

UNIVERZA V LJUBLJANI  
EKONOMSKA FAKULTETA

MAGISTRSKO DELO

**UVAJANJE ZELENE TEHNOLOGIJE V IZBRANI RAČUNALNIŠKI  
CENTER**

Ljubljana, julij 2016

STANISLAV OGRIZEK

## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani STANISLAV OGRIZEK, študent Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, avtor predloženega dela z naslovom UVAJANJE ZELENE TEHNOLOGIJE V IZBRANI RAČUNALNIŠKI CENTER, pripravljenega v sodelovanju s svetovalcem prof. dr. MIRKOM GRADIŠARJEM

### IZJAVLJAM

1. da sem predloženo delo pripravil samostojno;
2. da je tiskana oblika predloženega dela istovetna njegovi elektronski obliki;
3. da je besedilo predloženega dela jezikovno korektno in tehnično pripravljeno v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, kar pomeni, da sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev oziroma avtoric, ki jih uporabljam oziroma navajam v besedilu, citirana oziroma povzeta v skladu z Navodili za izdelavo zaključnih nalog Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani;
4. da se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del (v pisni ali grafični obliki) kot mojih lastnih – kaznivo po Kazenskem zakoniku Republike Slovenije;
5. da se zavedam posledic, ki bi jih na osnovi predloženega dela dokazano plagiatorstvo lahko predstavljalo za moj status na Ekonomski fakulteti Univerze v Ljubljani v skladu z relevantnim pravilnikom;
6. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v predloženem delu in jih v njem jasno označil;
7. da sem pri pripravi predloženega dela ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
8. da soglašam, da se elektronska oblika predloženega dela uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;
9. da na Univerzo v Ljubljani neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve predloženega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja predloženega dela na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija Univerze v Ljubljani;
10. da hkrati z objavo predloženega dela dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v njem in v tej izjavi.

V Ljubljani, dne 20.7.2016

Podpis študenta: \_\_\_\_\_

# KAZALO

<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1 UČINKOVITOST RAČUNALNIŠKIH CENTROV .....</b>	<b>3</b>
1.1 Računalniški center.....	4
1.1.1 Arhitektura računalniških centrov .....	5
1.1.2 Varnost in razpoložljivost .....	7
1.2 Načrtovanje računalniških centrov .....	8
1.2.1 Napajalni sistem .....	10
1.2.2 Hlajenje .....	10
1.3 Energetska učinkovitost računalniškega centra .....	12
1.3.1 Odklop nepotrebnih IT-sistemov .....	15
1.3.2 Upravljanje sistemov na bolj učinkovit način .....	16
1.3.3 Migracija na energetske učinkovitejše platforme in sisteme .....	16
1.3.4 Virtualizacija .....	16
1.3.5 Standardizacija .....	17
1.3.6 Konsolidacija strežnikov .....	18
1.3.7 Ravno prava konfiguracija .....	18
1.3.8 Projektiranje energetske učinkovitega sistema .....	19
1.3.9 Uporaba energijsko učinkovite opreme.....	20
1.4 Dvig temperature v računalniškem centru .....	21
1.4.1 Scenarij z nihajočo temperaturo .....	25
1.4.2 Scenarij s stalno visoko temperaturo .....	25
1.4.3 Vpliv porabe električne moči zaradi višje temperature.....	26
1.4.4 Vpliv na zanesljivost delovanja.....	27
1.4.5 Dvig temperature pri 50-odstotni obremenjenosti računalniškega centra.....	28
1.4.6 Priporočila .....	29
1.5 Vpliv povišane temperature na zanesljivost strojne opreme .....	29
1.6 Priporočila za merjenje učinkovitosti računalniških centrov.....	31
1.7 Code of Conduct in energetska učinkovitost računalniških centrov .....	33
<b>2 NADZOR .....</b>	<b>34</b>
2.1 Nadzor infrastrukture računalniškega centra .....	34
2.2 Nadzor z orodji DCIM.....	38
<b>3 UVEDBA ZELENIH TEHNOLOGIJ V IZBRANI RAČUNALNIŠKI CENTER 45</b>	<b>45</b>
3.1 Opis računalniškega centra .....	45
3.2 Sistemska programska oprema .....	46
3.3 Računalniško omrežje.....	46
3.4 Nadzorni sistemi .....	47
3.5 Izboljšanje učinkovitosti računalniškega centra .....	48
3.5.1 Nadzor .....	48
3.5.2 Izračun PUE .....	48

3.5.3	Postavitev strežniških omar v isto smer .....	49
3.5.4	Vgradnja slepih panelov .....	50
3.5.5	Zamenjava klimatskih naprav .....	50
3.5.6	Zaprte tople in hladne cone .....	51
3.5.7	Odklop nepotrebnih IT-sistemov .....	52
3.5.8	UPS – neprekinjeno napajanje .....	53
3.5.9	Virtualizacija .....	57
3.5.10	DCIM .....	58
3.5.11	Dvig temperature računalniškega centra za 2°C .....	62
<b>4</b>	<b>EKONOMSKI UČINKI UVEDBE ZELENIH TEHNOLOGIJ .....</b>	<b>66</b>
4.1	Izračun ekonomskih učinkov po uvedbi hladnih in toplih con .....	67
4.2	Izračun po zamenjavi klimatskih naprav .....	68
4.3	Izračun po uvedbi pametnega upravljanja napajalnih sistemov .....	70
4.4	Virtualizacija in odklop strežnikov .....	72
	<b>SKLEP .....</b>	<b>74</b>

## KAZALO TABEL

Tabela 1:	Korekcijski faktorji različnih tipov energije ... ..	32
Tabela 2:	DCIM-nivoji .....	42
Tabela 3:	Število toplih dni s preseženo temperaturo 25 °C .....	65
Tabela 4:	Podatki uvedba toplih con 2016 .....	67
Tabela 5:	Izračun uvedba toplih con 2016 .....	68
Tabela 6:	Podatki uvedba toplih con 2014 .....	68
Tabela 7:	Izračun uvedba toplih con 2014 .....	68
Tabela 8:	Podatki zamenjava klimatskih naprav .....	69
Tabela 9:	Izračun zamenjava klimatskih naprav .....	70
Tabela 10:	Podatki zamenjava UPS 2016 .....	70
Tabela 11:	Izračun zamenjava UPS 2016 .....	71
Tabela 12:	Podatki zamenjava UPS 2014 .....	71
Tabela 13:	Izračun zamenjava UPS 2014 .....	71
Tabela 14:	Podatki odklop UPS .....	72
Tabela 15:	Izračun odklop UPS .....	72
Tabela 16:	Podatki virtualizacija .....	73
Tabela 17:	Izračun virtualizacija .....	73

