
PÖYTÄTIETOKONEIDEN ELINKAARIARVIOINTI JA EKOLOGINEN KÄYTTÖ



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tietotekniikan koulutusohjelma

Forssa, kevät 2015

Johannes Niemelä

FORSSA

Tietotekniikan koulutusohjelma

Tietokonetekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä

Johannes Niemelä

Vuosi 2015

Työn nimi

Pöytätietokoneiden elinkaariarviointi ja ekologinen käyttö

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella pöytätietokoneiden ja tietokonenäyttöjen elinkaariarviointia ja tutkia tapoja tietokoneiden ja näyttöjen negatiivisten ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Työssä selvitettiin arvioita tyypillisen pöytäkoneen ja näytön koko elinkaaren ympäristövaikutusten suuruudesta. Työn toimeksiantajana oli HAMK.

Työn aihealueista on olemassa melko vähän julkaistua tietoa. Saatavilla olevista tiedoista suuri osa etsittiin useista eri useiden satojen sivujen pituisista tutkimuksista. Lähteinä käytettiin lukuisia eri tutkimuksia, artikkeleita ja internet-sivustoja.

Sekä pöytätietokoneen keskusyksiköiden että tietokonenäyttöjen tapauksessa käyttövaiheen koettiin olevan hallitseva osa tuotteen koko elinkaaren negatiivisista ympäristövaikutuksista. Molempien tuotteiden kohdalla valmistusvaiheen vaikutukset olivat pienemmät, mutta silti merkittävät. Samoin molemmissa tapauksissa sekä jakelu- että päätepestevaiheiden suhteelliset vaikutukset jäivät hyvin pieniksi.

Pöytätietokoneen käyttövaiheen ympäristövaikutuksia voidaan vähentää sekä laitteiston kokoonpanoon että tietokoneen käyttötapoihin liittyvillä menetelmillä. Edellä mainituista suurin vaikutus saadaan vähentämällä tietokoneen komponenttien määrää, käyttämällä uudenaikaisia komponentteja ja vaihtamalla eniten virtaa kuluttavat komponentit pienemmän virrankulutuksen vaihtoehtoihin. Tietokoneen käyttötapoja muuttavista menetelmistä selvimmät vähennykset koneen virrankulutukseen saadaan käyttämällä tietokoneen käyttöjärjestelmän virransäästöominaisuuksia, vähentämällä näytön kirkkautta ja sammuttamalla tietokone, näyttö ja oheislaitteet käyttämättömyyden ajaksi.

Avainsanat Tietokoneet, näyttölaitteet, elinkaariarviointi, ekologisuus

Sivut

31 s.

Forssa
Degree Programme in Information Technology

Author	Johannes Niemelä	Year 2015
Subject of Bachelor's thesis	Life cycle assessment and ecological use of desktop computers	

ABSTRACT

The aim of this thesis was to examine the life cycle assessment of desktop computers and computer displays and to explore ways for reducing the negative environmental effects of computers and displays. The thesis examines estimates in the magnitude of the environmental effects of a typical desktop computer and display.

There exists rather little published information on the fields covered in this thesis. Of the information available, a large portion was dug up from several different studies hundreds of pages in length. Numerous different studies, articles and websites were used as sources.

In the case of both desktop computer central units and computer displays, the use phase was found to be the dominant part of the negative environmental effects in the product's life cycle. In the case of both of the products, the manufacturing phase effects were smaller, but still significant. Similarly, in both cases the relative effects of both the distribution and end of life phases were very small.

The environmental effects of a desktop computer can be reduced by methods relating to both hardware configuration and ways of use. Among the aforementioned methods, the greatest impact is gained by reducing the amount of components in the computer, by using modern components and by replacing the most power consuming components with lower power consumption alternatives. Of the methods affecting ways of computer use, the clearest reductions in power consumption is gained by using the power saving features of the computer's operating system, by reducing display brightness and by turning off the computer, display and peripherals when not in use.

Keywords Computers, display devices, life cycle assessment

Pages 31 p.



SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	ELINKAARIARVIOINNIN MÄÄRITELMÄ	1
3	TIETOKONEIDEN ELINKAARIARVIOINTI.....	2
4	META-ANALYYSI PÖYTÄKONEIDEN KESKUSYKSIKÖIDEN LCA-TUTKIMUKSISTA.....	3
4.1	Johdanto	3
4.2	Lähestymistapa.....	4
4.2.1	Laajuus ja analyysin kohde	4
4.2.2	Ympäristövaikutusten määrittely.....	5
4.3	Yhteenvedo tutkimusten tuloksista	5
4.4	Valmistusvaihe	7
4.4.1	Komponenttitason vaikutukset	8
4.4.2	Mikropiirit	9
4.4.3	Valmistusvaiheen analyysi	9
4.5	Käyttövaihe	10
4.5.1	Laitteen energiankulutus	11
4.5.2	Laitteen elinikä	13
4.5.3	Käyttövaiheen analyysi	14
4.6	Analyysi ympäristövaikutuksista kokonaisuutena	15
4.7	Yhteenvedo ja johtopäätökset	17
5	TIETOKONENÄYTTÖJEN ELINKAARIARVIOINTI.....	18
5.1	Johdanto	18
5.2	Näyttöjen tarkastelu erillään muusta tietokoneesta.....	19
5.3	Tutkimusten tulokset.....	19
5.3.1	Elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset osuudet.....	20
5.3.2	Kokonaisympäristövaikutukset	21
5.4	Yhteenvedo ja johtopäätökset	22
6	TIETOKONEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMINEN KÄYTTÖVAIHEEN AIKANA	23
6.1	Laitteiston erojen vaikutukset	23
6.1.1	Emolevy.....	24
6.1.2	Suoritin	24
6.1.3	Keskusmuisti	24
6.1.4	Kiintolevyt.....	24
6.1.5	Näytönohjain	25
6.1.6	Virtalähde	25
6.1.7	Optiset asemat	26
6.1.8	Näyttö	26
6.2	Käyttötapojen vaikutukset.....	27
6.2.1	Virransäästöominaisuuksien käyttö.....	27
6.2.2	Laitteiden sammuttaminen	27
6.2.3	Muut menetelmät.....	27

6.3 Yhteenveto	28
LÄHTEET	29

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena oli löytää suuntaa-antavia arvioita siitä, miten laajoja tyypillisen pöytäkoneen koko elinkaaren keskimääräiset ympäristövaikutukset ovat. Työssä käsitellään pöytä tietokoneiden virrankulutusta keskusyksikön ja näytön osalta. Sama rajaus on tehty myös lähes kaikissa tietokoneita tutkivissa elinkaariarviointitutkimuksissa.

Molemmista tutkittavista kohteista on huomattava määrä variaatiota aiheuttavia tekijöitä. Keskusyksikkö voi sisältää tai olla sisältämättä erittäin laajan kirjon erilaisia komponentteja. Näistä useiden tyyppisten osien lukumäärä voi käyttäjän tarpeesta riippuen vaihdella moninkertaisesti verrattuna toisten tietokonekeskusyksiköiden kokoonpanoihin. Tietokonenäytöt voivat olla näyttöteknologialtaan useaa eri tyyppiä ja näyttöjen koko vaihtelee suuresti.

Keskusyksikön ja näytön lisäksi pöytä tietokoneen laitekokoonpanon on mahdollista koostua lähes loputtomasta määrästä oheislaitteita, kuten näppäimistö, hiiret, peliohjaimet, kaiuttimet, kuulokkeet, modeemit, webkamerat ja tulostimet. Näitä kaikkia on useita eri tyyppiä ja tietokoneen käyttäjästä riippuen jokaista näistä laitteista voi olla käytössä eri määrä. Tutkittavan kokonaisuuden hallinnan ja ympäristövaikutusten arvion skaalan koon vuoksi on perusteltua käsitellä pöytä tietokoneen ympäristövaikutuksia nimenomaan keskusyksikön ja näytön osalta. Lähes kaikissa tapauksissa nämä kaksi laitetta ovat vastuussa selvästi suurimmista osista pöytä tietokoneen kokoonpanon ympäristövaikutuksista.

2 ELINKAARIARVIOINNIN MÄÄRITELMÄ

Elinkaariarviointi on menetelmä, jolla pyritään arvioimaan tuotteen, prosessin tai palvelun koko elinkaaren aikaista ympäristökuormitusta. Siitä käytetään usein myös lyhennettä LCA, joka tulee englanninkielisestä termistä Life Cycle Assessment. Elinkaariarvioinnissa huomioitava elinkaari käsittää arvioitavan tuotteen raaka-aineiden hankinnan luonnosta, niiden kuljetuksen ja jalostuksen, tuotteen valmistuksen ja jakelun, käytön, mahdollisen uudelleen käytön tai huollon, materiaalien kierrätyksen ja loppusijoituksen.

Elinkaariarvioinnissa käsitellään nimenomaan ympäristöön kohdistuvia vaikutuksia. Esimerkiksi taloudellisia ja sosiaalisia näkökohtia ei normaalisti sisällytetä elinkaariarvioinnin soveltamisalaan. Näiden mittaamista varten on olemassa muita, erilaisia metodeja.

ISO 14040 -standardin mukainen elinkaariarviointi sisältää 4 vaihetta: tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyn, inventaarioanalyysin, vaikutusarvioinnin ja tulosten tulkinnan. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyssä kerrotaan elinkaariarvioinnissa tarkasteltava kohde, ympäristövaikutusten mittaamisen vaikutusluokka ja tarkastelun mahdollinen laajuus, esimerkiksi ajallisesti ja maantieteellisesti. Tässä vaiheessa myös selvennetään, mistä syystä ja millaisilla menetelmillä valittua kohdetta tutkitaan. Inven-

taarioanalyysi-vaiheessa kerätään tarkasteltavaan kohteeseen liittyvät syötteet ja tuotokset. Syötteet voivat sisältää esimerkiksi raaka-aineita ja energiaa, tuotokset taas päästöjä ja roskaa. Vaikutusarvioinnissa arvioidaan kohteen ympäristövaikutusten merkittävyyttä inventaarioanalyysin tietojen pohjalta. Tulosten tulkinta-vaiheessa tunnistetaan saatuihin tuloksiin vaikuttaneita tekijöitä ja arvioidaan tulosten tarkkuutta ja johdonmukaisuutta. Tuloksista tehdään johtopäätöksiä, tunnistetaan rajoituksia ja annetaan suosituksia. (ISO 14040:1997, 4–8.)

Tutkittavan kohteen elinkaariarvioinnin seurauksena saatavat tiedot ovat menetelmän nimen mukaisesti arvioita ja kuvaavat kohteen potentiaalisia ympäristövaikutuksia. Tulokset eivät ennusta kohteen tarkkoja ympäristövaikutuksia. Tietojen suurpiirteisyys johtuu ympäristön ominaisuuksista ja lainalaisuuksista, ympäristö on äärimmäisen monimutkainen kokonaisuus. Usein elinkaariarvioinnissa on pakko käyttää likimääräisiä tietoja, koska tarkempia ei ole vielä olemassa. Monimutkaisten kokonaisuuksien hallintaan tähtäämisen vuoksi elinkaariarvioinnin metodiikka on jatkuvan kehitystyön alla. Jokaisessa elinkaariarviointitutkimuksessa täytyy tehdä useita subjektiivisia valintoja, jotka voivat liittyä mm. tavoitteiden määrittelyyn, tutkimuksen rajaukseen, käytettävän aineiston valintaan ja tulosten raportointiin. Näistä seikoista johtuen samaa tuotetta tai palvelua koskeva tutkimus voi tuottaa erilaisia tuloksia.

Yritysten sisäisten toimintatapojen suunnittelussa ja kehittämisessä elinkaariarvioinnilla saatavista tuloksista voi olla suuri merkitys. Elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotesuunnittelussa ja –kehityksessä, strategisessa suunnittelussa, poliittisessa päätöksenteossa ja markkinoinnissa. Elinkaariarvioinnista yritykselle seuraavia hyötyjä saatavat olla myös energiassa ja raaka-aineissa säästäminen, parannukset kustannusten valvonnassa, yritysimagon kohentaminen ja asiakkaiden vakuuttaminen yrityksen sitoutumisesta ympäristöasioihin.

3 TIETOKONEIDEN ELINKAARIARVIOINTI

Parhaiden uusimpien arvioiden mukaan koko maailman tieto- ja viestintäteknologia on vastuussa noin 2 prosentista maailmanlaajuisista ihmistöiminnasta johtuvista kasvihuonekaasupäästöistä. Noin puolet näistä päästöistä on peräisin henkilökohtaisista tietokoneista ja oheislaitteista. (Teehan & Kandlikar 2012, 182.)

Pöytäkoneille tehtävässä elinkaariarvioinnissa on erittäin suuri määrä muuttujia, joista monet voivat lisätä tai vähentää koneen ympäristövaikutuksia hyvin dramaattisesti. Näytön koko ja tyyppi, oheislaitteet ja niiden määrä ja kaiuttimien tyyppi ovat esimerkkejä tällaisista muuttujista. Myös vaihtelu tietokoneen keskusyksikön sisältämissä komponenteissa eri tietokoneiden välillä voi johtaa useaan täysin eri luokan ympäristövaikutuksiin, varsinkin energiankulutuksen välityksellä. Tehokkaan työaseman virrankulutus on usein jopa moninkertainen verrattuna kotikäyttöön tarkoitettuun pöytäkoneeseen. Erityisesti näytöt edustavat suurta osaa tietokonejärjestelmän ympäristövaikutuksista, joten tarkempiin tuloksiin päästään arvioimalla pelkästään näyttöjä erillään muusta kokoonpanosta. Tämän li-

säksi pientä lisähajontaa ympäristövaikutuksiin tuo se, kuinka usein ja paljon tietokoneen käyttäjä vaihtaa ja lisää koneeseensa uusia osia ja oheislaitteita.

