

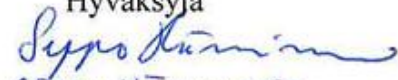




Kotitalousjätteen ennakointimalli

Kirjoittajat: Juha Forsström

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Kotitalousjätteen ennakointimalli	
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot HSY-Jätehuolto Reetta Anderson	Asiakkaan viite
Projektin nimi Yhdyskuntajätteen ennakointimalli	Projektin numero/lyhytnimi 42915
Raportin laatija(t) Juha Forsström	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 44/
Avainsanat Simulointi, kotitalousjäte	Raportin numero VTT-R-03229-11
Tiivistelmä	
<p>Hankkeessa on laadittu kotitalousjättemäärien ennakointimalli. Jäte jaetaan kolmeen luokkaan, jotka ovat bio-, paperi- ja sekajäte. Malli on ankkuroitu tehtyjen kotitalouskyselyiden tuottamaan tietoaineistoon.</p> <p>Jättemäärää selittävät väestö-, elämäntapa- sekä teknistaloudelliset tekijät. Väestöä tarkastellaan ikäluokkiin jaettuna. Iän ja kokonaismäärän lisäksi jättemäärään vaikuttaa perhekokoo, minkä vuoksi se huomioidaan mallissa. Elämäntapatekijöitä ovat sähköisen median valinta printtimedian sijaan, yleinen dematerialisaatio ja asukkaiden aktiivisuus lajitella jätteensä. Teknistaloudellisista tekijöistä huomioidaan BKT:n muutos ja tuotteiden materiaali-intensiteetin muuttuminen.</p> <p>Muutosta yli ajan kuvataan tunnetuin rakentein: Bassin diffuusiomallilla ja sukupolvi-muutoksena. Ensin mainittu kuvaa uuden laitteen, näkemyksen, tms. leviämistä ihmisyhteisössä. Jälkimmäinen viittaa ikäluokkamalliin, missä ikäluokan käyttäytyminen muuttuu, kun sen jäsenet muuttuvat ajan kuluessa.</p>	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoo 18.5.2011 Laatija  Juha Forsström Erikoistutkija	
Tarkastaja  Ulla-Maija Mroueh Erikoistutkija	
Hyväksyjä  SEPPÖ HÄNNINEN TEKNOLOGIAPÄÄLLIKÖ	
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT, Puh. 020 722 4520, Faksi 020 722 4374	
Jakelu (asiakkaat ja VTT) HSY-Jätehuolto	
<p style="text-align: center;">VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

Alkusanat

HSY-Jätehuolto tilasi tämän kotitalousjätteen ennakointimalli –hankkeen vuodenvaihteessa 2009/10 asiantuntijan työkaluksi jätehuollon suunnitteluun.

Kotitalousjätteen määrään vaikuttavat oleellisesti elämäntavaksi nimetyt henkilö- ja perhekohtaiset valinnat. Miten näitä tekijöitä voidaan mitata ja huomioida mallissa muiden, selkeämmin määriteltävien ja mitattavien seikkojen ohella? Tämä oli hankkeen kiinnostavin ja samalla ongelmallisin seikka. Toteutettu malli on eräs ratkaisu tähän ongelmaan. Aika näyttää, oliko ratkaisu onnistunut.

HSY-Jätehuollosta hankkeeseen ovat osallistuneet Reetta Anderson ja Kirsi Karhu, VTT:ltä Ulla-Maija Mroueh. Haluan kiittää kaikkia työhön osallistuneita myönteisestä työilmapiiristä ja hyvistä palavereista, joissa keskustelut todella veivät asioita eteenpäin.

Työ hankkeen aihepiiristä alkoi osana yhdyskuntien kestävän jätehuollon tulevaisuuden liiketoimintamahdollisuuksia kartoittavaa *SUSWASTE*-ohjelmaa jätemallien kirjallisuuskatsauksella ja tarkentui osaksi HSY-Jätehuollon *Julia 2030 Ilmastonmuutos Helsingin seudulla – hillintä ja sopeutuminen* –hanketta, joka saa rahoitusta EU:n Life+-rahastosta.

Espoo 12.03.2011

Tekijä



Sisällysluettelo

Alkusanat.....	<u>2</u>
1 Johdanto.....	<u>4</u>
2 Kotitalouksien tuottaman jätteen määrä	<u>5</u>
2.1 Kotitoimet.....	<u>5</u>
2.2 Perheet jätteentuottajina	<u>6</u>
2.2.1 Iän ja perheeseen vaikutus jätemäärään	<u>8</u>
2.2.2 Tulon vaikutus jätemäärään	<u>11</u>
2.2.3 Elämäntapatekijöiden vaikutus.....	<u>12</u>
2.2.4 Jätelajien osuudet	<u>14</u>
2.3 Perheenjäsenet jätteentuottajina.....	<u>16</u>
2.3.1 Perhejäte ja henkilöjäte.....	<u>16</u>
2.3.2 Ikäluokat ja asukasluokat.....	<u>17</u>
2.3.3 Ikäluokkien jättekertoimet.....	<u>19</u>
2.4 Päätelmiä data-aineistosta.....	<u>21</u>
3 Mallin rakenne ja toiminta	<u>21</u>
3.1 Mallikokonaisuus.....	<u>21</u>
3.2 Käyttöliittymä-moduuli	<u>23</u>
3.3 Jättekertymä-moduuli.....	<u>24</u>
3.4 Väestömoduuli	<u>25</u>
3.4.1 Ikäluokat ja asukasluokat.....	<u>26</u>
3.4.2 Yksinasuvat.....	<u>26</u>
3.5 BKT-moduuli	<u>27</u>
3.6 Tuotteet-moduuli	<u>27</u>
3.7 Elämäntapa-moduuli	<u>28</u>
3.7.1 Paperin syrjäytyminen sähköisellä medially.....	<u>28</u>
3.7.2 Lajitteluosuus	<u>29</u>
3.7.3 Niukkamateriaalisempaan elämäntapaan siirtyminen	<u>29</u>
3.8 Vertailu IPAT-malliin	<u>30</u>
4 Mallin käyttöesimerkki	<u>31</u>
5 Yhteenveto ja kehitysideoita.....	<u>33</u>
6 Lähdeviitteet	<u>35</u>

1 Johdanto

Jätemäärien tulevaisuusarvioiden laadinnassa olisi luontevaa lähteä sen toiminnan tarkastelusta, jonka seurauksena jätettä syntyy. Tästä lähtökohdasta asuminen näyttäytyy kotitalouspalveluja tuottavana yksikkönä, jonka toiminta jakautuu erilaisiin prosesseihin. Prosessit tarvitsevat joitain raaka-aineita ja energiaa. Näistä lähtöaineista ne tuottavat halutut palvelut ja jätteet syntyvät toiminnan oheisvirtana. Mutta mitä nämä prosessit, tai kotitoimet, ovat? Ja millaista jätettä eri kotitoimet tuottavat?

Ruokahuolto on keskeinen kodin toiminta, jonka sivuvirtana syntyy niin bio- kuin pakkausjätettäkin. Viihteen ja informaation (infoviihde) nautinta tuottaa paperijätettä siinä määrin, kuin se perustuu printtimediaan ja pakkaus- ja muuta sekajätettä sen lisäksi. Ja sitten on suuri joukko muita kotitoimia, kuten hoiva (vauva, itse, vanhus, lemmikki), kodinhoito, vaatehuolto jne. ja kukin näistä tuottaa omanlaistansa jätevirtaa. Ongelmana tässä on se, että meillä ei ole tietoa siitä, miten kotitoimet sekä jätelajit ja -määrät liittyvät toisiinsa. Tehdyissä kotitalousjätteselvityksissä ei asiaa ole lähestytty näin. Jotain kotitoimista ja jätefraktioista voidaan kuitenkin päätellä. Esimerkiksi infoviihde-toiminta tuottaa valtaosan paperijätteestä ja ruokahuolto biojätteestä. Kerättävää biojätettä tuottaa jossain määrin myös rivi- ja omakotitaloissa puutarhanhoito ja sisä ja parvekekukkien hoito kaikissa talotyypeissä. Tämä pidemmälle ei prosessiajattelussa ilman lisämittauksia päästä.

Kotitalous on luonnollinen yksikkö jätteen mittaamiseen, kuuluipa siihen yksi tai useampi henkilö. Alalle vakiintunut tapa ilmoittaa jättemäärä on kuitenkin henkilöä kohden laskettu jättemäärä vuodessa. Koska näin on, malli laaditaan tämän konvention mukaisesti. Kotitalouden jätteen määrään vaikuttavia tekijöitä etsitään uusimmasta käytettävissä olevasta kotitalousaineistosta (Pääkaupunkiseudun..., 2007).

Tässä hankkeessa laadittava malli ei luonnollisestikaan ole ensimmäinen tämän alan mallitus-hanke. Tuoreessa katsausartikkelissa Beigl et al. (2008) käy läpi 45 mallia *yhdyskuntajätteen* tuotannosta. Mallit eroteltiin neljällä kriteerillä, jotka olivat: i) kohdejärjestelmän koko: kotitaloudesta koko maan kattavaan; ii) mallinnetun jätevirran tyyppi: a) koko jätevirta materiaalityypeittäin, b) kerätyt jätevirrat tyypeittäin ja c) kotitalouden sekajätefraktiot; iii) riippumattomien muuttujien valinta: a) tuote- ja jätevirrat, b) kulutukseen liittyvät muuttujat ja c) jätteen liittyvät tekijät; ja iv) mallinnusmenetelmä, jota arvioitiin kolmessa ulottuvuudessa: a) riippumattomien muuttujien lukumäärä, b) mallin validointitapa ja c) soveltuvuus ennusteen tekoon. Vaikka mallit ovat pääasiassa laadittu ennustetarkoituksiin, niin useimmissa tapauksissa ne ovat kuitenkin käyttökelvottomia, koska sopivaa dataa parametrien estimoimiseksi ei ole käytettävissä.

Fell, Cox ja Wilson (2010) käyvät katsausartikkelissaan läpi tutkimuksia, jotka hahmottelevat *kotitalousjätteen* pitkän aikavälin trendejä, lähinnä sen synnyn ehkäisyä, identifioivat rakenteellisia ajureita ja/tai raportoivat malleilla tehtyjä ennustetuloksia jättemääristä. Kirjoittajien tavoitteena on i) arvioida perusteita taloudellisen kasvun ja negatiivisten ympäristövaikutusten irtikytkennästä (decoupling); ii) arvioida erilaisia malleja, joita on yo. tarkoitukseen laadittu; ja iii) vertailla erilaisia jätetulevaisuuksia. Tekijät toteavat, että i) talouden ja jätevirran kasvun erilaisuus osoittautui kiistanalaiseksi ja toistaiseksi käytettävissä olevat todisteet puoleen tai toiseen ovat heikot tai epämääräiset; ii) laaditut ihmisten käyttäytymistä kuvaavat mallit jättemäärien vähentämisestä kärsivät vajavaisesta ihmismielen ymmärtämisestä ja datan puutteista; sen johdosta iii) tulevaisuuden jätearviot ovat pääosin spekulatiivisia. Johtopäätöksi-

nään tekijät toteavat decoupling-käsitellä olevan sangen vähäinen merkitys käytännön interventioiden tueksi. Relevanttien politiikkatoimien suunnittelu tarvitsisi sekä lisää dataa että mallinnus- ja ennustetyökalujen kehittämistä.

Moliis et al. (2009) toteavat useisiin bruttokansantuotteen ja jätemäärien suhdetta käsitteleviin tutkimuksiin nojaten, että jonkinasteista suhteellista irtikytkentää olisi tapahtumassa OECD-maissa. Asia on toistaiseksi kuitenkin avoin. Irtikytkentä-temaan liittyen on tämän raportin liitteessä C tarkasteltu talouskasvun ja materiaali-intensiteetin erkaantumista Suomalaisessa kontekstissa.

Katsauksen päätelminä voidaan todeta, että malli on laadittava sellaiseksi, että sen parametrit on mittaustiedosta laskettavissa. Taloudellisen kehityksen ja jätemäärien yhteen kytkeytymisen purkautuminen on toistaiseksi perustelematon, eikä sitä sen vuoksi voi ottaa pitkän aikavälin perusuraksi. Yhtenä mahdollisena tulevaisuuden kehityspolkuna se kuitenkin puolustaa paikkaansa. Raportin sisältö tästä eteenpäin on seuraava: Luvussa 2 käydään läpi data-aineistoa ja etsitään perusteet luvussa 3 kuvattavalle mallille. Mallin kuvauksessa pyritään tekemään laskennan logiikka ymmärrettäväksi ilman yksityiskohtien esittelyä. Liitteissä A ja B on hieman yksityiskohtaisemmin tarkasteltu muutamaa laskentaan oleellisesti liittyvää seikkaa. Luvussa 4 esitellään erään käyttöesimerkin valossa mallista saatavia tuloksia. Luku 5 kokoaa projektin tulokset yhteen ja siinä esitetään myös ideoita jatkohankkeiksi.

2 Kotitalouksien tuottaman jätteen määrä

Käytettävissä olevan data-aineiston käsittelyyn vaikuttaa se, millaista mallia ollaan rakentamassa ja laadittavan mallin rakenteeseen puolestaan vaikuttaa oleellisesti se, millaista informaatiota mallin parametrien määrittämiseksi on olemassa. Data-aineisto on kerätty muutama vuosi sitten tehdyssä tutkimuksessa (Pääkaupunkiseudun..., 2007) ja ko. julkaisussa on esitelty aineistoa monipuolisesti. Sitä ei toisteta tässä, vaan nyt aineistoa tutkitaan eri näkökulmasta.

Koska perhe on jätetuotannon luonnollinen perusyksikkö, niin lähtökohtaisesti data-aineistoa käsitellään perhekohtaisesti. Perheitä tarkastellaan luokittelemalla aineistoa eri tekijöiden mukaisesti. Aiempien selvityksien (Pääkaupunkiseudun..., 2004 ja 2007) perusteella tiedetään, että perhe koko ja perheenjäsenten ikä vaikuttavat tuotettuun jätemäärään. Tässä ei tyydytä pelkästään keskiarvojen laskentaan, vaan jätemääriä tarkastellaan jakaumina kussakin luokassa. Jakauma antaa lisävalaistusta kaikkien muiden tässä mainitsemattomien tekijöiden vaikutuksista.

Kotitalouksien välisiä eroja tuotetun jätteen kokonaismäärässä tarkastellaan jakamalla aineisto eri tekijöiden suhteen luokkiin ja vertailemalla jätemäärien vaihtelua niin luokan sisällä kuin luokkien välilläkin. Sen jälkeen tarkastellaan jätelajien suhdetta toisiinsa ja tämän suhteen muuttumista, kun jätteen kokonaismäärä muuttuu. Tavoitteena on löytää perusteet, joille simulointimalli laaditaan.

2.1 Kotitoimet

Kotitalouden jätteet syntyvät kotona tehtävien toimintojen sivuvirtana. Jokainen toiminto tuottaa yksilöllistä jätevirtaa. IPTS-tutkimuslaitoksen raportissa (Tukker et al., 2003) kotitoimet on nimetty seuraavasti: ruokahuolto, informaation ja viihteen nautinta (infoviihde), vaatehuolto, kodinhoito, hoivatoimet (itse ja muut), muu (puutarhanhoito, lemmikin hoito, ...).

Kotitaloutta voidaan tarkastella kuten teollista prosessia, joka koostuu rinnakkaisista osaprosesseista. Eri osaprosessien toimintatason, aktiviteetin, muuttuessa muuttuvat kokonaisjätevirran lajien osuudet ja määrät. Mainitussa raportissa päädyttiin seuraavanlaiseen Manner-Eurooppalaiseen toimintojen ja jätelajien jakaumaan, taulukko 1.

Taulukko 1. Eurooppalainen kotitalousjätteen lajijakauma kotitoimien mukaan (Tukker et al., 2003).

Ruokahuolto		36 %
	Keittiöjäte	15 %
	Pakkaukset	17 %
	Laitteet	4 %
Harrasteet		23 %
	Kissanhiekkä	4 %
	Pihajäte	19 %
Infoviihde		16 %
	Paperi	14 %
	Pakkaukset	2 %
Kodinhoito		8 %
	Huonekalut	5 %
	Sisustaminen	2 %
	Siivous	1 %
Hoiva		7 %
	Terveys	2 %
	Vaipat ym.	5 %
Vaatehuolto		4 %
	Tekstiilit	4 %
Muu		6 %

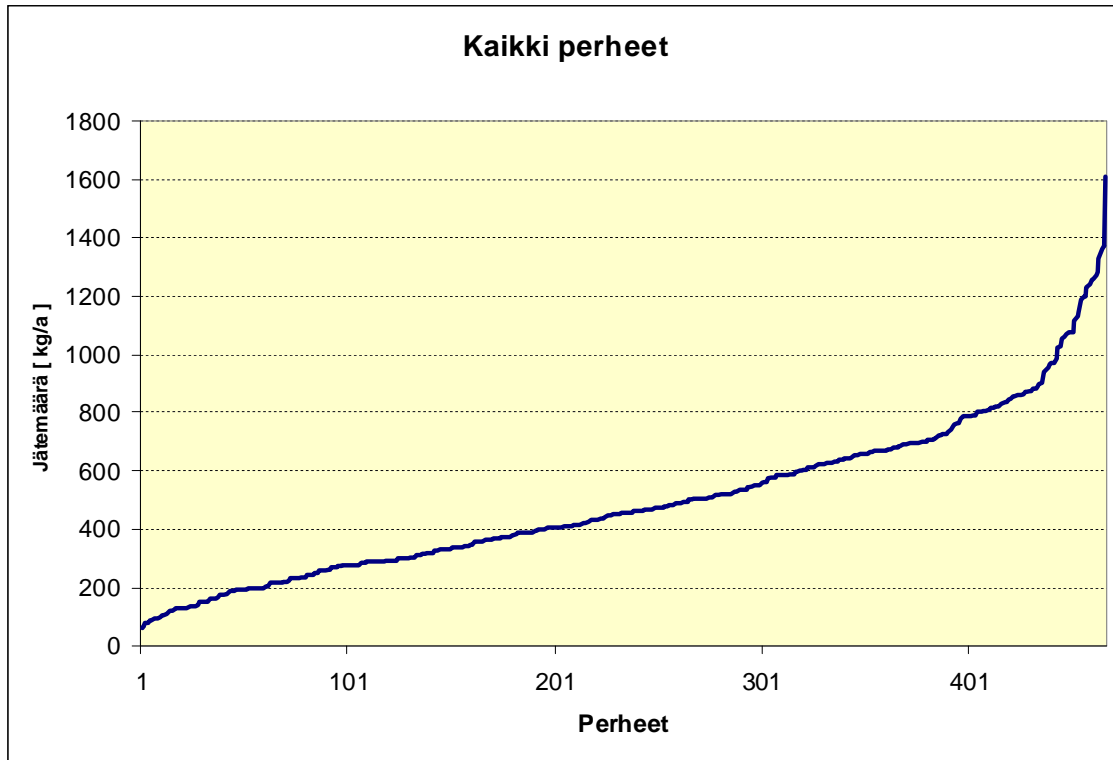
Jätejakauma eroaa Helsingin seudun asukkaan keskimääräisestä jakaumasta eniten paperin määrässä: sen osuus jätteestä on suurin 36 % (Jätät jälkeesi ..., 2010).

Taulukossa 1 ruokahuolto on suurin yksittäinen tekijä infoviihteen ollessa hyvä kakkonen. Muiden toimien osuus on melko pieni ja voidaan kysyä, kuinka tarkka toimintahajotelma on tarpeen. Mitä tarkempi toimintokuvaus, sitä tarkemman tulevaisuuden skenaariomäärittelyinkin tulee olla. Yksittäisen toiminnolla tulisi olla riittävän suuri osuus jätevirrasta ja jätevirran tulisi olla muista poikkeava, jotta toiminto puolustaisi paikkaansa. Näin ajatellen kolme neljä toimintoa vaikuttaisi riittävältä määrältä.

Pääkaupunkia koskevista viimeaikaisista sangen yksityiskohtaisista jätejaeselvityksistä ei suoraan käy ilmi, mitkä kodin toiminnot synnyttävät havaitut jätevirrat. Se johtunee siitä, että tällainen näkökulma ei aineiston hankinnassa ollut esillä. Jää siis jatkossa pohdittavaksi, olisiko yllä kuvattu lähestymistapa hedelmällinen kotitalouksien jätemäärän pitkän aikavälin arvioinnissa, sillä nykyaineiston avulla ei voi tarvittavia parametreja määrittää. Kotitoimiin kiinnittyvän mallin potentiaalinen etu muihin lähestymistapoihin verrattuna olisi siinä, että elämäntavan eri ulottuvuudet voisi konkretisoida kiinnittämällä ne tiettyjen kotitoimien määrään ja laatuun.