## KAZALO SLIK

Slika 1:	Hladilni sistem uporabljen v raziskavi .....	23
Slika 2:	Vpliv zvišanja vhodne temperature .....	24

Slika 3: Celovito upravljanje infrastrukture .....	38
Slika 4: Nadzor računalniškega centra .....	40
Slika 5: Računalniški center .....	45
Slika 6: Izračun PUE .....	49
Slika 7: Računalniški center po vzpostavitvi tople cone .....	51
Slika 8: Učinkovitost UPS .....	54
Slika 9: Izgube UPS .....	54
Slika 10: Pametno krmiljenje UPS .....	56
Slika 11: Preglednice in podatki računalniškega centra .....	59
Slika 12: Električna poraba strežnika 1 .....	64
Slika 13: Električna poraba strežnika 2 .....	64
Slika 14: Električna poraba strežnika 3 .....	64
Slika 15: Električna poraba strežnika 4 .....	65



## UVOD

Življenja ni brez energije in kljub velikemu napredku znanosti informacijska tehnologija (skrajšano: IT) še vedno ne more delovati brez energije. Energija je naravna dobrina, ki jo moramo trošiti čim bolj varčno in odgovorno. Pri vsakem izkoriščanju energije je treba vzeti v zakup posledice za naravo. Seveda si vsi ob tem želimo, da bi bil vpliv na naravo čim manjši. To pomeni čim manjši energetski odtis v naravi in po drugi strani čim večjo količino uporabne energije.

Zelena informacijska tehnologija ali angleško green IT je postal popularen koncept skupaj z rastjo energijskih stroškov, povezanih z računalniškimi centri. Razvitih je bilo veliko tehnologij, ki lahko pomagajo pri zmanjšanju porabe energije in vplivov na okolje, kot so virtualizacija, konsolidacija in standardizacija strežnikov. Ker zmogljivost novejših strojne opreme stalno raste, raste pa tudi njena energijska učinkovitost, so investicije v novo energijsko učinkovito strojno opremo smiselne, še posebno v času stalnega dvigovanja cene energetskih virov in negotovih gospodarskih razmer.

Pomembno vlogo v zmanjšanju vpliva na okolje imata tudi nadzor in spremljanje vseh komponent sistemov, kajti če naredimo računalniški center pametnejši, smo ga s tem naredili tudi energetsko učinkovitega. Kje vse je potencial IT za zmanjševanje stroškov in vplivov na okolje? Kaj od infrastrukture bi lahko spremenili, katere dobre prakse uvedli, da bi postal računalniški center učinkovitejši in bi porabil manj energije? Kako bi lahko povezali infrastrukturo in stavbo ter prostore, da bi dosegel in ohranil energetsko učinkovitost?

V magistrskem delu bom analiziral stanje na področju energetske učinkovitosti v izbranem računalniškem centru in proučil, kaj je treba upoštevati pri načrtovanju sprememb računalniškega centra. Poseben poudarek bom namenil zmanjševanju stroškov električne energije strežnikov in tudi oskrbne infrastrukture. Zmanjšanje porabe električne energije je tudi praktičen del te naloge, kjer bom teoretična dognanja uporabil v resničnem računalniškem centru.

Ovrednotenje zmanjšanja porabe električne energije ni mogoče brez meritev, ki se običajno izvajajo na različnih merilnih mestih in pa preko nadzornih orodij. Dotaknil se bom različnih nadzornih orodij in nakazal možnost povezovanja stavbnih in oskrbnih nadzornih orodij z namenom zagotavljanja kvalitetnih podatkov o energetske učinkovitosti celotnega in posameznih delov računalniškega centra. Ugotovil bom, kaj je mogoče v praksi narediti z upoštevanjem varnosti, standardov na obstoječem računalniškem centru brez velikih investicij.

Vse izboljšave bom tudi ovrednotil z metodo neto sedanje vrednosti ter izračunal dobo vračila naložbe.

Cilj naloge je ekonomsko učinkovita energetska optimizacija izbranega računalniškega centra.

Namen naloge je pomoč upravljalcem manjših računalniških centrov pri izbiri metod za zmanjševanje porabe električne energije. Velika večina literature o energetske učinkovitosti računalniških centrov se nanaša na velike računalniške centre. Metode, ki so uspešne v primeru velikih računalniških centrov ne prinesejo vedno rezultatov tudi v manjših računalniških centrih. Včasih so stroški rešitev preveliki ali pa so potrebne dodatne zaposlitve. V nalogi sem obdelal nekaj metod, ki so možne v manjšem računalniškem centru.

Osnovna metoda dela bo analiza stanja in kritična analiza. Na osnovi z analizo pridobljenih podatkov pa bom z metodo sinteze oblikoval ekonomsko izvedljivo rešitev.

Obravnaval bom konkretni računalniški center. Podatke bom pridobil iz obstoječih merilnih mest, ravno tako pa bom upošteval podatke, pridobljene iz spletnih orodij.

Magistrska naloga je razdeljena na tri dele.

V prvem delu bom podal teoretična izhodišča, temelječa na podlagi prebiranja strokovne domače in tuje literature ter prispevkov in člankov na temo obstoječih metodologij načrtovanja računalniških centrov, energetske učinkovitosti, metode in tehnologij za zmanjšanje stroškov električne energije, pregledal bom tudi standarde in priporočila za varčevanje energije. Posebno pozornost bom namenil faktorju učinkovitosti računalniškega centra.

Česar ne moreš meriti, ne moreš izboljšati, je rek, ki me je vodil do teme, ki jo obravnavam v drugem delu. Proučil bom nadzorne sisteme, ki zagotavljajo ravno prave podatke v pravem trenutku na področju računalniških naprav, stavbe in infrastrukture. Dobro povezani nadzorni sistemi se lahko uporabijo tudi za krmiljenje in tako prispevajo k boljši energetske učinkovitosti.

V tretjem delu bom obravnaval praktični primer uvedbe v prejšnjih poglavjih obravnavanih metod in tehnologij v praksi. Ker v računalniškem centru nimamo uvedene nadzora meritev na vseh potrebnih merilnih mestih in nimam dovolj podatkov, bom uporabil spletna orodja, ki omogočajo dovolj dobro oceno izboljšav. Te izboljšave bom obrazložil in na podlagi izkušenj tudi ovrednotil. Na koncu pa bom ovrednotil stroške in koristi z metodo neto sedanje vrednosti in izračunal dobo vračila naložb.



