

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Marko Vatovec

**Pristop za implementacijo
okolju prijaznega računalništva**

DIPLOMSKO DELO
NA VISOKOŠOLSKEM STROKOVNEM ŠTUDIJU

Mentor: viš. pred. dr. Damjan Vavpotič

Ljubljana, 2011



Št. naloge: 00064/2011

Datum: 03.02.2011

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **MARKO VATOVEC**

Naslov: **PRISTOP ZA IMPLEMENTACIJO OKOLJU PRIJAZNEGA
RAČUNALNIŠTVA
AN APPROACH TO IMPLEMENTATION OF GREEN COMPUTING**

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

S hitrim razvojem informacijske tehnologije in njeno vse hitrejšo integracijo v vsa področja družbe narašča tudi vpliv, ki ga le ta ima na okolje. Ta vpliv ni več zanemarljiv, kar kliče po rešitvah, ki bodo zmanjšale vpliv informacijske tehnologije na okolje. Zeleno računalništvo je pristop k reševanju okoljskega problema, h kateremu prispeva tudi informacijska tehnologija. V začetku pojava tega pristopa, je le ta večinoma obravnaval probleme porabe energije, predvsem v podatkovnih središčih. Danes jasno, da bo potrebno o zmanjšanju okoljskih vplivov razmišljati čisto na vseh področjih informacijske tehnologije, tudi pri najmanjših porabnikih. Ta diplomska naloga nudi pregled nad trenutnimi praksami in predlaga seznam priporočil in postopkov za implementacijo okolju bolj prijaznega pristopa k informacijskim tehnologijam, ki temeljijo na dobrih praksah, ter obsegajo vse faze razvoja informacijskih sistemov in poslovnih procesov – od analize, pa do končne realizacije sistema ali procesa.

Mentor:

viš. pred. dr. Damjan Vavpotič

Dekan:

prof. dr. Nikolaj Zimic



Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil Microsoft Word.

IZJAVA O AVTORSTVU
diplomskega dela

Spodaj podpisani/-a Marko Vatovec,

z vpisno številko 63060305,

sem avtor/-ica diplomskega dela z naslovom:

Pristop za implementacijo okolju prijaznega računalništva.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal/-a samostojno pod mentorstvom
viš. pred. dr. Damjana Vavpotiča;
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.)
ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela;
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki »Dela FRI«.

V Ljubljani, dne _____ Podpis avtorja/-ice: _____

Zahvala

Rad bi se zahvalil svojemu mentorju, viš. pred. dr. Damjanu Vavpotiču, ki me je vodil skozi celoten čas izdelave diplomskega dela, od izbire teme, do končnih popravkov.

Ob tej priložnosti se zahvaljujem tudi svojim staršem, ki so me podpirali v času študija, ter Aline, ki mi je nudila podporo, ter pomagala priskrbeti gradivo, ki mi je bilo v pomoč pri nastanku tega diplomskega dela.

To diplomsko delo je posvečeno Aline.

Kazalo

Povzetek	1
Abstract	2
1 Uvod	3
2 Zeleno računalništvo	4
2.1 Definicija pojma zeleno računalništvo	4
2.2 Trenutno stanje trenda zelenega računalništva	4
2.2.1 Zeleno računalništvo kot trend v informatiki	4
2.2.2 Motivacija za vpeljavo zelenega računalništva	5
2.2.3 Trenutne iniciative, standardi in zakonske zahteve	6
2.2.3.1 Zakonske zahteve	6
2.2.3.2 Iniative in standardi	8
2.3 Pristopi k zelenemu računalništvu	11
2.3.1 Podaljševanje življenjske dobe izdelkov	11
2.3.2 Optimizacija programske opreme	11
2.3.2.1 Možnosti izboljšave programske opreme	11
2.3.2.2 Virtualizacija	11
2.3.2.3 Lahki odjemalci in virtualizacija namizja	13
2.3.2.4 Računalništvo v oblaku in storitveno usmerjena arhitektura	13
2.3.3 Upravljanje z energijo	15
2.3.3.1 Poraba električne energije računalniške opreme, ACPI in operacijski sistemi	15
2.3.3.2 Grafične kartice in zasloni	16
2.3.3.4 Napajanje	17
2.3.3.5 Shranjevanje podatkov	17
2.3.3.6 Poraba električne energije in problem hlajenja v podatkovnih središčih	18
2.3.4 Spremembe v poslovnem procesu	20
2.3.4.1 Načrtovanje poslovnih procesov na okolju prijazen način	20
2.3.4.2 Zmanjševanje porabe papirja in potrošnega materiala	20
2.3.4.3 Virtualni delavci, virtualni timi in virtualne organizacije	21
2.4 Pristop k implementaciji zelenega računalništva	23
2.4.1 Opis problema	23
2.4.2 Pregled dobrih praks in uspešno izpeljanih projektov	23
2.4.2.1 Proizvajalci strojne opreme	23

2.4.2.2 Druge dobre prakse	27
2.4.2.3 Ugotovitve	28
2.4.3 Pristop k zelenemu računalništvu	29
2.4.3.1 Optimizacija opreme	30
2.4.3.2 Optimizacija poslovnih procesov	33
2.4.4 Seznam priporočil za vpeljavo zelenega računalništva	35
2.4.4.1 Podaljševanje življenjske dobe izdelkov in nabava opreme	36
2.4.4.2 Uporaba opreme	38
2.4.4.3 Podatkovna središča	40
2.4.4.4 Omrežja	44
2.4.4.5 Poslovni proces	45
2.4.4.6 Omejitve ocen	46
2.4.5 Možnost uporabe principov zelenega računalništva v malih podjetjih in ocenjevanje smiselnosti vpeljave zelenega računalništva	47
3 Sklep	48
Kazalo slik	49
Kazalo tabel	50
Literatura	51

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

ACPI	(<i>angl. Advanced Configuration and Power Interface</i>) odprt standard, ki določa pristop k upravljanju s porabo energije
CSCI	(<i>angl. Climate Savers Computing Initiative</i>) združenje proizvajalcev, porabnikov in organizacij za promocijo tehnologij, ki lahko izboljšajo energetska učinkovitost in porabo računalniške opreme
DMS	(<i>angl. Document Management System</i>) sistem za upravljanje z dokumenti
EDI	(<i>angl. Electronic Data Interchange</i>) princip prenosa dokumentov ali poslovnih podatkov iz izvirne organizacije v drugo partnersko organizacijo brez človeškega vmesnika
FC	(<i>angl. Fibre Channel</i>) tehnologija, ki se največkrat uporablja za vzpostavitev SAN omrežij za namene poslovnega shranjevanja podatkov
HVAC	(<i>angl. Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>) sistemi za vzdrževanje primerne obratovalne temperature
IaaS	(<i>angl. Infrastructure as a Service</i>) infrastruktura kot storitev
MAID	(<i>angl. Massive Array of Idle Disks</i>) veliko polje nedejavnih diskov, shranjevanje podatkov, do katerih se redko dostopa, na diske, ki so navadno izključeni
PaaS	(<i>angl. Platform as a Service</i>) platforma kot storitev
PCB	poliklorirani bifenil, poliklorirani terfenil, monometiltetraklorodifenilmetan, monometildiklorodifenilmetan, monometildibromodifenilmetan ali druga mešanica, kjer posamična ali skupna vsebnost navedenih snovi presega 0,005 % njene teže
RoHS	(<i>angl. Restriction of Hazardous Substances Directive</i>) direktiva, ki prepoveduje uporabo najbolj škodljivih materialov v elektronski opremi
SAN	(<i>angl. Storage Area Network</i>) omrežje pomnilniških naprav, povezano z visokohitrostnimi povezavami
SATA	(<i>angl. Serial Advanced Technology Attachment</i>) računalniško vodilo za priklop trdih diskov in ostalih drugih pomnilniških naprav
SaaS	(<i>angl. Software as a Service</i>) programska oprema kot storitev
SOA	(<i>angl. Service Oriented Architecture</i>) storitveno usmerjena arhitektura, princip razvoja in integracije sistemov, ki temeljijo na storitvah
SSD	(<i>angl. Solid-state Drive</i>) disk brez gibljivih delov

TCO	<i>(angl. Total costs of ownership)</i> skupni stroški lastništva – vsota stroškov razvoja, uporabe in vzdrževanja opreme
UEP	<i>(prevod iz angl. PUE – Power Usage Effectiveness)</i> količnik učinkovitosti porabe električne energije v podatkovnih središčih, predlagan s strani Uptime Institute in razširjen skozi iniciativo The Green Grid
UIPS	<i>(prevod iz angl. DciE – Data Center Infrastructure Efficiency)</i> količnik učinkovitosti porabe električne energije infrastrukture podatkovnih središč
UPM	<i>(prevod iz angl. CPE – Compute Power Efficiency)</i> količnik izkoriščenosti izrabe računalniške opreme in učinkovitosti porabe električne energije v podatkovnem središču
VDI	<i>(angl. Virtual Desktop Infrastructure)</i> praksa gostovanja operacijskega sistema v virtualnem stroju, ki teče na centraliziranem strežniku
WEEE	<i>(angl. Waste Electrical and Electronic Equipment Directive)</i> direktiva, ki nalaga odgovornost za izdelke ob koncu njihove življenjske dobe proizvajalcem

Povzetek

S hitrim razvojem informacijske tehnologije in njeno vse hitrejšo integracijo na vsa področja družbe narašča tudi vpliv, ki ga ima informacijska tehnologija na okolje. Vloga informacijske tehnologije v okoljski problematiki vsekakor ni več zanemarljiva, kar kliče po rešitvah, ki bodo zmanjšale negativne posledice informacijske tehnologije na okolje. Zeleno računalništvo je pristop k reševanju okoljskega problema, h kateremu prispeva tudi informacijska tehnologija. Na samih začetkih tega pristopa je ta večinoma obravnaval probleme porabe energije, predvsem v podatkovnih središčih. Danes je jasno, da bo treba o zmanjšanju okoljskih vplivov razmišljati na vseh področjih informacijske tehnologije, tudi pri najmanjših porabnikih. Ta diplomska naloga nudi pregled nad trenutnimi praksami in predlaga seznam priporočil in postopkov za implementacijo okolju bolj prijaznega pristopa k informacijskim tehnologijam, ki temeljijo na dobrih praksah ter obsegajo vse faze razvoja informacijskih sistemov in poslovnih procesov – od analize pa do končne realizacije sistema ali procesa.

Ključne besede: okolju prijazno računalništvo, zeleno računalništvo, zelene informacijske tehnologije, zmanjševanje okoljskih vplivov, zmanjševanje stroškov, pristop, dobre prakse

Abstract

With fast development of information technology and its integration in all fields of society, the influences it has on environment have been increasing as well. The role information technology has in environmental problem can't be overlooked anymore, which calls for solutions that will diminish the negative impacts of information technology on the environment. Green computing is an approach to solving the environmental issues to which information technology contributes. In the beginnings of this approach, it was mostly centered on energy consumption issues, especially in data centers. Today it is clear that the reduction of environmental impacts of information technology will have to be considered in all areas of informatics, even by smallest consumers. This thesis gives an overview of current practices and suggests a list of procedures and suggestions for implementing more environmentally friendly information technology that are based on current good practices and cover all phases of information systems development, from analysis to the final realization of a system or a process.

Key words: environment friendly computing, green computing, green information technology, reducing environmental impacts, reducing costs, approach, good practices

1 Uvod

Informacijske tehnologije so danes nepogrešljiv del vsake organizacije. S hitrim razvojem so prodrle na vsa področja družbe in gospodarstva, vendar so s seboj prinesle tudi negativne posledice. Brez dvoma so informacijske tehnologije pomemben dejavnik v verigi onesnaževalcev okolja, ki prispevajo k trenutnemu trajnostno nevezdržnemu stanju izrabe virov in vpliva na okolje. Informacijsko-telekomunikacijske tehnologije globalno prispevajo približno 2% vseh izpustov CO_2 [1]. Največji prispevek, 39% teh izpustov, lahko pripišemo osebnim računalnikom in zaslonom, 23% pa strežnikom ter njihovim energetskim zahtevam. Poleg tega so informacijsko-telekomunikacijske tehnologije eden od glavnih krivcev za t. i. e-odpadke (angl. e-waste), pri proizvodnji strojne opreme se pogosto uporabljajo škodljivi in težko razgradljivi materiali ter materiali, katerih količine so omejene in se vztrajno zmanjšujejo. Kot odziv na trenutno stanje se v informatiki pojavlja trend zelenega računalništva (angl. green computing), ki s sorazmerno enostavnimi in poceni pristopi omogoča podjetjem zmanjševanje stroškov in družbeno bolj odgovorno poslovanje, usmerjeno k trajnostnemu razvoju, ki temelji na čim bolj obnovljivih virih. Svetovalno podjetje Gartner je zeleno računalništvo označilo za tehnologijo strateškega pomena in največja informacijsko-telekomunikacijska podjetja, kot je npr. IBM, že aktivno vključujejo pristope zelenega računalništva v svoj strateški načrt poslovanja [2].

Na začetku so se pristopi k zelenemu računalništvu usmerjali predvsem k zmanjševanju porabe električne energije, prednostno v podatkovnih središčih. Stroški, povezani z informacijsko tehnologijo, so danes strateškega pomena: Evropska unija in ZDA sta skupaj porabili za 10 milijard \$ energije za napajanje podatkovnih središč, do konca leta 2011 pa se bo po pričakovanjih ta strošek podvojil [3]. Globalni izdatki za nakupe informacijsko-telekomunikacijskih tehnologij so v letu 2009 dosegli 1,66 bilijona \$. Danes zeleno računalništvo obravnava bolj obširno področje, kot je poraba električne energije v podatkovnih središčih – obravnava vsa področja informacijske tehnologije, spremlja izdelke skozi njihov celoten življenjski cikel in predlaga izboljšave v poslovanju in realizaciji poslovnih procesov. Pojavljati so se začeli tudi mnogi standardi in certifikati, ki podrobno predpisujejo postopke vpeljave okolju bolj prijaznega računalništva na vseh področjih.

Čeprav se sprva zdi vpeljava zelenega računalništva ekonomsko vprašljiva za večino podjetij, pa vendar podroben vpogled na področje pokaže, da lahko z zelo enostavnimi postopki znatno znižamo stroške in s tem izboljšamo konkurenčnost podjetja. Poleg družbeno odgovornega poslovanja je poglobitni razlog za vpeljavo okolju prijaznega računalništva zmanjševanje stroškov. Večina podjetij osveži svojo strojno opremo v 3- do 4-letnem ciklu, kar predstavlja priložnost nakupa vedno bolj varčne in okolju prijazne opreme, kot so npr. virtualni strežniki, virtualna omrežja in virtualni podatkovni mediji, kar lahko zmanjša porabo energije tudi do 50% [4]. Poleg tega virtualizacija zmanjša stroške nakupa in obratovanja strojne opreme.

Nezanemarljivo je tudi dejstvo, da skoraj vsa vodilna podjetja, ki se ukvarjajo z informacijsko tehnologijo, prehajajo na okolju bolj prijazno tehnologijo, torej je smiselno razmišljati tudi o vplivu na konkurenčnost za podjetja, ki zanemarjajo okoljske vplive informacijske tehnologije.

2 Zeleno računalništvo

2.1 Definicija pojma zeleno računalništvo

Zeleno računalništvo je tako teoretični kot praktični pristop k učinkoviti izrabi računalniške opreme[4]. Upoštevati mora ekonomsko upravičenost, družbeno odgovornost in vplive na okolje in se zaradi tega nekoliko oddaljuje od tradicionalnih poslovnih praks, ki se predvsem ozirajo na ekonomsko upravičenost in koristnost. Izdelke spremlja skozi celoten življenjski cikel, od načrtovanja (zmanjševanje uporabe škodljivih materialov), uporabe (zmanjševanje porabe električne energije), do končne odstranitve (povečanje možnosti recikliranja in biorazgradljivosti) tako končnega izdelka kot stranskih (odpadnih) produktov, ki so nastali pri njegovi izdelavi.

Webber in Wallace definirata zelene tehnologije kot zmanjševanje okoljskega vpliva IT-oddelka v podjetju – ključ je učinkovita izraba tehnologije, ki posledično zmanjšuje stroške in vpliv na okolje[5]. Tri glavne lastnosti zelene tehnologije so:

- Naprava, izdelek ali sistem (v nadaljevanju izdelek) mora učinkovito izrabljati energijo. Čim nižja cena nabave izdelka ne bi smela biti edino vodilo, treba je upoštevati tudi ceno uporabe in ceno odstranitve izdelka.
- Izdelek naj bo zmogljiv toliko, kot je potrebno. Nesmiselno je npr. poganjati enostavno aplikacijo na zmogljivem in potratnem strežniku, saj so stroški obratovanja višji za enake rezultate. Smiselno je poiskati enostavne in celo cenejše alternative, kot je npr. virtualizacija strežnikov.
- Cena izdelka vključuje ceno za okolju prijazno odstranitev in razgraditev.

Zeleno računalništvo je torej okoljsko vzdržno računalništvo. Je teorija in praksa izdelave, uporabe in razgradnje osebnih računalnikov, strežnikov in povezanih podsistemov, kot so računalniški zasloni, tiskalniki, pomnilniški mediji, mrežne in komunikacijske naprave, ki imajo čim manjši vpliv na okolje, obenem pa stremijo k doseganju ekonomske upravičenosti, družbeno odgovornega poslovanja in doseganju zahtevane zmogljivosti[6]. Poleg pristopov, ki se ukvarjajo predvsem s strojno opremo, zeleno računalništvo tudi vpeljuje priporočila in postopke za okolju čim bolj prijazno poslovanje s pomočjo informacijske tehnologije, npr. z implementacijo storitvene usmerjenosti[7].

2.2 Trenutno stanje trenda zelenega računalništva

2.2.1 Zeleno računalništvo kot trend v informatiki

Svetovalno podjetje Gartner, Inc., vsako leto objavi seznam tehnologij, ki bodo v sledečem letu strateškega pomena za večino podjetij. Zeleno računalništvo se je večkrat znašlo na seznamu in bilo označeno kot ena izmed ključnih tehnologij, ki jih podjetja morajo upoštevati, da ostanejo konkurenčna. Tako je npr. v poročilu za leto 2008 Gartner, Inc., predvidel, da se bo zeleno računalništvo kot področje razširilo, razvoj pa se bo pospešil [8]. V letu 2008 je bil poudarek še vedno na zmanjševanju porabe električne energije podatkovnih središč, za leto 2010 pa je Gartner, Inc., že predvidel nove možnosti razvoja zelenega računalništva – povečanje uporabe e-dokumentov, zmanjševanje potovanj in delo na daljavo[2]. Večina iniciativ, standardov in pristopov se še vedno ukvarja z zmanjševanjem okoljskega vpliva oddelkov za informacijsko tehnologijo, vendar se trend počasi nagiba k uporabi informacijske tehnologije kot sredstva za zmanjševanje splošnega okoljskega vpliva podjetij, ne samo dela,

ki je odgovoren za informacijsko-telekomunikacijsko tehnologijo[9]. Ena četrtina zaposlenih na vodilnih položajih v informacijsko-telekomunikacijskem sektorju v ZDA je »zelo« ali »skrajno« zaskrbljena glede energetske učinkovitosti in odgovornosti do okolja, vendar le slaba desetina sebe ocenjuje kot »zelo« ali »skrajno« okolju prijazni[10]. Interes za področje v industriji je torej velik, tehnologija je strateškega pomena, vendar kljub temu še ni širše implementirana.

2.2.2 Motivacija za vpeljavo zelenega računalništva

Poglavitna motivacija za vpeljavo zelenega računalništva je korporativna družbena odgovornost. Vedno več dokazov nakazuje, da organizacije lahko poslušajo dobro, če poslušajo družbeno odgovorno[11]. Internet danes omogoča nove možnosti povezav med podjetji in potrošniki, zaradi katerih podjetja težko prikrivajo svoje družbeno neodgovorne prakse, inovativna podjetja pa lahko te povezave izkoriščajo, da se približajo čim širšemu krogu uporabnikov in s tem pridobijo prednost pred konkurenco, kot to počnejo npr. Apple, HP, IBM, Dell in ASUS[5].

Okoljski problemi informacijske tehnologije so zelo realni – samo 18% od 2,25 milijona ton izrabljene elektronske opreme je bilo oddane v recikliranje, ostalih 82% je bilo zavrženih, najpogosteje na odlagališčih odpadkov (podatki za ZDA). Od leta 2000 do 2006 se je poraba električne energije strežnikov in podatkovnih središč v ZDA podvojila, in sicer na 61 milijard kWh [4]. Če se bodo trenutni trendi nadaljevali, je v letu 2011 v ZDA pričakovan porast na 100 milijard kWh porabe, kar predstavlja 7,4 milijarde \$ letnih stroškov za električno energijo.

Obratovalni stroški oddelka za informacijsko tehnologijo so vedno višji: pred desetimi leti je bil strošek energije in hlajenja 0,17 \$ za vsak dolar, porabljen za nov strežnik. Danes je ta strošek 0,48\$, pričakujemo pa lahko tudi porast, večji od 0,78\$, če se prakse porabe ne bodo spremenile[12]. Stroške porabe energije lahko znatno zmanjšamo s sorazmerno nizkimi stroški z uporabo virtualizacije. Raziskave kažejo, da je več kot polovico električne energije za osebne računalnike in zaslone porabljene, ko ni nihče prisoten pri računalniku. Tipičen osebni računalnik v podjetju je večino časa v neaktivnem stanju[13]. Z upoštevanjem, da povprečni osebni računalnik porabi 60W, ko je prižgan, in 2,5W v »sleep« načinu, so možnosti za zmanjševanje stroškov za električno energijo vsekakor velike[14].

Informacijsko-telekomunikacijske tehnologije prispevajo približno 2% izpustov CO_2 v ozračje, kar je enaka količina, kot jo proizvede letalska industrija – informacijsko-telekomunikacijske tehnologije so trenutno netrajnostne in okolju škodljive[15]. Vztrajanje v trenutnih poslovnih praksah lahko privede do povečanja tveganja za nepopravljive posledice globalnega segrevanja[16].

Velik problem predstavljajo tudi okolju škodljive snovi, ki se uporabljajo pri izdelavi informacijsko-telekomunikacijske opreme[12]. Med najbolj škodljivimi so:

- svinec,
- živo srebro,
- kadmij,
- poliklorirani bifenili.