Tuotteiden ja palvelujen elinkaariarvioinnin tulokset ovat parhaimmillaan vain arvioita, mutta nimenomaan tietokoneen elinkaaren aiheuttamia vaikutuksia arvioitaessa pitää tehdä suuri joukko päätöksiä tutkittavan tietokoneen ja oheislaitteiden kokoonpanosta ja arvioida keskimääräinen päivittäinen käyttöaika ja koko laitteen käytön pituus vuosissa. Tällöin tällaisen arvion tulos on suuntaa-antava vain käsitellyn tarkan kokoonpanon tietokoneessa ja arvion oletetulla päivittäisen käytön keskiarvolla. Jonkin toisenlaisen pöytäkoneen jonkin muun mittaisten käyttöaikojen ympäristövaikutukset voivat olla joko moninkertaiset tai vain murto-osa tutkittuun tapaukseen verrattuna.

Elinkaariarviointitutkimuksista tehtävä meta-analyysi on myös erittäin haastavaa samoista syistä, eri tutkimusten päätökset mm. tutkittavan tietokoneen kokoonpanosta ja oletukset keskimääräisestä käyttöajasta vaihtelevat suuresti eri tutkimusten välillä (Teehan & Kandlikar 2012, 183). Täten niin sanotun tyypillisen pöytätietokoneen ympäristövaikutuksia on erittäin vaikeaa ilmaista määrällisesti. Tällaista ilmaisua yritettäessä täytyy tyytyä siihen, että asiasta voidaan esittää vain erittäin laajan skaalan arvio.

4 META-ANALYYSI PÖYTÄKONEIDEN KESKUSYKSIKÖIDEN LCA-TUTKIMUKSISTA

Tämän työn tiedonhakuprosessien yhteydessä löytyi tietokoneiden elinkaariarvioinnin aihepiiristä useita eripituisia ja vaihtelevan laadun ja laajuuden artikkeleita, useita tutkimuksia ja näiden vertailuja. Näistä yksi oli erittäin selkeästi informatiivisin ja yksityiskohtaisin. Tämä on Paul Teehanin ja Milind Kandlikarin meta-analyysi pöytätietokoneiden elinkaariarviointitutkimuksista, joka on julkaistu Yalen yliopiston Journal Of Industrial Ecology-julkaisun 16. vuosikertajulkaisussa vuonna 2012. Meta-analyysi ja sen taustatiedodokumentti sisältävät lähes kaiken tietokoneiden keskusyksiköiden elinkaariarviointitutkimuksissa julkaistusta hyödyllisestä tiedosta. Tässä luvussa on koottu ja referoitu tärkeimmät tiedot mainitusta meta-analyysistä ja sen taustatiedosta ja esitetty näistä luotuja kaavioita.

4.1 Johdanto

Viihde-elektroniikasta ja tietokoneista on tehty useita elinkaariarviointitutkimuksia, mutta niiden tulokset eivät kuitenkaan ole kovin yhdenmukaisia. Merkittävää variaatiota ilmenee sekä ilmoitetuissa tietokoneen elinkaaren kokonaisympäristövaikutuksissa että elinkaaren ympäristövaikutuksia dominoivassa vaiheessa, joka on kerrottu joko valmistus- tai käyttövaiheeksi. (Teehan & Kandlikar 2012, 182.)

Tulosten variaation rajoittamiseksi meta-analyysissä keskityttiin tietokoneen, näytön ja oheislaitteiden sijaan pöytätietokoneiden keskusyksikköihin. Tutkittavan aiheen rajattu laajuus mahdollistaa julkaistujen tutkimus-

ten tulosten syvemmän käsittelyn. Elinkaariarviointitutkimusten lisäksi tarkasteltiin myös aiheeseen liittyvää muuta materiaalia, josta oli apua tutkimusten tulosten kontekstualisoinnissa ja tulkinnassa. (Teehan & Kandlikar 2012, 182.)

Ensin tutkimuksista tehtiin yhteenveto niiden ilmoitettujen tulosten kokonaisympäristövaikutusten ja elinkaaren vaiheiden suhteellisten vaikutusten esittämiseksi ja tunnistettiin mitkä elinkaari-inventaarion komponentit ovat suurimpia tekijöitä minkäkin elinkaaren vaiheen ympäristövaikutuksille. Tämän jälkeen selitettiin kuinka paljon ja miksi eri tutkimusten arviot eroavat toisistaan ja mitkä ovat parhaat arviot pöytä tietokoneen ympäristövaikutusten vaihteluväleille. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

4.2 Lähestymistapa

LCA-tutkimusten meta-analyysi on haastavaa, sillä tutkimuksissa saattaa esiintyä vaihtelua analysoitavassa kohteessa, ajallisessa ja maantieteellisessä laajuudessa, inventaariotiedoissa ja päästökertoimissa. Nämä erot liisäävät numeerisen tuloksen vaihtelua ja ne pitää mahdollisuuksien mukaan huomioida pätevien vertailujen helpottamiseksi. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

4.2.1 Laajuus ja analyysin kohde

Muiden elektroniikkalaitteiden, kuten kannettavien tietokoneiden ja matkapuhelinten, sijaan analyysin kohteeksi on valittu pöytä tietokoneet. Tälle perusteina olivat pöytä koneiden tähän asti saama huomio LCA-tutkijoilta ja pöytä koneiden edustama suhteellisen suuri osuus tieto- ja viestintä tekniikan alan kokonaisympäristövaikutuksista. Tyypillisesti pöytä tietokone sisältää keskusyksikön, joko CRT- tai LCD-näytön ja oheislaitteita kuten näppäimistön, hiiren ja tulostimen. Tämän meta-analyysin laajuudeksi rajattiin pöytä koneen keskusyksikkö ilman näyttöä ja oheislaitteita. Erityisesti näytöt edustavat merkittävää osaa tietokonejärjestelmän ympäristövaikutuksista, mutta niitä ei käsitelty tutkimuksissa yhdenmukaisesti. Osa tutkimuksista sisälsi CRT- ja osa LCD-näytön, monet huomioivat näiden kahden vaikutukset sekoituksena molemmista ja osassa ei käsitelty näyttöä ollenkaan. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

Pöytä tietokoneita on erikokoisia ja erilaisilla ominaisuuksilla, mutta useimpien tutkimusten tavoitteena oli arvioida keskimääräistä tai tyypillistä kokoonpanoa edustavaa tietokonetta. Meta-analyysissä käytettiin samaa lähestymistapaa. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

Maantieteellisellä alueella on eroja tutkimusten välillä. Valmistusvaiheen ympäristövaikutukset tapahtuvat yleensä Kaakkois-Aasiassa, mutta käyttö vaiheen vaikutukset riippuvat paikallisen sähköntuotannon rakenteesta. Tämän variaation lähteen korjaamiseksi käyttö vaiheen ympäristövaikutuksia vertaillaan kilowattitunneissa varsinaisten pääte pisteessä esiintyvien ympäristövaikutusten sijaan. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

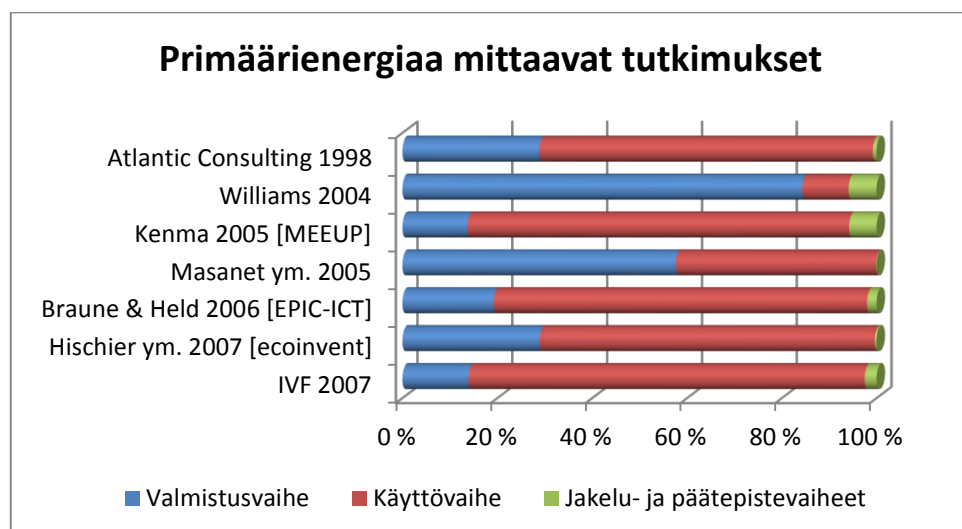
4.2.2 Ympäristövaikutusten määrittely

Ympäristövaikutuksia voidaan mitata eri tavoilla riippuen tutkijoiden valitsemasta vaikutusarvioinnin metodista. Kahta näistä käytettiin suuressa osassa analysoitavia tutkimuksia. Toinen näistä on GWP, Global Warming Potential, joka tulkitsee tarkasteltavan kohteen vaikutusta ilmaston lämpenemiseen 100 vuoden aikana. Sen tulos ilmaistaan kilogrammoissa CO₂-ekvivalenttia. Toinen tutkimuksissa laajalti käytetty mittaustietodi on CED, Cumulative Primary Energy Demand, josta ilmenee tarkasteltavan kohteen primäärienergian tarve. Tämän ilmaistaan megajouleissa. (Teehan & Kandlikar 2012, 183.)

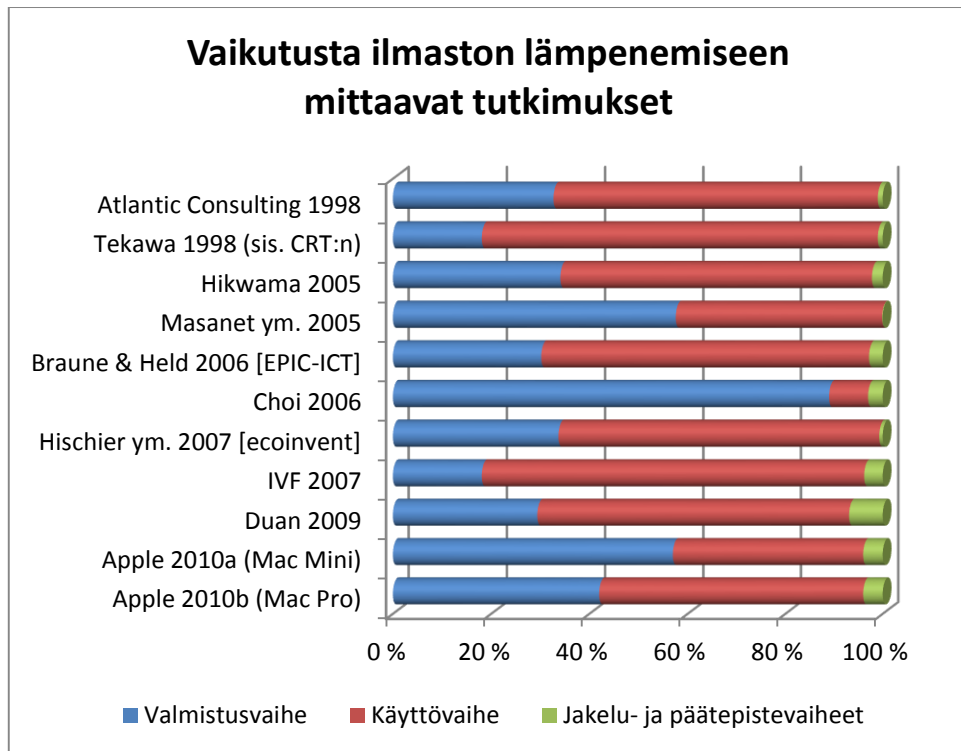
4.3 Yhteenveto tutkimusten tuloksista

Pöytätielokoneiden LCA-tutkimukset löytyivät Google Scholar-hakujen ja useiden eri akateemisten tietokantojen sekä toisten julkaistujen tutkimusten lainauksien kautta. Yksi tutkimus (MCC 1993) hylättiin sen iän vuoksi ja toinen (Eugster, Hischier & Duan 2007) koska samat tulokset oli uudelleenjulkaistu toisessa tutkimuksessa (Duan, Eugster, Hischier, Streicher-Porte & Li 2009). Meta-analyysin laatijoiden tietojen mukaan kaikki muut julkaistut pöytätielokoneiden LCA-tutkimukset on sisällytetty analyysiin. (Teehan & Kandlikar 2012, 184.)

Tutkimusten toteamat tietokoneen keskusyksikön elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset ympäristövaikutukset on koottu kuviin 1 ja 2 (sivu 6). Kuvassa 1 on primäärienergiaa mittaavien tutkimusten tulokset ja kuvassa 2 vaikutusta ilmaston lämpenemiseen mittaavien tutkimusten tulokset. Keskusyksikön lisäksi myös näytön ympäristövaikutuksia tarkastelleiden tutkimusten tulokset on, mikäli mahdollista, mukautettu näytön vaikutukset pois sulkeviksi. Tekawan ja kollegoiden (1997) tutkimuksen tapauksessa tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista sen sisältämien puutteellisten tietojen vuoksi, joten mainitun tutkimuksen tulokset sisältävät CRT-näytön. (Teehan & Kandlikar 2012, 184.)