# 1 UČINKOVITOST RAČUNALNIŠKIH CENTROV

Projekti energetske učinkovitosti informacijske tehnologije so lahko učinkoviti, tudi če niso kompleksni. V mnogih primerih so najuspešnejše prav preproste rešitve, še posebej je razvidno, da to drži predvsem takrat, ko so omejitve stroški. Čeprav se zdi, da je ekološka usmerjenost podjetja ekonomično vprašljiva, podroben pregled pokaže, da z zelo enostavnimi postopki znatno znižamo stroške, zvečamo konkurenčnost in smo družbeno odgovorni.

Problem globalnega segrevanja in prekomerno naraščanje nevarnih odpadkov iz elektronskih naprav naj bi reševale tako imenovane zelene tehnologije. Ker problematika ni omejena na eno vejo industrije, vlade ali nacije, se moramo vsi potruditi za zmanjšanje globalnega segrevanja in količine nevarnih odpadkov. Upravniki računalniških centrov lahko k temu pripomorejo z zmanjšanjem porabe električne energije in z zmanjšanjem količine odpadkov. Težava sta tudi proizvodnja in odstranjevanje oziroma recikliranje strojne opreme, potrebne za delovanje računalniških centrov (Murugesan, 2008). Računalniški centri, ki sledijo smernicam za okolju prijaznejše delovanje, morajo analizirati stanje in implementirati spremembe na področjih energetske učinkovitosti, izpustov toplogrednih plinov, uporabe okolju prijaznih materialov, spodbujanja ponovne uporabe in recikliranja (Ciglarič, 2015). Dejavniki, kot so na primer naraščajoči stroški odlaganja odpadkov, vpliv ekološke ozaveščenosti na celostno podobo podjetij in javno mnenje, dajejo dodaten zagon za razmislek in aktiviranje v smeri okoljevarstvenih odločitev tudi za računalniške centre (Murugesan, 2008).

Informacijske tehnologije so s hitrim razvojem na področju družbe in gospodarstva prinesle negativne posledice prekomerne izrabe virov in vplivov na okolje. Glede na grobo oceno naj bi celoten sektor informacijskih tehnologij predstavljal 2–2,5 % svetovnih izpustov ogljikovega dioksida (Dunn, 2010). Pričakujejo, da bo ta sektor še narasel zaradi priljubljenosti mobilnih naprav, storitev računalniških centrov in superračunalnikov.

Hitri razvoj informacijske tehnologije in njeno vključevanje na vsa družbena področja vpliva tudi na okolje. Vloga informacijske tehnologije v okoljski problematiki ni več zanemarljiva in kar kliče po rešitvah, ki bodo zmanjšale negativne posledice informacijske tehnologije na okolje. Za zmanjšanje okoljskih vplivov je treba razmišljati na vseh področjih informacijske tehnologije, od največjih do najmanjših porabnikov.

Energetska učinkovitost izbranega računalniškega centra je lahko problematična tudi z vidika energijske učinkovitosti stavb, ker pa tega v nalogi ne bom obravnaval, lahko samo nakažem, da so na temo energetske učinkovitosti stavb različne direktive in smernice, kar nazorno opisuje Mojca Ciglarič v prispevku Kako zelena je infrastruktura velikih oblakov? (Ciglarič, 2015).

Eden večjih porabnikov okoljskih virov so računalniški centri, ki centralizirajo informacijsko tehnologijo, se pa zato spopadajo z dvema glavnima težavama. Najprej se srečamo z visokimi energetskimi zahtevami strežnikov, mrežne opreme, diskovnih polj in druge opreme za shranjevanje podatkov, ki pogosto zahtevajo dodatne zmogljivosti oskrbne infrastrukture računalniškega centra. Druga težava je odvečna toplota, ki jo proizvede oprema ob svojem obratovanju. Velike toplotne obremenitve opreme zahtevajo dodatno hlajenje prostorov in opreme, kar je energetsko zelo potratno.

Tehnologija v računalniških centrih je prezahtevna, da bi se reševanja problemov lotili brez organiziranega in metodičnega pristopa, kjer je osnova popis vseh naprav in njihove umeščenosti v prostor. Ravno tako so pomembne povezave med napravami ter med napravami in oskrbno infrastrukturo. Popis vseh naprav, ki uporabljajo električno energijo, poraba energije teh naprav v stanju aktivnosti in neaktivnosti, izkoriščenost posameznih naprav so podatki, ki jih potrebujemo, da bomo računalniški center učinkovito upravljali.

## **1.1 Računalniški center**

Kakovostno izvajanje IT-storitev je ključnega pomena za večino podjetij. Ena najpomembnejših nalog na tem področju je zagotavljanje neprekinjenosti poslovanja, čemur sta pogosto podrejeni struktura in organiziranost računalniških centrov. Po drugi strani pa si vsi želijo zmanjšati stroške investicij, vodenja in vzdrževanja računalniških centrov. Na prvi pogled sta to nasprotujoči si zahtevi, ki pa se ju da z ustreznim načrtovanjem zblížati.

Središče informatike v podjetjih so računalniški centri, pa naj gre za tiste v zasebni lasti posameznih družb ali druge v službi javno dostopnih spletnih storitev. Potreba po vedno večji zmogljivosti hitro raste in marsikje so se že zdavnaj morali soočiti s težavami, ki jih nekoč niso poznali v taki obliki, kako nadzorovano rasti, kako zagotavljati nova računalniška sredstva brez motenj v poslovanju, kako sisteme upravljati in kako zagotavljati njihovo zanesljivost ter varnost. Če pogledamo probleme visoko zmogljivih računalniških sistemov, kot so superračunalniki in veliki računalniški centri (Feng, (ed), 2014), kjer poraba električne energije na nekaterih od teh sistemov celo preseže porabo manjšega mesta, je jasno, da zmanjševanje velike porabe in hlajenje takšnih sistemov predstavlja izziv. Izziv, četudi v manjši meri, je tudi na strani podjetij, ki zmanjšujejo stroške z izbiro ustreznega hlajenja in kontrolo porabe električne energije na različnih komponentah in si s tem izboljšajo obstoječi proračun.