Naslednji razlog za vpeljavo zelenega računalništva je, da so zakonske zahteve za doseganje določenih okoljskih standardov vedno bolj pogoste. Vedno več je iniciativ in standardov v industriji, prav tako tudi zakonskih zahtev, ki tako posredno kot neposredno vplivajo na

spremembo poslovanja podjetij ter postopno prilagajanje k čim bolj okoljsko vzdržnemu delovanju.

2.2.3 Trenutne iniciative, standardi in zakonske zahteve

2.2.3.1 Zakonske zahteve

2.2.3.1.1 ZDA

ZDA trenutno prepuščajo odločitev o zakonodaji glede uničenja in recikliranja odslužene elektronske opreme posameznim zveznim državam. Kljub temu obstajajo zakonski akti, ki neposredno vplivajo na informacijsko tehnologijo. RCRA (The Resource Conservation and Recovery Act, 1976) prepoveduje prosto odlaganje kosovnih in škodljivih odpadkov – to vključuje tudi več računalniških komponent, zaslone, mobilne telefone ipd. RCRA ne ureja problematike e-odpadkov neposredno, vendar ima na informacijsko tehnologijo posredni vpliv[17]. CERCLA (Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act) od podjetij in organizacij zahteva, da primerno odstranijo vse nevarne odpadke, ne glede na to, kdo je končni uporabnik, ki bo izrabljeni izdelek v resnici odstranil; podjetja torej nosijo odgovornost za njihove izdelke skozi celoten življenjski cikel[18].

Za področje informacijske tehnologije v ZDA so bolj zanimivi zakonski akti posameznih zveznih držav. V Kaliforniji je leta 2003 začel veljati zakonski akt (Electronic Waste Recycling Act of 2003), ki ureja odstranjevanje e-odpadkov s poudarkom na televizijskih in računalniških zaslonih. Akt zahteva, da nakupna cena izdelka vsebuje tudi stroške varnega recikliranja izdelka[19]. V zvezni državi Maine je bil leta 2003 sprejet zakon za ustvarjanje pogojev za partnerstvo med lokalnimi in državnimi oblastmi, proizvajalci elektronske opreme in porabniki s ciljem, da so vsi e-odpadki reciklirani ali neškodljivo uničeni (Maine's Household Television and Computer Monitor Recycling Law). Zakon določa, da morajo proizvajalci, ki prodajajo televizijske sprejemnike in računalniške zaslone v zvezni državi Maine, prevzeti odgovornost za stroške prevzema, transporta in recikliranja svojih izdelkov, prav tako pa morajo prevzeti tudi del odgovornosti za proizvajalce, ki v zvezni državi Maine svoje opreme ne prodajajo več[20]. Massachusetts je leta 2000 postal prva zvezna država v ZDA, ki je popolnoma prepovedala odlaganje zaslonov CRT zaradi visoke vsebnosti svinca[21]. Leta 2007 je v zvezni državi Teksas začel veljati zakonski akt, ki od proizvajalcev računalniške opreme zahteva, da omogočijo brezplačno in enostavno zbiranje izrabljene opreme za namene recikliranja računalnikov. Akt definira računalniško opremo kot namizne in prenosne računalnike, računalniške zaslone, tipkovnice in miške ter velja samo za potrošnike ali domače porabnike, torej ne za podjetja in organizacije[22]. V ZDA je trenutno 20 zveznih držav in ena mestna uprava (New York), ki tako ali drugače urejajo problem odlaganja e-odpadkov. Podroben seznam posameznih držav in zakonov, ki veljajo v njih, je dostopen na spletni strani National Electronics Recycling Infrastructure Clearinghouse¹.

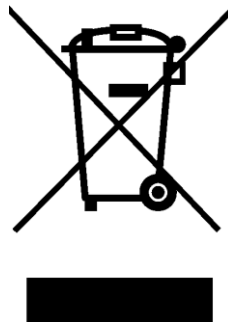
Leta 2010 je predsednik Obama podpisal zakonski akt ARRA (American Recovery and Reinvestment Act), ki je namenil več kot 90 milijard \$ sredstev za okolju prijazne iniciative, od tega je bilo 47 milijonov \$ dodeljenih za projekte, ki stremijo k izboljšanju energetske učinkovitosti podatkovnih središč, in sicer na treh področjih: optimizacija strojne in programske opreme podatkovnih središč, izboljšava verige za dobavo energije in tehnologije za hlajenje podatkovnih središč[23].

¹<http://www.ecyclingresource.org/ContentPage.aspx?Pageid=28> (Prevzeto 17. marec, 2011).

Večina zakonskih aktov in zakonov v ZDA torej ureja problem e-odpadkov, vendar trendi vse bolj sledijo trenutnim praksam zelenega računalništva in se širijo še na druga področja, kot je npr. zmanjševanje porabe električne energije v podatkovnih središčih.

2.2.3.1.2 Evropska unija

V Evropski uniji v splošnem veljajo strožji okoljski zakoni kot v ZDA. Leta 1995 je bila osnovana regulativa EMAS (Eco-Management and Audit Scheme), ki omogoča organizacijam prostovoljno sodelovanje v programu ocenjevanja, poročanja in izboljšanja okoljske učinkovitosti poslovanja[24]. V izvorniku je bila regulativa omejena na organizacije, katerih dejavnost je industrija, vendar je bila posodobljena leta 2001 in razširjena na vse ekonomske sektorje, vključno z javnimi in zasebnimi storitvami. Leta 2009 je bila regulativa znova posodobljena in je v veljavnosti od 11. januarja 2010. Cilj programa je nuditi prepoznanje organizacijam, ki dosegajo standarde, ki so višji od minimalnih, ki jih zahteva zakonodaja. Regulativa določa, kakšne zahteve morajo izpolnjevati organizacije, da so lahko potrjene s strani zunanje organizacije. Leta 2006 je bila v Evropski uniji sprejeta direktiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive), ki prepoveduje uporabo šestih najbolj škodljivih materialov nad določenimi vrednostmi (svinec, živo srebro, kadmij, šestvalentni krom, polibromirani bifenili [PBB], polibromirani difenilni etri [PBDE]) za proizvajalce elektronske opreme[25]. Kot odgovor vedno večjim količinam e-odpadkov je Evropska unija leta 2003 sprejela direktivo WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive), ki nalaga odgovornost za izdelke ob koncu njihove življenjske dobe proizvajalcem[26]. Po direktivi se morajo proizvajalci registrirati v državah, v katerih poslujejo, ter sprejeti odgovornost za doseganje obveznih deležev prevzemov in recikliranja izrabljene opreme, ki s časom naraščajo, prav tako morajo proizvajalci zagotoviti in financirati objekte za prevzem e-odpadkov ter označiti svoje izdelke s simbolom WEEE. Tako RoHS kot WEEE se stalno posodabljata in dopolnjujeta.



Slika 1: Simbol WEEE[27].

V Evropski uniji se torej podobno kot v ZDA zakonska osnova za zmanjševanje okoljskega vpliva informacijske tehnologije usmerja predvsem k e-odpadkom, področje pa je še vedno urejeno samo posredno prek širše zakonodaje, ki ureja tudi druge gospodarske panoge. Trendi se spreminjajo tudi v Evropski uniji. Leta 2009 je Evropska unija zasnovala dolgoročni načrt za zmanjševanje okoljskih vplivov informacijske tehnologije za 15% do leta 2020[28]. Obenem je Evropska komisija tudi podala svojo oceno, da bi lahko bila poraba energije stavb v Evropski uniji s pomočjo informacijske tehnologije zmanjšana za 17%, izpusti toplogrednih plinov v transportu in logistiki pa za več kot 25%. Dolgoročni načrt Evropske unije vpeljuje natančnejše meritve okoljske prijaznosti, standardizacijo meril ter spodbujanje iniciativ za pospeševanje sodelovanja med IT-sektorjem in drugimi energetske potratnimi sektorji z namenom zmanjševanja vplivov okolja s pomočjo informacijske tehnologije. Trendi se torej

premikajo od zmanjševanja okoljskih vplivov e-odpadkov k zmanjševanju okoljskih vplivov informacijske tehnologije kot celotne gospodarske panoge, naslednja stopnja pa je izraba informacijske tehnologije za reševanje okoljskega problema, ki ga povzročajo druge gospodarske panoge.

2.2.3.1.3 Slovenija

Okoljska zakonodaja v Republiki Sloveniji je skladna z zakonodajo v Evropski uniji. Ministrstvo za okolje na tri leta Evropski komisiji poroča o izvajanju zakonodaje v Sloveniji, dolžno pa je tudi voditi evidenco zbranih in izvoženih e-odpadkov ter voditi seznam izdelkov, ki so okolju škodljivi. Ravnanje z odpadki, ki vsebujejo PCB², določa Uredba o odstranjevanju polikloriranih bifenilov in polikloriranih terfenilov [29], ravnanje z e-odpadki pa določa Uredba o ravnanju z odpadno električno in elektronsko opremo [30]. Slovenska zakonodaja se sproti posodablja in prilagaja zakonodaji Evropske unije. Za zdaj področje informacijske tehnologije še ni neposredno urejeno, posredno ga urejajo uredbe za ravnanje z elektronsko in električno opremo, kar pa rešuje le problem ravnanja z e-odpadki.

2.2.3.2 Iniciative in standardi

2.2.3.2.1 Energy Star in 80PLUS

Inicijativ, ki urejajo področje informacijske tehnologije, je precej tako vladnih kot iniciativ v industriji. Najstarejši med njimi je vladni (ZDA) program Energy Star, ki je bil pozneje sprejet še s strani drugih držav in danes velja za mednarodni standard. Namen programa Energy Star je izboljšanje kakovosti izdelkov in obenem zmanjševanje energetske porabe, ki je posledica neučinkovite zasnove, vendar brez kompromisov pri zmogljivosti. Računalnik, potrjen s strani Energy Star, lahko porabi od 30% do 75% manj energije za opravljanje istih nalog kot računalnik, ki ni potrjen [5]. Primarno je bil program usmerjen k zmanjševanju porabe energije računalnikov in računalniških zaslonov, vendar se je pozneje razširil na več področij. Evropska unija, Kanada, Avstralija, Nova Zelandija, Japonska in Tajvan program Energy Star prepoznavajo kot mednarodni standard. Sledenje standardu s strani proizvajalcev je prostovoljno. Program se predvsem ukvarja z upravljanjem napajanja (angl. power management) računalnikov in vpeljuje sledeča stanja [5]:

- Active: Računalnik opravlja koristno delo.
- Idle: Računalnik je v polni pripravljenosti, vendar ne opravlja koristnega dela.
- Sleeping: Računalnik je v pripravljenosti z znižano zmogljivostjo in zelo nizko porabo električne energije (4W ali manj). Pomnilnik ima napajanje, CPE pa ne. Računalnik se zbudi ob aktivnosti uporabnika, prehod v polno stanje pripravljenosti pa traja le nekaj sekund.
- Standby: Računalnik ni v pripravljenosti. CPE, pomnilnik, trdi disk in druga oprema nimajo napajanja. Računalnik porabi 2W ali manj električne energije. Mrežna kartica ima napajanje in čaka signal »Wake On LAN«.
- Hard Off: Računalnik ne prejema električne energije in je izključen iz električnega omrežja.

Poleg tega Energy Star predpisuje še upravljanje napajanja prek omrežja, prek mrežne kartice ali podobne naprave:

² PCB: poliklorirani bifenil, poliklorirani terfenil, monometiltetraklorodifenilmetan, monometildiklorodifenilmetan, monometildibromodifenilmetan, druga mešanica, kjer posamična ali skupna vsebnost snovi iz prejšnjih alinej presega 0,005% njene teže (definicija: Uradni list RS, št. 34/2008, z dne 7. 4. 2008).

- Wake Event – Prehod računalnika iz stanja standby ali sleep v polno pripravljenost, ko naprava prejme signal prek omrežja.
- Wake On LAN – Zmožnost računalnika, da se povrne v stanje polne pripravljenosti, ko prek omrežja prejme ustrezen ukaz.
- Full Network Connectivity – Zmožnost računalnika, da je polno prisoten v omrežju in se inteligentno zbudi, ko se od njega zahteva procesiranje[31].

Energy Star ureja tudi porabo električne energije računalniških zaslonov, ki morajo dosegati sledeče kriterije:

- Power on način: Največja dovoljena poraba je 28-kratnik števila megapikslov zaslona. Če ima torej zaslon resolucijo 1280x1024, je največja dovoljena poraba 1,31 x 28, torej 37W.
- Sleep način: Zaslon porabi 2W ali manj energije ter se ob aktivnosti uporabnikov nekaj sekundah povrne v polno stanje pripravljenosti.
- Off način: Ko je uporabnik izključil zaslon, ta ne sme porabiti več od 1W električne energije.

Energy Star ureja še cel kup drugih področij, kot so polnilci in baterije za prenosne naprave, tiskalniki ipd. Standard je bil nazadnje posodobljen leta 2009 – vsa računalniška oprema, razen igralnih konzol, ki je bila proizvedena po 1. juliju 2009, mora ustrezati specifikaciji Energy Star 5.0, da je lahko označena z logotipom programa[32]. Med pomembnejšimi spremembami zadnje specifikacije je zahteva, da morajo napajalniki dosegati vsaj »80 Plus Bronze« specifikacijo programa 80PLUS.



Slika 2: Logotip Energy Star [33].

Program 80PLUS spodbuja proizvajalce napajalnikov k čim večji učinkovitosti njihovih izdelkov, vsaj 80-odstotni. Računalniški napajalniki so najbolj učinkoviti, ko izrabljajo približno 75% svoje zmogljivosti, kar je argument proti uporabi predimenzioniranih napajalnikov v računalnikih[5]. Da je napajalnik potrjen s strani programa, mora biti vsaj 80-odstotno učinkovit pri 20%, 50% in 100% izrabe njegovih zmogljivosti, prav tako morajo biti te obremenitve pri pravem faktorju moči(angl. true power factor) 0,9[34]. Pravi faktor moči je razmerje učinkovitosti porabe energije v napravi in zavzema vrednosti med 0 (slabo izraba) in 1,0 (učinkovita izraba). Napajalniki, potrjeni s strani programa 80PLUS, so dražji, vendar se investicija povrne že po prvem letu obratovanja računalnika[5].

2.2.3.2.2 Druge iniciative

V Evropski uniji je poleg označevanja računalniških izdelkov z Energy Star prisoten tudi program TCO, ki poleg energetske učinkovitosti upošteva tudi druge kriterije, kot so npr. ergonomija, izpusti izdelka in ekološka prijaznost proizvajalca. Zahteve za pridobitevcertifikata TCO so višje kot pri programu Energy Star. TCO od proizvajalcev zahteva vpeljavo več standardov, načrtovanje družbene odgovornosti in zmanjševanje okoljskega vpliva na vseh področjih[35]. Poleg strogih okoljskih zahtev TCO vpeljuje tudi zahteve o uporabnosti izdelka, kot so npr. kakovost slike in zvoka ter zmožnost branja iz zaslona na terenu za mobilne naprave[36].

EPEAT je ocenjevalno orodje za elektroniko, ki je tesno povezano s programom Energy Star. Izdelke ocenjuje na osnovi 51 okoljskih kriterijev, 23 obveznih in 28 neobveznih[37]. Izdelek, ki izpolnjuje vseh 23 obveznih kriterijev, dobi bronasto oznako, če poleg tega izpolnjuje še 50% neobveznih kriterijev, dobi srebrno oznako, če pa izpolnjuje vse obvezne in 75% neobveznih kriterijev, dobi zlato oznako EPEAT. Kriteriji so podrobno opisani v standardu IEEE 1680 in obsegajo področja zmanjševanja porabe (ali popolne opustitve) okolju škodljivih materialov, izbiri materialov za izdelavo izdelka, načrtovanje izdelka z mislijo na poznejšo odstranitev ob izteku življenjske dobe, podaljševanje življenjske dobe izdelka, zmanjševanje porabe električne energije, upravljanje z izdelki ob koncu njihove življenjske dobe, korporativne prakse proizvajalca ter pakiranje izdelka.

Vedno več je tudi iniciativ v industriji in največja podjetja se že združujejo in delijo izkušnje na področju zelenega računalništva. Primer takšne iniciative je CSCI (Climate Savers Computing Initiative), združenje proizvajalcev, porabnikov in organizacij za promocijo tehnologij, ki lahko izboljšajo energetske učinkovitost in porabo računalniške opreme. CSCI je bila ustanovljena leta 2007[38]. V iniciativi sodelujejo podjetja in organizacije Intel, Google, Dell, EDS, United States Environmental Protection Agency (EPA), Hewlett-Packard, Lenovo, Microsoft, Pacific Gas and Electric Company (PG&E), World Wildlife Fund in drugi. Cilj iniciative je zmanjševanje porabe električne energije in izpustov toplogrednih plinov s pomočjo postavljanja okoljskih ciljev, h katerim bodo podjetja težila v prihodnosti, ter promocijo zelenih tehnologij. Podobna iniciativa je tudi konzorcij The Green Grid, ki pa je usmerjen predvsem k energetske porabi in učinkovitosti podatkovnih središč in poslovnih računalniških sistemov[39]. The Green Grid je bil ustanovljen leta 2007 in vključuje najpomembnejša podjetja, kot so AMD, Intel, Microsoft, IBM, Dell, HP, Oracle, Google, Cisco itd. Pojavlja se tudi vedno več metod za ocenjevanje okoljske prijaznosti informacijske tehnologije, kot so npr. seznam The Green500, ki rangira superračunalnike na osnovi njihove energetske učinkovitosti, TPC³ Energy Specification, ki v obstoječa orodja TPC vnaša dimenzijo porabe električne energije, The SPEC⁴ Power, ki je prvi primerjalni preizkus (angl. benchmark), ki meri porabo električne energije glede na zmogljivost strežnikov... Zeleno računalništvo je vedno bolj prisotno tudi na področju iniciativ, ki spodbujajo inovacije in raziskovalno dejavnost. Primer takšne iniciative je Green Comm Challenge, katere cilj je aktivna promocija razvoja tehnologij in praks za zmanjševanje porabe električne energije v informacijsko-telekomunikacijski tehnologiji.

³ Transaction Processing Performance Council: neprofitna organizacija, ki definira metodologije primerjalnih preizkusov (angl. benchmarks) za transakcijsko procesiranje in ocenjevanje zmogljivosti podatkovnih baz.

⁴Standard Performance Evaluation Corporation: neprofitna organizacija, ki definira standarde za primerjalne preizkuse na področju računalništva.

2.3 Pristopi k zelenemu računalništvu

2.3.1 Podaljševanje življenjske dobe izdelkov

Moorov zakon pravi, da se na približno vsaki dve leti število tranzistorjev procesorja podvoji[40]. Zakon je veljaven že več kot 40 let in opisuje hitrost, s katero napredujejo informacijske tehnologije. Večina podjetij svojo računalniško opremo nadgrajuje vsake 3 do 4 leta, kar predstavlja veliko količino e-odpadkov[4]. Nadgradnje stare opreme so redke in včasih tudi praktično neizvedljive. Okoljski problemi, ki jih povzročata informacijska tehnologija zaradi e-odpadkov, so lahko v veliki meri zmanjšani, če je življenjska doba izdelkov podaljšana ali pa izdelek dopušča posodobitev s sorazmerno majhno porabo novih materialov, kar ima za posledico tudi nižji strošek posodobitve opreme. Proizvajalci računalniške opreme lahko na tem področju storijo veliko, vendar je bolj verjetno, da bodo spremembe uvedli porabniki, saj je interes proizvajalcev čim več prodanih enot, porabnikov pa čim cenejša posodobitev opreme, ki omogoča normalno delo. Gartner tako svetuje, naj proizvajalca opreme izbiramo tudi glede na življenjsko dobo izdelka, možnosti posodobitev in modularnosti (angl. modularity); [41].

Program EPEAT tako zahteva, da imajo izdelki možnost podaljšanja garancije za 3 leta, vsi namizni in prenosni računalniki morajo imeti možnost nadgradnje z enostavnimi orodji ter imeti modularno zasnovo (vse glavne komponente morajo omogočati enostavno zamenjavo), rezervni deli pa morajo biti dostopni vsaj 5 let od nakupa[37].

2.3.2 Optimizacija programske opreme

2.3.2.1 Možnosti izboljšave programske opreme

Učinkovitost programske opreme lahko znatno vpliva na okoljski vpliv informacijskih sistemov. Neposredna korist je zmanjševanje porabe električne energije in višja učinkovitost programske opreme ter boljša izraba strojne opreme. Posredno učinkovita programska oprema podaljšuje tudi življenjsko dobo strojne opreme, saj je potreba po nadgradnjah zaradi povečevanja učinkovitosti zmanjšana. Pri optimiziranju programske opreme z namenom doseganja energetske in okoljske učinkovitosti se lahko razvijalci orientirajo po že obstoječih postopkih in praksah za učinkovitost algoritmov.

Poleg optimizacije same programske opreme lahko dosežemo zelo dobre rezultate s celovitejšo reorganizacijo načina delovanja – s pristopi, kot so virtualizacija strežnikov, spremembe v načinu komunikacije med odjemalcem in strežnikom, storitvenousmerjeno arhitekturo, računalništvom v oblaku. Raziskave kažejo, da bi organizacije lahko z algoritmi, ki bi usmerjali internetni promet k energijsko manj potratnim in cenejšim podatkovnim središčem, zmanjšale stroške tudi do 40%[42].

2.3.2.2 Virtualizacija

Virtualizacija je zelo učinkovit pristop, ki lahko občutno zmanjša tako stroške kot vpliv informacijske tehnologije organizacije na okolje[4]. Potreba po povečanju števila strežnikov v organizacijah je vedno večja, predvsem zaradi hitrega razvoja spletnih tehnologij, kar pa lahko s seboj prinese tudi več negativnih posledic: slabo izrabo investicij, povečano porabo električne energije, povečano potrebo po fizičnem prostoru za hranjenje strežnikov, povečane stroške IT-oddelka in povečane težave pri obnavljanju sistema po nesrečah[5]. Raziskave kažejo, da tipični strežnik 85% časa čaka na zahtevo uporabnika in obenem ne opravlja nobenega koristnega dela. Rešitev za te probleme lahko najdemo v virtualizaciji.