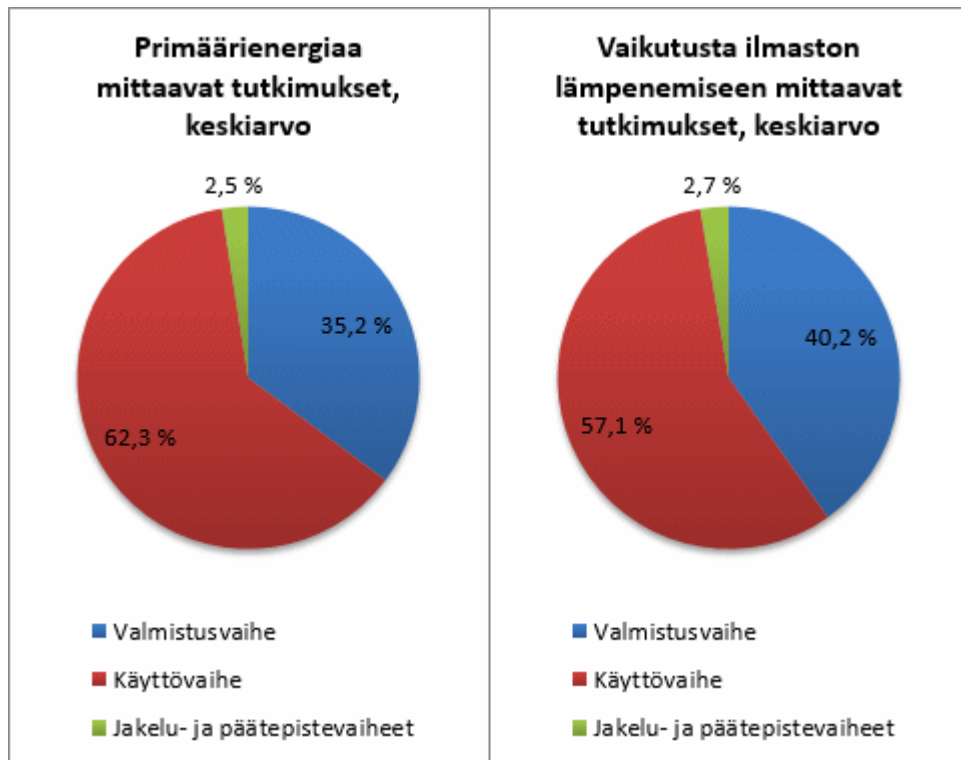


Kuva 1. Tietokoneen keskusyksikön elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset ympäristövaikutukset primäärienergiaa mittaavista tutkimuksista.



Kuva 2. Tietokoneen keskusyksikön elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset ympäristövaikutukset vaikutusta ilmaston lämpenemiseen mittaavista tutkimuksista.

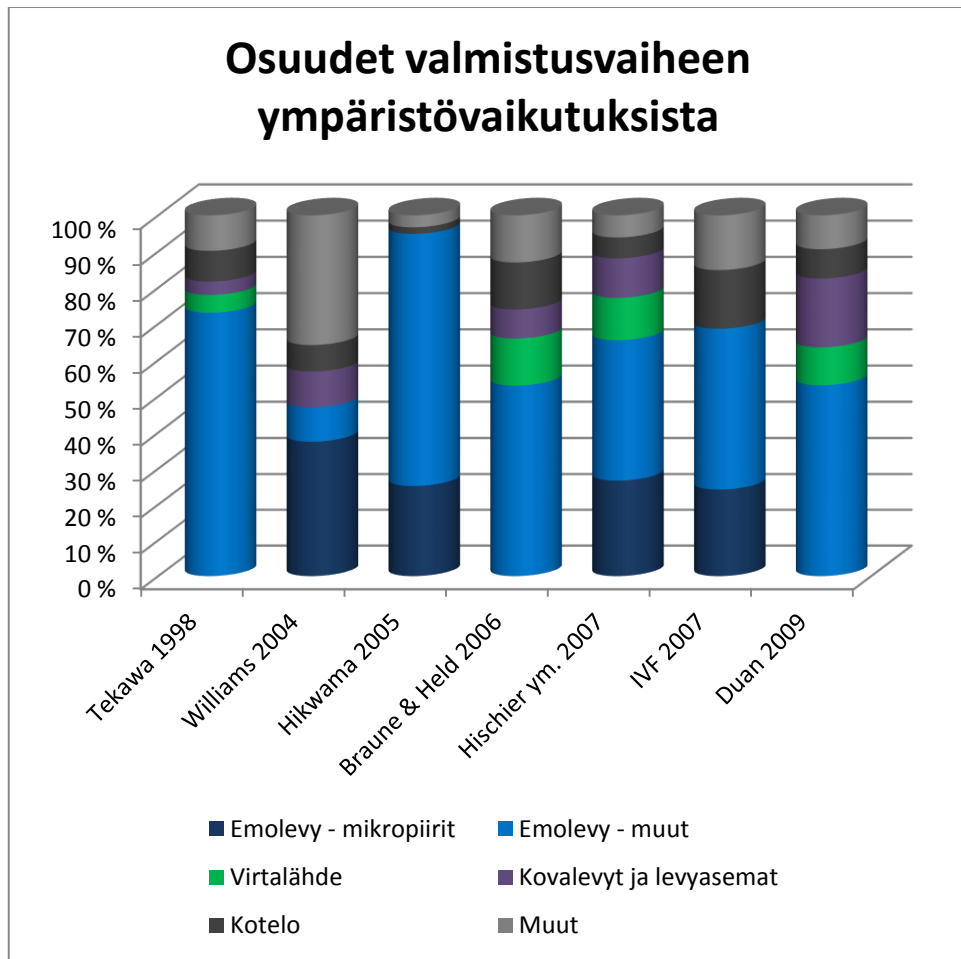
Kuvasta 3 (sivu 7) käy ilmi molempia ympäristövaikutusta mittaavia menetelmiä käyttävien tutkimusten keskiarvot keskusyksikön elinkaaren eri vaiheiden suhteellisille vaikutuksille. Useimpien tutkimusten mukaan nimenomaan käyttövaihe kattaa selvästi suurimman osan pöytätietokoneen keskusyksikön elinkaaren kokonaisympäristövaikutuksista. CED:tä eli primäärienergiantarvetta mittarinaaan käyttävien tutkimusten mukaan käyttövaiheen keskimääräiset ympäristövaikutukset kattavat noin 62 % kokonaisvaikutuksista, valmistusvaiheen osuuden ollessa noin 35 %. Sekä jakelu- että päätepestevaiheiden osuudet jäivät hyvin pieniksi. Samansuuntaisesti GWP:tä eli vaikutusta ilmaston lämpenemiseen mittaavissa tutkimuksissa keskiarvoiset eri vaiheiden osuudet kokonaisympäristövaikutuksista olivat noin 57 % käyttövaiheelle ja 40 % valmistusvaiheelle. Kahden muun vaiheen vaikutukset jäivät näidenkin tutkimusten tuloksissa erittäin pieniksi. (Teehan & Kandlikar 2012, 184.)



Kuva 3. Primäärienergiaa ja ilmaston lämpenemistä mittaavien tutkimusten keskiarvoiset ympäristövaikutukset tietokoneen keskusyksikön elinkaaren eri vaiheille.

4.4 Valmistusvaihe

Valmistusvaihe sisältää materiaalien louhinnan ja jalostuksen, osakokoonpanon tuotannon ja lopullisen koonpanon. Vaihe on erityisen hankalasti analysoitava, sillä se sisältää suuren määrän erittäin monimutkaisia prosesseja. Analyysiä voi kuitenkin helpottaa rajaamalla tutkittavien komponenttien määrää ryhmittämällä ne suhteelliseen pieneen määrään ryhmiä. Eri komponenttien ympäristövaikutukset erittelevissä tutkimuksissa komponentit jaettiin seuraaviin ryhmiin: emolevyn mikropiirit, emolevyn muut osat, virtalähde, kiintolevyt ja levyasemat, kotelo. Näytönohjaimet ja muut sisäiset piirilevypohjaiset oheislaitteet on ryhmitelty yhteen emolevyn kanssa. Näiden lisäksi kaikki muut komponentit on ryhmitelty erikseen ryhmäksi ”muut”. Tutkimusten tulokset eri komponenttiryhmien suhteellisista osuuksista keskusyksikön valmistusvaiheen ympäristövaikutuksille näkyvät kuvassa 4 (sivu 8). (Teehan & Kandlikar 2012, 185.)



Kuva 4. Komponenttikategorioiden prosentuaaliset osuudet valmistusvaiheen ympäristövaikutuksista.

Osa tutkimuksista tarkasteli mikropiirejä erikseen ja osa kasasi ne yhteen emolevyn kanssa. Tästä huolimatta tutkimuksista kävi selkeästi ilmi, että valmistusvaiheen suurimmat ympäristövaikutukset johtuvat emolevyistä ja mikropiireistä. Nämä kaksi komponenttiryhmää olivat vastuussa yli 50 prosentista keskusyksikön ympäristövaikutuksista kaikissa paitsi yhdessä tutkimuksessa. Tutkimusten keskiarvossa niiden yhteenlaskettu osuus oli lähes kaksi kolmasosaa. Muut komponentit muodostivat selvästi pienempiä osuuksia, joista keskiarvona suurin oli ryhmä muut. Tässäkin vertailussa eri tutkimusten välisissä mittasuhteissa oli huomattavaa vaihtelua. (Teehan & Kandlikar 2012, 185.)

4.4.1 Komponenttitason vaikutukset

Tutkimuksista huomioitiin jokaisen komponenttiryhmän suuruus kilogrammoissa ja näiden ryhmien ympäristövaikutukset. Ryhmien ympäristövaikutuksia havainnointiin muodossa vaikutukset per kilogramma komponentin massaa. Mikropiirien vaikutusten tunnistaminen erotettiin tästä vertailusta niiden suurten ympäristövaikutusten ja toisaalta miltei olemattoman massan vuoksi. Mikropiirejä tarkasteltiin erikseen omassa osiossaan, josta löytyy asiaa seuraavassa luvussa. Kaikista meta-analyysissä tarkasteltavista tutkimuksista vain neljässä oli lueteltu tietokoneen keskus-

yksikön eri komponenttiryhmien paino ja näistä vain kolmessa oli tutkittu eri ryhmien ympäristövaikutuksia. (Teehan & Kandlikar 2012, 185–186.)

Tutkimukset olivat karkeasti ottaen melko yksimielisiä eri osien massoista. Kaikkien neljän tutkimuksen ilmoittamat massat keskusyksikön kokonaispainolle olivat 9,0 ja 11,3 kilogramman välissä. Kotelon massaksi ilmoitettiin 5,5–7,0 kilogrammaa ja emolevyn, asemien ja virtalähteen massaksi kullekin ryhmälle noin 1–2 kilogrammaa. Arviot eri osien ympäristövaikutuksista vaihtelivat kuitenkin suuresti. Komponenttiryhmästä riippuen suurin ilmoitettu ympäristövaikutus kilogrammaa kohti oli 2–5-kertainen pienimpään verrattuna. Analyysissä todettiin, että rajallisella määrällä datakohtia ja näin suuren hajonnan perusteella ei voi tehdä tarkkoja päätelmiä eri ryhmien ympäristövaikutukselle ryhmän massaa kohti. (Teehan & Kandlikar 2012, 186.)

4.4.2 Mikropiirit

Meta-analyysin tutkimuksista 9 kappaletta tarkasteli erikseen mikropiirejä ja niiden vaikutusta ympäristöön. Tutkimuksissa mitattiin puolijohteen pitoisuuksia keskusyksiköiden mikropiireissä kolmella eri tavalla. Nämä olivat käytetyn piikiekon pinta-ala, valmiin mikropiirin pinta-ala ja koteloidun sirun massa. Näistä tiedoista muunnettiin luvut samaan formaattiin olettamalla neliösenttimetrin valmista mikropiiriä käyttävän 1,67 neliösenttimetriä, eli 0,2 grammaa, piikiekkoa. Myös tutkimusten ilmoittamat mikropiirien ympäristövaikutukset adaptoitiin keskenään vertailukelpoiksi samojen kertoimien avulla. Osa tutkimuksista ilmoitti ympäristövaikutukset mitattuna megajouleissa neliösenttimetriä kohti, osa kilogrammoissa CO₂-ekvivalenttia neliösenttimetriä kohti ja osa molempina yksiköinä. (Teehan & Kandlikar 2012, 186.)

Tutkimusten raportoimat valmiin mikropiirin pinta-alat tietokoneen keskusyksikössä vaihtelivat välillä 12–66 cm², mediaanin ollessa 22 cm². Kahden tutkimuksen ilmoittamat ympäristövaikutusarviot havaittiin meta-analyysissä virheellisiksi. Näiden poislukemisen jälkeen tutkimusten ympäristövaikutusarvioiden vaihteluvälit olivat 21–81 megajoulea ja 1,6–7 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia neliösenttimetriä kohti. Analyysissä todettiin Boydin ja kollegojen (2009) tutkimuksen olevan perinpohjaisin ja eniten ajan tasalla oleva puolijohteiden tuotantoon perehtynyt elinkaariarviointitutkimus. Mainittu tutkimus ilmoitti mikropiirien ympäristövaikutusten sijaitsevan aiemmin mainittujen vaihteluvälien yläpäässä. Tämän todettiin viittaavan siihen, että muut tutkimukset saattavat aliarvioida puolijohteiden vaikutuksia ympäristölle. (Teehan & Kandlikar 2012, 186.)

4.4.3 Valmistusvaiheen analyysi

Komponenttiryhmien tasolla tutkimukset olivat merkittävästi ristiriidassa keskenään. Tutkimusten ilmoittamat komponenttien massat olivat kuitenkin suhteellisen yhdenmukaisia. Tämä antaa ymmärtää variaation johtuvan eroavista oletuksista eri komponenttien ympäristövaikutusten suhteen, erityisesti emolevyn ja mikropiirien tapauksessa. Varsinkin mikropiireissä

sekä niiden ilmoitetut massat että ympäristövaikutukset olivat erittäin vaihtelevia. Keskusyksikön kokonaismassan vaihteluväli oli tutkimuksissa 9,0–11,3 kilogrammaa, GWP-tulosten vaihteluväli 13–23 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia ja CED-tulosten 180–590 megajoulea keskusyksikkökilogrammaa kohti. (Teehan & Kandlikar 2012, 186.)

Analyysissä todettiin, että nämä tiedot eivät ole riittäviä määrittämään kovin vakuuttavaa skaalaa pöytätietokoneen valmistusvaiheen ympäristövaikutuksille. Olettaen että sekä keskusyksikön kokonaismassat että ympäristövaikutukset kilogrammaa kohti osuvat tutkimuksista saatavien vaihteluvälien sisään, yhteenvetona analysoitavien tutkimusten tiedoista arvioitiin GWP:n voivan vaihdella 120 kilogrammasta 250 kilogrammaan CO₂-ekvivalenttia / keskusyksikkö ja CED:n 1 600 megajoulesta 6 500 megajouleen. (Teehan & Kandlikar 2012, 186.)