Za delovanje računalniški center potrebuje znatna sredstva, ki se še povečajo, ko podjetje potrebuje dodatne procesne zmogljivosti ali dodatne zmogljivosti podatkovne hrambe. Cena naprav je v zadnjih letih res padla, so pa zrasle potrebe po novih zmogljivostih. Poleg tega pa je uvedba novih tehnologij, kot je virtualizacija sistemskih sredstev, v prvi vrsti strežnikov, tako rekoč čez noč omogočila bistveno boljši izkoristek opreme ob znatno

nižjih stroških investicije. Virtualizacija je vplivala na zmanjšanje količine strojne opreme, obenem pa je povečala število virtualnih strežnikov. Virtualne strežnike je ravno tako kot fizične treba upravljati, jih posodablјati in skrbeti za njihovo varnost. Virtualizacija po eni strani zmanjša stroške, po drugi pa poveča obseg dela in s tem tudi stroške.

Poleg virtualizacije je še kar nekaj tehnologij, ki zmanjšujejo stroške, kot so zmanjšanje porabe električne energije na strojni opremi. Na strežnikih porabo električne energije kontroliramo na nivoju strežnika, strežniške omare, celotnega podatkovnega centra ali celotne geografsko porazdeljene infrastrukture (Feng, (ed.), 2014, str. 183–229). Rešitve za zmanjšanje porabe električne energije so vključene v razno strojno opremo. Vključene so tudi v tovarniško programsko opremo (angleško *firmware*), gonilnike, operacijski sistem in aplikacije. Za nadzorovanje stanja celotnega strežnika obstaja odprti standard *Advanced configuration and power interface* (krajše: ACPI). Ravno tako obstaja različen nabor rešitev tudi na drugih napravah, tudi na oskrbni infrastrukturi.

Upravniki računalniških centrov se vedno bolj osredotočajo na različne vire stroškov in energetske porabe, tako za delovanje strežnikov kot za upravljanje računalniških prostorov, ki morajo biti med drugim ustrezno hlajeni. Na površje je prišlo tako imenovano zeleno računalništvo, kjer so v ospredju tehnologije, pa tudi ukrepi, ki omogočajo varčevanje z električno energijo. Na spodbujanje energetske učinkovitosti lahko gledamo kot na poseben vidik čistejše proizvodnje. Pri tem je cilj podjetja, čim bolj omejiti energetske izgube, to pa se lahko doseže s kombinacijo dveh vrst ukrepov, in sicer s trdimi ukrepi, kot so tehnološke spremembe in mehki ukrepi, ki zadevajo samo vedenjske in upravne spremembe. Izkušnje kažejo, da bi lahko vsaj polovico okoljskih težav, s katerimi se srečujemo v zadnjem času, lahko odpravili z odgovornim vedenjem (Tóth, 2008, str. 50).

V razvitem delu sveta je postalo celo moderno, da se podjetje z uspešno uvedenimi varčevalnimi ukrepi v računalniških centrih javno pohvali. Ti ukrepi lahko prispevajo k ugledu podjetja, ki ima podatkovni center v lasti ali pa ga le uporablja.

### **1.1.1 Arhitektura računalniških centrov**

Zaradi vse večje podprtosti in odvisnosti delovanja od računalniških sistemov so uporabniki začutili tudi vse večjo potrebo po zagotavljanju neprekinjenega delovanja vitalnih računalniških sistemov. V sredini devetdesetih let je *Uptime Institute* kot prvi na svetu (Stansberry, 2014) postavil temelje za večnivojsko klasifikacijo podatkovnih centrov (angleško *Tier*), kot poenoteno oceno razpoložljivosti podatkovnih centrov v dokumentu *Tier Standard: Topology* (Turner, Seader & Renaud, 2010). Omenjeno klasifikacijo je leta 2005 v standardu *ANSI/TIA 942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers* (Standard, T. I. A., 2005) povzela organizacija *Telecommunications Industry Association* (skrajšano: TIA).

Za primerno dolgo življenjsko dobo in zanesljivo delovanje vgrajene računalniške oz. informacijske tehnologije je treba zagotoviti tudi primerne delovne pogoje, ki jih proizvajalci IT-opreme običajno navajajo v tehničnih podatkih. Ameriška organizacija *ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* je leta 2002 osnovala *ASHRAE Technical Committee 9.9*, ki je leta 2004 pripravil prvo priporočilo za vzdrževanje okoljskih parametrov (temperature in vlage) v računalniških centrih. V letih 2008 in 2012 so priporočila dopolnili in jih zbrali v dokumentih (*Ashrae Technical Committee 9.9.*, 2008; *Ashrae Technical Committee 9.9.*, 2012; *Ashrae Technical Committee 9.9*, 2011).

Uptime Institute je leta 2010 *Tier Standard: Topology* dopolnil s standardom *Tier Standard: Operational Sustainability* (Uptime Institut LLC, 2013). Omenjeni standard nadgradi definicijo večnivojske klasifikacije z zahtevami po načinih vzdrževanja, sledenja spremembam, vodenja, lokacije in splošnih lastnosti prostora, v katerega je umeščen računalniški center. Standard lahko služi kot dodatek, ki lastnikom pokaže na morebitne pomanjkljivosti, ki lahko pomembno vplivajo tudi na razpoložljivost računalniškega centra s stališča servisov (Košir, 2016).

Uptime Institute je postavil temelje za večnivojsko klasifikacijo podatkovnih centrov kot poenoteno oceno razpoložljivosti podatkovnih centrov. V standardu (Turner, Seader & Renaud, 2010) je klasifikacija razpoložljivosti podatkovnih centrov razdeljena na štiri nivoje:

- osnovna zmogljivost ali Tier I,
- redundantna zasnova ali Tier II,
- vzdrževanje brez izpadov ali Tier III,
- odpornost na napake ali Tier IV.

Z višanjem stopnje Tier se povečuje kompleksnost inštalacij in podporne infrastrukture, kar poviša stroške, večje pa je tudi število tehnikov in inženirjev, ki skrbijo za nemoteno obratovanje, vzdrževanje in servisiranje infrastrukture.

Standard (Uptime Institut LLC, 2013) definira naslednje vidike operativne trajnosti:

- upravljanje in poslovanje,
- gradbene značilnosti podatkovnih centrov,
- lokacija.

Vsi trije vidiki operativne trajnosti podatkovnega centra so v standardu podrobno razčlenjeni glede na stopnjo klasifikacije *Tier* podatkovnih centrov (Košir, 2016).

