

Ville-Matti Anttonen

VIHREÄ IT DATAKESKUKSISSA



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
TIETOJENKÄSITTELYTIETEIDEN LAITOS
2016

TIIVISTELMÄ

Anttonen, Ville-Matti
Vihreä IT datakeskuksissa
Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2016, 28 s.
Tietojärjestelmätiede, kandidaatintutkielma
Ohjaaja: Makkonen, Pekka

Ilmastonmuutos, saasteet ja muut ihmiskunnan elinympäristölleen aiheuttamat haitat ovat nostaneet ympäristöystävällisyyden ja vihreän ajattelutavan suosituksi puheenaiheeksi. Myös IT-alalla on tiedostettu nämä ympäristöön liittyvät ongelmat ja vihreä IT pyrkii omalta osaltaan ratkaisemaan niitä. Vihreän IT:n tarkoituksena on informaatio- ja kommunikaatioteknologian avulla vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia, joko suorasti tai epäsuorasti. Internetin toiminnan mahdollistavista datakeskuksista on viime vuosien aikana tullut yksi IT-alan merkittävimmistä kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttajista ja niiden energiankulutus on koko maailmankin mittakaavassa huomattava. Tässä kirjallisuuskatsaukseen perustuvassa kandidaatintutkielmassa käsitellään vihreän IT:n hyödyntämistä datakeskuksissa ja sen tuomia etuja. Tutkimuksessa selviää, että vihreän IT:n hyödyntäminen voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: IT-laitteisiin, niiden ohjelmistoihin ja IT:n epäsuoraan hyödyntämiseen. Esimerkkeinä IT-laitteista on serverien energiatehokkuuden parantaminen, ohjelmistoista virtualisointi, ja IT:n epäsuorasta hyödyntämisestä datakeskuksen toiminnan mittaaminen ja analysointi. Vihreän IT:n käyttämisen hyötyjä voidaan myös väljästi jaotella näihin osa-alueisiin. Hyötyjä ovat muun muassa kustannussäästöt, serverien laskentatehon kasvu, uusien laitteiden vähentynyt tarve ja kasvihuonekaasupäästöjen väheneminen.

Asiasanat: vihreä IT, datakeskus, ympäristöystävällisyys

ABSTRACT

Anttonen, Ville-Matti

Green IT in Data Centers

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2016, 28 p.

Information Systems Science, Bachelor's Thesis

Supervisor: Makkonen, Pekka

Climate change, contamination and other environmental harms caused by mankind have led environmental friendliness and a green way of thinking to be a very popular topic of conversation. These environmental problems have also been recognized inside the IT sector and green IT aims to play a part in solving them. The purpose of green IT is to use information and communication technology to reduce the harmful environmental impacts, either directly or indirectly. Data centers, an important part of the modern Internet, have in recent years become one of the biggest sources of greenhouse gases in the IT sector and the amount of energy they use is significant even on a world scale. The topic of this Bachelor's Thesis is the use of green IT in data centers and the advantages of using it. The study was conducted as a literature review. The study reveals that the use of green IT can be grouped into three categories: IT devices, their software and the indirect utilization of IT. Corresponding examples of the three categories are improving the energy efficiency of servers, virtualization, and using metrics to monitor and analyze the data center's performance. Benefits of using green IT can also be roughly grouped into these three categories. Some of the benefits include cost savings, increased computing power of the servers, reduced need of new equipment and reduced emission of greenhouse gases.

Keywords: green IT, data center, environmental friendliness

KUVIOT

KUVIO 1 Esimerkki datakeskuksen rakenteesta.....	10
KUVIO 2 Datakeskuksen jäähdytys	12
KUVIO 3 Vihreän IT:n ulottuvuudet	14
KUVIO 4 Viitekehys vihreän IT:n hyödyntämiseen datakeskuksissa	19

TAULUKOT

TAULUKKO 1 Vihreän IT:n hyödyntäminen datakeskuksissa	24
TAULUKKO 2 Vihreän IT:n käyttämisen hyötyjä	24

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
KUVIOT.....	4
TAULUKOT.....	4
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 DATAKESKUKSET.....	8
2.1 Määritelmä ja luokittelu.....	8
2.2 Rakenne.....	10
2.2.1 Tietokonehuone.....	10
2.2.2 Sähkönsyöttö.....	11
2.2.3 Jäähdytys.....	11
2.2.4 Redundanssi.....	12
3 VIHREÄ IT.....	13
3.1 Määritelmä.....	13
3.2 IT:n vaikutus ympäristöön.....	14
3.3 Hyödyt ja haitat.....	15
4 VIHREÄN IT:N HYÖDYNTÄMINEN DATAKESKUKSISSA.....	17
4.1 Vihreä datakeskus.....	17
4.2 Vihreän IT:n viitekehys.....	18
4.3 Energiatehokkuuden mittarit.....	20
4.3.1 PUE & DCiE.....	20
4.3.2 CUE & WUE.....	20
4.4 Virtualisointi.....	20
4.5 Ympäristöystävällisemmät serverit.....	21
5 YHTEENVETO.....	23
LÄHTEET.....	26

1 JOHDANTO

Viime vuosien aikana useiden asioiden ympäristöystävällisyyteen on alettu kiinnittämään enemmän huomiota ja vihreästä ajattelutavasta on tullut hyvin ajankohtainen aihe. Useiden eri toimialojen yrityksissä on alettu ottaa käyttöön ympäristöystävällisiä toimintatapoja (Uddin & Rahman, 2012b; Nishant, Teo, Goh & Krishnan, 2012; Murugesan & Gangadharan, 2012), joilla pyritään muun muassa välittämään myönteisestä kuvaa yrityksestä ja säästämään rahaa kustannuksista. Yritykset voivat esimerkiksi videopuhelujen avulla säästää työmatkakustannuksista, käyttää tuotteiden valmistukseen uusiutuvista energianlähteistä tuotettua sähköä, ja hankkia vain ympäristösertifikaatein varustettuja IT-laitteita. Myös yhä useammat yksityishenkilötkin huomioivat ympäristöystävällisyyden jokapäiväisessä toiminnassaan. Ympäristöystävällisyyden taustalla ovat ilmaston lämpenemiseen ja ympäristön saastumiseen liittyvät huolet, joiden merkitys on todellisessa laajuudessaan selvinnyt vasta muutaman viime vuosikymmenen aikana.

Informaatioteknologian alalla tätä ympäristöystävällistä ajattelutapaa kutsutaan vihreäksi IT:ksi. Vihreä IT on laaja käsite, joka Murugesanin (2008) mukaan sisältää tietokoneiden, serverien ja muiden niihin liittyvien järjestelmien suunnittelun, valmistuksen, käytön ja käytöstä poistamisen mahdollisimman tehokkaasti ja mahdollisimman pienellä ympäristövaikutuksella. Myös IT:n käyttäminen ympäristöystävällisyyden edistämiseksi ja ihmisten tietoisuuden lisääminen ympäristöasioita kohtaan kuuluvat vihreän IT:n piiriin (Murugesan & Gangadharan, 2012).

Vuosituhanneen alusta alkaen internetin käyttäjäkunta on kasvanut huimaa vauhtia. YK:n alainen International Telecommunications Union -järjestön mukaan vuodesta 2000 vuoteen 2015 internetin käyttäjämäärä on kasvanut lähes seitsenkertaisesti ja nykyään noin 43 % maailman väestöstä käyttää internetiä. Yhtenä internetin toiminnan elinehdoista ovat datakeskukset, joissa pääosa internetin kautta saavutettavasta sisällöstä fyysisesti sijaitsee. Nykyisin myös lähes jokainen yritys on päivittäisessä toiminnassaan riippuvainen internetistä ja siten myös datakeskuksista. Datakeskuksista on tullut siis erottamaton osa nykyajan yhteiskuntaa. Vaikka internetin suosio on viime vuosikymmenenä kasvanut räjähdysmäisesti, silti yli puolet maailman väestöstä, pääasiassa kehitty-

vissä valtioissa, on internetin tavoittamattomissa. Internetin levitessä yhä laajemmalle, myös datakeskusten merkitys yhteiskunnalle ja niiden vaikutus ympäristöön kasvaa yhä suuremmaksi.

On arvioitu, että vuonna 2010 datakeskusten energiankulutus oli 1,1 - 1,5 % koko maailman energiankulutuksesta (Kooimey, 2011). Datakeskusten suhteellinen energiankulutus tulee tulevaisuudessa todennäköisesti kasvamaan, koska uusia datakeskuksia rakennetaan jatkuvasti internetin suosion kasvun takia. Datakeskukset kuluttavat siis huomattavan osan maailman energiantuotannosta, joten energian kulutuksen optimoinnilla on mahdollisuus saavuttaa huomattavia rahallisia säästöjä, sekä käyttää luonnonvaroja tehokkaammin.