4.5 Käyttövaihe

Kuten aiemmin mainittu, käyttövaihe on vastuussa suurimmasta osasta keskusyksiköiden elinkaaren ympäristövaikutuksia lähes kaikissa analysoiduissa tutkimuksissa. Käyttövaiheen vaikutukset ympäristöön ovat selvästi valmistusvaiheen vaikutuksia helpompi mitata ja määrittää, sillä ai-noat tämän vaiheen ympäristövaikutukset johtuvat laitteen elinkaaren sähkönkulutuksesta. (Teehan & Kandlikar 2012, 186-187.)

Tästä huolimatta LCA-tutkimusten tuloksissa on suurta vaihtelua myös käyttövaiheen ympäristövaikutusten osalta. Laitteen koko elinkaaren primäärienergiantarpeen arviot vaihtelevat alimmasta 580 megajoulesta (Williams 2004) korkeimpaan 16 800 megajouleen, joka on noin 29-kertainen vaihteluväli. Käyttövaiheen sähkön kokonaiskulutus koostuu laitteen tehontarpeesta, käyttäjien käyttöajoista ja -tavoista ja laitteen eliniän pituudesta. Useimmissa laitteissa on monta eri toimintatilaa, kuten aktiivinen tila, valmius-/ lepotila ja sammutettu tila. Kaikilla näillä on myös erilaiset tehontarpeet, joten käyttövaiheen sähkönkulutukseen variaatiota aiheuttavia tekijöitä on useita. (Teehan & Kandlikar 2012, 187.)

Käyttämällä Kawamoton ja kollegojen (2001) ja Rothin ja kollegojen (2002) kuvaamia menetelmiä, laitteen käyttövaiheen kokonaisenergiankulutus selviää käyttämällä kaavan 1 yhtälöä. Siinä joukolle toimintatiloja (PM), tilalle $i \in PM$, tehonkulutus on $P(i)$ ja keskiarvo toimintatilassa i käytetylle ajalle on $t(i)$. (Teehan & Kandlikar 2012, 187.)

$$\text{Energiankulutus} = \text{elinkaari} \sum_{i \in P} P(i)t(i) \quad (1)$$

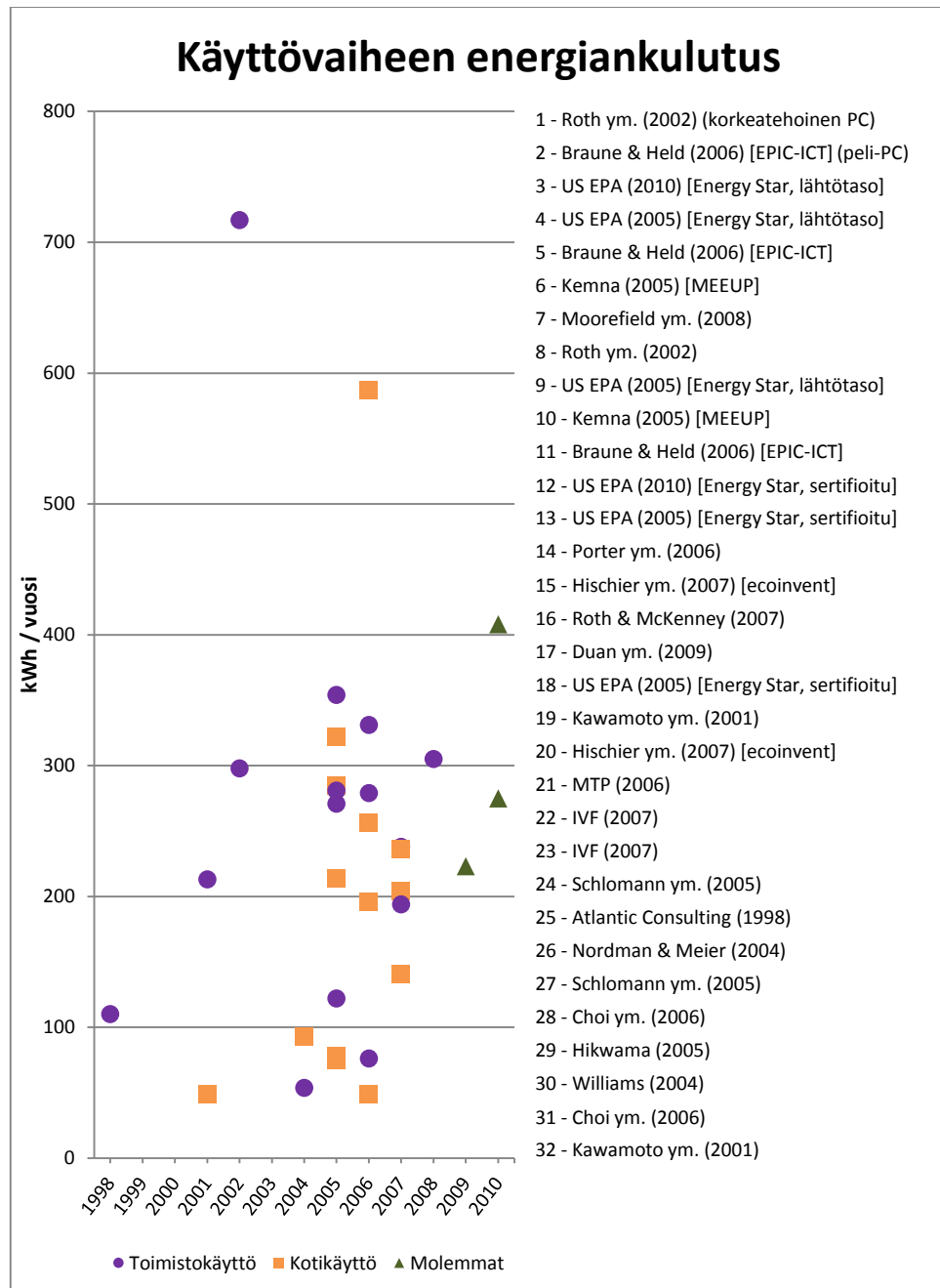
Kaavassa tehonkulutus on ilmaistuna kilowattitunneissa, elinkaari vuosisa, $P(i)$ kilowateissa ja $t(i)$ tunneissa per vuosi. Tutkimusten välillä tapahtuva variaatio johtuu laitteen elinkaaren pituuden eriävistä arvioista, arvioiduista eroista energiankulutuksessa ja käyttöajoissa. Vähemmässä määrin variaatiota aiheuttivat myös eroavat oletukset koskien muunnosker-

rointa, jolla kilowattitunnit muutettiin ympäristövaikutuksiksi. (Teehan & Kandlikar 2012, 187.)

4.5.1 Laitteen energiankulutus

Tähän asti käsiteltyjen pöytätietokoneiden keskusyksiköiden elinkaariarviointitutkimusten lisäksi meta-analyysissä tarkasteltiin myös viihdeelektroniikan energiankulutusta mittaavia tutkimuksia, joissa oli osana tutkittu myös pöytäkoneiden keskusyksiköitä. Osa näistä tutkimuksista oli meta-analyyseja, osa suuria ja osa pieniä tutkimuksia. Osassa tutkittiin tietokoneiden virrankulutusta kotikäytössä, toisissa toimistokäytössä. (Teehan & Kandlikar 2012, 187.)

Kaikkien näiden tutkimusten ilmoittamat luvut tietokoneen keskusyksikön energiankulutuksesta yhtä käyttövuotta kohti näkyvät kuvasta 5. (sivu 12)



Kuva 5. Tietokoneen keskusyksikön käyttövaiheen vuosittaisen sähkökulutuksen tuloja sekä LCA-tutkimuksista että viihde-elektronikkatutkimuksista.

Suurin osa tarkastelluista tutkimuksista mittasi tietokoneen keskusyksikön vuosittaiseksi energiankulutukseksi jotakin 100 ja 350 kilowattitunnin väliltä. Suurimmat tulokset olivat tapaustutkimuksia korkean suorituskyvyn työasemasta (Roth & McKenney 2002) ja korkean suorituskyvyn peli-PC:stä (Braune ja Held 2006). Virrankulutukselle alhaisimpia arvoja esittäneiden tutkimusten todettiin tekevän kyseenalaisia oletuksia tietokoneiden käyttöajoista. Esimerkiksi Kawamoto ja kollegat (2001) oletivat, että kotikäytössä olevat tietokoneet olivat ammutettuina 91 % ajasta, kun taas Porterin ja kollegoiden (2006) pistorasiamittaukset osoittivat tämän luvun olevan jossakin 60 %:n tietämällä. Samansuuntaisesti Williams (2004) oletti kotikäyttöisen tietokoneen käyttöajaksi 3 tuntia päivässä, mutta Por-

ter ja kollegat (2006) mittasivat tutkimuksessaan päivittäisen käytön lähes 8 tunniksi. (Teehan & Kandlikar 2012, 187-188.)

Molemmat tutkimukset, jotka esittivät käyttövaiheen sijaan tuotantovaiheen ympäristövaikutuksia dominanteiksi, Choi ja kollegat (2006) ja Williams (2004), ilmoittivat keskusyksikön energiankulutukseksi kaikkien tutkimusten tulosten skaalan alapään lukuja. Tämä viittaa siihen, että näiden tutkimusten erimielisyys muihin nähden johtuu eriävistä oletuksista tietokoneiden käyttöajolle. Näiden tutkimusten oletamat 50–100 kilowattitunnin vuosikulutukset ovat kyllä mahdollisia matalatehoisille pöytä tietokoneille tai tietokoneille joita käytetään harvoin. Ne eivät kuitenkaan ole kuvaavia tyypillisten pöytä koneiden energiankulutuksesta tavallisilla käyttömalleilla. (Teehan & Kandlikar 2012, 188.)

4.5.2 Laitteen elinikä

Keskusyksikön käyttövaiheen kokonaisenergiankulutus selviää kertomalla sen eliniän pituus vuosittaisella energiankulutuksella, joten eliniän määrittäminen on tärkeää. Laitteiden keskimääräisen eliniän pituuden mittaaminen on kuitenkin hyvin vaikeaa, sillä monissa tapauksissa tietokoneet lojuvat säilytyksessä jopa vuosia niiden käytön loputtua ja joskus niiden käyttö jatkuu jälkimarkkinoiden välityksellä. Näistä jälkimmäinen toiminta pitäisi laskea mukaan laitteen elinikään, sillä laitteen energiankulutus jatkuu, mutta säilytyksessä vietetty aika pitäisi jättää huomioimatta. Eliniän mittaamiseen käytetyt menetelmät, joihin saattavat kuulua mm. asiakaskyselyt, jätevirran seuranta tai ostotoiminnan seuranta, eivät välttämättä aina pysty tunnistamaan laitteiden säilytystä ja uudelleenkäyttöä. Tämä johtaa vaihteluun eliniän pituuksien arvioissa. (Teehan & Kandlikar 2012, 188.)

Tietokoneiden elinikää mittaavia tutkimuksia ja eliniän arvioita LCA-tutkimuksissa vertailtiin myös omana osuutenaan. Elinikien arvioita ja mittaustuloksia saatiin näin yhteensä 21 kappaletta. Vakuuttavimmaksi elinikä tutkimukseksi todettiin Babbittin ja kollegoiden (2009) tutkimus, jonka laskelmat perustuivat yliopistoympäristössä tehtyihin tietokoneiden hankintatietoihin 20 vuoden ajalta, kohteiden määrän ollessa yli 2 000 vuodessa. Valitettavasti tämän tutkimuksen viimeiset luotettavat tiedot hankinnoista olivat vasta vuodelta 2000, jolloin keskimääräinen elinikä oli 5,5 vuotta. (Teehan & Kandlikar 2012, 188-189.)

Arviot tietokoneiden eliniästä vaihtelivat tutkimuksissa 3 vuodesta reiluun 8 vuoteen. Laadukain tutkimus, Babbitt ja kollegat (2009), totesi keskusyksiköiden eliniäksi hieman vajaat 8 vuotta. Tämä tulos on luultavasti lähellä skaalan ylärajaa siitä syystä, että tutkimuksessa seurattiin tietokoneita merkittävää uudelleenkäyttöä harjoittavalla akateemisella kampuksella. Saman tutkimuksen aineistossa näkyvät laskevat trendit viittaavat keskusyksiköiden eliniän olevan nykypäivänä noin 5 vuotta. Pienempi 3 vuoden mittaisen eliniän tulos Smuldersin (2001) tutkimuksessa, lainattuna Gartner-tutkimuksesta, suoritettiin liiketoimintaympäristössä, jossa laitteet todennäköisesti korvattiin uusilla selvästi useammin kuin akateemisessa ympäristössä. (Teehan & Kandlikar 2012, 189.)

Uudelleenkäyttö pidentää keskimääräistä elinikää. Yoshidan ja kollegoiden (2009) mukaan kierrätyskeräys-järjestelmien perustaminen Japanissa lisäsi uudelleenkäyttöä niin, että vuonna 2004 noin 37 % maan poisheite-tyistä tietokoneista käytettiin uudelleen kotimaassa ja näiden lisäksi 25 % viennin välityksellä ulkomailla. Uudelleenkäytön määrä on kuitenkin todennäköisesti alhaisempi maissa, joissa ei ole vakiintuneita tietokoneiden kierrätysohjelmia. Uudelleenkäytön vallitsevuus ja tätä kautta tapahtuva laitteiden eliniän jatkuvuus lisäävät epätietoisuutta tietokoneiden keskusyksiköiden elinikien pituuksista. Saatavilla olevan aineiston perusteella analyysissä arvioitiin eliniät 3 ja 6 vuoden väliltä järkeviksi arvioinneiksi, riippuen käyttötarkoituksista ja -tavoista ja uudelleenkäyttöä tukevan infrastruktuurin saatavuudesta. (Teehan & Kandlikar 2012, 189.)

4.5.3 Käyttövaiheen analyysi

Energiankulutuksesta johtuvat ympäristövaikutukset voidaan mitata megajouleissa primäärienergiaa tai kilogrammoissa CO₂-ekvivalenttia kertomalla kilowattitunnit tarkoituksenmukaisilla päästökertoimilla. Kaikissa analysoiduissa tutkimuksissa ei ilmoitettu käytettyjä päästökertoimia, mutta joissain tapauksissa ne oli mahdollista selvittää tunnistamalla ilmoitetut käyttövaiheen kokonaisympäristövaikutukset ja jakamalla laitteen ilmoitetulla kokonaisenergiankulutuksella. Tutkimuksissa ilmoitettuja ja edellä mainitulla tavalla laskettuja päästökertoimia vertailtiin keskenään. (Teehan & Kandlikar 2012, 189.)