Virtualizacija najpogosteje pomeni virtualizacijo strojne opreme (npr. strežnika), lahko pa virtualiziramo tudi operacijske sisteme ali celotne sisteme, kot je npr. omrežje. Virtualizacijo lahko delimo na:

- virtualizacija strežnikov (več strežnikov istočasno teče na isti strojni opremi),
- virtualizacija aplikacij (aplikacije tečejo neodvisno od operacijskega sistema),
- virtualizacija omrežij (kombiniranje virov omrežja, da jih lahko upravljamo kot enotno celoto),
- virtualizacija pomnilniških naprav (kombiniranje več pomnilniških naprav, da se vedejo kot ena velika naprava),
- virtualizacija namizja (virtualna namizja so centralizirana na strežniku in tečejo pri končnemu uporabniku na lahkem odjemalcu [angl. thin client computer]).

Virtualizacija strežnikov je najpogostejši pristop k virtualizaciji. Zaradi hitrega napredka strojne opreme organizacije pogosto kupujejo nove strežnike, tudi če aplikacije, ki bodo tekale na novem strežniku, ne bodo polno izkoriščale njegove zmogljivosti. Če imamo več strežnikov, ki so slabo izkoriščeni, jih lahko nadomestimo z enim strežnikom, na katerem virtualiziramo druge.

Izkoriščenost posameznih strežnikov, ki niso virtualizirani, je ponavadi nizka, kar lahko vidimo v tabeli 1, zaradi česar je smiselno strežnike virtualizirati in bolje izkoristiti strojno opremo.

	Izraba strojne opreme v času najvišje dnevne aktivnosti	Izraba strojne opreme v delovnem času	Izraba strojne opreme v 24-urnem intervalu
Osrednji računalniki (angl. mainframe)	85–100%	70%	60%
Strežnik UNIX	50–70%	10–15%	manj kot 10%
Strežnik Intel	30%	5–10%	2–5%
Pomnilniške naprave			52%

Tabela 1: Izraba zmogljivosti strežnikov[4].

Poleg visoke fleksibilnosti virtualizacija strežnikov pripomore k boljši izkoriščenosti investicije, zmanjšani porabi električne energije, več fizičnega prostora za hrambo strežnikov, znatnemu zmanjšanju stroškov, enostavnemu obnavljanju po nesrečah ter omogoča varno okolje za testiranje[5]. Za še večjo učinkovitost lahko kombiniramo rezinske strežnike⁵ (angl. blade servers) in virtualizacijo strežnikov ter s tem znižamo stroške zaradi deljene infrastrukture in večje energijske učinkovitosti[4]. Kompromisi, na katere moramo biti pripravljeni ob virtualizaciji strežnikov, so lahko slabše zmogljivosti posameznih strežnikov, višja kompleksnost okolja, vprašanje licenciranja, težave s strojno kompatibilnostjo in problem centralizacije ob izpadih in drugih nesrečah.

Virtualizacija pomnilniških naprav omogoča združevanje pomnilniškega prostora večjega števila naprav v celoto, ki se vede kot ena naprava. Podobno kot pri virtualizaciji strežnikov virtualizacija pomnilniških naprav poveča izrabo zmogljivosti – tudi do 75% in več. Pristop k virtualizaciji pomnilniških naprav lahko delimo na:

⁵ Rezinski strežnik: ohišje, ki hrani več modularnih plošč. Vsaka plošča vsebuje procesorje, pomnilnik, zunanji pomnilnik in mrežne naprave ter se vede kot samostojni strežnik.

- uporabo omrežja pomnilniških naprav (SAN⁶),
- strežnik-odjemalec (uporaba programske opreme, ki usmerja podatke ter upravlja z metapodatki, ki vsebujejo lokacijo, kjer se podatki fizično nahajajo),
- diskovna polja (uporaba fizičnega mrežnega krmilnika in programske opreme za upravljanje).

Virtualizacija pomnilniških naprav poleg boljše izkoriščenosti prostora in s tem zmanjšanja stroškov in okoljskih vplivov prinese tudi druge prednosti: lažje upravljanje s podatki, lažje obnavljanje po nesrečah in enostavnejšo migracijo podatkov. Negativne strani so lahko povečanje kompleksnosti sistema in nekoliko slabša odzivnost[12].

Čeprav virtualizacija omrežij in virtualizacija aplikacij znatno ne vplivata na okoljsko breme informacijskega sistema, pa ju lahko koristno implementiramo za boljšo izrabo zmogljivosti, ki jih organizacija ima na voljo. Virtualizacija namizja obljublja veliko in je tesno povezana s sodobnimi koncepti, kot so računalništvo v oblaku in storitveno usmerjena arhitektura.

2.3.2.3 Lahki odjemalci in virtualizacija namizja

Virtualizacija namizja oziroma odjemalca ponuja velike možnosti za zmanjšanje porabe električne energije. Različne raziskave so ocenile prihranke pri implementaciji virtualizacije odjemalcev do več kot 60%[4]. Tipični računalnik v pisarni večino časa ne počne koristnega dela, vendar pa vseeno ostaja prižgan in porablja energijo. Rešitev je lahko virtualizacija odjemalcev – namizni računalnik nadomestimo z manj zmogljivo strojno opremo (lahki odjemalec), ki bo zagotavljala komunikacijo s strežnikom, večino dela pa prenesemo na strežnik sam. Poleg zmanjševanja porabe energije, lahki odjemalci prinašajo tudi druge prednosti, ki so posledica centralizacije programske opreme na strežniku – lažje vzdrževanje in obvladovanje celotnega sistema ter manjša potreba po nadgrajevanju strojne opreme odjemalcev, kar zmanjša tudi količino e-odpadkov, ki jih organizacija ustvari v času poslovanja. Slabosti, ki jih lahko pričakujemo ob vpeljavi lahkih odjemalcev, so nižja fleksibilnost, potreba po zelo hitrem komunikacijskem omrežju in zmogljivem strežniku, predvsem za multimedijsko bogate aplikacije, ter občasna nezdržljivost programske opreme, ki je bila zasnovana tako, da izrablja vire računalnika, na katerem teče. Virtualizacija odjemalca poleg omenjenega ponuja tudi možnost dostopa prek interneta z oddaljene lokacije (PaaS⁷, VDI⁸), kar ima lahko za posledico možnost implementacije novih poslovnih praks, kot so zaposlovanje virtualnih delavcev in oblikovanje virtualnih timov, kar lahko znatno zmanjša splošni okoljski vpliv poslovanja organizacije.

2.3.2.4 Računalništvo v oblaku in storitvenousmerjena arhitektura

Računalništvo v oblaku je relativno nov pojem v informacijski tehnologiji. Gre za sorodno tehnologijo mrežnemu računalništvu⁹, ki pa uvaja nove pristope k povezovanju računalniških virov z namenom distribucije računalniških virov po potrebi na kraj, kjer so ob nekem času potrebni. Uporabnik se načeloma ne zaveda, na katerem strežniku in na kakšen način dostopa do storitev ali virov, ki jih nudi oblak. Računalništvo v oblaku ima tri nivoje:

- programsko oprema kot storitev (SaaS – Software as a Service),

⁶ Storage Area Network: omrežje pomnilniških naprav, povezano z visokohitrostnimi povezavami.

⁷ Platform as a Service (včasih Daas – Desktop as a Service): princip računalništva v oblaku, ki nudi uporabniku celotno platformo kot storitev oblaka, dostopno prek omrežja (po navadi interneta).

⁸ Virtual Desktop Infrastructure: praksa gostovanja operacijskega sistema v virtualnem stroju, ki teče na centraliziranem strežniku.

⁹ Mrežno računalništvo (angl. grid computing): deljenje računalniških virov iz različnih administrativnih domen za doseganje skupnega cilja.

- platformo kot storitev (PaaS – Platform as a Service),
- infrastrukturo kot storitev (IaaS – Infrastructure as a Service).

Nudnje programske opreme kot storitve je dostava programske opreme uporabniku, ki teče na strežniku ponudnika, ko se za to pojavi potreba. Končni uporabnik aplikacij nima nameščenih, kar poenostavi vzdrževanje in upravljanje s programsko opremo. Platforma kot storitev je nudenje celotne strojne platforme uporabniku, kar poenostavi upravljanje s posamezno strojno opremo. Infrastruktura kot storitev uporabniku nudi celotno infrastrukturo (ponavadi za virtualiziranje platform), kar lahko za uporabnika pomeni popolno zunanje izvajanje (angl. outsourcing) skrbništva nad informacijsko infrastrukturo. Računalništvo v oblaku pozna tudi pojem odjemalca za oblak (angl. cloud client) – gre za specifično prilagojeno strojno opremo, ki je popolnoma odvisna od oblaka in brez njega neuporabna. Takšni odjemalci so podobno kot lahki odjemalci strojno nezahtevni, poceni in lahko znatno znižajo tako stroške začetnega nakupa kot obratovalne stroške in posledično tudi vpliv na okolje. Prednosti vpeljave računalništva v oblaku so lahko: izbiranje lokacije za infrastrukturo tam, kjer so stroški obratovanja in stroški energije nižji, deljenje stroškov z velikim številom drugih uporabnikov, nižanje stroškov vzdrževanja in upravljanja sistema, ločevanje programske kode od fizičnih virov, možnost uporabe zunanjih virov ob primerih visoke obremenitve sistema ter zunanje izvajanje nakupov strojne opreme[4]. Pomisleki glede računalništva v oblaku se gibajo predvsem v smeri varnosti in tajnosti podatkov. Organizacija, ki se ukvarja z občutljivimi podatki, lahko postavi svojo infrastrukturo za računalništvo v oblaku (zasebni oblak [angl. private cloud]) ter zaradi visoke možnosti skalabilnosti sistem prilagodi svojim potrebam ter tako učinkovito izrabi vire, ki jih ima na voljo. S pomočjo uporabe novih tehnologij, kot je računalništvo v oblaku, bi lahko podjetja znatno zmanjšala vplive na okolje in izpuste CO_2 v okolje, ki so pretežno posledica porabe električne energije v informacijski infrastrukturi[43].

Storitveno usmerjena arhitektura (SOA) je princip razvoja in integracije sistemov, ki temelji na storitvah. Storitve je samostojna množica sorodnih programskih funkcionalnosti skupaj s politikami, ki nadzirajo njeno uporabo [44]. Storitve so samostojne celote, ki medsebojno komunicirajo po točno določenih pravilih in so lahko večkrat uporabljene v različnih okoljih. Spletne storitve¹⁰ (angl. Web Services) so najpogostejša povezava med posameznimi storitvami, ki temeljijo na XML¹¹ [45]. Storitveno usmerjena arhitektura je lahko zanimiva tudi s stališča zmanjševanja okoljskih vplivov informacijske tehnologije in nekateri že izpeljani projekti nakazujejo, da bi lahko v prihodnosti imela ključno vlogo v podjetjih, ki bodo sprejemala zelene politike poslovanja. Storitveno usmerjena arhitektura, ki teži k okolju prijaznemu poslovanju, lahko skoraj neopazno in harmonično vpelje zelene koncepte v vse poslovne procese organizacije [46]. Zelena usmerjena storitveno usmerjena arhitektura lahko zmanjša obratovalne stroške, zadovolji zahteve delničarjev in kupcev po družbeni odgovornosti podjetja in omogoča usklajevanje z vedno pogostejšimi in vedno bolj restriktivnimi zakonskimi zahtevami. Vodilno podjetje pri razvoju zelene storitveno usmerjene arhitekture je IBM, ki predlaga celovit pristop k prenovi poslovnih procesov in vpeljuje novo komponento upravljanja – upravljanje z vplivi na okolje. Izpeljani projekti

¹⁰Spletne storitve: tehnologije, ki omogočajo povezave med storitvami. Storitve so sestavni del storitveno usmerjene arhitekture. Velja omeniti, da beseda storitve v besedni zvezi spletne storitve, ne nosi istega pomena, kot storitev – gradnik storitveno usmerjene arhitekture.

¹¹ Extensible Markup Language: skupina pravil za kodiranje dokumentov v obliko, primerno za strojno branje. Pogosto se uporablja tudi za predstavitev podatkovnih struktur in komunikacijo med ločenimi sistemi ali deli sistemov.

uporabe storitveno usmerjene arhitekture za zmanjševanje stroškov nakazujejo, da tehnologija obeta veliko. Podjetje Verizon Wireless je s pomočjo uporabe implementacije storitveno usmerjene arhitekture Oracle zmanjšalo vpliv svoje strojne opreme za 95% ter občutno zmanjšalo stroške, povezane s strojno opremo v podatkovnem središču [47]. Drugi primer je projekt, ki je bil izveden v Pacific Northwest National Laboratory, U. S. Department of Energy, ki je uporabil storitveno usmerjeno arhitekturo kot temelj za zmanjševanja porabe energije v gospodinjstvih. Hišni lastniki so s pomočjo pametnih naprav in opomnikov zmanjšali porabo električne energije v povprečju za približno 10% [48].

2.3.3 Upravljanje z energijo

Upravljanje z energijo je prvi problem, s katerim se je ukvarjalo zeleno računalništvo, in tudi omogoča največje prihranke, predvsem v energetske potratnih podatkovnih središčih. Porabo električne energije se da zmanjšati ne samo z ugašanjem opreme, ko ta ni v uporabi, temveč tudi z varčnejšo uporabo, ko je oprema polno obremenjena. V osebnih računalnikih so med največjimi porabniki zaslone, napajalniki, CPE¹², grafične kartice, pomnilniki in zunanji pomnilniki, v podatkovnih središčih pa se poleg energetske neučinkovitosti obratovanja srečujemo predvsem z izgubami zaradi toplote in problemom hlajenja.

2.3.3.1 Poraba električne energije računalniške opreme, ACPI in operacijski sistemi

Čeprav se zeleno računalništvo ukvarja predvsem s problemom porabe električne energije v podatkovnih središčih, porabe energije osebnih in prenosnih računalnikov ne smemo zanemariti. Vedno več organizacij vpeljuje koncepte zelenega računalništva, saj je možnost znatnega znižanja stroškov velika. Osebni računalniki v organizacijah so velikokrat prižgani in v polni pripravljenosti, čeprav ne opravljajo nobene koristne naloge. Pri tem so velikokrat spregledani stroški hlajenja delovnih prostorov (predvsem poleti), saj že nekaj računalnikov lahko znatno dvigne temperaturo omejenega prostora, kot je npr. pisarna. Raziskave kažejo, da je mogoče z upravljanjem napajanja računalnikov in računalniških zaslonov zmanjšati letni strošek obratovanja za več kot polovico [49]. Povprečni osebni računalnik porabi od 36W do 250W v aktivnem stanju in med 1W in 27W, ko je v stanju zmanjšane pripravljenosti (sleep, suspend ipd.). Ko je računalnik izključen, a ostaja priključen na omrežje, porablja med 1,5W in 3W. Pogosto je računalniška oprema v podjetjih prižgana in v pripravljenosti tudi zunaj delovnega časa – podatki raziskave Lawrence Berkeley National Laboratory z leta 2005 kažejo, da 60% osebnih računalnikov ostaja prižganih zunaj delovnega časa, 4% so v stanju varčevanja z energijo, 36% pa je izključenih [50]. Med računalniško opremo, ki pogosto ostaja prižgana, čeprav ne opravlja koristnega dela, so tudi tiskalniki in računalniški zaslone. Velik potencial za zmanjševanje stroškov je torej v uporabi upravljanja napajanja v osebnih računalnikih in izklapljanju opreme, ki ne opravlja koristnega dela.

Upravljanje napajanja poskuša čim bolj znižati porabo tako v stanju aktivnosti kot v stanju izvajanja nalog. Sestavljeno je iz dveh delov: parametrov delovanja, ki so shranjeni v čipu BIOS¹³ na matični plošči, ter programske komponente, s katero upravlja operacijski sistem. Programska komponenta dostopa in upravlja z možnostmi in nastavitvami, ki so shranjene v BIOS. Danes je najpogostejši in najbolj razširjen pristop k upravljanju napajanja ACPI¹⁴. ACPI je del operacijskega sistema in je prvič prišel na trg skupaj z operacijskim sistemom Windows 98, zadnja posodobitev pa je različica 4.0a iz leta 2010 [51]. Arhitektura ACPI je

¹² Centralna procesna enota.

¹³ Basic Input Output System: programska oprema, ki se nahaja v bralnem pomnilniku (ROM) in se izvede ob zagonu računalnika.

¹⁴ Advanced Configuration and Power Interface Standard: odprt standard, ki določa pristop k upravljanju s porabo energije, v uporabi je tudi v strežniških sistemih in mobilnih napravah.

razdeljena na dve komponenti: strojna oprema nudi operacijskemu sistemu informacije o porabi in zahtevah po električni energiji ter stanju naprave, operacijski sistem pa implementira programsko logiko za upravljanje napajanja. Standard Energy Star narekuje, da mora biti čas neaktivnosti (angl. idle), po katerem se naprava samodejno izključi, privzeto nastavljen že v proizvodnji, in sicer 15 minut za računalniške zaslone ter 30 minut za računalnike, naloga operacijskega sistema pa je, da prek sistema ACPI to tudi zagotovi. Standard ACPI določa stanja pripravljenosti posameznih komponent računalnika kot tudi globalno stanje, ki narekuje upravljanje z energijo vse opreme, ki je v računalniku. ACPI določa več stanj, v katerih se lahko nahaja računalnik, kot sta npr. stanji zmanjšane pripravljenosti (angl. sleep, standby) in hibernacija, stanja posameznih naprav in stanja CPE. Poleg tega določa tudi vmesnik za aplikacije, ki lahko sistemu ACPI sporočajo, da računalnik ni neaktiven ter opravlja delo, aplikacije same pa so odgovorne za preverjanje zmogljivosti baterij (če se računalnik napaja iz baterij), preden začnejo izvajati rutinska opravila, ki se lahko prestavijo, stanje aktivnosti trdega diska in druge parametre, ki bi lahko vplivali na porabo energije in delo z računalnikom. Poleg operacijskega sistema Windows, standard ACPI implementirata tudi Linux in FreeBSD.

2.3.3.2 Grafične kartice in zasloni

Z zamenjavo zaslonov s katodno cevjo (CRT) z novejšimi, kot so zasloni s tekočimi kristali (LCD), se je znatno zmanjšala tudi poraba električne energije, ki jo porabijo računalniški zasloni. Povprečni zaslon CRT je porabil med 66W in 135W v polni aktivnosti, 0W do 19W v neaktivnem stanju in 0W do 5W, ko je izključen, medtem ko povprečni zaslon LCD porabi le 15W v polni aktivnosti, 1,5W v neaktivnem stanju in 0,5W, ko je izključen[49]. Poleg zamenjave starih zaslonov CRT z novejšimi LCD lahko porabo energije zmanjšamo tudi z uporabo upravljanja napajanja, rednim izklapljanjem zaslona, ko ga ne potrebujemo, ter nakupom manjšega zaslona. Med najpomembnejšimi koraki, ki lahko zmanjšajo porabo električne energije, je zmanjševanje svetlosti (angl. brightness) zaslona, ki lahko občutno zmanjša porabo – tudi za polovico in več[52]. Ohranjevalnikom zaslona (angl. screensavers) se je najboljše izogniti, saj ne zmanjšajo porabe električne energije – pogosto jo lahko še povečajo, če gre za procesorsko zahtevne aplikacije, ter preprečijo računalniku, da bi ob neaktivnosti prešel v stanje manjše porabe električne energije (npr. sleep). Poleg tega lahko tudi zmanjšujejo življenjsko dobo zaslona LCD [53].

Grafične kartice so danes med največjimi porabniki električne energije v osebnih računalnikih. Pri svojem delovanju proizvedejo veliko toplote, dodatna energija pa se porablja še pri hlajenju. Razlike med samimi grafičnimi karticami so velike – nekatere grafične kartice porabijo manj kot 20W v stanju neaktivnosti in okrog 40W ob pospeševanju 3D-grafike (predvsem integrirane¹⁵ grafične kartice), druge lahko porabijo več kot 90W v stanju neaktivnosti in več kot 200W ob pospeševanju 3D-grafike[54]. Porabo lahko torej občutno zmanjšamo z izbiro grafične kartice, ki je po zmogljivostih primerna za delo, ki ga opravljamo. Za večino primerov uporabe integrirane grafične kartice nudijo zadovoljivo zmogljivost ob zelo nizki porabi električne energije. Ne glede na to, kakšno grafično kartico uporabljamo, je vedno priporočljiva uporaba upravljanja napajanja. Mnogi proizvajalci grafičnih kartic skupaj z gonilniki za strojno opremo danes prilagajajo še programsko opremo, ki omogoča nastavljanje različnih parametrov, kar lahko znatno zmanjša porabo.

¹⁵ Integrirana grafična kartica: grafična kartica, ki je del matične plošče.

2.3.3.4 Napajanje

Računalniški napajalniki so neučinkoviti, predvsem zaradi svoje zasnove. Izgube se pojavljajo zaradi pretvorbe električne energije pri omrežni napetosti v električno energijo pri napetosti, ki jo potrebujejo računalniške komponente, pri tem pa se proizvaja toplota in pogosto se energija porablja še za hladilni sistem, ki ohranja napajalnik pri optimalni delovni temperaturi. Višja kot je učinkovitost napajalnika, daljša je tudi njegova življenjska doba, saj je prav toplota glavni krivec za okvare na napajalnikih[5]. Izboljšanje učinkovitosti napajalnika torej ne prinaša le neposrednega boljšega izkoristka električne energije, temveč tudi daljšo življenjsko dobo naprave in s tem tudi manjše število e-odpadkov. Večina računalnikov ne dosega najvišjega potenciala napajalnikov – izraba zmogljivosti se giblje okrog 30%. Računalniški napajalniki so tipično od 70- do 90-odstotno učinkoviti, standard v industriji pa je, da delujejo pri temperaturah, nižjih od 40 °C.

Dobro vodilo pri nakupu napajalnika je lahko oznaka programa 80PLUS, ki je bil že omenjen v poglavju 2.2.3.1.1. Napajalniki, ki imajo certifikat 80PLUS, dosegajo učinkovitost vsaj 80% pri 20-, 50- in 100-odstotni obremenitvi ob pravem faktorju moči 0.9. Kriteriji za oznake 80PLUS so vidni v tabeli 2.