2.2 Perheet jätteentuottajina

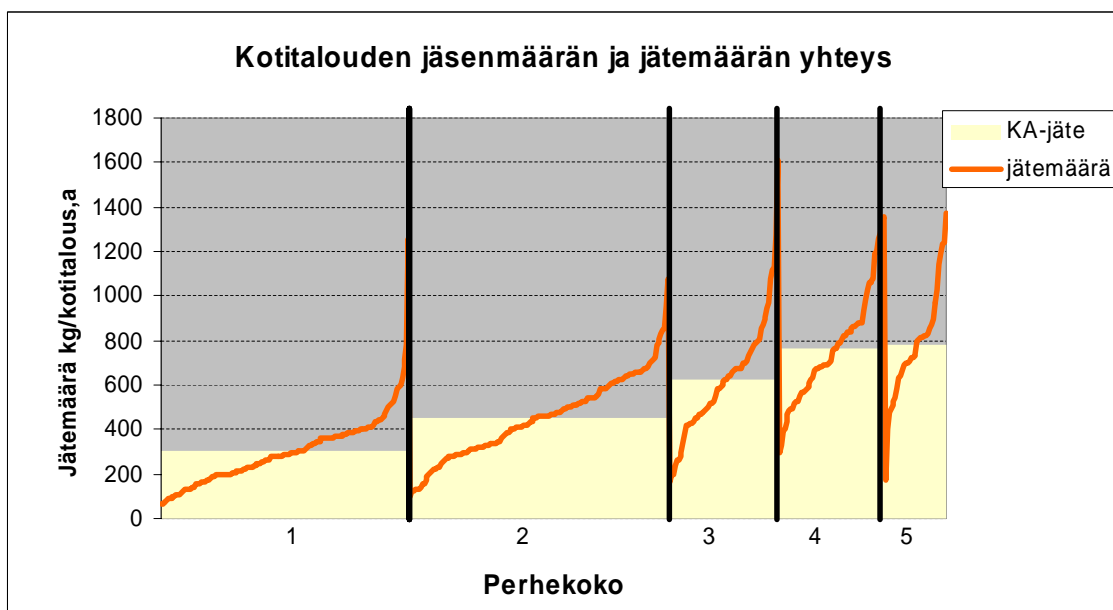
Kun kaikkien data-aineiston perheiden vuotuiset jätemäärät järjestetään suuruusjärjestykseen, päädytään kuvan 1 mukaiseen käyrään.



Kuva 1. Kaikkien perheiden jättemäärät järjestettyinä pienimmästä suurimpaan.

Kuvan oikeaan reunaan asettuvat suurimmat jätteen tuottajat ja vasemmassa reunassa sijaitsee vain murto-osan oikean reunan suurtuottajien jättemäärästä tuottavat perheet. Suurimman ja pienimmän jätetuottajan (perheen) ero on noin viisitoistakertainen.

Kun aineisto jaetaan perheeseen mukaan, päädytään kuvan 2 tilanteeseen:



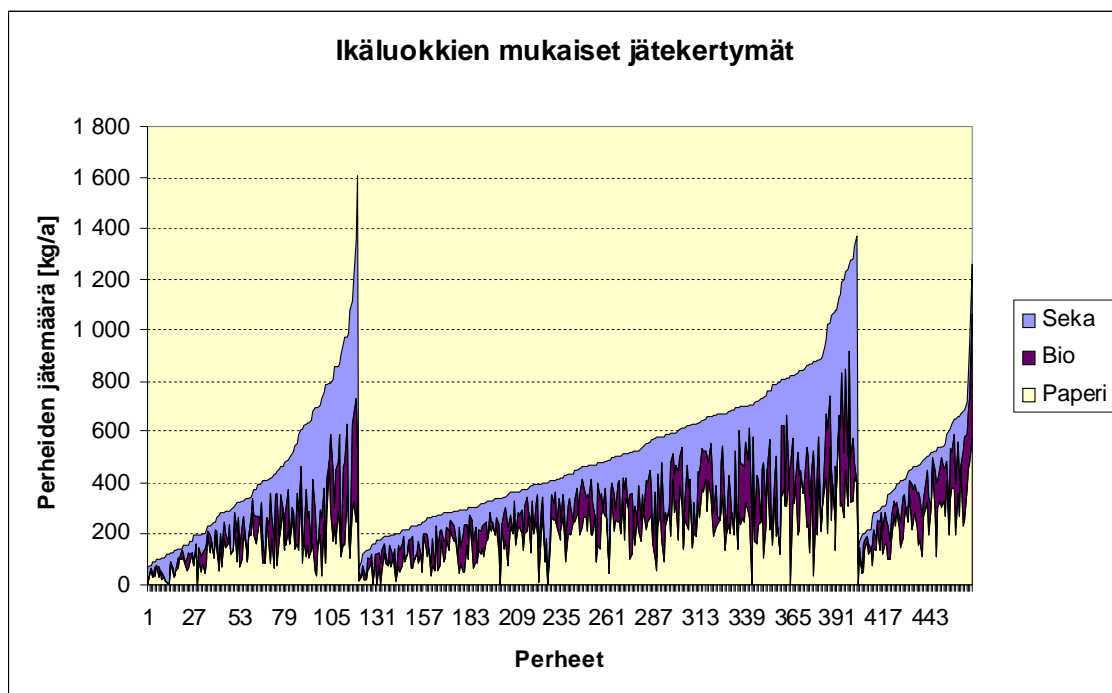
Kuva 2. Kotitalouden jättemäärän vaihtelu ja sen keskiarvo perhekokoluokittain.

Jokaisessa kotitalouden kokoluokassa vaihtelu perheiden välillä on suurta. Yhden lisäjäsenen tulo perheeseen kasvattaa jättekertymää suunnilleen saman määrän, olipa jäsen sitten toinen, kolmas tai neljäs. Vasta viidennen jäsenen kohdalla lisäjäte henkilöä kohden jää keskimäärin

vähäiseksi. Sekä yhden että kolmen hengen perheissä on molemmissa yksi kotitalous, joka nostaa jätemäärän huippua merkittävästi. Kun perheitä verrataan tuotetulla jätemäärällä, niin yhden hengen talouksissa suurin perhe tuottaa lähes kaksi kertaa niin paljon jätettä kuin seuraavaksi suurin kotitalous. Kolmen hengen perheissä ero seuraavaan on jo pienempi. Ilman näitä poikkeuksia myös luokkien huiput kasvaisivat keskiarvojen tapaan johdonmukaisesti perhekoon mukana. Ovatko nämä todellisia poikkeuksia, vai normaalia vaihtelua?

2.2.1 Iän ja perhekoon vaikutus jätemäärään

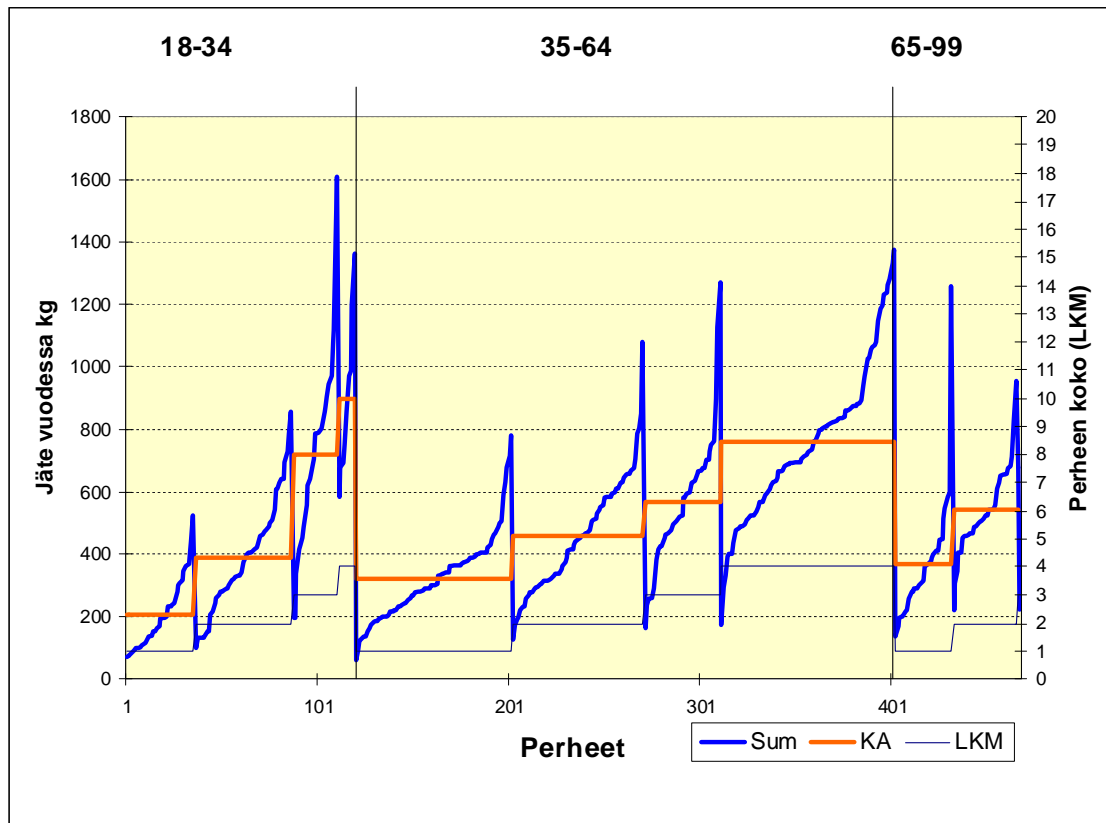
Jatketaan aineiston palastelua huomioimalla perheenjäsenten ikä. Ensin jaetaan perheet kolmeen ikäluokkaan vanhimman aikuisen mukaan, kuva 4.



Kuva 4. Perheet vanhimman jäsenen iän mukaan luokiteltuina. Vasemmalta oikealle, nuoret aikuiset, keski-ikäiset ja eläkeläiset. Kokonaisjäte on jaettu kolmeen luokkaan seka-, bio- ja paperijätteeseen.

Jokaiseen luokkaan kuuluvat kaikenkokoiset perheet, sillä vain ikäluokkaa on käytetty erottavana tekijänä. Ikäluokan sisällä jätemäärän vaihtelu on suurta. Siihen osaltaan vaikuttaa erikokoisten perheiden kuuluminen samaan luokkaan.

Kun perheet jaetaan perheen vanhimman jäsenen mukaisesti ikäluokkiin ja edelleen perhekoon mukaisesti päädytään luokitteluun, jossa on yhteensä 10 luokkaa: Nuorille aikuisille ja työikäisille molemmille 4 perhekokoluokkaa ja eläkeläisille kaksi, kuva 5.



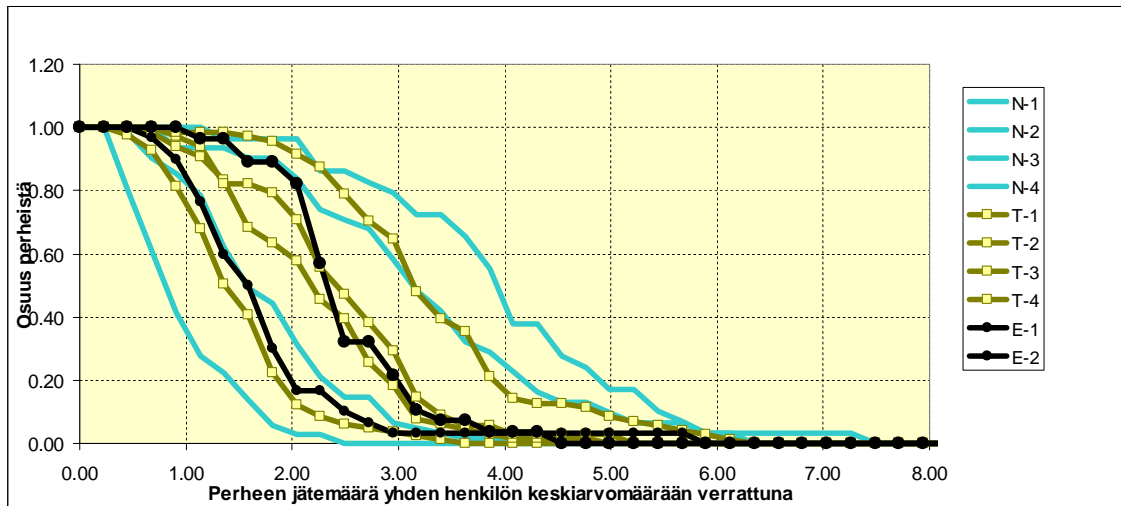
Kuva 5. Perheen jätemäärän (vasen asteikko) keskiarvon (KA) ja havaintojen (Sum) vaihtelu perheiden vanhimman jäsenen iän ja perhekoon (LKM, oikea asteikko) muuttuessa.

Yhden ja kahden jäsenen perheissä keskimääräinen jätetuotanto kasvaa iän mukana. Mitään dramaattisia eroja samankokoisten perheiden eri ikäluokkien välillä ei ole. Yksinasuvat nuoret aikuiset erottuvat hyvin vähän jätettä tuottavina kotitalouksina.

Nuorten aikuisten ryhmässä jätekertymä kasvaa voimakkaasti perhekoon kasvaessa. Lapsiperheet ovat tässä nuorten aikuisten otoksessa vauvaperheitä, mikä selittää suuren jätemäärän. Keski-ikäisten aineistossa lapsiperheissä lapset kuuluvat lapsi- eikä vauvaluokkaan.

Hyppäys kolmen jäsenen perheestä vähintään nelijäseniseen keski-ikäisten (35-64) joukossa on puolestaan melko suuri. Muutoksen suuruutta selittää osaltaan se, että nelihenkiseen perheeseen on sisällytetty kaikki yli kolmijäseniset perheet, sillä viisihenkisiä tai sitä suurempia perheitä on aineistossa kovin vähän. Keskimääräinen jätetuotanto samankokoisissa, mutta eri ikäluokan perheissä on erilaista, mikä antaa perusteen tarkastella perheenjäsenen jätemäärää ikään sidottuna tekijänä.

Kun kuvan 5 informaatio esitetään toisin, päädytään kuvan 6 mukaiseen tilanteeseen.



Kuva 6. Perheiden tuottama jätemäärä jäsenmäärän ja iän mukaisissa luokissa. N viittaa nuoriin aikuisiin(18-34), T keski-ikäisiin(35-64) ja E eläkeläisiin (65-). Numero kirjaimen perässä kertoo perheeseen. Jokaisessa ikäluokassa perhe tuottaa enemmän jätettä jäsenmäärän kasvaessa, minkä vuoksi sitä ei käyrissä korosteta erikseen: Oikealle siirryttäessä seuraava samanvärisen käyrä on aina yhtä jäsentä suurempi saman ikäluokan perhe.

Kuvassa 6 on pystyakselilla *osuus perheistä* kussakin luokassa kuvaa perheiden osuutta, kun lähdetään liikkeelle suurimman jätemäärän perheistä ja edetään kohti vähäjätteisimpiä perheitä. Vaaka-akselin jätemäärän on ilmaistu koko aineiston henkilöä kohden lasketulla jätemäärällä. Se on alalle tyypillinen vertailuluku. Nuorilla yksinasuvilla aikuisilla suhteellinen jätemäärän vaihtelu on suurempaa kuin saman ikäryhmän nelijäsenisissä perheissä. Jakaumat ovat kuitenkin kokolailla samanlaisia ikäryhmästä tai jäsenlukumäärästä riippumatta. Nuorten aikuisten nelijäsenisiä perheitä kuului otokseen vain kymmenkunta, mikä selittää porrasmaisen kuvaajan.

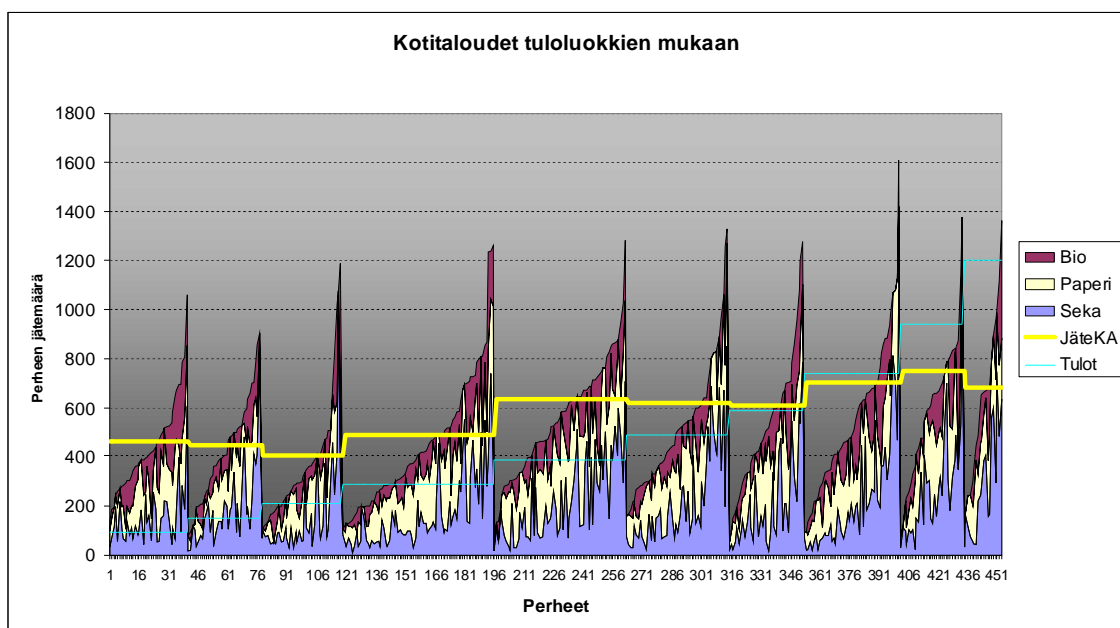


Kuva 7. Jätetuotannon keskittyneisyys. 20 % suurijätteisimpiä perheitä tuottaa lähes 40 % jätteistä. Vastaavasti vähintään jätettä tuottava 20 % tuottaa vain noin 8 % jätteistä.

Kuvan 7 mukaan voidaan todeta, että kolmannes perheistä tuottaa puolet jätteistä ja sen toisen puolen tuottavat ne 2/3 vähäjätteistä perheitä.

2.2.2 Tulojen vaikutus jätemäärään

Testataan seuraavaksi oletusta, että perheen jätemäärä kasvaa käytettävissä olevien tulojen myötä. Hypoteesin testaus aloitetaan visuaalisella kokonaisjätemäärän, jätelajien ja tulojen suhteita data-aineistossa valottavalla kuvalla 8. Kuvassa perheen jätemäärät on järjestetty ensin bruttotulojen mukaan tuloluokkiin ja sen jälkeen ne on järjestetty suurimmasta pienimpään. Kussakin tuloluokassa on laskettu jätemäärän keskiarvo kuvaamaan tuloluokan jätemäärää.



Kuva 8. Kotitaloudet tuloluokkien ja jätemäärien mukaan järjestettyinä. Tulojen määrä 1200 tarkoittaa kotitalouden bruttotulotasoa 120 000 eur/a.

Yllättävästi kuvan vasemmassa laidassa tulojen kasvaessa jätemäärä ensin pienenee ja vasta sen jälkeen lähtee nousemaan. Kokonaiskuva on kuitenkin selkeä: jätemäärän keskiarvo kasvaa tulojen kasvaessa ja jälleen kerran jokaisessa luokassa jätemäärän vaihtelu on melkoista. Bruttotulojen ja jätemäärän suhde on selkeästi epälineaarinen: tulojen noustessa käyräviivaisesti jätemäärä kasvaa suunnilleen lineaarisesti. Perhekokoja ei ole huomioitu luokkajaossa, vain kotitalouden tulot jakavat perheet eri ryhmiin.

Perheen bruttotulojen suhteellista muutosta jätemäärän suhteelliseksi muutokseksi välittää jätemäärän tulojousto λ :

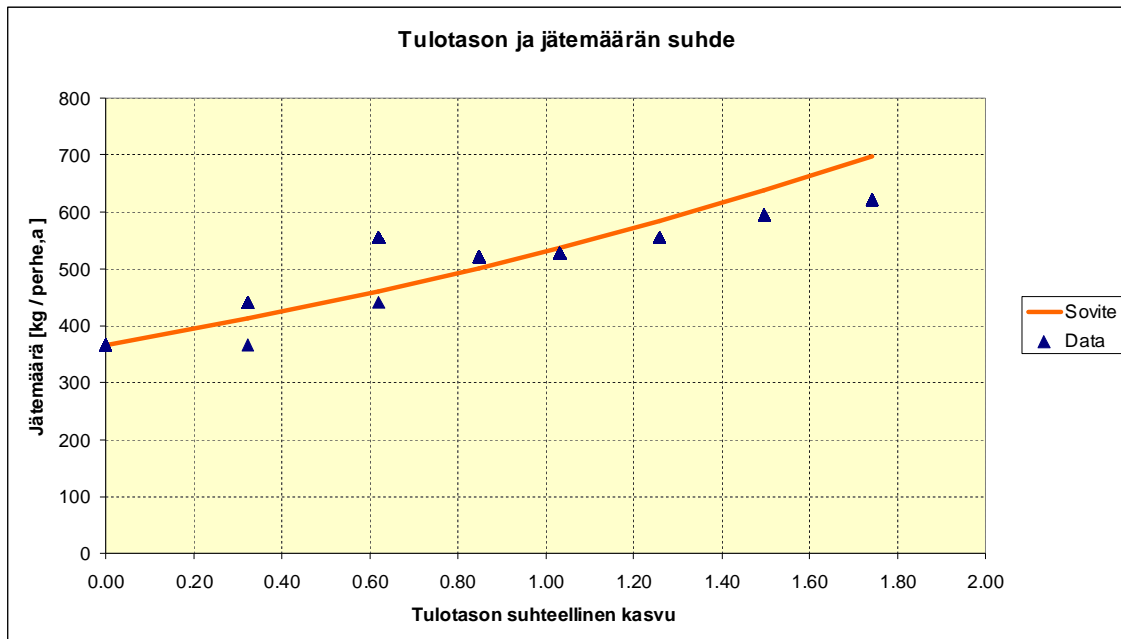
$$J = J_0 \left[\frac{B}{B_0} \right]^\lambda \quad (1)$$

missä J on jätemäärä ja B on perheen bruttotulot vuodessa. Alaindeksi 0 viittaa lähtötilanteeseen.