Yhtä lukuun ottamatta kaikki tutkimukset otaksuivat 1 kilowatin sähköä vastaavan 10–12 megajoulea primäärienergiaa. Ainoana poikkeuksena näistä luvuista oli Williams (2004), joka oletti selvänä virheenä 1 kilowatin vastaavan 3,6 megajoulea. Samaten vertailtavat ilmaston lämpenemisen päästökertoimet olivat 0,4 ja 0,6 CO₂-ekvivalenttikilogramman välillä. Nämä luvut ilmaisevat sähköntuotantoinfrastruktuurin ympäristövaikutukset kullekin tutkimukselle asianmukaisessa maantieteellisessä sijainnissa, joten jonkin verran variaatiota on täysin odotettavissa. Vertailtujen kertoimien keskiarvot olivat 11 megajoulea/kilowattitunti ja 0,5 kg CO₂-ekvivalenttia/kilowattitunti, kun Williamsin (2004) luvut oli poisluettu. (Teehan & Kandlikar 2012, 189-190.)

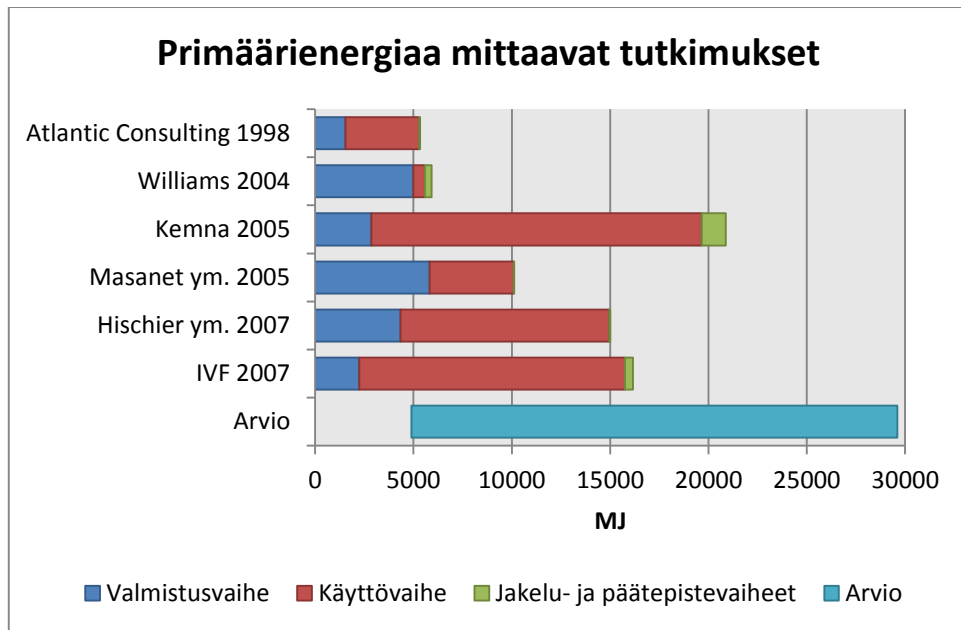
Myös eri valtioiden sähköverkkojen päästökertoimia vertailtiin keskenään. Tähän vaaditut tiedot oli hankittu Ecoinvent-inventaarioanalyysitietokannasta. Sähköverkkojen päästökertoimissa oli erittäin suuri hajonta, joka ilmaisee sen, että tuotteen käytön maantieteellinen sijainti on ratkaiseva tekijä sen kokonaisympäristövaikutuksessa. Keskusyksikön käyttövaiheen vaikutus ilmaston lämpenemiseen on 29-kertainen Kiinassa (suurin arvo vertailluista, noin 1,45 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia per kilowattitunti) verrattuna Norjaan (pienin vertailtu arvo). Tämä johtuu siitä, että Kiinan sähköjärjestelmä on hiilipohjainen, kun taas Norjan vastaava on lähes pelkästään vesivoiman varassa. Laitteen käytön maantieteellisen sijainnin merkitys ympäristövaikutuksiin ei ole elinkaariarvioinnin harjoittajille tuntematon seikka, mutta sitä ei silti ole aina sel-

keästi viestitty tutkimusten tuloksia esitettäessä. (Teehan & Kandlikar 2012, 190.)

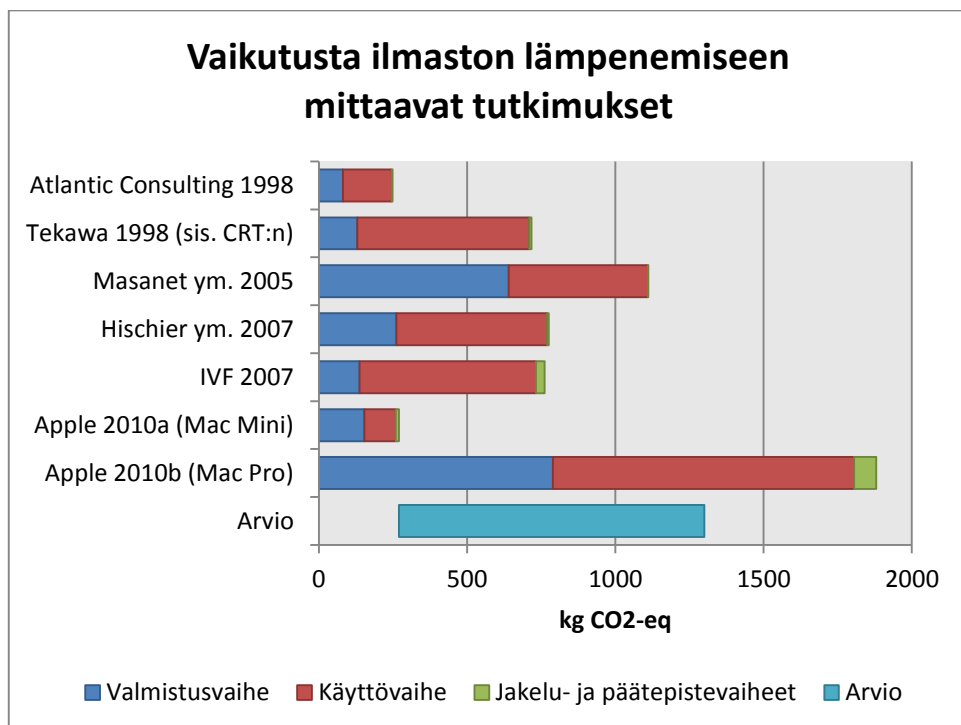
Aikaisemmissa osioissa käsitellyn datan perusteella todennäköiset arviot tietokoneen keskusyksikön vuosittaiselle energiankulutukselle vaihtelevat välillä 100–350 kilowattituntia vuodessa ja eliniälle välillä 3–6 vuotta. Kertomalla vuosittainen energiankulutus ja elinikä yhteen saadaan keskusyksikön koko käyttövaiheen energiankulutuksen skaalaksi 300–2 100 kilowattituntia. Muutettuna primäärienergiaksi käyttämällä tutkimusten ilmoittamia päästökertoimien keskiarvoja, tästä saadaan skaala 3 300–23 100 megajoulea. Samat luvut muutettuna GWP-arvoiksi ovat 150–1 050 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia. (Teehan & Kandlikar 2012, 190.)

4.6 Analyysi ympäristövaikutuksista kokonaisuutena

Aiempien osien tietojen perusteella tietokoneen keskusyksikön valmistusvaiheen ympäristövaikutusten vaihteluvälit olivat ilmaston lämpenemiseen kohdistuvaa vaikutusta mittaavalla GWP-metodilla ilmaistuna 120–250 kilogrammaa ja käyttövaiheen 150–1 050 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia. Ilmaistuna CED-metodilla, eli ensisijaisena kumulatiivisena energiantarpeena, samat vaihteluvälit olivat 1 600–6 500 megajoulea valmistusvaiheelle ja 3300–23100 megajoulea käyttövaiheelle. Yhteenlaskettuna valmistus- ja käyttövaiheiden ympäristövaikutukset ovat siis 270–1 300 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia tai 4 900–29 600 megajoulea. Luvut ovat ilmaistuna kaavioiden muodossa kuvissa 6 ja 7 (sivu 16). Kuten ensimmäisessä osassa käsiteltiin, nämä vaiheet ovat vastuussa yhteensä noin 97 prosentista keskusyksikön koko elinkaaren ympäristövaikutuksista. Aineiston painotuksesta päätellen meta-analyysissä todettiin näistä tiedoista voitavan tulkita tyypillisen pöytä koneen käyttövaiheen ympäristövaikutusten osuvan näiden vaihteluvälien keskivaiheille. (Teehan & Kandlikar 2012, 190.)



Kuva 6. Primäärienergiaa mittaavien tutkimusten koko tietokoneen keskusyksikön elinkaaren kokonaisympäristövaikutukset ja eri vaiheiden osuudet sekä meta-analyysin tekijöiden oma arvio järkevästä vaihteluvälistä näille.



Kuva 7. Ilmaston lämpenemistä mittaavien tutkimusten koko tietokoneen keskusyksikön elinkaaren kokonaisympäristövaikutukset ja eri vaiheiden osuudet sekä meta-analyysin tekijöiden oma arvio järkevästä vaihteluvälistä näille.

Käyttövaiheen ympäristövaikutukset kasvavat tai vähenevät suhteessa toisiinsa riippuen käyttösjainnin sähköverkon ominaisuuksista. Vähähiilillä alueilla, kuten Norjassa, valmistusvaiheen Kaakkois-Aasiassa tapahtuvat ympäristövaikutukset ylittävät käyttövaiheen vaikutukset suurella marginaalilla. (Teehan & Kandlikar 2012, 190.)

Kollektiivinen todistusaineisto valmistuksesta johtuvista ympäristövaikutuksista on vähemmän vakuuttavaa. Aiempana tekstissä käsitelty analyysi tunnisti eri komponenttiryhmiä päästökertoimissa huomattavaa variaatiota, varsinkin emolevyjen ja mikropiirien tapauksessa. Nämä komponentit olivat myös syynä tuntuvaan variaatioon valmistusvaiheen kokonaisympäristövaikutuksissa, mutta todistusaineistoa ei ollut tarpeeksi järkevän vaihteluvälin tunnistamiseksi näille päästökertoimille. (Teehan & Kandlikar 2012, 190.)

Osassa tutkimuksia ei ilmoitettu metodologisia yksityiskohtia ollenkaan. Perimmäisten metodien ja tietojen monimutkaisuus tekee näiden tutkimusten verifikaatiosta lähes mahdotonta. Aiemmin tekstissä määriteltiin yksityiskohtaisimpiin tutkimuksiin perustuva järkevä vaihteluväli valmistusvaiheen ympäristövaikutuksille. Tässä oletettiin yksityiskohtaisuuden olevan merkinä tutkimusten laadusta, jonka oletettiin korreloivan tarkkuuden kanssa. Poikkeavien tulosten tutkimusten todettiin voivan laajentaa järjestäytyneen skaalaa vain siinä tapauksessa, että ne ovat havaittavissa laadullisesti verrannollisiksi. Tämä logiikka myönnettiin epäihanteelliseksi, mutta kunnes pyrkimykset standardisointiin vähentävät tai hävittävät epävarmuuden tuoteinventaariorissa ja päästökertoimissa, kaikkien korkealaatuisten tutkimusten hyväksymistä perusteltuina pidettiin ainoana pätevänä vaihtoehtona. (Teehan & Kandlikar 2012, 191.)

4.7 Yhteenveto ja johtopäätökset

Mitattaessa tyypillisen pöytätietokoneen keskusyksikön primäärienergian tarvetta ja vaikutusta ilmaston lämpenemiseen, käyttövaiheen energiankulutuksesta johtuvat ympäristövaikutukset todettiin hallitsevaksi osaksi koko tuotteen elinkaaren ympäristövaikutuksia. Poikkeuksena tähän ovat alueet, joilla on erittäin matalan ympäristövaikutuksen sähköverkko. Keskusyksikön valmistusvaiheen ympäristövaikutukset ovat pienemmät, mutta silti merkittävät. Suhteessa kahteen suurempaan vaiheeseen, jakelu- ja päätepuoleisten vaikutukset ovat molemmat lähes mitättömät. Maininnan arvoista on kuitenkin se, että päätepuoleisten toiminta voi aiheuttaa merkittävää vahinkoa sekä ympäristölle että ihmisten terveydelle. Tämä ei kuitenkaan käy ilmi tässä meta-analyysissä tarkastelluista kahdesta vaikutustenmittausmenetelmästä. (Teehan & Kandlikar 2012, 191.)

Perusteltu arvio tyypillisen pöytäkonetta keskusyksikön energiankulutukselle vaihtelee välillä 100–350 kilowattituntia vuodessa, 3–6 vuoden mittaiselle laitteen eliniälle. 3 tutkimusta ilmoittivat valmistusvaiheen ympäristövaikutusten ylittävän käyttövaiheen vaikutukset, mutta kaikissa näistä tutkimuksista käyttövaiheen energiankulutuksen oli oletettu olevan meta-analyysin tyypilliselle tietokoneen sähkönkulutukselle määrittämän järkevän vaihteluvälin alapäässä tai alapuolella. (Teehan & Kandlikar 2012, 191.)

Valmistusvaiheen ympäristövaikutuksissa ilmenee erityisen korkeaa vaihtelevuutta. Tämän todettiin johtuvan suurimmaksi osin erimielisyyksistä koskien eri komponenttien, varsinkin emolevyjen ja puolijohteiden, vaikutuksia. Myös arviot PC-keskusyksikön fyysisen sisällön massasta vaihteli-

vat vähemmässä määrin. Keskusyksikön elinkaaren kokonaisympäristövaikutusten vaihteluväliksi arvioitiin 270–1 300 kilogrammaa CO₂-ekvivalenttia ja 4 900–29 600 megajoulea primäärienergiaa, todennäköisimpien tulosten sijaitessa näiden skaalojen keskiosissa. Käyttövaiheen ympäristövaikutukset riippuvat vahvasti tuotteen käytön sijainnin sähköverkosta. Tämän lisäksi vaihtelu keskusyksikön suorituskyvyssä ja käyttötarkoituksessa voi dominoida sen ympäristövaikutuksia. Tämän vuoksi tutkijoiden olisi tärkeää joko käyttää tutkimuksissaan suurempaa määrää tuotteita näytteinä tämän variaation tasoittamiseksi, tai rajoittaa tutkimuksensa arvioinnin laajuus selkeästi vain yhteen tietokoneiden alakategoriaan. (Teehan & Kandlikar 2012, 191.)

