehään sekä myös paikallisia ympäristövaikutuksia keräyspisteiden roskaantumisen sekä kuljetuksen aiheuttaman melun ja pölyn kautta. (Valtion ympäristöhallinto 2008, Ympäristön tila, Jätteet, Jätteiden vaikutukset.) Etenkin hyötyjätekeräyksessä keräyksen ja kuljetuksen määrä lisääntyy, kun eri jätejakeet kerätään omista keräyspisteistään. Samalla kasvavat myös keräyksen ja kuljetuksen energiankulutus ja päästöt. (Skoglund 2001, 11.) Tämän vuoksi huomion kiinnittäminen keräys- ja kuljetustyön kehittämiseen ja mahdolliseen päästöjen vähentämiseen on tärkeää.



Jätteiden käsittely puolestaan vaatii energiaa ja jätteiden poltto aiheuttaa päästöjä ilmakehään. Kaatopaikkasijoituksen ympäristövaikutukset ovat moninaisemmat, sillä päästöjä syntyy ilmakehään sekä lisäksi myös maaperän kautta vesistöihin. (Valtion ympäristöhallinto 2008, Ympäristön tila, Jätteet, Jätteiden vaikutukset.)

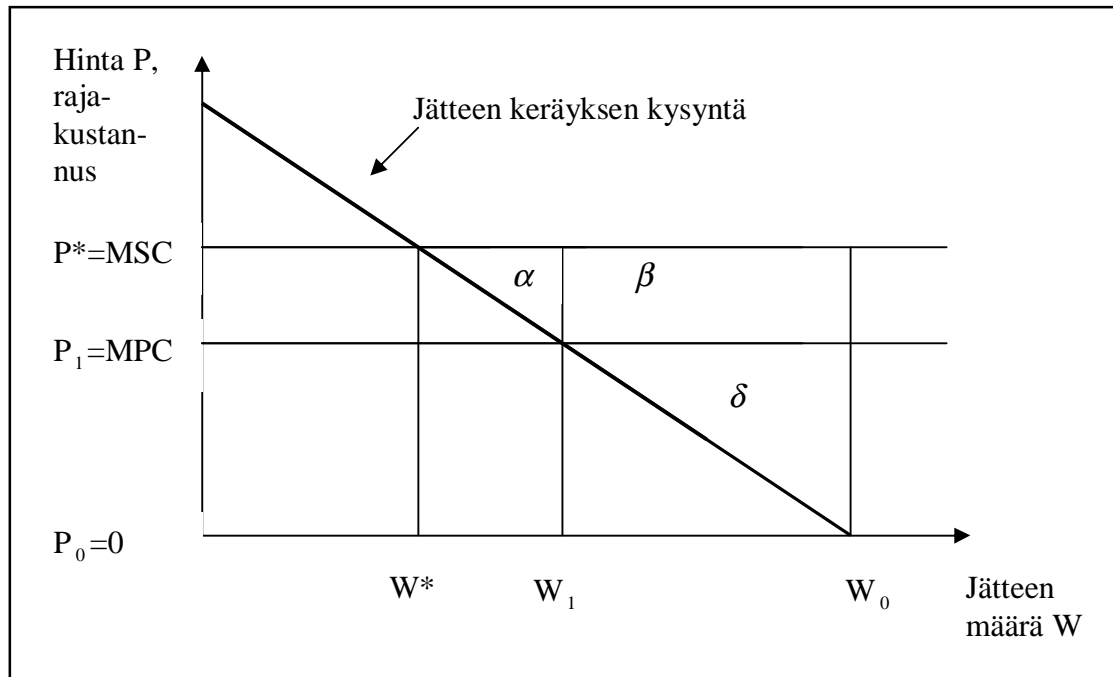
Jätehuollon järjestäminen tuottaa myös välillisiä ympäristövaikutuksia. Näitä ovat muun muassa keräysastioiden ja kuljetuskaluston valmistaminen, kuljettaminen ja loppusijoittaminen. Myös jätelaitosten rakentaminen ja ylläpito aiheuttavat ympäristövaikutuksia. Jätehuollon järjestämistapa ja toimivuus vaikuttaa osaltansa jätteen tuottajien<sup>1</sup> kierrätyskäyttäytymiseen ja -motivaatioon, joten myös tämä voidaan laskea jätehuollon aiheuttamaksi epäsuoraksi ympäristövaikutukseksi.

### **2.3 Jätehuollon kustannukset**

Jätehuollosta aiheutuu sekä yksityisiä että yhteiskunnallisia kustannuksia. Yksityisiä kustannuksia syntyy esimerkiksi palkoista, polttoaineen kulutuksesta ja kalustoinvestoinneista. Yhteiskunnallisiin kustannuksiin sisältyvät yleisesti ottaen kaikki yhteiskunnalle kohdistuvat kustannukset mukaan lukien edellisessäkin luvussa mainitut ympäristölle koituvat haitat (Myllymaa ym. 2005, 16). Silloin kun näitä kustannuksia ei ole sisällytetty jätehuollon hintoihin, niitä kutsutaan ulkoisvaikutuksiksi. Ulkoisvaikutukset aiheuttavat yhteiskunnalle hyvinvointitappion. (Porter 2002, 40-41.) Tämän hyvinvointitappion muodostuminen on esitetty kuvassa 1.

---

<sup>1</sup> Jätteen tuottajat ovat tahoja, joiden toiminnan seurauksena syntyy jätettä (esimerkiksi kotitaloudet ja yritykset).



**Kuva 1. Jätteen keräyksestä aiheutuva hyvinvointitappio (Porter 2002, 41).**

Kuvassa 1 näkyy laskevana suorana jätteen keräyksen kysyntä kotitalouksien näkökulmasta, sekä keräyksestä aiheutuneet yhteiskunnalliset (MSC) ja yksityiset (MPC) rajakustannukset. Yksinkertaistuksen vuoksi kustannusten on oletettu olevan vakioita ja lisäksi on oletettu, ettei kierrättämistä tai laitonta jätteen käsittelyä esiinny. Optimaalinen kerätyn jätteen määrä on  $W^*$ , koska tällöin kotitalouksien keräyksestä maksama hinta kattaa jätteen keräyksestä aiheutuneet ulkoisvaikutukset, eli  $P^* = MSC$ . Mikäli jätteen keräyksestä ei joudu maksamaan mitään, eli  $P = 0$ , on jätteen määrä suuri  $W_0$ , ja yhteiskunnalle aiheutuu hyvinvointitappiota alojen  $\alpha + \beta + \delta$  verran. Mikäli hinta kattaisi yksityiset kustannukset eli olisi  $P_1$ :n suuruinen, jätteen määrä vähenisi jonkin verran  $W_0$ :sta  $W_1$ :een, mutta ulkoisvaikutukset eivät sisältyisi jätteen keräyksen hintaan ja hyvinvointitappio olisi alan  $\alpha$  suuruinen.  $P^*$ :n ylittävä hinta ei olisi kannattava, koska kotitaloudet eivät olisi valmiita maksamaan enempää jätteen keräämisestä. (Porter 2002, 40-41.)

Yksityisten kustannusten kohtaantuminen on usein valtio- ja jätejaekohtaista. Jätteen tuottajalle ilmainen hyötyjätteiden keräysjärjestelmä kannustaa taloudellisesti jätteiden lajitteluun (Porter 2002, 122), koska tällöin jätteen tuottajalle ei koidu ylimääräisiä kustannuksia päätöksestään lajitella. Täysin ilmainen järjestelmä ei kuitenkaan kannusta jätteen määrän vähentämiseen, koska jätteen tuottajan rajakustannus yhdestä

lisäjäteyksiköstä on nolla (mt, 39). Esimerkiksi USA:ssa jätehuollon kustannukset on usein katettu julkisilla varoilla, mikä ei ole kannustanut jätteiden määrän vähentämiseen (Porter 2002, 39-40). Suomessa puolestaan jätteen tuottajat osallistuvat jätehuollon kustannuksiin. Nämä kustannukset perustuvat yleensä astioiden kokoon ja tyhjennysväleihin, joten ne ovat suoraan verrannollisia tuotetun jätteen määrään. Hinnoittelun avulla on myös pyritty kannustamaan jätteiden lajitteluun asettamalla hyötyjätteiden keräyksen kustannukset sekajättekustannuksia pienemmiksi. (YTV Jätehuolto, hinnat ja määräykset 2008.)

Keräyspaperi kuuluu tuottajan vastuun piiriin (ks. tarkemmin luku 2.6), joten sekajätteestä poiketen jätteen tuottajan ei tarvitse maksaa paperiastian tyhjennyksestä. Kiinteistökohtaisten keräysjärjestelmien kohdalla kuitenkin astia- ja tilakustannukset koituvat kiinteistölle, eli loppujen lopuksi jätteen tuottajalle itselleen, mutta aluekeräyksen osalta yksityisistä kustannuksista vastaa tuottajayhteisö (ks. luku 2.6). (Paperinkeräys Oy 2008.)

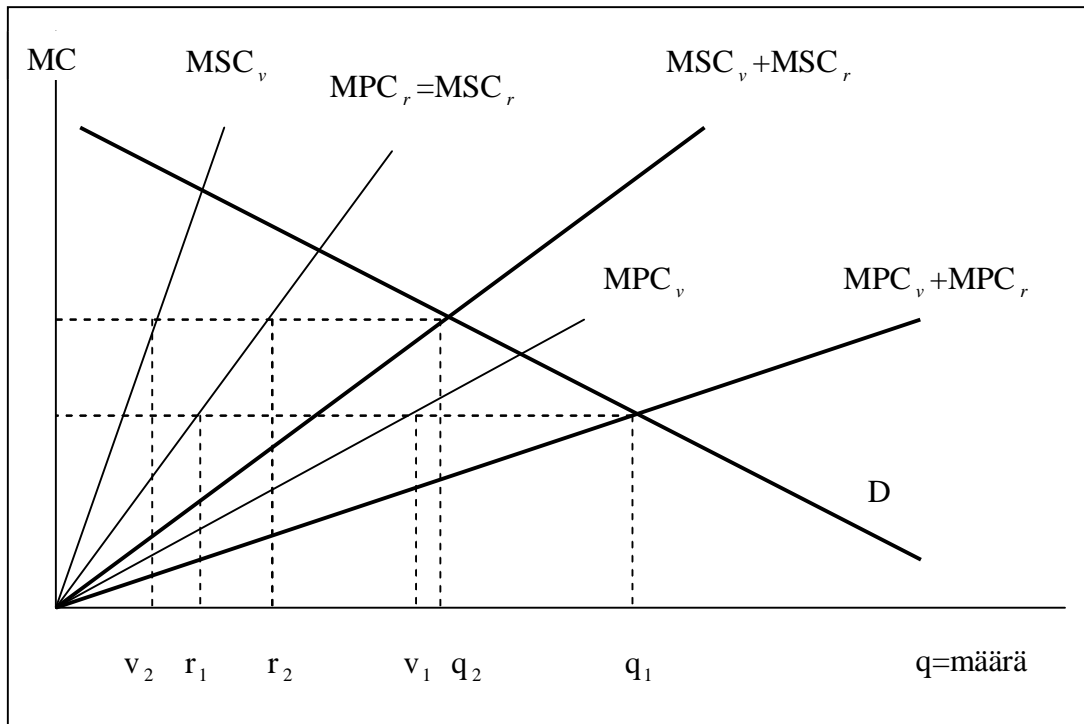
## 2.4 Kierrätyksen kannattavuus

Lähtökohtaisesti voidaan sanoa, että yhteiskunnalle kierrättämisen kokonaisnettokustannukset ovat yleensä pienemmät kuin jätteiden kaatopaikkasijoituksella, mikä tekee kierrättämisestä suositeltavamman vaihtoehdon. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kierrättäminen olisi aina tuottavaa. Kierrättäminen kannattaa siinä vaiheessa, kun sen järjestäminen on kustannustehokasta verrattuna esimerkiksi kaatopaikkakustannuksiin ja elintason säilymisen todennäköisyyteen<sup>2</sup>. (Porter 2002, 126.)

Teoriassa optimaalinen kierrätystaso voidaan määrittää kuvan 2 osoittamalla tavalla.

---

<sup>2</sup> Materiaalien saatavuus ja riittävyys on merkittävä tekijä elintason säilymisen kannalta, jolloin kierrätyksen määrällä on vaikutus elintason säilymisen todennäköisyyteen.



**Kuva 2. Optimaalisen kierrätystason määräytyminen (Kahn 1998, 274).**

Kuvassa 2 on vaaka-akselilla materiaalin määrä sekä pystyakselilla materiaalin käytöstä aiheutuva rajakustannus. Kuvassa oletetaan, että neitseellinen raaka-aine ( $v$ ) ja kierrätysmateriaali ( $r$ ) ovat toistensa täydellisiä substituutteja, jolloin niiden kysynät voidaan yhdistää materiaalin kokonaiskysyntäkäyräksi ( $D$ ), joka on kuvassa laskeva suora. Nousevat suorat kuvaavat neitseellisen raaka-aineen ja kierrätysmateriaalin yksityisiä ja yhteiskunnallisia rajakustannuksia. Neitseellisen raaka-aineen käytön on oletettu aiheuttavan ulkoisvaikutuksia, eli sen käytön yhteiskunnallinen rajakustannus on suurempi kuin yksityinen rajakustannus,  $MSC_v > MPC_v$ . Kierrätysmateriaalin käytöllä ei puolestaan ole ajateltu olevan ulkoisvaikutuksia lainkaan, joten kierrätysmateriaalin käytön yhteiskunnallinen rajakustannus on yhtä suuri kuin yksityinen rajakustannus eli  $MSC_r = MPC_r$ . Tämä on melko vahva ja paljon yksinkertaistava oletus, mutta sillä ei ole vaikutusta tuloksiin, mikäli kuitenkin pätee, että kierrätysmateriaalin käytön ulkoisvaikutukset ovat pienemmät kuin neitseellisen raaka-aineen käytöllä. (Kahn 1998, 273.) Termi  $q_1 = r_1 + v_1$  kertoo materiaalin käytön määrän yksityisessä tasapainossa. Yhteiskunnallisesti optimaalinen materiaalin käytön määrä on kohdassa  $q_2 = r_2 + v_2$ , missä yhteiskunnalliset rajakustannukset ovat yhtä

suuret yhteiskunnallisten rajahyötyjen kanssa. Tällöin optimaalinen kierrätystaso on  $r_2$  ja neitseellisen raaka-aineen käytön määrä  $v_2$  (Kahn 1998, 274.)

Kierrättämisen kannattavuutta voidaan mitata myös esimerkiksi kustannushyötyanalyysillä, jossa vertaillaan kierrätyksen yhteiskunnallisia hyötyjä (esimerkiksi materiaalien hyötykäyttö, kaatopaikkojen kuormittamisen vähentäminen ja pienempi tarve sekajätteen keräämiselle) vastaaviin haittoihin (esimerkiksi kierrätettävien materiaalien kerääminen ja materiaalien käsittely käytettävään muotoon) (Porter 2002, 133). Mikäli kustannushyötyanalyysin tulos eli nettohyöty on positiivinen, on kierrättäminen kannattavaa.

Ympäristökuormituksen kannalta kierrätyksen kannattavuuteen vaikuttavat esimerkiksi alueella käytössä olevat kierrätysjärjestelmät ja liikennöintiyhteydet, kuten kuljetusetäisyydet hyödyntämiskohteeseen ja materiaalin tuottajiin. Myös alueen tuotantorakenteella ja -olosuhteilla on merkitystä: kohtaako kierrätettävän materiaalin kysyntä ja tarjonta, onko materiaalilla kilpailevia substituuotteja, kuinka kierrätettävän materiaalin käyttö vaikuttaa valmistusprosessiin verrattaessa esimerkiksi neitseellisen raaka-aineen käyttöön. Lisäksi kierrätyksen kannattavuuteen vaikuttavat kierrätysmateriaalin ominaisuudet, laatu ja varastoitavuus. (Myllymaa ym. 2005, 44–45.)

Myös kustannusten osalta kierrätyksen kannattavuuteen vaikuttavat pitkälti edellä mainitut seikat, kuten kierrätysratkaisut, niiden vaatimat investoinnit sekä keräysjärjestelmän toimivuus. Alueen asukasluku ja sitä kautta kierrätettävän materiaalin määrä vaikuttavat kustannuksiin: suuret keräyserät laskevat keräyskustannuksia kerättyä jätetonnia kohden. Kierrätysmateriaalin hinnalla ja saatavuudella verrattuna sen substituuotteihin ja neitseelliseen raaka-aineeseen on oleellinen vaikutus kierrätyksen kannattavuuteen. (Myllymaa ym. 2005, 45.)

Kierrätysjärjestelmiä on kustannustasoltaan ja kierrätystehokkuudeltaan erilaisia. Voidaan esimerkiksi perustaa kierrätyskeskuksia, joihin ihmiset voivat tuoda kierrätettävää materiaalia (Porter 2002, 164). Tämä on kuitenkin ainoana kierrätysjärjestelmänä tehoton, sillä arviolta vain 10-20 % ihmisistä osallistuu tällaiseen järjestelyyn (Stevens 1994, Porterin 2002, 165 mukaan). Kierrätettävää materiaalia

voidaan myös erottaa sekajätteen joukosta sen keräyksen jälkeen, mutta tämä usein heikentää kierrätettävän materiaalin laatua. Sekajätteestä myöhemmässä vaiheessa tehtävä lajittelu on hankalaa, koska biojäte usein likaa muut materiaalit tehden niistä hyödyntämiskelvottomia. Lisäksi jätejakeiden koneellinen erottelu on vaikeaa niiden samankaltaisten ominaisuuksien takia eikä käsin tehtyä lajittelua pidetä vartenotettavana vaihtoehtona muun muassa kalliiden kustannustensa vuoksi. (Kaila 2006, 52.)

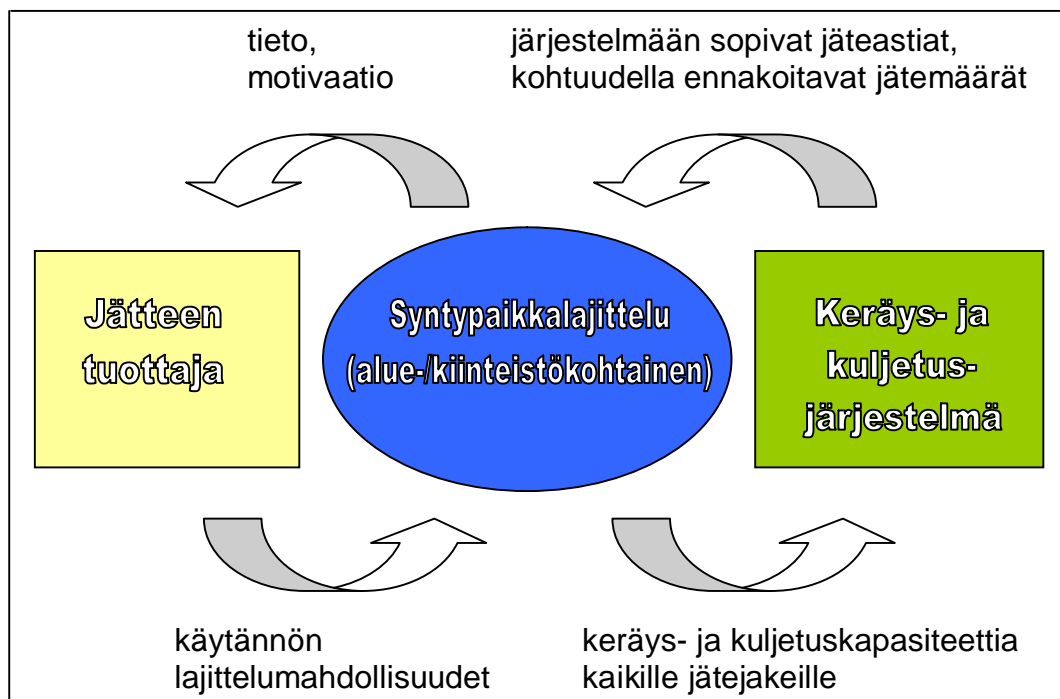
Laadun heikentymisen estämiseksi voidaan vaatia ihmisiä keräämään eri materiaalit esimerkiksi erivärisiin pusseihin, jolloin ne on lajitteluvaiheessa helpompi erotella. Tällaisten kierrätysjärjestelyjen etuna on se, että ei tarvitse järjestää erillistä keräystä kierrätysmateriaaleille, ja kierrätysaste pysyy korkeahkona, koska kierrättäminen on jätteen tuottajalle helppoa. Toisaalta järjestelyjen kustannukset ovat korkeat verrattuna palautuvan kierrätysmateriaalin laatuun. Kun halutaan pitää kierrätysaste korkealla ja kierrätettävä materiaali laadukkaana, on käytettävä erillistä keräysjärjestelmää. Tämä kuitenkin nostaa sekä sekajätteen että kierrätettävän materiaalin keräyskustannuksia, vaikkakin samalla säästetään erottelukustannuksissa. (Porter 2002, 165-166.)

Kierrätyksen kustannusten osalta tärkeintä on tietää mihin suuntaan kustannukset kerättyä jätetonnin kohden kehittyvät. Mitä helpompaa kierrätys on esimerkiksi kotitalouksille, sitä enemmän kierrätettävää materiaalia saadaan talteen. Toisaalta materiaalin määrän kasvu lisää myös keräys- ja kuljetustyön kustannuksia. Tilanteesta riippuu missä suhteessa materiaalin määrän kasvu ja kustannusten nousu ovat toisiinsa nähden. Optimaalista kierrätysastetta määrittääkin keskimääräisen tonnikohtaisen kustannuksen sijaan enemmän kierrätettävän materiaalin keräyksen rajakustannus, joka jossakin kohtaa kääntyy nousuun. Esimerkiksi siirtyminen viikoittaisesta keräyksestä päivittäiseen keräykseen seitsemänkertaistaisi kustannukset, mutta tuskin nostaisi kierrätettävän materiaalin määrää yhtä paljon tyhjennystä kohden. (Porter 2002, 168-169.)

## 2.5 Syntypaikkalajitteluun perustuva materiaalihyödyntäminen

Syntypaikkalajittelu tarkoittaa sitä, että hyötyjäte lajitellaan erilleen sekajätteestä ja pidetään erillään muusta jätteestä koko jätehuoltojärjestelmän läpi. (Nieminen & Isoaho 1995, Tanskanen 1996, 13 mukaan.) Syntypaikalla lajiteltua jätettä kerätään yleensä joko kiinteistö- tai aluekohtaisista keräysastioista, joita on jokaiselle jätejakeelle omansa (Kaila 2006, 53). Lopulta jätteet päätyvät joko materiaali- ja energiamarkkinoille (Tanskanen 1996, 14).

Syntypaikkalajitteluun perustuva jätteiden laadukas hyödyntäminen edellyttää oikeanlaista keräys- ja kuljetusjärjestelmää sekä kotitalouksien sitoutumista lajitteluun (Kaila 2006, 53). Kuvassa 3 on esitelty syntypaikkalajittelun, jätteen tuottajan sekä keräys- ja kuljetusjärjestelmien välisiä yhteyksiä.



**Kuva 3. Toimivan syntypaikkalajittelujärjestelmän edellytyksiä koskien jätteen tuottajia sekä keräys- ja kuljetusjärjestelmiä (Kaila 2006, 53)**

Esimerkiksi keräysastioiden kaukainen/huono sijainti, niiden vaikeakäyttöisyys tai muu keräysjärjestelmien toimimattomuus vähentävät jätteen tuottajien lajittelumotivaatiota.

(Halinen & Juvonen 1990, Tanskasen 1996, 15 mukaan) ja heikentävät jätejakeen laatua ja hyödynnettävyyttä, mikäli eri jätejakeita sekoittuu keskenään (Tekes 2005, 32). Tämän vuoksi jätehuoltojärjestelmien perusteellinen suunnittelu ja kehittäminen on tarpeellista.

Jätteiden lajittelua ja hyötykäyttöä perustellaan usein ympäristösyillä ja sekajätteen vähenemisellä. Syntypaikalla tehtävä lajittelu on myös taloudellisesti edullisinta etenkin silloin, kun tarvittavat asunto- ja kiinteistökohtaiset keräysjärjestelmät (esimerkiksi jätetilat) ovat yksinkertaisesti toteutetut sekä suunniteltu tulevaisuudenkin tarpeet mahdollisimman hyvin huomioon ottaen. Syntypaikkalajittelu on perusteltua myös, kun kerättävällä jätteellä on materiaalina kysyntää tai se parantaa jäljelle jäävän jätteen hyödynnettävyyttä. Koska jätteen tuottajilla on suuri vastuu lajittelun onnistumisessa, on hyvän syntypaikkalajittelun edellytyksenä myös jätteen määrittelyn ja erottelun pitäminen helppona ja yksinkertaisena. Tätä auttaa suuresti jätteen tuottajien asianmukainen informointi ja lajittelumotivaation ylläpitäminen. (Kaila 2006, 54.)

Lajittelusta huolimatta osa erilliskerättävistä jätejakeista päätyy sekajätteen joukkoon, koska kaikki eivät ole halukkaita lajittelemaan tai lajittelusta ei ole saatavilla tarpeeksi tietoa. Tämän vuoksi hyötyjätteiden lajittelutehokkuus<sup>3</sup> on aina alle 100 %. (Tanskanen 1996, 31; Tanskanen 1997, 4.) Lajittelutehokkuus, erilliskeräyksen kattavuus<sup>4</sup> ja hyödynnettävien jätejakeiden osuus kokonaisjättemäärästä vaikuttavat erilliskerättävän jätelajin hyödyntämistasteeseen. Tämä tarkoittaa sitä osuutta kyseisen jätteen kokonaismäärästä, joka otetaan talteen ja toimitetaan hyödynnettäväksi (Tanskanen 1997, 3-4.)

Tanskasen (1997, 44) mukaan hyödyntämistasteen tehostaminen usein lisää jätehuollon kustannuksia, miten on tapahtunut ainakin Suomessa esimerkiksi kotikompostoinnin, biojätteen ja palavan jätteen erilliskeräyksen tehostumisen seurauksena. Samalla hyödyntämisen tehostuminen on kuitenkin vähentänyt jätehuollon kokonaispäästöjä pitkällä aikavälillä, vaikkakin keräys- ja kuljetustyön päästöt ovat samalla kasvaneet.

---

<sup>3</sup> Lajittelutehokkuus on se osa erilliskerättävän jätelajin kokonaismäärästä, jonka jätteen tuottajat erottelevat tietyssä keräyspisteessä (Tanskanen 1996, 6).

<sup>4</sup> Erilliskeräyksen kattavuus tarkoittaa lajittelun piirissä olevien jätteen tuottajien osuutta tietyn jätteen tuottajaryhmän asukkaiden tai työntekijöiden kokonaismäärästä (Tanskanen 1996, 6).



Tämä siksi, että yhden sekajätetonnin keräämiseen tarvittava aika kasvaa uusien jätelajien lajittelun aloittamisen myötä. Päästöjen vähenemä syntyy loppusijoituspäästöjen pienenemisestä, joiden osuus jätehuollon kokonaispäästöistä on suuri. (Tanskanen 1997, 44-46.)

Suomessa paperin ja muiden hyötyjätteiden keräys perustuu syntypaikkalajittelujärjestelmiin. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla hyödynnettäväksi kelpaavan paperin osuus sekajätteestä on 8 %, eli jokainen asukas heittää keskimäärin 14 kg paperia vuodessa sekajäteastiaan. Keräyspaperin hyödyntämisaste samalla alueella oli vuonna 2004 keskimäärin 86 % asukasta kohden. (Jokinen 2004, 69-70.) YTV:n vuonna 2004 teettämän tutkimuksen mukaan nykyisten syntypaikkalajitteluun perustuvien järjestelmien (pääasiassa paperin, biojätteen ja kartongin keräyksen) tehokkaalla käytöllä olisi mahdollista vähentää sekajätteen määrää jopa 40 prosenttiin nykyisestä. Tämä ei edellyttäisi muutoksia olemassa oleviin järjestelmiin, ainoastaan jätteen tuottajien osalta tehokkaampaa lajittelua (Jokinen 2004, 75.)

Keräyspaperin kohdalla kierrätyksen tehostaminen on historiallisen datan perusteella ollut taloudellisesti kannattavaa (Tanskanen 1997, 44). Tämä siksi, että keräyspaperi on materiaalina arvokasta, jolloin sen keräyksestä ja jatkojalostuksesta koituvat kustannukset saadaan katettua (Kaila 2006, 54). Paperin keräämisen kannattavuudella on kuitenkin alueellisia eroja. Esimerkiksi haja-asutusalueella paperin kerääminen ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa, koska kuljetusmatkat ovat pitkät ja materiaalia kertyy vähän. Lisäksi tällä hetkellä korkeat polttoaineiden hinnat ja työvoimakustannukset syövät kannattavuutta. Tämä siksi, että paperimateriaalin hinta ei määräydy kustannusten perusteella, vaan se seuraa lopputuotteen kysyntää sekä keräyspaperin hintaa raaka-aineena maailmanmarkkinoilla. (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 3.6.2008.)