Tämän kandidaatintutkielman tarkoituksena on käsitellä vihreää IT:tä ja sen hyödyntämistä datakeskuksissa. Tutkielma tehdään kirjallisuuskatsauksena. Tutkimusongelma on määritelty seuraavasti:

- Miten vihreää IT:tä voi hyödyntää datakeskuksissa ja mitä hyötyjä sen käyttämisestä on?

Ennen kuin vihreän IT:n hyödyntämistä ja sen hyötyjä datakeskuksissa voidaan tarkastella, on sekä datakeskuksia että vihreää IT:tä syytä käsitellä yleisesti, jotta nämä käsitteet tulisivat tutuiksi. Tästä johtuen tutkielman rakenne on jaettu kolmeen osaan.

Ensimmäisessä osassa käsitellään datakeskuksia. Luvussa käydään läpi datakeskuksen määritelmä ja erilaisia datakeskusten luokittelutapoja. Lopuksi esitellään tyypillisen datakeskuksen rakenne. Tutkielman toinen osa avaa vihreän IT:n käsitettä ja tarkastelee informaatioteknologiasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia, sekä mitä hyötyjä vihreän IT:n käytöstä on yrityksille ja mitä haittoja tai haasteita se saattaa aiheuttaa. Kolmas osa käsittelee vihreää IT:tä datakeskuksissa. Luvussa käsitellään Uddinin ja Rahmanin (2012a) esittämää viitekehystä, joka tarjoaa erään lähestymistavan vihreän IT:n hyödyntämiseen datakeskuksissa. Lisäksi käsitellään tarkemmin viitekehyksessä korostettuja datakeskusten kannalta merkittävimpiä vihreän IT:n osa-alueita, eli datakeskuksen toiminnan mittaamista, virtualisointia, sekä serverien ympäristöstävällisyyttä.

2 DATAKESKUKSET

Datakeskuksilla on tärkeä rooli nykyajan tietoyhteiskunnassa. Internet-palveluja tarjoavat yritykset ja monet muut yritykset useilta toimialoilta ovat suoraan riippuvaisia niiden toiminnasta. Luvun alussa pohditaan datakeskuk- sen määritelmää, ja käydään läpi eri tapoja luokitella niitä. Tämän jälkeen esitel- lään tyypillisen datakeskuk- sen rakenne ja sen toiminnan kannalta tärkeimmät komponentit ja järjestelmät.

2.1 Määritelmä ja luokittelu

Datakeskus mielletään yleensä suureksi halliksi, joka on täynnä tietokoneita. Datakeskuk- sen määritelmä vaihtelee lähteestä riippuen hyvinkin paljon, eikä datakeskuksia käsittelevissä tieteellisissä julkaisuissakaan tarjota yleisesti hy- väksytyä määritelmää. Informaatioteknologian tutkimukseen ja konsultointiin keskittyvä yritys Gartner määrittelee datakeskuk- sen yrityksen osastoksi, joka sisältää ja ylläpitää IT-järjestelmiä ja datan säilytyspaikkoja, kuten servereitä ja tietokantoja. Datakeskuk- sen infrastruktuuripalveluja tarjoava yritys EPI määrit- telee datakeskuk- sen tilaksi, jossa yritykset säilyttävät ja operoivat suurinta osaa liiketoimintaa tukevasta ICT-infrastruktuuristaan. Oxfordin yliopiston sanakir- jan mukaan datakeskus on suuri ryhmä verkottuneita servereitä, joita organi- saatiot yleensä käyttävät suuren datamäärän säilytykseen, prosessointiin tai jakeluun. Määritelmästä riippuen datakeskuk- seksi voidaan siis laskea niin yri- tysten ja organisaatioiden pienet serverihuoneet kuin suuret hallitkin. Tässä tutkielmassa keskitytään pääasiassa vain datakeskuk- sikäyttöön tarkoitettuihin rakennuksiin.

Datakeskuksia voidaan luokitella useiden eri kriteerien perusteella. Upti- me Institute, maailmanlaajuinen datakeskuk- sen toiminnan parantamiseen kes- kittävä järjestö, on kehittänyt datakeskuk- sille Tier-luokituksen (Uptime Institu- te, 2015a). Tier-luokkia on neljä ja luokitus perustuu infrastruktuurin redun- danssiin ja kykyyn toipua häiriötilanteista. Tier 1 -luokka on vaatimuksiltaan matalin ja seuraavat luokat rakentuvat aina sitä edeltävän luokan vaatimusten

päälle. Uptime Institute on myös empiirisesti mitannut eri luokkien datakeskusten luotettavuutta ja saatavuutta loppukäyttäjän näkökulmasta. (Turner, Seader, Renaud & Brill, 2008).

Tier 1 -luokan datakeskukset ovat tavallista toimistorakennusta paremmin suunniteltuja IT-järjestelmien ylläpitoon. Niissä ei ole redundantteja komponentteja ja häiriö kriittisissä osissa aiheuttaa häiriön myös keskuksen tietokoneissa. Tier 1 -luokan datakeskukset ovat loppukäyttäjän näkökulmasta käytettävissä 99,67 % ajasta. (Turner ym., 2008).

Tier 2 -luokan datakeskuksissa on kahdennettu joitain tietokonelaitteiston virta- ja jäähdytysjärjestelmien komponentteja, mikä mahdollistaa niiden ennalta suunnitellun huollon vaikuttamatta tietokoneisiin (Uptime Institute, 2015b). Järjestelmien ennalta arvaamattomat häiriöt kuitenkin vaikuttavat ja kahdennettujen komponenttien häiriöt saattavat vaikuttaa keskuksen tietokoneisiin. Tier 2 -luokan datakeskukset ovat loppukäyttäjän käytettävissä 99,75 % ajasta. (Turner ym., 2008).

Tier 3 -luokan datakeskuksissa on Tier 2 -luokan lisäksi kahdennettu virta- ja jäähdytysjärjestelmien jakelukanavat. Kaikkien tietokonelaitteistoja palvelevien järjestelmien komponentit ovat huollon aikana vaihdettavissa vaikuttamatta tietokoneisiin. Järjestelmien ja niiden komponenttien ennalta arvaamattomat häiriöt saattavat vaikuttaa tietokoneisiin. Tämän luokan datakeskukset ovat loppukäyttäjän näkökulmasta saatavilla 99,98 % ajasta. (Turner ym., 2008).

Tier 4 -luokan datakeskuksissa on useita itsenäisiä järjestelmiä sijoitettuna fyysisesti eri tiloihin ja jokaisella järjestelmällä on useita kahdennettuja komponentteja. Minkä tahansa yksittäisen järjestelmän tai sen osan häiriö ei vaikuta missään tilanteessa tietokoneisiin. Tier 4 -luokan datakeskukset ovat loppukäyttäjän saatavilla 99,99 % ajasta. (Turner ym., 2008).

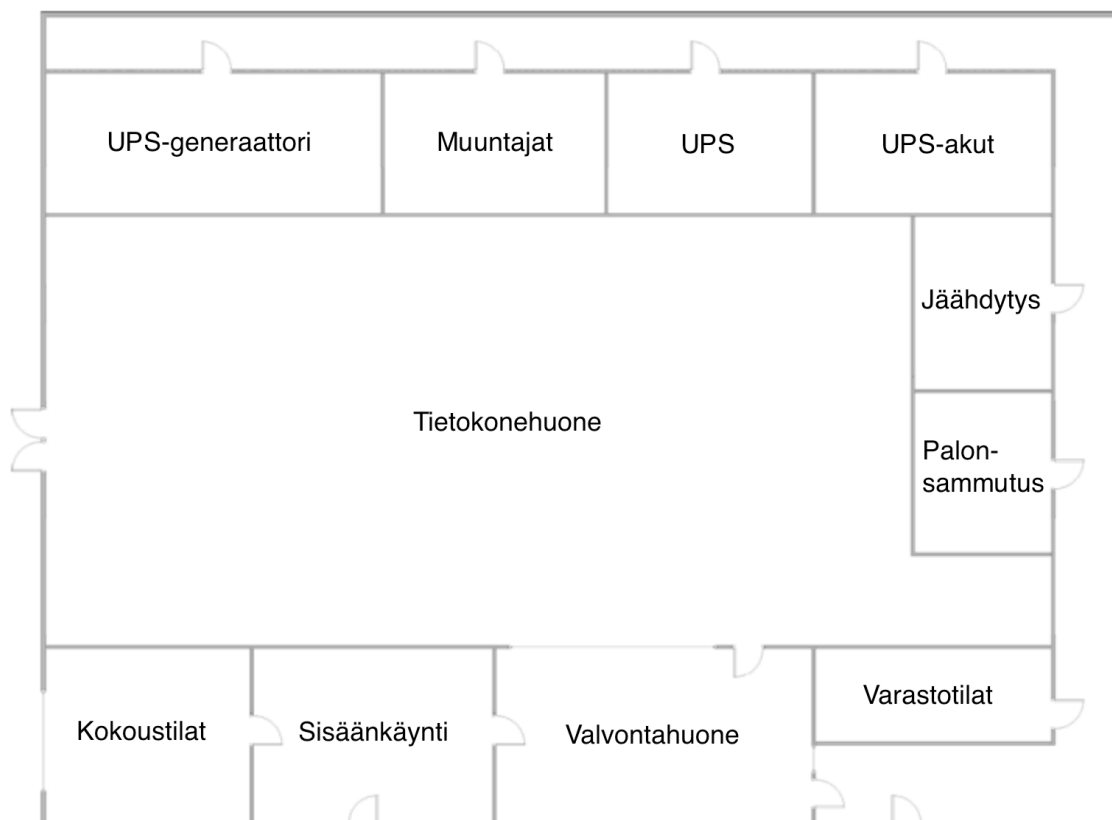
ANSI/TIA-942 on Telecommunications Industry Associationin kehittämä ja American National Standards Instituten hyväksymä standardi, joka toimii perusohjeena luotettavan ja tehokkaan datakeskuksen rakentamiselle. ANSI/TIA-942-standardi määrittelee Rating-luokituksen (aiemmin Tier), joihin datakeskukset voidaan jakaa. Standardin luokitus perustuu Uptime Instituten vastaavaan luokitukseen, mutta laajentaa sitä määrittelemällä vaatimukset muun muassa mekaanisille järjestelmille, tietoliikennejärjestelmille ja datakeskusrakennuksen arkkitehtuurille ja rakenteelle (TIA, 2005). ANSI/TIA-942-standardin luokitus ottaa Uptime Instituten luokitukseen verrattuna enemmän kantaa datakeskuksen eri osa-alueiden yksityiskohtiin ja toteutusratkaisuihin.