Certifikat	Obremenitev v %		
	20	50	100
80 PLUS	80%	80%	80%
80 PLUS Bronze	82%	85%	82%
80 PLUS Silver	85%	88%	85%
80 PLUS Gold	87%	90%	87%
80 PLUS Platinum	90%	92%	89%

Tabela 2: Učinkovitosti neredundantnih¹⁶ napajalnikov za uporabo v namiznih računalnikih, delovnih postajah in strežnikih[34].

Zahteve za redundantne napajalnike so nekoliko višje, prva stopnja, ki jo morajo doseči, da dobijo certifikat, pa je 80 PLUS Bronze.

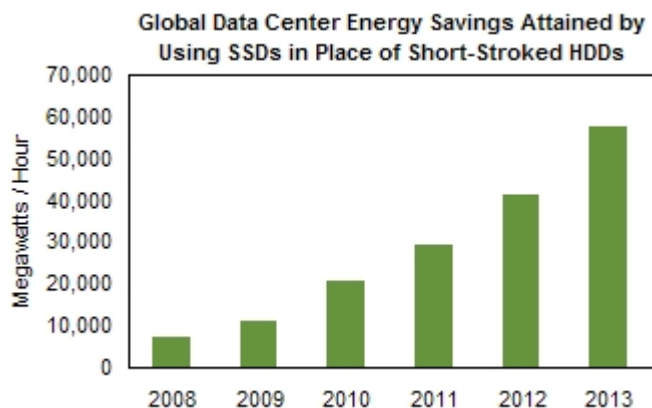
2.3.3.5 Shranjevanje podatkov

Trdi diski oziroma drugi pomnilniški medij so lahko, če so slabo izkoriščeni, velik porabnik električne energije, predvsem v podatkovnih središčih[5]. Glavni doprinos k porabi električne energije so gibki deli diska oziroma vrtenje magnetnih plošč pri visokih hitrostih. Tako hitrost vrtenja diskov kot druge funkcije so lahko prilagojene zmanjševanju porabe električne energije brez sprejemanja večjih kompromisov pri hitrosti pisanja in branja podatkov. V podatkovnih središčih, ki hranijo velike količine podatkov, do katerih se redko dostopa, dolg dostopni čas pa je sprejemljiv, lahko kot alternativo diskom uporabimo magnetne trakove, ki v neaktivnem stanju porabijo zelo malo energije. V podatkovnih središčih, ki potrebujejo veliko število diskov v stalni pripravljenosti, je poraba energije visoka, pri tem pa se pojavlja še problem hlajenja – pravilo iz prakse narekuje, da je za vsak 1W, ki ga porabi oprema, navadno porabljen 1W za hlajenje. Na trgu je vedno več okolju prijaznih trdih diskov, ki so

¹⁶ Neredundantni napajalnik: samostojni napajalnik brez dodatnih varoval za primere okvar, najpogostejši tip napajalnika v osebni in prenosni računalnikih. Redundantni napajalnik: napajalnik, ki je sestavljen iz vsaj dveh enot, vsaka izmed njih je sposobna samostojno napajati računalnik. Če pride do okvare na eni enoti, napajanje prevzame druga brez motenj v delovanju računalnika. Redundantni napajalniki so pogosti v podatkovnih središčih.

energetsko varčni, poleg tega pa se tudi manj segrevajo. Podjetje Western Digital je s pomočjo uravnoteženja hitrosti vrtenja diskov, uravnoteženja hitrosti prenosa, uporabo predpomnilniških algoritmov, umika bralnih glav s plošč in izklopom dela krmilne elektronike, ko disk ni v uporabi, znatno zmanjšalo porabo električne energije diskov (do 40%), obenem pa je zmogljivost diskov ostaja solidna[55].

Tehnologija, ki veliko obljublja, so negiblivi diski (SSD¹⁷), ki podatke shranjujejo na negiblivi medij, največkrat polprevodniške pomnilnike. Poleg izboljšanih zmogljivosti obljublja tudi boljši izkoristek energije. Nekateri proizvajalci za svoje izdelke trdijo, da lahko dosega do 48-krat višje hitrosti ob 75% manjši porabi električne energije[56]. Raziskava podjetja iSuppli podaja oceno, da bi se lahko z uporabo negiblivih diskov v podatkovnih središčih globalna poraba električne energije zmanjšala za skupno 166.643 MWh v obdobju od 2008 do 2013, kar je razvidno iz slike 3[57].



Slika 3: Graf ocen možnih prihrankov električne energije v obdobju od 2008 do 2013[57].

Negiblivi diski so še v razvoju in ne dosegajo zmogljivosti diskov z gibljivimi deli, poleg tega pa predstavljajo višji strošek ob nakupu.

2.3.3.6 Poraba električne energije in problem hlajenja v podatkovnih središčih

Vodje podatkovnih središč so bili v preteklosti osredotočeni predvsem na visoko dostopnost in varnost podatkov, vendar se danes poleg tega pojavlja še zelo pomembna okoljska komponenta, ki ob naraščajočih cenah energentov ne more ostati spregledana. Zeleno računalništvo omogoča ne samo družbeno bolj odgovorno poslovanje, temveč tudi visoke prihranke pri znižanju porabe električne energije v podatkovnih središčih. V tipičnem podatkovnem središču je 60% do 70% energije porabljen za hlajenje opreme in infrastrukture objekta, torej računalniška oprema porablja samo 30% do 40% vse energije[5]. Poleg prednosti, ki jih prinaša centralizacija računalniške infrastrukture, se podatkovna središča spopadajo z dvema glavnima težavama. Prva težava so visoke energetske zahteve strežnikov, mrežne opreme, diskovnih polj in druge opreme za shranjevanja podatkov. Druga težava je toplota, ki jo proizvede oprema ob svojem obratovanju, kar zahteva dodatno hlajenje prostorov in opreme ter je energetsko zelo potratno. Kompleksnost napajanja podatkovnih centrov je prevelika, da bi se problema lahko lotili brez organiziranega in metodičnega pristopa – pri tem je kot osnova zelo pomemben popis vseh naprav, ki porabljajo električno energijo, porabe energije teh naprav v stanju aktivnosti in neaktivnosti, izkoriščenost posameznih naprav, načrt organizacije za širjenje računalniške opreme, morebitnih okoljskih

¹⁷ Solid-state drive: negiblivi disk.

direktiv in zakonov, ki bi lahko vplivali na stroške ali konkurenčnost podjetja, ter okoljsko strategijo poslovanja organizacije. Pri tem so zelo pomembne natančne meritve, saj je brez podatkov težko obvladovati kompleksnost same vpeljave zelenega računalništva v podatkovno središče.

Za merjenje učinkovitosti porabe električne energije v podatkovnih središčih se uporablja količnik učinkovitosti energijske porabe (angl. power usage effectiveness¹⁸), ki je določen kot (1):

$$UEP = \frac{\text{vsota energije, ki vstopa v podatkovno središče}}{\text{energija, ki jo porablja računalniška oprema}} \quad (1)$$

Bolj kot je podatkovno središče energetske učinkovito, bolj se količnik UEP bliža vrednosti 1. V tipičnih podatkovnih središčih se UEP giblje okrog 2,5, Uptime Institute pa ocenjuje, da bi večina lahko dosegla količnik 1,6 ob uporabi najbolj učinkovite opreme in z implementacijo najboljših praks industrije[58]. UEP je obratno sorazmeren s količnikom učinkovitosti infrastrukture podatkovnega središča¹⁹, ki je določen kot (2):

$$UIPS = \frac{\text{energija, ki jo porablja računalniška oprema}}{\text{vsota energije, ki vstopa v podatkovno središče}} \quad (2)$$

UIPS je izražen kot delež v % in pove, kolikšen delež električne energije v podatkovnem središču se porablja za podporno infrastrukturo[59]. UIPS tipičnega podatkovnega središča je okrog 40%.

UEP in UIPS merijo učinkovitost porabe električne energije v podatkovnem središču. Če želimo ugotoviti, kako učinkovito se ta energija dejansko porablja, izračunamo učinkovitost procesorske moči²⁰ (3):

$$UPM = \frac{\text{izraba računalniških kapacitet}}{PUE} \quad (3)$$

Izraba računalniških zmogljivosti je navadno povprečna obremenitev vseh centralnih procesnih enot vseh strežnikov v podatkovnem središču.

Največji porabniki električne energije v podatkovnih središčih so strežniki, zato je optimizacija strežnikov pogosto prvi korak k okolju bolj prijaznemu podatkovnemu središču[5]. Glavno vodilo pri večanju učinkovitosti strežnikov je zmanjševanje števila strežnikov (npr. z virtualizacijo) oziroma zamenjava najbolj potratnih z bolj okolju prijaznimi. Takoj za sistemom za hlajenje in strežniki so diski in druge enote za shranjevanje podatkov, ki v povprečnih podatkovnih središčih porabljajo do 25% vse energije. Porabo lahko zmanjšamo z vpeljavo SAN²¹, uporabo diskov večje zmogljivosti, uporabo diskov SATA²²

¹⁸ Power Usage Effectiveness (PUE) – količnik učinkovitosti porabe električne energije v podatkovnih središčih, predlagan s strani Uptime Institute in razširjen skozi iniciativo The Green Grid [5].

¹⁹ Data Center infrastructure Efficiency (DciE) – količnik učinkovitosti porabe električne energije infrastrukture podatkovnih središč.

²⁰ Compute Power Efficiency (CPE) – količnik izkoriščenosti izrabe računalniške opreme in učinkovitosti porabe električne energije v podatkovnem središču.

²¹ Storage Area Network – omrežje pomnilniških naprav, povezanih z visokohitrostnimi povezavami.

²² Serial Advanced Technology Attachment – računalniško vodilo za priklop trdih diskov in drugih pomnilniških naprav.

namesto diskov FC²³, zmanjševanjem količine redundantnih podatkov in prenosom redko uporabljenih podatkov na strežnike, ki delujejo v manjšem stanju pripravljenosti.

Računalniška oprema optimalno deluje pri določenih temperaturnih pogojih in zračni vlažnosti. Stroški za vzdrževanje primerne okolja za računalniško opremo so, če hlajenje ni učinkovito zasnovano, lahko hitro zelo visoki. Danes je najpogostejše zračno hlajenje, vendar je vse pogostejše tudi tekočinsko. Pri tem lahko znatno znižamo stroške, če lahko izrabimo hladno tekočino ali zrak iz okolja, v katerem se nahaja podatkovno središče, tudi do 60%[5].

2.3.4 Spremembe v poslovnem procesu

2.3.4.1 Načrtovanje poslovnih procesov na okolju prijazen način

Zeleno računalništvo je več kot le zmanjševanje porabe električne energije in ukvarjanje s problemom e-odpadkov, vpeljuje tudi spremembe v poslovnih procesih, ki lahko doprinesejo k zmanjšanju okoljskega vpliva organizacije. Začne se lahko že v fazi načrtovanja samih poslovnih procesov s ciljem čim večje učinkovitosti. Pri tem lahko podjetje uporabi različne prijeme, kot so zaposlovanje virtualnih delavcev ali digitalizacija dokumentacije, cilj paje vedno zmanjševanje sredstev, porabljenih v procesu (fizična sredstva, čas, delo ipd.), za doseganje istega cilja. Manjša poraba sredstev in energije ter učinkovit poslovni proces posledično pomenijo tudi okolju bolj prijazno in cenejše obratovanje. Poslovne procese lahko reorganiziramo na naslednjih področjih:

- delovni čas,
- poraba energije,
- splošna neučinkovitost v procesu,
- poraba papirja,
- poraba drugih materialov[12].

2.3.4.2 Zmanjševanje porabe papirja in potrošnega materiala

Poslovni procesi so pogosto zasnovani tako, da uporabljajo takšen ali drugačen sistem izmenjave dokumentov, obrazcev in navodil, ki so večinoma natisnjeni na papir. Informacijska tehnologija lahko pozitivno vpliva na okolje z zmanjševanjem porabe papirja, ki ga porablja organizacija, s tem pa tudi zniža stroške. Prednosti elektronskega sistema za upravljanje z dokumenti²⁴ so zmanjševanje porabe papirja, hkratno dostopanje do istih dokumentov, enostavno ustvarjanje in hranjenje varnostnih kopij, boljša organiziranost, omogočanje računalniškega iskanja po dokumentih, indeksiranje, hiter dostop, enostavno sledenje različicam dokumentov in cenejše arhiviranje. Poleg papirja so z dokumenti povezani še drugi stroški – cene nabave in vzdrževanja tiskalnikov, fotokopirnih strojev, cena energije, ki napaja te naprave, prostor za arhiviranje dokumentov in stroški uničenja ob izteku uporabne vrednosti.

V idealnem primeru bi organizacija popolnoma prenehala s porabo papirja v poslovanju, vendar to za zdaj še ni mogoče. Prenosne naprave so še vedno preveč okorne in predstavljajo visok strošek, poleg tega pa obstajajo tudi zakonske zahteve, ki od organizacij zahtevajo hranjenje papirnih kopij določene dokumentacije.

²³ Fibre Channel – tehnologija, ki se največkrat uporablja za SAN za namene poslovnega shranjevanja podatkov.

²⁴ Sistem za upravljanje z dokumenti – document management system (DMS) je informacijski sistem, ki omogoča elektronsko hranjenje dokumentov, potrebnih v poslovnih procesih organizacije. Omogoča zajem, upravljanje, hrambo in tiskanje dokumentov.

Čeprav papir ostaja nepogrešljiv del poslovnega procesa, pa se da porabo zmanjšati že z enostavnimi prijemi[5]:

- obojestransko tiskanje;
- e-pošte se ne tiska;
- oblikovanje dokumenta pred tiskanjem z namenom manjše porabe papirja in črnila;
- uporaba predogleda tiskanja, da se izognemo nezaželenim rezultatom;
- tiskanje samo tistega, kar res potrebujemo.

Dobro zasnovan elektronski sistem za upravljanje z dokumenti lahko zelo ali celo popolnoma odstrani potrebo po tiskanju dokumentov v organizaciji, tudi ko so dokumenti namenjeni v zunanje okolje. Da je tak sistem učinkovit, mora podpirati enostavno zajemanje fizičnih dokumentov in nato elektronsko hranjenje. Zajem mora biti enostaven, hiter in zanesljiv. Največjo učinkovitost dosežemo, če vse dokumente, ki pridejo v organizacijo, pretvorimo v elektronsko obliko in šele nato pošljemo naslovniku. Izvorni dokumenti so lahko nato uničeni, arhivirani ali poslani zunanjemu podjetju, ki ga najamemo za arhiviranje dokumentacije. Pri arhiviranju dokumentov je treba imeti v mislih kompatibilnost s prihodnjimi formati in tehnologijami, dobra rešitev je npr. uporaba odprtokodnih formatov. Iskanje in dostopanje do dokumentov mora biti hitro in učinkovito, sistem pa mora omogočati pošiljanje dokumentov prek e-pošte, arhiviranje na optične medije ter podpirati običajne tiskalnike in faksirne naprave. Za organizacije, ki imajo delavce tudi na terenu ali doma, je treba omogočiti dostop do dokumentov prek spletnega vmesnika ter sistem za sinhronizacijo dokumentov v podjetju z dokumenti, ki so nastali zunaj organizacije. Prav tako dober sistem omogoča preusmerjanje dokumentov od enega uporabnika k drugemu, kar lahko poveča splošno produktivnost, zmanjša potrebno število fizičnih kopij dokumenta in zmanjša stroške.

Komunikacijo med organizacijami lahko uredimo z elektronsko izmenjavo podatkov²⁵.

Elektronska izmenjava podatkov prinaša več prednosti[12]:

- nižanje stroškov,
- večja učinkovitost zaposlenih,
- višja stopnja varnosti dokumentacije,
- večja učinkovitost zaradi možnosti izmenjave poljubnih datotek.

Elektronska izmenjava podatkov je standardiziran pristop k izmenjavi dokumentov, ki temelji na tehnologijah, kot sta XML in svetovni splet. Vpeljava tehnologije v podjetje se sprva zdi visok strošek, vendar prinaša tako posredne kot neposredne koristi ter lahko znatno zniža stroške[60].

2.3.4.3 Virtualni delavci, virtualni timi in virtualne organizacije

Informacijska tehnologija danes omogoča popolno reorganizacijo tradicionalnega načina dela in popolnoma spremenjeni poslovni proces v podjetju. Z zaposlovanjem virtualnih delavcev, oblikovanjem virtualnih timov in povezovanjem podjetij v virtualne organizacije podjetja niso več prostorsko in časovno omejena, obenem pa lahko znatno znižajo stroške poslovanja in vpliv podjetja na okolje.

Večanje delovne sile v podjetju lahko predstavlja izziv, saj so s tem povezani stroški dela novih zaposlenih, več potrebnega delovnega prostora, pisarniške opreme, računalnikov in

²⁵ Elektronska izmenjava podatkov – electronic data interchange (EDI) – princip prenosa dokumentov ali poslovnih podatkov iz izvorne organizacije v drugo partnersko organizacijo brez človeškega vmesnika.

drugih delovnih pripomočkov, parkirišč, območij za odmore, potnih stroškov, stroškov za malico itd. V preteklosti je bila takšna ureditev podjetja smiselna – prenos dokumentacije iz enega oddelka do drugega, sodelovanje, timsko delo in podobne aktivnosti bi bili nemogoči, če ne bi bili oddelki in delavci v podjetju fizično dovolj blizu. Danes lahko s pomočjo informacijske tehnologije dosežemo iste učinke, čeprav so delavci fizično daleč narazen – doma, v drugi zgradbi podjetja, na drugem koncu sveta. Virtualni delavci sicer fizično niso prisotni v podjetju, vendar lahko opravljajo enako delo ob nižjih stroških za podjetje (npr. potni stroški), koristih za delavca samega (npr. izgubljen čas za prevoz do dela) ter manjšem vplivu na okolje (npr. izpust CO_2 v ozračje ob prevozu na delo). Virtualna delovna sila je tudi visoko skalabilna, posebno v podjetjih, ki so prisotna na več geografskih območjih – če v eni podružnici manjka delovne sile, jo lahko podjetje brez stroškov dobi iz druge, poleg tega pa je lažje zaposlovati virtualne delavce, ki so dostopni na globalnem trgu dela. V nasprotju s tradicionalnim delovnim mestom, kjer je delavec plačan po času, ki ga porabi na delovnem mestu, so virtualni delavci navadno plačani po učinkih, kar omogoča visoko časovno in prostorsko fleksibilnost.

Ljudje se pogosto vozijo na delo z avtomobili in tako onesnažujejo okolje, nato uporabljajo električno energijo, gretje, hlajenje, prostor in elektronske naprave med samim delom, nazadnje pa se spet vračajo domov. Vse to za podjetje pomeni stroške, za okolje breme, delavec pa izgubi lahko tudi 2 uri in več dnevno za prevoz na delo in z aktivnostmi, ki niso neposredno povezane z delovnimi zadolžitvami. Rešitev je lahko preoblikovanje dela delovne sile v virtualne delavce, kar lahko znatno zmanjša stroške za podjetje. Z implementacijo dela od doma v širši družbi bi lahko v ZDA porabili za 23 milijard \$ manj nafte, zmanjšali izpuste CO_2 za 53 milijonov ton ter zmanjšali stroške na številnih področjih, kot je npr. obraba cest [61].

Število zmanjšanih kilometrov vožnje in izpustov toplogrednih plinov v ozračje, manj izgubljenega časa, manj potrebnega prostora v podjetju, manjši stroški opreme in energije, široka izbira delovne sile, možnost zaposlitve invalidnih oseb ali oseb iz ekonomskih področij s težjo zaposlitvijo, so samo nekatere prednosti virtualne delovne sile, ki lahko podjetju prinesejo še dodatne koristi (npr. v obliki državnih bonitet, zmanjševanja davkov, oglaševanje zelene strategije podjetja...) in omogočajo družbeno bolj odgovorno poslovanje. Z implementacijo dela od doma bi podjetja v ZDA lahko zmanjšala stroške vsakega delavca za poln delovni čas do 20.000 \$ letno [61].

Potencial za uporabo virtualne delovne sile je visok – raziskave kažejo, da bi lahko v ZDA 40% vse delovne sile lahko vsaj delno delalo od doma [62]. Kljub višjim stroškom je odstotek takšnih delavcev 2% [61]. V ZDA naj bi se do leta 2012 delež virtualnih delavcev v javnem sektorju povečal za do 65%, v zasebnem pa do 33% [63].

Virtualni delavci se lahko združujejo v virtualne time – skupine posameznikov znotraj podjetja, ki premagujejo časovne in prostorske ovire za doseganje skupnega cilja. Z organizacijskega stališča je vključitev virtualnih timov v poslovni proces večji izziv kot zaposlovanje virtualnih delavcev zaradi narave samega dela. Virtualni delavci navadno delajo vsak na svoji nalogi, ki je točno določena, rezultati pa so jasno zastavljeni. V nasprotju z izvajanjem samostojnih nalog člani virtualnih timov delujejo skupaj z namenom doseganja zastavljenega cilja, pogosto pa navodila niso več tako jasno določena in vsebujejo tudi nepredvidljive komponente, kot je npr. ustvarjalno delo. Virtualni timi se najbolj obnesejo za kratkotrajne projekte in so za vključitev v stalne poslovne procese manj primerni. Za uspeh virtualnih timov je nujno okolje, ki omogoča visoko stopnjo komunikacije, izmenjave datotek, pa tudi izmenjave bolj abstraktnih konceptov (npr. skic). Na trgu je na voljo tudi

specializirana programska oprema za podporo virtualnim timom (angl. groupware), ki se lahko izkaže za nepogrešljivo pri ustanavljanju virtualnih timov. Danes virtualni timi še ne dosegajo učinkovitosti timov, ki delujejo v fizični prisotnosti, za ugotovitev razlogov, zakaj je temu tako, bodo potrebne še nadaljnje raziskave[64].

Informacijska tehnologija omogoča tudi spremembo poslovnega partnerstva med različnimi organizacijami ali posamezniki, ki lahko sodelujejo in začasno tvorijo virtualno organizacijo – delijo kompetence in izkušnje za doseganje skupnega cilja s pomočjo računalniških omrežij. Virtualne organizacije odlikuje agilnost, fleksibilnost in možnost hitrega odzivanja na zahteve na trgu. Ustanovitev virtualne organizacije ali virtualnega podjetja predstavlja nizek strošek v primerjavi s tradicionalno organizacijo, način dela pa je podoben načinu dela virtualnih timov, z vsemi prednostmi in slabostmi.