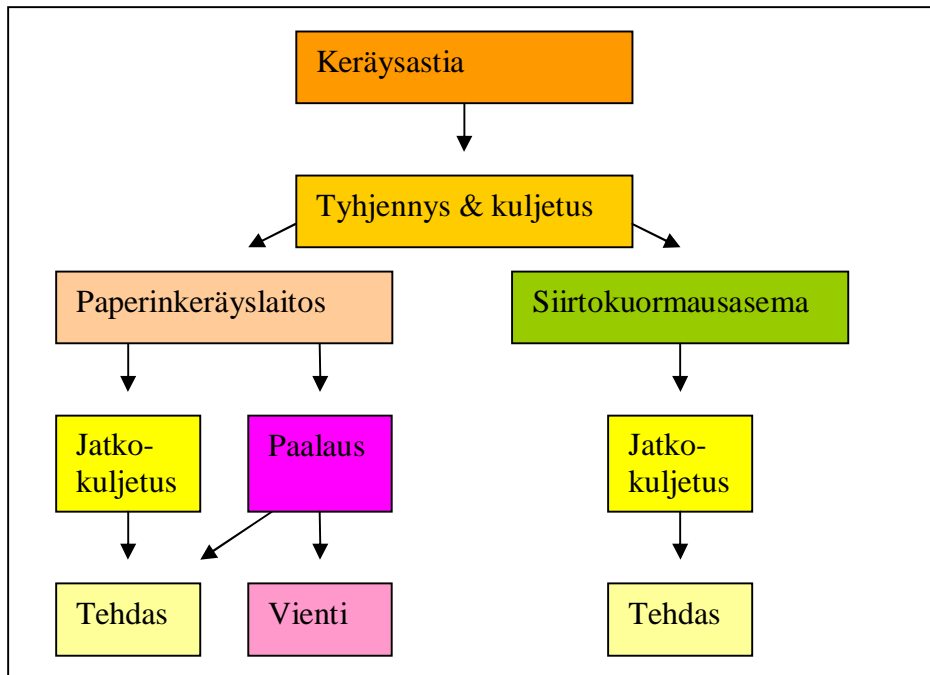
## **2.6 Tuottajan vastuun alaisen paperin talteenotto hyötyjätehuollon osana**

Keräyspaperi kuuluu tuottajan vastuun piiriin. Tämä tarkoittaa sitä, että paperin tuottajalla on kansallisen lain velvoittama vastuu järjestää ja kustantaa keräyspaperin uudelleenkäyttö, hyödyntäminen sekä muu jätehuolto. Keräyspaperia ovat kaikki graafiset paperit, eli sanoma-, aikakausi-, mainos- ja kirjekuoripaperit sekä näihin rinnastettavat paperit. Paperin tuottajiksi lasketaan yritykset, jotka tuottavat tai tuovat maahan paperia tai paperituotteita. (Jätelaki 18ab §.)

Paperinkeräys Oy on tuottajayhteisö, joka huolehtii jäsenten puolesta keräyspaperin talteenotosta ja toimittamisesta hyödynnettäväksi. Keräyspaperia kerätään tiheästi asutuilla alueilla kiinteistökohtaisista keräyspisteistä ja haja-asutusalueilla aluekohtaisista keräyspisteistä. Tuottajayhteisön tehtäviin kuuluu keräyspaperin kuljettaminen, aluekeräyskeräyspisteiden järjestäminen ja ylläpito sekä tarvittavasta neuvonnasta ja tiedottamisesta huolehtiminen. Aluekeräysverkoston on oltava valtakunnallinen ja käyttäjälle maksuton. (Paperinkeräys Oy 2008, Paperinkeräisyhtiöt, Rooli tuottajavastuussa.)

Tuottajayhteisön tavoitteena on hoitaa talteenotto mahdollisimman ympäristöä säästävällä ja kustannustehokkaasti (Paperinkeräys Oy 2008, Paperinkeräisyhtiöt, Arvot). Lisäksi tavoitteena on kehittää talteenottojärjestelmä sellaiseksi, että keräysajokilometrien määrä ja keräyksestä aiheutuvat päästöt minimoituvat (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 27.3.2008).

Kuvassa 4 on havainnollistettu keräyspaperin matkaa keräysjärjestelmässä.

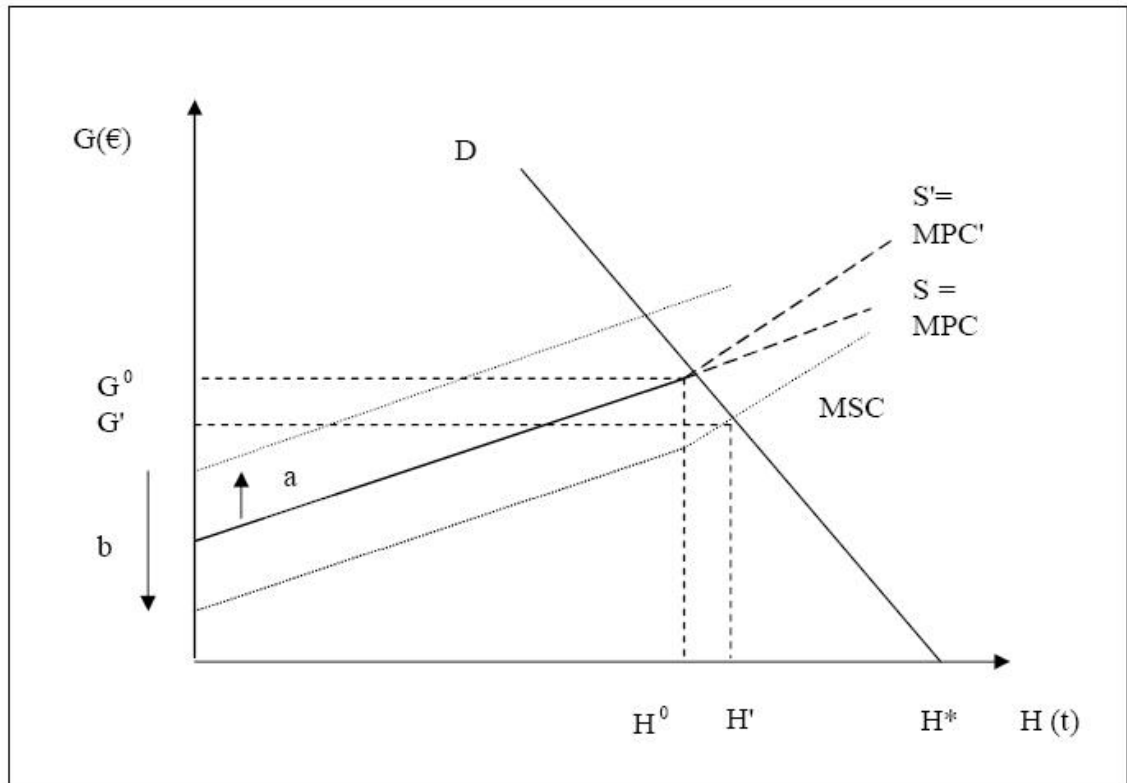


**Kuva 4. Paperin matka keräysastiasta uusiokäyttöön (Paperinkeräys Oy 2008)**

Kiinteistö- tai aluekohtaiset keräysastiat tyhjentää alueellinen keräysliike, joka kuljettaa paperin lähimmälle paperinkeräyslaitokselle tai siirtokuormausasemalle saamaansa korvausta vastaan. Keräysmenetelmän valinta vaikuttaa juuri tähän osaan keräysjärjestelmää. Laitokselta ja siirtokuormausasemalta keräyspaperi jatkokuljetetaan joko kuorma-autolla tai junalla tehtaalle, jossa siitä valmistetaan mm. sanomalehtipaperia. Keräyspaperia myös viedään ulkomaille hyödynnettäväksi, jota varten keräyspaperi paalataan laitoksella. (Paperinkeräys Oy 2008.)

Hyötyjätehuollossa keräyspaperi on määrällisesti yleisin erilliskerättävä jätejäte. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla yksi asukas tuottaa kaiken kaikkiaan noin 300 kg jätettä vuodessa, josta keskimäärin 170 kg on sekajätettä ja 100 kg keräyspaperia. Määrä tosin vaihtelee välillä 40-113 kg/as. riippuen siitä, kuuluuko asukas kiinteistö- vai aluekohtaisen keräysjärjestelmän piiriin. Kiinteistökohtaisista järjestelmistä paperia saadaan enemmän talteen. (Jokinen 2004, 3;38.) Verrattuna muihin erilliskerättäviin hyötyjätteisiin keräyspaperia kertyy paljon ja tämän vuoksi sen määrällä on merkittävin vaikutus sekajätteen määrään. (Toukola ym. 2007, 22).

Kuvassa 5 on esitetty paperin keräyksen markkinatasapainokuva.



**Kuva 5. Paperin keräyksen markkinatasapaino (M. Ollikainen, henkilökohtainen tiedonanto 15.10.2008)**

Vaaka-akselilla on kerätyn paperin määrä vuodessa  $H$  (tonnia) ja pystyakselilla tuottajayhteisön keräyspaperista maksama hinta  $G$  (euroa) vuodessa. Tämän tuottajayhteisölle koituvan kustannuksen muotoutumisperusteista kerrotaan tarkemmin luvussa 3.3 ja on esitetty funktiomuodossa luvussa 4.4.2 (kaavat 13 a ja b). Kuvassa laskeva käyrä  $D$  esittää paperin keräyksen kysyntää ja nouseva yhtenäinen suora  $S$  keräyspaperin keräämisen ja kuljettamisen rajakustannusta, eli tarjontakäyrää.  $H^*$  kertoo potentiaalisesti kerättävissä olevan paperin määrän. Tarjontakäyrä polveutuu  $H^0$  jälkeen, koska jätteen tuottajien keräysponnistuksen tulee kasvaa, jotta paperia saadaan lisää markkinoille ja lisäksi kuljetuskustannukset kasvavat. Alempi pistesuora kuvaa keräyspaperin keräämisen ja kuljettamisen vastaavaa yhteiskunnallista rajakustannusta eli yhteiskunnallisesti relevanttia tarjontaa, joka on samassa kohtaa polveikas. Rajakustannuskäyrät ovat nousevia, koska keräyspisteet ovat "eriarvoisia"; toisista paperia saadaan helpommalla ja halvemmalla kuin toisista. Kysyntä ja tarjonta leikkaavat kilpailullisessa tasapainopisteessä  $(H^0, G^0)$ , mikä tarkoittaa, että tuottajayhteisön maksamalla hinnalla  $G^0$  alueen keräyspaperin saanto on case-alueella  $H^0$  tonnia. Yhteiskunnallinen optimi saavutetaan kysynnän ja yhteiskunnallisten

rajakustannusten MSC leikkauspisteessä. Paperin keräyksestä aiheutuu yhteiskunnallisia kustannuksia päästöjen muodossa, jotka nostavat kustannuskäyrää määrän  $a$  verran ylöspäin. Toisaalta paperin keräyksen ansiosta vältetään mm. haitallisia metaanipäästöjä kaatopaikalla, jolloin kustannuskäyrä laskee määrän  $b$  verran alaspäin. Tällöin yhteiskunnallinen tasapaino on pisteessä  $(H', G')$ , jossa siis keräyspaperin saanto on suurempi ja paperista maksettava korvaus pienempi kuin yksityisessä tasapainossa.

### **3 Keräys- ja kuljetustyö**

Jätehuollon suurin työtä ja kustannuksia aiheuttava osa on jätteen keräys ja kuljetus (Tekes 2005, 32). Yhdyskuntarakenne, lajitteluratkaisut sekä astia- ja kuljetuskalusto vaikuttavat näiden kustannusten suuruuteen (Tanskanen 1996, 34). Jätekeräysautojen paljon kiihdytyksiä ja jarrutuksia sisältävä ajorytmi kuluttaa myös paljon energiaa ja aiheuttaa päästöjä (Skoglund 2001, 35). Yksinkertaistetusti voidaan sanoa, että keräys- ja kuljetustyö on sitä taloudellisempaa ja ympäristöä säästävämpää mitä vähemmän aikaa kuorman keräämiseen ja kuljettamiseen keräyslaitokselle kuluu (Kaila 2006, 56). Tässä luvussa tarkennetaan keräykseen ja kuljetukseen vaikuttavia tekijöitä sekä määritetään keräyksen ja kuljetuksen aiheuttamia kustannus- ja ympäristövaikutuksia. Ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan tässä yhteydessä päästöjä.

#### **3.1 Keräysjärjestelmien tekninen toteutus ja tehostamismahdollisuudet**

Keräysjärjestelmien ja niissä käytettyjen menetelmien logistiikkaratkaisut voidaan omana kokonaisuutenaan jakaa eri osaprosesseihin, kuten esimerkiksi jätekeräysastioiden rakennesuunnitteluun, valmistukseen, sijoitteluun ja tyhjentämiseen sekä kuljetuskaluston kehittämiseen ja tehostamiseen. Nämä osaprosessit ovat linkittyneitä toisiinsa, mutta niitä voidaan tutkia toisistaan erikseen ja pyrkiä niiden yhdistelmistä luomaan optimaalinen jätehuollon toimintamalli. (Tekes 2005, 32.) Käytännössä keräysjärjestelmien tehostamiskeinot ovat jossakin määrin toisensa poissulkevia, joten usein joudutaan tyytymään tapauskohtaiseen kompromissiin ympäristövaikutusten, kustannusten ja palvelutason välillä. (Kaila 2006, 56.) Tärkeää on myös huomioida paikalliset olosuhteet (Mattson Petersen 2004, 32).

##### **3.1.1 Keräysastioiden sijoittelu**

Keräyspisteet sijoitetaan pääsääntöisesti joko kiinteistöjen yhteydessä oleviin jätetiloihin tai aluekohtaisiin keräyspisteisiin. Eräiden tutkimusten (esim. Laakso 1998,

Skoglund 2001) mukaan jätteiden aluekeräyksen päästöistä suuri osa aiheutuu jätteiden viennistä aluekeräyspisteisiin. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että ihmiset vievät jätteensä aluekeräyspisteisiin autolla ilman, että matkalla on mitään muuta tarkoitusta tai, että jätteen viennin vuoksi joudutaan ajamaan ylimääräisiä kilometrejä. Tämän vuoksi aluekeräysjärjestelmiä suunniteltaessa keräyspisteiden sijoittelu nousee erityisen tärkeään asemaan, jotta sekä jätteen vienti että keräysajo saataisiin optimoiduksi (Skoglund 2001, 116). Paperin keräyksessä aluekeräyspisteet pyritään mahdollisuuksien mukaan sijoittamaan ihmisten kulkureittien varrelle, kuten esimerkiksi kaupan pihaan, jotta ylimääräistä ajoa ei syntyisi (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 2.5.2008).

Keräyspisteiden sijoittelu vaikuttaa kerättävän jätejakeen keräyksen kannattavuuteen ja keräysmenetelmän ympäristömyötävyyteen kahdella tavalla. Kun pisteet on sijoitettu lajittelijan kannalta lähelle tai mahdollisimman helppoon paikkaan, pysyy lajittelumotivaatio korkealla eikä edellä mainittuja turhia jätteiden vientipäästöjä synny. Toisaalta myös jätteen kerääjän kannalta keräyspisteiden sijoittelulla on merkitystä: pisteiden tulisi sijaita siten, että sinne pääsee helposti keräysautolla ja, että ajoreitti olisi järkevästi suunniteltavissa turhien ajokilometrien välttämiseksi. (Mattsson, Berg & Clarkson 2003, 45.)

YTV on vertaillut erilaisten koealueiden avulla alue- ja kiinteistökohtaisesta järjestelmästä aiheutuvia päästöjä ja kustannuksia lasinkeräyksen tapauksessa, koska haluttiin selvittää onko kannattavaa laajentaa nykyistä alueellista yleisökeräysjärjestelmää kiinteistökohtaiseksi. Kustannusten osalta vertailussa olivat kolmen mahdollisen kiinteistökeräysmallin välittömät kustannukset. Keräyskustannukset vaihtelivat 126 - 401 euron välillä kerättyä lasitonnia kohden ja ne riippuivat eniten keräykseen kuluneesta ajasta, koska kuljetusliikkeet veloittavat tuntitaksan perusteella. (Vares & Lehtinen 2007, 12-14.)

Kustannusten kannalta ajateltuna kannattavinta lasinkeräys on tutkimuksen johtopäätösten mukaan silloin, kun sitä kerätään yhdessä metallin kanssa ja kaikelle kerätylle materiaalille on kysyntää. Lisäksi keräyksen olisi oltava valikoitua ja tehokasta. Tämä tarkoittaa sitä, että keräys järjestettäisiin ainoastaan tietyn asukasmäärän ylittävälle kiinteistöille ja tyhjennysajoon käytetyt tunnit ja kilometrit minimoitaisiin. Tämä tapahtuu siten, että astiat tyhjenetään vasta sitten kun täyttöaste

ylittää 80 % ja siirtoajoja vähennetään esimerkiksi välivarastoinnin avulla. (Vares & Lehtinen 2007, 27.)

Tuloksien mukaan kiinteistökohtaisessa järjestelmässä saataisiin kolminkertainen määrä lasijätettä talteen verrattuna aluekeräysjärjestelmään, mutta samalla myös ympäristökuormitus kasvaisi, kuten taulukosta 1 voidaan todeta. Keräyksen ympäristövaikutukset selvitettiin koealueiden kuljetussuoritteita sekä VTT:n Lipasto-tietokantaa hyväksi käyttäen. Taulukossa esitetyt arvot kiinteistökohtaisille päästöille on laskettu olettaen, että lasinkeräys on yhdistetty metallinkeräykseen. Mallissa 1 jokainen keräyspiste on tyhjennetty kerran kuukaudessa ja mallissa 2 tyhjennys on pyritty optimoimaan täyttöasteen mukaan. (Vares & Lehtinen 2007.)

**Taulukko 1. Lasinkeräysjärjestelmien päästöt kerättyä lasitonnia kohden (Vares & Lehtinen 2007, 17-18).**

	<b>Yleisök. min.</b>	<b>Yleisök. ka.</b>	<b>Yleisök. max.</b>	<b>Kiinteistök. Malli 1</b>	<b>Kiinteistök. Malli 2</b>
<b>CO<sub>2</sub> g/t</b>	17 000	22 000	40 000	63 000	32 000
<b>NO<sub>x</sub> g/t</b>	104	136	247	380	200
<b>PM g/t</b>	2,5	3,3	6,1	9,0	5,0

Tulevaisuudessa optimaalinen lasinkeräysjärjestelmä olisi tutkimuksen perusteella mahdollisesti sellainen, jossa aluekohtaisia lasinkeräysastioita vähennettäisiin nykyisestä ja uusia astioita sijoitettaisiin suurien asuinkiinteistöjen yhteyteen (Vares & Lehtinen 2007, 17).

Tässä työssä käytetään samankaltaista menetelmää paperin keräyksen päästöjen laskentaan, joten edellä mainitun tutkimuksen tulokset toimivat kiinnostavana vertailukohtana eri jätejakeiden keräyksen ympäristömyötäisyyttä vertailtaessa.



### 3.1.2 Astiatyyppin valinta

Astioiden muodolla ja koolla on vaikutusta muun muassa tyhjennystyön sujuvuuteen, tyhjennyksen keston sekä tyhjennysväleihin. Tätä kautta astiavalinta vaikuttaa siis sekä keräysmenetelmän kustannuksiin että päästöihin. Astioiden muotoa valittaessa on otettava huomioon siihen kerättävän jättejakeen ominaisuudet. Esimerkiksi pyöreä syväkeräysastia ei ole kovin käyttökelpoinen pahvinkeräykseen, koska isot pahvilevyt jäävät astiaan jumiin aiheuttaen astian ennenaikaisen täyttymisen.

Astioiden suurempi koko mahdollistaa kerralla mukaan otettavan jättejakeen määrän kasvun, mutta toisaalta isojen astioiden tyhjentäminen suuremman massan ja tilavuuden vuoksi on työläämpää ja tämän vuoksi tyhjentämiseen kuluu myös enemmän aikaa. Talteen otettuun tonnimäärään suhteutettuna tyhjennysaika on kuitenkin tasaisempi ja lastausajan lyhenemistä voidaan edelleen edistää lastaustekniikan kehittämällä ja astioiden käytännöllisellä sijoittelulla. (Kaila 2006, 56.) Lisäksi tyhjennyskertoja voidaan suurempien astioiden tapauksessa usein harventaa.

Huonosti suunnitellut tai liian pienet astiat voivat aiheuttaa keräyspisteiden roskaantumista, jos esimerkiksi tyhjennyksen yhteydessä roskat leviävät ympäriinsä. Roskaantuminen puolestaan lisää laittomien jätteiden, kuten esimerkiksi ongelmajätteiden tuontia keräyspisteisiin, mikä lisää keräysjärjestelmän kustannuksia. (Mattsson Petersen 2004, 28.) Etenkin aluekeräysjärjestelmissä liian pienet astiat tai liian pitkät tyhjennysvälit voivat johtaa astioiden ylitäyttymiseen ja keräyspisteiden roskaantumiseen, mikä puolestaan aiheuttaa kielteisen vaikutuksen koko jätteenkeräysjärjestelmää kohtaan (Mattsson ym. 2003, 48). Yksi ratkaisukeino kielteisen vaikutuksen välttämiseksi olisi mahdollisesti astioiden vaihtaminen suurempiin. Astiatyyppin ja niiden lukumäärän päättämiseksi tarvitaan tietoa kerättävän jätteen määrästä tietyllä alueella tai tietyssä kiinteistössä. Astioiden tyhjennysvälien suunnittelussa voidaan käyttää apuna esimerkiksi astioihin asennettavaa uusinta sensoritekniikkaa, joka hälyttää kun tietty määrä astiasta on täyttynyt (Johansson 2006, 867).

Keräysastioita on ominaisuuksiltaan erilaisia. Yleisimmin käytössä olevat astiat on esitelty taulukossa 2.

**Taulukko 2. Yleisimpiä astiatyyppejä**

Astiatyyppi	Tilavuus m <sup>3</sup>	Kerättävä jätejäte	Tarvittava tyhjennysauto
Muovinen astia (perinteinen)	0,2 – 1,1	Sekajäte, biojäte, paperi, pahvi/kartonki, metalli	Pakkaava jäteauto
Pikakontti	4 - 8	Paperi, pahvi/kartonki	Pakkaava jäteauto
Kiertolaari	17	Paperi, pahvi/kartonki, metalli, lasi, muovi	Kuorma-auto
Syväkeräysastia (Molok)	1,3 - 5	Sekajäte, biojäte, paperi, pahvi/kartonki, metalli, lasi	Nosturi/lava-auto (tai pakkaava jäteauto)
Swedebbox-astia	4 - 6	Paperi, pahvi/kartonki, metalli, lasi	Nosturi/lava-auto
Iglu-lasinkeräysastia	4	Lasi	Nosturi/lava-auto

YTV:n vuonna 2001 teettämässä tutkielmassa on selvitetty eri keräysmenetelmien energiatehokkuuksia koskien hyötyjätteen aluekeräystä pääkaupunkiseudulla. Paperin osalta vertailussa olivat kuorma-autolla tyhjennettävät kiertolaarit sekä perinteiset pakkaavalla jäteautolla tyhjennettävät muoviastiat, jota tässä työssä kutsutaan vallitsevaksi menetelmäksi. Tulosten perusteella perinteiset yksittäiset astiat olivat parempi vaihtoehto, koska laarien tyhjennyksessä syntyy paljon kuljetusajoa. Lisäksi yksittäisten astioiden eduksi laareihin nähden tulkittiin pakkaavan jäteauton käyttö, jolloin saadaan enemmän materiaalia kerralla kuljetettua. (Skoglund 2001, 111-112.)

Tässä työssä puolestaan vallitsevaan keräysmenetelmään verrataan aluekeräysjärjestelmässä Swedex-astioihin perustuvaa keräysmenetelmää ja kiinteistökeräysjärjestelmässä syväkeräysastioihin perustuvaa keräysmenetelmää. Verrattavina tekijöinä ovat energiatehokkuuden sijaan menetelmien päästöt ja niiden kustannusvaikuttavuus.

### **3.1.3 Reittisuunnittelu ja käytettävä kuljetuskalusto**

Tyhjennysajojen perusteellisella suunnittelulla voidaan saada aikaiseksi huomattavia ajokilometrisäästöjä. Reittisuunnittelussa voidaan käyttää apuna esimerkiksi GIS-paikkatietojärjestelmää ja GPS-paikannusjärjestelmää (Johansson 2006, 876). Tyhjennysajot on kuitenkin suunniteltava yhteiskunnan asettamien sääntöjen puitteissa; ajoja ei voida esimerkiksi suorittaa yöaikaan, jolloin välttyttäisiin ruuhkilta ja säästettäisiin aikaa (Nuortio, Kytöjoki, Niska & Bräysy 2006, 223).

Kuljetuskaluston valinta vaikuttaa myös keräys- ja kuljetustyöstä aiheutuviin päästöihin. Esimerkiksi monilokeroisten keräysautojen käyttö mahdollistaa useamman jätejakeen keräämisen samalla kerralla, jolloin on mahdollista vähentää sekä päästöjä että kustannuksia. Näin tapahtui ainakin lasin ja metallin yhteiskeräyksessä (Vares & Lehtinen 2007).

Skoglundin (2001) tutkielman mukaan dieselmootorillisten jäteautojen korvaaminen nestekaasumootoreilla toimiviin keräysautoihin vähentäisi hyötyjätteiden aluekeräyksen päästöjä pääkaupunkiseudulla 10-99 % päästökomponeentista riippuen. Tämänkaltaisen kuljetuskaluston uusiminen olisi kuitenkin kallista (Skoglund 2001, 112), eikä sen toteuttaminen olisi ainakaan lyhyellä aikavälillä mahdollista. Kirjallisuudessa jätekuljetusten optimointiongelma usein sisältää tyhjennysautojen lukumäärän yhtenä muuttujana, mutta todellisuudessa jätekuljetuksia hoitavilla yrityksillä on käytössään tietty vakioinen autokapasiteetti, jonka mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön pyritään (Nuortio ym. 2006, 224).

### 3.2 Keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset

Jätehuollon keräys- ja kuljetustyön ympäristövaikutukset aiheutuvat pääosin sen puitteissa tehdyistä ajosuoritteista, jotka aiheuttavat päästöjä ilmakehään. (Tanskanen 1996, 50). Päästöt riippuvat lukuisista eri tekijöistä, kuten esimerkiksi auton ja moottorin ominaisuuksista sekä ajotavasta ja -nopeudesta. Päästöjä laskettaessa onkin usein tyydyttävä yksinkertaistuksiin. Tehdyt oletukset tuovat aina jonkin verran epävarmuutta tuloksiin, mikä on huomioitava tuloksia tulkittaessa. Päästöt voidaan ilmoittaa esimerkiksi suhteessa polttoaineen kulutukseen (g/l) tai ajettuihin kilometreihin (g/km).

Yleisesti liikenteen osuus Suomen kasvihuonekaasupäästöistä vuonna 2005 oli noin 16 %, hiilidioksidin osalta 18 %. Muiden pakokaasupäästöjen osuus vaihtelee 20–60 % välillä, hiukkaspäästöjen ollessa 15 %. (Liikenne- ja viestintäministeriö 2008, liikennetietoa, liikenteen ympäristökuormitus.) Liikenteen selkeästi suurin päästöjen aiheuttaja on tieliikenne, jonka osuus kaikesta liikenteestä on noin 70 % (Mäkelä, Laurikko & Kanner 2006, 43). Kuorma-autot, joihin jätekuljetuskalustokin lasketaan kuuluvaksi, ovat merkittävä tekijä koskien tieliikenteen hiilidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjä. (Mäkelä ym. 2006, 87.)

Jätteen keräyksessä käytetään raskasta kuljetuskalustoa, joka käyttää polttoaineenaan dieseliä. Dieselmoottorin päästöt sisältävät vesihöyryä ja hiilidioksidia ( $CO_2$ ) kuten bensiinikäyttöiset ottomoottoritkin. Epätäydellisen palamisen lopputuotteita, kuten häkää (CO) syntyy verrattain vähän. Palamisen seurauksen sivutuotteita, eli pääasiassa typen oksideja ( $NO_x$ ) syntyy puolestaan paljon, kun ilman sisältämä typpi (N) hapettuu palamistapahtuman aikana. Palotilan korkeat lämpötilat edistävät typen oksidien muodostusta. Jonkin verran syntyy myös palamattomia hiilivetyjä ( $H_xC_y$ ). Näiden pakokaasujen lisäksi polttoaineen päästöt sisältävät runsaasti hiukkasia (PM) eli palamattomia nokiytimiä, joiden pinnalle on tiivistynyt kaasumaista hiilivetyä. Lisäksi dieselpolttoaineen sisältämä rikki (S) synnyttää rikkidioksidia ( $SO_2$ ), joka helposti yhtyy vesihöyryn kanssa muodostaen sulfaatteja, jotka tiivistyvät hiukkasten ympärille. (Motiva Oy 2007, Pakokaasupäästöt.)

Hiukkas-, hiilivety- ja typpioksidipäästöt saavat aikaan paikallisia ympäristöhaittoja ja näin ollen terveysvaikutuksia. Altistuminen näille päästöille saattaa aiheuttaa sydän-, hengitystie- ja keuhkosairauksia. Alueellisten ympäristövaikutusten aiheuttajista suurin päästöryhmä on typen oksidit, jotka edistävät happamoitumista, rehevöitymistä ja alailmakehän otsonin muodostumista. Alueelliset vaikutukset voivat esiintyä jopa tuhansien kilometrien päässä päästölähteestä. Myös rikkidioksidi vaikuttaa alueellisella tasolla aiheuttaen happamia sateita. Pakokaasujen kasvihuonekaasut, eli pääasiassa hiilidioksidi aiheuttavat globaaleja ympäristövaikutuksia. Hiilidioksidi varastoituu ilmakehään voimistaen kasvihuoneilmiötä, joka puolestaan edistää ilmaston lämpenemistä. (Motiva Oy 2007, Pakokaasujen ympäristövaikutukset.)

Yleisellä tasolla liikenteen päästöihin on pystytty vaikuttamaan teknologian avulla, kun on esimerkiksi kehitetty vähemmän polttoainetta kuluttavia moottoreita. Tästä kehityksestä saatu hyöty on kuitenkin mitätöitynyt, koska tehokkaammat moottorit ja suuremmat ajonopeudet ovat olleet suosiossa ja lisäksi ruuhkat ovat lisääntyneet. (OECD 1995, Johanssonin 2005, 875 mukaan.) Tehokkaimmin teknologiahyötyjä on kuitenkin syönyt ajosuoritteiden kasvu (Mäkelä ym. 2006, 90).