Toisenlaisena luokittelutapana on jakaa datakeskukset käyttötarkoituksensa perusteella. Koomey (2012) jakaa datakeskukset neljään eri luokkaan, jotka vapaasti suomennettuna ovat julkista pilvilaskentaa tarjoavien yritysten datakeskukset, tieteellisten yhteisöjen datakeskukset, laitetilapalveluja (co-location) tarjoavat datakeskukset ja muuhun kuin informaatioteknologiaan keskittyvien yritysten datakeskukset. Julkista pilvilaskentaa tarjoavilla yrityksillä tarkoitetaan esimerkiksi Googlea, joka datakeskustensa avulla tarjoaa palveluitaan asiakkaille. Tieteellisten yhteisöihin kuuluvat esimerkiksi yliopistot ja valtion tutkimuslaitokset. Kolmanteen ryhmään kuuluvia datakeskuksia omistavat yritykset, jotka tarjoavat asiakkailleen valmiin infrastruktuurin ja myyvät tai vuokraavat heille datakeskuksistaan palvelintilaa. Neljännen ryhmän datakes-

kusten omistajayritysten pääasiallisena toimialana ei ole informaatioteknologia ja keskuksia käytetään tukemaan yrityksen varsinaista liiketoimintaa. (Koomey, 2012).

2.2 Rakenne

Kuviossa 1 on esitelty tyypillisen datakeskuksen rakenne. Suurin osa datakeskuksen pinta-alasta on yleensä varattu tietokonehuoneelle, jossa serverit ja muu tarvittava IT-laitteisto sijaitsee. Tietokonehuoneen lisäksi datakeskuksessa on omat tilansa muun muassa syöttömuuntajille, jäähdytysjärjestelmälle, palonsammutusjärjestelmälle, sekä UPS-järjestelmälle ja sen generaattorille ja akuille. Muita mahdollisia tiloja ovat valvontahuone, varastot ja tilat henkilökunnalle.



KUVIO 1 Esimerkki datakeskuksen rakenteesta (Laan, 2013)

2.2.1 Tietokonehuone

Serverit ovat tietokonehuoneessa rakkien sisällä ja räkit ovat järjestettynä riveihin. Yleisimmin käytetty standardikokoinen räkki on 19 tuumaa leveä ja siihen voidaan serverien lisäksi sijoittaa kytkimiä ja muita laitteita (Kant, 2009; Laan,

2013). Rakkien korkeus mitataan yksiköllä rack unit (U), joka vastaa 1,75 tuumaa. Tyypillisen standardiräkin korkeus on 42 U ja suurin osa rakkiiin sijoitettavista laitteista ovat 1 U korkeita (Kant, 2009). Useissa datakeskuksissa tietokonehuoneen lattia on korotettu, joka mahdollistaa data- ja virtakaapeleiden säilyttämisen sen alla ja rakkien jäähdyttämiseen tarvittavan kylmän ilman pumppaamisen sen alta (Laan, 2013).

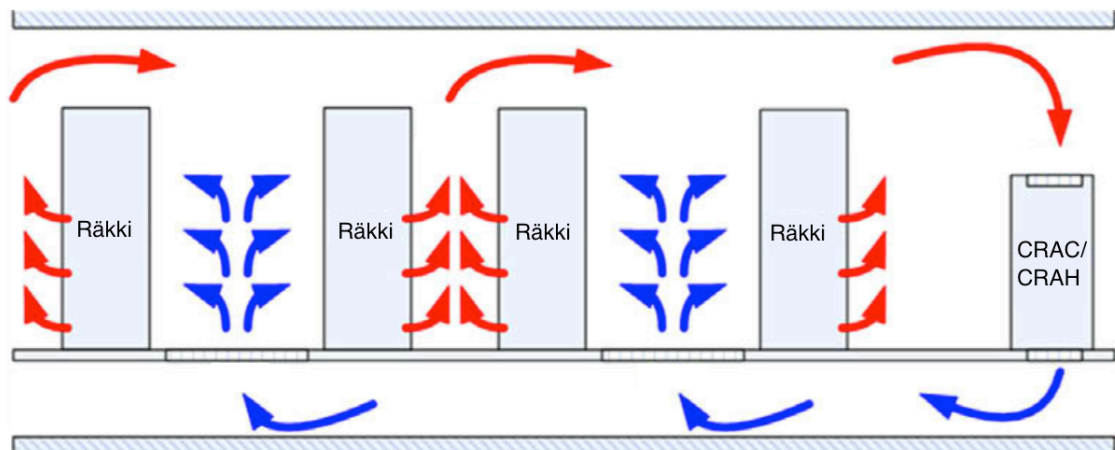
2.2.2 Sähkönsyöttö

Datakeskusten tarvitseman suuren energiamäärän takia sähkövirta joudutaan syöttämään korkeajännitelinjoja pitkin. Korkeajännitteinen syöttövirta muunnetaan pienemmäksi räkkejä ja UPS-järjestelmää varten. (Kant, 2009). UPS (Uninterruptible Power Supply), eli keskeytymätön virransyöttö, suojaa datakeskusten laitteistoja erilaisilta virransyötössä esiintyviltä häiriöiltä ja lyhyiltä sähkökatkoilta. Järjestelmä koostuu häiriöitä suodattavista filtereistä, generaattorista ja akuista. Sähkökatkon tapahtuessa akut syöttävät virtaa datakeskukselle siihen asti, kun generaattori on käynnistynyt. Akkujen sijaan energian varastoimiseen voidaan käyttää myös vauhtipyöriä, mutta ne pystyvät tuottamaan riittävästi energiaa vain muutamaksi kymmeneksi sekunniksi. Akuilla sen sijaan pystytään tuottamaan energiaa noin 5–15 minuutiksi. (Laan, 2013).

Sähkövirta johdetaan joko suoraan tai UPS-järjestelmän kautta PDU-laitteeseen (Power Distribution Unit), joka jakaa virran räkeille ja muille laitteille. PDU-laitteen vaihtovirta (AC) muutetaan servereissä ja muissa laitteissa vielä tasavirraksi (DC). Ennen PDU-laitetta olevassa UPS-laitteessa virta on jouduttu jo kertaalleen muuntamaan akkujen latausta varten tasavirraksi ja takaisin vaihtovirraksi (Kant, 2009). Virran muuntaminen ja kulkeminen usean eri laitteen läpi ei ole tehokkuudeltaan täydellistä, vaan energiaa katoaa prosessin aikana huomattava määrä. Kantin (2009) mukaan hävikki voi olla jopa 50 % tai enemmän.

2.2.3 Jäähdytys

Datakeskuksen jäähdytys tapahtuu yleensä joko CRAC- (Computer Room Air Conditioner) tai CRAH-järjestelmän (Computer Room Air Handler) avulla (Laan, 2013). Kummatkin järjestelmät jäähdyttävät kuumaa ilmaa ja pumppaavat kylmää jäähdytysilmaa tuulettimien avulla. Suurimmat erot eri datakeskusten jäähdytysjärjestelmien välillä ovat siinä, miten jäähdytysilma levitetään rakkien laitteille (Cho, Lim, Kim, 2009). Kuviossa 2 on esitelty yleinen ratkaisu jäähdytykselle. Laitteiden tuottama kuuma ilma ohjataan ylhäältä CRAC- tai CRAH-yksikölle, jonka pohjasta kylmä ilma pumpataan korotetun lattian kautta takaisin räkeille. Räkit ovat aseteltu keskenään siten että etupuoli, josta ilma otetaan sisään, on vastakkain toisen rakin etupuolen kanssa. Näin muodostuu ”kylmiä” ja ”kuumia” käytäviä, jotka estävät tilanteen, jossa rakin puhaltama kuuma ilma menisi toisen rakin ilmanotosta sisään. Tämänkaltaisen rakkien asettelu on muodostunut datakeskuksissa standardikäytännöksi. (Patankar, 2009).