Järjestelemällä tekijät ja ottamalla logaritmi päädytään seuraavaan origon kautta kulkevan suoran kulmakertoimen (tulojouston) määrittämiseen data-aineiston perusteella:

$$\ln \left[\frac{J_i}{J_0} \right] = \lambda \ln \left[\frac{B_i}{B_0} \right] \Leftrightarrow y_i = \lambda x_i \quad (2)$$

Joustokertoimen arvoksi saadaan $0,37$ ja tällöin data-aineisto ja mallin kuvaajat näyttävät seuraavanlaisilta, kuva 9.



Kuva 9. Tulojen ja jätemäärän välisen sovituksen ja data-aineiston vertailu.

Lähteen (findikaattori.fi) mukaan kotitalouksien tulotaso nousee suunnilleen BKT-kasvun mukaisesti, joten sitä voidaan käyttää indikaattorina tulotason tulevalle kasvulle.

2.2.3 Elämäntapatekijöiden vaikutus

Jättemäärien vaihtelu kunkin luokan sisällä on suurta verrattuna luokkien keskiarvojen väliseen vaihteluun. Mistä tämä vaihtelu jätemäärissä luokkakeskiarvojen ympärillä kumpuaa? Lähteessä (Pääkaupunkiseudun..., 2007) tätä vaihtelua pyrittiin selittämään eri tavoin, mutta mitään sopivaa syiden yhdelmää, joka olisi selittänyt tilastollista hajontaa tyydyttävästi, ei löytynyt. Merkittävimiksi tekijöiksi nimettiin kotona oleminen, sanomalehden tilaaminen, kertakäyttövaippojen käyttö sekä kotitalouden vanhimman jäsenen ikä. Näillä ei kuitenkaan pystytty selittämään kuin osa perheiden välisestä vaihtelusta.

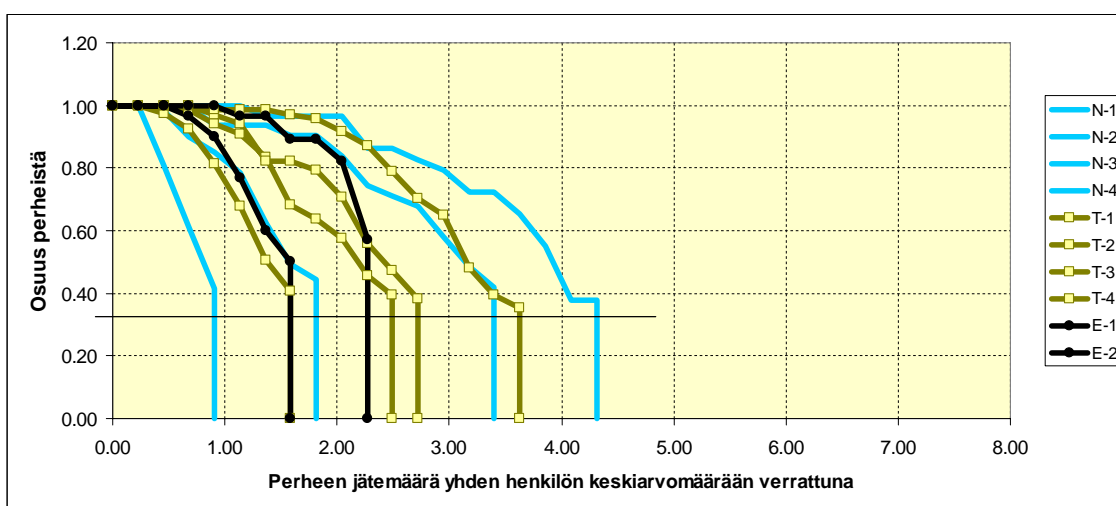
Elämäntapa koostuu mitä moninaisimmista seikoista ja kiinnostavia ulottuvuuksia tämän työn kannalta ovat ne, jotka liittyvät jätteen tuotantoon. Erilaisten tulevaisuuksien hahmottamista varten ei kuitenkaan tarvitse tuntea niitä tekijöitä, joiden kokonaisuus vaihtelut aiheuttaa. Riittää, kun tiedetään, millaista vaihtelu on ja kuinka suuri perheiden jätetuotanto keskimäärin on. (Oletetaan siis, että tulevaisuudessa perheiden välinen vaihtelu on nykyisen kaltaista.) Perhekokoon ja aikuisten ikään perustuvien jättejakaumien ansiosta voidaan määritellä erilaisia tulevaisuuksia ilman, että tiedetään vaihtelun perhekohtaiset syyt. Samaan jätetuottoon päätyvät

perheet voivat olla elämäntavoiltaan monella tapaa erilaisia. Aiemmissa luvuissa kuitenkin löydettiin tiettyjä mitattavissa olevia tekijöitä, joiden vaikutus jätemääriin oli selkeä. Näitä löydöksiä hyödynnetään mallin laadinnassa.

Luokitellaanpa perheet tulojen, jäsenmäärän, ikäluokan tms. perusteella, niin jokaisessa kokoluokassa on aina suuri jätemäärän hajonta perheiden välillä. Vähän jätettä tuottavat ovat valinneet niukkamateriaalisen elämäntavan. Toiset taas tuottavat jätettä monikertaisesti keskiarvoon verrattuna. Paljon jätettä tuottavien perheiden on mahdollista muuttaa elämäntapaansa vähemmän jätettä tuottavaksi: niukkajätteisten perheiden olemassaolo osoittaa tämän mahdolliseksi.

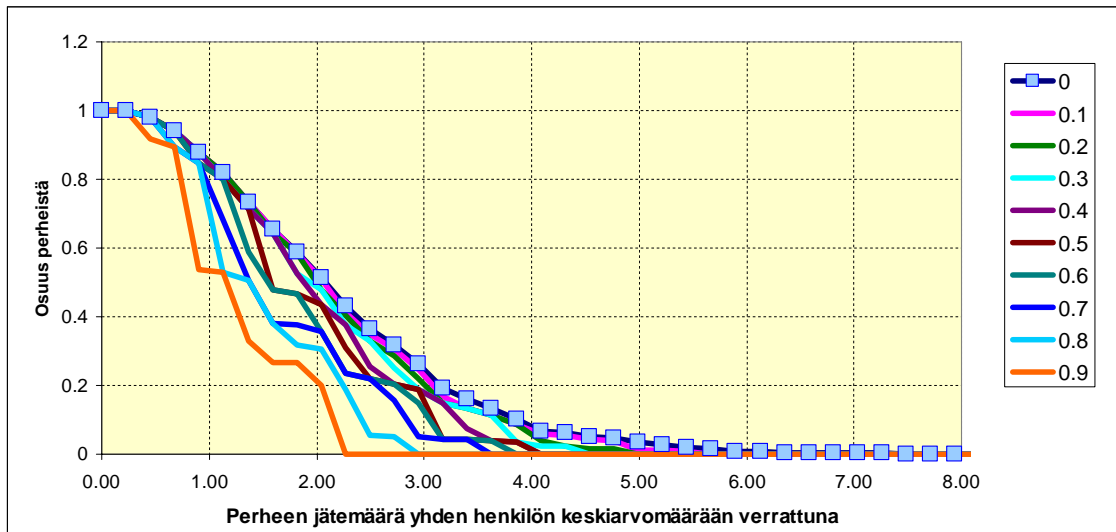
Tämän työn kannalta on kiinnostavaa se, millaisen vaikutuksen muutos niukkamateriaaliseen elämäntavan suuntaan tapahtuva muutos aikaansaisi koko kohdealueen jätemäärässä yli ajan tarkasteltuna. Muuttuvatko jätehuoltoon liittyvät päätökset, investoinnit, kehittämistoimet tai muut pitkävaikutteiset asiat, jos elämäntapamuutos toteutuu? Kun tämä kysymys on keskeinen, ei muutosten syiden selvittäminen ole toiminnan keskiössä. Jos tavoitteena on muutoksen aikaansaaminen, niin tällöin tilanne on luonnollisesti toinen.

Elämäntapamuutoksen vaikutusta arvioidaan perhetasolla. Perheen siis oletetaan olevan jäte-tuotannon perusyksikkö, ei yksilön. Jokainen perhe kuuluu johonkin em. kymmeneen perheluokkaan. Laskentaa ohjaava suure on perheosuus, jolla kuvataan muutokseen osallistuvien perheiden osuutta omassa luokassaan. Muutoksen oletetaan alkavan kaikkein suurijätteisemmistä perheistä kussakin luokassa. Mitä suurempi osuus elämäntapamuutokseen osallistuu sitä vähäjätteisempiä perheitä tulee mukaan. Kun ohjausparametrille (perheosuus) annetaan arvo 0,33, niin se tarkoittaa, että jokaisen luokan kaikkein suurijätteisin kolmannes muuttaa käyttäytymistään. Muutoksen jälkeen niiden oletetaan tuottavan jätettä yhtä paljon kuin se perhe, joka on jätetuotannoltaan suurin siinä joukossa, joka ei kuulu suurijätteisimpiään kolmannekseen. Toisin sanoen, jätetuotannon huippu kussakin luokassa leikkautuu. Kuva 10 näyttää, miten kuvan 8 jätetuotannon jakaumat muuttuvat, kun tämä muutos toteutuu ohjausparametrin arvolla 0,33.



Kuva 10. Perheiden jätemäärän jakauma, kun kussakin luokassa suurimmat jätetuottajat muuttavat käyttäytymistään siten, että mikään perhe ei tuota vuodessa enempää jätettä kuin oman luokkansa suuruusjärjestyksessä sijalla 0,33 asteikolla 0 ... 1.

Koko tarkastelujoukon jätekertymä muuttuu alkuperäiseen verrattuna kuvan 11 mukaisesti, kun elämäntapaansa muuttaa yhä kasvava osa perheistä.



Kuva 11. Tutkitun perhejoukon jätemääräkertymä ja elämäntapamuutoksen vaikutus siihen. Elämäntapaa muuttavien perheiden osuus kussakin luokassa vaihtelee välillä 0 ... 0,9. Neliöin varustettu käyrä kuvaa aineiston keskiarvoperheen jätejakaumaa.

Jos jätekertymä alenee jossain määrin vain todella suurijätteisiltä perheiltä, ei kokonaistilanne muutu kovin paljon. Näitä perheitä on niin vähän, jos tutkimuksessa mukana olevat edustavat hyvin koko alueen väestöä. Suurempi vaikutus edellyttää, että valtaosa perheistä muuttaa elämäntapaansa. Alkutilanteessa keskiarvoperhe tuottaa jätettä 2,1 kertaa keskiarvoasukkaan jätemäärä. Kun 90 % perheistä on toteuttanut elämäntapamuutoksen, on tämä keskiarvoperheen jätemäärä pudonnut arvoon 1,1 kertaa alkutilanteen keskiarvoasukkaan jätemäärä. Kokonaisjätemääräkin silloin puolittuu.

Koska elämäntapamuutosta tarkastellaan jokaisessa perheluokassa erikseen, muutos ei leikkaa vain koko tarkastelun suurimpien jätetuottajien jätemääriä vaan myös melko vähän jätettä tuottavia (yksinasuvia) perheitä. Näin kokonaiskertymää kuvaava käyrä muuttuu koko matkaltaan. Kertymäkäyrä muuttuu muhkuraiseksi, koska jakaumaan tulee teräviä kulmia jätemäärien luokittaisen leikkautumisen vuoksi. Perheluokan jätejakauman muoto vaikuttaa oleellisesti muutoksen luonteeseen, kuva 8.

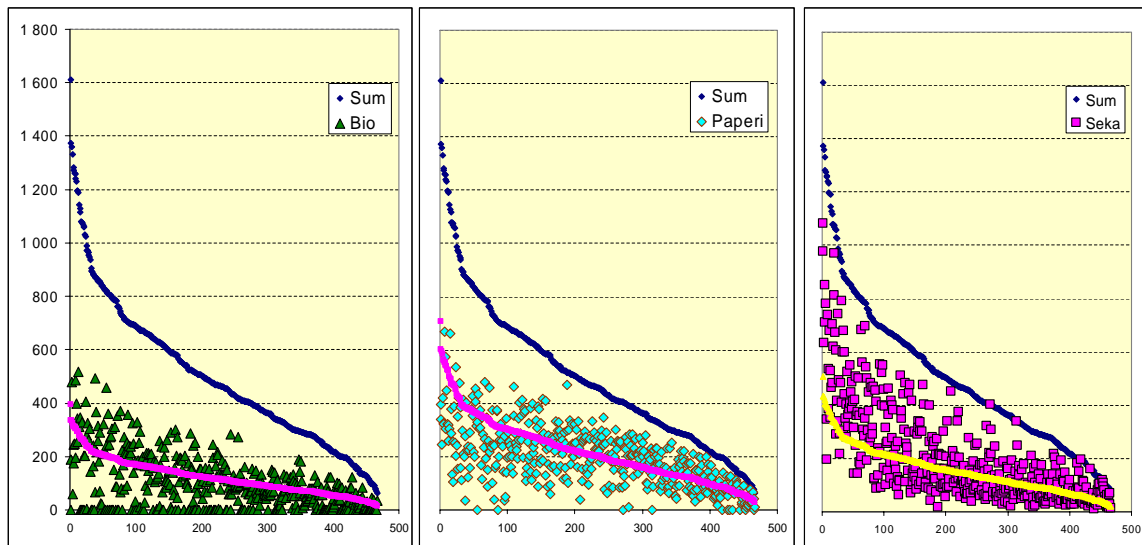
Tehtyjen jätemittausten perusteella perheiden välinen jätemäärien vaihtelu tunnetaan, vaikka emme tiedäkään niitä syitä, joista vaihtelu johtuu. Koska vaihtelun jakauma on tiedossa, sitä voidaan käyttää sellaisenaan kuvaamaan tulevaisuuden jätemäärien mahdollisia uria. Todellisiin mittauksiin perustuvan jakauman käyttö ankkuroi tulevaisuuden urat vankasti todellisuuteen. Tarkastelu antaa perustellun suuruusluokka-arvion mahdollisten muutosten seurauksista.

2.2.4 Jätelajien osuudet

Katsotaan tarkemmin jätelajien, paperi-, bio- ja sekajätteen keskinäisiä suhteita. Nämä kolme jätelajia eivät ole riippumattomia, sillä lajittelemattomat bio- ja paperijätteet joutuvat sekajäteluokkaan. Lajien välisiä suhteita selvitetään visuaalisella aineiston tarkastelulla.

Aineistossa perheiden tuottaman jätteen määrä vuodessa vaihtelee noin 100 kg:sta 1500 kg. Seuraavassa kuvassa kokonaisjäte on järjestetty suurimmasta pienimpään ja jokainen jätelaji on erikseen piirretty omaan kuvaajaansa. Koko aineistosta on laskettu keskimääräiset jätelaji-

en osuudet ja piirretty sen mukaan jokaiselle jätelajille keskimääräistä osuutta vastaavat käyrät. Näitä keskiarvokäyriä verrataan sitten mitatusta aineistosta laskettuihin osuuksiin. Tulokset esitetään kuvassa 12.



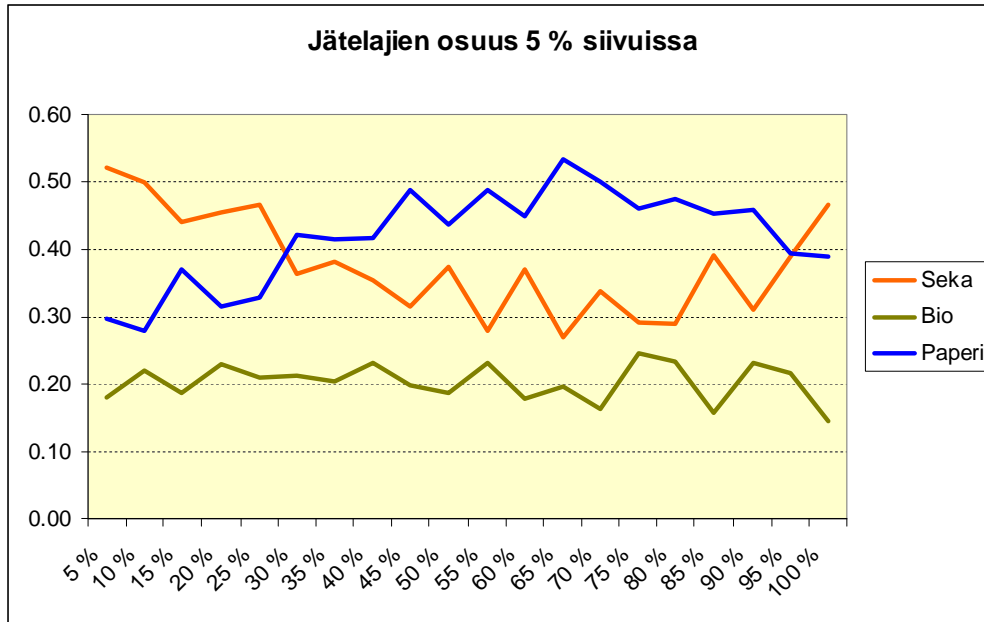
Kuva 12. Jätelajien määrän vaihtelu, kun jätteen kokonaismäärä (Sum) on järjestetty suurimmasta pienimpään. Vaaka-akselilla on perheen järjestysnumero (1= suurin jäte tuottaja, 467 pienin)

Keskiarvokäyrä kuvaa melko hyvin biojätteen vaihtelun keskiarvoa yli aineiston. Se tarkoittaa, että jätemäärästä riippumatta perheet tuottavat ja/tai lajittelevat biojätteen yhtä satunnaisen innokkaasti tai haluttomasti. Arvot jakautuvat tasaisesti keskiarvon molemmin puolin. Nollatuloksia biojätteessä on noin joka viidennellä perheellä. Eli biojätteen erottelussa on paljon parantamisen varaa.

Paperille ja sekajätteelle vastaava menettely ei tuota yhtä tyydyttävää tulosta. Näiden jätelajien kohdalla on nähtävissä selvää systemaattista poikkeamaa keskiarvon ja datapisteiden välillä. Paperijätettä tuotetaan alhaisilla kokonaisjätemäärillä enemmän ja suurilla jätemäärillä vähemmän kuin keskiarvo-osuus ennustaa. Sekajätteellä tilanne on täsmälleen päinvastoin. Nämä tulokset koskevat koko populaatiota, siis kaikkia perheitä ilman minkäänlaista ryhmitteilyä.

Sekajätettä on kaikki se, mikä ei ole paperia tai biojätettä. Jos kotitalous ei lajittele jätteitään, ne menevät sekajätteeksi. Kokonaisjätettä laskettaessa paperi- ja biojäte ovat siten riippumattomia tekijöitä ja sekajäte muodostetaan erotuksena kokonaisjätteistä ja bio- ja paperijätteistä. Tämä näkyy negatiivisena korrelaatiokertoimena sekajätteen ja muiden lajien kesken.

Tarkastellaan aineistoa vielä hieman muokattuna. Koska vaihtelu on suurta perheestä toiseen, on päätelmien teko raakadatasta hankalaa. Sen vuoksi jaetaan aineisto 5 % ryhmiin alkaen suurimmista jätteen tuottajista ja edetään kohti vähiten jätettä tuottavaan kotitalouteen. Lajiosuudet lasketaan keskiarvona em. viiden prosentin otoksesta. Näin päädytään kuvan 13 käyrästöön:



Kuva 13. Jätelajien osuudet keskiarvostettuina 5 % perheosuuksissa. Kuvassa vasemmalla on suurimmat jätemäärät ja oikeassa reunassa pienimmät.

Biojätteellä on tasaisesti 20 % osuus. Sen vuoksi seka- ja paperijätteen osuusmuutokset ovat väistämättä toistensa komplementteja. Paperijätteen suhteellinen määrä pienenee suurilla kokonaisjätemäärillä, jolloin sekajätteen osuus vastaavasti kasvaa. Biojätettä tuottavat suuret jätetuottajat samassa suhteessa kuin pienetkin. Tämä on jonkin verran yllättävä tulos, mutta johtunee puutarhabiojätteestä.