Kiinnittämällä huomiota liikenteen päästöihin voidaan saada aikaiseksi parannuksia koko maan päästöjä ajatellen. Kiistatta paras tapa vähentää päästöjä sekä myös kustannuksia on vähentää ajosuoritteita. Tämän vuoksi myös jätekeräyksen ajokilometrien vähentämiseen pyrkiminen on perusteltua. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla hyötyjätteiden aluekeräyksen päästöjen ja energiankulutuksen merkittävimmäksi tekijäksi osoittautui YTV:n tutkimuksen mukaan tyhjennysajo. Keräystyöstä (mukaan laskettuna siirtoajo, tyhjennysajo ja joutokäynti<sup>5</sup>) aiheutuneet päästöt eri hyötyjätteille on esitetty taulukossa 3. (Skoglund 2001, 69-71.)

---

<sup>5</sup> Siirtoajo tarkoittaa ajoa tyhjällä kuormalla lähtöpisteestä tyhjennysalueelle ja vastaavasti täydellä kuormalla poisajoa tyhjennysalueelta keräyslaitokselle. Tyhjennysajo tapahtuu tässä välissä, kun auto kiertää tyhjennysreitittäään. Tyhjennysajon ajosykli sisältää siis siirtoajoa enemmän kiihdytyksiä ja jarrutuksia ja sen keskinopeus on alhaisempi.

**Taulukko 3. Hyötyjätteiden keräystyön päästöt eräille päästökomponenteille pääkaupunkiseudun aluekeräysjärjestelmässä (Skoglund 2001, 71).**

<b>Päästö g/t</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>PM</b>
<b>Lasi</b>	184	19
<b>Paperi</b>	108	11
<b>Pahvi</b>	463	47
<b>Metalli</b>	773	79
<b>Nestekartonki</b>	491	50

Tutkimuksessa selvisi, että esimerkiksi paperin keräystyön kokonaisenergiankulutuksesta on noin 70 % peräisin ajosuoritteista. Tästä noin kaksi kolmasosaa on peräisin tyhjennysajosta ja yksi kolmannes siirtoajosta. Muihin hyötyjätejakeisiin verrattuna oli paperin keräys energiatehokkuudeltaan paras, kun taas metallin keräys kaikista huonoin. Jätejakohtaiset päästöerot selittyvät pääasiassa jätekertymä- ja tilavuuspainoeroilla. (Skoglund 2001, 69-71.)

### **3.3 Keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset**

Edellä mainitut jätteiden keräystyön ympäristövaikutukset ovat samanaikaisesti myös keräystyön yhteiskunnallisia kustannuksia. Keräyksen yksityiset kustannukset puolestaan koostuvat kuljetus- ja astiakustannuksista, jotka muodostavat kaikista yhdyskuntajätehuollon yksityisistä kustannuksista noin 80 % (Tanskanen 1996, 34). Keräysteknologian kustannusten suuruus ja niiden kohtaaminen riippuvat esimerkiksi käytettävästä keräysjärjestelmästä ja kerättävästä jättejakeesta (Tanskanen 1996, 34).

Keräystyö vaatii toimiakseen astian, johon jätteen tuottajat keräävät jätteen ja josta keräyksen hoitava yritys voi jätteen hakea ja toimittaa keräyslaitokselle. Astiatarvikkeet perustuvat keräyspistetyyppiin (esimerkiksi onko kyseessä alue- vai kiinteistökohtainen keräyspiste) sekä keräyspisteen jätekertymään. Kertymä ja astian koko määrittävät astian tyhjennystiheyden. Astiakustannuksia ovat sen hankinta-, asennus- ja huoltokustannukset. Lisäksi astia tarvitsee jätetilan, joka aiheuttaa myös mahdollisesti

rakennus- ja huoltokustannuksia. Hankinta- ja rakennuskustannukset ovat luonteeltaan kertaluontoisia investointikustannuksia. Astioiden hankintakustannuksen toistamistiheys riippuu astiatyypistä ja sen elinkaaresta. (Tanskanen 1996, 36-37.) Huolto- ja korjauskustannukset ovat muuttuvia kustannuksia.

Keräyspisteeseen sijoitettu astiatyyppi vaikuttaa käytettävän kuljetuskaluston valintaan. Tyhjennystiheys puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka aktiivisesti kuljetuskalustoa käytetään. Kuljetusauto aiheuttaa omat investointi-, huolto- ja polttoainekustannuksensa. Lisäksi tarvitaan autonkuljettaja, joka aiheuttaa usein aikaperusteisen palkkakustannuksen. (Tanskanen 1996, 37-41.)

Keräystyön kustannuksiin voidaan laskea kuuluvaksi myös joitakin it- ja hallinnointi- sekä varastointikustannuksia. Käytetty keräysmenetelmä ei kuitenkaan oleellisesti vaikuta näiden kustannusten suuruuteen, joten ne voidaan nimetä myös keräystyön ulkopuolisiksi kustannuksiksi, kuten tässä työssä on tehty.

Aluekeräysjärjestelmissä paperin keräysastian ja sen säilytystilan hankkiminen ja niistä huolehtiminen kuuluu tuottajayhteisölle, jolloin myös astian hankinta- ja huoltokustannukset koituvat tuottajayhteisön maksettaviksi. Kiinteistökeräysjärjestelmissä puolestaan kiinteistö, eli loppujen lopuksi jätteen tuottaja on vastuussa astian hankinta-, tila- ja huoltokustannuksista. Paperinkeräysastioiden tyhjennys on kuitenkin keräysjärjestelmästä riippumatta jätteen tuottajalle maksuton.

Keräykseen liittyvät kuljetuskustannukset kohtaantuvat paperin keräyksen tapauksessa kuljetuksen hoitavalle yritykselle, joka kuitenkin saa toimeksiantajaltaan korvauksen tekemästään työstä. Muutokset keräysteknologioissa vaikuttavat edellä mainittujen kustannusten suuruuteen ja siten myös kuljettavan yrityksen liiketoiminnan kannattavuuteen. Toimeksiantajalle keräystyöstä aiheutuva kustannus on siis kuljettavalle yritykselle maksettava korvaus, joka on riippuvainen joko kerätyn paperin tonnipainosta tai tyhjennettyjen astioiden lukumäärästä. Tonnipainoon perustuvan korvauksen on oltava niin suuri, että keräisyriityksen toiminta on kannattavaa eli käytännössä korvauksen on katettava keräykseen liittyvät kustannukset, joita ovat esimerkiksi polttoaine- ja työvoimakustannukset. Toisaalta korvauksen on oltava tasoltaan sellainen, että tuottajayhteisön oman toiminnan kannattavuus säilyy. Astioiden

lukumäärään perustuva korvaus puolestaan määräytyy markkinoilla, keräysyritysten tarjouskilpailuun pohjautuen. (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2008.)



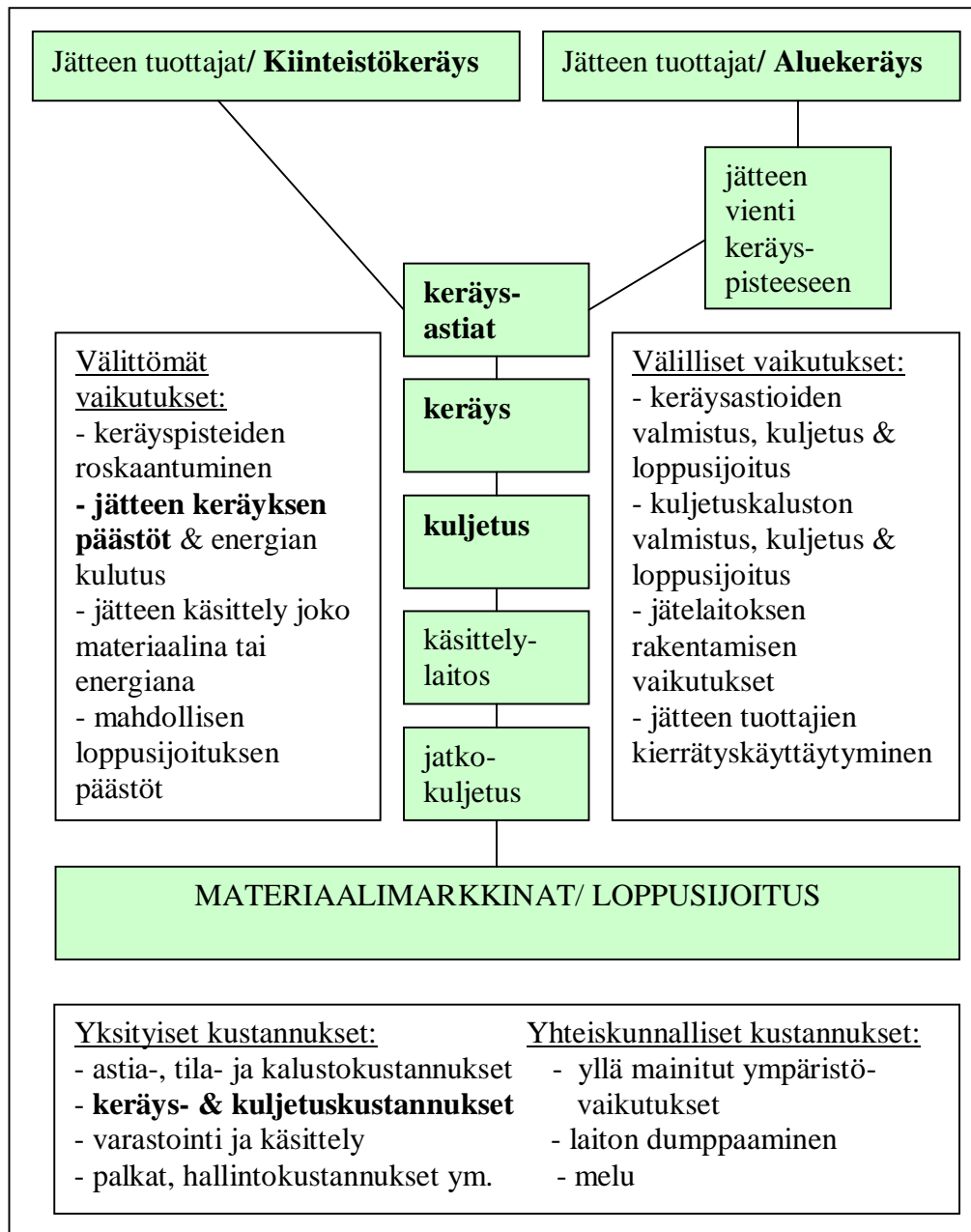
## 4 Empiirinen sovellus

Tässä luvussa sovelletaan aiemmissa luvuissa esiteltyjä teorioita käytäntöön ja selvitetään kahden eri paperinkeräysmenetelmän aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja kustannuksia kustannusvaikuttavuus-analyysin avulla. Kaikista jätehuollon ympäristövaikutuksista (ks. luku 2.2) tämä koskee keräyksen ja kuljetuksen ajosuoritteista aiheutuvia päästöjä, jotka esiteltiin tarkemmin luvussa 3.1. Työn luonteesta johtuen kustannuksista lasketaan ainoastaan toimeksiantajalle koituvat yksityiset kustannukset, jotka pääosin koostuvat luvussa 3.2 esitellyistä kuljetusyrityksille maksettavista kustannuksista. On kuitenkin hyvä huomata, että päästöjen määrällä on vaikutusta myös yhteiskunnallisten kustannusten suuruuteen, kuten luvussa 2.3 kerrottiin.

Case-tapauksissa on pääasiassa mukana kolme erilaista astiatyyppiä (pienet muoviset astiat, syväkeräysastiat ja Swedebbox-astiat) ja kaksi eri tyyppistä kuljetusautoa. Näistä muodostuu kaksi tutkittavaa keräysmenetelmää, joiden teknologiat muiden asioiden muassa vaikuttavat paperin kierrätyksen aiheuttamiin päästöihin ja kierrätyksen kannattavuuteen case-alueilla (ks. luku 2.4). Täten keräysmenetelmien valinta on osaltaan vaikuttamassa sekä jätehierarkian, mutta myös ympäristöpolitiikan tavoitteiden saavuttamiseen.

### 4.1 Tutkimuksen rajaus

Paperinkeräys on osa suurempaa jätehuollon kokonaisuutta, josta aiheutuu monenlaisia erilaisia kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Tämä jätehuollon kokonaisprosessi on esitetty kuvassa 6. Kuvassa on tummennetulla tekstillä eroteltu tutkimuksessa mukana oleva jätehuollon osaprosessi, joka kattaa paperin keräyksen osalta keräysmenetelmän määräämään astioiden mallin ja käytetyn keräyskaluston väliset eroavaisuudet tietyissä kiinteistö- ja aluekeräysjärjestelmissä. Lisäksi kuvassa on esitetty jätehuoltoprosessin ympäristövaikutukset sekä kustannukset.



**Kuva 6. Jätteiden virtaamakartta (mukailtu Skoglund 2001, 42) sekä jätehuollon kustannukset ja ympäristövaikutukset. Tummennettuna tutkimuksen tarkastelualue.**

Keräyspaperin varastoinnin ja käsittelyn aiheuttamat päästöt ja kustannukset on rajattu pois, koska tässä tutkielmassa vertaillaan keräysmenetelmistä syntyviä päästöjä. Tämä perustuu olettamukseen, että ympäristövaikutukset ja kustannukset ovat keräysmenetelmästä huolimatta samat jätehuolto-prosessin loppuosassa. Jätteiden keräyspisteisiin viemisen aiheuttamat päästöt aluekeräysjärjestelmissä on myös rajattu

pois siitä syystä, että tutkimuksessa tarkastellaan tapausta, jossa nämä päästöt ovat jo olemassa. Keräysmenetelmän vaihtaminen ei siis ainakaan oleellisesti tässä tapauksessa tuo muutosta näihin päästöihin. Edelleen välilliset ympäristövaikutukset on rajattu tutkimusalueen ulkopuolelle, koska tutkimus huomioi ainoastaan Paperinkeräys Oy:n osuuden aiheutuneista ympäristövaikutuksista. Lisäksi on oletettu, ettei keräysmenetelmän vaihtamisella ole vaikutusta jätteen tuottajien kierrätyskäyttäytymiseen eikä siten talteen otetun keräyspaperin määrään. Case-alueiden vuosittainen keräyspaperikertymä on siis oletettu vakioksi.

Kustannusten osalta tarkastellaan Paperinkeräys Oy:lle keräysmenetelmistä aiheutuvia yksityisiä kustannuksia. Keräysastioiden tyhjennyksestä ja noudosta koituvaa kustannusta approksimoidaan hinnalla, jonka tuottajayhteisö maksaa keräysyritykselle. Kilpailullisilla markkinoilla tämän hinnan käyttäminen kustannusten approksimaationa on perusteltua, mikäli vertailtavat teknologiat ovat toteutuskustannuksiltaan samaa suuruusluokkaa (M. Ollikainen, henkilökohtainen tiedonanto 6.10.2008). Eri teknologioiden investointikustannukset eli astioiden hankinta- ja mahdolliset asennuskustannukset on rajattu tutkimuksen ulkopuolelle, koska esimerkiksi 10 vuoden aikajaksoa tarkasteltaessa ne ovat samaa luokkaa (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 21.10.2008). Lisäksi tutkimuksessa mukana olevien kuljetusautojen investointikustannukset ovat samaa hintaluokkaa (J. Särkinen, henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2008), joten ne rajautuvat samalla perusteella tutkimuksen ulkopuolelle. Edellisten tietojen perusteella tässä tutkimuksessa on siis oletettu, että teknologioiden käyttöönottokustannukset eivät poikkea merkittävästi toisistaan.

Keräysmenetelmien vaihdosten aiheuttamien mahdollisten päästövähennemien kautta voidaan pienentää myös yhteiskunnalle aiheutuvia kustannuksia. Näiden kustannusten suuruutta ei kuitenkaan lähdetä euromääräisesti laskemaan.

Päästöistä otetaan huomioon hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), typen oksidit ( $\text{NO}_x$ ) ja hiukkaset (PM), koska nämä ovat oleellimmat päästöt, joita raskas kuljetuskalusto aiheuttaa. Tutkimuksessa huomioidaan siirtoajon, tyhjennysajon ja joutokäynnin päästöt. Siirtoajo tarkoittaa ajoa tyhjällä kuormalla lähtöpisteestä tyhjennysalueelle ja vastaavasti täydellä kuormalla poisajoa tyhjennysalueelta keräyslaitokselle. Tyhjennysajo tapahtuu tässä

välissä, kun auto kiertää tyhjennysreittiään. Tyhjennysajon ajosykli sisältää siis siirtoajoa enemmän kiihdytyksiä ja jarrutuksia ja sen keskinopeus on alhaisempi. Joutokäyntipäästöt lasketaan tyhjennysaikojen perusteella. Tästä arvioidaan joutokäynnin sekä työjoutokäynnin<sup>6</sup> osuus.

## 4.2 Tutkimuksen aineisto

Tutkimuksessa hyödynnetään case-alueiden tietoja koskien tyhjennyksessä käytettyjen autojen ominaisuuksia ja kerättyjä tonnimääriä sekä ajopäiväkirjoja, joista selviää ajatut kilometrit, keräyspisteissä sijaitsevien astioiden lukumäärät sekä ajoihin ja tyhjennykseen kuluneet ajat (Liitteet 1 ja 2). Ajopäiväkirjojen havainnot on kerätty yhden tyypillisen tyhjennyskierron aikana. Tyhjennykseen ja ajoon kuluneet ajat on mitattu puolen minuutin tarkkuudella ja keräyspisteiden väliset etäisyydet perustuvat todelliseen ajoreittiin Google Maps-reittipalvelun mukaan. Vaikka kyseessä on ollut tyypillinen tyhjennyskiertos, tuo yhteen mittauskertaan perustuva aineisto epävarmuutta tuloksiin.

Aluekeräysjärjestelmän case-tapauksessa ajopäiväkirja on olemassa molempien keräysmenetelmien käytön ajalta. Aluekeräyksen osuus päästöistä ja kustannuksista on vallitsevan keräysmenetelmän tapauksessa tosin täytynyt laskea aineistosta erikseen, koska tutkimusalueen tyhjennysreittiin kuului myös kiinteistökeräyspisteitä, jotka eivät siirtyneet uuteen keräysmenetelmään. Tämän tutkimusaineiston pikakonttien täyttöasteet ovat kuljettajan arvioimia. 600-litraisten astioiden paperimäärät on puolestaan laskettu keskiarvon perusteella, kun on tiedetty kokonaisuorman suuruus (josta vähennetty pikakonttien paperimäärä) ja astioiden lukumäärä. Uuden menetelmän Swedebbox-astioiden täyttöasteet ovat myös kuljettajan arvioimia. Liitteen 1 taulukkoon 10 on merkitty aineistojen perusteella laskettuja määreitä, joita tarvitaan aluekeräyksen päästö- tai kustannuslaskelmissa.

---

<sup>6</sup> Työjoutokäynti tarkoittaa sellaista joutokäyntiä, jossa auton moottori käy suuremmilla kierroksilla esimerkiksi jätepuristimen tai nosturin käytön aikana.

Kiinteistökeräysjärjestelmän case-tapauksessa puolestaan uusi keräysmenetelmä oli jo tutkimusta aloitettaessa käytössä, joten vallitsevan keräysmenetelmän päästö- ja kustannuslaskelmat perustuvat teoreettiseen mallinnukseen. Uuden keräysmenetelmän syväkeräysastioiden täyttöasteet ovat kuljettajan arvioimia. Vallitsevan menetelmän 600-litraisten astioiden lukumäärä on arvioitu syväkeräysastioiden tilavuuden ja tyhjennystiheys vuosittaisen paperikertymän perusteella. Liitteen 2 taulukkoon 11 on merkitty aineiston perusteella laskettuja määreitä, joita tarvitaan joko kiinteistökeräyksen päästö- tai kustannuslaskelmissa.

Kustannusten laskennan perustana käytetään Paperinkeräys Oy:ltä saatuja tonnikohtaisia tai nostoperusteisia kustannustietoja. Näiden kustannusten suuruutta ei liikesalaisuuden säilyttämisen vuoksi kuitenkaan julkaista.

### **4.3 Vertailussa olevat keräysmenetelmät**

#### **4.3.1 Vallitseva keräysmenetelmä**

Vallitsevassa keräysmenetelmässä keräyspaperi lajitellaan pääasiassa muovisiin 600 litran ( $\sim 0,6 \text{ m}^3$ ) tai 660 litran ( $\sim 0,66 \text{ m}^3$ ) astioihin ja mahdollisesti aluekeräyksessä myös  $4\text{--}6 \text{ m}^3$  pikakontteihin. Tyhjennys tapahtuu perästä täytettävällä, pakkaavalla jätteenkeräysautolla. Kuvissa 7 ja 8 on kuvat pakkavasta jäteautosta tyhjennystyössä.



**Kuva 7. Pakkaaja-auto tyhjentämässä 600 litran muoviastiaa 17.3.2008.**



**Kuva 8. Pakkaaja-auto tyhjentämässä pikakonttia 17.3.2008.**

Vuonna 2004 tehdyn tutkimuksen mukaan muoviasioiden perustuvan keräysmenetelmän haittoina pidetään jätteen tuottajan näkökulmasta hankalaa kantta, joka saattaa avautua esimerkiksi tuulussa itsestään sekä pientä kokoa, jonka seurauksena astiat saattavat helposti täytyä yli. Niitä pidetään myös helposti kaatuvina sekä laitapuolen kulkijoita houkuttelevina. (Roos, Kojo & Sillanpää 2004, 47.)

Tätä menetelmää voidaan käyttää sekä alue- että kiinteistökeräysjärjestelmissä. Aluekeräysjärjestelmien keräyspisteissä on tyypillisesti 1-3 kpl muoviasioiden, kun taas kiinteistökeräysjärjestelmissä kaksi astiaa on jättilojen ahtaudesta johtuen maksimi suurimmassa osassa keräyspisteitä. Pikakontteja käytetään ainoastaan aluekeräysjärjestelmissä ja niitä on tyypillisesti keräyspaperia varten varattu yksi keräyspistettä kohden.

#### **4.3.2 Uusi keräysmenetelmä**

Uudessa keräysmenetelmässä keräyspaperi lajitellaan 3-5 m<sup>3</sup> syväkeräysastioihin tai 4-6 m<sup>3</sup> Swedebbox-pintakeräysastioihin. Syväkeräysastioiden käyttöönotto vaatii astian asennuksen eli upottamisen maahan. Tyhjennys suoritetaan nosturillisella lava-autolla. Keräysmenetelmä ei nimestään huolimatta ole varsinaisesti uusi, vaan on ollut jätehuollon käytössä jo pidempään. Isompiin astioihin perustuva keräysmenetelmä on kuitenkin uudempi, kuin vallitseva keräysmenetelmä. Lisäksi siirtymäsuunta keräysmenetelmissä on nimenomaan pienistä astioista suuriin, jolloin vallitsevaa keräysmenetelmää voidaan pitää ”vanhana” ja suurempiin astioihin perustuvaa keräysmenetelmää ”uutena”.

Uudessa keräysmenetelmässä käytettävä auto on hieman isompi kuin pakkaava jäteauto, joten sillä liikkuminen ahtaissa väylissä on haastavampaa. Lava-auton etuna on tosin se, että siihen voidaan liittää myös peräkärri, jolloin on mahdollista kerätä kaksinkertainen kuorma yhdellä tyhjennyskierroksella. Kuvissa 9 ja 10 näkyy nosturi/lava-auto tyhjennystyössä.





**Kuva 9. Swedebxin tyhjennys 10.10.2008**



**Kuva 10. Syväkeräysastian tyhjennys 28.5.2008.**



Jätteen tuottajat ovat pitäneet etenkin syväkeräysastioiden haittapuolena pientä suuaukkoa sekä vaaraa tiputtaa astiaan vahingossa jotakin, jota ei sitten saa pois. Lisäksi on mainittu tällaisten astioiden vaarana olevan se, että lapset voivat vahingossa leikkiessään tippua astiaan. (Roos ym. 2004, 47.)

Syväkeräysastioita voidaan käyttää sekä alue- että kiinteistökeräysjärjestelmissä, kun taas Swedexboxeja käytetään pääasiassa aluekeräysjärjestelmissä. Uuden keräysmenetelmän astioita on tyypillisesti keräyspaperille varattu yksi keräyspistettä kohden.

#### **4.4 Kustannusvaikuttavuus-analyysi**

Tässä työssä keräysmenetelmien päästöjä ja kustannuksia vertaillaan kustannusvaikuttavuus-analyysiä soveltaen. Kustannusvaikuttavuus-analyysin avulla voidaan vertailla toisiinsa nähden poissulkevia vaihtoehtoja keskenään. Vertailu tapahtuu kustannusten (C) ja yhden määrätyn, mutta ei rahallisesti arvoitetun vaikuttavuustekijän (E) suhteen avulla. Tyypillisin tapa on laskea esimerkiksi kustannukset per vähentynyt päästömäärä (CE), jolloin vaihtoehto, jossa kustannukset ovat pienimmät alkutilanteesta vähentyneeseen päästömäärään nähden, on tehokkain. (Boardman, Greenberg, Vining & Weimer 2001, 437.)

Tässä työssä verrataan uutta ja vanhaa (vallitsevaa) toimintatapaa, eli on ainoastaan yksi vertailukohta alkutilanteeseen nähden. Tällöin kustannusvaikuttavuus-analyysiä ei voida soveltaa suoraan yllä mainitulla tavalla, vaan on käytettävä lisäkustannusten ja vaikutusten suhdetta kuten kaava 1 osoittaa. Tämä suhdeluku kertoo keskimääräisen lisäkustannuksen, joka aiheutuu yhdestä lisävaikutusyksiköstä. (Boardman ym. 2001, 439.) Aineiston käytön helpottamiseksi Boardmanin mallia on tässä työssä lisäksi sovellettu siten, että vaikutusyksiköksi E on asetettu aiheutuneet päästöt päästövähennyksen sijaan<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Notaatio "E = aiheutuneet päästöt" voimassa koko lopputyön ajan.

$$\text{Lisäyksikön kustannusvaikuttavuus} = \frac{C_n - C_o}{E_n - E_o} \quad (1)$$

jossa        C = kustannus  
               E = vaikutus (aiheutuneet päästöt)  
               n = uusi  
               o = vanha

Ideaalitapauksessa kustannukset ottavat huomioon kaikki yhteiskunnalliset kustannukset. Käytännössä ne kuitenkin usein rajautuvat koskemaan ainoastaan tutkimusta tekevän tahon yksityisiä kustannuksia, jolloin esimerkiksi budjetin ulkopuoliset vaihtoehtokustannukset jätetään huomiotta. Myös vaikutusten osalta kustannusvaikuttavuus-analyysi huomioi ainoastaan yhden vaikuttavan tekijän, vaikka usein todellisuudessa vertailussa olevat toimet aiheuttavat useampia hyötyjä tai liitännäisvaikutuksia. (Boardman ym. 2001, 439.)

Mikäli vertailtavat vaihtoehdot kustannusvaikuttavuus-analyysissä eivät ole joko kustannuksiltaan tai vaihtoehtoisesti vaikutuksiltaan samansuuruisia, joudutaan mittakaavaongelman eteen. Tämä tarkoittaa sitä, että kustannus/vaikutus-suhdeluku ei suoraan kerro vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Tällöin päätöksenteon avuksi voidaan ottaa rajoituksia, jotka kertovat esimerkiksi pienimmän hyväksyttävän vaikutustason tai suurimman hyväksyttävän kustannuksen. Mikäli esimerkiksi on tiedossa tarkka budjettirajoite  $\bar{C}$ , jota kustannukset eivät saa ylittää, voidaan pyrkiä minimoidaan vaikutuksia ottaen huomioon ehto budjetissa pysymisestä, ks. kaava 2. (sovellettu Boardman ym.2001, 442.)

$$\text{Min } E, \text{ ehdolla } C \leq \bar{C} \quad (2)$$

Tämä sääntö ei kuitenkaan huomioi lisäkustannussäästöjä (incremental cost savings), eli kaikki budjettirajoitteen  $\bar{C}$  ulkopuoliset kustannussäästöt jäävät arvottomatta. Siksi tarkoituksenmukaisempaa olisi valita se vaihtoehto, joka kustannustehokkaimmin täyttää annetun budjettirajoitteen. Kaava 3 kuvaa tätä optimointiongelmaa. (sovellettu Boardman ym. 2001, 443.)

Max  $CE$ , ehdolla  $C \leq \bar{C}$  (3)

Tämän säännön avulla on todennäköisintä päätyä valitsemaan lisäkustannussäästöt huomioonottava kustannustehokas vaihtoehto (Boardman ym. 2001, 443). On kuitenkin huomioitava, että kustannusvaikuttavuus-analyysi mittaa ainoastaan teknistä tehokkuutta. Sen avulla ei voida kertoa, onko esimerkiksi jonkin projektin toteuttaminen kannattavaa. Tämä siksi, että vaikutuksille ei ole määritetty rahallista arvoa, kuten esimerkiksi kustannushyötyanalyysissä. Lähimmilleen kustannusvaikuttavuus-analyysi pääsee kustannushyötyanalyysiä silloin, kun kaikki yhteiskunnallisetkin kustannukset ja hyödyt ovat mitattavissa, eikä merkittäviä ei-rahallisia kustannuksia tai hyötyjä liity tutkittavaan projektiin. (mt, 452-453.)

#### 4.4.1 Päästöjen laskentamalli

Kustannusvaikuttavuus-analyysin ympäristövaikutuksena tässä työssä ovat siis hiilidioksidi-, typpioksidi- ja hiukkaspäästöt, joiden laskentamalli on esitetty tässä luvussa. Molemmat keräysmenetelmän (vallitseva = o ja uusi = n) kustannusvaikuttavuutta tutkitaan jokaisen päästökomponentin kohdalla erikseen. Kokonaispäästöt muodostuvat siirtoajosta, tyhjennysajosta ja joutokäynnistä.