KUVIO 2 Datakeskuksen jäähdytys (mukaillen Kant, 2009)

2.2.4 Redundanssi

Häiriöt datakeskuksen toiminnassa voivat aiheuttaa yrityksille mittavia rahallisia tappioita. Redundanteilla, eli toisistaan riippumattomilla järjestelmillä ja komponenteilla on tärkeä osa toiminnan turvaamisessa virhetilanteiden aikana. Redundanteja komponentteja on datakeskuksen tyypistä riippuen muun muassa sähkö- ja sähkönjakelujärjestelmissä, jäähdytysjärjestelmässä ja datan tallenukseen käytettävässä levyjärjestelmässä.

Ei-redundanttia järjestelmää voidaan kuvata kirjaimella N . Järjestelmä, jossa yhdellä komponentilla on varakomponentti, on $N+1$. Järjestelmä, jossa kahdella komponentilla on varakomponentti, on $N+2$ jne. $2N$ redundantissa järjestelmässä kaikki komponentit ovat kahdennettu ja minkään komponentin häiriö ei aiheuta häiriötä datakeskuksen toiminnassa. (TIA, 2005). Redundanssin lisääminen tuottaa kustannuksia, joten jokaista järjestelmää ei voida tehdä täysin redundantiksi kaikissa datakeskuksissa.

3 VIHREÄ IT

Ilmaston lämpeneminen, saastuminen ja muut ympäristöön liittyvät ongelmat ovat viime vuosien aikana nousseet uutisotsikoihin ja ihmisten tietoisuuteen. Informaatioteknologian alalla vihreä IT pyrkii omalta osaltaan lieventämään näitä ongelmia ja turvaamaan puhtaan elinympäristön myös tuleville sukupolville. Tässä luvussa käsitellään aluksi vihreää IT:tä käsitteenä, jonka jälkeen tarkastellaan IT:n vaikutuksia ympäristöön. Lopuksi pohditaan vihreän IT:n hyötyjä ja haittoja.

3.1 Määritelmä

Vihreä IT on laaja käsite, joka viittaa ympäristöystävällisiin informaatioteknologioihin, tietojärjestelmiin, IT:n sovellusalueisiin ja toimintatapoihin (Murugesan & Gangadharan, 2012). Vihreä IT tavoittelee informaatioteknologian käytöstä aiheutuvan haitallisen ympäristövaikutuksen minimoimista (Laan, 2013). Osana vihreää IT:tä ja sen tavoitetta on myös informaatioteknologian hyödyntäminen muiden ympäristöhankkeiden edistämässä ja ihmisten tietoisuuden lisäämisessä ympäristöasioita kohtaan. (Murugesan & Gangadharan, 2012).

Corbett (2010) määrittelee vihreän IT:n joukoksi informaatio- ja kommunikaatioteknologioita ja tietojärjestelmiä, joita käytetään joko suorasti tai epäsuorasti vähentämään ihmisten toiminnan aiheuttamia haitallisia ympäristövaikutuksia. Vihreä IT sisältää tietokoneiden, serverien, näyttöjen, tulostimien, tiedontallennuslaitteiden, sekä tietoverkko- ja kommunikaatiojärjestelmien suunnittelun, valmistuksen, käyttämisen ja käytöstä poiston tehokkaasti ja mahdollisimman pienellä ympäristövaikutuksella (Murugesan & Gangadharan, 2012). Vihreä IT ei siis ainoastaan käsittele miten nykyisiä IT-laitteita ja -järjestelmiä voisi saada tehokkaimmiksi ja ympäristöystävällisimmiksi, vaan sen muodostamaan kokonaisuuteen kuuluu olennaisena osana myös informaatioteknologian käyttö muiden ympäristöä uhkaavien ongelmien ratkaisussa.

Murugesanin ja Gangadharanin (2012) mukaan vihreä IT voidaan jakaa kolmeen ulottuvuuteen (ks. kuvio 3). Ensimmäinen ulottuvuus käsittelee tieto-

konelaitteiston, ohjelmistojen ja kommunikaatiojärjestelmien ympäristövaikutusten minimoimista tuotteen elinkaaren jokaisessa vaiheessa. Esimerkiksi energiatehokkaampien prosessorien suunnittelu, ja tietokoneen osien uudelleenkäyttö kuuluvat tähän ulottuvuuteen. Toisena ulottuvuutena on informaatioteknologian hyödyntäminen yrityksen tai organisaation muissa ympäristöystävällisyyteen tähtäävissä hankkeissa. Hankkeena voi esimerkiksi olla yrityksen paperin käytön vähentäminen, jossa IT:tä voi hyödyntää muun muassa arkistoimalla dokumentit vain sähköisesti. Vihreän IT:n kolmas ulottuvuus käsittelee informaatioteknologian käyttämistä vihreiden aatteiden ja aloitteiden edistämisen apukeinona niin yritysten eri sidosryhmien kuin tavallistenkin ihmisten keskuudessa. Esimerkkinä tästä on yritysten ympäristön hyväksi toteutettujen hankkeiden viestiminen sosiaalisen median välityksellä.



KUVIO 3 Vihreän IT:n ulottuvuudet (Murugesan & Gangadharan, 2010)

3.2 IT:n vaikutus ympäristöön

IT-laitteen elinkaaren jokainen vaihe aiheuttaa haasteita ympäristölle. Valmistuksen ja käytön välisenä aikana kuluu raaka-aineita, sähköä ja syntyy ongelmajätettä. Käytöstä poistaminen ja kierrätyksen toteuttaminen aiheuttavat myös omat ongelmansa. Informaatioteknologian vaikutus ympäristöön ei rajoitu pelkästään IT-laitteiden valmistuksesta, käytöstä ja käytöstä poistosta aiheutuviin suoriin ongelmiin, vaan IT vaikuttaa myös epäsuorasti ympäristöön. Vain noin 2 - 3 % haitallisista kasvihuonekaasuista aiheutuu suoraan informaatioteknologiasta (Murugesan & Gangadharan, 2012). Tästä johtuen vihreän IT:n toinen ja kolmas ulottuvuus nousevat tärkeään rooliin, koska niiden avulla on mahdollista saavuttaa ympäristön kannalta huomattavia parannuksia useilla toimialoilla.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) on määrittänyt vihreälle IT:lle viitekehyksen, joka kuvaa IT:n vaikutuksia ympäristöön (OECD, 2010). Viitekehysessä informaatioteknologian vaikutukset ympäristöön luokitellaan kolmeen tasoon, jotka muistuttavat sisällöltään vihreän IT:n kolmea ulottuvuutta.

Ensimmäinen taso käsittelee IT:n suoria ympäristövaikutuksia. Tasoon sisältyvät IT-laitteiden ja -palveluiden käytön ja näihin liittyvien eri prosessien, kuten valmistuksen, aiheuttamat vaikutukset (OECD, 2010). Vaikutukset eivät ainoastaan rajoitu negatiivisiin vaikutuksiin, vaan myös positiiviset vaikutukset kuuluvat niihin. Tietokoneiden virransäästöominaisuudet ja ympäristölle vaarallisten aineiden käytön välttäminen ovat esimerkkejä ensimmäisen tason positiivisista vaikutuksista. Myös ympäristöystävällisten tuotteiden suosiminen kuuluu tämän tason positiivisiin vaikutuksiin.

Viitekehyyksen toinen taso käsittelee informaatioteknologian aiheuttamia vaikutuksia muilla toimialoilla. IT:n avulla esimerkiksi fyysisiä tuotteita voidaan korvata sähköisillä ja parantaa muiden tuotteiden ympäristövaikutusta. Haitallisia vaikutuksia voivat puolestaan aiheuttaa IT-laitteiden upottaminen yhä moninaisimpiin esineisiin, jonka seurauksena esimerkiksi jätteenkäsittely vaikeutuu. IT-tuotteet saattavat myös aiheuttaa muiden tuotteiden kysynnän kasvua, mikä voi tilanteesta riippuen olla joko haitaksi tai hyödyksi ympäristölle.

Kolmas taso käsittelee systeemisiä vaikutuksia, eli ihmisten käyttäytymisen muutoksesta ja muista ei-teknologisista tekijöistä johtuvia vaikutuksia. Systeemiset vaikutukset liittyvät usein jonkin IT-teknologian laajamittaiseen omaksumiseen. Matkapuhelinten yleistymisen ja CD-levyistä digitaaliseen musiikkiin siirtyminen ovat esimerkkejä IT:n trendeistä, jotka ovat aiheuttaneet systeemisiä vaikutuksia ympäristöön. Systeemiset vaikutukset voivat myös synnyttää kehyyksen ensimmäiseen ja toiseen tasoon kuuluvia vaikutuksia. (OECD, 2010).