Spremembe v zadnjih letih zaradi novih standardov v računalniških centrih so opazne. V organizaciji in praktično v vsaki od komponent podatkovnega centra je pravzaprav priložnost za izboljšave, tako s stališča zmogljivosti, zanesljivosti, varnosti in tudi razpoložljivosti. Opazno je tudi, da je v sodobnem podatkovnem centru glede na preteklost in ob upoštevanju primerljivih poslovnih potreb precej manj strežniške opreme.

### **1.1.2 Varnost in razpoložljivost**

Vse spremembe na ravni fizičnih in virtualnih strežnikov so sčasoma prispevale tudi k temu, da je v računalniških centrih zagotovljena visoka razpoložljivost sistemov. Gruče strežnikov izgubljajo pomen na račun vključitve strežnikov v farme, kjer na osnovi virtualizacije posamezen logičen strežnik razmeroma preprosto preselimo na drug fizični sistem, ne da bi uporabniki to opazili. Gruče so ostale le tam, kjer programska oprema in način dela pogojujeta tovrstno tehnologijo.

Na zmanjšanje tveganja bolj vplivata arhitektura in strategija celotnega centra, kot pa varovanje posameznih strežnikov. Uporabimo lahko rezervne lokacije računalniških centrov, ki lahko prevzamejo celotno breme osnovnega računalniškega centra ali vsaj njegov del, če pride do izpada le-tega. Poznamo niz možnosti in tehnologij, ki omogočajo različne ravni razpoložljivosti.

Razpoložljivost računalniških centrov se deli na štiri ravni. Tier 1 je navaden računalniški center brez posebnih redundantnih elementov. Na tej ravni lahko dosežemo razpoložljivost delovanja v višini 99,671 %. Tier 2 predvideva dodatno možnost uporabe redundantne lokacije in na njej razpoložljive infrastrukture. Tu je razpoložljivost lahko že 99,741 %. Tretja raven, Tier 3, predvideva več distribucijskih poti za IT-opremo v računalniškem centru. Vsa oprema mora imeti tudi dva vira napajanja, s tem pa dosežemo 99,982 % razpoložljivost. Najtežje je doseči raven Tier 4, ki zahteva dvojno napajanje tudi za vso grelni in hladilno opremo. S tem bi lahko dosegli razpoložljivosti na ravni 99,995 %.

Za doseganje najvišje ravni razpoložljivosti je potrebnih precej sredstev in podjetja se odločijo za ta nivo samo, če je to res potrebno. V okviru najvišjega nivoja razpoložljivosti moramo urediti tudi za poplavno zaščito, zaščito pred požari, zaščito pred vdori, ustrezen video nadzor in nadzor dostopa.

Varnost podatkov zagotavljamo tudi z varnostnimi kopijami, ki so zadnje sredstvo v zaščiti pred nesrečami ali napakami. Glede na visoko stopnjo razpoložljivostjo so varnostne kopije danes skoraj bolj uporabljene za povrnitev podatkov v primerjavi napak v podatkih, ne pa nujno kot sredstvo za povrnitev strežnikov v primeru okvare. Slednje se namreč danes učinkoviteje rešuje na drugačen način. S primerno strategijo in z uporabo nekaterih

novih tehnologij, kot je deduplikacija, se da danes znatno zmanjšati potrebo po sredstvih in postopkih za izdelavo varnostnih kopij.

## 1.2 Načrtovanje računalniških centrov

Pomembnost informacijske infrastrukture za poslovanje je precejšnja, kar pa je zelo težko utemeljiti, ko je potrebna investicija v novo opremo. Za vsa računalniško opremo je treba izgraditi primerno infrastrukturo s poudarkom na varnosti, zanesljivosti, učinkovitosti in uporabnosti. Običajno se ta infrastruktura uredi v računalniških centrih ali, kot jih drugače poimenujemo, v podatkovnih centrih. Podatkovni ali računalniški center je tehnični objekt, ki centralizira informacijske sisteme in informacijsko komunikacijsko tehnologijo. Računalniški center zajema vse podporne sisteme in infrastrukturo za podporo računalniških sistemov in komunikacijske opreme. Računalniški centri gostijo najbolj kritične sisteme v omrežju in so ključnega pomena za neprekinjeno delovanje sodobnih organizacij.

Načrtovanje računalniških centrov je kompleksno in potrebuje znanja iz različnih tehničnih področij. Pri načrtovanju je treba poznati zahteve in rešitve na različnih področjih. Področja, ki jih je treba zajeti, so (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 6):

- pravilno prostorsko in bremensko dimenzioniranje,
- gradbena, prostorska in logistična ureditev,
- požarna zaščita,
- tehnično hlajenje in prezračevanje,
- zanesljiva oskrba z električno energijo,
- zaščita pred prenapetostnimi udari in EM-udari,
- zaščita pred vdori plinov in tekočin,
- komunikacijska zasnova,
- dostopna kontrola in tehnično varovanje,
- sistemska zasnova in namestitev sistemske opreme,
- nadzor nad sistemsko infrastrukturo.

Pomembna je tudi lokacija računalniškega centra iz več vidikov, kot so varnost, zagotavljanje energetskega virov, dostopnost komunikacij in energetska učinkovitost.

Velike računalniške centre gradijo v klimatsko ugodnih področjih, kjer lahko uporabljajo zunanji zrak ali vodo za hlajenje in s tem občutno zmanjšajo porabo električne energije.

Pri urejanju obstoječega ali pri gradnji novega centra sledimo naslednjim smernicam (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 8):

- zagotavljanje vseh pogojev za delovanje IKT-opreme,

- visoka razpoložljivost centra in vse oskrbne infrastrukture,
- enostavna namestitvev IKT-opreme v center,
- usklajenost vseh sistemov oskrbne infrastrukture,
- odpornost proti izpadom oskrbnih sistemov,
- enostavno vzdrževanje oskrbne infrastrukture,
- dolga življenjska doba računalniškega centra,
- energijska učinkovitost,
- cenovna učinkovitost,
- skladnost z zahtevami regulatornih organov, če so te strožje, kot so zakonske zahteve.

Težave pri načrtovanju računalniškega centra so (Jovanović, 2015):

- ni jasne projektne naloge,
- projektiranje začnemo potem, ko je arhitektura že zaključena,
- spregledane šibke točke infrastrukture,
- uporaba zastarelih tehnologij,
- neupoštevanje specifičnosti hlajenja opreme,
- poddimenzioniranje ali predimenzioniranje,
- neprilagodljivost spremembam,
- komplicirane rešitve,
- neupoštevanje TCO (CAPEX+OPEX).