2.4 Pristop k implementaciji zelenega računalništva

2.4.1 Opis problema

Zeleno računalništvo je širok pojem in precej novo področje informatike. Posledično je večina literature in akademskih člankov pisana na načelni ravni ter obravnava problem, ki ga okolju povzroča informacijska tehnologija, pretekle uspešno izpeljane projekte, bodoče možnosti implementacije zelenega računalništva ipd. Tako v literaturi kot v akademskih člankih se najdejo koristni nasveti za vpeljavo zelenega računalništva v organizacije, vendar so razpršeni ali pa so priporočila pisana v preveč na splošno in ciljajo predvsem na vodstveni kader podjetij, ne pa na inženirje, ki bodo pristop poslovanja dejansko implementirali. Večina literature se osredotoča predvsem na problem podatkovnih središč in njihovega vpliva na okolje. Tako se mali uporabniki znajdejo pred težavo, ko želijo vpeljati zeleno računalništvo v svoje poslovanje, saj morajo iz obsežne literature filtrirati prakse in postopke, ki so zanje zanimivi, obenem pa izluščiti praktične nasvete iz običajno načelnih in splošnih vodil.

To diplomsko delo se osredotoča tudi na možnosti vpeljave zelenega računalništva za majhne porabnike ob čim manjši investiciji v implementacijo. Poglavje 2.4.2 nudi pregled nad najboljšimi praksami in preteklimi izpeljanimi projekti, na osnovi katerih bodo temeljila nadaljnja poglavja. Poglavje 2.4.3 predlaga izviren metodičen postopek pristopanja k zelenemu računalništvu. Poglavlja, ki sledijo, ponujajo seznam priporočil in postopkov za vpeljavo zelenega računalništva, ki so bila zbrana iz literature in preteklih dobrih praks. Priporočila za pristop k zelenemu računalništvu so tematsko organizirana in nudijo hiter pregled.

2.4.2 Pregled dobrih praks in uspešno izpeljanih projektov

Uspešno izpeljanih projektov, ki so znatno znižali stroške in zmanjšali vpliv organizacij na okolje, je precej tako v javnem kot zasebnem sektorju. Te dobre prakse so lahko koristne za proučevanje implementacije zelenega računalništva in nudijo osnovo za oblikovanje praktičnega pristopa k okolju bolj prijaznemu računalništvu. To poglavje nudi pregled nad izpeljanimi projekti in najboljšimi praksami industrije.

2.4.2.1 Proizvajalci strojne opreme

Veliki proizvajalci strojne opreme so gonilo razvoja zelenega računalništva, posebno ko so združeni v različne iniciative v industriji, kot je npr. The Green Grid. V študijah primerov poslovanja spodnjih podjetij je viden pomen zmanjševanja števila strežnikov, hlajenja v podatkovnih središčih in metodičnega pristopa k zelenemu računalništvu, ki posega na vsa

področja poslovanja in razvoja informacijske tehnologije, tudi področja, s katerimi se informatika tradicionalno ni ukvarjala.

2.4.2.1.1 Dell

Newsweek je leta 2010 podjetje Dell proglasil za najbolj okolju prijazno podjetje v Združenih Državah Amerike[65]. Dell največ poudarka daje na tri področja:

- uporabi okolju prijaznih materialov,
- energetska učinkovitost,
- recikliranju in vpoklicu odsluženih izdelkov.

Leta 2007 je podjetje začelo izvajati več programov, ki bodo zmanjšali izpuste CO_2 : doseči cilj zmanjšanja izpustov toplogrednih plinov za 15% do leta 2012, od dobaviteljev zahtevati poročila o izpustih toplogrednih plinov, razviti okolju najbolj prijazen osebni računalnik na svetu in program »Plant Tree For Me«, ki v ceno vsakega prodanega računalnika všteje stroške sajenja dreves, ki jih bo Dell posadil, da izniči izpuste CO_2 , ki so posledica proizvodnje računalniške opreme.

Dell aktivno išče rešitve za znižanje porabe električne energije v podatkovnih središčih, in sicer s snovanjem bolj učinkovitih izdelkov, popolnoma prilagojeno optimizacijo podatkovnih središč njihovih kupcev in aktivnim sodelovanjem z drugimi podjetji ter iskanjem skupnih rešitev na področju zelenega računalništva. Zelena politika je vidna na vseh področjih poslovanja podjetja – tako npr. za svoje izdelke porabljajo manj embalaže, v poslovnem procesu uporabljajo recikliran papir... Razvili so tudi svoj standard oziroma certifikat za strojno opremo – Energy Smart. Dell trdi, da računalniki, ki nosijo ta certifikat, lahko porabijo tudi do 95% manj električne energije, poleg tega pa na svoji spletni strani nudijo tudi orodje, s katerim si stranke lahko izračunajo porabo in stroške električne energije vseh njihovih računalnikov[66].

Dell je uspešno zmanjšal porabo električne energije v svojih zgradbah s pomočjo uporabe upravljanja napajanja za 1,8 milijona \$ oziroma 13 milijonov kWh, kar pomeni 8500 ton manj izpustov CO_2 v ozračje, z zamenjavo svetilnih sredstev pa je porabo zmanjšal še za dodatnih 9% [12].

Za proučevanje dobrih praks, ki jih izvaja Dell, so predvsem zanimive študije primerov strank, ki jih objavljajo na svoji spletni strani²⁶. Med njimi so:

- podjetje Gasatacama iz Čila je s pomočjo virtualizacije zmanjšalo število strežnikov s 4 na 3 ter zmanjšalo stroške električne energije za 30%, stroške obratovanja prav tako za 30% ter obenem povečalo zmogljivosti svojega sistema;
- bolnišnica Mason General Hospital je z implementacijo Dellovih rešitev stroške obratovanja zmanjšala za 25%, s pomočjo virtualizacije in konsolidacije²⁷ so zmanjšali število strežnikov iz 40 na samo 3 ter obenem zmanjšali stroške poslovanja še na številnih drugih področjih;
- podjetje Southern Company je s konsolidacijo strežnikov doseglo prihranke v višini 2 milijona kWh oziroma 1,3 milijona \$;
- banka Banca S. Angelo je s konsolidacijo strežnikov zmanjšala število strežnikov za 76%, kar pomeni tudi nižje stroške;

²⁶ <http://content.dell.com/us/en/corp/our-story-case-studies.aspx> (Prezeto 29. 4. 2011)

²⁷ Konsolidacija strežnikov – princip zmanjševanja števila strežnikov. Strežnik s prostimi zmogljivostmi dodatno obremenimo z novimi zaposlitvami, ki bi bile sicer v domeni drugega, ločenega fizičnega strežnika.

- Esher College je s pomočjo virtualizacije strežnikov zmanjšal stroške hlajenja in napajanja strežnikov za 70%;
- dansko podjetje Grundfos Group je z uporabo rezinskih strežnikov in standardizacijo infrastrukture zmanjšalo izpuste toplogrednih plinov za 700 ton na Danskem in 1600 ton globalno;
- podjetje Freehills je s pomočjo virtualizacije zmanjšalo stroške infrastrukture strežnikov za 83%;
- University of Central Florida, College of Medicine je z uporabo virtualizacije strežnikov, zamenjavo strežnikov z rezinskimi in virtualizacijo pomnilniških naprav zmanjšala skupne stroške lastništva²⁸ informacijske tehnologije za 90%;
- norveško podjetje IKOMM si je za cilj zadalo zgraditi okolju najprijaznejše podatkovno središče na Norveškem, s pomočjo inovativnega podzemnega hladilnega sistema so zmanjšali stroške hlajenja za 40%, virtualiziranje strežnikov pa je bilo načrtovano že na samem začetku;
- podjetje City Network Hosting je z uvedbo računalništva v oblaku, ki temelji na rezinskih strežnikih, zmanjšalo okoljske vplive svojih strežnikov za 40%.

Študije primerov v drugih podjetjih so podobne – najvišji prihranki in okoljsko najbolj pomembne izboljšave so posledica konsolidacije in virtualizacije strežnikov. V podatkovnih središčih je poleg zmanjševanja števila fizičnih strežnikov pomembno tudi hlajenje. Z inovativnimi pristopi, ki izrabljajo energijo iz okolja, ter hlajenjem, ki se prilagaja razmeram v podatkovnem središču, so lahko prihranki visoki in upravičujejo investicijo v zeleno računalništvo.

2.4.2.1.2 Hewlett Packard

Hewlett Packard razvija strategijo zelenega računalništva podobno kot Dell. Do leta 2012 so si zadali cilj, da bo 8% vse električne energije, ki jo porabijo v podjetju, iz obnovljivih virov, med leti 2005 in 2007 pa jim je uspelo zmanjšati porabo energije za 19%^[67]. Do leta 2013 je načrtovana zmanjšana poraba energije za 20% glede na leto 2005. Svoje izdelke prilagajajo zahtevam programov Energy Star, WEEE in RoHS in podobno kot Dell dajejo poudarek na recikliranje izrabljenih izdelkov. Hewlett Packard se je pri implementaciji okolju prijaznih praks usmeril tudi na porabo papirja z zmanjševanjem tiskanja navodil za izdelke in uporabo recikliranega papirja. Zasnovali so tudi inovativen sistem za upravljanje z energijo, imenovan Dynamic Smart Cooling, ki lahko v podatkovnih središčih zmanjša stroške energije in hlajenja za 20% do 45%. Podjetje si je zadalo cilj, da zmanjša število svojih podatkovnih središč po svetu s 85 na samo 6 s pomočjo virtualizacije, rezinskih strežnikov, kombiniranjem aplikacij in pametnim načrtovanjem. Okolju prijazno podatkovno središče, ki so ga zgradili v Wynyardu v Veliki Britaniji, dosega 40% večjo energijsko učinkovitost od povprečnih podatkovnih središč, kar so dosegli z zasnovo same zgradbe, ki je zgrajena na precej hladni lokaciji, obenem pa izrablja zunanje vremenske dejavnike (hladen zrak, deževnica) za hlajenje. Podatkovni center v Wynyardu dosega UEP²⁹ 1,2, kar je visoko nad povprečjem. Primer v Wynyardu jasno pokaže, kako pomembno je hlajenje podatkovnih središč in kakšni prihranki so mogoči ob uporabi relativno enostavnih principov, kot je uporaba hladnega zraka iz okolja.

²⁸ Total costs of ownership (TCO), skupni stroški lastništva – vsota stroškov razvoja, uporabe in vzdrževanja informacijske tehnologije.

²⁹ Glej poglavje 2.3.3.6.

2.4.2.1.3 IBM

Podjetje IBM deluje na področju okoljevarstva že od leta 1971. Glavni cilj strategije IBM je zmanjševanje izpustov toplogrednih plinov, kar se primarno dosega z zmanjševanjem porabe električne energije, uporabo obnovljivih virov energije, učinkovitejšo logistiko in spremembami v samem poslovnem procesu. V podjetju razvijajo okolju prijaznejše tehnologije in poseben poudarek dajejo na bolj energijsko učinkovita podatkovna središča. Več kot 100.000 zaposlenih pri IBM dela od doma oziroma na terenu, kar v praksi potrjuje, da delo na daljavopodjetju prinaša zmanjševanje stroškov in posledično je manj tudi okoljskih vplivov. Podjetje je član več iniciativ za zeleno računalništvo, kot je npr. The Green Grid, ki združujejo industrijo v razvoju čim bolj okolju prijazne informacijske tehnologije.

IBM aktivno sodeluje na raziskovalnem področju in organizacijam ponuja storitev »Green Sigma«– gre za pristop k zelenemu računalništvu v več korakih[68]:

1. Korak 1: Definiranje ključnih kazalnikov poslovanja, ki vključujejo tudi izpuste toplogrednih plinov.
2. Korak 2: Vzpostavitev meritev, izvajanje statističnih analiz, iskanje priložnosti za izboljšave.
3. Korak 3: Vzpostavitev obveščanja Green Sigma – upraviteljskega informacijskega sistema, ki sledi in prikazuje vse trenutne ključne kazalnike poslovanja ter morebitna obvestila in alarme.
4. Korak 4: Optimizacija procesov na osnovi podatkov iz prejšnjih korakov z namenom doseganja manjše porabe energije, vode, manjših izpustov toplogrednih plinov in manjše količine odpadkov.
5. Korak 5: Nadzor nad učinkovitostjo – vzpostavitev stalnega nadzora in izboljševanja ključnih kazalnikov poslovanja.

Pristop je predvsem zanimiv, ker se vpeljuje zelenega računalništva loti metodično in predlaga postopek, ki omogoča merjenje rezultatov in objektivno sledenje zmanjševanju stroškov in okoljskih vplivov, je pa tako kot večina pristopov k zelenemu računalništvu še vedno predvsem usmerjen k vodilnim kadrom in se predvsem ukvarja z ekonomskimi kategorijami.

IBM redno objavlja svoje ugotovitve in dobre prakse ter jih deli s širšo javnostjo, kar pripomore k boljši ozaveščenosti in širitvi ideje zelenega računalništva.

V IBM-ovem podatkovnem središču v Austinu so uspešno zmanjšali porabo električne energije za 30% s pomočjo konsolidacije in virtualizacije strežnikov, uporabo rezinskih strežnikov in inovativnega programskega krmiljenega hladilnega sistema. Podobno so v podatkovnem središču v Severni Karolini s pomočjo virtualizacije strežnikov in uporabo zunanega zraka za hlajenje zmanjšali porabo električne energije za 50% v primerjavi s podatkovnimi središči podobne velikosti. Posebnost tega podatkovnega središča je tudi, da podpira računalništvo v oblaku, s čimer IBM-ove stranke lahko prihranijo do 70% pri nakupih strojne opreme in do 40% pri skupnih stroških lastništva[69]. V Montpellieru, Francija, je IBM zgradil predstavitevno podatkovno središče, ki dosega UEP 1,5 ter omogoča prikaz nadzora porabe in upravljanje s podatkovnim središčem prek inovativnega nadzornega sistema, ki deluje v realnem času.

Iz primerov vseh treh zgoraj obravnavanih podjetij je vidno, da lahko stroške obratovanja in okoljske vplive podatkovnih središč najbolj zmanjšamo s pomočjo zmanjševanja števila

strežnikov (virtualizacija, konsolidacija), izboljšavami v hladilnem sistemu ter z metodičnim pristopom k zelenemu računalništvu.

2.4.2.2 Druge dobre prakse

2.4.2.2.1 Univerza Bryant

Pred vpeljavo zelenega računalništva je Univerza Bryant vzdrževala 75 strežnikov, ki so večinoma bili zelo slabo izkoriščeni – manj kot 10%. Kmalu se je izkazalo, da ne morejo več zagotavljati prostora, energije in hlajenja za naraščajoče potrebe informacijske tehnologije, zato so se lotili temeljite reorganizacije. S pomočjo podjetja IBM so zasnovali nov sistem, ki temelji na okolju prijaznemu podatkovnemu središču. S pomočjo virtualizacije so zmanjšali število strežnikov iz 75 na 40 energetsko učinkovitih rezinskih strežnikov, kar je univerzi vrnilo 50% prej porabljenega prostora, omogoča pa tudi visoko stopnjo skalabilnosti za zagotavljanje zmogljivosti za vedno večje potrebe. Ocenjujejo, da je zdajšnji sistem do 30% energijsko bolj učinkovit, kar se tiče napajanja in hlajenja[70]. Primer univerze v Bryantu kaže, da lahko z zelenim računalništvom znatno zmanjšamo tudi porabo prostora, ki je v nekaterih primerih lahko pomemben dejavnik pri zasnovi informacijske infrastrukture.

2.4.2.2.2 Pacific Gas and Electric Company (PG&E)

Dobavitelji električne energije se navadno raje izognejo izgradnji novih elektrarn za doseganje povpraševanja odjemalcev, zato imajo lahko pomembno vlogo pri svetovanju in sodelovanju z drugimi organizacijami, ki vpeljujejo koncepte zelenega računalništva v podatkovnih središčih. Interes obeh strani je torej zmanjšanje porabe električne energije pri največjih porabnikih – to so navadno podatkovna središča. Podjetje PG&E je zelo aktivno pri promociji zelenega računalništva in je sodelovalo z več strankami pri zmanjševanju števila strežnikov, razvili pa so tudi poseben način merjenja in zmanjšanja toplote v podatkovnih središčih. Delujejo tudi na raziskovalnih področjih, predvsem na področju hlajenja in dobave električne energije v podatkovna središča, pri čemer aktivno sodelujejo s podjetjem IBM. V svojem pristopu k okolju bolj prijazni informacijski tehnologiji so se osredotočili predvsem na:

- virtualizacijo z namenom zmanjševanja količine strojne opreme pri odjemalcih;
- zamenjavo diskovnih polj s sistemi MAID³⁰, ki lahko znižajo porabo električne energije za 75% ali več;
- zamenjavo starih energijsko potratnih strežnikov z novimi, bolj učinkovitimi;
- izboljšave na področju gretja, ventilacije in hladilnih naprav (HVAC³¹);
- spodbujanje uporabe napajalnikov s certifikatom 80 PLUS;
- spodbujanje uporabe upravljanja napajanja v računalnikih.

S temi ukrepi je PG&E svojim odjemalcem prihranil 10 milijard\$ stroškov in preprečil izpust 125 milijonov ton CO_2 v ozračje[71].

Tudi v primeru PG&E se kaže pomen virtualizacije in hlajenja v podatkovnih središčih, za podatkovna središča, ki operirajo s podatki, do katerih se redko dostopa, pa lahko sistemi MAID pomenijo velike prihranke.

³⁰ Massive Array of Idle Disks – veliko polje nedejavnih diskov, shranjevanje podatkov, do katerih se redko dostopa, na diske, ki so navadno izključeni.

³¹ Heating, Ventilation and Air Conditioning.

2.4.2.2.3 Facebook

Facebook je zanimiv predvsem zaradi svojega podatkovnega središča v Prinevillu, ki dosega UEP 1,07, kar pomeni, da gre za enega izmed najbolj energijsko učinkovitih podatkovnih središč na svetu. Ob načrtovanju so si zadali cilj izgradnje energijsko čim bolj učinkovitega podatkovnega središča ob čim nižji ceni. Ob tem so dosegli 38% višjo učinkovitost za 24% nižjo ceno v primerjavi s primerljivimi podatkovnimi središči. Ta rezultat so dosegli z uporabo pasivnega hlajenja, reorganizacije sistema za napajanje ob izpadih električne energije ter številnimi manjšimi izboljšavami, kot je zmanjšana poraba materialov in bolj učinkovita osvetlitev prostorov. Podatkovno središče v Prinevillu obratuje na temperaturah, ki so višje od ustaljene prakse, kar pa bistveno ne vpliva na življenjsko dobo opreme. Prispevek Facebooka k okolju bolj prijaznemu računalništvu pa je predvsem v tem, da so od aprila 2011 vse specifikacije in podrobnosti tega podatkovnega središča ponudili širši javnosti v obliki iniciative pod imenom Open Compute Project, kar utegne vplivati na celotno industrijo ter širše izboljšati energijsko učinkovitost podatkovnih središč. Vsi podatki o podatkovnem središču v Prinevillu so dosegljivi na spletni strani projekta³².

Navadno so podjetja tehnične podrobnosti doseganja učinkovitosti podatkovnih središč obravnavala kot poslovno skrivnost, zato je poteza Facebooka presenetljiva. Za ugotavljanje pomena in posledic te odločitve za celotno industrijo in zeleno računalništvo je v času pisanja te diplomske naloge še prezgodaj, gre pa vsekakor za iniciativo, ki bi lahko imela dolgoročen in pomemben vpliv. Deljenje znanja s širšo skupnostjo lahko spodbuja inovativnost in stalno izboljševanje praks, kar na koncu prinese koristi tudi podjetjem, ki so znanje delila z javnostjo.

2.4.2.2.4 Oracle

Podjetje Oracle je po prevzemu podjetja Sun Microsystems nadaljevalo z izvajanjem vseh okoljskih projektov, ki so jih izvajali pri Sun Microsystems, ki je kot ponudnik tako strojne kot programske opreme svoj razvoj usmerjal ne samo v okolju bolj prijazna podatkovna središča, temveč tudi na druga področja zelenega računalništva, kot so lahki odjemalci, alternativni viri energije, spremembe v poslovnem procesu itd. Razvoj se še nadaljuje, v tem poglavju pa je Oracle obravnavan predvsem zaradi podjetja Sun Microsystems in njihovega načina zaposlovanja virtualne delovne sile.

Leta 2008 je Sun nudil delo 19.000 virtualnim delavcem, kar je znatno vplivalo tako na stroške podjetja kot na okolje. Zaposleni, ki so polovico delovnega časa, torej dva dni in pol, delali od doma, so privarčevali 1700\$ stroškov za bencin in v povprečju 2,5 tedna za prevoz letno, kar je posledično pomenilo tudi 29.000 ton manj izpustov toplogrednih plinov in 68 milijonov \$stroškov z gradbami in delovnim okoljem[72].

2.4.2.3 Ugotovitve

Iz primerov dobre prakse v tem poglavju je vidno, da je daleč najpomembnejši korak k okolju bolj prijaznemu računalništvu zmanjševanje števila strežnikov ter izboljšanje sistema hlajenja v podatkovnih središčih, kar lahko prinese zelo visoke prihranke. Število strežnikov je mogoče učinkovito zmanjšati na dva načina:

- s pomočjo virtualizacije,
- s konsolidacijo strežnikov.

³²<http://opencompute.org> (prevzeto 1. 5. 2011)

Obenem lahko identificiramo strežnike, ki ne opravljajo koristnih opravil, ter jih izključimo. Stare, energetske potratne strežnike zamenjamo z novimi, energetsko bolj učinkovitimi. Pomembna je tudi učinkovitost sistemov za neprekinjeno napajanje ter učinkovitost računalniških napajalnikov. Kjer je to mogoče, uporabimo napajanja.