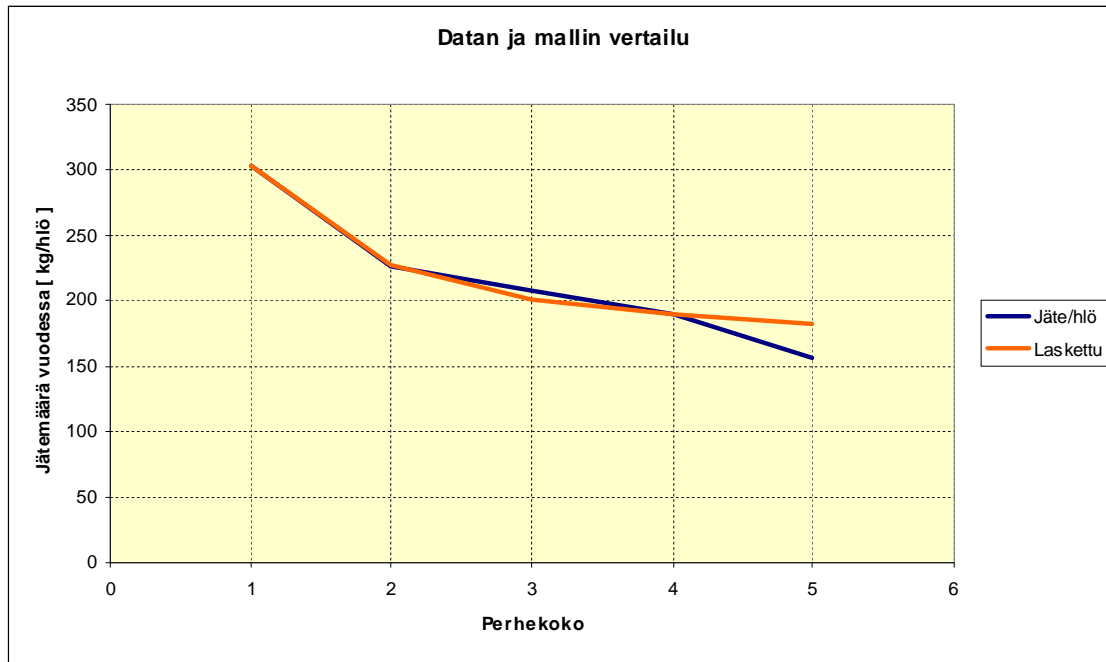
Datan palastelua ei jatketa perhetasolla tämän pidemmälle. Jätelajien suhteiden tarkastelua jatketaan ikäluokkamallin kuvauksen yhteydessä.

2.3 Perheenjäsenet jätteentuottajina

2.3.1 Perhejäte ja henkilöjäte

Vaikka perhe on kotitalousjätetuotannon perusyksikkö, niin laajalti käytetty vertailuluku kotitalousjätteen määrälle on kuitenkin henkeä kohden laskettu jätemäärä. Kotitalouksien koon vaikutus häviää siten näkyvistä, mutta se vaikuttaa vertailuluvun arvoon. Koska tilanne on tämä, niin on ratkaistava kysymys siitä, miten jätemäärään vaikuttava perhe koko tulee laskennassa huomioiduksi.

Kuvassa 14 on esitetty kaksi käyrää. Ensimmäinen käyrä on käytetyn aineiston perusteella laskettu keskimääräinen jätteen tuotanto henkeä kohden kotitalouden koon funktiona. Toinen, vertailukäyrä, on laskettu yksinkertaisella, mutta täysin erilaisella jätetuotantomallilla.



Kuva 14. Kotitalouden koon ja henkilöä kohden lasketun jätemäärän suhde.

Laskettu vertailukäyrä seuraa data-aineistoa hämmästyttävän tarkasti. Se on muodostettu seuraavasti: Yhden hengen kotitalouden jätemäärästä puolet on kiinnitetty kotitalouden perustointojen tuottamiseen ja toinen puoli on kohdennettu asukkaan henkilökohtaiseksi jätteeksi. Monijäsenisessä perheessä kaikki tuottavat tämän saman määrän henkilökohtaista jätettä. Perheenjäsenen tuottama jätemäärä muodostuu siis tästä henkilökohtaisesta osuudesta ja asuntoon liitetystä jätemäärästä. Täsmällisesti seuraavasti (n = perheen henkilöluku):

$$\text{Datasta laskettu arvo: } k_1 = \frac{J_n}{n} \quad (3)$$

$$\text{Vertailukäyrä: } k_2 = \frac{\frac{1}{2} J_1}{n} + n * \frac{1}{2} J_1$$

Asuntoon kiinnitetty jätemäärä jakautuu perheeseen kasvaessa yhä useampaan osaan, mikä näyttäisi johtavan alenevaan jätemäärään perheenjäsentä kohden. Tämä alenema on näennäistä, jos lähdetään määritelmästä, jonka mukaan jokainen perheenjäsen tuottaa aina saman määrän henkilökohtaista jätettä. Kotitalouden ylläpito synnyttää jätteen pohjakuorman, olkoonpa asunnossa yksi tai viisi asujaa. Jos alueen asuntojen määrä pysyy samana, niin väkimäärän kasvaessa jätemäärä kasvaa saman verran jokaisen lisäasukkaan myötä.

Tätä ideaa jakaa asukaskohtainen jätetuotanto kahteen osaan käytetään ikäluokkamallin parametrien laskennassa. Sen avulla perheeseen vaikutus allokoidaan perheen ensimmäiselle aikuiselle ja perhekokoon ei sen enempää tarvitse kiinnittää huomiota.

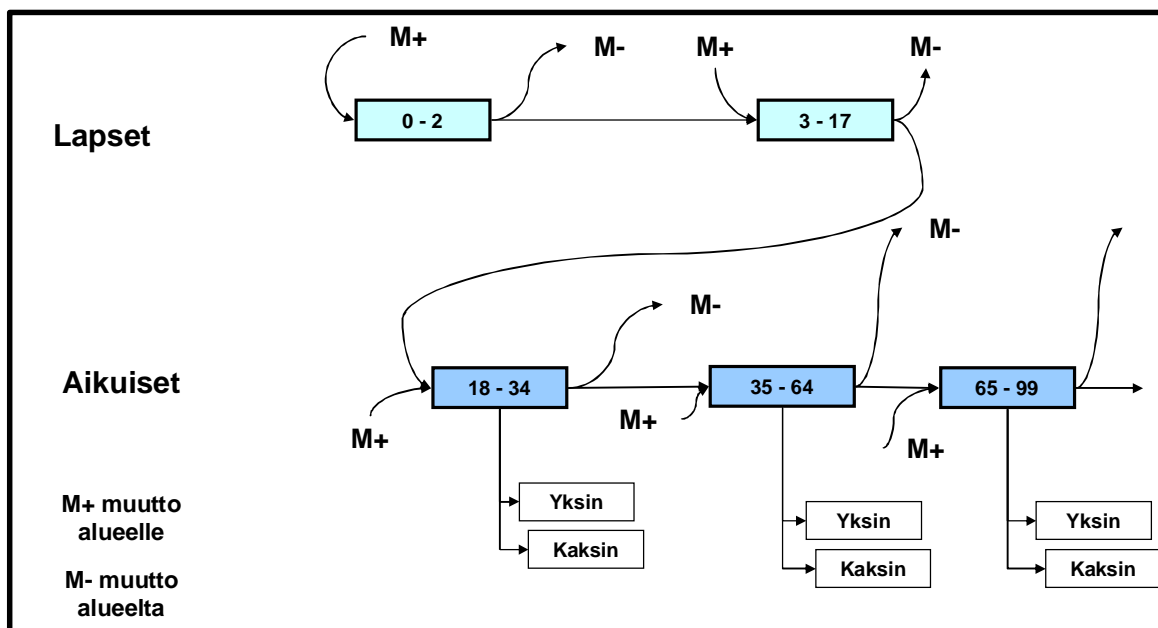
2.3.2 Ikäluokat ja asukasluokat

Väestön jako ikäluokkiin antaa mahdollisuuden erotella eri ikäluokkien kulutustottumuksien ja siten jätetuotannon – piirteitä ja kehitystrendejä. Ikäluokat ovat erilaisissa elämäntilanteissa ja kulutustottumukset vaihtelevat elämäntilanteen mukaan. Ikäluokkamallia kannattaa soveltaa, kun halutaan tutkia, miten jätemäärät muuttuvat kun ikäryhmien osuudet muuttuvat tai ominaisjätetuotanto muuttuu eri tavalla eri ryhmissä. Esimerkiksi eläkeläiset viettävät keski-

määrien enemmän aikaa kotona, minkä seurauksena biojätettä syntyy enemmän kuin koko väestössä keskimäärin. Eläkeläisväestön suhteellisen osuuden kasvaessa kokonaisjättemäärä muuttuu tavalla, jonka huomioiminen ilman ikäluokkamallia on vaikeaa.

Ikäluokkamalli soveltuu myös sukupolvi-ilmiöiden kuvaamiseen. Niillä tarkoitetaan muutoksia, joissa nuori ikäluokka omaksuu jonkin jätetuotantoon vaikuttavan elämäntavan ja pitää siitä kiinni vanhetessaan. Tällöin ikääntymisen myötä myös vanhemmat ikäluokat muuttuvat vastaavasti. Tämä eroaa ikäluokkaan sidotusta muutoksesta siinä, että ikäluokan jätetuotanto ei muutu, vaikka ihmiset muuttuvat.

Laadittavassa mallissa väestö jaetaan viiteen ikäryhmään, jotka ovat vauvat, lapset, nuoret aikuiset, keski-ikäiset ja eläkeläiset. Ikävuosina ryhmät ovat seuraavat (kuva 15): 0-2, 3-17, 18-34, 35-64, 65-99.



Kuva 15 Ikäluokkamalli, joka huomioi myös muutot alueelle ja sieltä pois. Asukasmallissa huomioidaan lisäksi aikuisten asumismuoto joko yksin tai kaksin.

Väestö jakautuu ylimmällä tasolla lapsiin ja aikuisiin. Lapset jaetaan kahteen luokkaan, vauvoihin (vaippaikäisiin) ja nuoriin. Jätetuotannon kannalta on oleellista tämän eron tekeminen, sillä vaipoista kertyy melkoinen vuori jätettä yhdessä vuodessa. 3-17-vuotiaat ovat perheessä kolmansia perheenjäseniä.

Aikuiset jaetaan kolmeen ikäluokkaan kuvan mukaisesti. Vanhin ikäluokka on eläkeläiset, sitä edeltävät keski-ikäiset ja ensimmäinen aikuisikäluokka on nuoret aikuiset. Jaolla tavoitellaan elämänvaiheiden ja kulutustottumusten muutosten kuvauksen osuvuutta. Perhekoko vaikuttaa henkilöä kohden laskettuun jättemäärään. Koska lapset eivät asu yksin, ikäluokka riittää niiden jätetuotanto-ominaisuuksien yksilöimiseen. Aikuiset sen sijaan voivat asua joko yksin tai perheessä. Sen vuoksi jokainen aikuisikäluokka jaetaan kahteen sen mukaan, asuuko aikuinen yksin vai kaksin. Tästä seuraa kolme ikäluokkaa lisää. Tätä kahdeksan luokan kokonaisuutta kutsutaan asukasluokkamalliksi erotuksena viisiluokkaisesta ikäluokkamallista.

Kuvassa on myös esitetty muutot alueelle ja alueelta pois. Niillä on oma vaikutuksensa ikärakenteeseen. Niiden avulla väestörakennetta voidaan joustavasti muuttaa halutunlaiseksi, siis seuraamaan annettua ennustetta täsmälleen.

2.3.3 Ikäluokkien jätekertoimet

Jätekertoimeksi kutsutaan perheenjäsenen vuodessa tuottamaa jätemäärää suhteutettuna alkutilanteen keskimääräiseen jätetuotantoon henkilöä kohden. Jätekertoimien laskenta aloitetaan laskemalla kaikkien tutkimuksessa mukana olevien jätteensä kaikkiin kolmeen luokkaan *lajittelevien* perheiden keskimääräinen jätemäärä. Vain lajittelevat huomioidaan sen vuoksi, että saadaan todellisempi kuva eri jätelajien osuuksista. Jos ei-lajittelijat huomioidaan, niin sekajätteen osuus kasvaa sen todellista arvoa suuremmaksi. Näin laskettuja osuuksia käytetään kokonaisjätteen jakamiseksi lajeihin koko populaatiossa.

Jokaisessa aikuisikäluokassa perheeseen vaikutus huomioidaan kuvan 13 vertailukäyrän mukaisesti siten, että osa jätteestä kohdennetaan kotitalouden perustoimintojen ylläpitoon ja osa tulkitaan henkilökohtaiseksi jätteeksi. Ensin mainittu jäteosuus kohdennetaan jokaisen perheen ensimmäiselle aikuiselle. Ajatellaan siis, että jokaisessa perheessä asuu yksi yksinasuva aikuinen. Yksinasuvia aikuisia on siis yhtä monta kuin tarkasteltavassa yhteisössä on perheitä. Kaikki muut perheenjäsenet ovat lisäjäseniä eli he tuottavat vain henkilökohtaisen jätemäärän. Aikuisten jätetuotantoa laskettaessa on määriteltävä, onko kyseessä perheen ensimmäinen vai toinen aikuinen. Tätä piirrettä kutsutaan tässä säädyksi. Se voi saada arvons yksin tai toinen (aikuinen).

Jätekertoimien määrittäminen aloitetaan yksinasuvista aikuisista. Yksinasuvien aikuisten jätekertoimet lasketaan jätteensä lajittelevien joukosta. Jättemääristä lasketaan keskiarvot kullekin ikäryhmälle. Jokaisessa ikäryhmässä yksinasuva aikuinen on kotitalouden ensimmäinen jäsen. Seuraavaksi lasketaan lapsettomien pariskuntien jättemäärät ikäluokittain. Pariskunta luokitellaan ikäryhmään vanhemman osapuolen iän mukaan. Toisen aikuisen tuottama jätemäärä lasketaan pariskuntien jättemäärästä siten, että ensin kokonaismäärästä vähennetään samaan ikäluokkaan kuuluvan yksinasuvan aikuisen jättemäärä ja jäljelle jäävä erä on toisen aikuisen jättemäärä.

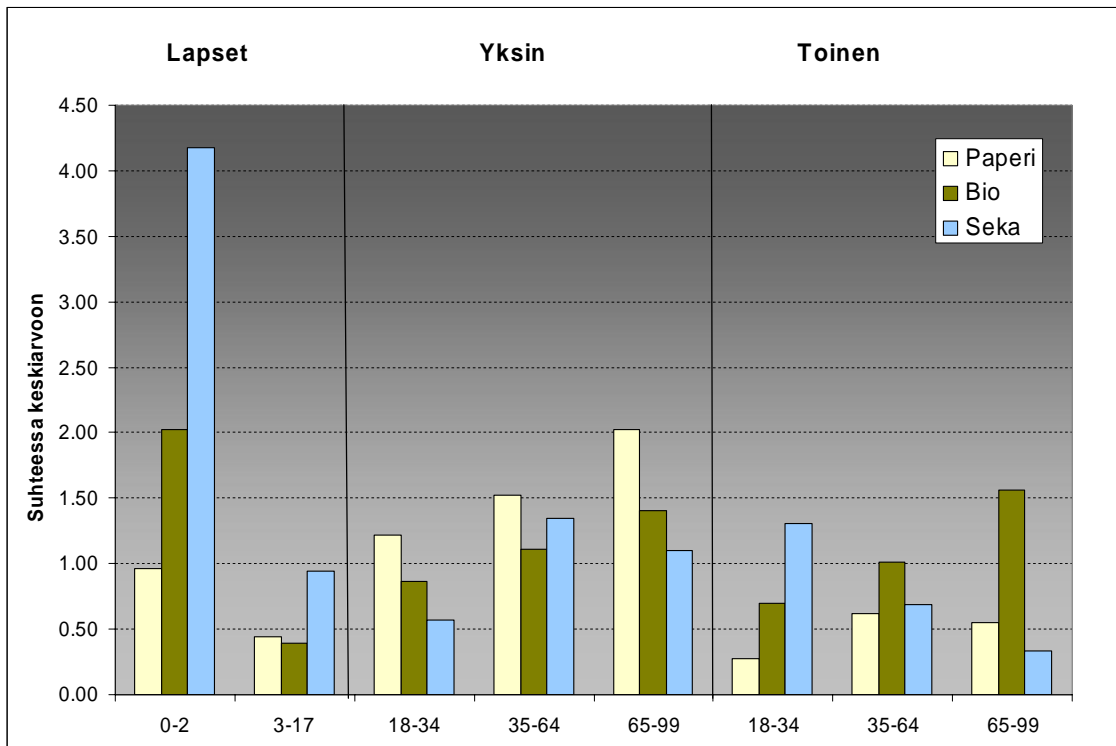
Perheen kolmannen henkilön jättemäärän laskenta jaetaan kahteen osaan: vauvoihin ja nuoriin. Vauvojen jätetuotto lasketaan nuorten aikuisten ikäryhmästä siten, että valitaan ne kotitaloudet, joissa on kaksi sopivan ikäistä vanhempaa ja yksi vauvaikäinen. Lasketaan näiden perheiden jättemäärät yhteen lajeittain. Kustakin lajisummasta vähennetään yhtä monen samanikäisen lapsettoman pariskunnan jättemäärä. Jäljelle jäävä erotus tulkitaan vauvan aiheuttamaksi jättemääräksi.

Muut kolmannet henkilöt ovat lapsia ja/tai nuoria aikuisia. Näiden tuottama keskimääräinen jätemäärä lasketaan kuten vauvan jättemäärä sillä erotuksella, että tämä tehdään keski-ikäisten vanhempien ikäryhmässä. Tällaisia perheitä on käytössä olevassa aineistossa juuri tässä ikäryhmässä.

Yksinhuoltajat ovat vielä oma ryhmänsä. Kun lasketaan lapsen jättemäärä käyttämällä huoltajalle yksinasuvan aikuisen jätetuottoa, saadaan tulos, jossa seka- ja biojätteen määrät ovat jollain lailla linjassa yleisen kolmannen perheenjäsenen kanssa, mutta paperijätteen määrä poikkeaa siitä olennaisesti alaspäin. Mieluummin kuin luodaan uusi kotitalousluokka, yhdistetään yksinhuollettujen lasten jättemäärä muiden perheiden kolmansien jäsenten jätetuottoon luku-

määräpainokertoimen avulla. Tämä tarkoittaa jatkoa ajatellen sitä, että yksinhuoltajuuden oletetaan pysyvän yhtä yleisenä tulevaisuudessa.

Yllä lasketuista kilomääristä siirrytään suhteellisiin jätemääriin jakamalla kunkin luokan kilomäärät koko aineiston keskimääräisillä luvuilla. Tulokseksi saadaan kuvan 15 mukainen ryhmittely.



Kuva 15. Jättekertoimet ikäluokittain. Toinen-luokka tarkoittaa toisen aikuisen tuomaa lisäjättemäärää, ei keskimääräistä kahden aikuisen jätemäärää.

Vauvat erottuvat muista perheenjäsenistä ylivoimaisella jätetuotannollaan. Sekajätteen suuri määrä selittyy vaipoilla ja biojätteen määrä kotona vauvaa hoitavalla vanhemmalla.

Lapset, 3-17 vuotta, jotka ovat perheen kolmansia, neljänsiä, ... jäseniä, tuottavat keskimärin kaikkein vähiten jätettä. Jäteprofiili muistuttaa nuorten aikuisten muodostaman perheen toista aikuista

Nuoret yksinasuvat aikuiset, 18-34 vuotta, tuottavat keskiarvoon verrattuna vähän jätettä, koska he viettävät paljon aikaa kodin ulkopuolella ja heillä on vähemmän rahaa kuin kulutus halua. Tämän ikäryhmän toisen aikuisen jäteprofiili on peilikuva yksinasuvan jäteprofiilista. Toinen aikuinen lisää tässä ikäryhmässä kotona tuotetun jätteen määrää. Syitä on useita: Kaksin asuminen mahdollistaa kotitalouden perustoimintojen kustannusten jakamisen, minkä johdosta rahaa jää enemmän muuhun kuluttamiseen; kaksin asuminen lisää myös kotona vietettyä aikaa, koska kodin läpi virtaa suurempi määrä jätettä, minkä sekajätteen huomattava lisääntyminen yksinasumiseen verrattuna paljastaa. Paperijätteen määrä lisääntyy vain vähän toisen aikuisen myötä.

Keski-ikäiset, 35-64 -vuotiaat, muodostavat sängen suuren joukon luokan ikähaitarin laajuudesta johtuen. Jo luokan suuren koon vuoksi siihen kuuluvat ovat keskimääräisiä jätetuottajia. Sekajätettä tämän ikäryhmän jäsenet tuottavat aikuisista eniten. Toinen tämän ikäinen saman

talouden aikuinen lisää erityisesti biojätteen määrää, mikä indikoi kotona olemisen ja kotona syömisen lisääntymistä yksinasumiseen verrattuna.

Eläkeläiset ovat paljon kotona, mikä lisää erityisesti biojätteen määrää. Paperijätettä syntyy myös paljon, mutta ”yleiseen kulutukseen” liittyvä sekajätteen määrä on sitä vastoin keskiarvoa alhaisempi.