Päästöjen laskentaan tarvitaan kuljetukseen käytettyjen autojen päästökertoimia. Päästökertoimet ovat riippuvaisia auton kokonaismassasta, kuormasta, päästöluokasta<sup>8</sup> sekä ajetusta nopeudesta. VTT (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) on erikseen laskenut jätteen keräilystä aiheutuvat päästöt ja päästökertoimet tyyppillisellä keräysmatkalla pääkaupunkiseudulla, jotka perustuvat todellisissa kotitalousjätteen keräilyolosuhteissa tehtyihin mittauksiin. Näitä valmiita kertoimia ei voida kuitenkaan tässä työssä hyödyntää, koska sekajätteen keräyksen ja case-tapauksien paperin keräyksen ajosykli ovat hyvin erilaiset. Päästökertoimien osalta tutkimuksessa hyödynnetään sen sijaan VTT Lipasto-tietokannan määrittämiä tavaraliikenneajoneuvojen päästökertoimia, jotka ovat määritelty eri päästöille ja

---

<sup>8</sup> Autot on jaoteltu Euroopan Unionin määrittämiin päästöluokkiin Euro1-Euro5. Esimerkiksi Euro 3-liuokka tarkoittaa vuosimallia 2000-2005 olevaa raskaan kaluston ajoneuvoa, jonka on alitettava tietyt EU:n määrittämät päästöjen raja-arvot. Uudemmmille päästöluokille Euro 4 ja Euro 5 ei ole vielä määritetty päästökertoimia.

kokonaismassaltaan tietynkokoisille ja ikäisille autoille tyhjällä ja täydellä lastilla. Näiden olemassa olevien päästökertoimien perusteella on laskettu keräysmenetelmissä käytettyjen jäte- ja lava-autojen päästökertoimet eri keskinopeuksille (Liite 3).

Siirtoajon päästöt lasketaan kaavan 4 mukaisesti kertomalla tyhjällä ja täydellä kuormalla ajettut kilometrit siirtoajon olosuhteita ja keskinopeuksia vastaavilla päästökertoimilla. Päästökertoimet ovat muodossa g/km.

$$S_i = (s_e \cdot a_{i,e}) + (s_f \cdot a_{i,f}) \quad (4)$$

jossa  $S$  = siirtoajosta aiheutuneet päästöt (g)  
 $i$  = tiettyä päästöä (esim. hiilidioksidia) kuvaava indeksi  
 $s$  = siirtoajon kilometrit (km)  
 $e$  = tyhjää kuormaa kuvaava indeksi  
 $f$  = täyttä kuormaa kuvaava indeksi  
 $a$  = päästökerroin (g/km)

Tyhjennysajon päästöt selvitetään tietyllä keskimääräiselle kuormalle lasketun päästökertoimen sekä tyhjennysajoon kuluneiden kilometrien perusteella (kaava 5). Todellisuudessa tyhjennysajon kuorma kasvaa kokoajan tyhjennys kierroksen edetessä, mutta yksinkertaistuksen vuoksi laskuissa käytetään keskimääräistä eli puolillaan olevaa kuormaa. Tämä on perusteltua, koska päästökertoimen suuruuteen vaikuttaa huomattavasti enemmän ajosyklin kiihdytykset ja jarrutukset kuin kuorman paino (K. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 9.5.2008). Keskimääräisen kuorman päästökerroin  $b_{i,g}$  on määritettävissä tyhjän ja täyden kuorman päästökertoimien sekä auton kantavuuden<sup>9</sup> avulla, kaavan 6 määritelmän mukaan (VTT Lipasto 2002).

$$T_i = t \cdot b_{i,g} \quad (5)$$

$$\text{missä } b_{i,g} = \left[ b_{i,e} + \frac{b_{i,f} - b_{i,e}}{l} \cdot g \right] \quad (6)$$

<sup>9</sup> Kantavuus tarkoittaa suurimman mahdollisen hyötykuorman painoa. Kantavuus voidaan laskea esimerkiksi siten, että ilmoitetusta kokonaismassasta vähennetään auton oma massa. Oma massa on se, paljonko auto (=auton rakenteet) painavat, kun ei ole yhtään kuormaa.

jossa  $T$  = tyhjennysajosta aiheutuneet päästöt (g)  
 $t$  = koko tyhjennyskierroksen ajatut kilometrit (ei siirtoajoa) (km)  
 $b_g$  = päästökerroin kuormalla  $g$  (g/km) tietyssä keskinopeudessa  
 $b_e$  = päästökerroin tyhjällä kuormalla tietyssä keskinopeudessa  
 $b_f$  = päästökerroin täydellä kuormalla tietyssä keskinopeudessa  
 $l$  = auton kantavuus eli maksimi hyötykuorma (t)  
 $g$  = keskimääräisen kuorman suuruus (puoli kuormaa) (t)

Joutokäynnin päästöt lasketaan joutokäyntiajan perusteella kaavojen 7 a ja b mukaan. Case-alueen havaintoihin perustuen oletetaan, että vallitsevassa keräysmenetelmässä 1/3 joutokäyntiajasta oli normaalia joutokäyntiä ja 2/3 ajasta työjoutokäyntiä (kaava 7a). Uudessa keräysjärjestelmässä puolestaan on oletettu, että työjoutokäyntiin kuluisi 3/4 kokonaisjoutokäyntiajasta (kaava 7b), koska suurempien astioiden tyhjentämiseen kuluu enemmän aikaa. Ajoihin liittyvistä päästöistä poiketen joutokäynnin päästöt lasketaan käyttäen hyväksi päästökertoimia, jotka ovat muodossa  $g/l$ , sekä ajoneuvojen ominaistietoja, joista selviää joutokäyntien polttoaineen kulutukset tuntia kohden.

$$K_{i,o} = ((z \cdot 1/3k) + (w \cdot 2/3k)) \cdot c_i \quad (7a)$$

$$K_{i,n} = ((z \cdot 1/4k) + (w \cdot 3/4k)) \cdot c_i \quad (7b)$$

jossa  $K$  = joutokäynnin aiheuttamat päästöt (g)  
 $z$  = joutokäynnin keskikulutus (l/h)  
 $w$  = työjoutokäynnin keskikulutus (l/h)  
 $k$  = kokonaisjoutokäyntiaika (h)  
 $c$  = päästökerroin (g/l)

Keräysmenetelmän kokonaispäästöt yhden kierroksen ajalta saadaan laskemalla yhteen kaavoista 1-3 saadut tulokset (kaava 8). Vuosittaiset päästöt lasketaan kertomalla tämä luku keräyskerroilla vuodessa kaavan 9 mukaan.

$$J_i = S_i + T_i + K_i \quad (8)$$

$$P_i = J_i \cdot y \quad (9)$$

joissa  $J$  = yhden tyhjennyskierroksen päästöt g  
 $P$  = keräysmenetelmän aiheuttamat päästöt vuodessa g  
 $y$  = keräyskerrat vuodessa

Keräysmenetelmien kokonaispäästöt kerättyä paperitonnia kohden ( $E_n$  ja  $E_o$ ) saadaan laskemalla kaavan 9 tulos jaettuna kyseessä olevan case-alueen vuodessa kerätyllä paperitonnimäärällä, kuten kaavasta 10a selviää. Teoriassa sama tulos saadaan myös yhden tyhjennyskierroksen tiedoista laskemalla tyhjennyskierroksen päästöt jaettuna tyhjennyskierroksella kerätyllä paperimäärällä, koska alueen vuosittaisen paperikertymän oletetaan olevan vakio (kaava 10b). Käytännössä näin ei aina kuitenkaan ole, koska eri tyhjennyskertojen tonnimäärät saattavat vaihdella esimerkiksi vuodenaikojen mukaan (esimerkiksi kesäasukkaiden määrä vaikuttaa) (J. Särkinen, henkilökohtainen tiedonanto 10.10.2008). Aina myöskään tyhjennystiheys ei ole optimissaan ja tyhjennys saatetaan suorittaa esimerkiksi liian aikaisin astioiden täyttöasteeseen nähden, jolloin kaava 10b tuottaa suuremman tonnikohtaisen päästötuloksen kuin mitä kaava 10a.

$$E_{i,n/o} = \frac{P_{i,n/o}}{H} \quad (10a)$$

tai

$$E_{i,n/o} = \frac{J_{i,n/o}}{h_{n/o}} \quad (10b)$$

joissa  $E$  = menetelmän kokonaispäästöt kerättyä paperitonnia kohden (g/t)  
 $o$  = vallitseva menetelmä  
 $n$  = uusi keräysmenetelmä  
 $H$  = case-alueelta kerätty paperimäärä vuodessa (t)

$h$  = kerätty paperimäärä case-alueen keräyspisteistä yhdeltä kierrokselta  
(t)

#### 4.4.2 Kustannusten laskentamalli

Kustannusvaikuttavuus-analyysiä varten on selvitettävä kustannukset, jotka aiheutuvat eri keräysmenetelmissä yhden paperitonnin keräämisestä ( $C_n$  ja  $C_o$ ). Keräysastioiden tyhjennyksestä ja noudosta koituvaa kustannusta approksimoidaan hinnalla, jonka tuottajayhteisö maksaa keräysyritykselle.

Tuottajayhteisön maksama hinta määräytyy joko tonni- tai nostoperusteisesti. Tonniperusteinen kustannus tarkoittaa sitä, että tuottajayhteisö maksaa keräyksen hoitavalle yritykselle tonnikohtaisen korvauksen keräyslaitokselle tuodusta paperista. Tämä paperista maksettava korvaus on tarvittava kustannus  $C$ . Yhden tyhjennyskierroksen kustannuksen suuruus muodostuu kaavan 11 mukaisesti.

$$U(\text{tonniperusteinen})_{n/o} = C_{n/o} \cdot h_{n/o} \quad (11)$$

jossa  $U$  = tuottajayhteisölle yhdestä tyhjennyskierroksesta koituva kustannus(€)  
 $C$  = paperista maksettava korvaus (€t), eli tonnikohtainen kustannus

Nostoperusteinen kustannus aiheutuu tyhjennettyjen eli "nostettujen" astioiden lukumäärän mukaan. Tällöin tuottajayhteisölle aiheutuvat kustannukset yhdeltä tyhjennyskierrokselta voidaan laskea kaavan 12 perusteella.

$$U(\text{nostoperusteinen})_{n/o} = p_{n/o} \cdot m_{n/o} \quad (12)$$

jossa  $p$  = yhdestä nostokerrasta maksettava korvaus (€)  
 $m$  = nostokertojen eli tyhjennettyjen astioiden määrä tyhjennyskierroksella

Tuottajayhteisölle keräysmenetelmien vuosittaiset kustannukset voidaan laskea kertomalla yhden tyhjennyskierroksen kustannukset keräyskerroilla vuodessa, kuten kaava 13a osoittaa, tai vaihtoehtoisesti kertomalla tonnikohtainen kustannus vuosittaisella paperikertymällä (kaava 13b).

$$G_{n/o} = U_{n/o} \cdot y_{n/o} \quad (13a)$$

$$G_{n/o} = C(\text{tonniperusteinen})_{n/o} \cdot H_{n/o} \quad (13b)$$

Nostoperusteiseen kustannusjärjestelmään perustuvan keräyskierroksen tonnikohtaiset kustannukset saadaan lasketuksi jakamalla kaavan 13 tulos kyseisen case-alueen vuosittaisella tonnikertymällä kaavan 14 osoittamalla tavalla.

$$C(\text{nostoperusteinen})_{n/o} = G_{n/o} / H \quad (14)$$

Tutkimuksessa mukana olevien molempien case-alueiden kustannukset määräytyvät vallitsevassa keräysmenetelmässä tonniperusteisesti. Aluekeräysjärjestelmässä siirryttiin uuden keräysmenetelmän myötä nostoperusteiseen hinnoitteluun, kun taas kiinteistökeräysjärjestelmässä säilytettiin tonniperusteinen hinnoittelu.

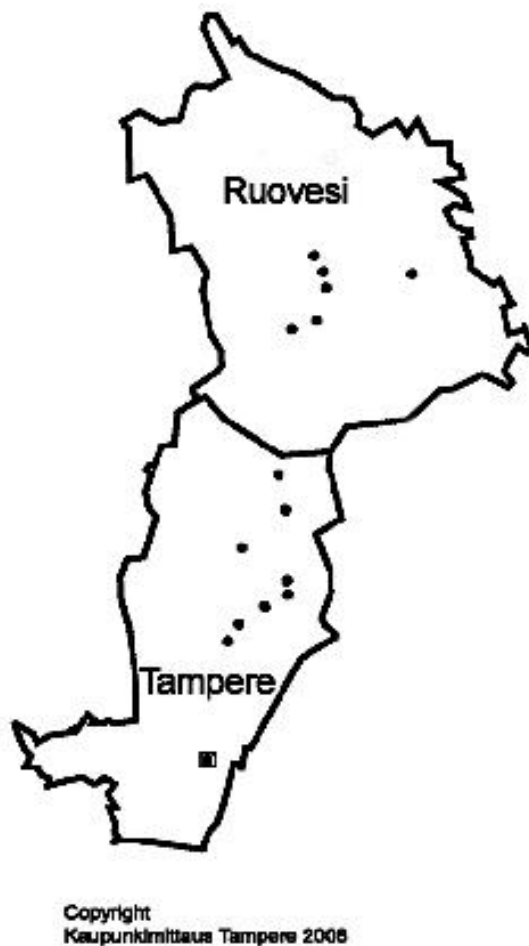


## 5 Tulokset

### 5.1 Case 1: Aluekeräysjärjestelmä Pirkanmaalla

#### 5.1.1 Alueen esittely

Tutkittavaan alueeseen kuuluu aluekeräyspisteitä lähinnä Tampereen Teiskosta ja Ruovedeltä.



**Kuva 11. Case -alueen aluekeräyspisteet ja paperinkeräyslaitos**

Nämä 14 pistettä sekä alueen paperinkeräyslaitos, jonne kerätty paperi toimitetaan, on merkitty kuvan 11 kuntarajakarttaan. Pistet on sijoitettu karttaan

havainnollistamismielessä suuntaa-antavasti ja Tampereen paperinkeräyslaitos on erotettu keräyspisteistä ympyröinnillä. Aluekeräyspisteet sijaitsevat pääasiassa haja-asutusalueella ja niiden väliset etäisyydet vaihtelevat alle kilometristä yli 26 kilometriin (ks. liite 1a). Alueen luonteesta johtuen paperikertymät vaihtelevat vuodenaikojen mukaan siten, että kesällä paperisaannot ovat suurempia kesäasukkaiden takia. Tyhjennysajo tapahtuu pääasiassa pienillä maaseututeilla, joissa nopeusrajoitus vaihtelee 40 km/h – 80 km/h. Keskimääräiseksi ajonopeudeksi tämän alueen tyhjennysajossa on ajoaikojen ja -matkojen perusteella laskettu olevan 30-50 km/h ja siirtoajossa n. 70 km/h. Uuden keräysmenetelmän myötä alueelle vaihdettiin 600 litraisten astioiden tilalle 6 m<sup>3</sup> :n Swedeboxeja.

Taulukossa 4 on esitelty case-alueella käytettyjen tyhjennysautojen ominaistiedot eri keräysjärjestelmissä.

**Taulukko 4. Tyhjennyksissä käytettyjen autojen ominaistiedot Pirkanmaalla (J. Särkinen, Kuljetusliike Särkinen Oy, henkilökohtainen tiedonanto 2008 17.3.2008; K. Westenius, Volvo Finland AB, henkilökohtainen tiedonanto 26.5.2008)**

		Vallitseva keräysmenetelmä	Uusi keräysmenetelmä
<b>Merkki ja vuosimalli</b>		Volvo FM 12/ 2005	Volvo FH/ 2006
<b>Kokonaismassa (t)</b>		26	26
<b>Kantavuus (t)</b>		11	6
<b>Maksimi paperikuorma (t)</b>		8,5	6
<b>Päästöluokka</b>		Euro 3	Euro 4
<b>Keskimääräinen polttoaineen kulutus l/h</b>	<b>Joutokäynti</b>	3	3
	<b>Työjoutokäynti</b>	5	8

Aiemmin käytössä olleen vallitsevan keräysmenetelmän auto on pakkaava monilokeroauto, jolla voidaan kerätä samalla kierroksella myös metallia. Tässä työssä on tarkoitus kuitenkin rajata tutkimus paperinkeräykseen, joten metallin keräyksen

suhteellisen pieni osuus on jätetty huomiotta. Euro 3-luokka tarkoittaa vuosimallia 2000-2005 olevaa raskaan kaluston ajoneuvoa, jonka on alitettava tietyt Euroopan Unionin määrittämät päästöjen raja-arvot. Vaikka uuden keräysmenetelmän auto kuuluukin uudempaan Euro 4-päästöluokkaan, on päästölaskuissa käytetty Euro 3-luokan kertoimia. Tämä siksi, että Euro 4-luokalle ei ole vielä tutkimuksen tekohetkellä määritetty päästökertoimia.

Uuden menetelmän keräysautossa nosturi oli asennettu auton peräosaan (ks. kuva 8), jolloin tarvittiin myös apujalkoja painopisteen tasaamiseksi nostohetkellä. Tällainen nosturi painaa enemmän kuin ajohytin taakse asennettava nosturi ja syö siten auton kantavuutta ja suurinta mahdollista paperikuorman määrää. Lisäksi tukijalkojen pystyttäminen vie ylimääräistä aikaa, joka osaltansa kasvattaa tyhjäkäynnin päästöjä.

### **5.1.2 Eri keräysmenetelmien päästöt ja kustannukset**

Alueella on aiemmin ollut käytössä vallitseva keräysmenetelmä 600 litran astioineen. Alueen paperinkeräyksestä aiheutuvat päästöt on laskettu käyttäen hyväksi empiiristä aineistoa (ks. liite 1a.), sekä Lipasto-tietokannan perustella laskettuja päästökertoimia (ks. liite 3) edellisessä luvussa esitetyn päästöjen laskentamallin avulla. Kyseessä ollut keräysalue oli yhdistelmä alue- ja kiinteistökohtaisia pisteitä, joista on tämän työn tarkoituksen mukaisesti huomioitu ainoastaan aluekeräyspisteet. Laskelmissa käytetty tyhjennysreitti on siis teoreettinen.

Uuden menetelmän aiheuttamat päästöt on myös laskettu käyttäen empiiristä aineistoa (ks. liite 1b), josta on otettu huomioon vain samat keräyspisteet kuin liitteessä 1a. Isompien astioiden myötä tyhjennysväli vaihtui vallitsevan menetelmän joka toisesta viikosta joka viidenteen viikkoon. Isommat astiat aiheuttavat myös sen, että pisteisiin kertynyt keräyspaperi ei enää mahdu yhteen kuormaan, jolloin välissä on käytävä tyhjentämässä kuorma laitoksella, mikä aiheuttaa enemmän siirtoajoa yhtä tyhjennyskertaa kohden. Uuden menetelmän empiirinen aineisto on kerätty vaiheessa, jossa uusi keräysmenetelmä oli vasta otettu käyttöön. Tämän vuoksi tyhjennystiheys ja reittisuunnittelu eivät olleet vielä optimissaan, mikä aiheuttaa epävarmuutta tuloksiin.

Tutkimuksessa oletetaan, ettei menetelmän vaihtaminen vaikuta case-alueen vuotuisen paperikertymään. Kuten luvun 4.4.1 teoriassa kerrotaan, tyhjennyskerrat eivät kuitenkaan ole keskenään täysin identtisiä ja paperikertymät alueella saattavat vaihdella esimerkiksi vuodenajan mukaan. Tämä aiheuttaa sen, etteivät tulokset kaavoista 10a ja 10b välttämättä anna täysin samaa tulosta. Tässä case-tapauksessa tapahtuu juuri näin johtuen siitä, että uuden keräysmenetelmän optimaalinen tyhjennystiheys ei ole vielä tiedossa. Tämän vuoksi case-alueen vuotuinen paperikertymä on molempien aineistojen perusteella laskettu keskiarvo vuotuisesta paperikertymästä ja tonnikohtaiset päästöt E on laskettu käyttäen kaavaa 10a. Tarkemmat päästöt koskevat laskut löytyvät liitteestä 4 ja oleellimmat tulokset päästöjen osalta on koottu taulukkoon 5.

**Taulukko 5. Pirkanmaan aluekeräysjärjestelmän päästöt kerättyä paperitonnia kohden eri keräysmenetelmillä.**

<b>Päästökomponentti i</b>	<b>Keräysmenetelmä</b>	<b>Päästöt E (g/t)</b>	<b>Osuudet päästöistä</b>
Hiilidioksidi $CO_2$	o = vallitseva	30088	Siirtoajo 31 %
			Tyhjennysajo 62 %
			Joutokäynti 7 %
	n = uusi	22626	Siirtoajo 54 %
			Tyhjennysajo 37 %
			Joutokäynti 9 %
Typpioksidit $NO_x$	o = vallitseva	188	Siirtoajo 31 %
			Tyhjennysajo 62 %
			Joutokäynti 7 %
	n = uusi	140	Siirtoajo 54 %
			Tyhjennysajo 37 %
			Joutokäynti 9 %
Hiukkaset $PM$	o = vallitseva	4,1	Siirtoajo 25 %
			Tyhjennysajo 67 %
			Joutokäynti 7 %
	n = uusi	3,2	Siirtoajo 49 %
			Tyhjennysajo 42 %
			Joutokäynti 9 %

Taulukosta 5 selviää, että suurin osa eli yli 60 % vallitsevan keräysmenetelmän päästöistä syntyy tyhjennysajosta. Kaikki ajosuoritteet muodostavat yli 90 % päästöistä, joten joutokäynnin päästöillä on suhteellisen pieni merkitys. Taulukosta voidaan huomata, että uuteen menetelmään siirryttäessä siirtoajon osuus päästöjen aiheuttajana kasvaa tyhjennysajoa suuremmaksi ollen uudessa menetelmässä absoluuttisestikin suurempi kuin yleisessä menetelmässä. Tämä on seurausta siitä, että astioiden suuremman tilavuuden takia kuorma täyttyy nopeammin, eivätkä kaikkien case-alueen pisteiden paperi mahdu yhteen kuormaan. Välissä on käytävä laitoksella tyhjentämässä kuorma, mikä aiheuttaa suuremmat siirtoajopäästöt. Kokonaispäästöt ovat kuitenkin uudessa menetelmässä kaikkien päästökomenttien osalta pienemmät kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä. Tulosten mukaan siirtyminen uuteen keräysmenetelmään on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä 7462 grammaa eli 25 % kerättyä paperitonnia kohden, mikä vähentää vuodessa n. 725 kg hiilidioksidipäästöjä case-alueella. Typpioksidipäästöt vähenivät 26 % (48 g/t) ja hiukkaspäästöt 22 % (0,9 g/t) uuden keräysjärjestelmän myötä.

Päästöjen lisäksi myös kustannukset laskivat siirryttäessä uuteen keräysmenetelmään (ks. liite 4). Keräysreitien kustannukset määräytyivät vallitsevassa keräysmenetelmässä tonniperusteisesti kaavan 11 mukaan ja uudessa keräysmenetelmässä nostoperusteisesti kaavan 12 mukaan. Uudessa keräysmenetelmässä tonnikohtaiset kustannukset  $C_n$  on siis laskettu kaava 14 hyödyntäen. Tuloksien mukaan tonnikohtainen kustannus uudessa keräysmenetelmässä on 34 % eli XX € pienempi kuin yleisessä keräysmenetelmässä eli

$$C_n - C_o = -XX \text{ €}.$$

Kuvan 5 teoriaan sovellettuna voidaan olettaa kilpailullisen tasapainon ( $H^0$ ,  $C^0$ ) esittävän vallitsevan keräysmenetelmän tilannetta, jossa yhteiskunnallisesti optimaalinen kerätyn paperin määrä olisi  $H'_o$  ja paperista maksettava korvaus  $C'_o$ . Uuteen keräysmenetelmään siirtyminen aiheuttaa kaksi muutosta paperin keräyksen markkinatasapainoon: tuottajayhteisön rajakustannuskäyrä (MPC) laskisi alaspäin, koska tonnikohtaiset kustannukset laskivat ja keräyksestä aiheutuvat päästöt (kuvassa a) pienenisivät. Tästä johtuen uuden keräysmenetelmän yhteiskunnallinen rajakustannuskäyrä MSC asettuisi alemmalle tasolle kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä. Uuden keräysmenetelmän tapauksessa yhteiskunnallisesti

optimaalinen kerätyn paperin määrä  $H'_n$  olisi siis lähempänä potentiaalista keräyspaperin määrää  $H^*$  kuin  $H'_o$  ja paperista maksettava korvaus  $C'_n$  alemmalla tasolla kuin  $H'_o$ .

### 5.1.3 Päästöjen kustannusvaikuttavuus Pirkanmaalla

Lasketaan päästöjen kustannusvaikuttavuus kerättyä paperitonnia kohden luvussa 4.4 esitetyn teorian mukaisesti. Kustannusvaikuttavuus on laskettava jokaiselle päästökomentille erikseen, koska kyseessä on kemiallisilta ominaisuuksiltaan, massoiltaan ja ympäristövaikutuksiltaan erilaiset yhdisteet. Eri päästökomenttien kustannusvaikuttavuussuhdelukuja ei täten voida laskea yhteen tai verrata keskenään.

Sijoitetaan edellisessä luvussa esitetyt arvot  $E_n$ ,  $E_o$ ,  $C_n$  ja  $C_o$  kaavaan 1 yhden lisäyksikön kustannusvaikuttavuuden selvittämiseksi.

$$1) \frac{C_n - C_o}{E_n(CO_2) - E_o(CO_2)} = \frac{-XX \text{ €}}{22626 - 30088} = 0,00233 \text{ (€/g)}$$

$$2) \frac{C_n - C_o}{E_n(NO_x) - E_o(NO_x)} = \frac{-XX \text{ €}}{140 - 188} = 0,363 \text{ (€/g)}$$

$$3) \frac{C_n - C_o}{E_n(PM) - E_o(PM)} = \frac{-XX \text{ €}}{3,2 - 4,1} = 19,33 \text{ (€/g)}$$

Yhden lisäyksikön kustannusvaikuttavuusluku on jokaisen päästökomentin osalta positiivinen, mikä tarkoittaa, että vanhan menetelmän suurempi päästömäärä on myös kalliimpi vaihtoehto tuottajayhteisölle. Eli siirtymällä uuteen menetelmään tuottajayhteisö sekä säästää kustannuksissaan että vähentää päästöjen määrää, joten saatu luku kertoo tuoton per vähentynyt päästömäärä. Analyysin mukaan tuottajayhteisölle aiheutuu tuottoa 0,2 senttiä jokaisesta vähentyneestä  $CO_2$ -grammasta, 36 senttiä jokaisesta vähentyneestä  $NO_x$ -grammasta ja 19,3 euroa jokaisesta vähentyneestä PM-grammasta. Koska eri päästökomenttien päästövähennykset ovat seurausta samasta toiminnan muutoksesta (ja tapahtuvat samaan aikaan), ei näitä tuottoja voida laskea yhteen, vaan ne kaikki indikoivat samaa tuottajayhteisölle koituvaa

hyötyä. Mikäli esimerkiksi kerrotaan case-alueen vuosittaiset hiilidioksidipäästöt lisäyksikön kustannusvaikuttavuus-luvulla, saadaan täysin sama luku kuin kerrottaessa typpioksidipäästöt tai hiukkaspäästöt omilla kustannusvaikuttavuus-luvuillaan. Tämä puolestaan on sama luku, kuin tuottajayhteisön vuosittainen säästö siirtymisestä uuteen keräysmenetelmään eli XXXX €(ks. liite 4 kohta C), joka on siis 34 % vähemmän kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä. On toki huomioitava, että tämä tulos johtuu osittain oletuksesta, että menetelmien käyttöönotot ovat kustannuksiltaan samaa luokkaa.

#### 5.1.4 Herkkyysanalyysi

Tutkimuksen tulosten aikaansaamiseksi on täytynyt tehdä tiettyihin oletuksiin perustuvaa teoreettista mallinnusta. Oletukset vaikuttavat syntyvään tulokseen ja aiheuttavat siten epävarmuutta. Pirkanmaan case-tapauksessa virhettä tulokseen aiheuttaa etenkin se, että uuden keräysmenetelmän aineistossa tyhjennysvälit eivät olleet vielä optimissaan, joten monet astiat tyhjennettiin liian vajaina. Muita epävarmuuden aiheuttajia ovat esimerkiksi yhteen mittauskertaan perustuva aineiston luotettavuus sekä mahdolliset mittausvirheet.

Tämän case-tapauksen herkkyysanalyysi on suoritettu kolmelle eri tekijälle, jotka vaikuttavat saatuihin tuloksiin. Uudet, herkkyysanalyysissä käytetyt oletukset ovat:

- Oletus 1: Uuden keräysmenetelmän tyhjennyskierros on suoritettu optimivaiheessa, eli astioiden täyttöasteen ollessa 80 % (= 0,96 t/astia). Lisäksi on oletettu, että keräysyritys on kerännyt 1,5 tonnia ylikuormaa, jotta casepisteiden paperikertymä mahtuu kahteen kuormaan, eikä tyhjennyskäyntiä laitokselle tarvitse ajaa kuin kerran.
- Oletus 2: Oletetaan edelleen, että astiat tyhjennetty 80 % täyttöasteessa. Koska keräysyritystä ei voida kuitenkaan vaatia keräämään ylikuormaa, on tässä vaihtoehdossa oletettu edellisestä vaihtoehdosta poiketen, että casepisteiden paperia kerättäessä on jouduttu käymään kaksi kertaa laitoksella tyhjentämässä kuorma. Kolmas kuorma on kerätty täyteen muiden keräyspisteiden avulla. Oletus 1 ja 2 ovat siis toisensa poissulkevat.

- Oletus 3: Case-alueen vuotuinen paperikertymä on aineiston 1a mukainen 107 t, eikä aineistojen 1a ja 1b perusteella laskettu keskiarvo 97 t. Täten myös keräystiheys on tässä vaihtoehdossa hieman suurempi eli seitsemän kertaa vuodessa.