Tämän meta-analyysin suorittamisen aikana kävi ilmi useita virheellisiä oletuksia julkaistuissa tutkimuksissa. Yleinen ongelma elinkaariarvioinneissa on vaikeus niiden laadun määrittämisessä. Täydellistä luetteloa käytetystä datasta, metodeista ja oletuksista on harvoin saatavilla, usein johtuen luottamuksellisuudesta tai jonkin tahon omistamista tiedoista. Myös datan paikkansapitävyys voi olla vaikeaa määrittää. Tutkimuksista huomattiin taipumus käyttää dataa uudelleen, sillä monet uudemmista tutkimuksista pohjautuivat vanhempiin tutkimuksiin. Alkuperäisen tutkimusvarannon ollessa pieni ja vaikea varmentaa, virheitä on saattanut levitä aineistossa huomaamatta. Tiedot elektroniikan tuotannosta, varsinkin harvemmin tutkituista komponenteista ja prosesseista, ovat erityisen alttiita havaitsemattomille virheille ja nykyisten ilmoitettujen tutkimustulosten laadusta ei ole varmuutta. (Teehan & Kandlikar 2012, 191.)

Datan laadun ongelmat tulevat vähentymään kun standardisoidut ympäristövaikutusten raportointijärjestelmät tulevat käyttöön elektroniikkavalmistajilla. Siihen asti tutkijoiden tulisi olla varovaisia mukauttaessaan tuloksia aiemmista tutkimuksista ja arvioida näiden tuloksia kriittisesti, riippumatta tulosten käytöstä ja ilmeisestä muiden tutkijoiden hyväksynnästä aikaisemmissa tutkimuksissa. Tulevalle tutkimustyölle on paljon mahdollisuuksia vähentää epävarmuutta elektroniikan elinkaaritutkimuksissa. (Teehan & Kandlikar 2012, 192.)

5 TIETOKONENÄYTTÖJEN ELINKAARIARVIOINTI

Tätä opinnäytetyötä varten elinkaariarviointi-tutkimustietoa tietokonenäytöistä etsittiin internetistä mm. Google Scholarin kautta ja toisten tutkimusten lähdetiedoista. Kaikkia aiheeseen liittyviä tutkimuksia ei päästy tarkastelemaan, sillä ne sijaitsivat akateemisissa tietokannoissa, joihin sisään päästäkseen täytyisi esimerkiksi omistaa käyttäjätunnus johonkin yliopistoon tai maksaa tietokannan käyttöoikeudesta.

5.1 Johdanto

Tietokoneiden näyttöjen ympäristövaikutuksista on tehty selvästi vähemmän tutkimuksia kuin pöytä tietokoneiden keskusyksiköistä. Näyttöjä käsittelevistä tutkimuksista vielä harvemmissa tarkastellaan tuotetta koko sen elinkaaren ajalta. Useissa tutkimuksissa keskitytään arvioimaan näy-

töistä vain joitakin elinkaaren vaiheita tai komponentteja. Esimerkiksi KCSWD (2007) ja Lee (2008) keskittyivät vain päätepistevaiheen ympäristövaikutukseen, kun taas Kobayashi (2009) analysoi ainoastaan LCD-näyttöjen taustavalovaihtoehtoja. (Zgola 2011, 41.)

Näyttöjä voi tutkia joko yksittäisinä näyttöpäätteinä tai näyttömoduuleina, eli osina kannettavia tietokoneita tai tietokoneita, joissa keskusyksikkö ja näyttö on sijoitettu samaan laitteeseen. Kannettavien tietokoneiden näyttömoduulien elinkaarten ympäristövaikutuksia on tutkittu ainakin kahdessa tutkimuksessa. Tämän työn pöytäkoneisiin keskittymisen vuoksi kyseisten tutkimusten tietoja ei kuitenkaan ole oleellista käsitellä tässä, sillä ne eivät liity työn aiheeseen.

5.2 Näyttöjen tarkastelu erillään muusta tietokoneesta

Kappaleessa 4 käsitellyssä Teehanin ja Kandlikarin meta-analyysissä on tehty monimutkaisia laskutoimituksia ja harkittuja arvioita, joiden myötä eri tutkimusten maantieteellisestä sijainnista johtuva tietokoneen keskusyksikön käyttövaiheen ympäristövaikutusten variaatio on saatu eliminoitua. Näyttöjen tapauksessa samoilla tavoin käsitellyn datan puutteen vuoksi tässä luvussa mainituilla GWP-arvoilla ei ole samaa painoarvoa kuin aiemmin käsitellyillä keskusyksikön ympäristövaikutusluvuilla. Tämän perustavanlaatuisen eron vuoksi kyseiset näyttöjen ympäristövaikutukset eivät ole suoraan vertailtavissa käyttövaiheen osalta keskenään samaan formaattiin muunnettuihin keskusyksiköiden lukuihin.

Näyttöjen ympäristövaikutusten tarkastelua erillisenä omana osionaan tukee myös se, että niistä on olemassa huomattavasti vähemmän elinkaariarviointitutkimusdataa kuin keskusyksiköistä. Samojen syiden vuoksi tässä työssä on omistettu näyttöjen ympäristövaikutusten käsittelylle vähemmän tekstiä kuin keskusyksiköille.

5.3 Tutkimusten tulokset

Kaikki tarkastellut tutkimukset yhtä lukuun ottamatta käsittelevät nestekide- eli LCD-tekniikkaa hyödyntäviä tietokonenäyttöjä. Ainoana poikkeuksena tälle on Changin, Chenin ja Hsun (2010) tutkimus, joka käsittelee LCD-televisiota ja on ensimmäinen aiheensa elinkaarihiilijalanjälkitutkimus. Sen tiedot on sisällytetty tähän työhön siitä syystä, että nykyaikaiset LCD-tekniikkaa käyttävät televisiot ja tietokonenäytöt ovat toisiinsa verrattuina lähes identtisiä laitteita. (Zgola 2011, 41.)

Yhdysvaltain ympäristönsuojeluvirasto US EPA:n sponsoroina Socolofin (2001, 1-995) tutkimus tietokonenäytöistä on laaja ja hyvin dokumentoitu, mutta siinä keskitytään suurelta osalta arvioimaan näyttöjen elinkaaren ympäristövaikutusten lisäksi myös niiden ihmisille tuottamia vaikutuksia.

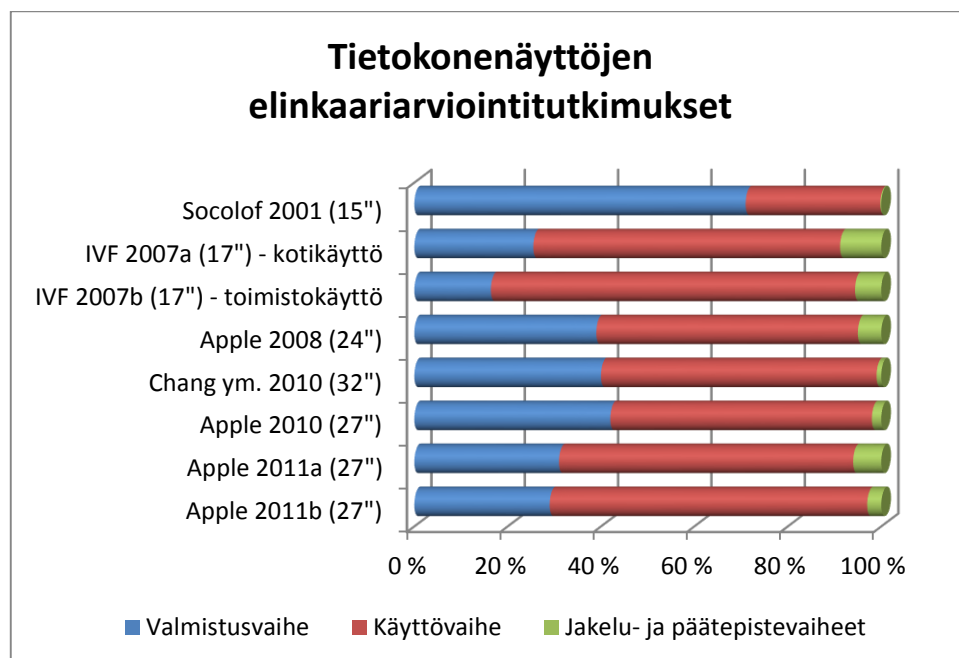
Socolofin tutkimus myös keskittyy suurelta osin vertailemaan CRT- eli kuvaputkinäyttöjen ympäristövaikutuksia LCD-näyttöjen vastaaviin ja kertomaan kumman tyyppiset näytöt tuottavat enemmän negatiivisia ym-

päristövaikutuksia milläkin metodilla mitattuna. Tutkimuksen tuloksissa ilmoitetaan, kummalla kahdesta mainitusta näyttötyypistä on suuremmat vaikutukset 20 eri tarkastellussa ympäristövaikutuskategoriassa. Näistä 18 kategorian kohdalla suurempi vaikutus oli CRT-näytöillä (Socolof 2001, 258). Sekä CRT-näyttöjen valmistus että myynti on kuitenkin ollut maailmanlaajuisestikin lähes olematonta jo useita vuosia, joten niiden ympäristövaikutusten tarkastelulle ei löydy enää kovinkaan laajalti käyttöä.

Duanin (2009) tutkimuksessa on eritelty LCD-näytön valmistusvaiheelle näytön eri komponenttien suhteelliset osuudet valmistusvaiheen ympäristövaikutuksista. Tutkimuksessa todettiin LCD-moduulilla olevan suurin osuus tämän vaiheen vaikutuksista, noin 60 %. Suurimmiksi tekijöiksi moduulin ympäristövaikutuksille kerrottiin lasi ja pinnoitteet. Sekä koostamisprosessin että elektroniikkakomponenttien osuiksi valmistusvaiheen vaikutuksista kerrottiin noin 16 %.

5.3.1 Elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset osuudet

Kuvaan 8 (sivu 21) on koottu tutkimusten tulokset tietokonenäytön elinkaaren kaikkien vaiheiden suhteellisista negatiivisista ympäristövaikutuksista. Useimpien tietokoneen keskusyksiköiden vaikutuksia käsittelevien tutkimusten tapaan useimmissa tietokonenäyttöjen elinkaariarviointitutkimuksissa oli todettu käyttövaiheen olevan vastuussa selvästi suurimmasta osuudesta näytön koko elinkaaren ympäristövaikutuksista. Vain Socolofin (2001) tutkimuksen, joka oli vertailluista tutkimuksista selvästi vanhin, tuloksissa kerrottiin valmistusvaihe ympäristövaikutuksia hallitsevaksi vaiheeksi.



Kuva 8. Tietokonenäytön elinkaaren eri vaiheiden suhteelliset ympäristövaikutukset.

Tarkasteltujen tutkimusten keskiarvot tietokonenäytön elinkaaren eri vaiheiden suhteellisille ympäristövaikutuksille näkyvät kuvasta 9. Tulosten

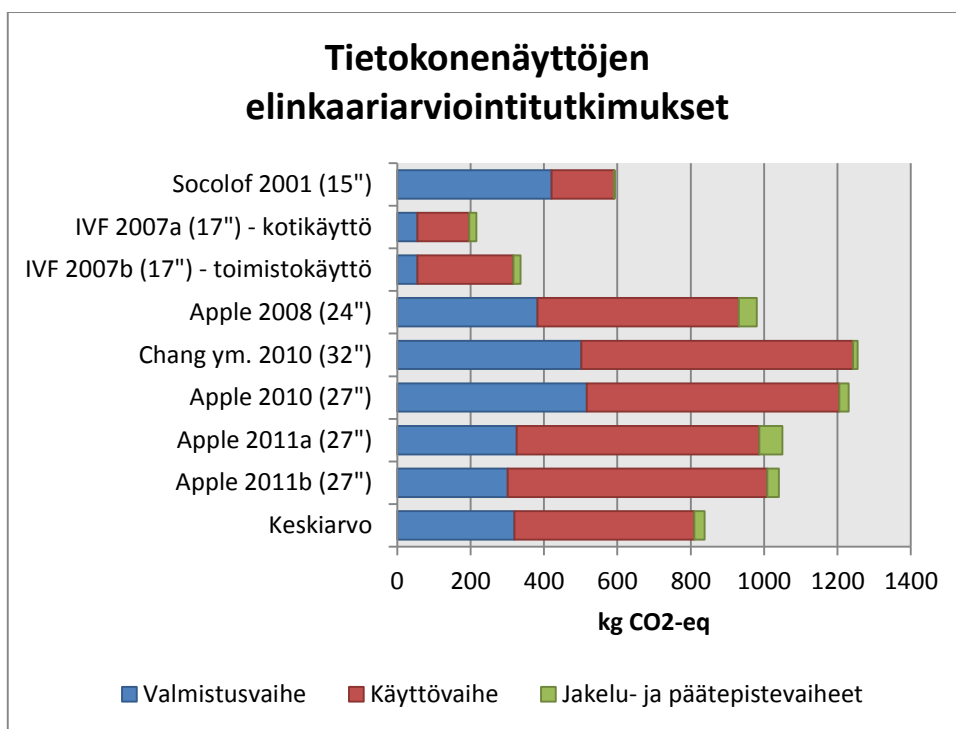
keskiarvosta ilmenee, että käyttövaihe on vastuussa selvästi suurimmista ympäristövaikutuksista noin 59 %:n osuudella. Valmistusvaiheen vaikutukset ovat noin 37 %. Sekä jakelu- että päätepestevaiheet kattavat vain hyvin pienen osuuden näytön elinkaaren ympäristövaikutuksista, yhteenlaskettuna noin 4 %.