Energetsko učinkovita podatkovna središča ne morejo mimo optimizacije hladilnih sistemov. Najnovejše izkušnje iz industrije kažejo, da lahko podatkovna središča brez večjih posledic nemoteno obratujejo na višjih temperaturah, kot so zastavljene v trenutno uveljavljenih praksah. Hlajenje v podatkovnem središču je mogoče racionalizirati z uporabo okoljskih dejavnikov, tako lahko pozimi hladen zrak iz okolja uporabimo za hlajenje opreme, topel zrak, ki pri tem nastaja, pa za ogrevanje pisarn. Ne gre zanemariti tudi majhnih porabnikov, kot je osvetlitev. Smiselno je vpeljati senzorske luči, ki ostajajo prižgane samo, ko je to res potrebno.

Pomnilniške naprave so tudi med večjimi porabniki električne energije, ki omogočajo znatne prihranke. Podatke, do katerih redko dostopamo, lahko premaknemo na pomnilniške nosilce, ki porabljajo manj električne energije, kot so npr. tračni sistemi ali pa sistemi MAID. Podatke, ki se samo berejo, lahko zapisujemo na diske SSD, kar potencialno tudi omogoča zmanjšanje stroškov obratovanja.

Na področju poslovanja je mogoče zmanjšati vpliv na okolje s skrbno izbiro dobaviteljev, ki sledijo uveljavljenim okoljskim standardom. V poslovnem procesu lahko zmanjšamo porabo papirja vsaj na področjih, ki to dopuščajo – npr. uporabniška navodila izdelkov izdamo v elektronski obliki. Velik korak k okolju bolj prijaznemu poslovanju je zaposlovanje virtualnih delavcev, kar lahko prinaša visoke prihranke, vendar tudi zahteva temeljito reorganizacijo poslovnega procesa in spremembo v paradigmi poslovanja. Vračunavanje okoljske cene v izdelke se mogoče sprva zdi ekonomsko neupravičeno, vendar ob primernem oglaševanju lahko prinaša tudi pozitivne dolgoročne rezultate za podjetje.

Pri vpeljavi zelenega računalništva je pomemben tudi metodičen pristop, ki se začne z meritvami in analizo možnosti optimizacije ter nudi objektivno merilo za sledenje napredku, ki ga dosegamo v času same vpeljave.

2.4.3 Pristop k zelenemu računalništvu

Pri pregledu literature sem zasledil več metodičnih pristopov k zelenemu računalništvu. IBM-ov pristop Green Sigma, opisan v poglavju 2.4.2.1.3, predlaga vzpostavitev kazalnikov poslovanja, opravljanje meritev na osnovi teh kazalnikov in stalno spremljanje napredka po izpeljani implementaciji. Pristop je omejen predvsem zaradi tega, ker se pretežno ukvarja z merjenjem kazalnikov, vpeljavo informacijskega sistema za podporo tem meritvam in izdelavo statistike učinkovitosti poslovanja, kar pomeni, da je zasnovan le za prvo fazo analize in meritev, s samo implementacijo in poznejšo oceno uspešnosti vpeljave zelenega računalništva pa se ne ukvarja.

Naslednji pristop, ki je vplival na nastanek opisanega v tem poglavju, je podan v knjigi Johna Lamba, *The Greening of IT* [4], in je razdeljen na 6 korakov:

1. informiranje zaposlenih o načrtu vpeljave zelenega računalništva in določitev odgovorne osebe;
2. konsolidacija in virtualizacija opreme;
3. nabava energetske učinkovitega sistema za hlajenje;
4. opravljanje meritev in optimizacija;

5. implementacija učinkovitih aplikacij in preprečevanje podvajanja podatkov;
6. učinkovita uporaba okoljskih povračil, popustov in finančnih spodbud.

Usmerjen je predvsem k podatkovnim središčem s slabo izkoriščenostjo opreme in neučinkovitim hlajenjem ter ni dovolj splošen, da bi bil zanimiv tudi za širši krog uporabnikov.

Naslednji pristop je opisan v knjigi Lawrencea Webberja in Michaela Wallacea, Green Tech [5]. Razdeljen je v tri faze:

1. identifikacija problema,
2. merjenje problema,
3. zmanjševanje porabe električne energije.

Tudi ta pristop se podobno kot IBM-ov Green Sigma osredotoča predvsem na meritve porabe električne energije ter identifikacijo možnosti za zmanjševanje porabe.

Po pregledu omenjenih nasvetov za implementacijo zelenega računalništva sem v okviru diplomskega dela zasnoval pristop, ki je dovolj splošen, da je zanimiv tudi za širši krog uporabnikov, ne samo za podatkovna središča. Temeljno vodilo pri nastanku pristopa je bilo, da mora temeljiti na meritvah, upoštevati tako možnost zmanjševanja porabe že obstoječe opreme s čim manjšimi stroški kot tudi investicije v novo opremo, po implementaciji pa mora omogočati spremljanje porabe in se hitro odzivati na morebitne nove priložnosti za zmanjšanje stroškov in vplivov na okolje. Pristop mora biti tudi dovolj fleksibilen, kar pomeni, da ga je mogoče prilagoditi različnim okoljem. Spremljanje porabe in odzivanje na nove priložnosti lahko dosežemo, če v podjetje vpeljemo neke vrste iterativni proces, ki stalno spremlja porabo in možnosti izboljšav učinkovitosti poslovanja.

Pristop, ki sem ga zasnoval, temelji na predpostavki, da je za uspešno vpeljavo zelenega računalništva potreben metodičen pristop, ki temelji na meritvah in omogoča sledenje napredka. Informacijska tehnologija in poslovni procesi se od podjetja do podjetja lahko precej razlikujejo, zato je vsak primer vpeljave zelenega računalništva edinstven projekt, ki mora temeljiti na skrbno zasnovanem načrtu in dosega širšo podporo vseh zaposlenih v podjetju, ki jim bo vpeljava spremenila način dela. Ključna je natančnost meritev in popisov, saj lahko veliko manjših korakov, ki sami po sebi znatno ne zmanjšajo stroškov, ostane spregledanih. Čeprav posamično takšni ukrepi bistveno ne prispevajo k zmanjšanju stroškov ali manjšanju vpliva na okolje, pa v kombinaciji z drugimi ukrepi lahko tvorijo pomemben del vpeljave zelenega računalništva v podjetje.

Pristop k implementaciji zelenega računalništva, ki ga predlaga to poglavje, se zaradi boljše preglednosti deli na dve področji – optimizacijo opreme in optimizacijo poslovnih procesov.

2.4.3.1 Optimizacija opreme

Optimizacija opreme je razdeljena na pet korakov:

1. analiza stanja,
2. zmanjševanje števila porabnikov in optimizacija opreme,
3. zamenjava opreme,
4. ocena uspeha,
5. spremljanje porabe in iskanje novih možnosti za optimizacijo.

Za uspešno implementacijo zelenega računalništva na področju opremeje treba temeljito preučiti trenutno stanje ter identificirati možne izboljšave. V fazi analize stanja je treba opraviti popis vse opreme, ki porablja električno energijo ali ustvarja druge stroške, izmeriti točno porabo te opreme ter oceniti strošek, ki ga predstavlja organizaciji. Meritve porabe električne energije računalniške opreme in drugih naprav lahko opravimo z merilniki porabe energije ali programsko opremo. Pri tem je treba določiti časovno obdobje meritev, ki je lahko npr. en mesec, četrletje oziroma poljubno dolgo obdobje, ki odraža realno stanje porabe v organizaciji. Pri identifikaciji možnosti optimizacije je lahko v veliko pomoč statistika meritev, ki jih opravimo v tem obdobju – tako lahko ugotovimo, v katerih obdobjih (npr. zunaj delovnega časa) je poraba energije najnižja in najvišja ter zakaj je temu tako. Podobno lahko opravimo tudi meritve izkoriščenosti strežnikov, kar bo v naslednjem koraku omogočilo virtualizacijo ali konsolidacijo. V podatkovnih središčih posebno pozornost namenimo hlajenju ter opravljamo temperaturne meritve, identificiramo hladnejše in toplejše predele, preučimo zunanje temperature ter možnosti uporabe alternativnih sistemov za hlajenje. Pomembno je, da v koraku analize stanja ne spregledamo najmanjših porabnikov, kot so mrežne naprave ali tiskalniki, postopek pa lahko razširimo tudi na druge porabnike, ki niso del informacijske tehnologije, kot so npr. telefoni, osvetljava, hlajenje in gretje pisarn ipd.

V fazi zmanjševanja števila porabnikov poskušamo optimizirati opremo, ki jo imamo, na osnovi analize iz prvega koraka. V tem koraku sta glavna ukrepa konsolidacija ter virtualizacija strežnikov. Slabo izkoriščene strežnike lahko s pomočjo virtualizacije preselimo na strežnike, ki imajo proste zmogljivosti. Opremo, ki ne opravlja koristnega dela, odstranimo. V računalniški opremi izkoristimo možnosti varčevanja z električno energijo, ko oprema ne opravlja koristnega dela. V podatkovnih središčih lahko povišamo obratovalno temperaturo za takojšen prihranek brez investicij. V tej fazi poskušamo čim bolj racionalizirati in zmanjšati število vseh porabnikov (npr. zmanjšanje števila tiskalnikov, ki jih zamenjamo z manjšim številom mrežnih tiskalnikov), a brez dodatnih večjih investicij v opremo.

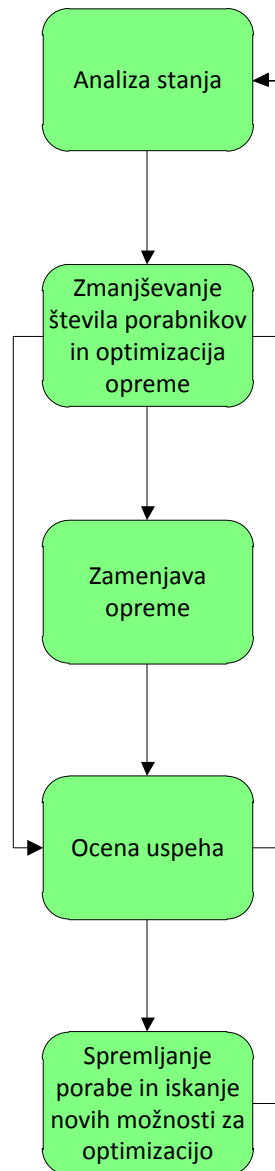
Korak zmanjševanja števila porabnikov lahko že sam po sebi prinaša visoke prihranke brez večjih investicij. Tako v podatkovnih središčih kot v drugih poslovnih okoljih je že s pomočjo enostavnih ukrepov mogoče doseči dobre rezultate. Po uspešno izpeljani fazi se je treba vrniti h koraku analize stanja, znova opraviti meritve ter oceniti uspešnost s konkretnimi in objektivnimi merili. Tokrat v fazi analize posvečamo pozornost možnostim optimizacije, ki vključujejo nabavo nove opreme oziroma investicije v nove sisteme, obenem pa iščemo tudi možnosti optimizacije, ki smo jih mogoče spregledali v prvi iteraciji analize ter jih lahko izpeljemo v vnovični iteraciji faze zmanjševanja števila porabnikov. Če ne nameravamo investirati v novo opremo, lahko preskočimo naslednji korak ter začnemo s fazo ocene uspeha.

V fazi zamenjave opreme se osredotočimo predvsem na nabavo energetske in okoljsko bolj prijaznih in učinkovitih naprav, ki bodo zamenjale stare, manj učinkovite. S to fazo se organizacije srečujejo tudi brez izvedbe prvih dveh korakov – v primeru nabave nove opreme oziroma opremljanja novega oddelka ali ob začetkih poslovanja. V tem primeru se osredotočimo na načrtovanje čim bolj učinkovitega sistema, saj smo prosti okvirov in omejitev, ki jih prinaša stara oprema. Ta včasih ne more biti zamenjana enostavno ali brez investicij, ki presegajo proračun, tako da je v primeru optimizacije obstoječih sistemov potrebno delovanje znotraj danih možnosti. V tem koraku uvedemo tudi nove prakse, kot so centralizacija strežnikov z rezinskimi strežniki, nakup senzorske osvetljave ali nakup bolj učinkovitega hlajenja, ki uporablja hladen zrak iz okolja. Energetske neučinkovite naprave

zamenjamo z bolj učinkovitimi, v kolikor to dopušča delovno okolje (npr. povečanje števila prenosnih računalnikov in zmanjšanje števila energijsko potratnih namiznih računalnikov). Posebno pozornost namenimo dobaviteljem ter izbiramo tiste, ki ponujajo okolju najprijaznejše izdelke, ki ustrezajo vsem veljavnim direktivam. V tej fazi lahko tudi reorganiziramo mrežo dobaviteljev ali se z obstoječimi dogovorimo, da bodo uporabljali okolju bolj prijazne prakse.

Po optimizaciji opreme sledi faza ocene uspeha. V tej fazi opravimo iste meritve ter popise kot v fazi analize stanja ter ocenimo rezultate, ki smo jih dosegli z vpeljavo zelenega računalništva. Če rezultati ne dosegajo zastavljenih ciljev, se lahko spet vrnemo na prvi korak ter ponovimo proces. Zaključeni oceni uspeha vpeljave zelenega računalništva sledi zadnji korak – spremljanje porabe in iskanje novih možnosti za optimizacijo. Pri tem koraku gre pravzaprav za proces, ki bo od tega trenutka dalje stalno del poslovne prakse. Informacijska tehnologija napreduje hitro in na trgu se pojavljajo vedno bolj učinkovite naprave, stroka pa odkriva vedno boljše načine zmanjševanja porabe električne energije ter zmanjševanja stroškov. Novim trendom in ugotovitvam je treba slediti ter jih po potrebi vključiti v ustaljene prakse organizacije. Meritve porabe na daljše obdobje nam omogočajo še bolj učinkovito optimizacijo. Ko ocenimo, da infrastruktura v organizaciji ne dosega več energetske in okoljske učinkovitosti, kot bi jo želeli, se vrnemo k koraku analize stanja ter ponovimo celoten proces.

V tem poglavju opisani pristop k implementaciji zelenega računalništva nudi priporočila tako organizacijam, ki bi rade znižale stroške obratovanja ob čim manjših investicijah, kot tudi organizacijam, ki so pripravljene vlagati v zeleno tehnologijo. Prve se bodo osredotočile predvsem na fazo zmanjševanja števila porabnikov in optimizacije opreme, druge pa na fazo zamenjave opreme. Celoten potek optimizacije opreme je viden tudi na sliki 4.



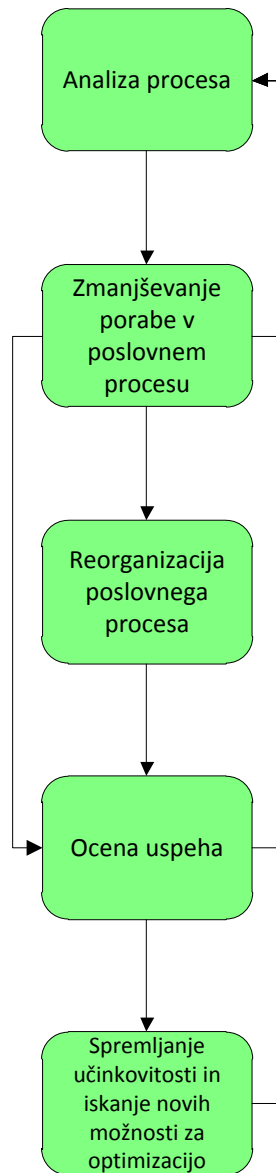
Slika 4: Potek optimizacije opreme med vpeljavo zelenega računalništva.

2.4.3.2 Optimizacija poslovnih procesov

Optimizacijo poslovnih procesov tvorijo sledeči koraki:

1. analiza procesa,
2. zmanjševanje porabe v poslovnem procesu,
3. reorganizacija poslovnega procesa,
4. ocena uspeha,
5. spremljanje učinkovitosti in iskanje novih možnosti za optimizacijo.

Potek postopka je viden na sliki 5.



Slika 5: Potek optimizacije poslovnih procesov.

Postopek optimizacije poslovnih procesov je podoben kot pri optimizaciji opreme. V fazi analize procesa analiziramo stroške in stranske izgube, ki so posledica poslovnega procesa. Poslovni procesi so ponavljajoče se aktivnosti, ki lahko, če niso učinkoviti, prinašajo podjetju visoke nepotrebne stroške in izgube materiala, časa in drugih elementov, ki vstopajo v proces. Bolj učinkovit proces bo dajal iste rezultate, vendar pri potencialno nižjih stroških. V tem koraku merimo porabo vseh elementov, ki vstopajo v poslovni proces. To so lahko človek/ure³³, poraba potrošnega materiala, stroški najema poslovnih prostorov ipd. V poslovnih praksah je veliko načinov za optimizacijo poslovnih procesov, ki so tudi podrobno dokumentirani. Lahko uporabljamo tudi že ustaljene poslovne prakse – bolj učinkovit proces je namreč tudi bolj okolju prijazen proces.

³³ Količina dela, ki ga povprečen delavec opravi v eni uri, brez odmorov. Standardna enota za merjenje predvidenega ali porabljenega napora, potrebnega za uresničitev delovne naloge.

V fazi zmanjševanja porabe v poslovnem procesu zmanjšujemo količine elementov, ki vstopajo v poslovni proces v okviru možnosti, ki smo jih identificirali v fazi analize. Če je poslovni proces dovolj fleksibilen in dopušča spremembe, nadaljujemo z naslednjo fazo – reorganizacijo poslovnega procesa, kjer poslovni proces optimiziramo na način, ki je okolju prijazen. Primer takšne reorganizacije je pretvorba dela delovne sile v virtualno delovno silo, ki bo delala od doma, kar ima za posledice veliko zmanjšanje stroškov na številnih področjih poslovanja kot tudi zmanjšanje okoljskih vplivov.

Podobno kot pri optimizaciji opreme tudi pri optimizaciji poslovnega procesa sledi ocena uspešnosti. Ta mora biti objektivna ter primerjana s podatki, ki so bili zajeti v okviru analize stanja. Ocena uspešnosti pokaže, ali so potrebne še dodatne izboljšave in ali smo dosegli zastavljene cilje.

Po uspešni optimizaciji poslovnega procesa nadaljujemo s spremljanjem njegove učinkovitosti in še naprej iščemo možnosti za izboljšave.

2.4.4 Seznam priporočil za vpeljavo zelenega računalništva

V okviru diplomske naloge sem pregledal literaturo s področja zelenega računalništva ter iz nje zbral postopke in nasvete, ki lahko zmanjšajo vpliv organizacije na okolje, obenem pa tudi pomenijo znižanje stroškov. Ukrepe sem tematsko uredil in razdelil na več področij:

- podaljševanje življenjske dobe izdelkov in nabava opreme,
- uporaba opreme,
- podatkovna središča,
- omrežja,
- poslovni proces.

Ukrepi so zbrani iz različnih virov, večji del pa izhaja iz treh knjig, in sicer:

- Lawrence Webber in Michael Wallace: Green Tech (2009) [5],
- John Lamb: The Greening of IT (2009) [4],
- Toby J. Velte, Anthony T. Velte in Robert Elsenpeter: Green IT [12].

V pomoč pri pripravi seznama so mi bile tudi publikacije svetovalnega podjetja Gartner [1]; [41], članki iz revije IT Professional in drugih publikacij ter različni spletni viri (navedeni v seznamu literature na koncu diplomskega dela). Med pregledovanjem literature sem želel zbrati čim več ukrepov, ki so zanimivi tudi za manjše uporabnike, ukrepe, ki se ukvarjajo s podatkovnimi središči in jih je v literaturi največ, pa sem uvrstil v ločeno poglavje.

Vsak ukrep je za lažjo preglednost označen v dveh kategorijah – vpliv na stroške in vpliv na okolje. Nekatere izmed ukrepov sem ocenil po lastni presoji, nekateri pa temeljijo na podatkih o uspešnosti vpeljave zelenega računalništva iz navedene literature in prejšnjih poglavij tega diplomskega dela, predvsem 2.3 in 2.4.2. V poglavju 2.3 so opisane različne možnosti zmanjševanja vplivov na okolje in zmanjševanja stroškov skupaj z rezultati posameznih ukrepov. Podobno so v poglavju 2.4.2 opisane dobre prakse ter rezultati za podjetja, ki so te dobre prakse implementirala. Na osnovi teh rezultatov so podane tudi ocene ukrepov v tem poglavju.

Možne ocene so:



Rumena: Vpliv je majhen in v manjših organizacijah manj pomemben.



Modra: Vpliv je zmeren in pomemben za organizacije vseh velikosti.



Zelena: Ukrep ima potencialno možnost visokega znižanja stroškov ali obremenitve okolja.

Najvišje prihranke oziroma potencialno najboljši vpliv na okolje imajo ukrepi, označeni z zeleno barvo. V to skupino sem uvrstil ukrepe, ki ne zahtevajo večjih investicij, če pa jih, se te zelo hitro povrnejo. Primer takšnega ukrepa je virtualizacija, ki lahko znatno zniža količino potrebne opreme in s tem tudi občutno zniža stroške (poglavji 2.3.2.2 in 2.4.2). Primer ukrepa, ki ne zahteva dodatnih investicij, je izklapljanje opreme, ki ni v uporabi (poglavje 2.3.3.1). Bolj učinkovito poslovanje je tudi okolju bolj prijazno poslovanje, zato so prakse, ki omogočajo najvišje stopnje učinkovitosti, označene z zeleno barvo tudi v kategoriji vpliva na okolje.

V skupino modro označenih so uvrščeni ukrepi, ki predstavljajo določeno investicijo, ki pa je majhna oziroma se pozneje povrne. Primer takšnega ukrepa je izbira nove opreme na osnovi porabe električne energije (poglavje 2.3.3) – bolj učinkovita oprema lahko predstavlja višjo začetno investicijo, ki pa se v življenjski dobi opreme navadno povrne. V okoljskem smislu so z modro označeni ukrepi, ki na okolje vplivajo manj od najučinkovitejših ukrepov, ki so zbrani v tem seznamu. Tako npr. nadgradnja opreme še vedno zaradi e-odpadkov za okolje predstavlja večje breme kot podaljšanje uporabe obstoječe opreme, oba ukrepa pa sta okoljsko bolj smiselna od popolne zamenjave opreme z novo.