Oletukset 1 ja 2 vaikuttavat uuden keräysmenetelmän ja oletus 3 molempien keräysmenetelmien päästöihin. Tonnikohtaisten kustannusten osalta herkkyysoanalyysi vaikuttaa vain uuteen keräysmenetelmään. Tarkemmat herkkyysoanalyysin tulokset ja päästökomententtikohtaiset erot on esitetty taulukossa 6. Oletus 0 tarkoittaa alkuperäisten oletusten voimassaoloa, eli varsinaisia tuloksia  $E_{i,n}$  ja  $E_{i,o}$ .



**Taulukko 9. Herkkyysanalyysin tulokset aluekeräysjärjestelmässä.**

	$E(CO_2)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	30088	22626	7462	25 %
Oletus 1	30088	14956	15132	50 %
Oletus 2	30088	20237	9851	33 %
Oletus 3	27399	20401	6998	26 %
Oletukset 1 ja 2	eivät päde samaan aikaan			
Oletukset 1 ja 3	27399	14956	12443	45 %
Oletukset 2 ja 3	27399	20237	7162	26 %
	$E(NO_x)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	188	140	48	26 %
Oletus 1	188	94	94	50 %
Oletus 2	188	117	71	38 %
Oletus 3	171	127	44	26 %
Oletukset 1 ja 2	eivät päde samaan aikaan			
Oletukset 1 ja 3	171	94	77	45 %
Oletukset 2 ja 3	171	117	54	32 %
	$E(PM)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	4,1	3,2	0,9	22 %
Oletus 1	4,1	1,9	2,2	54 %
Oletus 2	4,1	2,0	2,1	51 %
Oletus 3	3,8	3,0	0,8	21 %
Oletukset 1 ja 2	eivät päde samaan aikaan			
Oletukset 1 ja 3	3,8	1,9	1,9	50 %
Oletukset 2 ja 3	3,8	2,0	1,8	47 %

	<i>C</i> (€/t)			
	<i>o</i>	<i>n</i>	erotus	vähennemä
Oletus 0	XX	XX	XX	34 %
Oletus 1	XX	XX	XX	60 %
Oletus 2	XX	XX	XX	60 %
Oletus 3	XX	XX	XX	40 %
Oletukset 1 ja 2	eivät päde samaan aikaan			
Oletukset 1 ja 3	XX	XX	XX	60 %
Oletukset 2 ja 3	XX	XX	XX	60 %
	lisäyksikön $CE = \frac{C_n - C_o}{E_n - E_o}$ (€/g)			
	$CO_2$	$NO_x$	$PM$	
Oletus 0	0,00233	0,363	19,3	
Oletus 1	0,00203	0,328	14,0	
Oletus 2	0,00313	0,434	14,7	
Oletus 3	0,00292	0,464	25,5	
Oletukset 1 ja 2	eivät päde samaan aikaan			
Oletukset 1 ja 3	0,00246	0,400	16,2	
Oletukset 2 ja 3	0,00430	0,570	17,1	

Koska uusi keräysmenetelmä oli vasta otettu käyttöön, tyhjennyskierron suoritettiin monen tyhjennyspisteen osalta liian aikaisin (ks. liite 1b) keskimääräisen astian täyttöasteen ollessa tyhjennyshetkellä 45 %. Herkkyysanalyysissä on laskettu paljonko päästöt olisivat olleet, mikäli astiat olisi tyhjennetty optimissaan, eli täyttöasteessa 80 %. Tällöin tyhjennystiheyttä olisi vielä voitu harventaa 10,4 kerrasta vuodessa 6,3 kertaan. Tämä toisaalta vaatii tuekseen oletuksen, että jokainen astia täytyisi samaan tahtiin, mikä ei välttämättä reaalimaailmassa toteudu. Mikäli astiat olisi tyhjennetty täyttöasteen ollessa 80 %, tarkoittaisi se sitä, että casepisteiden 16 astian paperikertymä olisi yhteensä noin 15 tonnia. Tämä mahtuisi kohtuullisella (mutta ei tavanomaisesta

poikkeavalla) 1,5 tonnin ylikuormalla juuri kahteen kuormaan, koska auton kantavuus on kuusi tonnia. Tällöin keräys tapahtuisi siten, että ensimmäiseen kuormaan kerättäisiin kahdeksan ensimmäisen keräyspisteen (Viitapohjantie 68-Moottorikeskuksentie 55) paperit, jonka jälkeen suoritettaisiin tyhjennys laitoksella (Uurastajankatu 17). Toiseen kuormaan kerättäisiin Ruoveden kuuden tutkimuksessa mukana olevan keräyspisteen (joissa yhteensä kahdeksan astiaa) paperit (ks. liite 1b). Tällöin (eli oletuksen 1 vallitessa) uuden keräysmenetelmän tonnikohtaiset päästöt laskisivat vallitsevasta keräysmenetelmästä jopa noin 50-54 % jokaisen päästökomponentin osalta. Samalla myös uuden keräysmenetelmän tonnikohtaiset kustannukset laskisivat 39 % alkuperäisiin oletuksiin nähden, koska nostojen määrä vuodessa pienenesi. Näiden oletuksien vallitessa kustannukset olisivat siis 60 % pienemmät uudessa kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä. Tämä olisi tuottajayhteisön kannalta optimaalisin tilanne, mutta toteutuminen reaali maailmassa epätodennäköistä.

Mikäli kuitenkin oletetaan (oletus 2), että keräysyritys ei kerää ylikuormaa (yli 6 tonnia), ei casepisteiden optimaalinen paperikertymä mahdu kahteen täyteen kuormaan, vaan tyhjennykseen vaaditaan kolmen kuorman keräys. Tällöin oletetaan, että ensimmäiseen kuormaan kerätään kuuden ensimmäisen casepisteen paperit (Viitapohjantie 68-Kiimajoentie 611), toiseen kuormaan viiden seuraavan lähimmän casepisteen paperit (Väärinmajantie, Kekkoskyläntie, Sahantie, Ukaantie ja Moottorikeskuksentie) ja kolmanteen kuormaan jäljelle jäävät kolme casepistettä sekä muita lähistöllä sijaitsevia keräyspisteitä (esimerkiksi Eeliksentie ja Pappilankulmantie), jotta kuorma täyttyy. Siirtoajoon ja tyhjennysajoon kuluvat kilometrit tarkistetaan Google Maps-karttapalvelusta yllämainitun teoreettisen ajoreitin mukaan. Kustannuksissa ei tapahdu muutosta oletukseen 1 nähden, koska astiat tyhjenetään edelleen samassa 80 %:n täyttöasteessa 6,3 kertaa vuodessa, mutta ainoastaan siirtoajon määrä lisääntyy. Tässä vaihtoehdossa päästöt vähenevät yleiseen keräysmenetelmään verrattuna 33-51 % päästökomponentista riippuen. Täten uuden keräysmenetelmän vähenemä on suurempi jokaisen päästökomponentin tapauksessa kuin mitä alkuperäisten oletusten vallitessa.

Alkuperäisissä laskuissa (oletus 0) case-alueen vuotuisena paperikertymänä käytettiin kahden empiirisen aineiston vuosikertymän keskiarvoa (97 tonnia), koska on perusteltua olettaa, ettei menetelmän vaihtaminen ainakaan vuoden aikajaksolla vaikuta

kierrätyskäyttämiseen ja sitä kautta paperikertymään (etenkään kun keräyspisteiden sijainnit eivät vaihtuneet). Pelkästään aineiston 1a perusteella laskettuna vuotuinen kertymä olisi ollut 107 tonnia, kun taas aineiston 1b perusteella vastaava luku olisi ollut 87 tonnia. Viimeisessä herkkyysanalyysin vaiheessa (oletus 3) on laskettu päästöt ja kustannukset käyttäen aineiston 1a perusteella laskettua vuotuista paperikertymää (107 tonnia). Tämä siksi, että tätä lukemaa voidaan pitää luotettavampana, koska alueella oli tuolloin pitkään käytössä ollut keräysmenetelmä ja viikkokertymä oli täten vakiintuneempi. Vuotuisen paperikertymän kasvaminen aiheuttaa myös vuotuisten keräyskertojen kasvun 6,3 kerrasta seitsemään kertaan. Tässä vaihtoehdossa suhteellinen päästövähennys ei juuri muutu verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen, mutta absoluuttinen päästövähennys on pienempi kuin alkuperäisten oletusten tilanteessa. Uuden menetelmän tonnikohtainen kustannus on tosin uusien oletusten pätiessä hieman halvempi. Vuotuisen paperikertymän arvo ei siis ole merkittävimpiä tekijöitä tuloksissa.

Taulukosta 9 selviää myös miten oletuksien 1 ja 3 tai oletuksien 2 ja 3 samanaikaisuus vaikuttaa päästöihin ja kustannuksiin sekä päästöjen kustannusvaikuttavuuteen. Herkkyysanalyysin perusteella voidaan tiivistetysti sanoa, että varsinaiset tulokset pääosin aliarvioivat uudella keräysmenetelmällä aikaansaattua päästövähennystä. Herkkyysanalyysin tuloksien mukaan päästöt vähenevät uuden keräysmenetelmän käyttöönoton myötä hiilidioksidin osalta 25-50 %, typpioksidien osalta 26-50 % ja hiukkasten osalta 22-54 %. Tuottajayhteisölle koituvat kustannukset puolestaan laskevat uuteen menetelmään siirryttäessä voimassaolevista oletuksista riippuen 34-60 %.

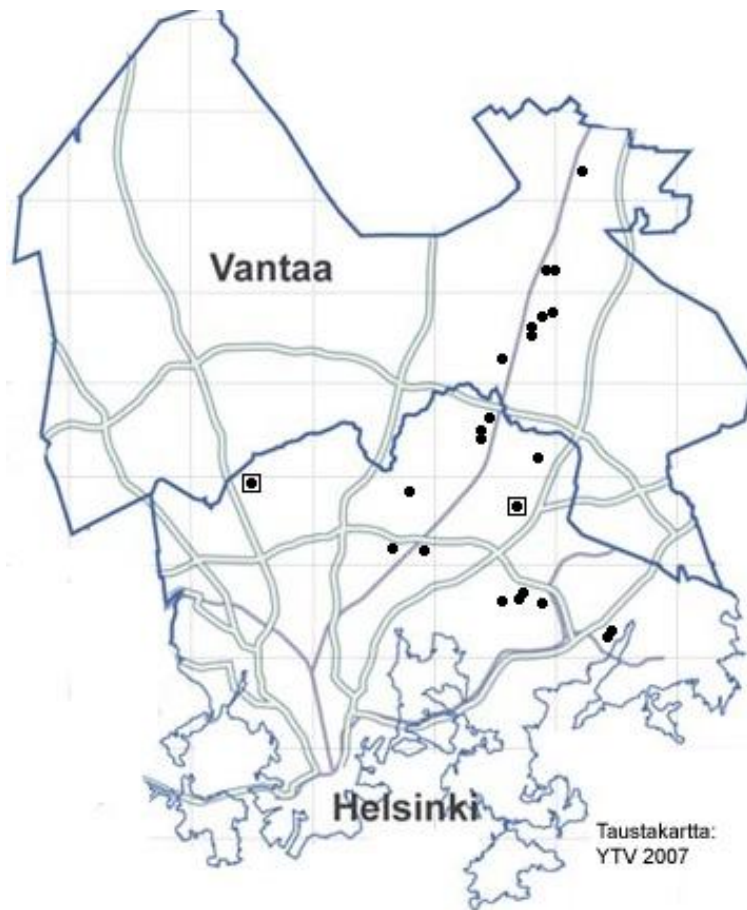
Viimeisenä taulukossa 9 on esitetty lisäyksikön kustannusvaikuttavuusluvut vaihtoehtoisten oletusten pätiessä. Nimi "kustannusvaikuttavuus" on tässä yhteydessä harhaanjohtava, sillä luku kertoo tuoton suuruuden, jonka tuottajayhteisö saa yhdestä vähentyneestä päästöyksiköstä. Kuten luvun 4.4 teoriassa mainittiin, nämä luvut eivät mittakaavaongelman takia ole keskenään vertailukelpoisia eivätkä suoraan kerro vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Sen sijaan paremmuusjärjestystä voidaan pohtia laadullisesti: oletuksen 1 pätiessä sekä päästöt että kustannukset vähenevät eniten, joten

sekä ympäristö että tuottajayhteisö saavuttavat suurimman hyödyn. Toisaalta olivatpa kyseessä mitkä tahansa herkkyysoletukset päädytään win-win-tilanteeseen<sup>10</sup>.

## 5.2 Case 2: Kiinteistökeräysjärjestelmä pääkaupunkiseudulla

### 5.2.1 Alueen esittely

Tutkittavaan alueeseen kuuluu kiinteistökeräyspisteitä Vantaalta ja Helsingistä, jotka on merkitty kuvan 12 karttaan.



**Kuva 12. Case-alueen lähtöpiste, kiinteistökeräyspisteet ja paperinkeräyslaitos**

---

<sup>10</sup> Michael E. Porterin luoman hypoteesin mukaan ympäristösääntely voi johtaa win-win-tilanteeseen, jossa sekä yhteiskunnallinen hyöty että sääntelyn piirissä toimivien yksityisten yritysten nettohyöty voi kasvaa.

Keräyspisteet on merkitty karttaan suuntaa-antavasti ja reitin lähtö- ja päätöspisteet on erotettu varsinaisista keräyspisteistä ympyröinnillä. Itäisempi ympyröity piste on keräysyrityksen lähtöpaikka ja läntisempi Hakuninmaan paperinkeräyslaitos.

Tyhjennysajo on pääasiassa kaupunkiajtoa, jonka keskinopeus uutta keräysmenetelmää käytettäessä on ajettujen kilometrien ja ajoaikojen perusteella 28 km/h. Siirtoajon keskinopeus on puolestaan 45 km/h. Tyhjennyspisteet sijaitsevat keskimäärin 2,5 kilometrin päässä toisistaan, vaikkakin todellinen vaihteluväli on 0,1 – 5,8 km. (Liite 2.) Nopeusrajoitus case-alueella vaihteli pääasiassa 30-50 km/h välillä.

Taulukossa 7 on esitelty case-alueella eri keräysmenetelmissä käytettyjen tyhjennysautojen ominaistietoja, jotka ovat tässä työssä olennaisia.

**Taulukko 7. Tyhjennyksissä käytettyjen autojen ominaistiedot pääkaupunkiseudulla (Paperitiikerit Oy, henkilökohtainen tiedonanto 28.5.2008; K. Westenius, Volvo Finland AB, henkilökohtainen tiedonanto 26.5.2008).**

		<b>Vallitseva keräysmenetelmä</b>	<b>Uusi keräysmenetelmä</b>
<b>Merkki/ vuosimalli</b>		pakkaava jäteauto	Volvo FM 12/ 2001
<b>Kokonaismassa (t)</b>		26	26
<b>Kantavuus (t)</b>		14	12
<b>Täysi paperikuorma (t)</b>		7	12
<b>Päästöluokka</b>		Euro 3	Euro 3
<b>Keskimääräinen polttoaineen kulutus l/h</b>	<b>Joutokäynti</b>	3	3
	<b>Työjoutokäynti</b>	5	8

Aiemman eli yleisen keräysmenetelmän keräysautosta ei ole tietoa, mutta on perusteltua olettaa käytössä olleen tavallinen, kokonaismassaltaan 26 t painava pakkaava jäteauto. Ominaistietoina on siis käytetty Lipasto-tietokannassakin käytettyjä jäteauton ominaistietoja (VTT Lipasto 2002, yksikköpäästöt, jätekuorma-auto) sekä ajateltu joutokäyntikulutusten olevan samat, kuin aluekeräyksen case-tapauksen pakkaavalla jäteautolla (ks. taulukko 4).

Uuden menetelmän keräysauton kantavuus on huomattavasti suurempi kuin Pirkanmaan case-tapauksessa, mikä johtuu autojen erilaisista nostureista. Tässä tapauksessa nosturi on asennettu ajohytin taakse eikä auton peräosaan, jolloin erillisiä tukijalkoja ei tarvita ja tyhjennys on sujuvampaa.

### **5.2.2 Eri keräysmenetelmien päästöt ja kustannukset**

Alueella on jo siirrytty käyttämään uutta keräysmenetelmää, jossa paperi lajitellaan syväkeräysastioihin ja tyhjenetään nosturillisella lava-autolla. Uuden keräysmenetelmän laskelmat perustuvat siten todelliseen ajoreittiin ja -olosuhteisiin sekä kuorman suuruuteen, joiden tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 2.

Aiemmin alueella oli käytössä vallitseva keräysmenetelmä, johon perustuvia laskelmia varten keräysjärjestelmää on täytynyt nykyisten tietojen perusteella mallintaa. Empiiristen tietojen perusteella on oletettu, että 5 m<sup>3</sup>:n syväkeräysastioiden tilalla on aiemmin ollut kaksi 600 litran muoviasiaa ja 3 m<sup>3</sup>:n syväkeräysastioiden tilalla yksi muoviasia (ks. liite 2). Jättilojen ahtaudesta johtuen olisi epätodennäköistä, että muoviasioita olisi ollut enempää kuin kaksi missään keräyspisteessä. Täten muoviasioden lukumäärän ja case-alueen kahden viikon paperikertymän perusteella on päätelty, että tyhjennys on yleisellä keräysmenetelmällä tapahtunut kahdesti viikossa. Tällöin yhden muoviasian täyttöaste on tyhjennysvaiheessa ollut 76 % ja paperia ollut keskimäärin 93 kg per astia. Tyhjennys on yleisesti pyritty hoitamaan astian täyttöasteen ollessa 80 % (S. Peltola, henkilökohtainen tiedonanto 17.6.2008), mikä tukee oletusten todenmukaisuutta.

Tyhjennyskertojen ollessa 104 kpl vuodessa kertyy tyhjennyskierroksen ajoa 7696 km vuodessa, joka on neljä kertaa enemmän kuin uudella keräysmenetelmällä. Kaikki näiden ajokilometrien aiheuttamat päästöt eivät kuitenkaan ole peräisin pelkästään case-alueen tyhjennyksestä, koska on oletettavaa, että samaan kuormaan on kerätty paperia myös muista keräyspisteistä. Tämä siksi, että edellä mainittujen oletusten perusteella case-alueen keräyspisteistä on yhdeltä yleisen keräysmenetelmän tyhjennyskierrokselta

kertynyt paperia vain 2,9 t, mikä ei vastaa täyttä kuormaa. Täten on oletettu, että kuorma on joidenkin toisten keräyspisteiden avulla kerätty täyteen ennen paperikuorman tyhjentämistä laitokselle. Näiden muiden pisteiden on oletettu olevan saman reitin varrella, jolloin ne eivät ole lisänneet ajettuja kilometrejä, mutta ovat useampien pysähdysten vuoksi alentaneet keskinopeutta. Tämä on perusteltu oletus, sillä tämä keräysmenetelmä on yleisemmin käytössä, jolloin myös 600 litran astioilla varustetut keräyspisteet sijaitsevat tiheämmin toisiinsa nähden, kuin syväkeräysastioilla varustetut keräyspisteet. Oletuksena myös on, että käytössä on ollut normaali pakkaava jätteenkeräysauto, jonka maksimi paperikuorma on 7 t (ks. taulukko 7). Tällöin case-alueen keräyspisteiden osuus siirto- ja tyhjennysajojen päästöistä on ollut sama kuin case-alueelta kerätyn paperimäärän ja kokonaiskuorman paperimäärän suhde, eli 41 %.

Tarkat päästö- ja kustannuslaskut on esitetty liitteessä 5. Olennaisimmat tulokset päästöjen osalta on koottu taulukkoon 8.



**Taulukko 8. Pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmän päästöt kerättyä paperitonnia kohden eri keräysmenetelmillä.**

<b>Päästökomponeetti i</b>	<b>Keräysmenetelmä</b>	<b>Päästöt E (g/t)</b>	<b>Osuudet päästöistä</b>
Hiilidioksidi CO <sub>2</sub>	o = vallitseva	11545	Siirtoajo 25 %
			Tyhjennysajo 62 %
			Joutokäynti 13 %
	n = uusi	8563	Siirtoajo 21 %
			Tyhjennysajo 54 %
			Joutokäynti 25 %
Typpioksidit NO <sub>x</sub>	o = vallitseva	70	Siirtoajo 26 %
			Tyhjennysajo 62 %
			Joutokäynti 13 %
	n = uusi	53	Siirtoajo 21 %
			Tyhjennysajo 53 %
			Joutokäynti 26 %
Hiukkaset PM	o = vallitseva	2,0	Siirtoajo 20 %
			Tyhjennysajo 70 %
			Joutokäynti 11 %
	n = uusi	1,3	Siirtoajo 18 %
			Tyhjennysajo 58 %
			Joutokäynti 24 %

Yhden paperitonin kerääminen case-alueella aiheuttaa tonniperusteisen kustannuksen  $C_n = C_o = XX \text{ €/t}$  ja yhden tyhjennyskierroksen kustannukset määräytyvät kaavan 11 mukaan molemmissa keräysmenetelmissä.

Tuloksista nähdään, että keräysmenetelmästä ja päästökomponeentista riippumatta selkeästi eniten päästöjä aiheutuu tyhjennysajosta. Vallitsevan keräysmenetelmän tapauksessa seuraavaksi eniten päästöjä aiheutuu siirtoajosta, joutokäyntipäästöjen ollessa ainoastaan noin 11-13 % kokonaispäästöistä. Uudessa keräysmenetelmässä joutokäynnin aiheuttamien päästöjen merkitys kasvaa jopa neljännekseen

kokonaispäästöistä. Tämä siksi, että astiasta nostetaan kerralla enemmän paperia, jolloin tyhjennysauto joutuu suuremmalle rasiukselle ja näin ollen kuluttaa enemmän polttoainetta siirtäessään paperilastin astiasta auton kyytiin. Uuden keräysmenetelmän joutokäynnin päästöt kasvavat absoluuttisestikin suuremmiksi kuin yleisessä keräysmenetelmässä. Kokonaispäästöt kerättyä paperitonnia kohden ovat kuitenkin uudella keräysmenetelmällä pienemmät kaikkien päästökomponenttien osalta.

Sovellettuna kuvan 5 teoriaan uuteen keräysmenetelmään siirtyminen vaikuttaa markkinatasapainoon ainoastaan keräyspäästöjen (kuvassa a) määrää pienentävästi. Tämä aiheuttaa sen, että uuden keräysmenetelmän yhteiskunnallinen rajakustannuskäyrä MSC asettuu alemmalle tasolle kuin vallitsevan keräysmenetelmän yhteiskunnallinen rajakustannuskäyrä. Uuden keräysmenetelmän tapauksessa yhteiskunnallisesti optimaalinen kerätyn paperin määrä  $H'_n$  olisi siis lähempänä potentiaalista keräyspaperin määrää  $H^*$  kuin  $H'_o$  ja paperista maksettava korvaus  $C'_n$  alemmalla tasolla kuin  $H'_o$ .

### 5.2.3 Päästöjen kustannusvaikuttavuus pääkaupunkiseudulla

Tonnikohtaisten kustannusarvojen ollessa molemmissa menetelmissä samat ( $C_o = C_n$ ), saadaan yhden lisäyksikön kustannusvaikuttavuudeksi 0, koska kaavan 1 osoittaja on tällöin 0. CE-luku nolla voidaan tulkita siten, että keräysmenetelmän vaihtamisen aiheuttamat muutokset päästömäärässä eivät aiheuta kustannuksia tuottajayhteisölle, ainakaan niiden kustannusten osalta, jotka ovat tutkimuksessa mukana. Tällöin keräysmenetelmien tehokkuuksia voidaan analysoida pelkästään tarkastelemalla nimittäjää, eli vertaamalla vaikutuksia  $E_n$  ja  $E_o$  taulukosta 8. Kustannustehokkaampi menetelmä on luvun 4.4 teorian mukaan se, jonka vaikutus  $E_i$  on pienempi eli jossa päästöt ovat pienemmät kerättyä tonnia ja aiheutettua kustannusta kohden.

$$1) E_n(CO_2) - E_o(CO_2) = 8563 - 11545 = -2982 \text{ (g/t)}$$

$$2) E_n(NO_x) - E_o(NO_x) = 53 - 70 = -17 \text{ (g/t)}$$

$$3) E_n(PM) - E_o(PM) = 1,3 - 2,0 = -0,7 \text{ (g/t)}$$

Nähdään, että  $E_n < E_o$  kaikkien päästökomponenttien osalta. Tulosten mukaan siirtyminen uuteen keräysmenetelmään on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä 2982 grammaa eli 26 % kerättyä paperitonna kohden. Vuositasolla tämä tarkoittaa case-alueen tapauksessa lähes 900 kg:n hiilidioksidipäästövähennemää. Typpioksidipäästöt vähenivät myös 24 % (17 g/t) ja hiukkaspäästöt jopa 35 % (0,7 g/t) uuden keräysjärjestelmän myötä. Uusi menetelmä on siis kaikkien päästökomponenttien osalta kustannustehokkaampi kuin yleisesti käytössä oleva menetelmä.

#### 5.2.4 Herkkyysanalyysi

Tutkimuksen tulosten aikaansaamiseksi on täytynyt tehdä tiettyihin oletuksiin perustuvaa teoreettista mallinnusta. Oletukset vaikuttavat syntyvään tulokseen ja aiheuttavat siten epävarmuutta. Muita epävarmuuden aiheuttajia ovat esimerkiksi aineiston luotettavuus sekä mahdolliset mittausvirheet.

Tämän case-tapauksen herkkyysanalyysi on suoritettu kolmelle eri tekijälle, jotka vaikuttavat saatuihin tuloksiin. Uudet, herkkyysanalyysissä käytetyt oletukset ovat:

- Oletus 1: Vallitsevan keräysmenetelmän tyhjennys suoritetaan puolet harvemmin eli 52 kertaa vuodessa.
- Oletus 2: Vallitsevassa keräysmenetelmässä käytetyn pakkaavan jäteauton täysi kuorma on seitsemän tonnin sijaan kahdeksan tonnia.
- Oletus 3: Uuden keräysmenetelmän päästökertoimet ovat 20 % suurempia kuin vallitsevan keräysmenetelmän.

Oletukset 1 ja 2 vaikuttavat vallitsevan keräysmenetelmän ja oletus 3 uuden keräysmenetelmän päästöihin. Herkkyysanalyysi ei vaikuta kustannusten suuruuteen, koska kustannukset ovat riippuvaisia ainoastaan alueelta kerätyn paperin määrästä, eikä keräysmenetelmän oletettu vaikuttavan kerätyn paperin määrään. Etenkin kiinteistökeräysjärjestelmässä sekä vuoden aikajaksossa tämä oletus on perusteltu, koska jätteen tuottajan kierrätysolosuhteet eivät astian vaihdosta lukuun ottamatta muutu. Tarkemmat herkkyysanalyysin tulokset ja päästökomponenttikohtaiset erot on

esitetty taulukossa 9. Oletus 0 tarkoittaa alkuperäisten oletusten voimassaoloa, eli varsinaisia tuloksia  $E_{i,n}$  ja  $E_{i,o}$ .

**Taulukko 9. Herkkyysanalyysin tulokset kiinteistökeräysjärjestelmässä.**

	$E(CO_2)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	11545	8563	2982	26 %
Oletus 1	11195	8563	2632	24 %
Oletus 2	10378	8563	1815	17 %
Oletus 3	11545	9839	1706	15 %
Oletukset 1 ja 2	10028	8563	1465	15 %
Oletukset 1 ja 3	11195	9839	1356	12 %
Oletukset 2 ja 3	10378	9839	539	5 %
Oletukset 1, 2 ja 3	10028	9839	189	2 %
	$E(NO_x)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	70	53	17	24 %
Oletus 1	68	53	15	22 %
Oletus 2	63	53	10	16 %
Oletus 3	70	60	10	14 %
Oletukset 1 ja 2	61	53	8	13 %
Oletukset 1 ja 3	68	60	8	12 %
Oletukset 2 ja 3	63	60	3	5 %
Oletukset 1, 2 ja 3	61	60	1	2 %
	$E(PM)$ (g/t)			
	o	n	erotus	vähennemä
Oletus 0	2,0	1,3	0,7	35 %
Oletus 1	1,9	1,3	0,6	32 %
Oletus 2	1,8	1,3	0,5	28 %
Oletus 3	2,0	1,6	0,4	20 %
Oletukset 1 ja 2	1,7	1,3	0,4	24 %
Oletukset 1 ja 3	1,9	1,6	0,3	16 %
Oletukset 2 ja 3	1,8	1,6	0,2	11 %
Oletukset 1, 2 ja 3	1,7	1,6	0,1	6 %

Tuloksiin johtavien laskujen perusteella voidaan havaita, että keräysmenetelmän päästöihin vaikuttaa ajatut kilometrit eli toisin sanoen keräyskertojen määrä vuodessa. Vallitsevan keräysmenetelmän osalta tämä keräystiheys oli määritetty paperikertymän- ja oletettujen astioiden lukumäärän perusteella. Herkkyysanalyysissä muutettiin oletuksia vallitsevalle keräysmenetelmälle suotuisampaan suuntaan siten, että keräys suoritettaisiin puolet harvemmin eli kerran viikossa eli 52 kertaa vuodessa (oletus 1). Tämä kuitenkin tarkoitti, että myös oletusta astioiden lukumäärästä piti muuttaa siten, että niitä on case-alueen keräyspisteissä ollut vähintään 47 kpl (muutoin viikon paperikertymä, eli  $11,52 \text{ t} / 2 = 5,76 \text{ t}$  ei mahtuisi astioihin, joihin maksimissaan mahtuu  $0,122 \text{ t/ astia}$ ). Oletus on epätodennäköisempi kuin varsinaisissa laskuissa käytetty, koska tämä tarkoittaisi, että jokainen astia olisi tyhjennetty aivan täytenä. Lisäksi oletus tarkoittaisi, että kaikissa case-alueen keräyspisteissä olisi täytynyt olla vähintään kaksi ja joissakin jopa kolme astiaa.