Kuva 9. Tutkimusten keskiarvoiset ympäristövaikutukset tietokonenäytön elinkaaren eri vaiheille.

5.3.2 Kokonaisympäristövaikutukset

Tietokonenäyttöjen valmistusvaiheen negatiiviset ympäristövaikutukset vaihtelivat välillä 55–516 kilogrammaa CO₂-vastinetta, keskiarvon ollessa 320 kilogrammaa. Käyttövaiheelle vastaava vaihteluväli oli 142–740 kilogrammaa CO₂-vastinetta, keskiarvona 490 kilogrammaa. Nämä kaksi vaihetta ovat yhteensä vastuussa 96 prosentista tietokonenäytön koko elinkaaren ympäristövaikutuksista. Jakelu- ja päätepestevaiheiden yhteenlasketut vaikutukset olivat 1–49 kilogrammaa ja näiden keskiarvo oli 27 kilogrammaa. Nämä vaihteluvälit käyvät ilmi kuvasta 10. Tutkimusten tulosten keskiarvo toimii arviona tyypillisen tietokonenäytön ympäristövaikutuksista.



Kuva 10. Tutkimusten koko tietokonenäytön elinkaaren kokonaisympäristövaikutukset ja eri vaiheiden osuudet sekä näiden keskiarvo.

5.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tarkastellut tietokonenäyttöjen elinkaariarviointitutkimukset olivat lähes yksimielisiä suurimpia ympäristövaikutuksia aiheuttavasta näytön elinkaaren vaiheesta. Kaikissa paitsi yhdessä tutkimuksessa käyttövaiheen ympäristövaikutusten todettiin olevan suurempia kuin yhdenkään toisen vaiheen vaikutusten. Valmistusvaiheen ympäristövaikutukset todettiin selvästi pienemmiksi, mutta niidenkin suuruus oli keskiarvoisesti noin 62 % käyttövaiheen keskiarvoisista vaikutuksista. Sekä jakelu- että päätepestevaiheiden vaikutukset jäivät tutkimuksissa erittäin pieniksi verrattuna suurempien vaikutusten vaiheisiin.

Kokonaisympäristövaikutukset vaihtelivat tutkimuksissa välillä 216–1255 kilogrammaa CO₂-vastinetta. Suuri vaihtelu kokonaisvaikutusluvuissa johtuu todennäköisesti vaihtelusta sekä tutkimusten olettamissa tietokonenäyttöjen käyttöajoissa että tutkittujen näyttöjen koossa. Kokonaisvaikutustuloksissa suurempikokoisten näyttöjen vaikutukset ovat pääsääntöisesti pienempiä suurempia. Tämä on yhdenmukaista muualla tässä työssä käsitellyn tiedon kanssa, jonka mukaan laitteen koko on selkeästi yhteydessä sen ympäristövaikutuksiin.

Useimmat tietokonenäyttöjä käsittelevien elinkaariarviointitutkimusten kertomista luvuista näytön elinkaaren kokonaisympäristövaikutuksille olivat hyvin lähellä pöytäkoneen keskusyksiköiden vastaavia lukuja. Vaikka näytöistä ei ole yhtä paljoa elinkaariarviointitietoa kuin keskusyksiköistä, näyttöjen ympäristövaikutukset näyttäisivät näiden tietojen perusteella olevan suurin piirtein samaa kokoluokkaa keskusyksiköiden vaikutusten kanssa. Täten näytön voi olettaa olevan vastuussa noin puolesta tyypillisen

pöytätietokoneen koko elinkaaren ympäristövaikutuksista, olettaen että pöytätietokoneeksi määritellään keskusyksikön ja näytön muodostama kokonaisuus.

6 TIETOKONEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN VÄHENTÄMINEN KÄYTTÖVAIHEEN AIKANA

Tietokoneen käyttövaiheen negatiivisia ympäristövaikutuksia on mahdollista vähentää useilla eri menetelmillä. Koska käyttövaiheen ympäristövaikutukset johtuvat yksinomaan tietokoneen käytön aikana kulutetusta sähköstä, mainitut menetelmät koostuvat eri tavoista pienentää tietokoneen käytön virrankulutusta.

Laitteistopohjaiset menetelmät liittyvät käyttäjän valintoihin koskien tietokoneen sisältämien komponenttien tyyppiä, lukumäärää ja virrantarvetta. Näiden valintojen tekeminen tapahtuu ostettaessa tietokonetta tai vaihdettaessa siihen komponentteja. Käyttömallipohjaiset menetelmät koskevat tietokoneen käyttäjän tapoja käyttää tietokonetta ja oheislaitteita ja niiden virransäästöominaisuuksia.

Itsestään selviä vaikuttavia tekijöitä koneen virrankulutukseen, kuten näyttöjen ja oheislaitteiden lukumäärä ja käyttöaikojen tiheys ja pituus, ei käsitellä tässä työssä. Näilläkin tekijöillä voi kuitenkin luonnollisesti olla selvä vaikutus tietokoneen virrankulutukseen.

Tässä luvussa mainituista menetelmistä lähes kaikki pätevät myös kannettavien tietokoneiden tapauksessa.

6.1 Laitteiston erojen vaikutukset

Tässä osiossa tarkastellaan kategorioittain yleiskäyttöön tarkoitettun ns. tyypillisen pöytätietokoneen komponenttien virrankulutuksia. Tarkoituksena on kertoa suuntaa-antavia arvioita siitä, kuinka paljon virtaa yksi komponentti kuluttaa sekä joutilaana että kuormituksessa kussakin komponenttikategoriassa.

Tyypillisen pöytätietokoneen määritelmä on abstrakti. Tällaisen tietokoneen sisältämien komponenttien ominaisuudet ja määrä vaihtelevat ajan ja määrittelevän tahon mukaan. Useissa kategorioissa komponenttien virrankulutus pienenee vähitellen jatkuvasti sitä mukaa kun uusia malleja kehitetään ja tuodaan markkinoille. Tässä osiossa käsitellyissä virrankulutuksen luvuissa on käytetty lähteinä vuosina 2007–2015 julkaistuja artikkeleita, joissa on mitattu ja vertailtu artikkelien julkaisuajankohtina uusia tietokonekomponentteja. Näistä arvioista käy ilmi eniten sähköä käyttävät komponentit ja täten ne komponentit, joiden virrankulutuksen minimoimiseen on hyödyllistä ensisijaisesti keskittyä.

6.1.1 Emolevy

Tietokoneiden emolevyjen virrankulutukseen vaikuttavia tekijöitä ovat integroitujen piirisarjojen ja moduulien määrä ja tyyppi, jännitteensäädin, virransyötön vaiheiden määrä ja BIOS- ja UEFI-laiteohjelmistojen virransäästöominaisuudet.

Useimpien peruskäyttäjille tarkoitettujen emolevyjen vaihteluväli on noin 30–60 wattia (Katzer 2008). Kaikista energiatehokkaimmat ympäristöystävällisinä malleina markkinoitavat emolevyt voivat kuitenkin saavuttaa jopa hieman alle 15 watin kulutuksen (Broekhuijsen 2014). Toisin kuin muiden tietokonekomponenttien tapauksessa, emolevyjen kuluttaman virran määrässä tapahtuu vain hyvin pientä vaihtelua.

6.1.2 Suoritin

Tyypillisten keskitehoisten tietokonesuorittimien virrankulutus vaihtelee joutilaana n. 20–70 watin ja maksimaalisessa kuormituksessa noin 40–160 watin välillä (Katzer 2008).

Suorittimien virrankulutus riippuu muun muassa ytimien määrästä, kellotaajuudesta ja jännitteestä. Samaa teholuokkaa olevien suorittimien virrankulutus voi vaihdella erittäin huomattavasti, joten suorittinta hankkiessa tai vaihtaessa tulisi perehtyä eri mallien kulutuksiin.

6.1.3 Keskusmuisti

Keskusmuisti on toinen komponenttilaji, jonka kulutus muodostaa useimmiten vain erittäin pienen osan pöytätietokoneen kokonaisvirrankulutuksesta. Yksi keskusmuistimoduuli kuluttaa pääsääntöisesti noin 2–4 wattia (Power Consumption of PC Components in Watts 2012). Eri keskusmuistityyppien välillä uudemman tyyppiset moduulit kuluttavat virtaa aina jonkin verran vähemmän kuin saman kapasiteetin vanhemman tyyppiset moduulit. Saman tyyppin keskusmuisteissa korkeampi kellotaajuus johtaa korkeampaan virrankulutukseen.

Keskusmuistin määrällä moduulia kohden ei ole merkitystä moduulin virrankulutukseen, joten esimerkiksi 4 gigatavun ja 8 gigatavun moduulien kulutuksilla ei ole eroa, kunhan niiden kellotaajuus on sama. Jos muut hyödyt jätetään huomioimatta, edellä mainitusta syystä virrankulutuksen optimoimisen kannalta on parempi ratkaisu käyttää pienintä mahdollista määrää keskusmuistimoduuleja verrattuna siihen, että käytössä olisi vastaava määrä keskusmuistia useammalla eri moduulilla.

6.1.4 Kiintolevyt

Lähes kaikissa tapauksissa yksittäisen kiintolevyn virrankulutus muodostaa vain erittäin pienen osan tietokoneen kokonaisvirrankulutuksesta. Tästä huolimatta tyypillisimpienkin vaihtoehtojen kiintolevyjen virrankulutus

joutilaassa tilassa vaihtelee tyypistä, koosta ja mallista riippuen noin 0,5–8 watin välillä. (Otto 2013)

Halkaisijaltaan 3,5 tuuman kokoiset kiintolevyt voivat kuluttaa virtaa jopa moninkertaisesti verrattuna saman tallennuskapasiteetin omaaviin 2,5-tuumaisiin kiintolevyihin. Pöytäkoneissa käytetään tyypillisesti 3,5 tuuman kiintolevyjä, sillä niissä on pääsääntöisesti suurempi tallennuskapasiteetti ja ne ovat nopeampia kuin saman hintaluokan 2,5 tuuman kiintolevyt. Kuitenkin nimenomaan virrankulutuksen optimoinnin kannalta 2,5 tuuman kiintolevyjen käyttäminen pöytäkoneessa on perusteltua, jos näkee tarpeelliseksi ottaa hyödyn tietokoneen kokonaisvirrankulutuksen kannalta niinkin minimaalisesta virransäästömahdollisuudesta. Parhaillaan vähitellen yleistyvät puolijohdelevyt, eli SSD-levyt, kuluttavat virtaa useimmiten selvästi perinteisiä kovalevyjä vähemmän. Pelkästään virrankulutuksen kannalta SSD-levyjen käyttäminen onkin varmasti paras vaihtoehto, jos tietokoneen käyttäjälle riittää niiden pienehkö tallennuskapasiteetti. (Otto 2013)

6.1.5 Näytönohjain

Näytönohjaimen on mahdollista kuluttaa erittäin selvästi eniten virtaa verrattuna mihinkään muuhun tietokoneen yksittäiseen komponenttiin. Tehokkaan näytönohjaimen virrankulutus saattaa olla kuormituksessa jopa moninkertainen koko muiden komponenttien yhteenlaskettuun kulutukseen nähden. Erilliset näytönohjainkortit voivat kuluttaa virtaa joutilaassa tilassa noin 7–33 wattia ja osa niistä voi käyttää kuormituksen alaisena suurimmillaan useita satoja watteja (Woligroski & Wallossek 2015).

Nykyaikana lähes kaikki markkinoilla olevat emolevyt sisältävät niihin integroituina piireinä sekä näytönohjaimen, äänipiirin, että verkko-ohjaimen. Tällä hetkellä myytävistä valmispöytäkoneista suuri osa edullisimmista malleista ei sisällä erillistä näytönohjainkorttia lainkaan. Nykyaikaisissa pöytätietokoneissa useimmilla peruskäyttäjillä ei ole tarvetta erilliselle näytönohjaimelle. Erillisen kortin tarve esiintyy sellaisilla käyttäjillä, jotka pelaavat tietokoneellaan uusimpia monimutkaisia tietokonepelejä, harjoittavat vaativaa videoeditointia tai 3D-mallinnusta, tai muista syistä tarvitsevat käyttöönsä tyypillisestä peruskäyttäjän tietokoneesta eroavan koneen. (Fisher 2013.) Tietokoneen virrankulutuksen kannalta selvästi kannattavinta on joka tilanteessa olla sisällyttämättä koneeseen erillistä näytönohjainta.

6.1.6 Virtalähde

Keskusyksikön virtalähteiden hyötysuhteissa on eroja. Mitä suurempi tehontarve tietokoneen komponenteilla on ja mitä tehokkaampi virtalähde on käytössä, sitä isompi vaikutus virtalähteen hyötysuhteella on absoluuttisiin kulutettuihin kilowattitunteihin ja sitä kautta ympäristövaikutuksiin. Myöskin luonnollisesti virtalähteen hyötysuhteen vaikutus muodostuu sitä suuremmaksi mitä suuremman osan ajasta tietokonetta pidetään päällä.

Tietokoneiden virtalähteen hyötysuhde on useimmissa tapauksissa parhaimmillaan silloin kun sen maksimikapasiteetista on käytössä tasan puolet. Hyötysuhde huononee lähestyttäessä sekä virtalähteen maksimitehoa että nollakulutusta. (Rousu 2010, 2) Tästä syystä liian lähelle maksimitehon kulutusta mitoitettun virtalähteen lisäksi myös tietokoneen kulutukseen nähden liian tehokkaasta virtalähteestä on haittaa sähkönkulutuksen kannalta. Kulutukseen nähden oikein mitoitettulla virtalähteellä voi tyypillisesti saavuttaa enintään noin 4 prosenttia paremman hyötysuhteen verrattuna saman virtalähteen maksimikapasiteetin ylä- ja alapäiden kulutuksen hyötysuhteisiin.