Nekateri standardi, ki jih upoštevajo pri gradnji in obnovi računalniških centrov, so SIST ISO/ECO 27001:2013, Dodatek A, TIA 942 (ZDA), TIER-razvrstitev – Uptime institute (ZDA), BSI – Razredi visoke razpoložljivosti (Nemčija), BITKOM – Pomoč pri načrtovanju računalniških centrov (Nemčija), standardi za požarno varnost (DIN 4102, EN 1047-2, EN 12094), treba pa je upoštevati tudi standarde na drugih področjih (vlom, električno napajanje, ožičenje itd.).

Visoko razpoložljive storitve in varnost so osnovne poslovne zahteve, zato je treba vložiti veliko načrtovanja, dela in sredstev v izgradnjo in zagotavljanje storitev fizične infrastrukture. Sama razpoložljivost, brez upoštevanja časa med dvema izpadoma, ali angleško *mean time between failures* (krajše: MTBF), pa tudi ne daje prave slike zanesljivosti delovanja. Če so poslovne zahteve visoka razpoložljivost, moramo vedeti, da z višjo razpoložljivostjo rastejo vložki v infrastrukturo.

Električna energija je osnovni pogoj za delovanje IT-opreme. Priporočljivo je narediti energetska bilanca centra, ki se izvede iz pričakovanih energetskih obremenitev centra in ob tem upoštevamo povprečno porabo v posamezni sistemski omari, povprečno porabo v posamezni TK-omari, porabo splošnih porabnikov, kot so razsvetljava, poraba sistemov tehničnega hlajenja in izgube v napravah (UPS, baterije, stikalni bloki).

### 1.2.1 Napajalni sistem

Kakšno arhitekturo napajalnega sistema bomo izbrali, je v veliki meri odvisno od potreb poslovnega okolja, kjer moramo upoštevati zeleno razpoložljivost in zahteve po neprekinjenem delovanju poslovnih storitev. Vsekakor je treba upoštevati energetska bilanco, značilnosti zelene opreme in pogoje omrežja, ki napajalni sistem oskrbuje z energijo.

Značilnosti bremen v računalniških centrih (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 13):

- zelo nelinearna bremena,
- nesimetrična obremenitev faz,
- kapacitivna značilnost bremen, s faktorjem delavnosti tudi 0,8 v kapacitivni smeri,
- velik delež višjih harmonik v tokovih in zaradi tega veliko popačenje toka.

Napajalni sistem naj bo prilagojen potrebam računalniškega centra. Napajalni sistem je sestavljen iz generatorja in sistemov neprekinjenega napajanja ali angleško *Uninterruptible Power Supply* (skrajšano: UPS). Generatorji in UPS so različnih izvedb glede na funkcijo in breme. Trasa napajanja je opremljena še s statičnimi preklopnimi stikali, kabli, energetske zbiralkami in se konča na letvenih razdelilnih stikalih angleško *power distribution unit* (krajše: PDU).

### 1.2.2 Hlajenje

IT-oprema je velik proizvajalec toplotne energije. Odvajanje te toplote je nujno za pravilno delovanje komponent opreme. Zato je učinkovito tehnično hlajenje poleg električne energije osnovni pogoj za delovanje IT-opreme. Pri načrtovanju in izbiri tehničnega hlajenja moramo upoštevati (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 18):

- prilagodljivost in razširljivost,
- razpoložljivost,
- stroške v celotni življenjski dobi,
- zahtevnost in možnost vzdrževanja,
- enostavno in učinkovito upravljanje.

Hlajenje mora biti zagotovljeno ne glede na okoljske vplive, v naših krajih mora omogočati tudi delovanje pri temperaturah do  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Iz popisa obremenitev računalniških omar in postavitve v centru dimenzioniramo jakost hlajenja. To velja za konkretno postavitev, za daljše obdobje pa je težko napovedati vrsto in postavitev opreme. Zato sta pomembni razširljivost in prilagodljivost. Obremenitev



polnih komunikacijskih omar je v odvisnosti od vgrajene opreme od 1 kW do 20 kW na omaro. Glede na obremenitev moramo izbrati ustrezen način hlajenja, zagotoviti dovolj veliko količino hladilnega medija in seveda potem, ko imamo zadostno količino hladilnega medija to tudi učinkovito pripeljati do IT-naprav.

V računalniških centrih se večinoma uporabljajo enote CRAC (angleško *computer room air conditioning* ali krajše CRAC). To je hladilna omara, ki vpahuje ohlajen zrak pod dvignjen pod ali v hladno cono, povratni topli zrak pa zajema nad enoto ali direktno iz tople cone. Hladilna enota ves čas meri temperaturo povratnega zraka in glede na to prilagaja moč hlajenja in pretok zraka.

Obstaja sicer več različnih vrst hladilnih naprav (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 19):

- stenski ali stropni sistemi z direktno ekspanzijo in zračno hlajenimi kondenzatorji (split sistemi). Imajo moč med 3 in 10 kW. Uporabni so v prostorih, kjer je obremenitev omar majhna (do 3 kW na omaro). Pretok zraka je do 3.000 m<sup>3</sup>/h/enoto;
- sistemi CRAC z direktno ekspanzijo in zračno hlajenimi kondenzatorji imajo moči tudi preko 100 kW. Primerne so za srednje in večje računalniške centre. Pretok zraka je do 25.000 m<sup>3</sup>/h/enoto;
- vodno hlajeni hladilni medij CRAC je voda oz. podobna tekočina. Hladilni medij zagotavljajo zunanje hladilne enote – hladilni agregati. Imajo moči do 160 kW, pretok zraka do 33.000 m<sup>3</sup>/h/enoto;
- energetsko varčni hladilni sistemi z zunanjimi suhimi hladilniki kot hladilni medij pri nižjih zunanjih temperaturah uporabljajo vodo, pri višjih pa plin v notranjem krogu. Imajo moči do 80 kW, pretok zraka do 20.000 m<sup>3</sup>/h/enoto;
- vodno hlajeni hladilni sistemi CRAC, ki delujejo kot t. i. hladna stena. Namenjeni so izključno računalniškim centrom in zagotavljajo najvišje moči hlajenja z največjimi pretoki.