Case-alueen keräyspisteistä kertyi siis paperia  $5,76 \text{ t}$  viikossa eli yhdessä tyhjennysvuorossa. Tämäkään ei vastaa ihan täyttä kuormaa, joten on edelleen oletettu, että kuorma on kerätty täyteen muiden keräyspisteiden avulla. Case-alueen osuus yhden tyhjennyskierron siirto- ja tyhjennysajon päästöistä on tällöin  $(5,76/7) \cdot 100\% \approx 82\%$ . Näiden oletusten ollessa voimassa vallitsevan keräysmenetelmän päästöt laskevat päästökompontentista riippuen 2-5 %. Tämä ei kuitenkaan riitä muuttamaan keräysmenetelmien paremmuusjärjestystä, kuten taulukosta 9 huomataan.

Toinen vallitsevan keräysmenetelmän päästöarvoihin vaikuttava tekijä on oletus pakkaavan jäteauton täyden kuorman suuruudesta, koska tämä vaikuttaa siihen, kuinka suuren osuuden yhden tyhjennyskierron päästöistä ajatellaan case-alueen keräyspisteiden tyhjennyksen aiheuttavan. Täyden kuorman arvo seitsemän tonnia on valittu tyypillisten kuormien keskiarvon perusteella (H. Patana, henkilökohtainen tiedonanto 9.7.2008). Herkkyysanalyysissä on kuitenkin oletettu, että yhteen kuormaan onkin kerätty kahdeksan tonnia paperia, koska keräisyrietykset saattavat kerätä myös nk. ylikuormaa (oletus 2). Tällöin case-alueen osuus täyden kuorman ajosuoritteiden päästöistä laskee 41 prosentista 36 prosenttiin ja vallitsevan keräysmenetelmän tonnikohtaiset päästöt laskevat noin 10 % alkuperäisen oletuksen tapauksesta. Tämä

aiheuttaa keräysmenetelmien kustannustehokkuusarvojen välisen eron kaventumisen, mutta ei riitä muuttamaan keräysmenetelmien paremmuusjärjestystä.

Mikäli oletukset 1 ja 2 pätsivät samaan aikaan, vähenisivät vallitsevan keräysmenetelmän päästöt alkuperäisiin oletuksiin nähden 13-15 %. Tähän yleisen menetelmän uuteen päästötasoon verrattuna uuden keräysmenetelmän päästöt olisivat päästökompontista riippuen edelleen 13-24 % pienemmät.

Uuden keräysmenetelmän tuloksiin olennaisesti vaikuttava tekijä on päästökertoimen valinta. Päästökertoimet ovat tässä työssä valittu keräysmenetelmissä käytettyjen kuljetusautojen kokonaismassojen perusteella. Eri menetelmissä käytettyjen autojen kokonaismassat ovat samat, joten käytetyt kertoimetkin ovat olleet samat. Uudessa keräysmenetelmässä kerätään kuitenkin pääkaupunkiseudun case-tapauksessa kerralla suurempia paperikuormia, jolloin voidaan päästökertoimienkin olettaa olevan hieman suurempia. Herkkyysanalyysissä on täten oletettu uuden keräysmenetelmän päästökertoimien olevan 20 prosenttia suurempia kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä (oletus 3). Tällöin uuden keräysmenetelmän päästöt kasvavat alkuperäisiin oletuksiin nähden päästökompontista riippuen 13-23 %.

Herkkyysanalyysin tuloksien eli taulukon 9 perusteella voidaan sanoa, että tehdyt oletukset vaikuttavat tuloksiin. On kuitenkin hyvä huomioida, että muutokset oletuksissa eivät aiheuttaneet muutosta tutkittavien keräysmenetelmien paremmuusjärjestykseen. Oletusten aiheuttama epävarmuus liittyy siis ainoastaan siihen, kuinka paljon ympäristöä säästävämpi ja kustannustehokkaampi uusi keräysmenetelmä on. Esimerkiksi kaikkien herkkyysanalyysissä mukana olevien oletusten pätiessä uuden keräysmenetelmän tuoma päästövähennelmä olisi ainoastaan 2-6 % luokkaa.

## 6 Johtopäätökset

Tässä luvussa esitetään tutkielman perusteella tehdyt johtopäätökset sekä keräysmenetelmä-, mutta myös keräysjärjestelmätasolla käyttäen apuna jonkin verran myös aiemmin tehtyjä tutkimuksia aiheeseen liittyen. Lopuksi pohditaan tulosten käytettävyyttä yleisemmällä tasolla sekä keräysmenetelmiin liittyviä haasteita sekä tulevaisuuden näkymiä.

### 6.1 Uusi menetelmä ympäristöä säästävämpi

Tutkimuksessa vertailtiin vallitsevaa ja uutta keräysmenetelmää aluekeräysjärjestelmässä Pirkanmaan haja-asutusalueella ja kiinteistökeräysjärjestelmässä pääkaupunkiseudulla kustannusvaikuttavuus-analyysiä hyödyntäen. Menetelmävertailua tapahtui siis kahdessa eri keräysjärjestelmässä ja kahdella maantieteellisesti poikkeavalla alueella. Kustannusvaikuttavuus-analyysi osoittautui relevantiksi ainoastaan Pirkanmaan case-tapauksessa, jossa hinnoittelujärjestelmää muutettiin keräysmenetelmän vaihdoksen myötä. Molempien case-tapauksien päästöjä koskevien tulosten perusteella voidaan kuitenkin sanoa, että uusi, suurempiin keräysastioihin perustuva keräysteknologia on ympäristöä säästävämpi verrattuna vallitsevaan keräysteknologiaan silloin, kun tehdyt oletukset ovat voimassa.

Tutkimuksen valossa näyttäisi siltä, että aluekeräysjärjestelmässä uuteen keräysmenetelmään siirtyminen mahdollistaa niin suhteellisesti kuin absoluuttisestikin suuremmat päästövähennykset kuin kiinteistökeräysjärjestelmässä. Optimistisimpien oletusten mukaan olisi mahdollista saavuttaa jopa 50 % päästövähennykset jokaisen tutkimuksessa mukana olleen päästökomponentin osalta ja pessimistisempienkin oletusten vallitessa saavutetaan yli 20 % päästövähennykset. Lisäksi aluekeräysjärjestelmässä uuteen keräysmenetelmään siirtyminen alentaa tuottajayhteisölle aiheutuvia tonnikohtaisia keräyskustannuksia oletuksista riippuen 34-60 %; kyseessä on siis win-win-tilanne, josta hyötyvät sekä ympäristö että tuottajayhteisö. Kustannusvaikuttavuus-analyysin mukaan tuottajayhteisölle aiheutuu tuottoa uuteen keräysmenetelmän aiheuttamista päästöjen vähennyksistä tällä case-



alueella yhteensä XXXX € vuodessa (ks. liite 4 kohta C). Uuden menetelmän kustannukset ovat siis 34 % pienemmät kuin vallitsevassa keräysmenetelmässä. Herkkyysanalyysin mukaan optimistisimmassa tapauksessa kustannukset voisivat laskea jopa 60 % uuden keräysmenetelmän myötä.

Pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmässä menetelmien tehokkuuksia vertailtiin ainoastaan päästöjen osalta, koska tuottajayhteisölle koituvat kustannukset eivät muuttuneet eikä kustannusvaikuttavuus-analyysi siten ollut relevantti. Tulosten mukaan uuteen keräysmenetelmään siirtyminen vähensi aiheutuneita päästöjä oletuksista ja päästökomponeentista riippuen 2-35 %. Kyseessä ei ollut edellisen case-tapauksen tavoin win-win-tilanne, koska tuottajayhteisön kustannukset eivät tässä tapauksessa laskeneet. Toisaalta päästöjen vähentäminen ei aiheuttanut tuottajayhteisölle myöskään lisäkustannuksia ainakaan niiden kustannusten osalta, jotka ovat tutkimuksessa mukana. Kyseessä voidaan siis sanoa olevan "business as usual"-win-tilanne, jossa tuottajayhteisö ei saa hyötyä eikä haittaa, mutta ympäristö hyötyy.

## **6.2 Tonnikohtaiset päästöt pienimmät pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmässä**

Aiempien tutkimusten valossa tuloksia voi tarkastella myös monessa muussa eri tasossa. Vertailua voidaan tehdä esimerkiksi järjestelmätasolla eri maantieteellisillä alueilla tai järjestelmien välillä samalla maantieteellisellä alueella niiltä osin, kun tutkimustietoa on saatavilla. Lisäksi voidaan verrata paperikeräysmenetelmiä muiden jätėjakeiden keräysmenetelmiin.

Tämän tutkimuksen valossa voidaan vertailla alue- ja kiinteistökeräysjärjestelmien tehokkuuksia tonnikohtaisten päästöjen avulla, mutta vain eri maantieteellisillä alueilla. Tulokset osoittavat, että keräysmenetelmästä riippumatta tonnikohtaiset päästöt ovat kiinteistökeräysjärjestelmässä pienemmät kuin aluekeräysjärjestelmässä jokaisen päästökomponeentin osalta. Hiilidioksidin ja typpioksidien tapauksessa kiinteistökeräysjärjestelmän päästöt ovat yli 60 % ja hiukkastenkin osalta yli 50 % pienemmät kuin aluekeräysjärjestelmässä. Tämä tulos ei ole yllättävä, sillä kuten jo teoriaosuuden luvussa 2.6 mainittiin, kiinteistökeräysjärjestelmistä saadaan enemmän

paperia talteen. Lisäksi aluekeräysjärjestelmissä keräyspisteet sijaitsevat etäämmällä toisistaan, joten siirto- ja tyhjennysajon aiheuttamia päästöjä syntyy enemmän.

Keräysjärjestelmävertailua olisi mielekkäämpää suorittaa kuitenkin samalla maantieteellisellä alueella, koska paikalliset olosuhteet vaikuttavat järjestelmän toimivuuteen ja tehokkuuteen (ks. luku 3.1). Tämä voidaan tehdä pääkaupunkiseudun alueella nojautumalla aikaisempiin tutkimuksiin, koska Skoglund (2001) on tutkinut paperin *aluekeräyksen* typpioksidin- ja hiukkaspäästöjä pääkaupunkiseudulla (ks. taulukko 3 sivulla 26). Skoglundin tulosten mukaan paperinkeräyksen tonnikohtaiset typpioksidipäästöt ovat 108 g/t ja hiukkasten 11 g/t. Tässä tutkimuksessa pääkaupunkiseudun kiinteistökeräyksen typpioksidipäästöt olivat keräysmenetelmästä riippuen 53-70 g/t ja hiukkaspäästöt 1,3-2,0 g/t, mikä tarkoittaa typpioksidien osalta 35-50 % pienempää ja hiukkasten osalta jopa 80-90% pienempää tonnikohtaista päästölukemaa kuin aluekeräysjärjestelmässä. Näin molemmat keräysjärjestelmävertailut puoltavat sitä, että kiinteistökeräysjärjestelmästä aiheutuu vähemmän päästöjä kerättyä paperitonnia kohden kuin aluekeräysjärjestelmästä.

Skoglundin pääkaupunkiseudun aluekeräyksen tuloksia voidaan toki peilata myös tämän tutkimuksen Pirkanmaan aluekeräyksen tuloksiin, eli verrata samaa keräysjärjestelmää eri maantieteellisillä alueilla. Typpioksidien osalta vertailu osoittaa, että pääkaupunkiseudun aluekeräyksen tonnikohtaiset päästöt ovat 23-43 % pienemmät kuin Pirkanmaalla, riippuen Pirkanmaalla käytetystä keräysmenetelmästä. Tulos on järkevä, sillä on oletettavaa, että pääkaupunkiseudun aluekeräysjärjestelmä on tehokkaampi kuin Pirkanmaan aluekeräysjärjestelmä tiheämmän kaupunkirakenteen ja suuremman asukasluvun takia. Hiukkasten osalta tulos puolestaan on päinvastainen, eli pääkaupunkiseudulla tonnikohtaiset päästöt ovat jopa 60-70 % suuremmat kuin Pirkanmaalla, mikä vaikuttaa ristiriitaiselta. Syitä tähän saattaa olla monia: Skoglundin tutkimus on vanhempi ja siinä on käytetty vanhempia päästökertoimia sekä muutenkin erilaista tutkimusmenetelmää kuin tässä tutkimuksessa. Voihan lisäksi olla mahdollista, että moottoritekniikka on kehittynyt tänä väliaikana siten, että hiukkaspäästöjä on pystytty radikaalimmin leikkaamaan, kuin esimerkiksi typpipäästöjä.

Tästä työstä saatuja tuloksia voidaan verrata muihin hyötyjätteisiin. Esimerkiksi YTV on tutkinut lasinkeräyksen aiheuttamia päästöjä ja kustannuksia

pääkaupunkiseudun alue- ja kiinteistökeräysjärjestelmissä (ks. taulukko 1 sivulla 19). Vertailu keskittyy ainoastaan pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmiin tämän tutkimuksen maantieteellisen aspektin vuoksi: Pirkanmaan paperin aluekeräyksen ja pääkaupunkiseudun lasin aluekeräyksen vertailu ei anna mielestäni mitään relevanttia tietoa. Vertailun perusteella lasin kiinteistökeräys aiheuttaa vähintään 60 % enemmän päästöjä kerättyä tonnia kohden kuin paperin kiinteistökeräys pääkaupunkiseudulla. Myös lasinkeräyksen tonnikohtaiset keräyskustannukset ovat saman tutkimuksen mukaan huomattavasti suuremmat kuin paperinkeräyksessä, joten paperin kerääminen on kustannustehokkaampaa kuin lasin kerääminen. Suurin syy tähän on luvussa 3.2 mainitut tilavuuspainoerot: lasi on materiaalina painavampaa kuin paperi, joten yhden tonnin keräämiseen tarvitaan enemmän resursseja.

### **6.3 Tulosten yleistettävyys ja kelpoisuus**

Esitetyt tulokset ja niistä vedetyt johtopäätökset ovat voimassa ainoastaan siinä tapauksessa, että taustalla olevat oletukset pätevät. Esimerkiksi on hyvä huomioda, että tutkimuksessa vertailtiin toisensa poissulkevia keräysmenetelmiä. Reaalimaailmassa menetelmiä joudutaan käyttämään rinnakkain ainakin siirtymävaiheen aikana ja on myös olemassa alueita, joihin ei kannata asentaa syväkeräysastiaa ollenkaan esimerkiksi maaperän kallioisuuden vuoksi. Tällaiseen tilanteeseen ei tämä tutkielma pysty ottamaan kantaa. On myös mahdollista, että menetelmien rinnakkain käyttö on huonompi vaihtoehto, kuin esimerkiksi pelkästään vallitsevan menetelmän käyttö yksinään, koska tällöin samassa keräysjärjestelmässä tai maantieteellisesti samalla alueella ajaa kaksi erilaista tyhjennysautoa osittain päällekkäisiä reittejä. Toisaalta etenkin pääkaupunkiseudulla tilanne oli jo ennen uuteen keräysmenetelmään siirtymistä vastaavanlainen, koska keräysyritysten kilpailusta johtuen ei ole tavallisesta poikkeavaa, että saman kadun varrella sijaitsevia keräyspisteitä tyhjentää useampi kuin yhden keräysyrityksen tyhjennysauto.

Oletus menetelmien käyttöönottokustannusten yhtäsuuruudesta on myös vahva ja tuo epävarmuutta tuloksiin. Tyypillisesti on kuitenkin niin, että uuden teknologian käyttöönotto on kalliimpaa kuin vanhan. Tässäkin tapauksessa uuden menetelmän

syväkeräysastiat ovat kalliimpia ja vaativat maahanupotuksen, mutta toisaalta ovat elinkaareltaan pitkäikäisempiä. Käyttöönoton kustannuksien vertailusta voisi tehdä oman tutkimuksensa.

On myös hyvä huomioda, että päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet ovat laskennallisesti tuotettuja. Tämän vuoksi absoluuttiset päästölukemat sisältävät epävarmuutta. Keräysmenetelmien suhteellisiin päästöeroihin ei päästökertoimien valinnalla ole kuitenkaan pääkaupunkiseudun case-tapauksen herkkyyksianalyysiä lukuun ottamatta ollut merkittävää vaikutusta.

Tuloksia ei voi suoraan soveltaa kaikkiin keräysalueisiin, koska case-alueiden ominaispiirteet kuten keräyspisteiden välimatkat, paperikertymät ja niin edelleen ovat vaikuttaneet tuloksiin. Yleistyksiä tehtäessä on siis oltava varovainen ja huomioitava etenkin taustaoletusten yhdenmukaisuus sekä keräysalueen paikalliset olosuhteet: mitä lähempänä ne ovat tämän tutkielman case-alueiden ominaispiirteitä, sitä todennäköisemmin myös tulokset ovat sovellettavissa.

#### **6.4 Keräysmenetelmien kehitystarpeet ja -mahdollisuudet**

Siirtyminen vallitsevasta keräysmenetelmästä uuteen on tämän tutkielman valossa askel oikeaan suuntaan niin jäte- kuin ympäristöpolitiikankin tavoitteet huomioon ottaen, koska tyhjennyskertojen vähentymisen myötä saadaan leikattua paperinkeräyksestä aiheutuvia päästöjä. Aivan ongelmaton ei uusikaan menetelmä ainakaan Pirkanmaan case-alueella ole, sillä sen tehokkuutta heikentävät vielä jotkin tekniset ongelmat, kuten swedexboxeissa pohjan lukkiutumismekanismiin epäluotettava toiminta sekä paperimateriaalin kastuminen. Tällaisia ongelmia ei kuitenkaan ole tullut tietoon muilta uuteen keräysmenetelmään siirtyneiltä alueilta. Lisäksi kiinteistökeräysjärjestelmän kuljettaja koki syväkeräysastioiden tyhjennyksestä saadut hankaussähköiskut epämuikaviksi. Eräs jatkotutkimuksen aihe voisi olla, vaikuttaako paperin pidempi makuu-aika astiassa ja mahdollinen kosteudelle altistuminen paperin laatuun raaka-aineena.

Syväkeräysastiat ovat siistejä, eivätkä rumenna pihaympäristöä. Maanalaisen tilan hyödyntäminen on järkevää etenkin tiheässä kaupunkiympäristössä. Maahanupotukseen liittyy ympäristön kannalta kuitenkin myös haittoja, sillä upotuksen jälkeen on vaikeampaa siirtyä mihinkään toiseen menetelmään, mikäli esimerkiksi keksittäisiin jokin uusi ja innovatiivinen keräysmenetelmä. Täysin utopiaa tämä ei ole, sillä esimerkiksi Tukholmassa on jo käytössä alipaineistettuihin imukuiluihin perustuva jätteen keräysmenetelmä. Imujärjestelmässä jätteet heitetään esimerkiksi pihalla olevaan kuiluun, josta ne imetään suljetussa putkistossa maan alla olevaan isoon säiliöön. Ison ja kauempana pihasta sijaitsevan säiliön tyhjentäminen on kuljetusyrityksen kannalta helpompaa ja luultavasti myös ympäristöä säästävämpää. (Roos ym. 2004, 57-58.) Toisaalta alipainemenetelmään liittyy osittain samat haittatekijät kuin syväkeräysmenetelmään: putkistojen asennus on melko pysyvä investointi ja tämän jälkeen menetelmän vaihtaminen on vaikeampaa.

Keräävän ja kuljettavan yrityksen toiminta on suuressa roolissa keräysmenetelmän toimivuuteen ja kannattavuuteen, koska se päättää esimerkiksi ajetun tyhjennysreitit ja -tiheyden, sekä myös käytetystä kalustosta (esimerkiksi minkä ikäinen keräysauto). Näillä kaikilla tekijöillä on vaikutusta aiheutuneisiin päästöihin. Myös kuljettajan ammattitaidolla on vaikutusta esimerkiksi siihen, kuinka kauan astioiden tyhjentämiseen kuluu aikaa. Tyhjennystiheyden optimoiminen ei aina ole helppoa, koska usein keräyspisteiden astiat täyttyvät eri tahtiin ja paperikertymissä on usein kausittaista vaihtelua. Optimaalisen tyhjennystiheyden määrittämistä helpottaa esimerkiksi pidempiaikainen täyttöasteiden arviointi ja seuranta, jossa voidaan käyttää apuna myös hälyttävää sensoritekniikkaa (ks. luku 3.1.2).

Kaikkia uuteen keräysmenetelmään siirtymisen aiheuttamia vaikutuksia ei tiedetä. Kiinnostavaa olisi tutkia esimerkiksi sitä, onko menetelmällä vaikutusta jätteen tuottajien kierrätyskäyttäytymiseen ja -motivaatioon. Esimerkiksi joissakin aluekeräysjärjestelmissä saatetaan joutua harventamaan keräyspisteiden sijoittelutiheyttä uuden menetelmän myötä. Usein kierrätysmotivaatio on sitä heikompaa, mitä kauempana keräyspiste sijaitsee. Toisaalta kierrätysmotivaatio saattaa uuden keräysmenetelmän myötä jopa kasvaa, mikäli esimerkiksi jätteen tuottajat kokevat suuremmat astiat helpommaksi tai mukavammaksi käyttäviä.

## Lähteet

Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R. & Weimer, D.L. 2001. Cost-Benefit Analysis, Concepts and Practice. 2nd edition. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458.

Dahlbo, H., Jouttijärvi, T., Koskela, S. & Melanen, M. 2002. Paperituotteiden jätehuoltojärjestelmät elinkaaritutkimuksissa. Kirjallisuuskatsaus. Suomen ympäristökeskus. Edita Prima Oy, Helsinki.

European parliament 2008. The Legislative Observatory. Waste: Revision of the Framework Directive. Haettu 20.1.2009, päivitetty 3.12.2008. <http://www.europarl.europa.eu/oel/FindByProcnum.do?lang=en&procnum=COD/2005/0281>

Finnlex, Lainsäädäntö, Ajantasainen lainsäädäntö, 1993, 3.12.1993/1072 Jätelaki. Haettu 24.4.2008. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>

Johansson, O.M. 2006. The effect of dynamic scheduling and routing in a solid waste management system. Waste Management 26, 875-885.

Jokinen, V. 2004. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu. YTV Jätehuolto. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2004:13.

Kahn, J.R. 1998. The Economic Approach to Environmental and Natural Resources. 2nd. edition. Thompson Learning, South-Western. USA.

Kaila, J., Paavilainen, J., Kojo, R., Penttilä, M. & Karhu, H. 2006. Jätehuollon järjestäminen kunnan näkökulmasta - Omistajaohjauksessa huomioon otettavia asioita. Suomen Kuntaliitto. 1. painos, ISBN 952-213-125-3, Helsinki.

Laakso, M. 1998. Hyötyjätteen keräysjärjestelmän päästöt Turussa. Turun yliopisto. Maantieteen laitos. Pro gradu –tutkielma.

Liikenne ja viestintäministeriö, liikennetietoa, liikenteen ympäristökuormitus 2008. Haettu 11.4.2008, päivitetty 23.2.2007. <http://www.mintc.fi/scripts/cgiip.exe/WService%3Dlvm/cm/pub/showdoc.p?docid=2358&menuid=378>

Mattsson, C.H., Berg, P.E.O. & Clarkson, P.A. 2003. The Development of Systems for Property Close Collection of Recyclables: Experiences from Sweden and England. Resources, Conservation & Recycling 38, 39-57.

Mattsson Petersen, C. 2004. Conditions and Constraints for Waste Management, Collection, characterisation and producer responsibility in Sweden. Chalmers University of Technology. Department of Water Environment Transport. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Göteborg, Sweden.

Motiva Oy, Yrityksille ja yhteisöille, Kuljetusala, Pakokaasupäästöt, Dieselmootoreiden pakokaasupäästöt, 2008. Haettu 8.4.2008, päivitetty 4.5.2007. <http://www.motiva.fi/fi/yjay/kuljetusala/pakokaasupaastot/>

Motiva Oy, Kuluttajille, Liikenne ja liikkuminen, Liikenteen ympäristövaikutukset, Pakokaasupäästöt, 2008. Haettu 8.4.2008, päivitetty 4.5.2007. <http://www.motiva.fi/fi/kuluttajat/liikkuminen/liikenteenymparistovaikutukset/pakokaasupaastot.html>

Myllymaa, T., Dahlbo, H., Ollikainen, M., Peltola, S. & Melanen, M. 2005. Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 750. Vammalan kirjapaino Oy. Helsinki.

Mäkelä, K., Laurikko J. & Kanner, H. 2006. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt, LIISA 2005 laskentajärjestelmä. VTT, Tutkimusraportti VTT-R-00108-07.

Nuortio, T., Kytöjoki, J., Niska, H. & Bräysy, O. 2006. Improved route planning and scheduling of waste collection and transport. Expert Systems with Applications 30, 223-232.

Paperinkeräys Oy 2008, Paperinkeräisyhtiöt. Haettu 14.3.2008, päivitetty 2005.

<http://www.paperinkerays.fi/939>

Pfister, K. 2008. Ajankohtaista Suomen ja yhteisön jätealan lainsäädännöstä. Ympäristöministeriö. Haettu 13.11.2008, päivitetty 11.9.2008.  
[http://www.kunnat.net/binary.asp?path=1;29;356;61427;45984;101399&field=FileAttachment&version=8#515,10,Ajankohtaiset\\_yhteisösäädökset\\_\(1\)\\_Uusi\\_jätepuitedirektiivi\\_\(1\):\\_aikataulu](http://www.kunnat.net/binary.asp?path=1;29;356;61427;45984;101399&field=FileAttachment&version=8#515,10,Ajankohtaiset_yhteisösäädökset_(1)_Uusi_jätepuitedirektiivi_(1):_aikataulu)

Porter, R. C. 2002. The economics of waste. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, An RFF Press book, Published by Resources for the Future, 1616 Street, NW, Washington, DC 20036-1400.

Roos, I., Kojo, R. & Sillanpää, L. 2004. "Lajittelisin, jos..." Kerrostalon jätehuolto asukkaan näkökulmasta -Kehittämisen perusteita. Tekes Streams-teknologiaohjelma. Työtehoseuran raportteja ja oppaita TR 12.

Schmidt, J.H., Holm, P., Merridt, A. & Christensen, P. 2007. Life cycle assessment of the waste hierarchy – A Danish case study on waste paper. Waste management 27, 1519-1530.

Skoglund, K. 2001. Hyötyjätteen aluekeräysjärjestelmän ympäristövaikutusten tarkastelu pääkaupunkiseudulla. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:1, Helsinki.

Tanskanen, J-H. 1996. Syntypaikkalajitteluun perustuvan yhdyskuntajätehuollon tarkastelu -jätevirrat, kustannukset ja päästöt. Suomen ympäristökeskus, Suomen ympäristö 38, Helsinki.

Tanskanen, J-H 1997. YTV:n alueen jätehuollon mallintaminen, loppuraportti 12.2 1997. YTV Jätehuoltolaitos, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1997:2.



Tekes 2005. Streams - Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa 2001-2004, Loppuraportti, Teknologiaohjelmaraportti 5/2005, ISBN 952-457-194-3, Libris Oy, Helsinki.

Toukola, V., Haapaniemi, J. & Vehmas, A. 2007. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien jätemääriin vaikuttavat tekijät. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. YTV:n julkaisu 2007:1. Painoprisma Oy, Helsinki.

Valtion ympäristöhallinto 2008. Haettu 5.5.2008, päivitetty 24.1.2006. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6983&lan=fi>

Vares, S. & Lehtonen J. 2007. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. Yhteenveto. YTV:n julkaisuja 16/2007. Valopaino, Helsinki.

VTT 2006. Lipasto 2006. Haettu 10.4.2008, päivitetty 2006. <http://lipasto.vtt.fi/>

VTT 2002. Lipasto 2002, yksikköpäästöt, jäteauto. Haettu 30.6.2008, päivitetty 10.12.2002. <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/jatekeskim.htm>

YTV Jätehuolto, Hinnat ja määräykset. Haettu 15.4.2008, päivitetty 31.12.2007. <http://www.ytv.fi/FIN/jatehuolto/hinnat/etusivu.htm>

YTV ympäristösanasto. Haettu 13.5.2008, päivitetty 28.12.2006. [http://www.ytv.fi/FIN/fiksu/ammattia\\_oppimassa/aloita\\_tasta/ymparistosanasto/etusivu.htm](http://www.ytv.fi/FIN/fiksu/ammattia_oppimassa/aloita_tasta/ymparistosanasto/etusivu.htm)

**Liite 1a. Pirkanmaan ajopäiväkirja (vain aluekeräyspisteet) vallitsevalla keräysmenetelmällä 17.3.2008**

Aluekeräyspiste	600 l:n paperi- astoiden lkm		Pikakonttien lkm		Paperia keskimäärin (kg)*	Tyhjennys- aika (min)	Ajoaika seuraavalle pisteelle (min)		Etäisyys seuraavalle pisteelle (km)**	
Paperinkeräyslaitos, Uurastajankatu 17							21		20,2	
1. Viitapohjantie 68	3				195	2		5	4,8	
2. Sisaruspohjantie 2	2				130	1		5	5,7	
3. Kaakkolammintie 2	1				65	0,5		3	1,7	
4. Siltasavontie 19	2				130	3		7	2,7	
5. Vanha Savontie 1	1				65	0,5		12	7,7	
6. Kiimajoentie 611	1				65	0,5		7	5,5	
7. Ukaantie 368	2				130	1		5	4,5	
8. Mootorikeskuksentie 55	1				65	0,5		23	26,1	
9. Väärinmajantie			1		800	7		5	3,7	
10. Ruhalan jätepieste			1		800	4		3	4	
11. Ruovedentie 51	2				130	3		2	2	
12. Joensuuntie			1		800	8		13	12,8	
13. Kekkoskyläntie			1		600	8		1	0,5	
14. Sahantie	2				130	2		50	60,4	
Paperinkeräyslaitos, Uurastajankatu 17										
<b>Yhteensä</b>	<b>17</b>		<b>4</b>		<b>4107</b>	<b>41</b>		<b>162</b>	<b>162,3</b>	

\* Pikakonttien paperimäärä on kuljettajan arvioima. 600 l:n astoiden paperimäärä laskettu keskiarvon mukaan.