Z rumeno barvo so označeni ukrepi, ki ne prinašajo visokega znižanja stroškov, včasih pa lahko celo pomenijo tudi določeno investicijo. Tako so npr. z okolju prijazno odstranitvijo opreme (recikliranje) povezani tudi določeni stroški. V okoljskem smislu so z rumeno barvo označeni ukrepi, ki se izvajajo nad manjšimi porabniki (npr. tiskalniki, razsvetljava), njihova uspešnost pa je odvisna predvsem od velikosti podjetja in načina implementacije. Ukrepi, ki so označeni z rumeno, niso nepomembni, saj v kombinaciji z drugimi ukrepi lahko postanejo pomemben del vpeljave zelenega računalništva.

V nadaljevanju sledi seznam ukrepov, urejen po tematskih poglavjih.

2.4.4.1 Podaljševanje življenjske dobe izdelkov in nabava opreme

Ukrep: *Podaljšanje obdobja uporabe opreme, če zamenjava ni nujna.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Podaljšanje obdobja uporabe opreme ima za posledico manjšo količino e-odpadkov, ki so posledica poslovanja, podjetje pa z ukrepom nima stroškov.

Razlaga ocene: Podjetje se z implementacijo ukrepa izogne stroškom investicije v novo opremo. V okoljskem smislu ukrep pomeni manj e-odpadkov.

Ukrep: *Nadgradnja obstoječe opreme kot alternativa nakupu.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Manjša količina e-odpadkov kot pri popolni zamenjavi opreme, boljša izkoriščenost obstoječe opreme in s tem povišana donosnost naložbe (ROI) ter manjši stroški ob nakupu v primerjavi z zamenjavo opreme. Pri nadgradnji je treba upoštevati tudi energetska učinkovitost komponent.

Razlaga ocene: Stroški investicije so nižji kot pri popolni zamenjavi opreme za novo, vendar še vedno višji, kot če opremo obdržimo. V okoljskem smislu ukrep pomeni manj e-odpadkov od popolne zamenjave opreme, vendar več od prejšnjega ukrepa.

Ukrep: *Donacija, prodaja ali recikliranje odslužene opreme.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Okolju prijazna obravnava odsluženih izdelkov ne pomeni samo manjšega bremena za okolje, temveč v nekaterih primerih tudi povrnitev dela stroškov, npr. ob prodaji odslužene opreme ali sodelovanju v proizvajalčevih programih staro za novo ipd. Včasih lahko pravilna odstranitev opreme pomeni tudi dodatne stroške za podjetje.

Razlaga ocene: Za okolje neobremenjujoča odstranitev odslužene opreme včasih lahko prinaša dodatne stroške. V okoljskem smislu ukrep pomeni manj e-odpadkov zaradi podaljšanja služnosti opreme, v primeru recikliranja pa okolju prijazno odstranitev.

Ukrep: *Nakup čim bolj učinkovite opreme za nalogo, ki jo bo opravljala.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Slaba izkoriščenost opreme pomeni večje stroške investicije in obratovanja za enake rezultate. Učinkovita oprema je okolju prijazna oprema. Razmislimo tudi o načinih čim boljše izrabe investicije, npr. združitve dveh strežnikov s predvideno obremenjenostjo 40% v en sam strežnik. Opreme, ki je ne potrebujemo, ne kupujemo – npr. uporabimo integrirano grafično kartico namesto ločene, veliko bolj potratne kartice.

Razlaga ocene: Začetna investicija v nakup učinkovite opreme je nižja kot investicija v opremo, ki je za delo, ki ga opravlja, preveč zmogljiva. Poleg tega v dobi koristnosti taka oprema pomeni tudi nižje stroške obratovanja. Učinkovita oprema je tudi okolju bolj prijazna oprema, saj navadno porabi manj energije za opravljanje iste naloge.

Ukrep: *Izbira opreme na osnovi porabe električne energije.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Učinkovita oprema je lahko včasih dražja, zato je o povrnitvi investicije treba razmisliti tudi z ekonomskega stališča. Pri nakupu nove opreme lahko upoštevamo veljavne standarde, kot je Energy Star. V to kategorijo spada nakup učinkovitih napajalnikov, zamenjava morebitnih zaslonov CRT z LCD, uporaba diskov SSD v prenosnikih ali namiznih računalnikih, učinkovitih procesorjev, pomnilnikov itd. Obenem lahko razmislimo tudi o zamenjavi pristopa k opremi in spremenimo del namiznih računalnikov v energijsko bolj

varčne prenosne ali pa gremo še korak dlje in razmislimo o lahkih odjemalcih, računalništvu v oblaku ali storitveno usmerjeni arhitekturi.

Razlaga ocene: Nakup učinkovite opreme lahko predstavlja višjo začetno investicijo od manj učinkovite. Prihranki so v tem primeru odvisni predvsem od dobe koristnosti. V okoljskem smislu ukrep pomeni manjšo porabo energije, ki je pri določenih tipih opreme tudi precej velika.

Ukrep: *Izbira opreme na osnovi življenjske dobe opreme.*


Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Podaljšanje življenjske dobe je pomembno predvsem za naloge, ki ne bodo s časom stopnjevale zahtevnosti in potreb po bolj zmogljivi opremi. V takšnem primeru je investicija v opremo z daljšo življenjsko dobo ob slabem načrtovanju tudi potratna. Če predvidevamo povečanje potrebe po virih, je treba zasnovati skalabilen sistem, katerega zmogljivosti ni težko nadgraditi. Za nezahtevno opremo, kot so tiskalniki in pisarniški računalniki, razmislimo o nakupu podaljšane garancije.

Razlaga ocene: Investicija v opremo z dolgo življenjsko dobo, ki jo bomo koristili kratek čas, je lahko potratna. Če se pojavi zahteva po bolj zmogljivi opremi in opremo zamenjamo, je bila taka investicija v smislu stroškov neupravičena, prav tako pa lahko pomeni tudi večje breme za okolje zaradi večje količine e-odpadkov.

2.4.4.2 Uporaba opreme



Ukrep: *Sprejetje obvezne politike uporabe upravljanja napajanja na opremi, ki to dopušča.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Uporaba upravljanja napajanja pri vseh napravah, ki to dopuščajo, je enostaven ukrep, ki ne povzroči dodatnih stroškov ter lahko za podjetje predstavlja občutno znižanje stroškov. Raziskave kažejo, da je računalniška oprema večino časa neaktivna in ne opravlja koristnega dela, torej je vsa energija, ki se pri tem porablja, izgubljena energija, ki ne prinaša nobenih koristi.

Razlaga ocene: Podjetje z vpeljavo ukrepa nima posebnih stroškov. Potencialni prihranki so visoki, znižana poraba električne energije pa pomeni pozitiven vpliv na okolje.

Ukrep: *Izklapljanje opreme, ki ni v uporabi.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Podobno kot obvezna uporaba upravljanja napajanja je tudi izklapljanje opreme, ki ni v uporabi, praksa, ki omogoča visoke prihranke brez kakršnekoli investicije. Dobra praksa je, da se zjutraj, ko delavci prihajajo na delo, ne vklaplja vsa oprema, temveč samo naprave, ki se dejansko potrebujejo. Ko niso več potrebne, se jih izključi, npr. med malico. Po koncu delovnega dne je treba ugasniti vse naprave, razen tistih, ki opravljajo pomembna opravila. Dobra praksa je lahko, da je za vsak računalnik, ki ostane prižgan po koncu delovnega časa, potrebna odobritev nadrejenega.

Razlaga ocene: Podjetje z vpeljavo ukrepa nima posebnih stroškov. Potencialni prihranki so visoki, znižana poraba električne energije pa pomeni pozitiven vpliv na okolje.

Ukrep: *Uporaba programske opreme za zmanjševanje porabe električne energije strojne opreme.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Vedno več proizvajalcev strojne opreme izdelkom prilaga tudi programsko opremo, ki zniža porabo električne energije. Tako npr. obstajajo nadzorni programi, ki prilagajajo hitrost procesorjev in grafičnih kartic glede na trenutne zahteve. Uporaba takšne programske opreme ne pomeni dodatnih stroškov ter ne oslabi zmogljivosti opreme.

Razlaga ocene: Podjetje z vpeljavo ukrepa nima posebnih stroškov. Zmanjšanje porabe električne energije je variabilno. Pri dobro izkoriščenih sistemih so prihranki majhni.



Ukrep: *Odstranitev ohranjevalnikov zaslona.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Ohranjevalniki zaslona trošijo električno energijo in so popolnoma nepotrebni. Boljša praksa je izklapljanje zaslonov oziroma uporaba upravljanja napajanja.

Razlaga ocene: Podjetje z vpeljavo ukrepa nima posebnih stroškov. Potencialni prihranki in vplivi na okolje so majhni.



Ukrep: *Zmanjšanje števila tiskalnikov.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Število tiskalnikov zmanjšamo ter jih nadomestimo z manjšim številom mrežnih tiskalnikov, ki naj ne bodo v istem prostoru, kjer so zaposleni. Če bo zaposleni moral vstati in oditi do tiskalnika v drugo sobo, da dobi natisnjeno dokumentacijo, bo to zmanjšalo količino natisnjenih strani, porabo papirja in s tiskanjem povezanih stroškov.

Razlaga ocene: Nakup nove opreme ni potreben, uporabimo lahko obstoječe tiskalnike. Potencialni prihranki in vplivi na okolje so majhni, saj so tiskalniki majhni porabniki električne energije. Število natisnjenih strani bo po vpeljavi ukrepa verjetno podobno, kar bistveno ne zmanjša vpliva na okolje.

Ukrep: *Virtualizacija in konsolidacija strežnikov.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Virtualizacija in konsolidacija strežnikov lahko tudi v manjših okoljih prinašata visoke prihranke. Gre za najpomembnejši korak k zelenemu računalništvu, ki ga ne sme spregledati nobena organizacija, naj gre za majhen IT-oddelek ali pa za celotno podatkovno središče. Virtualiziranje in konsolidacija lahko ob začetku vpeljave predstavljata višjo investicijo, zaradi nakupa dodatne opreme ali licenc, vendar se investicija v večini primerov hitro povrne.

Razlaga ocene: Gre za najpomembnejši ukrep, ki ga lahko uvede podjetje ob vpeljavi zelenega računalništva. V določenih primerih ukrep tudi ne pomeni dodatnih investicij, prihranki električne energije pa so visoki, kar je tudi dobro za okolje.

Ukrep: *Preprečevanje podvajanja podatkov.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Omejevanje količine nepotrebnih podatkov pomeni manjšo porabo prostora, manjše število pomnilniških enot in s tem tudi manjšo porabo električne energije. Ob tem ne smemo sprejemati kompromisov na račun varnosti podatkov.

Razlaga ocene: Vpliv na stroške in okolje je predvsem odvisen od količine podvojenih podatkov in učinkovitosti sistema za hranjenje podatkov (poglavje 2.3.3.5).

Ukrep: *Storitveno usmerjena arhitektura.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: S pomočjo vpeljave storitveno usmerjene arhitekture lahko dinamično dodelimo vire ter optimiziramo obremenitev strežnikov in aplikacij, kar nadalje omogoča še dodatne izboljšave v organizaciji opreme.

Razlaga ocene: Storitveno usmerjena arhitektura lahko pomeni visoko investicijo, obenem pa ponuja možnost znatnega znižanja stroškov in vplivov na okolje (poglavje 2.3.2.4).

2.4.4.3 Podatkovna središča

Ukrep: *Virtualizacija in konsolidacija strežnikov.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Je najpomembnejši korak pri vpeljavi zelenega računalništva v podatkovno središče. S pomočjo virtualizacije in konsolidacije strežnikov je mogoče občutno znižati njihovo število, zmanjšati porabo električne energije, stroške hlajenja in vzdrževanja opreme itd. Praviloma strežnike centraliziramo, najpogosteje z uporabo rezinskih strežnikov. Poleg virtualizacije strežnikov lahko virtualiziramo tudi mreže, podatkovne naprave in odjemalce.

Razlaga ocene: Enaki razlogi kot pri ukrepu virtualizacije in konsolidacije v poglavju 2.4.4.2.

Ukrep: *Visoko učinkoviti napajalniki in sistemi za neprekinjeno napajanje.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Izgube pri pretvorbah energije v podatkovnih središčih niso tako visoke kot pri neučinkoviti izrabi zmogljivosti strežnikov ali neučinkovitem hlajenju, vendar niso zanemarljive. Visoko učinkoviti napajalniki lahko v podatkovnem središču stroške energije in hlajenja zmanjšajo za do 15%. Pomembni so tudi sistemi neprekinjenega napajanja, posebno če so pogosto v uporabi.

Razlaga ocene: Napajanje in sistemi za neprekinjeno napajanje predstavljajo skupaj 11% porabe električne energije v podatkovnem središču [4]. Prihranki in vpliv na okolje so torej manjši kot v primeru zmanjševanja števila strežnikov, ki predstavljajo kar 48% porabe.

Ukrep: *Povišanje mrežne napetosti, na kateri deluje oprema.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Manjše izgube pri pretvorbi električne energije.

Razlaga ocene: Napajanje predstavlja 3% porabe električne energije v podatkovnem središču [4]. Razlogi za oceno so podobni kot pri prejšnjem ukrepu.

Ukrep: *Izboljšanje učinkovitosti hlajenja podatkovnega središča.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Poleg zmanjševanja števila strežnikov je izboljšanje učinkovitosti hlajenja en izmed dveh najpomembnejših pristopov k okolju prijaznemu podatkovnemu središču. Za doseganje tega cilja je mogočih več načinov, med drugim:

- ventilacija s prilagodljivo hitrostjo vrtenja, glede na potrebe;
- zatesnitev zgradbe, da hladen zrak ne uhaja, kar povzroča energetske izgube;
- optimizacija pretoka zraka, ki temelji na temperaturnih meritvah različnih območij podatkovnega središča;
- uporaba hladnega okoljskega zraka za hlajenje pozimi ter uporaba toplega zraka, ki je posledica segrevanja opreme v podatkovnem središču, za ogrevanje pisarniških in drugih prostorov;
- naprave za hlajenje blizu izvorov toplote za zmanjšanje izgub;
- zatemnitev morebitnih oken v podatkovnem središču, da sončna svetloba dodatno ogreva podatkovnega središča;
- selitev opreme v kletne prostore, kjer je nižja temperatura.

Razlaga ocene: Hlajenje predstavlja 22% porabe električne energije v podatkovnem središču [4]. Možnosti za zmanjšanje stroškov in vplivov na okolje so visoke.

Ukrep: *Višje obratovalne temperature podatkovnega središča.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Zadnje prakse iz industrije kažejo, da lahko brez kakršnihkoli posledic za opremo podatkovna središča obratujejo tudi na višji temperaturi, kot je običajna praksa v povprečnih podatkovnih središčih. Možnost visokih prihrankov brez dodatnih investicij.

Razlaga ocene: Ukrep ni tako učinkovit kot prejšnji, vendar omogoča opazno znižanje stroškov.

Ukrep: *Sistem za upravljanje z energijo.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Sistem za upravljanje z energijo, ki v realnem času prikazuje porabo energije ter omogoča grajenje statistike, lahko uporabimo za optimizacijo opreme na osnovi ugotovitev, ki jih pridobimo iz te statistike. Prihranki in zmanjšanje vplivov na okolje so predvsem odvisni od uporabe teh podatkov.

Razlaga ocene: Možnosti za izboljšave, ki jih ponuja sistem za upravljanje z energijo, so po izkušnjah implementacije zelenega računalništva IBM v podjetjih visoke. Nižja poraba energije pomeni tudi izboljšanje vpliva na okolje [4].

Ukrep: *Izklop mrtvih in nekoristnih strežnikov.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Izklop mrtvih in nekoristnih strežnikov ne prinaša dodatnih stroškov ter omogoča znižanje porabe električne energije. Učinkovitost ukrepa je odvisna od števila nekoristnih strežnikov.

Razlaga ocene: Ukrep za podjetje ne pomeni dodatnih stroškov. Vplivi na stroške in okolje so odvisni od števila neizrabljene opreme, ki je še vedno v obratovanju.

Ukrep: *Programska optimizacija strežnikov.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Odstranjevanje nekoristne ali optimizacija potratne programske opreme na strežnikih. Manjša izkoriščenost kapacitet pomeni tako manjšo porabo električne energije kot večje možnosti konsolidacije in virtualizacije, kar lahko dosežemo že z majhnim investicijami.

Razlaga ocene: Ukrep ne pomeni dodatnih stroškov za podjetje. Potencialni prihranki so nižji od drugih ukrepov, obravnavanih v tem poglavju.

Ukrep: *Optimizacija hranjenja podatkov, do katerih se redko dostopa.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Uporaba MAID ali tračnih sistemov za hranjenje podatkov, do katerih se redko dostopa. V primeru neobstoječe infrastrukture je za ta ukreppotrebna investicija. Z ukrepom ne smemo zmanjšati zmogljivosti ali odzivnosti sistema.

Razlaga ocene: Ukrep lahko pomeni dodatno investicijo, vendar omogoča občutno znižanje stroškov. Učinkovitost ukrepa je odvisnapredvsem od tipa in količine podatkov ter pogostosti dostopanja do njih.

Ukrep: *Uporaba najnovejše in najučinkovitejše opreme.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Visoko učinkovita in najsodobnejša oprema pomeni visoko investicijo. Ukrep je bolj pomemben pri grajenju novih ali selitvi obstoječih podatkovnih središč. Do neke mere se datudi v obstoječem podatkovnem središču investirati v novo, bolj učinkovito opremo, da se nam investicija povrne.

Razlaga ocene: Investicija v najučinkovitejšo opremo je visoka. Vpliv na stroške in okolje je potencialno visok, posebno pri največjih porabnikih (strežniki, hlajenje, neprekinjeno napajanje).

Ukrep: *Izboljšanje sistema hranjenja podatkov.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Vpeljava SAN in zmanjševanje redundantnih podatkov (vendar ne za ceno zmogljivosti) pomenita tudi manjše število diskov in s tem manjšo porabo električne energije ter boljšo izkoriščenost opreme. V primeru neobstoječe infrastrukture so potrebne dodatne investicije. Izboljšave so možne tudi z uporabo večjih diskov, kar zmanjša skupno število pomnilniških naprav.

Razlaga ocene: Včasih so za optimizacijo sistema za hranjenje podatkov potrebne investicije. Vpliv na stroške in okolje je potencialno visok, posebno pri optimizaciji neučinkovitih sistemov.

Ukrep: *Izboljšanje razsvetljave.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Zamenjava luči s senzorskimi, ki so prižgane samo, ko je nekdo dejansko v podatkovnem središču. Primeri iz prakse kažejo, da pride do povrnitve investicije lahko že v 3 mesecih od vpeljave senzorskih luči.

Razlaga ocene: Investicija je potrebna, a se hitro povrne. Razsvetljava v podatkovnih središčih predstavlja 3% porabe vse električne energije, kar je enak delež kot napajanje [4]. Možnosti za zmanjšanje porabe električne energije so torej pomembne.


Ukrep: *Proizvajanje lastne električne energije.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Proizvajanje čiste energije za lastne potrebe je zanimivo predvsem za velike porabnike. Gre za visoke investicije, ki so lahko donosne na dolgi rok.

Razlaga ocene: Ukrep pomeni visoke investicije, za katere ni nujno, da se povrnejo, je pa med okolju bolj prijaznimi.

Ukrep: *Računalništvo v oblaku in storitveno usmerjena arhitektura.*


Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Računalništvo v oblaku in storitveno usmerjena arhitektura nudita zaradi svoje zasnove velik potencial za zmanjšanje porabe električne energije, boljšo izkoriščenost zmogljivosti, deljenja stroškov električne energije z drugimi porabniki ter najema arhitekture v krajih, kjer je energija cenejša. Investicija v obe tehnologiji je visoka, vendar potencialno prinaša tudi visoke prihranke.

Razlaga ocene: Investicija je visoka, a se lahko kmalu povrne v obliki nižjih stroškov. Vpliv na okolje je potencialno visok (poglavje 2.3.2.4).

2.4.4.4 Omrežja



Ukrep: *Izklop nepotrebne opreme.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Izklop nepotrebne mrežne opreme lahko, odvisno od količine takšne opreme, prinaša tudi večje prihranke brez dodatnih investicij.

Razlaga ocene: Podjetje z ukrepom nima dodatnih stroškov. Odvisno od količine opreme in tipa dejavnosti, je vpliv na okolje in stroške lahko znaten.

Ukrep: *Konsolidacija malih mrežnih stikal in usmerjevalnikov v večje.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Centralizacija in konsolidacija tudi v primeru mrežne opreme lahko pomeni zmanjšanje stroškov.

Razlaga ocene: Ukrep lahko pomeni dodatne investicije v novo, bolj zmogljivo opremo, ki bo zamenjala obstoječo. Prihranki in vpliv na okolje so predvsem odvisni od obstoječe infrastrukture.



Ukrep: *Prehod na 100 Mbps ethernet.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: 1Gbps porabi približno 2W na vhod več od povezave 100Mbps. Pri velikem številu računalnikov obstaja tudi na tem področju možnost znižanja stroškov, če je za normalno delo počasnejša povezava dovolj ustrezna.

Razlaga ocene: Investicija v najučinkovitejšo opremo je visoka. Vpliv na okolje je potencialno visok, posebno pri največjih porabnikih (strežniki, hlajenje, neprekinjeno napajanje).

Ukrep: *Napajanje prek mrežnega kabla (angl. power over ethernet).*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Predvsem za manjše naprave, kot so mrežna oprema, lahki odjemalci in IP-telefoni, je napajanje prek mrežnega kabla energetsko bolj učinkovito in omogoča tudi naprednejše možnosti upravljanja napajanja.

Razlaga ocene: Ukrep lahko pomeni dodatne investicije v novo opremo. Potencialni prihranki so v primerjavi z drugimi ukrepi, opisanimi v tem poglavju, nizki in primerljivi s prejšnjim ukrepom.

2.4.4.5 Poslovni proces



Ukrep: *Izbira okolju prijaznih dobaviteljev in poslovnih partnerjev.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Zelena politika organizacije se lahko odraža tudi v izbiri dobaviteljev in poslovnih partnerjev, ki izvajajo okolju prijazne poslovne prakse. Vpliv na okolje s takšno politiko je velik, saj usmerja širšo industrijo k bolj okolju prijaznim praksam.

Razlaga ocene: Okolju prijazni dobavitelji so lahko dražji, ukrep pa ne zniža stroškov poslovanja. Sam ukrep pomeni veliko možnost za vpliv na okolje, saj spreminja tudi poslovanje poslovnih partnerjev in ne samo našega podjetja.