IT:n ympäristövaikutukset voivat siis olla sekä positiivisia että negatiivisia, ja etenkin IT:n epäsuorat vaikutukset ulottuvat hyvinkin laajalle yhteiskunnan eri osa-alueisiin. Tulevaisuudessa IT:n ympäristövaikutukset tulevat kasvamaan, sillä IT:n hiilijalanjäljen arvioidaan Climate Groupin SMART 2020 -tutkimuksen mukaan kasvavan vuoden 2007 tasosta (2 % maailman CO₂-päästöistä) vuosittain kuudella prosentilla vuoteen 2020 mennessä (Webb, 2008). Vihreän IT:n merkitys tulee siis olemaan entistäkin suurempi koko maailman mittakaavaan suhteutettuna.

3.3 Hyödyt ja haitat

Yrityksille vihreämpiin toimintatapoihin siirtymiseen on monia syitä. Murugesan ja Gangadharan (2012) mainitsevat esimerkiksi energian hinnan ja kulutuksen kasvun, kuluttajien kasvaneen kiinnostuksen ympäristöasioihin, sekä valtioiden tiukentuneen sääntelyn. Monille yrityksille suurimpana motivaationa vihreiden hankkeiden toteuttamiseen lienee mahdollisuus säästää kustannuksista ja kasvattaa myyntiä näyttämällä, että yritys toimii vastuullisesti. 47 yrityksen ympäristöhankkeiden vaikutusta tutkittaessa selvisi, että yritysten aiheuttamien epäsuorien päästöjen kuten sähkön ja veden kulutuksen vähentäminen vaikuttaa positiivisesti yritysten kannattavuuteen. Lisäksi yritysten

toiminnasta aiheutuvien suorien päästöjen vähentäminen vaikuttaa positiivisesti katteeseen ja kokonaispääoman tuotto prosenttiin. (Nishant ym., 2012).

Vihreä IT ei kuitenkaan tarjoa käyttäjilleen yksinomaan etuja. Monet ympäristöystävällisempään toimintatapaan tähtäävät hankkeet vaativat paljon aikaa ja resursseja, sekä niiden mahdolliset hyödyt toteutuvat vasta pitkällä aikavälillä. Esimerkiksi datakeskusten serverien uusiminen tai jäähdytyslaitteiston parantaminen vaativat suuria investointeja. Vihreämpiin toimintatapoihin siirtyminen edellyttää myös yritysten työntekijöiltä halukkuutta ja aktiivista osallistumista muutoksen toteuttamiseen (Murugesan & Gangadharan, 2012). Haasteena on saada kaikkien aktiivinen tuki hankkeille, koska ilman sitä kaikkia hyötyjä ei voida saavuttaa.

4 VIHREÄN IT:N HYÖDYNTÄMINEN DATAKESKUKSISSA

Datakeskusten hiilijalanjäljen ennustetaan kolminkertaistuvan vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä, mikä tekee datakeskuksista nopeimmin kasvavan osa-alueen koko ICT-sektorin CO₂e-päästöistä (Webb, 2008). Datakeskusten merkityksen kasvun seurauksena myös niiden ympäristövaikutukset tulevat kasvaamaan. Samalla myös vihreän IT:n merkitys haitallisten ympäristövaikutusten pienentämisessä nousee suurempaan rooliin. Tässä luvussa käsitellään erilaisia tapoja, miten edellisessä luvussa esiteltyä vihreää IT:tä voi hyödyntää datakeskuksissa. Luvun alussa tarkastellaan, mitä hyötyjä vihreän IT:n käyttämisellä voidaan datakeskuksissa saavuttaa. Seuraavaksi esitellään viitekehys, joka tarjoaa erään lähestymistavan vihreän IT:n käyttöönottoon datakeskuksissa. Lopuksi käydään läpi tarkemmin viitekehyksessä mainittuja keinoja.

4.1 Vihreä datakeskus

Vihreässä datakeskuksessa kaikki IT-laitteet, mekaaniset ja elektroniset järjestelmät, sekä koko datakeskusrakennus on suunniteltu toimimaan mahdollisimman energiatehokkaasti, sekä mahdollisimman pienellä haitallisella ympäristövaikutuksella ja hiilijalanjäljellä (Murugesan & Gangadharan, 2012). Vihreässä datakeskuksessa voidaan myös ohjelmistojen avulla mukauttaa datakeskuksen toimintakapasiteettia tilanteen mukaan ja näin optimoida energiankäyttöä (Uddin & Rahman, 2012a). Lisäksi uusiutuvista energianlähteistä tuotettua energiaa pyritään käyttämään mahdollisimman paljon (Sheridan, Ellis, Castro-Leon & Fowler, 2012). Ympäristöystävällisyys huomioidaan siis datakeskuksen kaikilla osa-alueilla.

Vihreä IT tarjoaa datakeskuksille monia hyötyjä ja ne vastaavat pitkälti edellisessä luvussa esiteltyjä vihreän IT:n yleisiä etuja. Yhtenä suurimmista hyödyistä on pienempi energiankulutus. Koomeyn (2011) mukaan vuosien 2000 ja 2005 välisenä aikana datakeskusten käyttämä energiamäärä kaksinkertaistui, ja vuonna 2010 datakeskukset käyttivät maailman sähköntuotannosta 1,1 -

1,5 %. Datakeskusten toimintaan vaadittavista kustannuksista noin 30 % syntyy energiasta (Murugesan & Gangadharan, 2012), joten suuresta energiankäytöstään johtuen datakeskuksille ilmisevä hyötynä vihreästä IT:stä on pienenevät energiakustannukset. Pienempi energiankulutus vähentää energian valmistamisesta syntyviä kasvihuonekaasuja ja siten lieventää myös ilmaston lämpenemistä.

Hyviä esimerkkejä vihreistä datakeskuksista ovat Googlen ja Facebookin datakeskukset. Googlen datakeskuksessa Haminassa hyödynnetään ainoastaan merivettä jäähdytykseen, eikä perinteisiä jäähdytysjärjestelmiä tarvita. Ennen lämpimän ulostuloveden päästämistä takaisin Suomenlahteen se jäähdytetään, jotta lämpimän veden haitalliset ympäristövaikutukset saadaan minimoitua. (Google, 2016). Facebookin datakeskuksessa Luulajassa kaikki tarvittava energia on tuotettu lähialueilla täysin uusiutuvista energianlähteistä ja jäähdytys on toteutettu käyttämällä viileää ulkoilmaa. Datakeskuksen serverit ja niiden ohjelmistot on kehitetty mahdollisimman tehokkaiksi Open Compute Project -hankkeen myötä. (Facebook, 2015).

4.2 Vihreän IT:n viitekehys

Uddin ja Rahman (2012a) ovat esittäneet vihreän IT:n viitekehysten datakeskuksille (ks. kuvio 4), joka korostaa erityisesti mittarien ja virtualisoinnin merkitystä. Kehys koostuu viidestä vaiheesta, jotka auttavat ymmärtämään miten vihreää IT:tä voidaan tehokkaasti hyödyntää datakeskuksissa. Vaiheet ovat:

1. Suunnittelu
2. Datakeskuksen eri komponenttien tunnistaminen ja luokittelu
3. Toimintatavat laitteiston kierrätykseen ja päästöjen vähentämiseen
4. Vihreiden toimintatapojen toteutus
5. Analysointi

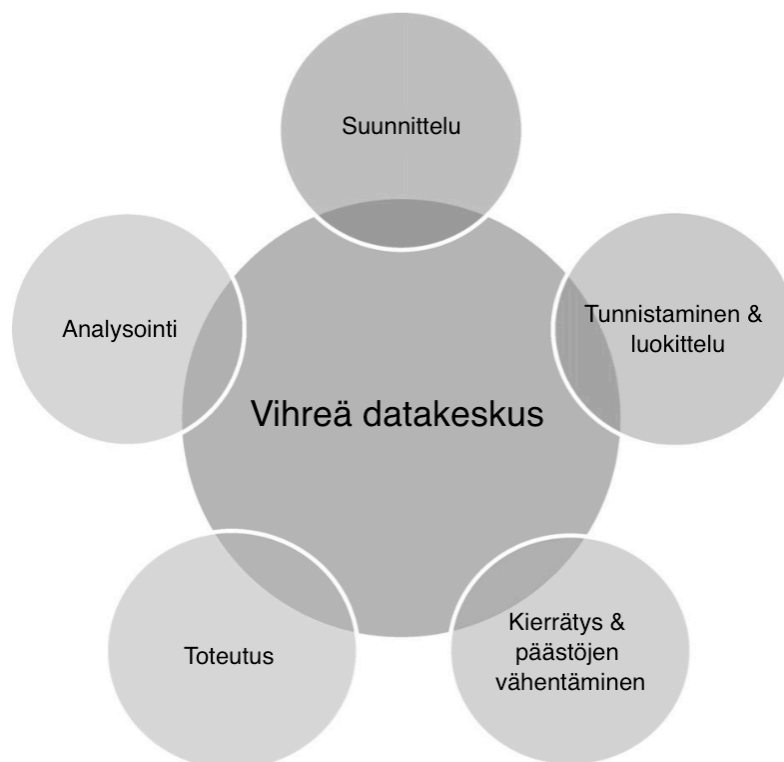
Suunnitteluvaiheen tarkoituksena on analysoida erilaisia tapoja hyödyntää vihreää IT:tä ja muodostaa tavoitteita, joita vihreän IT:n käyttämisellä halutaan saavuttaa. Tuloksena on suunnitelma, josta selviää vihreän IT:n hyödyt normaaliin datakeskukseen verrattuna, sekä vihreän IT:n käyttöön ottamiseen liittyvät vaatimukset, kustannukset ja toteutusaikataulu (Uddin & Rahman, 2012b).