\*\* Pisteiden välinen etäisyys todellista ajoreittiä pitkin Google Mapsin reittipalvelun mukaan

**Liite 1b. Pölkänmaan ajopöytäkirja uudella keräysmenetelmällä 10.10.2008**

Alueeräyspiste (sinisellä tekimukassa mukana olevat pisteet)	Swacdeboxin ikm (6m3)	Täyttötaste* %	Paparia (kg)	Tyhjennysoika (min)	Ajokaikaa seur. pisteelle (min)	Etäisyys seur. pisteelle (km)**
Paperinkeräyslaitos, Uurastajankatu 17					21	20,2
1. Viitapohjantie 68	1	80 %	960		6,5	4,8
2. Sisaruspojantie 2	1	30 %	360		5,5	5,7
3. Kaakkolammintie 2	1	20 %	240		5,5	1,7
4. Siltasavontie 19	1	40 %	480		6,5	2,7
5. Vanha Savontie 1	1	0 %	0		0	7,7
6. Kiimajoentie 611	1	0 %	0		0	5,5
7. Ukaantie 368	1	0 %	0		0	5,2
8. Moottorikeskuksentie 55	1	40 %	480		5	14,7
9. Kuvantie 2	1	80 %	840		5	10,3
10. Paavolantie 187	1	80 %	720		5	1,6
11. Kääräkatu 2	2	0 %	0		0	0
		90 %	1080		0	14,2
12. Puoleksentie 105	1	70 %	840		5	20,9
<b>Tyhjennys, Uurastajankatu 17 (yht. 1. kuorman jälkeen)</b>	<b>13</b>		<b>5760</b>	<b>50</b>	<b>117</b>	<b>115,2</b>
<b>Lähtö, Uurastajankatu 17</b>					<b>75</b>	<b>89,1</b>
13. Eelksentie	1	70 %	840		6,5	16,3
14. Pappilankulmantie 88	1	40 %	480		0	3,9
15. Joensuuntie	2	80 %	960		4,5	0
		80 %	960		4,5	2
16. Ruovedentie 51	1	50 %	600		4,5	4
17. Ruhalan jätepiiste	1	70 %	840		5	3,7
18. Vaarinmajantie	2	70 %	840		4	0
		70 %	840		4,5	9,3
19. Hyvyläntie 650	1	0 %	0		0	15,6
22. Kekkosyläntie	1	70 %	840		6,5	0,5
23. Sahantie	1	0 %	0		0	60,4
<b>Paperinkeräyslaitos, Uurastajankatu 17</b>					<b>48</b>	
<b>Yhteensä molempien kuormien jälkeen</b>	<b>24</b>	<b>45 %</b>	<b>12960</b>		<b>95</b>	<b>319,9</b>

\* Paperimäärä on kuljettajan arvioima.

\*\* Etäisyyden välinen etäisyys todellista ajoreittiä pitkin Google Mapsin reititapahtuman mukaan

Ajopäiväkirjojen ja muiden lähtötietojen perusteella on taulukkoon 10 laskettu sellaisia määreitä, joita tarvitaan joko päästöjä tai kustannuksia laskettaessa. Mikäli keräysmenetelmien tiedot poikkeavat toisistaan, on nämä erotettu omiin riveihinsä. Muutoin lasketut arvot ovat voimassa molemmissa menetelmissä. Taulukossa on myös esitetty tarkennuksia ja perusteluja käytettyihin laskentatapoihin. Määritettyjen arvojen taustalla olevat mahdolliset oletukset on myös kerrottu aineiston kelvollisuuden arvioinnin helpottamiseksi.

**Taulukko 10. Ajopäiväkirjan ja muiden lähtötietojen perusteella laskettuja arvoja Pirkanmaan case-alueelta.**

Määre		Arvo	Tarkenne/ perustelut
Siirtoajoa tyhjällä kuormalla (km), $s_e$	vallitseva menetelmä	20,2	Lähtöpisteen ja ensimmäisen keräyspisteen välinen etäisyys
	uusi menetelmä	109,3	1.kuormassa 20,2 km, 2.kuormassa 89,1 km
Siirtoajoa täydellä kuormalla (km), $s_f$	vallitseva menetelmä	60,4	Viimeisen keräyspisteen ja laitoksen välinen etäisyys
	uusi menetelmä	81,3	1. kuormassa 20,9 km, 2. kuormassa 60,4 km
Tyhjennysajoa (km), $t$	vallitseva menetelmä	81,7	Keräyspisteiden välisten etäisyyksien summa
	uusi menetelmä	129,3	Keräyspisteiden välisten etäisyyksien summa (mukana myös muita kuin casepisteitä)
Siirtoajoon kulunut aika (h)	vallitseva menetelmä	1,18	Siirtoajoon kulunut aika minuuteissa muunnettuna tunneiksi = $(21+50)/60$
	uusi menetelmä	2,63	Molempien kuormien siirtoajoon kulunut aika minuuteissa muunnettuna tunneiksi = $(21+14+75+48)/60$
Tyhjennysajoon kulunut aika (h)	vallitseva menetelmä	2,10	Tyhjennysajoon kulunut aika minuuteissa muunnettuna tunneiksi
	uusi menetelmä	3,75	
Siirtoajon keskinopeus (km/h)	vallitseva menetelmä	68	Siirtoajon kilometrit jaettuna siirtoajoon kuluneella ajalla (h)
	uusi menetelmä	72	
Tyhjennysajon keskinopeus (km/h)	vallitseva menetelmä	54	Tyhjennysajon kilometrit jaettuna tyhjennysajoon kuluneella ajalla (h)
	uusi menetelmä	34	
Astioiden tyhjentämiseen kulunut aika (h) = kokonaisjoutokäyntiaika $k$	vallitseva menetelmä	0,68	Tyhjennysaika minuuteissa muunnettuna tunneiksi
	uusi menetelmä	1,04	Tyhjennysaika minuuteissa muunnettuna tunneiksi (vain casepisteet)
jatkuu			

Määre		Arvo	Tarkenne/ perustelut
Yhden astian tyhjentämiseen kulunut aika (min)	vallitseva menetelmä (600 l:n astia)	0,7	Kokonaisjoutokäyntiajasta vähennetty pikakonttien tyhjentämiseen kulunut aika ja jaettu case-alueen 600 l:n astioiden kappalemäärällä.
	uusi menetelmä (Swedebbox)	5,3	Kokonaisjoutokäyntiaika jaettuna tyhjennettyjen astioiden lukumäärällä
Tyhjennystiheys (krt/vuosi), y	vallitseva menetelmä	26	Tieto perustuu tyhjennyksen hoitavan yrityksen ilmoitukseen
	uusi menetelmä	10,4	
Paperin kuutiopaino $t/m^3$		0,2	esim. Tanskanen 1996,35
Täyden kuorman suuruus (t)	vallitseva menetelmä	8,08	Punnittu laitoksella
	uusi menetelmä	5,72-7,22	1. kuorma 5,72t, 2. kuorma 7,22t (vähän ylikuormaa). Auton kantavuus 6t, mikä teoriassa myös täysi paperikuorma.
Uudessa keräysmenetelmässä casepisteiden paperikertymä	1. kuorma	2,52	Perustuu kuljettajan arvioon täyttöasteista (ks. liite 1b)
	2. kuorma	5,88	
Uudessa keräysmenetelmässä casepisteiden paperikertymän osuus kuormasta	1. kuorma	44 %	Perustuu kuljettajan täyttöarvioon sekä punnittuun kokonaiskuormaan (=2,52/5,72)
	2. kuorma	81 %	
Paperia keskimäärin 600 l:n astiassa (kg)		65	Vallitsevan menetelmän kokonaiskuormasta (8080 kg) vähennetty arvioitu pikakonttien paperimäärä (yht. 15 $m^3$ eli 3000 kg) ja jaettu erotus 600 litraisten astioiden lukumäärällä, joita yht. 78 kpl case alueen keräyspisteissä ja samaan kuormaan kerätyissä kiinteistökeräyspisteissä.
Kerätty paperikuorma case-alueen keräyspisteistä (t = 1000 kg) yhdeltä tyhjennyskierrokselta, h	vallitseva menetelmä	3,6	Kokonaispainosta (8,08 t) vähennetty laskennallinen kiinteistökeräyspisteiden osuus, joka perustuu kuljettajan arvioon sekä 600 l astioiden keskimääräiseen paperikertymään. (2vko:n kertymä).
	uusi menetelmä	8,4	Kuljettajan arvio (sis. molemmat kuormat) = 2,52+5,88. Kyseessä siis viiden viikon kertymä
Keskimääräinen kuorma (~puoli kuormaa) g (t)	vallitseva menetelmä	4,04	Jaettu yhden kierroksen paperikuorma kahdella = 8,08/2
	uusi menetelmä	2,86-3,61	1. kuorma = 5,72/2, 2. kuorma = 7,22/2
Paperikertymä vuodessa (t) H		97,24	Molempien aineistojen (1a ja 1b) perusteella lasketun vuosikertymän keskiarvo

Liite 2. Pääkaupunkiseudun ajopöytäkirja uudella keräysmenetelmällä 28.5.2008

Tyhjennyspiste	Maailkin biavuus m3	Täyttö- aste %	Paperia astissa m3	Paperia astissa kg	500 l:n astoiden määrä astiina	Tyhjennys- aika (min)	Ajoka seuraavalle pisteelle (min)	Etäisyys seuraavalle pisteelle (km)
Kokki 32 (BHO)							8	3,1
1. Tukkitie	3	50	1,5	306	1	5	9	4,8
2. Viljo Sohkasenkatu (1)	5	50	2,5	510	2	3,5	1	0,05
3. Viljo Sohkasenkatu (2)	3	75	2,25	459	1	3,5	2,5	0,7
4. Akanapolku	5	50	2,5	510	2	3	1	0,1
5. Tähtäkuja	5	50	2,5	510	2	3	6	3,5
6. Rasinkatu (1)	3	75	2,25	459	1	3	1,5	0,7
7. Rasinkatu (2)	5	75	3,75	765	2	3	8,5	4
8. Mäyräkuja	3	75	2,25	459	1	4,5	16,5	8
9. Unikkotie	1,3	75	0,98	200	1	3,5	7	2,4
10. Palovantjantie	3	75	2,25	459	1	4	2,5	0,8
11. Porvankuja	5	75	3,75	765	2	4,5	1,5	0,6
12. Kästytölaisentie	5	75	3,75	765	2	3	9	5
13. Tynelelänkuja	3	100	3	612	1	4,5	6	2,6
14. Raissintie	3	75	2,25	459	1	3,5	3	1,8
15. Savelantie	5	75	3,75	765	2	4,5	12	5,8
16. Alakiventie	3	50	1,5	306	1	4	2,5	1,1
17. Tuulimyllytie (1)	5	75	3,75	765	2	4	1	0,10
18. Tuulimyllytie (2)	5	75	3,75	765	2	4,5	4	1,2
19. Harakkamyllytie****	3	75	2,25	459	1	4	21	10,2
20. Klaavuntie (1)	5	75	3,75	765	2	3,5	1	0,04
21. Klaavuntie (2)	3	75	2,25	459	1	6	21	18
Hakurimontie 3 (uusi)								
Yhteensä	813		66,8	11520	31	82	144	74
Kesijarvo		70	2,7	549	1,5	3,9		

Ajopäiväkirjan tähtimerkintöjen selitykset:

\* Kuljettajan arvio

\*\* Keltaiset solut varmoja tietoja (henkilökohtainen tiedonanto J. Koivunen, Paperinkeräys Oy 30.5.2008). Muiden pisteiden astioiden lukumäärä arvioitu siten, että  $5 m^3$ :n syväkeräysastioiden tilalla ollut kaksi astiaa ja  $3 m^3$ :n tilalla yksi astia.

\*\*\* Ajo- ja tyhjennysajat mitattu puolen minuutin tarkkuudella yhden kierroksen aikana, kun käytössä ollut uusi keräysmenetelmä.

\*\*\*\* Pisteiden välinen etäisyys todellista ajoreittiä pitkin Google Maps-reittipalvelun mukaan.

\*\*\*\*\* Turha ajo Klaavuntielle Herttoniemen kautta, jossa tyhjä astia.

Ajopäiväkirjan ja muiden lähtötietojen perusteella on taulukkoon 11 laskettu sellaisia määreitä, joita tarvitaan joko päästöjä tai kustannuksia laskettaessa. Mikäli keräysmenetelmien tiedot poikkeavat toisistaan, on nämä erotettu omiin riveihinsä. Muutoin lasketut arvot ovat voimassa molemmissa menetelmissä. Taulukossa on myös esitetty tarkennuksia ja perusteluja käytettyihin laskentatapoihin. Määritettyjen arvojen taustalla olevat mahdolliset oletukset on myös kerrottu aineiston kelvollisuuden arvioinnin helpottamiseksi.

**Taulukko 11. Ajopäiväkirjan ja muiden lähtötietojen perusteella laskettuja arvoja pääkaupunkiseudun case-alueelta.**

Määre	Arvo	Tarkenne/ perustelut
Ajetut kilometrit yhteensä	74	Tyhjennyspisteiden välisten etäisyyksien ja siirtoajojen summa. Täsmää auton matkamittarin kanssa.
Siirtoajoa tyhjällä kuormalla (km), $s_e$	2,1	Lähtöpisteen ja ensimmäisen keräyspisteen välinen etäisyys
Siirtoajoa täydellä kuormalla (km), $s_f$	18	Viimeisen keräyspisteen ja laitoksen välinen etäisyys
Tyhjennysajoa (km), $t$	53,5	Keräyspisteiden välisten etäisyyksien summa
Siirtoajoon kulunut aika (h)	0,45	Siirtoajoon kulunut aika minuuteissa muunnettuna tunneiksi = $(6+21)/60$
Tyhjennysajoon kulunut aika (h)	1,9	Tyhjennysajoon kulunut aika minuuteissa muunnettuna tunneiksi

jatkuu

Määre		Arvo	Tarkenne/ perustelut
Siirtoajon keskinopeus (km/h)		45	Siirtoajon kilometrit jaettuna siirtoajoon kuluneella ajalla (h) = $(2,1+18)/0,45$
Tyhjennysajon keskinopeus (km/h)	uusi menetelmä	28	Tyhjennysajon kilometrit jaettuna tyhjennysajoon kuluneella ajalla (h)
	vallitseva menetelmä	20	Oletettu, että muiden keräyspisteiden tyhjennys samaan kuormaan aiheuttaa enemmän pysähdyksiä ja alentaa keskinopeutta
Astioiden tyhjentämiseen kulunut aika (h) = kokonaisjoutokäyntiaika $k$	uusi menetelmä	1,4	Tyhjennysaika minuuteissa muunnettu tunneiksi
	vallitseva menetelmä	0,36	Oletettu Pirkanmaan aineiston perusteella, että yhden 600 litran astian tyhjentämiseen kuluva aika on 0,7 min eli 0,0117 h. Tämä on kerrottu oletetulla astiamäärällä (31 kpl)
Tyhjennystiheys (krt/vuosi), $y$	uusi menetelmä	26	Tieto perustuu tyhjennyksen hoitavan kuljetusyrityksen ilmoitukseen
	vallitseva menetelmä	104	Oletus, joka perustuu vuosittaiseen paperikertymään (ks. alempana) ja 600-litraisten astioiden määrään
Kerätty paperikuorma case-alueen keräyspisteistä (t = 1000 kg) yhdeltä tyhjennyskierrokselta, $h$	uusi menetelmä	11,52	Kuorma punnittu keräyslaitoksella. Kyseessä siis kahden viikon paperikertymä.
	vallitseva menetelmä	2,9	Kahden viikon paperikertymä eli uuden keräysmenetelmän yhden tyhjennyskierroksen paperikuorma jaettu neljällä, koska vanhassa menetelmässä tyhjennys kahdesti viikossa.
Keskimääräinen kuorma (~puoli kuormaa) $g$ (t)	uusi menetelmä	5,76	Jaettu yhden kierroksen paperikuorma kahdella = $11,52/2$
	vallitseva menetelmä	3,5	Oletettu Pirkanmaan aineiston perusteella, että täysi kuorma on 7 t, joka on kerätty täyteen case-alueen keräyspisteiden lisäksi muista keräyspisteistä. Tällöin keskimääräinen kuorma = $7/2$
Paperikertymä vuodessa (t) $H$		300	Tyhjennyskierrokselta kerätty paperikuorma kerrottuna tyhjennystiheydellä vuodessa = $11,52*26$

jatkuu



<b>Määre</b>	<b>Arvo</b>	<b>Tarkenne/ perustelut</b>
Paperin kuutiopaino (t)	0,2	Kuorman paino jaettu astioiden täyttöasteisiin perustuvalla tilavuudella = $11,52/56,5$ . Lukema täsmää kirjallisuudessa esitetyn paperin kuutiopainon kanssa.
Keräyspisteiden keskimääräinen etäisyys (km)	2,5	Keräyspisteiden välisten etäisyyksien summa jaettuna keräyspisteiden määrällä



Nyt voidaan laskea varsinaiset kertoimet kokonaismassaltaan 26 t painavalle autolle lisäämällä 15 t:n jakeluauton päästökertoimeen laskettu päästöllisiä tonniin suhteessa (K. Mäkelä, henkilökohtainen tiedonanto 9.5.2008). Esimerkiksi hiilidioksidin päästökerroin tyhjälle kuormalle maantieajossa on saatu seuraavan laskutoimituksen tuloksena:  $485 + (11 \cdot 13,4) = 633$ . Arvojen marginaaliset heitot johtuvat siitä, että Excel-taulukoissa on näkyvissä pyöristetyt lukuarvot, vaikka laskuissa on käytetty tarkkoja arvoja. Pakkaavan jäteauton ja nosturi/lava-auton ollessa kokonaismassaltaan samat, ovat myös päästökertoimet samansuuruiset.

		Jäteauto 26 t ja Nosturi/lava-auto 26 t	
		Maantieajo 81-83 km/h	Katuajo 20-25 km/h
Kok.massa (t)	Kuorma	26	26
CO <sub>2</sub> (g/km)	tyhjä	633	840
	täysi	824	1239
NO <sub>x</sub> (g/km)	tyhjä	4,0	5,0
	täysi	5,3	7,6
PM (g/km)	tyhjä	0,06	0,18
	täysi	0,08	0,19
Diesel (g/km)	tyhjä	201	267
	täysi	262	393

Kun maantie- ja katuajon kertoimet on 26 t:n autolle laskettu, voidaan selvittää suuntaa antavat kertoimet myös muille nopeuksille tältä väliltä. Edellä olevasta taulukosta huomataan, että päästöt kasvavat mitä hitaammin ajetaan. Tämä johtuu siitä, että katuajossa on enemmän kiihdytyksiä ja jarrutuksia verrattuna maantieajoon. Täten kertoimen on ajateltu pienenevän samassa suhteessa keskinopeuden kasvun kanssa välillä 22,5 km/h...82 km/h. Lukuarvot 82 km/h ja 22,5 km/h ovat keskiarvoja jakeluauton ja puoliperävaunun maantie- ja katuajonopeuksista.

		Jäteauto 26t ja Nosturi/lava-auto 26t		Erotus keskimäärin	g/lisääntynyt nopeus km/h
		Maantieajo ~82 km/h	Katuajo ~22,5 km/h		
Päästö	Kuorma			59,5	
CO <sub>2</sub> (g/km)	tyhjä	633	840	-207	-3,5
	täysi	824	1239	-415	-7,0
NO <sub>x</sub> (g/km)	tyhjä	4,0	5,0	-1,0	-0,02
	täysi	5,3	7,6	-2,2	-0,04
PM (g/km)	tyhjä	0,06	0,18	-0,12	-0,002
	täysi	0,08	0,19	-0,11	-0,002
Diesel (g/km)	tyhjä	201	267	-66	-1,1
	täysi	262	393	-131	-2,2

Lisäämällä negatiivinen \*päästölisä\* katuajon päästökertoimeen nopeuden suhteessa, voidaan määrittää laskennalliset kertoimet eri keskinopeuksille. On hyvä huomioida, että kertoimet ovat ohjeellisia ja laskennallisin keinoin tuotettuja.

Jäteauto 26t ja Nosturilava-auto 26t								
Päästö	Kuorma	Katuajo ~22,5 km/h	~30 km/h	~40 km/h	~50 km/h	~60 km/h	~70 km/h	Maantieajo ~82 km/h
CO2 (g/km)	tyhjä	840	814	779	744	709	675	633
	täysi	1239	1186	1117	1047	977	907	824
NOx (g/km)	tyhjä	5,0	4,9	4,7	4,6	4,4	4,2	4,0
	täysi	7,6	7,3	6,9	6,5	6,2	5,8	5,3
PM (g/km)	tyhjä	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06
	täysi	0,19	0,17	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08
Diesel (g/km)	tyhjä	267	259	247	236	225	214	201
	täysi	393	377	355	333	310	288	262

Päästökerroin voidaan laskea eri keskinopeuksille myös muodossa g/l, kun tiedetään diesel-polttoaineen tiheys (845 g/l) ja ajoneuvokohtainen polttoaineen kulutus muodossa g/km. Jaetaan siis päästökerroin g/km dieselin kulutuskertoimella, jolloin saadaan tulokseksi päästö (g) per kulunut dieselgramma. Kun tämä luku kerrotaan dieselin tiheydellä 845 g/l (Lipasto 2006), saadaan tulokseksi päästöt (g) per kulunut diesellitra.

Jäteauto 26t ja Nosturilava-auto 26t									
Päästö g/l	Kuorma	Katuajo 22,5 km/h	~30 km/h	~40 km/h	~50 km/h	~60 km/h	~70 km/h	Maantieajo ~82 km/h	Keskiarvo
CO2	tyhjä	2660	2660	2660	2660	2660	2660	2659	2660
	täysi	2663	2662	2661	2660	2659	2658	2656	2656
NOx	tyhjä	15,9	16,0	16,1	16,3	16,4	16,6	16,8	16,5
	täysi	16,3	16,4	16,5	16,6	16,8	17,0	17,2	16,5
PM	tyhjä	0,57	0,54	0,49	0,44	0,39	0,33	0,26	0,39
	täysi	0,41	0,39	0,37	0,35	0,32	0,29	0,24	0,39

## Liite 4. Päästöjen ja kustannusten laskenta Pirkanmaan aluekeräysjärjestelmässä

### A) Yleinen keräysmenetelmä

a) Siirtoajon päästöt (grammaa), kaava 4:  $S_{i,o} = (s_e \cdot a_{i,e}) + (s_f \cdot a_{i,f})$

Tarvittavat lähtötiedot, eli siirtoajon ajatut kilometrit tyhjällä ja täydellä kuormalla saadaan liitteestä 1a:

$$s_e = 20,2$$

$$s_f = 60,4$$

Siirtoajon keskinopeus aineiston perusteella 68 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia (g/km) 70 km/h keskinopeudelle.

$$a_e(CO_2) = 675$$

$$a_f(CO_2) = 907$$

$$a_e(NO_x) = 4,2$$

$$a_f(NO_x) = 5,8$$

$$a_e(PM) = 0,08$$

$$a_f(PM) = 0,10$$

Case-alueen eli aluekeräyspisteiden paperikertymän (ks. liite 1a) osuus kokonaiskuormasta on  $(4,107/8,08) \cdot 100\% \approx 51\%$ , mikä on samalla case-alueen osuus siirtoajon päästöistä.

$$S(CO_2)_o = (4,107/8,08) \cdot ((20,2 \cdot 675) + (60,4 \cdot 907)) = 34776$$

$$S(NO_x)_o = (4,107/8,08) \cdot ((20,2 \cdot 4,2) + (60,4 \cdot 5,8)) = 221$$

$$S(PM)_o = (4,107/8,08) \cdot ((20,2 \cdot 0,08) + (60,4 \cdot 0,10)) = 3,9$$

b) Tyhjennysajon päästöt (grammaa), kaava 5:  $T_{i,o} = t \cdot b_{i,g}$ ,

$$\text{missä } b_{i,g} = \left[ b_{i,e} + \frac{b_{i,f} - b_{i,e}}{l} \cdot g \right] \text{ (kaava 6).}$$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennysajoon kuluneet kilometrit  $t$  ja puolen kuorman suuruus  $g$  saadaan liitteen 1 taulukosta 10. Auton kantavuus  $l$  saadaan taulukosta 4:

$$t = 81,7$$

$$l = 11$$

$$g = 4,04$$

Tyhjennysajon keskinopeus on 54 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia (g/km) 50 km/h keskinopeudelle.

$$b_e(CO_2) = 744$$

$$b_f(CO_2) = 1047$$

$$b_e(NO_x) = 4,6$$

$$b_f(NO_x) = 6,5$$

$$b_e(PM) = 0,12$$

$$b_f(PM) = 0,14$$

$$T(CO_2)_o = 81,7 \cdot \left[ 744 + \frac{1047 - 744}{11} \cdot 4,04 \right] = 69877$$

$$T(NO_x)_o = 81,7 \cdot \left[ 4,6 + \frac{6,5 - 4,6}{11} \cdot 4,04 \right] = 433$$

$$T(PM)_o = 81,7 \cdot \left[ 0,12 + \frac{0,14 - 0,12}{11} \cdot 4,04 \right] = 10,4$$

c) Joutokäynnin päästöt (grammaa), kaava 7a:  $K_{i,o} = ((z \cdot 1/3k) + (w \cdot 2/3k)) \cdot c_i$

Tarvittavat lähtötiedot, eli auton joutokäynti- ja tyøjoutokäyntikulutukset  $z$  ja  $w$  (l/h) saadaan taulukosta 4. Tyhjennykseen kulunut kokonaisaika  $k$  saadaan taulukosta 10:

$$z = 3$$

$$w = 5$$

$$k = 41/60 \approx 0,68$$

Päästökertoimet muodossa g/l ovat likimain samansuuruiset kuorman suuruudesta ja keskinopeudesta huolimatta (ks. liite 3). Laskuissa käytetään kertoimien keskiarvoja.

$$c(CO_2) = 2660$$

$$c(NO_x) = 16,5$$

$$c(PM) = 0,39$$

$$K(CO_2)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot (41/60)) + (5 \cdot 2/3 \cdot (41/60))) \cdot 2660 = 7877$$

$$K(NO_x)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot (41/60)) + (5 \cdot 2/3 \cdot (41/60))) \cdot 16,5 = 48,9$$

$$K(PM)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot (41/60)) + (5 \cdot 2/3 \cdot (41/60))) \cdot 0,39 = 1,15$$

d) Yhden tyhjennyskierroksen kokonaispäästöt (grammaa), kaava 8:

$$J_{i,o} = S_{i,o} + T_{i,o} + K_{i,o}$$

$$J(CO_2)_o = 34776 + 69877 + 7877 = 112529$$

$$J(NO_x)_o = 221 + 433 + 49 = 703$$

$$J(PM)_o = 3,9 + 10,4 + 1,15 = 15,45$$

Kun tiedetään yhden kierroksen kokonaispäästöt, voidaan laskea siirto- ja tyhjennysajon sekä joutokäynnin osuudet kokonaispäästöistä jokaisen päästökomponentin osalta:

$CO_2$  :

$$\text{Siirtoaajon osuus} = \frac{S(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{34776}{112529} \cdot 100 = 31\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(\text{CO}_2)_o}{J(\text{CO}_2)_o} \cdot 100 = \frac{69877}{112529} \cdot 100 = 62\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(\text{CO}_2)_o}{J(\text{CO}_2)_o} \cdot 100 = \frac{7877}{112529} \cdot 100 = 7\%$$

$\text{NO}_x$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(\text{NO}_x)_o}{J(\text{NO}_x)_o} \cdot 100 = \frac{221}{703} \cdot 100 = 31\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(\text{NO}_x)_o}{J(\text{NO}_x)_o} \cdot 100 = \frac{433}{703} \cdot 100 = 62\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(\text{NO}_x)_o}{J(\text{NO}_x)_o} \cdot 100 = \frac{49}{703} \cdot 100 = 7\%$$

$\text{PM}$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(\text{PM})_o}{J(\text{PM})_o} \cdot 100 = \frac{3,9}{15,45} \cdot 100 = 25\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(\text{PM})_o}{J(\text{PM})_o} \cdot 100 = \frac{10,4}{15,45} \cdot 100 = 67\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(\text{PM})_o}{J(\text{PM})_o} \cdot 100 = \frac{1,15}{15,45} \cdot 100 = 7\%$$

e) Kokonaispäästöt vuodessa (grammaa), kaava 9:  $P_{i,o} = J_{i,o} \cdot y_o$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennyskertojen määrä vuodessa saadaan taulukosta 10:

$$y_o = 26$$



Käytetään laskuissa  $J_{i,o}$ :n tarkempia arvoja pyöristysvirheiden välttämiseksi.

$$P(CO_2)_o = 112529,45 \cdot 26 = 2925766$$

$$P(NO_x)_o = 702,88 \cdot 26 = 18275$$

$$P(PM)_o = 15,45 \cdot 26 = 402$$

Mikäli halutaan erotella vuosittaisista kokonaispäästöistä siirtoajon, tyhjennysajon ja joutokäynnin aiheuttamat vuotuiset päästöt (g), saadaan tämä tieto selville käyttämällä jo kohdassa d laskettuja prosenttiosuuksia, eli:

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,31 = 906987$$

$$\text{Siirtoajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,31 = 5665$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,25 = 101$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,62 = 1813975$$

$$\text{Tyhjennysajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,62 = 11331$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,67 = 269$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,07 = 204804$$

$$\text{Joutokäynnin vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,07 = 1279$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,07 = 28$$

f) Kokonaispäästöt tonnia kohden (grammaa/t), kaava 10a:  $E_{i,o} = \frac{P_{i,o}}{H}$

Tarvittavat lähtötiedot, eli case-alueen vuotuinen paperikertymä saadaan taulukosta 10.

$$H = 97,24$$

$$E(CO_2)_o = \frac{2925766}{97,24} = 30088$$

$$E(NO_x)_o = \frac{18275}{97,24} = 188$$

$$E(PM)_o = \frac{402}{97,24} = 4,1$$

h) Tyhjennyskierroksen kustannukset case-alueen osalta (euroa), kaava 11:

$$U(\text{tonniperusteinen})_o = C_o \cdot h_o$$

Tarvittava lähtötieto, eli tonnikohtainen kustannus on peräisin Paperinkeräys Oy:ltä ja tyhjennyskierroksen tonnipaino  $h_o$  liitteestä 1a:

$$C_o = XX$$

$$h_o = 4,107$$

$$U_o = XX \cdot 4,107 = XXX$$

i) Kustannukset vuodessa case-alueen osalta (euroa), kaava 13:  $G_o = C_o \cdot H$

$$G_o = XX \cdot 97,24 = XXXX$$

## B) Uusi keräysmenetelmä

a) Siirtoajon päästöt (grammaa), kaava 4:  $S_{i,n} = (s_e \cdot a_{i,e}) + (s_f \cdot a_{i,f})$

Tarvittavat lähtötiedot, eli siirtoajon ajettut kilometrit tyhjällä ja täydellä kuormalla saadaan liitteestä 1b sekä casepisteiden paperimäärä taulukosta 10.. Siirtoajoa syntyi yhteensä kahden kuorman keräämisestä. Ensimmäisessä kuormassa casepisteiden osuus siirtoajon päästöistä on sama kuin casepisteiden paperimäärän suhde kokonaiskuormaan eli  $2,52/5,72 \cdot 100 \% = 44 \%$ . Toisessa kuormassa vastaava osuus on  $5,88/7,22 \cdot 100 \% = 81 \%$ .