Poleg izbire hladilnega sistema so zanimive še naslednje tehnike tehničnega hlajenja (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 19–21):

- postavitve strežniških omar prosto po prostoru, s hladilnimi napravami pa hladimo celoten prostor;
- postavitve strežniških omar v vrste, z orientacijo hladnih in toplih področij, CRAC vpahuje hladni zrak pod dvignjenim podom, izpih pa skozi perforirane talne plošče v hladno cono pred strežniškimi omarami. Hladimo lahko strežniške omare do 5 kw/omaro;
- uporaba zaprtih hladnih con: postavitve strežniških omar v vrste, z orientacijo hladnih in toplih področij, hladna področja še dodatno zapremo z zaporo hladnega območja. S tem preprečimo mešanje hladnega in toplega zraka – izpih poteka v zaprto hladno

cono, zajem toplega zraka pa poteka iz okoliškega prostora. S tem lahko hladimo systemske omare z obremenitvijo do 12 kW/omaro;

- uporaba zaprtih toplih con;
- odprta InLine tehnika – podobno kot zaprta hladna cona, med omarami so postavljene InLine hladilne omare. Zajem toplega zraka poteka iz okoliškega prostora. Hladimo do 12 kW/omaro;
- delno zaprta InLine tehnika – strežniške omare so posamezno ali po parih skupaj, med njimi pa je InLine hladilnik. Tako se hladi le eno ali dve omari. Zajem toplega zraka poteka iz okoliškega prostora. Hladimo do 15 kW/omaro;
- zaprta InLine tehnika – strežniške omare postavimo posamezno ali po parih skupaj. Med njih postavimo InLine hladilnike tako, da so sprednja in zadnja vrata systemskih omar zaprta. Zrak kroži le znotraj posamezne omare. V skrajnem primeru lahko damo tudi dva InLine hladilnika na omaro. Hladimo do 25 kW/omaro.

Poleg naštetih so še nekatere posebne okoliščine in omejitve (Lavuger & Mahorič, 2014, str. 20–21):

- tehnično hlajenje je treba zagotoviti vsem napravam računalniškega centra, poleg strežniških in TK-omar tudi UPS in STS;
- v systemskem prostoru je treba zagotoviti hlajenje vseh omar;
- tehnično hlajenje je oskrbni sistem, kjer večinoma prihaja do največ napak, zato je najpomembneje zagotoviti ustrezno razpoložljivost, tudi z redundanco in izvajati redne preglede;
- v računalniških centrih, kjer je obremenitev na m<sup>2</sup> preko 5 kW, je čas, potreben, da se temperatura v prostoru dvigne do 35 °C, krajši od dveh minut. Zato je potreben razmislek, ali priključimo tudi hladilne sisteme na UPS-sisteme;
- treba je upoštevati dimenzije opreme za tehnično hlajenje, ker je prostor v centru omejen;
- paziti moramo, ker vsak predmet predstavlja oviro za pretok zraka in posledično energetske izgube in neenakomerno hlajenje;
- za hlajenje 3 kW toplotnih izgub, potrebujemo 1.000 m<sup>3</sup>/h hladnega zraka. Pri večji gostoti je težko zagotoviti dovolj hladnega zraka neposredno pri izvoru toplote, pa tudi pri viru hlajenja;
- tlak pod dvignjenim podom narašča z oddaljenostjo od hladilnih omar. Zaradi tega bo izpih večji na koncu prostora kot bližje hladilnim omaram.

### 1.3 Energetska učinkovitost računalniškega centra

Stroški električne energije so pomemben del celotnih stroškov lastništva ali angleško *total cost of ownership* (krajše: TCO) v računalniških centrih. S pravilno konfiguracijo in

postavitvijo fizične infrastrukture in z dobro arhitekturo IT-sistemov je možno drastično zmanjšati porabo elektrike tipičnih računalniških centrov.

V delu *Power Management Techniques for Data Centers: A Survey* (Mittal, 2014a) je omenjenih več možnih tehnik za upravljanje porabe električne energije (Cabusao, Mochizuki, Mashiko, Kobayashi, Singh, Nguyen & Wu, 2010; Chetsa, Lefevre, Pierson, Stolf & Costa, 2012; Chen, Li & Shi, 2012; Chang, Meza, Ranganathan, Shah, Shih & Bash, 2012; Bergamaschi, Piga, Rigo, Azevedo & Araújo, 2012), ki se jih je potrebno držati. V delu se osredotoča na tehnike arhitekture in operativne tehnike in ne na tehnike, vezane na posamezne naprave.

V ZDA je med letoma 2000 in 2007 narasla poraba električne energije za dvakrat (Kant, 2009). Raziskava (Greenberg, Mills, Tschudi, Rumsey & Myatt, 2006) je pokazala, da imajo stavbe z računalniškimi centri tudi do 40-krat večjo porabo, kot običajne stavbe s pisarnami. Visoka poraba energije v računalniških centrih zahteva tudi drago hladilno infrastrukturo (Mittal, 2014b).

Večino časa strežniki delajo med 10–50 % maksimalne možne učinkovitosti (Barroso & Hölzle, 2013; Ranganathan, Leech, Irwin & Chase, 2006), in četudi se ponudniki tega zavedajo, morajo zaradi izpolnitve zahtev SLA (angleško *service level agreement*) in zagotovitve dovolj dobre odzivnosti (Mittal & Zhang, 2012) do uporabnikov uporabljati močnejše strežnike.

Mittal razdeli tehnike obvladovanja porabe električne energije na:

- DVFS-tehnike (*dynamic voltage/frequency scaling*),
- tehnike, ki strežnike ugasnejo ali premaknejo v stanje nizke porabe ali pa uporabijo konsolidacijo strežnikov in s tem uporabijo samo toliko virov in seveda posledično energije, kolikor je potrebno,
- tehnike za obremenitev strežnikov ali časovni nadzor procesov,
- tehnike s področja upravljanja temperature in tehnike s področja hlajenja računalniških centrov.

Poraba električne energije ni vedno kriterij pri načrtovanju in postavitvi novih računalniških centrov in tudi ni vedno upoštevana kot strošek obratovanja, četudi stroški električne energije med vso življenjsko dobo računalniškega centra lahko presežejo investicijske stroške celotne električne infrastrukture ter lahko celo presežejo celotne stroške IT-infrastrukture. Razlogi za tako situacijo so lahko (Rasmussen, 2011a):

- če stroški električne energije niso jasno povezani s procesi in operacijami v računalniškem centru in se zdi, kot da se temu strošku ne moremo izogniti,

- orodja za modeliranje električnih stroškov računalniških centrov niso dosegljiva in se jih ne uporablja pri načrtovanju računalniških centrov,
- za stroške električne energije pogosto niso odgovorni upravljavci računalniških centrov ali pa niso zajeti v proračunu računalniškega centra,
- stroški električne energije računalniškega centra so zajeti v večjem računu (na primer cele stavbe),
- odgovorni niso seznanjeni z informacijami o stroških električne energije v računalniškem centru.