Viitekehysten toisen vaiheen tarkoituksena on ensiksi luokitella datakeskuksen eri järjestelmät ja niiden komponentit järkeviksi kokonaisuuksiksi, jotta eri tehokkuuden mittareita voidaan helpommin käyttää niiden toiminnan analysoimiseen. Tämän jälkeen valitaan sopivat mittarit. Mittareiden huolellinen valinta on erityisen tärkeää, koska soveltuvien ja standardoitujen mittareiden puute on Uddinin ja Rahmanin (2012a) mukaan suuri este energiatehokkuuden parantamiselle. Kohdassa 4.3 esitellään tarkemmin energiatehokkuuden mittareita datakeskuksissa. Mittarien käytön lisäksi viitekehysten toisessa vaiheessa suunnitellaan ja valmistellaan paras virtualisointiratkaisu kyseiselle datakeskukselle. Virtualisointia käsitellään lisää kohdassa 4.4.

Kolmas vaihe koskee datakeskuksen laitteistojen hankintaa, uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. Laitteiston hankinnassa tulisi suosia ympäristöstandardeja täyttäviä tuotteita, sekä ympäristöystävällisesti operoivia toimittajia (Uddin & Rahman, 2012a). Uudelleenkäytössä ja kierrätyksessä Uddin ja Rahman (2012a) suosittelevat 3R-periaatetta (Reduce, Reuse, Recycle). Laitteita tulisi ostaa vain ja ainoastaan tarvittava määrä, jotta niiden valmistuksesta ja käytöstä poistosta aiheutuvat haitalliset ympäristövaikutukset saadaan minimoitua. Ostettujen laitteiden tulisi kelvata uudelleenkäyttöön joko muualle datakeskukseen ja sen omistajayritykseen tai sitten myytäväksi eteenpäin kolmansille osapuolille. Kummassakin tapauksessa tuotteiden elinkaari pitenee ja täysin uusien tuotteiden ostotarve vähenee. Kierrätykseen menevissä tuotteissa tulisi pyrkiä maksimoimaan kierrätettävien materiaalien määrä, koska kierrätettyjen materiaalien käyttö kuluttaa lähes aina vähemmän energiaa kuin uusien materiaalien käyttö (Uddin & Rahman, 2012a).

Viitekehysten neljännessä vaiheessa toteutetaan edellisissä vaiheissa suunnitellut toimenpiteet. Käytännössä toteutukseen sisältyvät infrastruktuurin uudistaminen, virtualisoinnin käyttöönotto, IT-laitteiden käyttöasteen parantaminen, mittareiden käyttöönotto ja niiden tavoitearvojen asettaminen (Uddin & Rahman, 2012a).

Viimeisenä vaiheena on säännöllisesti valvoa datakeskuksen toimintaa määriteltäviä mittareita käyttäen, sekä jatkaa uusien vihreiden toimintatapojen tutkimista ja hyödyntämistä.



KUVIO 4 Viitekehys vihreän IT:n hyödyntämiseen datakeskuksissa (Uddin & Rahman, 2012a)

4.3 Energiatehokkuuden mittarit

Mittareiden käyttö resurssien kulutuksen ja energiatehokkuuden valvomiseen on olennainen osa vihreitä datakeskuksia (Sheridan ym., 2012). Mittarit auttavat ymmärtämään datakeskuksen toimintaa ja siten parantamaan energiatehokkuutta (Avelar, Azevado, French, 2012). Yleisesti datakeskuksen toimintaa koskevien mittareiden lisäksi on kehitetty myös mittareita datakeskusten osajärjestelmien, kuten jäähdytys- ja UPS-järjestelmän tehokkuuden mittaamiseen (Mathew, Ganguly, Greenberg & Sartor, 2009). Seuraavaksi esitellään lyhyesti neljä The Green Grid -järjestön kehittämää mittaria.

4.3.1 PUE & DCiE

PUE:sta (Power Usage Effectiveness) on muodostunut laajalle levinnyt standardi datakeskuksen energiankulutuksen mittaamiseen (Sheridan ym., 2012). PUE-arvo lasketaan jakamalla koko datakeskuksen käyttämä energia IT-laitteiden tarvitsemalla energialla. PUE-luku kuvaa siis kuinka suuri osa energiasta kuluu muihin kuin datakeskuksen IT-laitteisiin. DCiE (Data Center infrastructure Efficiency) kuvaa datakeskuksen infrastruktuurin energiankulutuksen suhdetta IT-laitteiden energiankulutukseen, eli päinvastoin kuin PUE:ssa. Ihanne PUE on 1, jolloin kaikki energia kuluu vain IT-laitteisiin, mutta käytännössä tähän on erittäin vaikea, ellei mahdotonta päästä. The Uptime Instituten tekemän kyselytutkimuksen mukaan datakeskusten keskimääräinen PUE vuonna 2014 oli 1,7 (Uptime Institute, 2015c), mutta esimerkiksi Googlen datakeskusten keskiarvo on tällä hetkellä 1,12 (Google, 2016).

4.3.2 CUE & WUE

CUE (Carbon Usage Effectiveness) kuvaa datakeskuksen energiankulutuksesta aiheutuvien CO₂-päästöjen suhdetta IT-laitteiden kuluttamaan energiamäärään. Ihanne CUE on 0, joka tarkoittaa, että datakeskuksen toiminnasta ei aiheudu lainkaan hiilidioksidipäästöjä. WUE (Water Usage Effectiveness) kuvaa datakeskuksen vuosittaisen vedenkäytön suhdetta IT-laitteiden kuluttamaan energiamäärään. Myös WUE:n ihannearvo on 0, jolloin vettä ei kulu lainkaan datakeskuksen toimintaan.

PUE, yhdessä CUE:n ja WUE:n kanssa muodostavat The Green Gridin xUE-mittariston, jonka käyttöönotto auttaa hallitsemaan datakeskuksen energiatehokkuutta ja haitallisia ympäristövaikutuksia.

4.4 Virtualisointi

Perinteisessä, ei-virtualisoidussa ympäristössä tietokoneen käyttöjärjestelmä on suorassa vuorovaikutuksessa fyysisen laitteiston kanssa. Virtualisointi tuo laitteiston ja käyttöjärjestelmän välille virtualisointikerroksen, joka mahdollistaa

useamman käyttöjärjestelmän (virtuaalikoneen) suorittamisen yhdellä fyysisellä laitteistolla (Laan, 2013). Datakeskuksissa virtualisointi mahdollistaa usean virtuaaliseen serverin toiminnan yhdellä fyysisellä serverillä.

Virtualisointia hyödyntävillä servereillä on useita etuja tavallisiin verrattuna. Fyysisten laitteiden määrää voidaan vähentää, mikä säästää muun muassa laitteiston hankintaan kuuluvissa kustannuksissa, energiankulutuksessa ja jäähdytyksessä. Laitteiden määrän vähentäminen pienentää myös laitteiston vikaantumisen riskiä, ja vian ilmaantuessa virtualisoidut serverit voidaan helposti siirtää fyysiseltä laitteelta toiselle ilman häiriötä saatavuudessa. (Laan, 2013). Virtualisoitujen serverien prosessien helppo siirtely eri laitteiden välillä mahdollistaa myös työmäärien keskittämisen pienelle fyysiselle serverijoukolle, jolloin muut serverit voivat siirtyä virransäästötilaan (Sheridan ym., 2012).

Virtualisoinnin mukanaan tuoma lisäkerros laitteiston ja käyttöjärjestelmän välille kuitenkin monimutkaistaa esimerkiksi ylläpitoa ja vaativat asiantuntevaa henkilöstöä hallitsemaan suurta virtualisoitujen serverien joukkoa. Lisäksi virtualisointi aiheuttaa todennäköisesti pienen pudotuksen suorituskyvyssä ja pullonkaulaksi saattaa muodostua se, että kaikki yhdellä fyysisellä serverillä olevat virtuaalikoneet käyttävät serverin samoja IO-kanavia. (Laan, 2013). Esimerkiksi Amazonin datakeskuksessa on Wangin ja Ngn (2010) tutkimuksen mukaan havaittu olevan virtualisoinnista aiheutuvia häiriöitä verkkoliikenteessä.