1. kuorma:

$$s_e = 20,2$$

$$s_f = 20,9$$

2. kuorma:

$$s_e = 89,1$$

$$s_f = 60,4$$

Siirtoajon keskinopeus aineiston perusteella 72 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia (g/km) 70 km/h keskinopeudelle.

$$a_e(CO_2) = 675$$

$$a_f(CO_2) = 907$$

$$a_e(NO_x) = 4,2$$

$$a_f(NO_x) = 5,8$$

$$a_e(PM) = 0,08$$

$$a_f(PM) = 0,10$$

$$S(CO_2)_n = (2,52/5,72) \cdot ((20,2 \cdot 675) + (20,9 \cdot 907)) + (5,88/7,22) \cdot ((89,1 \cdot 675) + (60,4 \cdot 907)) \\ = 113865$$

$$S(NO_x)_n = (2,52/5,72) \cdot ((20,2 \cdot 4,2) + (20,9 \cdot 5,8)) + (5,88/7,22) \cdot ((89,1 \cdot 4,2) + (60,4 \cdot 5,8)) \\ = 715$$

$$S(PM)_n = (2,52/5,72) \cdot ((20,2 \cdot 0,08) + (20,9 \cdot 0,10)) + (5,88/7,22) \cdot ((89,1 \cdot 0,08) + (60,4 \cdot 0,10)) \\ = 14,8$$

b) Tyhjennysajon päästöt (grammaa), kaava 5:  $T_{i,n} = t \cdot b_{i,g}$ ,

$$\text{missä } b_{i,g} = \left[ b_{i,e} + \frac{b_{i,f} - b_{i,e}}{l} \cdot g \right] \text{ (kaava 6).}$$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennysajoon kuluneet kilometrit  $t$  ja puolen kuorman suuruus  $g$  saadaan liitteen 1 taulukosta 10. Auton kantavuus  $l$  saadaan taulukosta 4. Osuudet tyhjennysajon päästöistä ovat samat kuin siirtoajossakin, eli ensimmäisessä kuormassa 44 % ja toisessa 81 %.

1. kuorma:

$$t = 74,1$$

$$l = 6$$

$$g = 2,86$$

2. kuorma:

$$t = 55,2$$

$$l = 6$$

$$g = 3,61$$

Tyhjennysajon keskinopeus on 30 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia (g/km) 30 km/h keskinopeudelle.

$$b_e(CO_2) = 814$$

$$b_f(CO_2) = 1186$$

$$b_e(NO_x) = 4,9$$

$$b_f(NO_x) = 7,3$$

$$b_e(PM) = 0,16$$

$$b_f(PM) = 0,17$$

$$T(CO_2)_n = (2,52/5,72) \cdot 74,1 \cdot \left[ 814 + \frac{1186 - 814}{6} \cdot 2,86 \right] \\ + (5,88/7,22) \cdot 55,2 \cdot \left[ 814 + \frac{1186 - 814}{6} \cdot 3,61 \right] = 79017$$

$$T(NO_x)_n = (2,52/5,72) \cdot 74,1 \cdot \left[ 4,9 + \frac{7,3 - 4,9}{6} \cdot 2,86 \right] \\ + (5,88/7,22) \cdot 55,2 \cdot \left[ 4,9 + \frac{7,3 - 4,9}{6} \cdot 3,61 \right] = 483$$

$$T(PM)_n = (2,52/5,72) \cdot 71,4 \cdot \left[ 0,16 + \frac{0,17 - 0,16}{6} \cdot 2,86 \right] \\ + (5,88/7,22) \cdot 55,2 \cdot \left[ 0,16 + \frac{0,17 - 0,16}{6} \cdot 3,61 \right] = 13$$

c) Joutokäynnin päästöt (grammaa), kaava 7b:  $K_{i,n} = ((z \cdot 1/4k) + (w \cdot 3/4k)) \cdot c_i$

Tarvittavat lähtötiedot, eli auton joutokäynti- ja työjoutokäyntikulutukset  $z$  ja  $w$  (l/h) saadaan taulukosta 4. Casepisteiden tyhjennykseen kulunut kokonaisaika  $k$  (tuntia) saadaan taulukosta 10:

$$z = 3$$

$$w = 8$$

$$k = 1,04$$

Päästökertoimet muodossa g/l ovat likimain samansuuruiset kuorman suuruudesta ja keskinopeudesta huolimatta (ks. liite 3). Laskuissa käytetään kertoimien keskiarvoja.

$$c(CO_2) = 2660$$

$$c(NO_x) = 16,5$$

$$c(PM) = 0,39$$

$$K(CO_2)_n = ((3 \cdot 1/4 \cdot 1,04) + (8 \cdot 3/4 \cdot 1,04)) \cdot 2660 = 18673$$

$$K(NO_x)_n = ((3 \cdot 1/4 \cdot 1,04) + (5 \cdot 3/4 \cdot 1,04)) \cdot 16,5 = 116$$

$$K(PM)_n = ((3 \cdot 1/4 \cdot 1,04) + (5 \cdot 3/4 \cdot 1,04)) \cdot 0,39 = 2,74$$

d) Yhden tyhjennyskierron kokonaispäästöt (grammaa), kaava 8:

$$J_{i,n} = S_{i,n} + T_{i,n} + K_{i,n}$$

$$J(CO_2)_n = 113865 + 79017 + 18673 = 211555$$

$$J(NO_x)_n = 715 + 483 + 116 = 1313$$

$$J(PM)_n = 14,8 + 13 + 2,74 = 30,5$$

Kun tiedetään yhden kierroksen kokonaispäästöt, voidaan laskea siirto- ja tyhjennysajon sekä joutokäynnin osuudet kokonaispäästöistä jokaisen päästökomponentin osalta:

$CO_2$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(CO_2)_n}{J(CO_2)_n} \cdot 100 = \frac{113865}{211555} \cdot 100 = 54\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{79017}{211555} \cdot 100 = 37\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{18673}{211555} \cdot 100 = 9\%$$

$NO_x$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{715}{1313} \cdot 100 = 54\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{483}{1313} \cdot 100 = 37\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{116}{1313} \cdot 100 = 9\%$$

$PM$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{14,8}{30,5} \cdot 100 = 49\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{13}{30,5} \cdot 100 = 42\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{2,72}{30,5} \cdot 100 = 9\%$$

e) Kokonaispäästöt vuodessa (grammaa), kaava 9:  $P_{i,n} = J_{i,n} \cdot y_n$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennyskertojen määrä vuodessa saadaan taulukosta 10:

$$y_n = 10,4$$

Käytetään laskuissa  $J_{i,n}$  :n tarkempia arvoja pyöristysvirheiden välttämiseksi.

$$P(CO_2)_n = 211555,2 \cdot 10,4 = 2200174$$

$$P(NO_x)_n = 1313,4 \cdot 10,4 = 13659$$

$$P(PM)_n = 30,37 \cdot 10,4 = 316$$

Mikäli halutaan erotella vuosittaisista kokonaispäästöistä siirtoajon, tyhjennysajon ja joutokäynnin aiheuttamat vuotuiset päästöt (g), saadaan tämä tieto selville käyttämällä jo kohdassa d laskettuja prosentiosuuksia, eli:

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,54 = 1188094$$

$$\text{Siirtoajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,54 = 7376$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,49 = 155$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,37 = 814064$$

$$\text{Tyhjennysajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,37 = 5054$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,42 = 133$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,09 = 198016$$

$$\text{Joutokäynnin vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,09 = 1229$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,09 = 28$$

f) Kokonaispäästöt tonnia kohden (grammaa/t), kaava 10a:  $E_{i,n} = \frac{P_{i,n}}{H}$

Tarvittavat lähtötiedot, eli case-alueen vuotuinen paperikertymä saadaan taulukosta 10.

$$H = 97,24$$

$$E(CO_2)_n = \frac{2200174}{97,24} = 22626$$

$$E(NO_x)_n = \frac{13659}{97,24} = 140$$

$$E(PM)_o = \frac{316}{97,24} = 3,2$$

h) Tyhjennyskierroksen kustannukset case-alueen osalta (euroa), kaava 12:

$$U(\text{nostoperusteinen})_n = p_n \cdot m_n$$

Tarvittavat lähtötiedot, eli kustannus/nosto on peräisin Paperinkeräys Oy:ltä ja tyhjennyskierroksen nostojen määrä  $m_n$  liitteestä 1b:

$$m_n = 16$$

$$p_n = XX$$

$$U_n = XX \cdot 16 = XXX$$

i) Kustannukset vuodessa case-alueen osalta (euroa), kaava 13:  $G_n = U_n \cdot y_n$

$$G_n = XXX \cdot 10,4 = XXXX$$

j) Tämän perusteella voidaan laskea tonnikohtainen kustannus, kaava 14:

$$C(\text{nostoperusteinen})_n = G_n / H$$



$$C_n = \text{XXXX} / 97,24 = X$$

### C) Tulosten yhteenveto

Vuosittaiset päästöt ja kustannukset		o = yleinen menetelmä	n = uusi menetelmä	vertailu
Siirtoajo (g) $S_i$	$CO_2$	906987	1188094	$S_n > S_o$
	$NO_x$	5665	7376	$S_n > S_o$
	$PM$	101	155	$S_n > S_o$
Tyhjennysajo (g) $T_i$	$CO_2$	1813975	814064	$T_n < T_o$
	$NO_x$	11331	5054	$T_n < T_o$
	$PM$	269	133	$T_n < T_o$
Joutokäynti (g) $K_i$	$CO_2$	204804	198016	$K_n < K_o$
	$NO_x$	1279	1229	$K_n < K_o$
	$PM$	28	28	$K_n = K_o$
Kokonaispäästöt (g) $P_i$	$CO_2$	2925766	2200174	$P_n < P_o$
	$NO_x$	18275	13659	$P_n < P_o$
	$PM$	402	316	$P_n < P_o$
Kokonaispäästöt tonnia kohden (g/t) $E_i$	$CO_2$	30088	22626	$E_n < E_o$
	$NO_x$	188	140	$E_n < E_o$
	$PM$	4,1	3,2	$E_n < E_o$
Kustannukset (€) $G$		XXXX	XXXX	$G_n < G_o$
Kustannukset tonnia kohden (€/t) $C$		XX	XX	$C_n < C_o$

## Liite 5. Päästöjen ja kustannusten laskenta pääkaupunkiseudun kiinteistökeräysjärjestelmässä

### A) Uusi keräysmenetelmä

a) Siirtoajon päästöt (grammaa), kaava 4:  $S_{i,n} = (s_e \cdot a_{i,e}) + (s_f \cdot a_{i,f})$

Tarvittavat lähtötiedot, eli siirtoajon ajettut kilometrit tyhjällä ja täydellä kuormalla saadaan liitteestä 2:

$$s_e = 2,1$$

$$s_f = 18$$

Siirtoajon keskinopeus aineiston perusteella 45 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia 50 km/h keskinopeudelle.

$$a_e(CO_2) = 744$$

$$a_f(CO_2) = 1047$$

$$a_e(NO_x) = 4,6$$

$$a_f(NO_x) = 6,5$$

$$a_e(PM) = 0,12$$

$$a_f(PM) = 0,14$$

$$S(CO_2)_n = (2,1 \cdot 744) + (18 \cdot 1047) = 20408$$

$$S(NO_x)_n = (2,1 \cdot 4,6) + (18 \cdot 6,5) = 127$$

$$S(PM)_n = (2,1 \cdot 0,12) + (18 \cdot 0,14) = 2,8$$

b) Tyhjennysajon päästöt (grammaa), kaava 5:  $T_{i,n} = t \cdot b_{i,g}$ ,

missä  $b_{i,g} = \left[ b_{i,e} + \frac{b_{i,f} - b_{i,e}}{l} \cdot g \right]$  (kaava 6).

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennysajoon kuluneet kilometrit  $t$  ja puolen kuorman suuruus  $g$  saadaan liitteen 2 taulukosta 11. Auton kantavuus  $l$  saadaan taulukosta 7:

$$t = 53,5$$

$$l = 12$$

$$g = 5,76$$

Tyhjennysajon keskinopeus on aineiston perusteella 28 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia 30 km/h keskinopeudelle.

$$b_e(CO_2) = 814$$

$$b_f(CO_2) = 1186$$

$$b_e(NO_x) = 4,9$$

$$b_f(NO_x) = 7,3$$

$$b_e(PM) = 0,16$$

$$b_f(PM) = 0,18$$

$$T(CO_2)_n = 53,5 \cdot \left[ 814 + \frac{1186 - 814}{12} \cdot 5,76 \right] = 53102$$

$$T(NO_x)_n = 53,5 \cdot \left[ 4,9 + \frac{7,3 - 4,9}{12} \cdot 5,76 \right] = 324$$

$$T(PM)_n = 53,5 \cdot \left[ 0,16 + \frac{0,18 - 0,16}{12} \cdot 5,76 \right] = 9,1$$

c) Joutokäynnin päästöt (grammaa), kaava 7b:  $K_{i,n} = ((z \cdot 1/4k) + (w \cdot 3/4k)) \cdot c_i$

Tarvittavat lähtötiedot, eli auton joutokäynti- ja tyøjoutokäyntikulutukset  $z$  ja  $w$  (l/h) saadaan taulukosta 7. Tyhjennykseen kulunut kokonaisaika  $k$  saadaan taulukosta 11:

$$z = 3$$

$$w = 8$$

$$k = 1,4$$

Päästökertoimet muodossa g/l ovat likimain samansuuruiset kuorman suuruudesta ja keskinopeudesta huolimatta. Laskuissa käytetään kertoimien keskiarvoja.

$$c(\text{CO}_2) = 2660$$

$$c(\text{NO}_x) = 16,5$$

$$c(\text{PM}) = 0,39$$

$$K(\text{CO}_2)_n = ((3 \cdot 1 / 4 \cdot 1,4) + (8 \cdot 3 / 4 \cdot 1,4)) \cdot 2660 = 25137$$

$$K(\text{NO}_x)_n = ((3 \cdot 1 / 4 \cdot 1,4) + (8 \cdot 3 / 4 \cdot 1,4)) \cdot 16,5 = 156$$

$$K(\text{PM})_n = ((3 \cdot 1 / 4 \cdot 1,4) + (8 \cdot 3 / 4 \cdot 1,4)) \cdot 0,39 = 3,7$$

d) Yhden tyhjennyskierroksen kokonaispäästöt (grammaa), kaava 8:

$$J_{i,n} = S_{i,n} + T_{i,n} + K_{i,n}$$

$$J(\text{CO}_2)_n = 20408 + 53102 + 25137 = 98647$$

$$J(\text{NO}_x)_n = 127 + 324 + 156 = 607$$

$$J(\text{PM})_n = 2,8 + 9,1 + 3,7 = 15,6$$

Kun tiedetään yhden kierroksen kokonaispäästöt, voidaan laskea siirto- ja tyhjennysajon sekä joutokäynnin osuudet kokonaispäästöistä jokaisen päästökomponentin osalta:

$\text{CO}_2$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} = \frac{S(\text{CO}_2)_n}{J(\text{CO}_2)_n} \cdot 100 = \frac{20408}{98647} \cdot 100 = 21\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} = \frac{T(\text{CO}_2)_n}{J(\text{CO}_2)_n} \cdot 100 = \frac{53102}{98647} \cdot 100 = 54\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(CO_2)_n}{J(CO_2)_n} \cdot 100 = \frac{25137}{98647} \cdot 100 = 25\%$$

$NO_x$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{127}{607} \cdot 100 = 21\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{324}{607} \cdot 100 = 53\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(NO_x)_n}{J(NO_x)_n} \cdot 100 = \frac{156}{607} \cdot 100 = 26\%$$

$PM$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{2,8}{15,6} \cdot 100 = 18\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{9,1}{15,6} \cdot 100 = 58\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(PM)_n}{J(PM)_n} \cdot 100 = \frac{3,7}{15,6} \cdot 100 = 24\%$$

e) Kokonaispäästöt vuodessa (grammaa), kaava 9:  $P_{i,n} = J_{i,n} \cdot y_n$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennyskertojen määrä vuodessa saadaan taulukosta 11:

$$y_n = 26$$

Käytetään laskuissa  $J_{i,n}$  :n tarkempia arvoja pyöristysvirheiden välttämiseksi.

$$P(CO_2)_n = 98647,360 \cdot 26 = 2564831$$

$$P(NO_x)_n = 606,089 \cdot 26 = 15758$$

$$P(PM)_n = 15,514 \cdot 26 = 403$$

Mikäli halutaan erotella vuosittaisista kokonaispäästöistä siirtoajon, tyhjennysajon ja joutokäynnin aiheuttamat vuotuiset päästöt (g), saadaan tämä tieto selville käyttämällä jo kohdassa d laskettuja prosenttiosuuksia, eli:

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,21 = 538615$$

$$\text{Siirtoajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,21 = 3309$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,18 = 72,5$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,54 = 1385009$$

$$\text{Tyhjennysajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,53 = 8352$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,58 = 233,7$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,25 = 641208$$

$$\text{Joutokäynnin vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,26 = 4097$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,24 = 96,7$$

f) Kokonaispäästöt tonnia kohden (grammaa/t), kaava 10a:  $E_{i,n} = \frac{P_{i,n}}{H}$ ,

missä  $H = h_n \cdot y_n$

Tarvittavat lähtötiedot, eli yhden tyhjennyskierroksen paperikertymän määrä saadaan liitteestä 2:

$$h_n = 11,52$$

$$E(CO_2)_n = \frac{2564831}{11,52 \cdot 26} = 8563$$

$$E(NO_x)_n = \frac{15758}{11,52 \cdot 26} = 53$$

$$E(PM)_n = \frac{403}{11,52 \cdot 26} = 1,3$$

h) Tyhjennyskierroksen kustannukset (euroa), kaava 11:  $U(\text{tonniperusteinen}) = C_n \cdot h_n$

Tarvittava lähtötieto, eli tonnikohtainen kustannus saadaan Paperinkeräys Oy:ltä:

$$C_n = XX$$

$$U_n = XX \cdot 11,52 = XXX$$

i) Kustannukset vuodessa (euroa), kaava 13:  $G_n = U_n \cdot y_n$

$$G_n = XXX \cdot 26 = XXXXXX$$

## B) Yleinen keräysmenetelmä

a) Siirtoajon päästöt (grammaa), kaava 4:  $S_{i,o} = (s_e \cdot a_{i,e}) + (s_f \cdot a_{i,f})$

Tarvittavat lähtötiedot, eli siirtoajon ajettut kilometrit tyhjällä ja täydellä kuormalla saadaan liitteestä 2:

$$s_e = 2,1$$

$$s_f = 18$$

Siirtoajon keskinopeus aineiston perusteella 45 km/h, joten käytetään liitteen 3 päästökertoimia 50 km/h keskinopeudelle.

$$a_e(CO_2) = 744$$

$$a_f(CO_2) = 1047$$

$$a_e(NO_x) = 4,6$$

$$a_f(NO_x) = 6,5$$

$$a_e(PM) = 0,12$$

$$a_f(PM) = 0,14$$

Oletettiin, että case-alueen keräyspisteiden paperikertymän osuus kokonaiskuormasta on  $(2,88/7) * 100\% \approx 41\%$ , koska yleisellä keräysmenetelmällä ei saada täyttä kuormaa kokoon. Tällöin

$$S(CO_2)_o = (2,88/7) \cdot ((2,1 \cdot 744) + (18 \cdot 1047)) = 8397$$

$$S(NO_x)_o = (2,88/7) \cdot ((2,1 \cdot 4,6) + (18 \cdot 6,5)) = 52$$

$$S(PM)_o = (2,88/7) \cdot ((2,1 \cdot 0,12) + (18 \cdot 0,14)) = 1,1$$

b) Tyhjennysajon päästöt (grammaa), kaava 5:  $T_{i,o} = t \cdot b_{i,g}$ ,

$$\text{missä } b_{i,g} = \left[ b_{i,e} + \frac{b_{i,f} - b_{i,e}}{l} \cdot g \right] \text{ (kaava 6).}$$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennysajoon kuluneet kilometrit  $t$  ja puolen kuorman suuruus  $g$  saadaan liitteen 2 taulukosta 11. Auton kantavuus  $l$  saadaan taulukosta 7:

$$t = 53,5$$

$$l = 14$$

$$g = 3,5$$

Tyhjennysajon keskinopeudeksi oletettiin 20 km/h, joten käytetään liitteen 3 katuajon (22,5 km/h) päästökertoimia.



$$b_e(CO_2) = 840$$

$$b_f(CO_2) = 1239$$

$$b_e(NO_x) = 5,0$$

$$b_f(NO_x) = 7,6$$

$$b_e(PM) = 0,18$$

$$b_f(PM) = 0,19$$

Lisäksi oletettiin, että case-alueen osuus tyhjennysajon päästöistä on 41 %, joten

$$T(CO_2)_o = (2,88/7) \cdot 53,5 \cdot \left[ 840 + \frac{1239 - 840}{14} \cdot 3,5 \right] = 20685$$

$$T(NO_x)_o = (2,88/7) \cdot 53,5 \cdot \left[ 5,0 + \frac{7,6 - 5,0}{14} \cdot 3,5 \right] = 125$$

$$T(PM)_o = (2,88/7) \cdot 53,5 \cdot \left[ 0,18 + \frac{0,19 - 0,18}{14} \cdot 3,5 \right] = 4,0$$

c) Joutokäynnin päästöt (grammaa), kaava 7a:  $K_{i,o} = ((z \cdot 1/3k) + (w \cdot 2/3k)) \cdot c_i$

Tarvittavat lähtötiedot, eli auton joutokäynti- ja työjoutokäyntikulutukset  $z$  ja  $w$  (l/h) saadaan taulukosta 7. Tyhjennykseen kulunut kokonaisaika  $k$  saadaan taulukosta 11:

$$z = 3$$

$$w = 5$$

$$k = 0,36$$

Päästökertoimet muodossa g/l ovat likimain samansuuruiset kuorman suuruudesta ja keskinopeudesta huolimatta (ks. liite 3). Laskuissa käytetään kertoimien keskiarvoja.

$$c(CO_2) = 2660$$

$$c(NO_x) = 16,5$$

$$c(PM) = 0,39$$

$$K(CO_2)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot 0,36) + (5 \cdot 2/3 \cdot 0,36)) \cdot 2660 = 4169$$

$$K(NO_x)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot 0,36) + (5 \cdot 2/3 \cdot 0,36)) \cdot 16,5 = 26$$

$$K(PM)_o = ((3 \cdot 1/3 \cdot 0,36) + (5 \cdot 2/3 \cdot 0,36)) \cdot 0,39 = 0,61$$

d) Yhden tyhjennyskierroksen kokonaispäästöt (grammaa), kaava 8:

$$J_{i,o} = S_{i,o} + T_{i,o} + K_{i,o}$$

$$J(CO_2)_o = 8397 + 20685 + 4169 = 33251$$

$$J(NO_x)_o = 52 + 125 + 26 = 203$$

$$J(PM)_o = 1,1 + 4,0 + 0,61 = 5,71$$

Kun tiedetään yhden kierroksen kokonaispäästöt, voidaan laskea siirto- ja tyhjennysajon sekä joutokäynnin osuudet kokonaispäästöistä jokaisen päästökomponentin osalta:

$CO_2$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{8397}{33251} \cdot 100 = 25\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{20685}{33251} \cdot 100 = 62\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(CO_2)_o}{J(CO_2)_o} \cdot 100 = \frac{4169}{33251} \cdot 100 = 13\%$$

$NO_x$  :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(NO_x)_o}{J(NO_x)_o} \cdot 100 = \frac{52}{203} \cdot 100 = 26\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(NO_x)_o}{J(NO_x)_o} \cdot 100 = \frac{125}{203} \cdot 100 = 62\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(NO_x)_o}{J(NO_x)_o} \cdot 100 = \frac{26}{203} \cdot 100 = 13\%$$

*PM* :

$$\text{Siirtoajon osuus} \frac{S(PM)_o}{J(PM)_o} \cdot 100 = \frac{1,1}{5,71} \cdot 100 = 20\%$$

$$\text{Tyhjennysajon osuus} \frac{T(PM)_o}{J(PM)_o} \cdot 100 = \frac{4,0}{5,71} \cdot 100 = 70\%$$

$$\text{Joutokäynnin osuus} \frac{K(PM)_o}{J(PM)_o} \cdot 100 = \frac{0,61}{5,71} \cdot 100 = 11\%$$

e) Kokonaispäästöt vuodessa (grammaa), kaava 9:  $P_{i,o} = J_{i,o} \cdot y_o$

Tarvittavat lähtötiedot, eli tyhjennyskertojen määrä vuodessa saadaan taulukosta 11:

$$y_o = 104$$

Käytetään laskuissa  $J_{i,o}$ :n tarkempia arvoja pyöristysvirheiden välttämiseksi.

$$P(CO_2)_o = 33250,650 \cdot 104 = 3458068$$

$$P(NO_x)_o = 202,555 \cdot 104 = 21066$$

$$P(PM)_o = 5,75 \cdot 104 = 598$$

Mikäli halutaan erotella vuosittaisista kokonaispäästöistä siirtoajon, tyhjennysajon ja joutokäynnin aiheuttamat vuotuiset päästöt (g), saadaan tämä tieto selville käyttämällä jo kohdassa d laskettuja prosenttiosuuksia, eli:

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,25 = 864517$$

$$\text{Siirtoajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,26 = 5477$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,13 = 77,7$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,62 = 2144002$$

$$\text{Tyhjennysajon vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,62 = 13061$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,70 = 418,6$$

$$(CO_2) = P(CO_2) \cdot 0,13 = 449549$$

$$\text{Joutokäynnin vuotuiset päästöt } (NO_x) = P(NO_x) \cdot 0,13 = 2739$$

$$(PM) = P(PM) \cdot 0,11 = 65,8$$

f) Kokonaispäästöt tonnia kohden (grammaa/t), kaava 10a:  $E_{i,o} = \frac{P_{i,o}}{H}$ ,

missä  $H = h_o \cdot y_o$

Tarvittavat lähtötiedot, eli yhden tyhjennyskierron paperikertymän määrä saadaan liitteestä 2:

$$h_o = 2,88$$

$$E(CO_2)_o = \frac{3458068}{2,88 \cdot 104} = 11545$$

$$E(NO_x)_o = \frac{21066}{2,88 \cdot 104} = 70$$

$$E(PM)_o = \frac{598}{2,88 \cdot 104} = 2,0$$

h) Tyhjennyskierron kustannukset case-alueen osalta (euroa), kaava 11:

$$U(\text{tonniperusteinen})_o = C_o \cdot h_o$$

Tarvittava lähtötieto, eli tonnikohtainen kustannus saadaan Paperikeräys Oy:ltä:

$$C_o = XX$$

$$U_o = XX \cdot 2,88 = XXX$$

i) Kustannukset vuodessa case-alueen osalta (euroa), kaava 13:  $G_o = U_o \cdot y_o$

$$G_o = XXX \cdot 104 = XXXXX$$

## C) Tulosten yhteenveto

Vuosittaiset päästöt ja kustannukset		o = yleinen menetelmä	n = uusi menetelmä	vertailu
Siirtoajo (g) $S_i$	$CO_2$	864517	538615	$S_n < S_o$
	$NO_x$	5477	3309	$S_n < S_o$
	$PM$	77,7	72,5	$S_n < S_o$
Tyhjennysajo (g) $T_i$	$CO_2$	2144002	1385009	$T_n < T_o$
	$NO_x$	13061	8352	$T_n < T_o$
	$PM$	418,6	233,7	$T_n < T_o$
Joutokäynti (g) $K_i$	$CO_2$	449549	641208	$K_n > K_o$
	$NO_x$	2739	4097	$K_n > K_o$
	$PM$	65,8	96,7	$K_n > K_o$
Kokonaispäästöt (g) $P_i$	$CO_2$	3458068	2564831	$P_n < P_o$
	$NO_x$	21066	15758	$P_n < P_o$
	$PM$	598	403	$P_n < P_o$
Kokonaispäästöt tonnia kohden (g/t) $E_i$	$CO_2$	11545	8563	$E_n < E_o$
	$NO_x$	70	53	$E_n < E_o$
	$PM$	2,0	1,3	$E_n < E_o$
Kustannukset (€) $G$		XXXXXX	XXXXXX	$G_n = G_o$
Kustannukset tonnia kohden (€/t) $C$		XX	XX	$C_n = C_o$