Yksinasuvien aikuisten tuottaman paperi- ja biojätteen määrä kasvaa iän kasvaessa. Sekajätteelle käy päinvastoin: materiaalin kierto kodin läpi vähenee eläkkeelle siirryttäessä. Toisen aikuisen jätetuotanto on biojätteen osalta samanlainen kuin yksinasuvan: jätteen määrä kasvaa iän myötä heijastellen kotona olemisen määrää. Sekajätteelle käy päinvastoin ja paperijäte käyttäytyy kuten sekajäte yksinasuvien ryhmässä.

2.4 Päätelmiä data-aineistosta

Kun aineisto luokiteltiin ikäluokan, perheeseen ja tuloluokan mukaan, niin luokittelukriteeristä riippumatta jokaisessa luokassa jätemäärän vaihtelu luokan keskiarvon ympärillä on suurempaa kuin vaihtelu luokkien keskiarvojen välillä. Tämä vaihtelu johtuu perheiden elämäntapavalinnoista. Jokaisessa luokassa on perheitä, jotka elävät sangen niukkamateriaalista elämää ja vastaavasti niitä, joiden asuntojen kautta virtaa melkoinen tavaroiden kymi. Osa tästä materiaali- ja energiavirrasta muuttuu jätevirraksi.

Ei ole tiedossa, mistä tekijöistä elämäntapa kaikkiaan koostuu, mutta mittauksen ansiosta tiedetään, kuinka suurta jätemäärän perhekohtaista vaihtelua se kohdeväestössä aiheuttaa. Tätä tietoa voidaan käyttää sen arvioimiseen, kuinka paljon jätemäärät voivat muuttua eri oletuksilla.

3 Mallin rakenne ja toiminta

3.1 Mallikokonaisuus

Laadittu malli voidaan jakaa periaatteellisesti kolmeen osaan: (1) Jätettä tuottavaan väestöön ja sen kuvaukseen mallissa; (2) jätemääriin vaikuttavien tekijöiden vaikutustapa; ja (3) muutoksen dynamiikka. Mallin käyttöä helpottamaan on laadittu käyttöliittymä, jossa voi asettaa useimmin muutettavia lähtöarvoja ja tarkastella tuloksia. Ohessa on lyhyt kuvaus kustakin osa-alueesta.

Väestö jaetaan ikäluokkiin ja aikuisväestöllä on jokaisessa ikäluokassa kaksi mahdollista olo-tilaa: asua yksin tai perheen toisena aikuisena. Yksinasuvan aikuisen jätemäärä sisältää kotitalouden toiminnan perusjätemäärän ja siksi jokaisessa perheessä on yksi yksinasuva aikuinen, jolle asuntokohtainen perusjätemäärä kohdennetaan. Tämä rakenne huomioi perheeseen vaikuttavien tekijöiden vaikutuksen jätteen määrään. Kaikki muut perheenjäsenet tuovat perheeseen ikäluokan mukaisen jätemäärän. Väestöstä huomioidaan siis ikärakenne ja perhekoko. Kokonaisjätemäärä saadaan summaamalla väestö ikäluokittain.

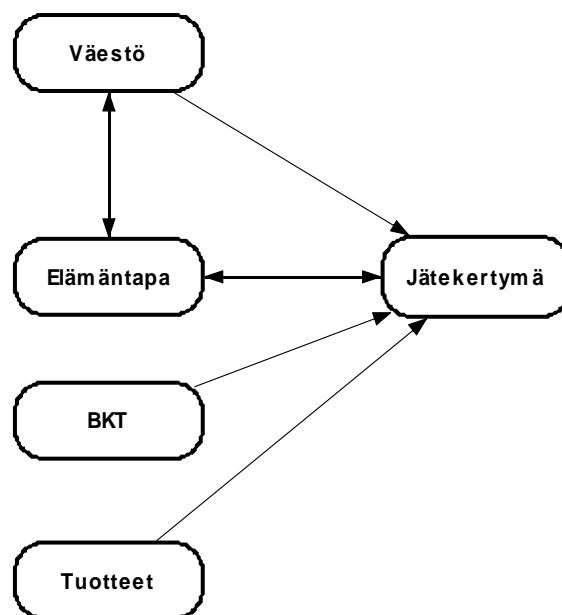
Jätemääriin vaikuttavat tekijät ovat väestötekijät, elämäntapavalinnat ja ulkoiset muutostekijät. Väestötekijöitä ovat ikä, perhekoko ja väestön määrä ikäluokittain. Elämäntapavalinnat koostuvat paperin käytön muutoksista, yleisestä jätemäärien vähentämisestä (dematerialisaa-

tio) ja lajitteluaktiivisuudesta. Ulkoisia muutostekijöitä ovat väestötekijöiden lisäksi talouden kasvunopeus, joka heijastuu perheiden käytettävissä olevina tuloina, ja tuotemuutokset, jotka vähentävät jätteen määrää ilman, että asukkaiden tarvitsee muuttaa omaa elämäntapaansa. Perheen jätemäärää lisää ainoastaan talouden kasvu. Tarkasteltavan alueen jätemäärää kasvat-
taa väestön kasvu. Muut tekijät vaikuttavat jätteen määrää vähentävästi.

Jätekertymään vaikuttavat tekijät voidaan ryhmitellä kolmeen luokkaan: väestöön, teknis-
taloudelliseen kehitykseen ja elämäntapaan liittyviin tekijöihin. Väestövaikutusten ryhmään
kuuluvat väestön kokonaismäärän muuttuminen sekä eri väestöluokkien, kuten ikä- ja perhe-
kokoluokkien, suhteelliset muutokset. Taloudellista kehitystä tarkastellaan BKT per capita -
indeksin muutoksena ja tekninen kehitys liittyy tuotteiden materiaali-intensiivisyyden muu-
toksiin, jotka joko lisäävät tai vähentävät jätemäärää ilman kuluttajien käyttäytymismuutosta.
Elämäntapojen muutoksista huomioidaan ensinnäkin paperin käytön mahdollinen syrjäytyymi-
nen sähköisen median käytön kasvun myötä. Toiseksi huomioidaan luvun 2 data-aineiston
analyysin perusteella jätettä vähentävänä tekijänä niukkamateriaalisen elämäntavan yleisty-
minen. Kolmas mahdollinen elämäntapamuutos on lajitteluaktiivisuuden kasvu. Sen vaikutus
ulottuu ainoastaan kerättävän jätelajijakauman muutoksiin tuotetun jätemäärän pysyessä
muuttumattomana.

Muutoksien dynamiikka kuvataan neljällä eri tavalla: Bassin diffuusiomallilla, sukupolvidy-
namiikkaa kuvaavalla mallilla, prosentuaalisen kasvun mallilla ja lineaarisella mallilla. Nämä
tekijät yksin tai yhdessä vaikuttavat siihen, miten muutokset toteutuvat. Muutokset huomioi-
daan indekseinä tai kertoimina. Lähtökohdaksi otetaan alkutilanteen jätemäärä ja lajijakauma
ja alkutilanteen arvoja muokataan kertomalla alkuperäinen arvo muutosindeksillä. Muutoksia
kuvataan mallissa suhteessa alkutilanteen arvoihin

Mallin keskeiset rakenneosat on esitetty kuvassa 16. Kuvassa näkyvät moduulit muodostavat
korkeimman hierarkiatason rakenteen. Kukin moduuli jakautuu tarpeen mukaan alemman ta-
son moduuleihin.



Kuva 16. Mallin rakenne ylimmällä hierarkiatasolla.

Seuraavassa käydään malli läpi moduuli moduulilta sellaisella tarkkuudella, että lukijan on
mahdollista ymmärtää periaatteellisella tasolla, miten laskenta tapahtuu. Esitys on pääasiassa

epätekninen ja kuvaileva. Liitteessä A on yksityiskohtaisemmin kuvattu muutama mallin lähestymistavan kannalta oleellinen seikka. Malli on toteutettu Analytica-nimisessä mallitusympäristössä, jossa mallin voi dokumentoida malliin omiin rakenteisiin. Se on siinä mielessä mukavaa, että dokumentti seuraa aina mallin mukana, eikä erillistä dokumenttia tarvita.

3.2 Käyttöliittymä-moduuli

Nimensä mukaisesti tähän moduuliin on koottu useimmin muutettavat tekijät. Kullekin annetaan arvo valitsemalla alavetovalikosta sopiva luku, tai vaihtoehtoisesti valitaan kaikki, jolloin malli laskee automaattisesti tuloksen kaikilla valikon arvoilla.

Lähtöarvot on luokiteltu kolmeen osaan, jotka ovat väestötiedot, teknis-taloudelliset tekijät ja elämäntapavalinnat. Tuloksista on valittu näytettäväksi vain kaksi keskeisintä: Kokonaisjätteen määrän kehittyminen yli ajan ja eroteltuna kolmeen jätelajiin.

Väestötietoja on kolme:

1. Väestöskenaariot. Näitä ovat perus, hidas ja nopea. Väestö kuvataan viidellä ikäryhmällä ja kunkin väestöryhmän määrä tuhansina ilmoitetaan viiden vuoden välein.
2. Yksinasujien osuus. Se kuvaa kuinka suuri osa aikuisista asuu yksin. Valittavana on kolme skenaariota, perus, vähenee ja kasvaa, jotka kukin antavat yksinasujien osuuden viiden vuoden välein.
3. Jättemäärä henkilöä kohden. Se tarkoittaa nykyhetken keskimääräistä jätetuotantoa kohdepopulaatiossa.

Elämäntapavalinnat määritetään myös kolmen tekijän avulla:

1. Nuorten aikuisten paperinkäyttö. Paperinkäytön väheneminen kohderyhmässä annetaan osuutena nykyisestä käytöstä (jättemäärästä). Valikossa valittavina arvot nolasta 75 %:iin.
2. Perheet, jotka muuttavat elämäntapansa. Tällä kuvataan sitä osuutta perheistä, alkaen suurijätteisimmistä, jotka muuttavat elämäntapaansa siten, että kussakin perheko- ja -ikäluokassa määritelty osuus perheistä leikkaa jätetuotantoaan sille tasolle, joka on sillä perheellä, joka on suurin jätetuottaja siinä joukossa, joka ei kuulu valittuun suurijätteisimpään perheryhmään.
3. Lajitteluaktiivisuuden paraneminen. Tässä määritellään se, kuinka suuri osuus parannuspotentiaalista realisoituu. Kohdistuu yhtä suurena suhteellisena osuutena kaikkiin jätelajeihin.

Teknis-taloudellisia tekijöitä on kaksi:

1. BKT:n vuosikasvu. Määritellään prosentteina vuodessa.
2. Tuotteista vähemmän jätettä. Tämä kohdistuu vain sekajätefraktioon. Valikosta valitaan luku, joka kertoo, kuinka monta prosenttia vähemmän jätettä syntyy samasta kulutuksesta tarkastelujakson lopussa pelkästään siksi, että tuotteet ovat toisenlaisia. Kuluttajat eivät muuta käyttäytymistään.

Tuloskuvia on kaksi:

1. Kokonaisjäte. Se kuvaa kokonaisjätteen määrää yli ajan tonneina.
2. Kerätty lajeittain. Jätteen määrä yli ajan jaoteltuna kolmeen jakeeseen.

Jos kaikista muutettavista tekijöistä valitaan kaikki vaihtoehdot, malli laskee kaikkiaan 13500 tapausta. Aikaa ei siihen kulu joitain sekuntia enempää. Tulosten tarkasteluun on syytä varata aikaa huomattavasti enemmän.

3.3 Jättekertymä-moduuli

Tämä moduuli kokoaa kaikki jättekertymään vaikuttavat tekijät ja laskee niiden perusteella jättekertymän yli ajan. Laskenta etenee vaiheittain seuraavasti: Ensin alkutilanteen jätemäärä skaalataan kohdalleen käyttäjän antaman lähtötilanteen mukaiseksi **Jättekertymä**-moduulissa. Sen jälkeen jokaisen jätemäärään vaikuttavan tekijän vaikutus huomioidaan indeksikertoimin. Lopputuloksena saadaan kokonaisjättekertymä sekä keskimäärin henkilöä kohden tuotettu jätemäärä yli ajan. Tulokset lasketaan sekä lajeittain että yhteensä. Kun lajikertymää muokataan lajitteluaktiivisuudella, päädytään lajikohtaisiin jätemääriin. Seuraavassa käydään läpi tämä ketju hieman täsmällisemmin.

Mallissa luokkien jätemäärät määritellään suhteessa kohdealueen keskimääräiseen jätetuotantoon. Malliin käyttäjä antaa tämän tiedon *KeskiarvoNyt*-muuttujalle.

Ikäluokalla viitataan viisiluokkaiseen kokonaisuuteen ja asukasluokkakokonaisuus kattaa kaikki kahdeksan ikä- ja säätyluokkaa. **Jätetiedot**-moduulissa malli kalibroidaan ja se tuottaa asukasluokakohtaisen lähtöarvon $J^i(0)$ **Jättekertymä**-moduuliin:

$$J^i(t) = A * K^i * S \quad (4)$$

missä A on käyttäjän antama keskiarvojätemäärä alkuhetkellä, S on kalibrointikerroin ja K^i on asukasluokakohtainen jätekerroin. Erillisselvityksien tiedoista laskettua jätekerrointa skaalataan siten, että se vastaa ajantasaisinta käsitystä jätemäärästä suuruudesta kohdejoukossa.

Jätteen määrä lasketaan siten, että tarkastellaan yhden asukkaan keskimäärin tuottamaa jätemäärää vuodessa. Kokonaisjätemäärä saadaan tästä yksinkertaisesti kertomalla tämä luku asukasmäärällä. Keskimääräinen vuosijättemäärä lasketaan painotettuna keskiarvona yli asukasluokkien. Painokertoimina käytetään kunkin asukasluokan osuutta koko väestöstä.

Jätteen määrän laskennassa perhekoko huomioidaan siten, että jokaisessa perheessä yksi jäsen tuottaa jätettä kuten ko. aikuisikäluokan yksinasuva. Tästä seuraa, että ns. yksinasuvia on yhtä paljon kuin perheitä. Ne aikuiset, jotka eivät asu yksin, asuvat perheen toisina aikuisina, eli ns. kaksin. Käyttäjän antaa lähtötietona yhden hengen perheiden *osuuden*, $h(t)$, kaikista perheistä. Sitä merkitään symbolilla s_j . Osuus aikuisista, jotka asuvat monijäsenisissä perheissä, on tällöin $1 - s_j$. Jättemäärän laskennan kannalta yksinasuvia ovat aidosti yksinasuvat ja monijäsenisen perheen ensimmäiset aikuiset. Aidosti yksinasuvien osuuteen pitää siis lisätä puolet kaksinasuvien aikuisten määrästä, jotta päädytään (jätemäärän laskennan kannalta) yksinasuvien kokonaisuuteen. Perheiden toisten aikuisten painokertoimeksi jää siten puolet kaksinasuvien aikuisten määrästä. Yllä oleva tarina voidaan tiivistää laskentakaavaksi 5:

$$s_1(t) = h(t) \quad (5)$$

$$s_2(t) = 1 - s_1(t)$$

$$\rho_1(t) = s_1(t) + \frac{1}{2}s_2(t)$$

$$\rho_2(t) = \frac{1}{2}s_2(t)$$

Yllä oleva kaava kirjoitetaan jokaiselle aikuisikäluokalle.

Jokaiselle jätelajille voidaan kirjoittaa summa yli asukasluokan i jäsenien:

$$J(t) = \sum_i J^i(t) * \rho^i(t) * \prod_m f_m^i(t) \quad (6)$$

f_m :llä on merkitty jätemäärään vaikuttavan tekijän m vaikutus indeksinä. Vaikutusindeksin suuruus lasketaan suhteessa alkuhetken jätemäärään. f :n arvo yksi vastaa tilannetta, jossa vaikutusta ei ole. Vaikuttavien tekijöiden joukko m koostuu seuraavista alkioista:

$$m = \{ \text{paperin käyttö, dematerialisaatio, tulotaso, tuotemuutokset} \}$$

Tulotasolla tarkoitetaan perheen bruttotulotaso tai pikemminkin siinä tapahtuvaa muutosta. Sähköinen media tarkoittaa sähköisten informaatio- ja viihdepalveluiden lisääntyvää osuutta printtimedian kustannuksella. Dematerialisaatiolla viitataan siihen mahdolliseen elämäntapamuutokseen, jonka luvun kaksi data-analyysi toi esille: kaikissa luokissa on mahdollista elää vähemmän jätettä tuottaen. Tuotemuutokset tarkoittavat asukkaiden käyttämien tuotteiden muutoksia, jotka muuttavat jätevirtaa ilman, että kuluttaja muuttaa omassa elämässään mitään.

Kun tiedetään asukkaan keskimäärin lajeittain tuottaman jätteen määrä, niin kertomalla tämä asukkaiden määrällä, päädytään jätteen kokonaismäärään. Mutta näin saatu tulos ei ole vielä se määrä, joka joutuu lajikohtaisiin keräysastioihin. Sen laskeminen edellyttää lajitteluosuiden huomioimista. Sekajätteen määrä kasvaa epätäydellisen lajittelun johdosta ja paperin ja biojätteen määrät vastaavasti vähenevät. Jos merkitään β_k :lla bio- ja paperijätteen lajitteluosuutta, niin bio- ja paperiastian (alaindeksi k) kertyy

$$J_k^\beta(t) = \beta_k(t) J_k(t) \quad (7)$$

määrä jätettä ja sekajäteastian joutuu näitä jätelajeja määrä

$$\Delta J_{seka}(t) = \sum J_k(t)(1 - \beta_k(t)) \quad (8)$$

jolloin sekajätettä syntyy yhteensä

$$J_{seka}(t) = J_{seka}(t) + \Delta J_{seka}(t) \quad (9)$$

missä ensimmäinen termi viittaa ”aidon” sekajätteen määrään.

3.4 Väestömoduuli

Väestömoduuli jakautuu kahteen osaan: *Ikäluokat*-moduuliin ja *Yksinasuvat*-moduuliin. Ensin mainitussa osassa malli laatii väestön rakenneurat käyttäjän antamien lähtöarvojen mukaisesti.

Yksinasuvien moduulissa määritellään aikuisten sääty (asuko yksin vai kaksin) ja miten näiden säätyluokkien suhde kehittyy yli ajan. Jokaisessa perheessä on yksi yksinasuva aikuinen (huomioi kotitalouden pyörittämisen perusjätemäärän) ja sen lisäksi mahdollisesti toinen aikuinen, kuten luvussa 2 on kuvattu.

3.4.1 Ikäluokat ja asukasluokat

Väestön rakenne määritellään ikäluokkiin kuuluvien asukkaiden lukumäärillä ja niiden kehittymisenä yli ajan. Ikäluokkamoduulin syötteinä annetaan vaihtoehtoiset kehitysarat väestön kehittymiselle eri ikäluokissa. Nämä tiedot syötetään *Väestö*-nimiseen tauluun. Ikäluokkien pituudet vuosissa syötetään *Luokan pituus* -taulukkoon. Tämän tiedon avulla lasketaan vuotuinen siirtymä ikäluokasta toiseen. Ohjausparametrilla *ValittuSken* valitaan haluttu väestöskenaario tarkasteluun.

Ikäluokkien lähtötiedoista lasketaan kunkin ikäluokan i asukasmäärä N ja osuus r koko väestöstä jokaisena vuotena.

$$r_i(t) = \frac{N_i(t)}{N(t)} \quad (10)$$

Lisäksi lasketaan alueelle muuttavien ja sieltä lähtevien asukkaiden lukumäärät. Tällä on merkitystä sen kannalta, miten muuttuvat elämäntavat siirtyvät ikäluokasta toiseen.

3.4.2 Yksinasuvat

Yksinasujat-moduulin syötteinä annetaan vaihtoehtoiset kehitysarat yksinasuvien aikuisten osuudesta taulukkoon *YksinData* koko aikuisväestöstä ja ohjausparametrilla *Yksinasujat* valitaan haluttu skenaario tarkasteluun. Eläkkeellä olevien yksinasujien osuus eläkeläisväestössä alkuhetkellä käyttäjä määrittelee *Eläkeläiset yksin* -parametrilla.

Malli toimii siten, että ensin lasketaan eläkeläisyksinasujien määrä moduulissa *El-Yksin*. Eläkeläisten yksinasuminen muuttuu sen mukaan, kummassa säädyssä (yksin vai kaksin) keski-ikäiset eläkeläisiksi muuttuvat. Yksinasuminen on eläkeläisväestössä luonnollisesta syystä tasapainotilanteessa yleisempää kuin keski-ikäisten joukossa. Malli toimii sukupolvimuutoksen dynamiikalla, mitä on kuvattu liitteessä B: Eläkeläisten yksinasumisen määrä muuttuu sen mukaan, missä säädyssä eläkeläiseksi siirrytään.

Työikäisten yksinasujien määrä lasketaan käyttäjän antaman skenaarion ja eläkeläisyksinasujien erotuksena. Työikäisten yksinasuvien osuuden yläraja määräytyy lapsien lukumäärän mukaan: jokaisella lapsella on 1,8 aikuista. Se vastaa nykyistä tilannetta lapsiperheiden koon ollessa keskimäärin 2,81 (Tarvainen, 2010). Parametrin arvon voi toki muuttaa mallin käyttäjän näkemyksen mukaiseksi. Lapsiperheiden määrä seuraa siitä, millainen väestöskenaario laaditaan.