4.5 Ympäristöystävällisemmät serverit

Monissa datakeskuksissa serverien käyttöaste on alhainen, jotta muun muassa palvelutasosopimuksessa (service-level agreement, SLA) määritelty suorituskykyvaatimus saadaan ruuhka-aikanakin taattua (Sheridan ym., 2012) ja redundanssia lisättyä (Meisner, Gold & Wenisch, 2009). Useimmiten serverien käyttöaste on 10 - 50 % välillä, joten ne ovat harvoin täysin vapaina tai toimivat täydellä teholla (Barroso & Hölzle, 2007).

Suurella käyttöasteella toimiminen on nykyisenkaltaisilla servereillä paljon energiatehokkaampaa kuin matalalla käyttöasteella toimiminen. Jos serveri työskentelee vain 10 % teholla, se kuluttaa silti hieman yli 50 % maksimi energiankulutuksestaan. 70 % käyttöasteella energiankulutus on noussut 90 % maksimikulutuksesta, eli suhteellisesti vähemmän kuin käyttöaste. (Barroso & Hölzle, 2007). Suunnittelemalla servereitä niin, että ne kuluttaisivat energiaa likimain samassa suhteessa niiden tekemän työmäärään kanssa, voitaisiin Barroson ja Hölzlen (2007) mukaan lähes kaksinkertaistaa serverien energiatehokkuus. Lisäksi on kehitetty teknologioita, joiden avulla serverien on mahdollista siirtyä vähäenergisestä lepotilan ja normaalitilan välillä erittäin nopeasti (Meisner, Gold & Wenisch, 2009). Näin energiankulutusta saisi entisestään pienennettyä, kun työmäärä on pieni.

Prossessorin energiatehokkuuden parantamisella on myös suuri vaikutus serverin kokonaiskulutukseen, koska prosessori kuluttaa serverin komponenteista eniten energiaa (Sheridan ym., 2012). Prossessorien energiatehokkuutta

voidaan parantaa esimerkiksi niiden valmistusprosesseja kehittämällä. Valmistusprosesseja on viime vuosikymmeninä kyetty parantamaan niin, että laskentatehon kasvaessa energiankulutus ei juurikaan ole muuttunut. Valmistusprosessien lisäksi prosessorin energiatehokkuuteen vaikuttavat muun muassa ytimien määrä ja kellotaajuus. Epäsuorasti energiatehokkuuteen vaikuttaa prosessorin suorittamat ohjelmat, joita optimoimalla on mahdollista tehostaa prosessorin toimintaa.

Serverin eri komponenttien ja eri ohjelmistoteknisin ratkaisuin, kuten virtualisoinnilla, voidaan serverien energiankulutuksen lisäksi vähentää mahdollisesti myös esimerkiksi jäähdytysjärjestelmän ja muiden datakeskuksen eri järjestelmien energiankulutusta.

5 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintutkielmassa käsiteltiin datakeskuksia, vihreää IT:tä ja sen hyödyntämistä datakeskuksissa. Huolet ilmastonmuutoksesta ja ihmiskunnan ympäristölle aiheuttamasta haitasta ovat nostaneet vihreän ajattelutavan hyvin ajankohtaiseksi aiheeksi viime vuosina. Samaan aikaan teknologian kehitys informaatio- ja kommunikaatioteknologian alalla on ollut huikeaa ja monista alan innovaatioista on tullut osa jokapäiväistä elämäämme. Yksi näistä innovaatioista on internet, jonka suosion kasvaessa myös sen taustalla toimivan infrastruktuurin on täytynyt pysyä kasvun mukana. Tämän seurauksena datakeskuksia rakennetaan jatkuvasti lisää ja niiden energiankulutus on noussut koko maailman mittakaavassa merkittävään osaan. Tämän kirjallisuuskatsauksena toteutetun tutkielman tavoitteena oli selvittää vihreän IT:n hyödyntämistä datakeskuksissa. Tutkimusongelma oli seuraavanlainen:

- Miten vihreää IT:tä voi hyödyntää datakeskuksissa ja mitä hyötyjä sen käyttämisestä on?

Aluksi käsiteltiin datakeskuksia ja vihreää IT:tä yleisesti. Määritelmästä riippuen datakeskuksiksi voidaan laskea hyvinkin monenlaiset tilat, mutta yhteistä kaikille on datakeskuksen toiminnan mahdollistavat serverit sisältävä huone. Tietokonehuoneen lisäksi suurissa datakeskuksissa on muun muassa jäähdytys- ja varavirtajärjestelmä, eli UPS. Lisäksi häiriöiden ja huollon varalle datakeskuksen järjestelmissä on tyypillisesti useita kahdennettuja toisistaan riippumattomia, eli redundantteja komponentteja.

Vihreän IT:n tarkoituksena on informaatio- ja kommunikaatioteknologian avulla vähentää haitallisia ympäristövaikutuksia. Vihreä IT käsittää IT-laitteiden ja -järjestelmien haitallisten ympäristövaikutusten minimoimisen lisäksi myös informaatioteknologian hyödyntämisen tähän tarkoitukseen toimialasta riippumatta.

Vihreän IT:n käyttöä datakeskuksissa lähestyttiin Uddinin ja Rahmanin (2012a) kehittämällä viitekehyksellä. Vihreässä datakeskuksessa hyödynnetään uusiutuvaa energiaa, sekä kaikissa sen laitteissa ja järjestelmissä huomioidaan energiatehokkuus ja ympäristöystävällisyys koko niiden elinkaaren ajan. Viite-

kehyksessä korostetaan erityisesti mittareiden käyttöä, virtualisointia ja datakeskuksen laitteiston elinkaaren hallintaa keinoina vihreän IT:n hyödyntämiseen. Viitekehyksen pohjalta keinot vihreän IT:n hyödyntämiseen datakeskuksissa voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen (ks. taulukko 1).

TAULUKKO 1 Vihreän IT:n hyödyntäminen datakeskuksissa

Vihreä IT datakeskuksissa	Esimerkkejä
IT-laitteet	Serverit, laitteiden kierrätys
IT-laitteiden ohjelmistot	Virtualisointi, pilvikäyttöjärjestelmät
IT:n epäsuora hyödyntäminen	Mittarit, toiminnan analysointi

IT-laitteisiin kuuluvat esimerkiksi serverit ja muut tietokonelaitteet, sekä niiden komponentit. Tähän osa-alueeseen sisältyvät kaikki keinot liittyen laitteiston ympäristöystävällisyyden takaamiseksi niiden hankinnassa, käytön aikana ja käytöstä poistossa. Toinen osa-alue käsittää ympäristöhaitan pienentämisen IT-laitteiden käytön aikana eri ohjelmistoratkaisujen avulla. Näihin kuuluvat virtualisoinnin lisäksi myös esimerkiksi pilvikäyttöjärjestelmät, kuten OpenStack, joka auttaa tehostamaan datakeskuksen toimintaa. Kolmanteen osa-alueeseen kuuluu IT:n hyödyntäminen datakeskuksen toiminnan tarkkailussa ja muiden järjestelmien lisäksi koko datakeskusrakennuksen ympäristöystävällisyyden parantamisessa.

Vihreän IT:n käyttäminen tarjoaa datakeskusta ylläpitävälle organisaatiolle hyötyjä pääasiassa rahallisten säästöjen muodossa, vaikka osa vihreistä toimintatavoista, kuten kierrätyksen järjestäminen, saattaa aiheuttaa lisäkustannuksia. Lisäksi vihreät toimintatavat voivat vaikuttaa positiivisesti yrityksen maineeseen. Vihreä IT tulee vaatimaan investointeja ja osa sen hyödyistä toteutuu vasta pitkällä aikavälillä. Vihreän IT:n kaikki haittapuolet organisaatioiden kannalta ovat kuitenkin hyötyjä ympäristön kannalta. Kierrätys ja uudelleenkäyttö vähentävät uusien laitteiden valmistustarvetta ja säästävät luonnonvaroja. Vihreän IT:n hyötyjä voidaan myös karkeasti jaotella taulukossa 1 esiteltyihin kolmeen osa-alueeseen (ks. taulukko 2). Hyötyjen jaottelu ei kuitenkaan ole niin yksikäsitteistä kuin vihreän IT:n käyttötapojen jaottelu, ja moni hyödyistä toteutuukin useammalla kuin yhdellä osa-alueella.