6.1.7 Optiset asemat

Optiset asemat, eli esimerkiksi CD- ja DVD-asemat, kuuluvat myös niihin pöytäkoneen komponentteihin, joiden osuus tietokoneen kokonaisvirrankulutuksesta on lähes aina erittäin pieni. Tyypillinen DVD-asema kuluttaa virtaa joutilaana noin 1–5 wattia ja useimmissa pöytäkoneissa näitä asemia on joko 1 tai 2 kappaletta. Lukiessa levytä optisen aseman virrankulutus on useimpien asemien tapauksissa 5–12 watin tietämällä, kun taas kirjoitettaessa levyä kulutus on yleensä 15–25 watin luokkaa (Do-It-Yourself Solar-Powered PC: Hardware 2007).

Erityisen huomionarvoinen seikka optisissa asemissa on se, että vaikka niitä löytyy lähes jokaisesta nykyajan pöytäkoneesta vähintään yksi kappale, niiden käyttö on kuitenkin nykyaikana lähes kaikilla käyttäjillä äärimmäisen vähäistä. Täten optisten asemien virrankulutusta tarkastellessa kaikki muut kuin käyttämättömänä oleva tila ovat lähes täysin merkityksettömiä huomioida. Samasta syystä suuresta osasta nykyäänkin myynnissä olevista kannettavista puuttuu optinen asema kokonaan.

Saatavilla on myös USB-liitännällä tietokoneeseen liitettäviä ulkoisia optisia asemia. Virrankulutuksen kannalta mahdollisesti pätevin ratkaisu tämän komponentin kohdalla on poistaa tietokoneesta mahdolliset optiset asemat kokonaan ja kytkeä tietokoneeseen ulkoinen optinen asema aina tarvittaessa.

6.1.8 Näyttö

Yleistä kokoluokkaa olevat 22–24-tuumaiset LCD-näytöt kuluttavat oletuskirkkaudella noin 19–34 watin verran virtaa (Ku 2012). Virrankulutuksen kannalta CRT-näyttöjä tulisi ehdottomasti välttää, sillä niiden virrankulutus maksimaalisella kirkkaudella liikkuu hieman yli 100 watin luokassa (Schmid & Roos 2010).

Kuten useimmat muutkin sähkölaitteet, myös tietokonenäytöt kuluttavat pääsääntöisesti sitä vähemmän virtaa, mitä pienempiä ne ovat. Samansuuntaisesti uudempien näyttöjen virrankulutus on usein vanhempiä vähäisempää. Pelkästään virrankulutuksen optimoinnin kannalta onkin järkevää omistaa uudenaikainen ja käyttäjälle sopivan kokoinen LCD-näyttö.

6.2 Käyttötapojen vaikutukset

Pöytä tietokoneen sähkönkulutusta on mahdollista vähentää useilla eri menetelmillä. Näitä käyttämällä tietokoneen käyttövaiheen aikana kulutettua virran määrää voidaan vähentää suuresti. Tämän lisäksi lähes kaikki näistä menetelmistä ovat helppoja ja nopeita käyttää.

6.2.1 Virransäästöominaisuuksien käyttö

Nykyaikaisissa käyttöjärjestelmissä on useita virransäästöasetuksia. Muun muassa yksittäisille komponenteille on mahdollista määrittää, kuinka pitkän ajan käyttämättömyyden jälkeen niihin katkaistaan virta. Kuitenkin selvästi tehokkain käyttöjärjestelmien virransäästöominaisuus on mahdollisuus asettaa tietokone siirtymään käyttäjän määrittämän pituisen käyttämättömyyden jälkeen joko lepotilaan tai horrostilaan. Näistä horrostila käyttää selvästi vähemmän virtaa, mutta siitä palautuminen käyttötilaan kestää huomattavasti kauemmin kuin lepotilasta palautuminen (Lepo- ja horrostila: usein kysytyt kysymykset 2015).

Virransäästötilojen käyttö voi vähentää tietokoneen virrankulutusta huomattavasti, joten ekologisuuden kannalta on ehdottoman suositeltavaa ottaa ne käyttöön käyttöjärjestelmän asetuksista. Horrostila on paras ratkaisu tietokoneen virrankulutuksen kannalta, joten sitä on järkevä käyttää, mikäli sen käyttö sopii koneen käyttäjän tarpeisiin. Myös eri emolevyissä on usein erilaisia virransäästöominaisuuksia, joita voi tarkkailla ja ottaa käyttöön emolevyn laiteohjelmiston asetuksista.

6.2.2 Laitteiden sammuttaminen

Useimpiin pöytä koneisiin on kytketty useita eri oheislaitteita, kuten tulostimia, kaiuttimia ja ulkoisia kiintolevyjä. Monia niistä kuitenkin käytetään vain pieni osa tietokoneen käyttöajasta. Tietokoneen virrankulutuksen vähentämiseksi kaikista oheislaitteista kannattaa kytkeä virta pois päältä silloin, kun ne eivät ole käytössä.

Myös ohjelmat kannattaa sulkea, jos niitä ei käytetä. Tästä seuraa pienempi kuormitus tietokoneen suorittimille, joka johtaa alhaisempaan virrankulutukseen.

Tietokoneen käyttäjän pitäessä pitkää taukoa koneensa käytössä, esimerkiksi kun käyttäjä poistuu kotoaan useammaksi päiväksi, virrankulutuksen minimoimisen kannalta järkevää on sammuttaa sekä tietokone että sen näyttö. Tämän lisäksi vielä tietokoneen virtajohdon irrottaminen pistorasiasta tai virran katkaisu virtalähteen päävirtakytkimestä estää virtalähteen valmiustilan kuluttaman sähkön käytön kokonaan.

6.2.3 Muut menetelmät

Pöytä tietokonetta hankittaessa on ekologisinta ostaa sellainen tietokone, jota on mahdollista päivittää uusilla komponenteilla (Masanet 2005, 54).

Esimerkiksi Mac-tietokoneiden yhteydessä tämä ei ole mahdollista. Päivitettyjen pöytäkoneiden käyttäminen vähentää tietokoneen koko elinkaaren negatiivisia ympäristövaikutuksia pidentämällä tietokoneen käyttöikää, joka johtaa laitteen hävittämisen tai kierrätyksen lykkääntymiseen.

Tietokonenäytöt kuluttavat sitä enemmän sähköä, mitä kirkkaammiksi ne on säädetty. Täten tietokoneen käytön aikana tapahtuvaa näytön virrankulutusta voi vähentää himmentämällä sen valaistusta.

6.3 Yhteenveto

Pöytätietokoneen käyttövaiheen negatiivisia ympäristövaikutuksia voidaan vähentää sekä laitteistopohjaisilla että käyttömalleihin liittyvillä menetelmillä. Koska käyttövaiheen ympäristövaikutukset johtuvat yksinomaan tietokoneen käytön aikana kulutetusta sähköstä, mainitut menetelmät koostuvat eri tavoista pienentää tietokoneen käytön virrankulutusta.

Pääsääntöisesti vanhemmat komponentit ja oheislaitteet kuluttavat virtaa uusia enemmän, joten virrankulutuksen kannalta on hyödyllistä käyttää mieluummin uusia kuin vanhoja komponentteja. Komponenttien määrä kannattaa myös pitää vähäisenä, sillä suurempi määrä komponentteja johtaa suurempaan virrankulutukseen.

Suoritin, näytönohjain ja näyttö ovat useimmissa pöytätietokoneissa ne osat, joiden virrankulutus on suurinta. Virrankulutusta pienentäessä laitteiston muutosten välityksellä kannattaakin ensisijaisesti puuttua näihin komponentteihin. Erityisesti kiintolevyt ja keskusmuisti kuluttavat tyypillisesti erittäin vähän virtaa edellä mainittuihin verrattuna.

Virrankulutuksen minimoimiseksi järkevää on poistaa tietokoneesta näytönohjain ja optiset asemat kokonaan, mikä käyttäjän tarpeet tämän sallivat. Erillisen näytönohjaimen käyttämättä jättämisellä voi vähentää tietokoneen virrankulutusta suuresti. Vähemmässä määrin kulutusta voidaan pienentää tietokoneen komponenttien tarpeeseen nähden oikein mitoitetulla ja hyvän hyötysuhteen omaavalla virtalähteellä.

Tietokoneen käyttöjärjestelmän ja emolevyn virransäästöominaisuuksia kannattaa käyttää. Varsinkin horrostilassa koneen virrankulutus vähenee erittäin merkittävästi. Vaihtoehtoisesti joko koko tietokone tai sen näyttö, oheislaitteet ja käyttämättömät ohjelmat kannattaa kaikki sulkea silloin, kun niitä ei käytetä. Näytön kirkkautta vähentämällä voi vähentää sen virrankulutusta.

LÄHTEET

Apple-ympäristöraportti. LED Cinema Display. 2008. 1. Viitattu 30.5.2015.

<http://images.apple.com/ca/environment/reports/docs/LED-Cinema-Display-Environmental-Report-20091120.pdf>

Apple-ympäristöraportti. 27-inch LED Cinema Display. 2010. 1. Viitattu 30.5.2015.

http://images.apple.com/ca/environment/reports/docs/27inch_led_display_per_july2010.pdf

Apple-ympäristöraportti. Thunderbolt Display. 2011a. 1. Viitattu 30.5.2015.

http://images.apple.com/ca/environment/reports/docs/apple_thunderbolt_display_per_july2011.pdf

Apple-ympäristöraportti. Thunderbolt Display. 2011b. 1. Viitattu 30.5.2015.

http://images.apple.com/ca/environment/reports/docs/Apple_Thunderbolt_Display_PER_feb2014.pdf

Broekhuijsen, N. 2014. MSI Shows Off Eco-Friendly Motherboards. Viitattu 15.5.2015.

<http://www.tomshardware.com/news/msi-eco-motherboard-computex-low-power,26977.html>

Do-It-Yourself Solar-Powered PC: Hardware 2007. Energy Consumption of DVD drives at idle and full load. Viitattu 9.5.2015.

<http://www.tomshardware.com/reviews/hardware-components,1685-15.html>

Duan, H. 2009. Life cycle assessment study of a Chinese desktop personal computer. Viitattu 20.12.2014.

http://www.fraw.org.uk/files/tech/duan_2009.pdf

Fisher, M. 2013. Dedicated GPU vs Integrated GPU (GPU – Graphics Processing Unit). The Lowdown-blogi. Julkaistu 25.9.2013. Viitattu 18.5.2015.

<http://www.originpc.com/blog/dedicated-gpu-vs-integrate-gpu-gpu-graphics-processing-unit/>

ISO14040. 1997. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneve: International Organization for Standardization. Viitattu 6.7.2014.

<http://web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>

IVF Industrial Research and Development Corporation-tutkimus. Preparatory studies for Eco-design Requirements of EuPs. Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors. Final Report. 165-167. Viitattu 30.5.2015.

https://www.energimyndigheten.se/Global/F%C3%B6retag/Ekodesign/Ekodesign/Datorer/EuP_Lot3_PC_FinalReport.pdf

Katzer, K. 2008a. Debunking Power Supply Myths. Chipset/Motherboard Power Consumption. Viitattu 15.5.2015.

<http://www.anandtech.com/show/2624>

Katzer, K. 2008b. Debunking Power Supply Myths. CPU Power Consumption. Viitattu 14.5.2015.

<http://www.anandtech.com/show/2624>

Ku, A. 2012. Acer, Dell, LG, And Samsung: Four 23" LCD Monitors, Rounded-Up. Viitattu 21.5.2015.

<http://www.tomshardware.com/reviews/acer-s231hl-bid-dell-s2330mx-lg-ips236v-samsung-s23a550h,3131-8.html>

Lepo- ja horrostila: usein kysytyt kysymykset 2015. Miten lepotila, horrostila ja yhdistelmäpotila eroavat toisistaan?. Viitattu 23.5.2015.

<http://windows.microsoft.com/fi-fi/windows7/sleep-and-hibernation-frequently-asked-questions>

Masanet, E. 2005. Optimization of Product Life Cycles To Reduce Greenhouse Gas Emissions In California. Viitattu 1.2.2015.

http://www.ethicalelectronicsrecycling.com/images/CEC-500-2005-110-F_Table3-3_.PDF

Otto, A. 2013. Does SSD Power Savings Pay for Itself?. Adrian Otto's Blog-blogi. Julkaistu 8.1.2013. Viitattu 3.3.2015.

<http://adrianotto.com/2013/01/ssd-power-savings-pays-for-itself/>

Power Consumption of PC Components in Watts 2012. RAM Power Consumption. Viitattu 20.2.2015.

<http://www.buildcomputers.net/power-consumption-of-pc-components.html>

Rousu, P. 2010. Harrastajan virtalähteet – Virtaa tehokkaasti. MikroBitti 2/2010. Viitattu 28.2.2015.

http://multi.gnt.lt/Pages/brochures/Corsair/CMPSU-950TXEU_review.pdf

Schmid, P. & Roos, A. 2010. Display Power Consumption: CRTs Versus TFT-LCDs. Analog Input. Viitattu 16.5.2015.

<http://www.tomshardware.com/reviews/lcd-backlight-led-cfl,2683-5.html>

Socolof, M. 2001. Desktop Computer Displays: A Life-Cycle Assessment. Viitattu 30.5.2015.

<http://nepis.epa.gov/EPA/html/DLwait.htm?url=/Exe/ZyPDF.cgi/P100M8XQ.PDF?Dockey=P100M8XQ.PDF>

Teehan, P. & Kandlikar, M. 2012. Sources of Variation in Life Cycle Assessments of Desktop Computers. Journal Of Industrial Ecology. Yalen yliopiston vuosijulkaisu. Viitattu 8.9.2014.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1530-9290.2011.00431.x/pdf>

Woligroski, D & Wallossek, I 2015. Nvidia GeForce GTX 960: Maxwell In The Middle. Viitattu 20.5.2015.

<http://www.tomshardware.com/reviews/nvidia-geforce-gtx-960,4038-9.html>

Zgola, M. 2011. A Triage Approach to Streamline Environmental Footprinting: A Case Study for Liquid Crystal Displays. Massachusetts Institute of Technology. Environmental Engineering Technology. Opinnäytetyö. Viitattu 18.11.2014.

http://msl.mit.edu/theses/Zgola_M-thesis.pdf