Yksinasuvien osuuden muutos vaikuttaa lapsettomien pariskuntien, siis toisten aikuisten, lukumäärään. Taustaoletuksena on yksinhuoltajuuden pysyminen nykytasolla. Jos yksinasumisen lisääntyminen perustuisi pelkästään lapsiperheiden muuttumisesta yksinhuoltajaperheiksi, täytyisi lapsiperheitä hajottaa kaksinkertainen määrä verrattuna lapsettomien parien hajoamiseen, sillä lapsettoman parin hajottaminen tuottaa kaksi yksinasuvaa kerralla. Vaikutus jätemääriinkin olisi tällöin kaksinkertainen.

3.5 BKT-moduuli

BKT-moduuli on suora sovellus luvussa 2 kuvatussa funktion sovitukselta. BKT-indeksi lasketaan jätemäärän tulojoustoparametrin λ avulla:

$$f_{BKT} = \frac{J}{J_0} = \left[\frac{B}{B_0} \right]^\lambda \quad (11)$$

missä J on jätemäärä ja alaindeksi 0 viittaa lähtötilanteeseen. B on perheen bruttotulot vuodessa.

B :n arvo kehittyy kasvuodotusten mukaisesti. Tulojen vaikutus kaikkiin jätelajeihin on oletusarvoisesti sama. Mallissa on valmiiksi rakenne, joka mahdollistaa talouskasvun vaikutuksen kohdentamisen jätelajikohtaisesti, jos tietoa tästä myöhemmin saadaan.

3.6 Tuotteet-moduuli

Kuluttajat ostavat haluamansa tarjolla olevien tuotteiden joukosta. Jos tuotteet muuttuvat enemmän tai vähemmän pakkausmateriaalia sisältäviksi, niin jätemäärä muuttuu ilman, että kuluttajan täytyy muuttaa käyttäytymistään. Samoin, jos tuotteen elinkaari lyhenee tai pitenee, niin tämä näkyy jätemäärän muutoksena. Jätelajijakauma muuttuu myös, jos esimerkiksi pakkausmuovi vaihtuu kartonkiin ja terästölkki lasiseen. Aikanaan maitoa myytiin irtomaitona suoraan asiakkaan kannuun. Sitten se pakattiin muovisiin litran pusseihin. Kun vuotavista pusseista oli riittävän pitkään kärsitty, niin oltiin valmiita maksamaan maitolitrasta hieman enemmän ja siirtymään kartonkitölkkeihin. Jättemäärät ja lajijakaumat ovat muuttuneet vastaavasti.

Mallissa ei lähdetä ennakoimaan mitään suuria ja radikaaleja muutoksia, vaan edetään tasaisen kasvun (tehostumisen) mukaisesti. Se tarkoittaa, että käyttäjä määrittelee parametrilla *TuoteTehostus* simulointijakson loppuun mennessä oletetun jätemäärän vähenemisen prosentteina nykyisestä. Tässä tarkoitetaan sellaisia muutoksia, jotka tapahtuvat pakkausmateriaalin vähenemisenä tms. muutoksena siten, että kuluttajan ei tarvitse tehdä käyttäytymismuutoksia. Malli laskee tämän jälkeen automaattisesti tämän tehostumispotentialin toteutumisen viidellä eri toteutumisoletuksella [0, 25%, 50%, 75%, 100%].

Vaikutus kohdistetaan vain sekajätefraktiolle. Kehityksen oletetaan olevan lineaarista. Merkinnot: φ = käyttäjän antama tehostuminen (esim. 15 %); $r(t)$ = tehostumiskerroin; T_0 = simuloinnin alkamisvuosi ja T_f = simuloinnin viimeinen vuosi:

$$r(t) = 1 - \varphi * \frac{t - T_0}{T_f - T_0}$$

$$f_{tuote}(t) = r(t) * f_{tuote}(T_0) \quad (12)$$

3.7 Elämäntapa-moduuli

Asukkaiden elämäntapa vaikuttaa merkittävästi syntyvään jätemäärään, kuten luvussa 2 kävi ilmi. Yksin asuminen, joka on elämäntapavalinta, käsitellään mallissa väestömoduulissa. Tässä moduulissa huomioidaan seuraavat elämäntapavalinnat:

- Valinta sähköisen ja paperisen informaatio- ja viihdemuodon välillä
- Lajitteluosuuden muutokset
- Siirtyminen niukkamateriaalisemman elämäntavan suuntaan

Uuden elämäntavan omaksuminen populaatiossa ei etene suoraviivaisesti, vaan diffuusiomallin mukaan. Se tarkoittaa, että kehitys on alussa hidasta, kiihtyy sitten voimakkaan kasvun kaudeksi ja lopuksi muutos hidastuu niin, että viimeiset omaksuvat uuden toimintatavan vasta huomattavan myöhään edelläkävijöihin verrattuna. Merkittävin asiaa eteenpäin vievä voima on ystävien ja tuttavien vaikutus. Informaation jakaminen ja mainostaminen saavat aikaan muutoksen alkusysäyksen. Sen jälkeen kaikki riippuu siitä, mitä kaverit kertovat. Elämäntapavalinnan vaikutuslaskennan alkuarvot määritellään *Elämäntapa*-moduulissa.

3.7.1 Paperin syrjäytyminen sähköisellä medialla

Tämä kokonaisuus muodostuu kahdesta moduulista, *Infoviihde* ja *PapKäyttö*. *Infoviihde*-moduulissa lasketaan, miten nuorten aikuisten alati sähköistyvä ja paperia syrjäyttävä elämäntapa syrjäyttää paperia myös vanhemmissa ikäluokissa. Omaksuminen etenee Bassin diffuusiomallin (Liite A) mukaisesti nuorten aikuisten ikäluokassa.

PapKäyttö-moduulissa kuvataan, miten paperin käyttö eri ikäluokissa muuttuu, kun ihmiset näissä luokissa muuttuvat ajan myötä. Tämä muutos tapahtuu sukupolviuudoksen dynamiikkaa (Liite B) noudattaen. Vaikka nuorten aikuisten luokassa ei tapahtuisi siirtymistä sähköisen median suuntaan, niin sukupolviuudoksen tapauksessa tulee aiheuttamaan suuren muutoksen paperin käytössä.

Sukupolviuudoksen aikuisikäluokissa etenee siten, että ikäluokkaan siirtyy nuoremasta ikäluokasta vähemmän paperijätettä tuottavia ihmisiä ja siitä poistuu luokan keskimääräisen määrän paperijätettä tuottavia asukkaita vanhempaan luokkaan. Luokan keksimääräinen paperijätteen määrä henkeä kohden alenee koko ajan. Lasten paperijätteen tuotanto seuraa vanhempien paperijätteen tuotantomäärää.

Käyttäjä valitsee valikosta *Nuorten papVähenee* -nimiselle muuttujalle arvon, joka kuvaa nuorten aikuisten paperijätteen arvioidun suhteellisen (0-100%) aleneman simulointijaksolla. Vanhemmissa ikäryhmissä tapahtuu sukupolviuudoksen tapauksessa, vaikka ajuriluokassa ei mitään tapahtuisikaan, sillä nykyisinkin nuorten aikuisten paperijätteen tuotanto on paljon alhaisempi kuin vanhemmilla ikäryhmillä. Sukupolviuudoksen voi laittaa pois päältä. Se tapahtuu napsauttamalla *PapKäyttö*-moduulissa *Sukupolviuudoksen*-vakion arvon tilasta ”Kyllä” tilaan ”Ei”.

3.7.2 Lajitteluosuus

Lajitteluaktiivisuus (tai lajitteluosuus) on elämäntapavalinta ja samalla mahdollinen skenaarioparametri. Se vaikuttaa paperin ja biojätteen kerättyyn määrään, mutta jätteen kokonaismäärään sillä ei ole vaikutusta. Ei-lajiteltu osa näistä jakeista lisätään sekajätteeseen.

Lajitteluaktiivisuus lasketaan *Lajittelu*-moduulissa samoin periaattein kuin tuotemuutoksia: Muutoksen potentiaalin määrittelee lähtöhetken ja 100 % lajittelun erotus ja tämän potentiaalin toteutumista mallin käyttäjä säätelee *LajitteluPot toteutuma* -parametrilla, jolla määritellään potentiaalin realisoituminen. Ohjausparametri valitaan alavetovalikosta. Se kuvaa realisoitumisastetta asteikolla 0-1. Malli laskee muutoksen lineaarisesti siten, että simuloinnin lopussa valittu tavoitearvo saavutetaan.

$$f_{Pap}(t) = L_0 + \Delta L * \frac{t - T_0}{T_f - T_0} \quad (13)$$

L_0 = Lajitteluosuus alkuhetkellä

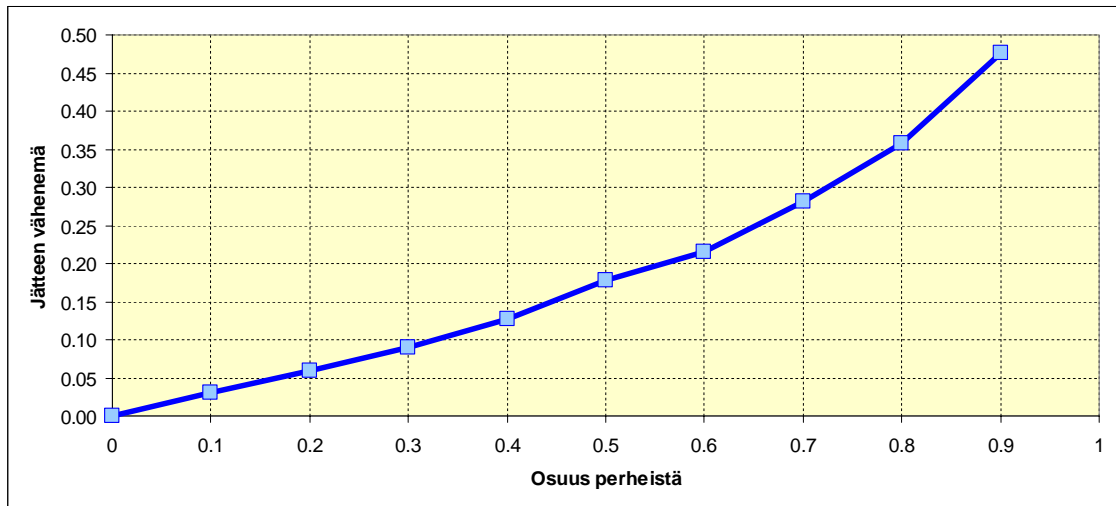
$\Delta L = m * (1 - L_0)$ = Lajittelun muutospotentiaali

m = Toteutuman osuus

3.7.3 Niukkamateriaalisempaan elämäntapaan siirtyminen

Kokonaisvaltainen elämäntavan muutos, joka vie vähäisempään jätetuotantoon, on luvun kaksi tulosten mukaan mahdollinen, sillä sellaista elämää elää jo sangen moni tutkimukseen osallistunut perhe. *Jäte vähenee* -moduulissa lasketaan niukkamateriaalisen elämäntavan vaikutukset jätemääriin.

Elämäntapa-moduulissa käyttäjä valitsee *ET-osuus* -muuttujalle arvon alavetovalikosta. Se kuvaa osuutta suurijätteisistä perheistä, jotka elämäntapaansa muuttavat. Malli laskee annetun ohjausparametrin mukaisesti jätemäärän muutoksen perheluokkien jätekertymien, kuva 8, ja annettujen väestötietojen avulla. Käytetyssä aineistossa elämäntapamuutoksen ja jätemäärän suhde on kuvan 17 kaltainen.



Kuva 17. Elämäntapamuutoksen tehneiden perheiden osuus kaikista perheistä ja sen vaikutus kokonaisjättemäärään.

Kuvassa 17 tilanne on hahmoteltu staattisena. Malliajossa kuvan 17 mukainen elämäntavan muutoksen vaikutus ei toteudu välittömästi vaan yli ajan Bassin diffuusion mukaan (Liite A). Tässä ei hahmotella niitä politiikkatoimenpiteitä, joilla tavoiteltuun lopputulevaan pyrittäisiin, eikä kuvailla niitä muutoksia, joihin perheet olisivat valmiita ryhtymään tavoitteeseen päästäkseen. Mallilaskennan tavoitteena on pelkästään selvittää, miten tämänkaltainen muutos jätevirtaan vaikuttaisi.

3.8 Vertailu IPAT-malliin

Laaditun mallin mukaan perheen jättemäärään vaikuttavat tekijät muodostuvat tarkastelun kohteena olevan alueen väestöön liittyvistä tekijöistä, taloudellisesta tilanteesta, teknologian kehityksestä ja elämäntapojen kokonaisuudesta. Malli muistuttaa tunnettua IPAT-mallia $I = PAT$, kun suureet tulkitaan seuraavasti: I on jättemäärä, P on väestön määrä, A kuvaa taloudellista tilannetta ja T teknologiaa. IPAT-mallin vahvuus on sen yksinkertaisuus, joka muodostaa myös sen keskeisen heikkouden. Moliis et al. (2009) esittävät napakan yhteenvedon mallista ja sen laajennuksista.

Tässä laadittu malli koostuu samoista elementeistä, kuin IPAT-mallikin, mutta tietyn täydennyksin. A- ja T-tekijät ovat IPAT-mallia vastaavat. Väestön kokonaismäärän lisäksi laaditussa mallissa jättemäärään vaikuttavat myös ikä- ja perherakenne. Näiden lisäksi huomioidaan vielä elämäntapatekijät jättemäärien kehittymiseen: paperijätteen määrään vaikuttaa voimakkaasti sukupolviuusi, joka mahdollistaa sähköisen median tunkeutumisen printtimedian alueella ja kokonaisvaltainen materiaalin välttäminen, johon perusteet saatiin data-aineiston uudelleen tulkinnasta. Lisäksi lajitteluaktiivisuuden vaikutus määrää sen, mihin astiaan jäte joutuu. Kokonaisuudessaan kerättävään jättemäärään vaikuttaa kuusi tekijää IPAT-mallin kolmen sijaan.

IPAT-malli ei tarjoa rakennetta vaikuttavien tekijöiden muutoksen kuvaamiseen. Laaditussa mallissa elämäntapamuutoksen leviämistä kuvataan Bassin diffuusiomallilla ja lisäksi huomioidaan sukupolviuusi ikäluokkien vanhentuuksessa. Näitä muutosta kuvaavia malleja soveltamalla saadaan jättemäärien ajallinen kehittyminen vankalle empiiriselle pohjalle: Muutokset

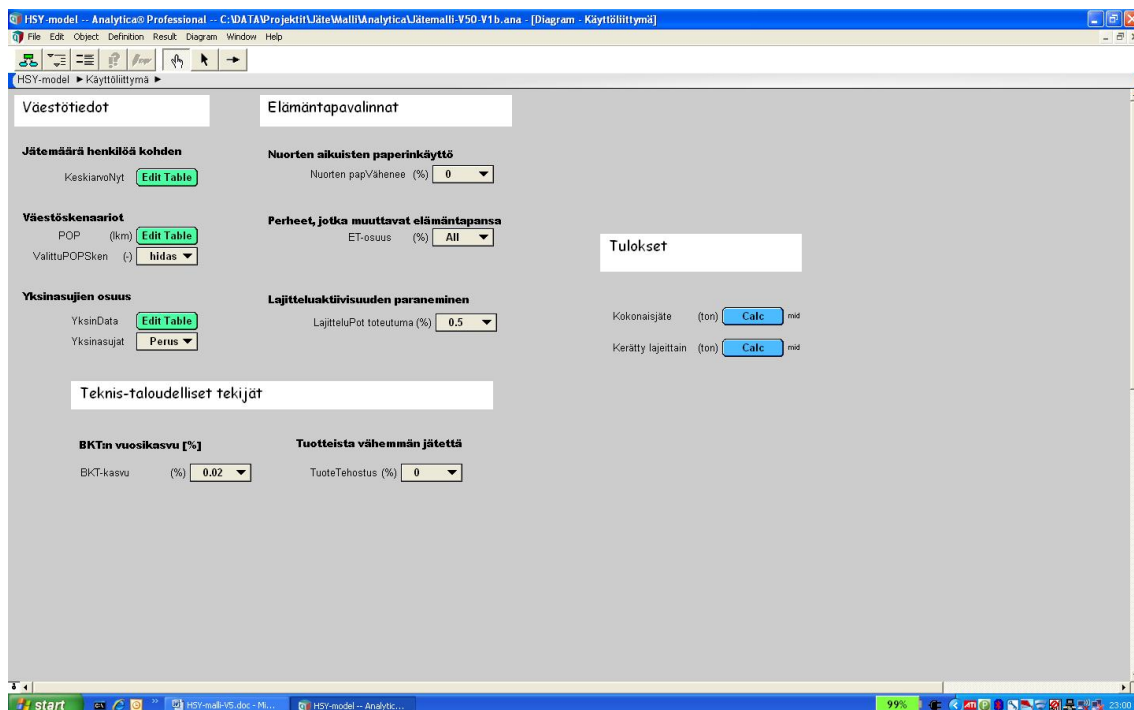
tapahtuvat yli ajan siten, kuin sen on todettu ihmisyhteisöissä tapahtuvan. Käyttäjä voi ohjata muutoksen dynamiikkaa parametrivalinnoin, mutta muutoksen perusluonne säilyy samana.

4 Mallin käyttöesimerkki

Perusuran voidaan ajatella muodostuvan siten, että nykyiset ikäluokkaan liittyvät kulutustavat säilyvät, eli asukkaat muuttavat kulutustottumuksiaan ikäluokkaa vastaavaksi. Tälle oletukselle vaihtoehtoinen ja yhtä uskottava tulevaisuuden kehityskulku on sellainen, jossa nuoret aikuiset pitävät nykyiset kulutustottumuksensa pääosin muuttumattomana läpi aikuiselämän. Näin jätetuotto muuttuu sukupolvittain. Tämä oletus on voimassa seuraavassa lyhyessä tarkastelussa, mutta se ei tule erityisesti esiin alla valituissa kuvissa: talouskasvu kompensoi ominaisjättemäärän alenemaa.

Seuraava tarkastelu keskittyy Käyttöliittymä-moduuliin: Katsotaan muuttuvien alkuarvot ja niistä seuraavat tulokset. Mallin toteutusympäristö, Analytica, tarjoaa mainion ympäristön eri tekijöiden vaikutuksen tutkimiseen: Järjestelmä laskee ensin kaikki mahdolliset alkuarvokombinaatioiden tuottamat tulokset, jonka jälkeen käyttäjä valitsee tarkasteluun eri tekijät haluamallaan tavalla. Se tehdään yksinkertaisesti valitsemalla ensin koordinaatiston akselit hiirtä napsauttamalla ja sitten vaihdellaan tekijöiden arvoja ja katsotaan, miten tulokset muuttuvat tekijöiden muutosten seurauksena.

Seuraava kuva, kuva 18, näyttää, millainen käyttöliittymä malliin on laadittu ja kuva 19 esittää sekä jätteiden lajikohtaisen kehityksen eräässä tapauksessa että kokonaisjättemäärän BKT:n vaihdellaessa.



Kuva 18. Käyttöliittymänäkymä.