Ukrep: *Vračunavanje okoljske cene v ceno izdelka.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Družbeno odgovorno poslovanje sestavlja tudi popravljane neizogibne škode, ki jo organizacija povzroča s svojim poslovanjem. Ena od rešitev problema je vračunavanje okoljske cene v ceno izdelka ter z na ta način pridobljenimi sredstvi financiranje okoljskih projektov.

Razlaga ocene: Ukrep za podjetje ne pomeni znižanja stroškov, temveč do neke mere tudi njihovo povišanje oziroma višanje cene izdelkov, ki jih prodajajo. Vpliv na okolje je potencialno velik.

Ukrep: *Zmanjšanje porabe papirja, uvedba sistema za upravljanje z elektronsko dokumentacijo.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Digitalizacija dokumentacije poleg očitnih prednosti, kot so npr. krajši dostopni čas do dokumentov, iskanje po dokumentih ali indeksiranje, pomeni tudi zmanjšanje stroškov s papirjem, tiskalniki in povezanimi stroški (npr. kartuše in tonerji). Za okolje to pomeni manj e-odpadkov in manjšo porabo papirja. V poslovnem procesu, če se le da, uporabljamo recikliran papir, tiskamo in fizično arhiviramo pa samo najpomembnejše dokumente. E-odpadke, povezane s tiskanjem, pošiljamo v recikliranje, v poslovnem procesu pa lahko uporabljamo reciklirane ali znova napolnjene kartuše in tonerje.

Razlaga ocene: V primerjavi z drugimi ukrepi v tem poglavju lahko zmanjšanje porabe papirja pomeni znatno znižanje stroškov, predvsem zaradi opreme in potrošnega materiala, kot so kartuše in tonerji. Vpliv na okolje zaradi manjše porabe papirja in manjše količine e-odpadkov ni zanemarljiv.

Ukrep: *Standardizacija poslovnih procesov.*

Vpliv na stroške:  Vpliv na okolje: 

Rezultat: Standardizacija poslovnih procesov pomeni lažje sledenje in nadzor nad porabo potrošnih materialov in drugih virov, ki vstopajo v poslovni proces, kar omogoča optimizacijo in posledično okolju bolj prijazno poslovanje z manjšimi stroški.

Razlaga ocene: Standardizacija poslovnih procesov za podjetje lahko pomeni tudi dodatne stroške (npr. stroški certifikatov). Vpliv na okolje je potencialno visok, vendar posreden. Standardizirani poslovni procesi morajo biti okoljsko učinkoviti, kar je pa predvsem odvisno od standarda samega.

Ukrep: *Centralna zbiralna točka za recikliranje.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: v podjetju uvedemo točko, kjer se zbira in ločuje vse e-odpadke (in druge stranske produkte poslovanja). Koristno opremo ločimo ter doniramo ali prodamo, drugo pa pošljemo v recikliranje, če je to mogoče.

Razlaga ocene: Uvedba centralne zbiralne točke za recikliranje lahko pomeni dodatne stroške za podjetje, vendar je okolju prijazna.

Ukrep: *Zaposlovanje virtualnih delavcev.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Zaposlovanje virtualnih delavcev lahko pomeni visoko znižanje stroškov dela, prav tako pa zelo zmanjša vplive na okolje zaradi dnevnih migracij. Ukrep zahteva temeljito reorganizacijo načina poslovanja. Lahko sprejmemo tudi kompromis ter najamemo delavce, ki bodo nekaj dni v tednu delali od doma, nekaj dni pa v prostorih organizacije.

Razlaga ocene: Ob dobri organizaciji lahko vpeljava virtualne delovne sile v podjetje pomeni zelo visoke prihranke ob minimalnih stroških. Vpliv na okolje je največji med ukrepi v tem poglavju (poglavje 2.3.4.3).

Ukrep: *Zmanjšanje števila potovanj s pomočjo videokonferenc.*

Vpliv na stroške: Vpliv na okolje:



Rezultat: Podobno kot zaposlovanje virtualne delovne sile lahko uporaba videokonferenc za namene poslovnih sestankov zmanjša stroške potovanj, obenem pa ne potrebuje večje investicije.

Razlaga ocene: Podobno kot pri prejšnjem ukrepu so potencialni prihranki visoki ob minimalnih stroških. Vpliv na okolje je visok.

2.4.4.6 Omejitve ocen

Seznam, ki je bil podan v prejšnjih poglavjih, služi predvsem hitremu pregledu nad postopki implementacije zelenega računalništva. Namen tega seznama ni kvalitativno kategoriziranje ukrepov po možnostih prihrankov za podjetja ali potencialnih vplivih na okolje, temveč predvsem to, da so ukrepi iz različnih virov zbrani na enem mestu ter urejeni v poglavja.

Ocena vpliva posameznega ukrepa je lahko odvisna od obsega vpeljave zelenega računalništva – tako npr. za podjetje s 1000 računalniki zamenjava procesorjev z varčnejšimi pomeni merljive in pomembne prihranke, v podjetju s 5 računalniki, pa so možni prihranki veliko manjši. Ocene vplivov ukrepov v prejšnjih poglavjih so torej podane kot orientacijsko vodilo in ukrepov ne kategorizirajo vrednostno. Realno pričakovanje vpliva na stroške ali okolje je odvisno od organizacije do organizacije ter načina implementacije ukrepa. Prav tako ne moremo medsebojno primerjati nesorodnih ukrepov na osnovi podanih ocen. Če sta

vpeljava centralne zbiralne točke za recikliranje in virtualizacija obe ocenjeni z zeleno barvo, to še ne pomeni, da tudi prinašata enakovredne prihranke ali podobno zmanjšujeta vplive poslovanja na okolje.

2.4.5 Možnost uporabe principov zelenega računalništva v malih podjetjih in ocenjevanje smiselnosti vpeljave zelenega računalništva

Zeleno računalništvo ni zanimivo samo za podatkovna središča, temveč tudi za manjše porabnike, ki lahko že z minimalnimi investicijami, včasih pa celo brez, dosežajo tudi visoke prihranke pri porabi električne energije in drugih sredstvih. Za uspeh uvedbe zelenega računalništva je ključna zavest, da se majhni stroški seštevajo in tvorijo velike stroške, veliki stroški neučinkovitega poslovnega procesa pa lahko pomenijo tudi velike izgube za organizacijo, ki bi sicer z manjšimi sredstvi lahko dosegala iste učinke.

Mali porabniki se ne bodo ukvarjali s problemi hlajenja in porabo električne energije v podatkovnih središčih, vendar lahko veliko prihranijo tudi pri manjšem številu strežnikov s pomočjo virtualizacije in konsolidacije. Prav tako so veliki prihranki možni že z relativno enostavnimi in poceni ukrepi, kot je uporaba upravljanja napajanja ali izklapljanja računalniške opreme, ko ta ni v uporabi. Prav tako je za male porabnike zanimivo tudi podaljševanje življenjske dobe opreme in vprašanje nabave bolj učinkovite opreme, ko se za to pojavi potreba. Mali porabniki prav tako s pridom lahko uporabijo nasvete za reorganizacijo poslovnih procesov in tako v podjetje uvedejo npr. virtualno delovno silo. Prav tu je prednost malih organizacij in podjetij, saj so velike in zahtevne spremembe lažje izpeljane v organizaciji manjšega obsega.

Iz prejšnjih poglavij, posebno pa iz poglavja 2.4.2, je jasno razvidno, da je vpeljava zelenih konceptov v računalniške tehnologije smiselna in koristna. Določene prakse, kot je npr. računalništvo v oblaku, lahko predstavljajo veliko investicijo in danes še niso izkoriščene do svojega polnega potenciala, vendar obstaja cel kup ukrepov, ki ob minimalnih investicijah prinašajo podjetju prepotrebne prihranke pri porabi energije in materialov v svojih poslovnih procesih. Od vsakega posameznega primera pa je odvisno, kateri predlagani ukrepi so najbolj primerni in kateri ekonomsko upravičeni.

3 Sklep

To diplomsko delo je predstavilo področje zelenega računalništva od definicije do praktičnih nasvetov za vpeljavo konceptov okolju prijaznih tehnologij v organizacije. V zadnjih poglavjih je bil predlagan metodičen pristop za vpeljavo okolju prijaznega računalništva v petih korakih, sledil pa je seznam priporočil, ki bodo v pomoč organizacijam pri dejanski implementaciji konceptov.

Zeleno računalništvo je novo področje informatike in je še vedno v razvoju. Prav v času pisanja te diplomske naloge so se pojavile nove ugotovitve na področju in iniciative v industriji, ki lahko znatno vplivajo na klasičen pristop k informacijskim tehnologijam. Industrija deli najboljše prakse in znanje s konkurenco in skupaj podjetja dosegajo vedno boljše rezultate na osnovi okolju prijaznih podatkovnih središč.

Problem zelenega računalništva je v tem, da je ciljna publika vodstveni kader v podjetjih, zato se tudi večina literature raje ukvarja z ekonomskimi in širšimi družbenimi vprašanji kot s tehnologijo, vendar se tudi to počasi spreminja – zeleno računalništvo počasi, a zanesljivo prodira na vsa področja panoge, tudi na tista, s katerimi se informatika tradicionalno ni ukvarjala.

Na začetku pojava trenda so se raziskovalni in delovni projekti usmerjali predvsem k učinkovitosti porabe električne energije in problemom hlajenja v podatkovnih središčih. Danes koncepti zelenega računalništva prodirajo že v običajne poslovne prakse, tudi do ravni poslovnih procesov, ter nudijo praktične rešitve, ki lahko razbremenijo okolje, podjetjem pa znižajo stroške.

S pojavom vedno novih in strožjih zakonskih zahtev ter iniciativ v industriji tudi mala podjetja ne bodo več mogla ignorirati okoljske komponente poslovanja, če bodo želela ostati konkurenčna. V okolju prijaznem poslovanju se podjetjem nudijo nove možnosti za razvoj in inovacije, ki so lahko strateškega pomena.

Zeleno računalništvo se za zdaj še vedno ukvarja samo s seboj – torej izboljšuje okoljsko prijaznost in učinkovitost informacijske tehnologije. Priložnosti za nadaljnji razvoj in raziskave so tudi v razširitvi na druga področja ter uporabi informacijske tehnologije pri doseganju zelenih ciljev na drugih področjih. Če je danes vprašanje »Kaj lahko naredim, da bo moj računalnik okolju prijazen?«, bo jutri vprašanje »Kaj lahko naredim z računalnikom, da bo moje podjetje okolju prijazno?«. Prav lahko se zgodi, da bo računalništvo imelo ključno vlogo pri reševanju okoljskega problema, s katerim se danes soočamo.

Kazalo slik

Slika 1: Simbol WEEE	7
Slika 2: ENERGY STAR logotip	9
Slika 3: Graf ocen možnih prihrankov električne energije v obdobju od 2008 do 2013	18
Slika 4: Potek optimizacije opreme med vpeljavo zelenega računalništva.....	33
Slika 5: Potek optimizacije poslovnih procesov.	34

Kazalo tabel

Tabela 1: Izraba zmogljivosti strežnikov.	12
Tabela 2: Učinkovitosti neredundantnih napajalnikov za uporabo v namiznih računalnikih, delovnih postajah in strežnikih.....	17

Literatura

- [1] Gartner, Inc. (2007, marec) Green IT: The New Industry Shockwave; predstavitev na simpoziju/ITXPO konferenci. [Online].
http://www.ictliteracy.info/rf.pdf/Gartner_on_Green_IT.pdf
- [2] Gartner, Inc. (2009, oktober) Gartner, Inc. [Online].
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=1210613>
- [3] A. Bartels, E. Daley, and M. Ashour, "Global IT Market Outlook: 2009," 2009.
- [4] John Lamb, *The Greening of IT*. New Jersey: IBM Press, 2009.
- [5] Lawrence Webber and Michael Wallace, *Green Tech*. New York: AMACOM, 2009.
- [6] San Murugesan, "Harnessing Green IT: Principles and Practices," *IT Professional*, pp. 24-33, 2008.
- [7] Robert Harmon, Haluk Demirkan, Nora Auseklis, and Marisa Reinoso, "From Green Computing to Sustainable IT: Developing a Sustainable Service Orientation," *2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1-10, 2010.
- [8] Gartner, Inc. (2007, oktober) Gartner, Inc. [Online].
<http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=530109>
- [9] OECD, "Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment," 2009.
- [10] Info-Tech Research Group, "Info-Tech's Green Index: How Green Are You?," London, Ontario, 2007.
- [11] Daniel C. Esty and Andrew S. Winston, *Green to Gold: How Smart Companies Use Environmental Strategy to Innovate, Create Value, and Build Competitive Advantage*. Yale: University Press, 2006.
- [12] Toby J. Velte, Anthony T. Velte, and Robert Elsenpeter, *Green IT: Reduce Your Information System's Environmental Impact While Adding to the Bottom Line*. New York: The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [13] J. Roberson, "After-Hours Power Status of Office Equipment and Inventory of Miscellaneous Plug-Load Equipment," Berkeley, 2004.
- [14] M.C. Sanchez, "Savings Estimates for the United States Environmental Protection Agency's ENERGY STAR Voluntary Product Labeling Program," *Energy Policy*, pp. 2098–2108, 2008.

- [15] R. Jaques. (2007, april) itnews. [Online]. <http://www.itnews.com.au/News/79596,global-ict-carbon-emissions-unsustainable.aspx>
- [16] N. Stern, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [17] EPA. (2011, marec) US EPA domača stran. [Online]. <http://www.epa.gov/epawaste/inforesources/online/index.htm>
- [18] EPA. (2011, februar) US EPA domača stran. [Online]. <http://www.epa.gov/superfund/policy/cercla.htm>
- [19] CalRecycle. (2011) Department of Resources Recycling and Recovery (CalRecycle). [Online]. <http://www.calrecycle.ca.gov/electronics/act2003/>
- [20] Maine DEP. (2005) Maine Government spletna stran. [Online]. <http://www.maine.gov/dep/rwm/ewaste/summaryhouseholdreclaw.htm>
- [21] MassDEP. Massachusetts Department of Environmental Protection. [Online]. <http://www.mass.gov/dep/recycle/reduce/electron.htm#crt>
- [22] Campaign for Recycling. (2011) Campaign for Recycling. [Online]. <http://www.campaignforrecycling.org/states/texas/ewaste>
- [23] U. S. Department of Energy. (2010, januar) U. S. Department of Energy spletna stran. [Online]. <http://www.energy.gov/8491.htm>
- [24] European Commission. (2011, marec) EMAS domača stran. [Online]. http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm
- [25] GZS. (2009, november) GZS domača stran. [Online]. http://www.gzs.si/slo/panoge/zbornica_elektronske_in_elektroindustrije/rohs
- [26] European Commission. (2010, junij) European Commission domača stran. [Online]. http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm
- [27] EU. (2009, februar) File:WEEE symbol vectors.svg. [Online]. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:WEEE_symbol_vectors.svg
- [28] businessGreen. (2009, marec) businessGreen. [Online]. <http://www.businessgreen.com/bg/news/1802952/european-commission-powers-green-it-strategy>
- [29] Uradni List RS. (2008, april) Uredba o odstranjevanju polikloriranih bifenilov in polikloriranih terfenilov. [Online]. <http://www.uradni-list.si/1/content?id=85865>

- [30] Uradni List RS. (2006, oktober) Uredba o ravnanju z odpadno električno in elektronsko opremo. [Online]. <http://www.uradni-list.si/1/content?id=75922>
- [31] ENERGY STAR. (2009) ENERGY STAR® domača stran. [Online]. http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer/Version5.0_Computer_Spec.pdf
- [32] Jansen Ng. (2009, julij) New Energy Star 5.0 Specs for Computers Become Effective Today. [Online]. <http://www.dailytech.com/New+Energy+Star+5.0+Specs+for+Computers+Become+Effective+Today/article15559.htm>
- [33] ENERGY STAR. (2007, avgust) Wikimedia Commons. [Online]. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Energy_Star_logo.svg
- [34] Ecos Plug Load Solutions. (2011, marec) Ecos Plug Load Solutions spletna stran. [Online]. <http://www.plugloadsolutions.com/80PlusPowerSupplies.aspx>
- [35] TCO. (2011) TCO Development. [Online]. <http://www.tcodevelopment.com/pls/nvp/Document.Show?CID=4146&MID=471>
- [36] TCO. (2011) TCO Development. [Online]. <http://www.tcodevelopment.com/pls/nvp/Document.Show?CID=4146&MID=177>
- [37] EPEAT. (2006) EPEAT spletna stran. [Online]. <http://www.epeat.net/Criteria.aspx>
- [38] Sustainable Business Oregon. (2010, julij) Sustainable Business Oregon. [Online]. http://www.sustainablebusinessoregon.com/articles/2010/07/study_it_sector_cuts_co2_emissions_by_32m_metric_tons.html
- [39] The Green Grid. (2011) The Green Grid spletna stran. [Online]. <http://www.thegreengrid.org/en/about-the-green-grid/our-mission.aspx>
- [40] Intel. (2011) Intel spletna stran. [Online]. <http://www.intel.com/technology/mooreslaw/index.htm>
- [41] Simon Mingay, "10 Key Elements of a 'Green IT' Strategy," Stamford, 2007.
- [42] Marguerite Reardon. (2009, avgust) cnet News. [Online]. http://news.cnet.com/8301-11128_3-10312408-54.html
- [43] Greenpeace International. (2010, marec) Greenpeace International spletna stran. [Online]. <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/make-it-green-cloud-computing/>

- [44] Wikipedia. (2011, marec) Wikipedia, The Free Encyclopedia. [Online]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Service_\(systems_architecture\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Service_(systems_architecture))
- [45] Douglas K. Barry. (2011) Web Services and Service-Oriented Architectures spletna stran. [Online]. http://www.service-architecture.com/web-services/articles/service-oriented_architecture_soa_definition.html
- [46] Frank Dzubeck. (2008, april) InfoWorld spletna stran. [Online]. <http://www.infoworld.com/t/business/are-you-ready-green-soa-440>
- [47] The Oracle Blog. (2011) The Oracle Blog. [Online]. <http://www.oracle.cc/2009/07/soa-roi-case-studies-across-various-industries.html>
- [48] Loraine Lawson. (2010, april) ITBusinessEdge spletna stran. [Online]. <http://www.itbusinessedge.com/cm/blogs/lawson/soas-green-roi/?cs=32030>
- [49] Megan Bray, "Review of Computer Energy Consumption and Potential Savings," Hereford, December 2006. [Online]. http://dssw.co.uk/research/computer_energy_consumption.pdf
- [50] Carrie A. Webber et al., "After-hours Power Status of Office Equipment in the USA," Berkeley, 2005.
- [51] ACPI. (2010, april) ACPI spletna stran. [Online]. <http://www.acpi.info/spec.htm>
- [52] CNET. (2011) CNET spletna stran. [Online]. <http://reviews.cnet.com/green-tech/monitor-power-efficiency/>
- [53] Wikipedia. (2011, april) Wikipedia spletna stran. [Online]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Screensaver>
- [54] Patrick Schmid. (2007, avgust) Tom's Hardware spletna stran. [Online]. <http://www.tomshardware.com/reviews/energy-efficient-computing-options,1672-5.html>
- [55] James Galbraith. (2009, maj) PCWorld spletna stran. [Online]. http://www.pcworld.com/businesscenter/article/165194/western_digital_releases_2tb_power_saving_drive.html
- [56] Heather Clancy. (2009, november) ZDNet spletna stran. [Online]. <http://www.zdnet.com/blog/green/new-samsung-site-offers-up-data-for-evaluating-ssd-energy-efficiency/8605>
- [57] iSuppli. (2009, maj) iSuppli spletna stran. [Online]. <http://www.isuppli.com/Memory-and-Storage/News/Pages/Solid-State-Drive-SSD-Electricity-Savings-Could-Power-an-Entire-Country.aspx>

- [58] Mark Fontecchio. (2008, maj) SearchDataCenter.com spletna stran. [Online].
<http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/power-usage-effectiveness-PUE>
- [59] Mark Fontecchio. (2008, april) searchDataCenter.com spletna stran. [Online].
<http://searchdatacenter.techtarget.com/definition/data-center-infrastructure-efficiency-DCIE>
- [60] Ray Atia. (2011) AMOSOFT spletna stran. [Online]. <http://www.amosoft.com/articles/Should-I-Invest-in-EDI.html>
- [61] Telework Research Network. (2011) Telework Research Network spletna stran. [Online].
<http://www.teleworkresearchnetwork.com/cut-oil>
- [62] H. Scott Matthews and Eric Williams, "Telework Adoption and Energy Use in Building and Transport Sectors in the United States and Japan," Reston, 2005.
- [63] Cindy Auten and Erin Lundberg, "Mobilizing Against Pandemic: IT Diagnosis and Prescription," Alexandria, 2009.
- [64] Chris Kimble, Feng Li, and Alexis Barlow, "Virtual Teams Through Communities Of Practice," Glasgow, 2000.
- [65] Newsweek. (2010) Newsweek spletna stran. [Online].
<http://www.newsweek.com/feature/2010/green-rankings.html>
- [66] Dell. (2011) Dell spletna stran. [Online].
http://www.dell.com/content/topics/topic.aspx/global/products/optix/topics/en/optix_energy?c=us&l=en
- [67] HP. (2011) HP spletna stran. [Online].
<http://h41111.www4.hp.com/globalcitizenship/uk/en/environment/index.html>
- [68] IBM. (2007) IBM spletna stran. [Online]. http://www-05.ibm.com/ie/emerging_business_centre/pdf/Green_Sigma_final_Strategy.pdf
- [69] IBM. (2010, februar) IBM spletna stran. [Online]. <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/29331.wss>
- [70] Ted Samson. (2008, april) InfoWorld spletna stran. [Online].
<http://www.infoworld.com/t/green-it/bryant-university-datacenter-built-scale-efficiently-637>
- [71] PG&E. (2007, avgust) PG&E spletna stran. [Online].
http://www.pge.com/about/news/mediarelations/newsreleases/q3_2007/070807.shtml
- [72] Heather Ishimaru. (2008, junij) ABC7 News spletna stran. [Online].
<http://abclocal.go.com/kgp/story?section=news/business&id=6195474>

[73] Bruce Nordman and Ken Christensen, "Greener PCs for the Enterprise," *IT Professional*, pp. 28-37, julij/avgust 2009.