TAULUKKO 2 Vihreän IT:n käyttämisen hyötyjä

Vihreä IT datakeskuksissa	Esimerkkejä hyödyistä
IT-laitteet	Energiansäästö, laskentatehon kasvu, pienemmät kasvihuonekaasupäästöt
IT-laitteiden ohjelmistot	Uusien laitteiden vähentynyt tarve, toiminnan jatkuvuuden takaaminen, raaka-aineiden vähentynyt käyttö
IT:n epäsuora hyödyntäminen	Toiminnan yleinen tehostaminen, myönteinen julkisuus, kustannussäästöt

Uddinin ja Rahmanin viitekehys tarjoaa vain yhden näkökulman vihreän IT:n hyödyntämiseen datakeskuksissa, joten joitain asioita on korostettu ja vastaa-

vasti joitain on jätetty vähemmälle huomiolle. Lisäksi tässä tutkielmassa käsiteltiin hyvin yleisellä tasolla vihreän IT:n keinoja, joten tämän takia yllä mainittuihin osa-alueisiin tarkemmin perehtymällä löytyy varmasti vielä lisää tapoja hyödyntää vihreää IT:tä, joita tässä ei ole mainittu. Sopivan akateemisen lähdemateriaalin löytäminen oli haasteellista, koska moni julkaisu keskittyy vain hyvin rajattuun alueeseen, kuten tiettyyn virtualisointitekniikkaan. Tämän seurauksena tutkielmaa tehdessä muodostui muutaman lähteen joukko, johon jouduttiin tukeutumaan muita enemmän.

Tulevina vuosina pilvipalveluiden markkinat tulevat Gartnerin mukaan rahamääräisesti kasvamaan vuoden 2016 aikana 16,5 % lähes 204 miljardiin dollariin, joten datakeskusten merkitys jatkaa myös kasvuaan ja niiden toiminnan tehostaminen pysyy ajankohtaisena aiheena. Datakeskuksiin ja vihreään IT:hen liittyen jatkotutkimuksissa voitaisiin perehtyä tarkemmin joihinkin vihreän IT:n osa-alueisiin, esimerkiksi selvittää mikä virtualisointivaihtoehdoista on ympäristön kannalta kaikkein paras. Lisäksi voitaisiin yleisesti tutkia, millä vihreän IT:n hyödyntämiskeinoilla on suurin vaikutus ympäristöystävällisyyteen. Näin saataisiin tarkempaa tietoa siitä, mihin keinoihin datakeskuksissa kannattaisi eniten panostaa. Datakeskusten sijaan, jatkotutkimusaiheena voisi olla vihreän IT:n hyödyntäminen jollain muulla toimialalla. Internet of Things (IoT) on yksi tämän hetken nousevista trendeistä, joka mahdollistaa erilaisten internetiin yhteydessä olevien älylaitteiden tulemisen esimerkiksi kotitalouksiin. Vihreä IT ja IoT kohtaavat muun muassa kodin lämmityksessä, jota optimoimalla voidaan säästää energiaa ja luontoa.

Tulevaisuudessa vihreän IT:n käyttö tulee todennäköisesti yleistymään niin datakeskuksissa kuin muissakin organisaation osissa ja toiminnoissa. Uusia teknologioita kehitetään, joiden avulla pystytään toimimaan entistä tehokkaammin ja pienemmällä ympäristöhaitalla. Esimerkiksi maailman energiatehokkaimpien supertietokoneiden listaa ylläpitävän Green500-sivuston mukaan viimeisen kahdeksan vuoden ajanjaksolla yhdellä watilla saavutettu laskentateho on kasvanut lähes 2000 %. Kuitenkin samalla laskentatehon tarve on kasvanut ja IT-laitteiden kokonaisenergiankulutus on noussut. Kuten Murugesan ja Gangadharan (2012) asian hyvin ilmaisevat, IT:n ollessa osa ympäristöongelmien aiheuttajista, on se myös vihreän IT:n avulla ratkaisu näihin ongelmiin.

LÄHTEET

- Avelar, V., Azevedo, D. & French, A. (2012). PUE™: A comprehensive examination of the metric. *White Paper*, 49.
- Barroso, L. A. & Hölzle, U. (2007). The case for energy-proportional computing. *Computer*, (12), 33-37.
- Cho, J., Lim, T. & Kim, B. S. (2009). Measurements and predictions of the air distribution systems in high compute density (internet) data centers. *Energy and Buildings*, 41(10), 1107-1115.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.05.017>
- Corbett, J. (2010). Unearthing the value of green IT. *International Conference on Information Systems (ICIS) 2010 Proceedings*. Paper 198.
- EPI. What is a data centre. Haettu 11.11.2015 osoitteesta http://www.epi-ap.com/content/28/48/What_is_a_Data_Centre
- Facebook. (2015, 3. helmikuuta). Take a tour in our Luleå data center. Haettu 17.2.2016 osoitteesta <https://www.facebook.com/video.php?v=745326888869335&fref=nf>
- Gartner. Data center. Haettu 11.11.2015 osoitteesta <https://www.gartner.com/it-glossary/data-center/>
- Gartner. (2016, 25. tammikuuta). Gartner Says Worldwide Public Cloud Services Market Is Forecast to Reach \$204 Billion in 2016. Haettu 19.3.2016 osoitteesta <https://www.gartner.com/newsroom/id/3188817>
- Google. (2016). Efficiency: How we do it. Haettu 17.2.2016 osoitteesta <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/index.html>
- Green500. The Green500 List - November 2007. Haettu 22.2.2016 osoitteesta <http://www.green500.org/lists/green200711>
- Green500. The Green500 List - November 2015. Haettu 22.2.2016 osoitteesta <http://www.green500.org/lists/green201511>
- Guohui Wang & Ng, T. S. E. (2010). The impact of virtualization on network performance of amazon EC2 data center. *INFOCOM, 2010 Proceedings IEEE*, (1-9). doi:10.1109/INFCOM.2010.5461931

- International Telecommunications Union. (2015, 26. toukokuuta). ITU releases 2015 ICT figures. Haettu 17.2.2016 osoitteesta https://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2015/17.aspx
- Kant, K. (2009). Data center evolution: A tutorial on state of the art, issues, and challenges. *Computer Networks*, 53(17), 2939-2965. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2009.10.004>
- Koomey, J. (25. syyskuuta, 2012). Haettu 2.12.2015 osoitteesta <http://www.koomey.com/post/32281701993>
- Koomey, J. (2011). Growth in data center electricity use 2005 to 2010. *A Report by Analytical Press, Completed at the Request of the New York Times*.
- Laan, S. (2013). *It infrastructure architecture-infrastructure building blocks and concepts second edition* Sjaak Laan.
- Mathew, P., Ganguly, S., Greenberg, S. & Sartor, D. (2010). Self-benchmarking guide for data centers: Metrics, benchmarks, actions. *Lawrence Berkeley National Laboratory*.
- Meisner, D., Gold, B. T. & Wensich, T. F. (2009). PowerNap: Eliminating server idle power. *ACM Sigplan Notices*, (205-216). ACM.
- Murugesan, S. & Gangadharan, G. (2012). Green IT: An overview. Teoksessa S. Murugesan, & G. Gangadharan (toim.), *Harnessing green IT: Principles and practices* (2012) Wiley Publishing.
- Murugesan, S. (2008). Harnessing green IT: Principles and practices. *IT Professional*, 10(1), 24-33. doi:10.1109/MITP.2008.10
- Nishant, R., Teo, T., Goh, M. & Krishnan, S. (2012). Does environmental performance affect organizational performance? evidence from green IT organizations. *International Conference on Information Systems, ICIS 2012*.
- OECD. (2010). *Greener and Smarter: ICTs, the Environment and Climate Change*.
- OpenStack. Haettu 21.2.2016 osoitteesta <https://www.openstack.org/>
- Oxford Dictionaries. Data centre. Haettu 11.11.2015 osoitteesta <https://www.oxforddictionaries.com/definition/english/data-centre>
- Patankar, S. V. (2010). Airflow and cooling in a data center. *Journal of Heat Transfer*, 132(7), 073001.

- Sheridan, C. G., Ellis, K. A., Castro-Leon, E. G. & Fowler, C. P. (2012). Green data centres. Teoksessa S. Murugesan, & G. Gangadharan (toim.), *Harnessing green IT: Principles and practices* (2012) Wiley Publishing.
- Telecommunications Industry Association. (2005). TIA-942 (telecommunication infrastructure standard for data centers). *Arlington, April*.
- Turner IV, W. P., Seader, J. H, Renaud, V. & Brill, K. G. (2006). Tier classification define site infrastructure performance. *Uptime Institute*, 17.
- Uddin, M. & Rahman, A. A. (2012a). Energy efficiency and low carbon enabler green IT framework for data centers considering green metrics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4078-4094.
- Uddin, M. & Rahman, A. A. (2012b). Validation of green IT framework for implementing energy efficient green data centres: A case study. *International Journal of Green Economics*, 6(4), 357-374.
- Uptime Institute. (2015a). 2014 data center industry survey. Haettu 17.2.2016 osoitteesta <https://journal.uptimeinstitute.com/2014-data-center-industry-survey/>
- Uptime Institute. (2015b). About uptime institute. Haettu 4.12.2015 osoitteesta <https://uptimeinstitute.com/about-ui>
- Uptime Institute. (2015c). Explaining uptime institute's tier classification system. Haettu 5.12.2015 osoitteesta <https://journal.uptimeinstitute.com/explaining-uptime-institutes-tier-classification-system/>
- Webb, M. (2008). Smart 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. *The Climate Group. London*, 1(1), 1-1.