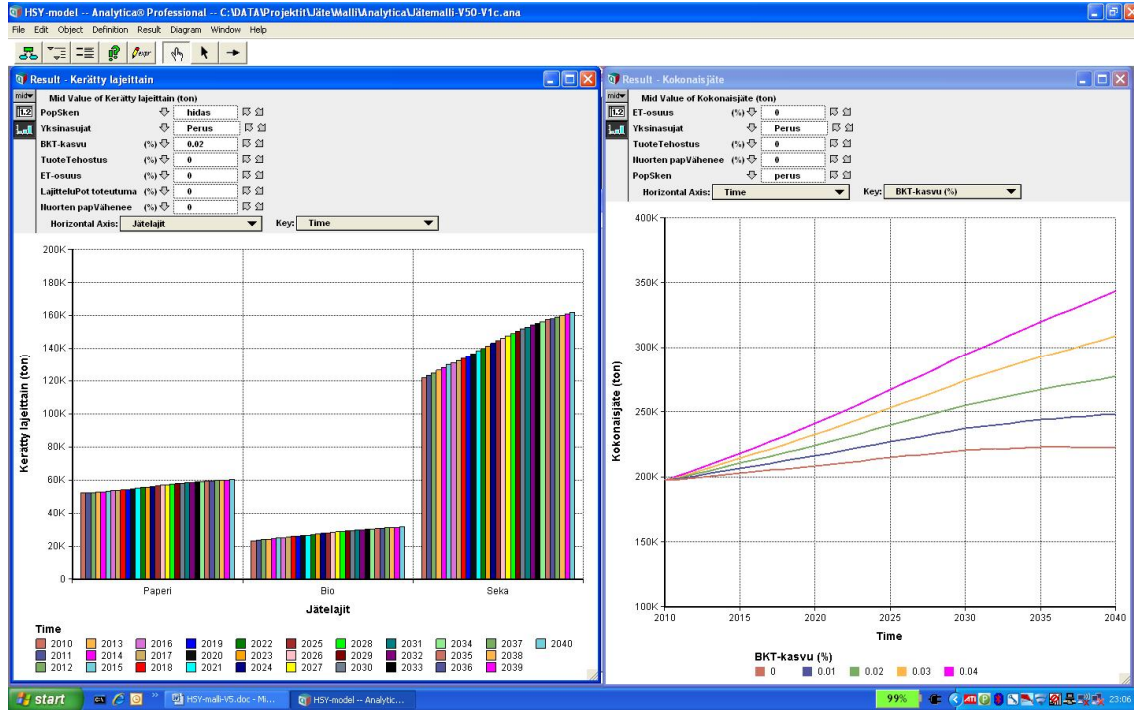
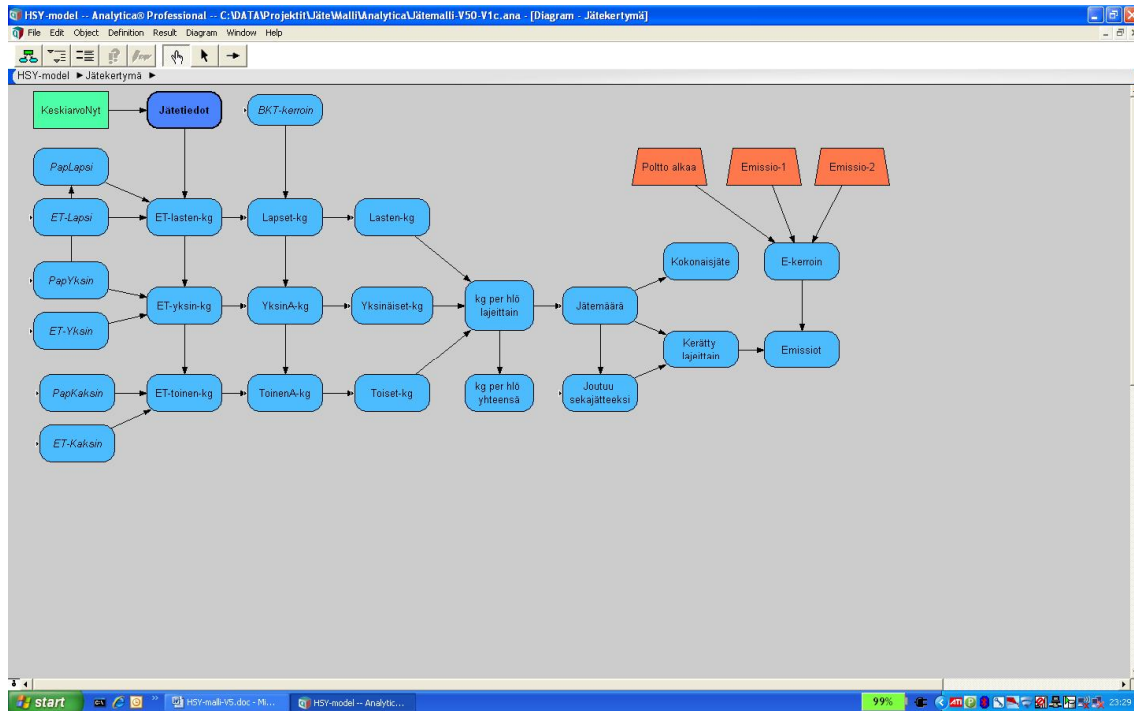


Figure 19. Esimerkkitulosteet. Vasemmalla lajeittain kerätyt määrät ja oikealla kokonaisjätemäärä BKT:n kasvun mukaan. Kuvan yläosassa on lista parametriarvoista, joilla näkyvät kuvat on piirretty.

Kuvan yläosa parametrilistoista käyttäjä voi valita halutun kombinaation ja malli näyttää tulokset sen mukaan. Myös kuvien akselit voi valita vapaasti ko. muuttujajoukosta.

Mallin käyttö on perusteiltaan sellaista, että lasketaan suuri joukko tapauksia, joita sitten tarkastellaan ottamalla laskettuun aineistoon erilaisia näkymiä. Esimerkiksi siten, että kuvan akselit kiinnitetään ja kelataan parametrien arvoalue läpi ja katsotaan, miten kuva muuttuu. Näin selviää halutun suureen riippuvuus muuttuvasta suureesta. Koska kaikki on laskettu valmiiksi, parametrin arvon vaihdos muuttaa käyrää välittömästi. Näin mallin käyttö on oppimisprosessi, jossa mallin käyttäjälle paljastuu eri tekijöiden väliset suhteet ja niiden merkitys lopputuloksen kannalta.

Mallin käyttäjä voi tutkia ja muuttaa mallin eri osia haluamallaan tavalla. Käyttöliittymä on vain mallin käyttöä helpottamaan luotu moduuli. Mallin käyttö onnistuu myös ilman sitä asetelemalla suoraan eri tekijöiden arvoja eri moduuleissa. Muutettavissa oleva parametrijoukko on laajempi kuin käyttöliittymään valitut tekijät. Kuvassa 20 on esimerkki Jätekertymämoduulista:



Kuva 20. Jättekertymämoduuli. Laskenta etenee vasemmalta oikealle. Jätetiedot-moduulissa (tummempi ja paksureunaisempi laatikko) skaalataan mallin tiedot haluttuun alkutilaan, jota sitten eri indekseihin ja väestötiedoin muokataan skenaarioiden mukaisesti.

Laskentakaavat ovat kuvassa 20 näkyvien sinisten laatikoiden ”sisällä”. Nuolet kuvaavat sitä, mihin suureen vaikutus kohdistuu. Nuoli kuvaa sekä informaation että materiaalin siirtymistä. Tätä kutsutaan vaikutusdiagrammiksi (influence diagram).

Oikeassa reunassa on päästömäärien laskenta, jossa lähtöarvoina annetaan polttolaitoksen käynnistymisajankohta ja ominaispäästökertoimet ilman polttoa ja polton kanssa. Näitä arvoja voi asettaa klikkaamalla hiirellä ruskeaa puolisuunnikasta, jolloin aukeaa paikka, johon haluttu arvo voi kirjoittaa.

Vasemmassa yläkulmassa näkyy KeskiarvoNyt-parametri, joka on nykyinen keskimääräinen henkeä kohden laskettu jätemäärä vuodessa. Sen arvoa voi muuttaa tässä näky

5 Yhteenveto ja kehitysideoita

Hankkeessa on laadittu kotitalousjätteen ennakointimalli jätehuollon asiantuntijan avuksi. Malli erottelee kolme jätefraktiota, jotka ovat bio-, paperi- ja sekajäte. Mallin parametrit on laskettu uusimman kotitalouskyselyn perusteella. Väestö jaetaan viiteen ikäryhmään, joilla kullakin on ominainen jätetuotantokertomensa. Perheeseen vaikutus jätemäärään huomioidaan jakamalla aikuiset ikäluokittain kahteen ryhmään: yksin- ja kaksinasuviin ja sijoittamalla yksinasuva aikuinen jokaiseen perheeseen. Jättemääriin vaikuttavat tekijät, jotka mallissa on huomioitu, voidaan jakaa kolmeen ryhmään: väestötekijöihin, teknis-taloudellisiin tekijöihin ja elämäntapatekijöihin. Väestötekijöitä ovat väestön määrä ikäluokittain, yksinasuvien aikuisten määrä ja perheen toisten aikuisten määrä. Teknis-taloudellisia tekijöitä ovat BKT per capita -indeksin kehittyminen ja kotitalouksien käyttämien tuotteiden muuttuminen. Elämän-

tapatekijöitä ovat printtimedian käyttö ensin nuorten aikuisten ikäluokassa ja heidän ikääntyessä muutos ulottuu läpi yhteiskunnan, niukkamateriaalisen elämäntavan yleistyminen ja lajiteluaktiivisuus. Viimemainittu vaikuttaa jätteen lajijakaumaan, ei jätteen kokonaismäärään.

Ikäluokkiin perustuva malli herättää kuitenkin kysymyksen ikään liittyvien elämäntapatekijöiden pysyvyydestä: Omaksuuko tuleva sukupolvi edeltävän sukupolven tavan toimia vai viekö jokainen ikäluokka omat elämäntapansa mukanaan seuraavaan ikäluokkaan? Ikä ja elämäntilanne liittyvät yhteen, joten molempia tapahtunee. Mallissa on erotettu printtimedian käyttö omaksi elämäntapatekijäkseen, koska on nähtävissä, että nuoremmat ikäluokat ovat enenevässä määrin sähköisen median käyttäjiä. Mallissa oletetaan, että nykyiset nuoret eivät sähköisen median käytöstä luovu ikääntyessäkään, vaan he pitävät kiinni tästä elämäntavasta. Tämä johtaa sukupolvimuutokseen, mikä tarkoittaa, että ikäluokan jätteentuotanto muuttuu, kun ikäluokan ihmiset muuttuvat.

Data-aineiston perusteella samantuloisten, samankokoisten ja samanikäisten perheiden jätteentuotanto vaihtelee suuresti. Tämä vaihtelu johtuu elämäntavasta. Koska jätteen määrä heijastaa kotiin kannettavan materian määrää, voidaan puhua vähämateriaalisesta, materiaalista kulutusta välttävästä tai niukasti jätettä tuottavasta elämäntavasta ja sen vastakohtana runsas-materiaalisesta, paljon jätettä tuottavasta elämäntavasta. Käyttäjä voi mallissa vertailla elämäntavan vaikutusta tuleviin jätemääriin valitsemalla parametrien arvot sopivasti. Elämäntapaan liittyvien muutosten eteneminen on mallitettu Bassin diffuusioyhtälöllä. Tämä käytännössä hyväksi havaittu lähestymistapaa käyttäjä voi muokata parametrivalinnoin, mutta muutoksen perusdynamikka säilyttää ominaisuutensa.

Mallin laadinnassa tehdään suuri joukko valintoja. Tehtyjen valintojen hyvyys tai huonous paljastuu vasta käyttäjäkokemusten myötä. Jos käyttäjä ei ymmärrä mallin toimintatapaa tai sitä on vaikea käyttää, niin malli jää käyttämättä. Olisi peräti merkillistä, jos malliversio 1.0 olisi jo lopullinen. Todennäköisempää on, että mallia on tarve kehittää johonkin suuntaan: usein muutettavat asiat voivat olla hankalasti monen klikkauksen takana, uusia vaikuttavia tekijöitä on otettava mukaan ja jotkut nyt tärkeältä tuntuvat eivät sitä kuitenkaan ole, jne. Vain mallin käyttö antaa lisävalaistusta näihin asioihin.

Ennen seuraavan kotitalousjätteen kenttätutkimuksen toteuttamista olisi hyvä pohtia, mitä tietoja kuluttajilta olisi kerättävä, jotta malliin saataisiin siitä nyt puuttuvia piirteitä. Eräs vaihtoehto voisi olla jakaa kotitoimet kolmeen osaan: Ruokahuoltoon (bio- ja sekajäte), infoviihteseen (paperijäte) ja kolmantena olisi luokka ”muut toimet” (tuottavat pääosin sekajätettä). Tällöin malli olisi selkeä 3*3 systeemi (kolme kotitointa ja kolme jätelajia). Jotta ruokahuolto voitaisiin käsitellä omana kohtanaan, täytyisi tietää, miten paljon ruokahuolto tuottaa biojätettä ja erilaista pakkausjätettä. Näiden jätelajien osuudet ja määrät muuttuvat sen mukaan, miten ruokahuolto kotona hoidetaan. Skenaariomäärittely elämäntapojen osalta tehtäisiin silloin koskien kotona tehtävää ja nautittavaa ruokaa, printtimedian käyttöä suhteessa sähköiseen mediaan ja kolmantena olisi kaikki muut kotitoimet ja niiden jäteintensiteetti.

Mallia voisi laajentaa myös huomioimaan yhdyskuntajäte kokonaisuudessaan. Se tarkoittaa, että koulujen ja julkisten ja yksityisten palvelujen jätetuotanto tulisi sisällyttää malliin. Itse asiassa, jos koko tarkastelualueen kaikki jätevirrat olisivat mukana samassa mallissa, niin tällöin olisi varmuus siitä, että mikään jäte-erä ei valuisi mallista ulos taserajoista tai vastaavista saumoista. Ulkona syömisen kotitalousjätettä vähentävä vaikutus tulisi myös huomioitua yhdyskuntajätteen määrän lisääntymisenä. Samoin esim. vanhusten asuminen joko kotona tai vaikkapa vanhainkodissa näkyisi selkeästi jätevirroissa.

Malli kuvaa mahdollisia muutoksia, se ei tuota ennusteita. Tavoite mallia laadittaessa on ollut jätehuoltojärjestelmään liittyvän päätöksenteon tukeminen. Pitkälle tulevaisuuteen ulottuvat tarkastelut auttavat nimenomaan lähiaikoina tehtävien päätösten valmistelussa: millaisia päätöksiä on nyt tehtävä, jotta tulevaisuus olisi tavoitteen mukainen? Koska epävarmuus on tulevaisuuden ominainen piirre, niin laajat parametrien vaihtelualueet tukevat päätöksentekoa, sillä mallilla kartoitettu mahdollisten tapahtumien piiri pitää tällöin suuremmalla todennäköisyydellä sisällään toteutuvankin tulevaisuuden.

6 Lähdeviitteet

Andersen, F., Larsen, H., Skovgaard, M., Moll, S., Isoard, S., A European model for waste and material flows. *Resources Conservation & Recycling* 49(2007) 421-435.

Andersen, F., Models for the projection of Municipal Solid Waste. *waste Management Days*. Tampere 2009.

Arnold, M., Yhdyskuntajätteen tuotanto. VTT-R-10193-06. Espoo 2006.

Beigl, P., Lebersorger, S., Salhofer, S., Modelling municipal solid waste generation: A review. *Waste Management* 28(2008) 200-214.

Fell, D., Cox, J., Wilson, D., Future waste growth, modelling and decoupling. *Waste Management & Research*; 2010; 28; 281-286.

Findikaattori – yhteiskunnan kehityksen indikaattorikokoelma. www.findikaattori.fi. Käyty 13.01.2011.

Jätät jälkeesi satoja kiloja vuodessa. *Helsingin Sanomat* 31.5.2010.

Moliis, K., Teerioja, N., Ollikainen, M., Ennuste yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030. University of Helsinki. Department of Economics and Management. Discussion papers n:o 41. Helsinki 2009.

Pääkaupunkiseudun kotitalouksien jätemääriin vaikuttavat tekijät. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. Helsinki 2007.

Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu. YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. Helsinki 2004.

Sterman, John, *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. Boston 2000.

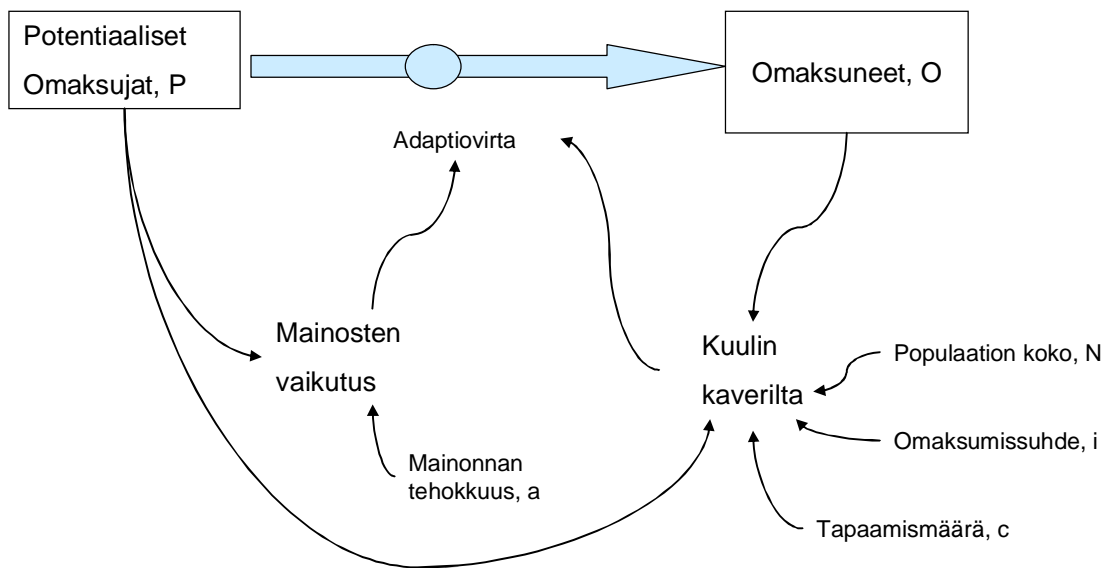
Szabo, L., Hidalgo, I., Ciscar, J., Soria, A., Russ, P., Energy consumption and CO2 emissions from the world cement industry. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Report EUR 20769 EN. 2003.

Tarvainen, Mia, *Helsingin väestöskenaarioita*. Moniste. Helsinki 2010.

Tukker, A., Hoogendoorn, J., Luiten, H., Schindel, K., Wiedman, T., Albertshauser, U., Scenarios of household waste generation in 2020. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies. Report EUR 20771 EN. 2003.

Liite A: Diffuusiomalli uusien elämäntapojen leviämisen kuvauksena

Mielipiteen tai elämäntavan omaksumista kuvataan Bassin diffuusiomallilla (Sternan, 2000). Alun perin se on kehitetty uusien tuotteiden markkinaennusteiden tekemiseen, mutta sittemmin sitä on käytetty laajasti mm. markkinoinnin ja strategian alueella. Bassin diffuusiomalli soveltuu hyvin myös käsillä olevan ongelman kuvaamiseen, siis hahmottamaan sitä, miten uusi ajatus (elämäntapa) saa kannatusta tarkasteltavassa populaatiossa. Bassin malli ratkaisi aiemmin käytettyihin logistisiin malleihin liittyneen käynnistysongelman mainonnalla tai vastaavalla ulkoisen informaation aiheuttamalla alkusysäyksellä. Muutoksen käynnistyminen on hankalaa sen vuoksi, että nolla omaksujaa on tasapainotila. Ulkoinen sysäys saa aikaan sen, että jotkut populaation jäsenet innostuvat asiasta ja omaksuvat sen. Sen jälkeen he kertovat siitä ystäville ja tuttaville ja osa heistäkin innostuu. Näin syntyy itseään voimistava kehityskulku, jossa populaation jäsenet altistuvat uudelle ajatustavalle, mutta kaikki ei välttämättä sitä omaksu.

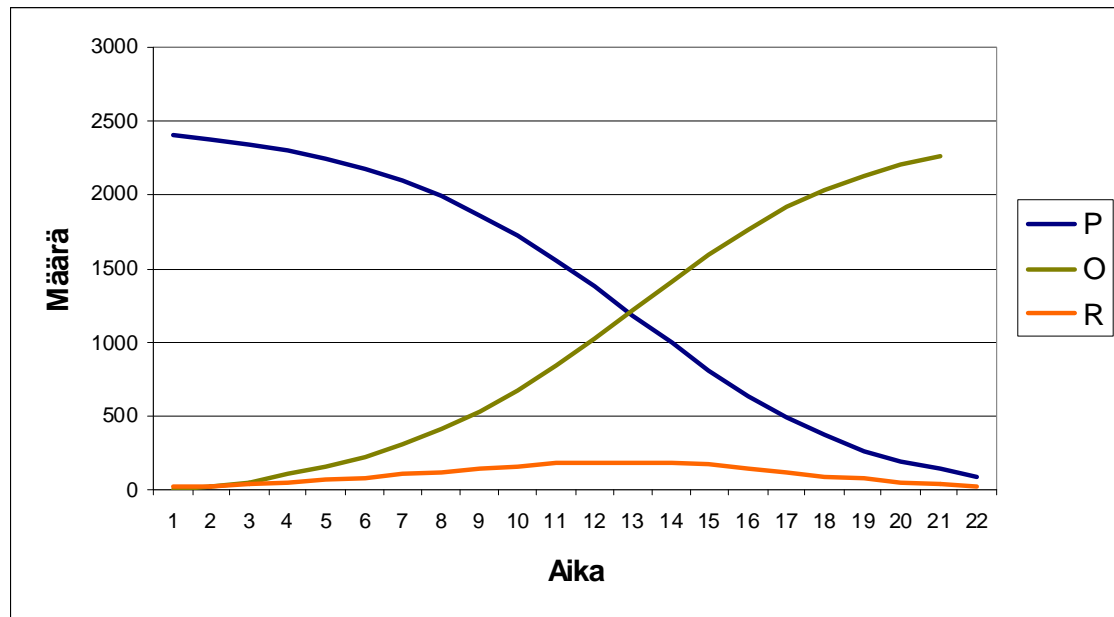


Kuva A-1. Bassin diffuusiomalli.

Kuvan merkinnöin omaksuvien määrä lasketaan seuraavasti (symbolit kuvan A-1 mukaiset):

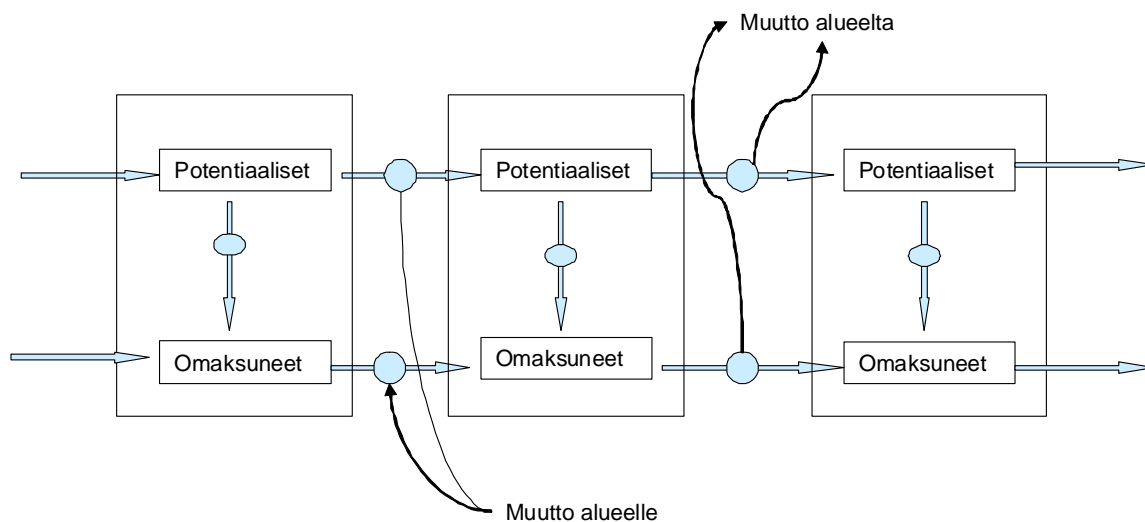
$$R = aP + ci \frac{PO}{N} \quad (14)$$

Yhtälön oikean puolen ensimmäinen termi kuvaa mainonnan vaikutusta ja toinen vertaisvaikutusta. Mallissa aikuiset päättävät elämäntavasta ja lapset noudattavat vanhempien elämäntapaa. Perusyksikkö elämäntavan muuttumisessa on kotitalous. Tyypillinen muutoksen dynamiikka Bassin diffuusiomallin käytössä näkyy kuvassa A-2.



Kuva A-2. Muutoksen eteneminen diffuusiomallin mukaan. P = potentiaaliset omaksujat, O omaksuneet ja R = omaksumisvirta.

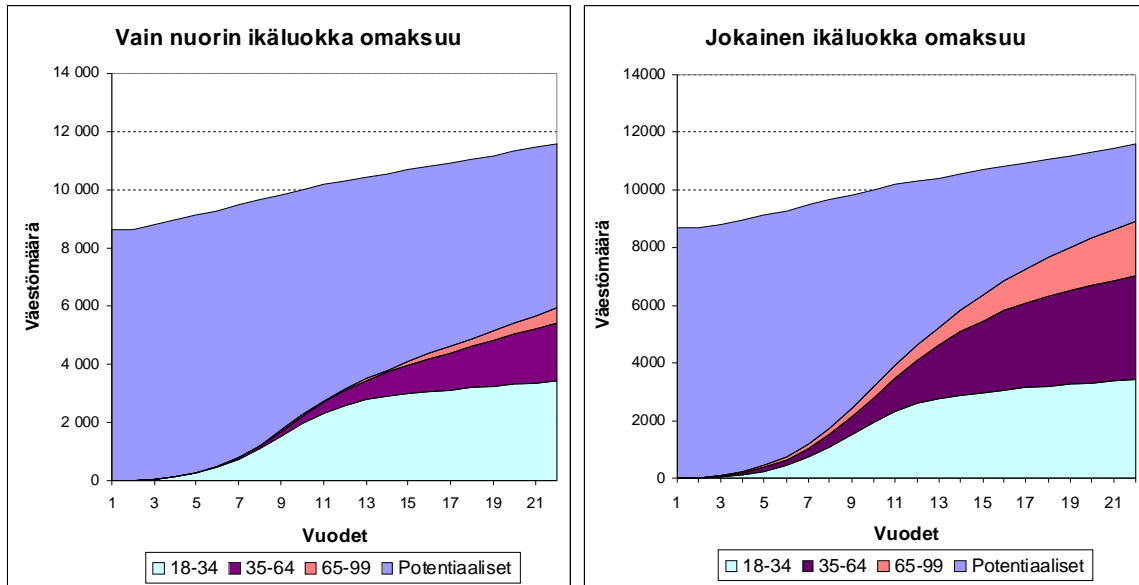
Yllä kuvattu kehityskulku kohdistui koko kohteena olevaan väestöön. Tilanne mutkistuu, jos halutaan tarkastella kutakin ikäluokkaa erikseen. Esimerkiksi, jos on perusteltua olettaa, että vain joku tai jotkut ikäluokat ovat muutoksen subjekteja, niin tällöin jokaisesta ikäluokasta on laadittava oma diffuusiomalli ja kytkettävä nämä mallit yhteen. Tällöin omaksutut tavat siirtyvät vanhenemisen myötä seuraavaan ikäluokkaan, jossa myös voi tapahtua Bassin diffuusiomallilla kuvattavaa muutosta. Näin on tehty kuvassa A-3.



Kuva A-3. Kytketyt diffuusiomallit.

Kuva A-4 havainnollistaa, miten uusi ajatus omaksutaan yhteisössä jos vain nuorin ikäluokka omaksuu sen tai jos kaikki aikuisikäluokat omaksuvat sen. Ensin mainitussa tapauksessa uusi ajatus kulkeutuu vanhempiin ikäluokkiin vain vanhenemisen mukana. Jälkimmäisessä tapauksessa jokainen ikäluokka omaksuu uuden ajatuksen, mutta omaksumisen vauhti alenee iän

myötä. Samaan aikaan on käynnissä kaksi omaksuneiden määrään vaikuttavaa prosessia: omaksuminen ja ikäluokasta toiseen siirtyminen.



Kuva A-4. Uutuuden leviäminen eri oletuksin. Omaksuneet ikäluokittain omana ryhmänään. sininen kuvaa sitä väestöosaa, joka ei ole (vielä) omaksunut uutta toimintatapaa.

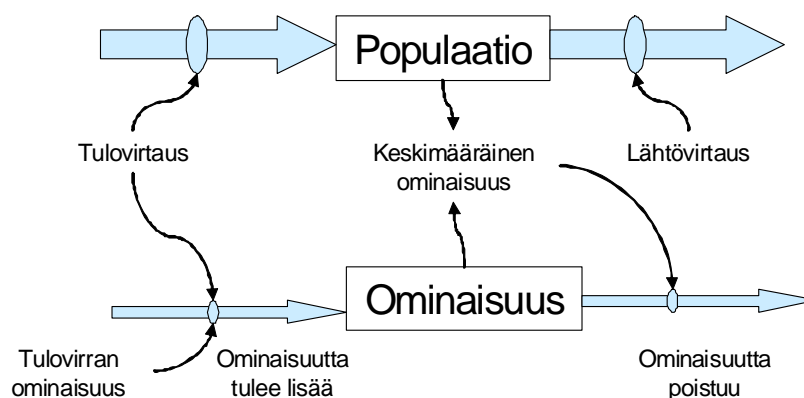
Ikäluokasta toiseen siirtyminen ei etene tulppavirtauksena, vaan omaksumisen oletetaan sekoittuvan ikäluokassa. Sen vuoksi eläkeläistenkin joukossa alkaa näkyä vähäistä omaksumista jo melko varhain. Tätä havainnollistaa kuva A-4. Ero oikeanpuoleiseen kuvaosioon on kuitenkin havaittavissa, joten oletuksilla ikäluokan sisäisestä dynamiikasta on merkitystä.

Liite B: Sukupolviuutos

Sukupolviuutos perustuu siihen, että omaksuttuaan jonkin käyttäytymistavan ihminen pitää siitä kiinni loppuelämänsä ajan. Näin nuorempien ikäluokkien kulutustottumukset muuttuvat ajan myötä myös vanhempien ikäluokkien tavoiksi ihmisten viedessä kulutustottumuksensa mukanaan siirtyessään seuraavaan ikäluokkaan. Bassin diffuusiomalli kuvaa lähinnä kyllä-ei -tyyppistä päätöstilannetta, jossa yksilö joko omaksuu uuden ajatustavan tai jättää sen tekemättä. Mitään välimuotoa ei ole. Kytkeytyneiden diffuusiomallien tapauksessa sukupolviuutosta jonkin verran tapahtuu, koska luokasta seuraavaan siirtyvien potentiaalisten ja omaksuneiden suhde on sama kuin koko luokan potentiaalisten ja omaksuneiden suhde. Kaikki asiat eivät kuitenkaan ole joko-tai -tyyppiä, vaan useimmiten uusi käyttäytymistapa on omaksuttavissa myös jossain määrin. Tai sitten on niin, että myös uusi asia muuttuu ajassa, jolloin se, mitä omaksutaan, on eri aikoina erilaista. Tämän kuvaamiseen tarvitaan malliin hieman lisää rakennetta, jotta omaksumisen aste ja tyyppi voidaan huomioida. Tätä ominaisuutta tarvitaan sukupolviuutoksen kuvaamisessa.

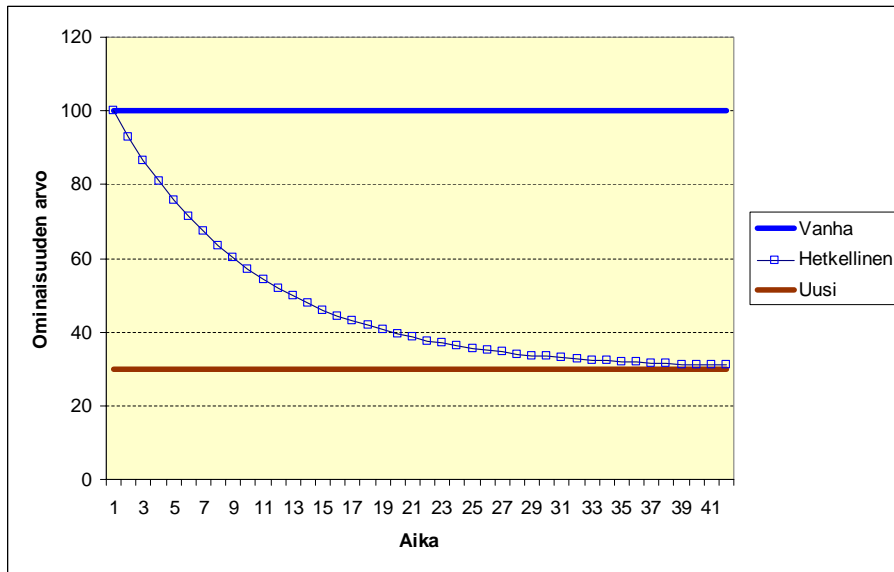
Sähköisten infoviihde-palveluiden leviämässä ja eläkeläisten yksinasumisen muutoksen kuvaamisessa sovelletaan sukupolviuutosajatus. Joka vuosi nuorten aikuisten luokkaan siirtyy yhä sähköisempi sukupolvi ja vastaavasti nuorten aikuisten luokasta siirtyy keski-ikäisten luokkaan entistä vähemmän paperia käyttävä ryhmä. Tämän lisäksi kussakin ikäluokassa tapahtuu siirtymistä kohti sähköistä mediaa. Samaan aikaan tapahtuu siis kaksi prosessia: Ikäluokan tyypillinen printtimedian käyttö muuttuu ihmisten mukana ikäluokasta toiseen ja lisäksi kunkin ikäluokan sisällä omaksutaan sähköisempi elämäntapa. Ensin mainittu prosessi on sekoitusprosessi, jossa ikäluokan paperijätteen tuottaminen muuttuu ihmisten vähittäisestä vaihtumisesta johtuen ja toinen prosessi on diffuusioproessi, jossa sähköisten palveluiden omaksuminen tapahtuu pääosin tutuilta tulleen palautteen myötä.

Kuva B-1 havainnollistaa ominaisuuden kehittymisen väestömuutoksen oheisvirtana.



Kuva B-1. Ikäluokan ominaisuuden muuttuminen ihmisten ikääntymisen myötä.

Kuvassa B-2 kuvataan, miten muutos tapahtuu ikäluokassa (populaatiossa) ajan myötä, kun ikäluokan ominaisuus on alussa arvoltaan 100 ja siihen tulevien uusien jäsenten ominaisuus on arvoltaan 30. Oletuksena on, että ominaisuus sekoittuu joka aika-askeleella täydellisesti, eli poistuvien jäsenten ominaisuuden arvo on sen hetkinen keskimääräinen arvo. Populaation koon oletetaan pysyvän muuttumattomana.



Kuva B-2. Sukupolvi muutoksen eteneminen ikäluokassa.

Muutoksen vauhti vaimenee eksponentiaalisesti. Ominaisuuden muutosta kuvaavat yhtälöt ovat seuraavat:

$$\begin{aligned}
 v_{in}(t) &= POP_{in}(t) * r(t) \\
 v_{out}(t) &= POP_{out}(t) * R(t) \\
 R(t) &= R(t-1)\alpha(t) \frac{POP(t-1)}{POP(t)} + \frac{1}{POP(t)} [v_{in}(t) - v_{out}(t)]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

$v_{in}(t)$ = Tulovirtaaman tuoma ominaisuus muutos

$v_{out}(t)$ = Menovirtaaman viemä ominaisuus muutos

$R(t)$ = Ominaisuuden hetkellinen keskiarvo

$\alpha(t)$ -kerroin yhdistää ikäluokan sisäisen muutoksen sukupolvi muutoksen etenemiseen.

$$\alpha(t) = \left[\frac{POP(t-1)}{POP(t)} \right],
 \tag{16}$$

missä $POP(t)$ on siihen joukkoon kuuluvien määrä, mikä ei vielä ole elämäntapaansa vaihtanut. Jos $\alpha(t)$ -kerroin saa arvon yksi, niin elämäntavoissa ei tapahdu muutosta. Jos se on ykköstä pienempi, niin uuden elämäntavan omaksumista tapahtuu ikäluokan sisäisen muutoksen kautta.

Paperijätteen tuotannon alkuarvot eri aikuisikäluokissa saadaan skaalaamalla keski-ikäisten ja eläkeläisten jätemäärä nuorten aikuisten paperijättemäärällä:

$$R_0^i = R^i(0) = \frac{J^i(0)}{J^1(0)} \quad (17)$$

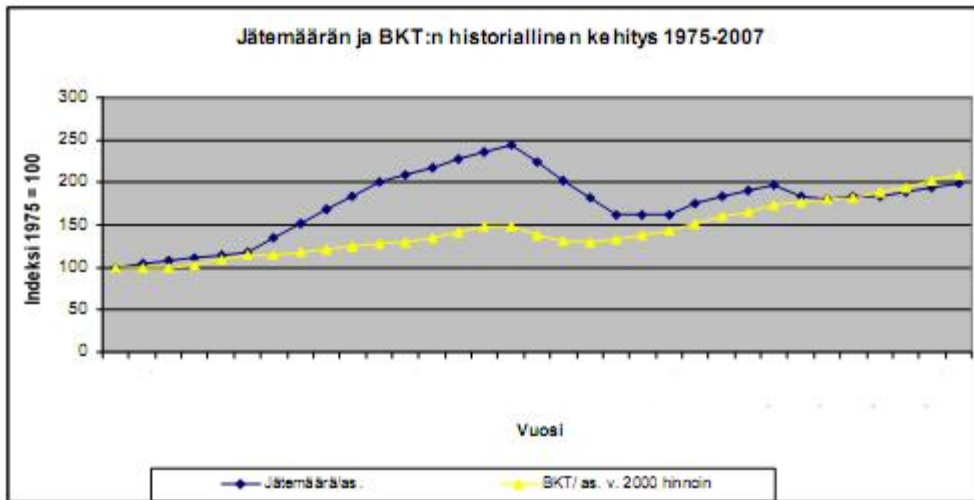
missä i viittaa aikuisikäluokkiin. Kerroin, joka kuvaa paperin käytön vähenemistä, saadaan jakamalla hetkellinen ominaisuuden arvo alkuarvolla:

$$f_{Pap}(t) = \frac{1}{R_0^i} R(t) \quad (18)$$

Kun tällä kerrotaan alkuperäinen paperijätteen tuotantomäärä, saadaan hetkellinen paperijätteen tuotanto jokaiselle aikuisikäluokalle.

Liite C: Dematerialisaatio

Tarkastellaan seuraavassa yhdyskuntajätteen ja talouskehityksen välistä suhdetta ja mahdollisuutta näiden suureiden kasvun erkaantumiseen toisistaan tunnetulla mallilla (Szabo et al. 2003). Kuvassa C-1 on tilastoaineisto mallin parametrien estimoimiseksi (Moliis et al., 2009).

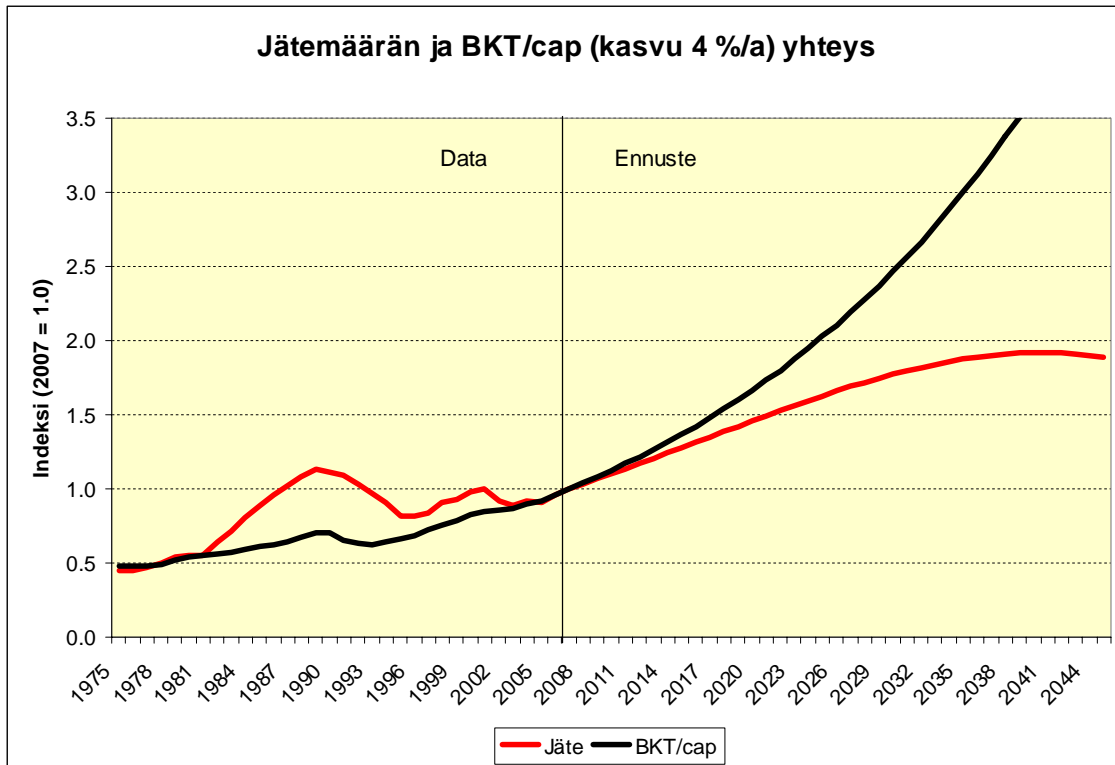


Kuva C-1. Asukaskohtaisen jättemäärän ja BKT:n kehitys Suomessa vuosina 1975-2007.

Aineistoon sovitettava malli on seuraava:

$$J_t = \exp \left[K + \ln[J_{t-1}] + \alpha \left[\frac{1}{B_t} - \frac{1}{B_{t-1}} \right] + \beta [B_t - B_{t-1}] \right] \quad (19)$$

missä K on vakio, B on BKT/cap ja α sekä β ovat parametreja, jotka yhdessä K :n kanssa estimoidaan. Otetaan siis logaritmi yhtälön molemmilta puolilta, jolloin saadaan lineaarinen yhtälö ja parametrit on helppo estimoida. Kun lasketut parametrit sijoitetaan yhtälöön ja tehdään ”ennuste”, näyttää tulos seuraavalaiselta, kuva C-2.



Kuva C-2. Taloudellisen kehityksen ja jättemäärän irtikytkeytyminen.

Kuvan mukaisesti yhdyskuntajätteen määrä kasvaa vuoden 2007 arvosta lähes kaksinkertaiseksi, ennen kuin se kääntyy laskuun. Ajankohta määräytyy sen mukaan, miten paljon BKT/cap-suureen on kasvettava ennen kuin käänne tapahtuu. Mitään nopeaa käännettä ei tämän mukaan ole odotettavissa. Tuntuu kuitenkin uskottavalta, että jotain tämän kaltaista dematerialisoitumista voisi tapahtua myös kotitalousjätteen osalta. Näyttöä on olemassa energian, teräksen ja sementin käytön muutoksista taloudellisen kehityksen edetessä.