Če navedene razloge odpravimo, lahko s tem dosežemo precejšen prihranek finančnih sredstev. Največje prihranke je možno doseči pri načrtovanju novih računalniških centrov, četudi tudi prihranki pri obstoječih računalniških centrih niso zanemarljivi. Dokaj enostavne rešitve lahko zmanjšajo stroške električne energije za 20–50 % pri novih računalniških centrih, s sistematičnim pristopom pa celo do 90 %.

Če predpostavljamo, da je za večja podjetja cena električne energije 8 centov na kWh (Podatkovni portal SI – STAT, 2016), lahko izračunamo, da je letni strošek za vsak kWh porabe 700 €. V 10 letih obratovanja je strošek 7.000 € na vsako kWh porabe IT-opreme. Na te stroške moramo biti pozorni, vedeti moramo, ali so ti stroški upravičeni in ali se jim lahko izognemo.

Približno polovica stroškov računalniškega centra predstavlja fizična infrastrukturna oprema angleško *data center physical infrastructure* (krajše: DCPI), vključno z opremo za električno oskrbo, hladilno tehniko in osvetlitvijo. V tipičnem računalniškem centru približno polovico električne energije uporabimo za delovanje računalniške opreme, ostalo pa porabimo za ostalo fizično infrastrukturo računalniškega centra. Iz tega lahko sklepamo, da nas vsak kWh porabe na računalniški opremi (pri ceni 0,08 €/kWh) v 10 letih stane 14.000 €. Seveda to velja pri dobro načrtovanem računalniškem centru, v primeru slabših pogojev je sama cena lahko bistveno višja.

Učinkovitost računalniške opreme je tehnično problematičen izraz in lahko vodi do nesporazumov. Veliko bolje je, če uporabimo izraz električna poraba v kW. Na primer, če imamo 2 napravi, kjer ima prva 50- in druga 80-odstotno učinkovitost, tega ne moremo izraziti v numerični vrednosti, ki bi jo vezali na strošek. Električna poraba je pa povezana s količino električne moči, ki smo jo dovedli napravi.

Električna moč je izražena v enotah kilovatnih urah (kWh), kar ustreza delu, ki ga opravi porabnik z močjo 1000 W v času 1 ure. Stroški, povezani z zmogljivostjo oziroma močjo, ki jo nudijo naprave za oskrbo z električno energijo, se povečajo s povečanjem moči oziroma zmogljivosti naprav.

Zmanjšanje porabe energije povzroči, da lahko uporabimo manj zmogljive naprave in s tem zmanjšamo stroške električne energije. Seveda moramo razlikovati med trenutnim zmanjšanjem porabe in trajnim zmanjšanjem porabe, ker v primeru trenutnega zmanjšanja porabe električne energije, kot recimo pri preporazdelitvi opravil med strežniki, ne moremo uporabiti manj zmogljivih naprav oskrbne infrastrukture. Trajne oziroma strukturne spremembe, kot so uporaba zelo učinkovitih strežnikov in visoko učinkovitih UPS-sistemov, pa znižajo stroške ter vplivajo tudi na infrastrukturne stroške, ker lahko uporabimo manj zmogljive naprave oskrbne infrastrukture.

Ko izgradimo računalniški center, se med vso njegovo življenjsko dobo ukvarjamo z oskrbo in vzdrževanjem. Če obratovalne stroške v času celotne življenjske dobe računalniškega centra seštejemo, lahko ugotovimo, da znašajo nekajkrat več, kot je vrednost računalniškega centra.

Včasih so bile metode nadzora nad porabo električne energije zelo slabe. Proizvajalci niso posredovali potrebnih informacij, da bi uporabniki lahko izbrali opremo glede na porabo elektrike. Uporabniki tudi niso razumeli, da lahko z izbiro opreme vplivajo na porabo elektrike. Vsekakor se sedaj situacija izboljšuje in uporabniki lahko sistematsko planirajo in izvajajo operativne akcije, s čimer zmanjšujejo porabo električne energije.

Za zmanjšanje porabe električne energije lahko uporabimo več načinov (Rasmussen, 2011a, str. 5):

- operativne akcije ugašanje nepotrebnih sistemov, upravljanje sistemov v bolj učinkovitem načinu ter migracija na bolj energetske učinkovite platforme,
- planirane akcije: virtualizacija in standardizacija.

### **1.3.1 Odklop nepotrebnih IT-sistemov**

Računalniški centri se soočajo s čedalje krajšimi cikli zamenjave opreme, pri čemer mnogi pravzaprav ne vedo, kaj narediti s starimi strežniki. Večina računalniških sistemov se razvije iz starejše tehnologije in po prehodu na novejšo tehnologijo in nove strežnike, ostajajo aktivni starejši strežniki za shranjevanje, testiranje in razvoj. Ker niso uporabljeni v produkciji, se na njih sčasoma preprosto pozabi. Večina računalniških centrov ima aplikativne strežnike, ki so priklopljeni in pripravljeni za uporabo, četudi jih uporabniki nič več ne potrebujejo. Ponekod jih preselijo na druge lokacije, če je to tehnično in praktično mogoče, marsikje pa jih preprosto spravijo v skladišča ali pustijo v računalniških centrih. A ugasnjene, kajti vsak vklopljen strežnik letno ustvari kar zajeten kup stroškov, zato je cilj vseh, da se čim prej umakne take strežnike iz produkcije.

Aplikacije, ki tečejo na starejših strežnikih, lahko preselimo na nove strežnike in jih združimo z drugimi aplikacijami in s tem zmanjšamo skupno število strežnikov. Ta tip konsolidacije ne potrebuje virtualizacije, ki je omenjena kasneje.

S tema dvema pristopoma je možno zmanjšanje do 20 % (Rasmussen, 2011a). Uporabili smo novejšje strežnike, ki so manjši ali bolj zmogljivi in zavzemajo manj prostora v računalniških omarah, zato ni potrebno povečanje računalniškega centra.

### **1.3.2 Upravljanje sistemov na bolj učinkovit način**

Novejši strežniki imajo možnost upravljanja električne porabe. Strežniki lahko zmanjšajo električno porabo, če je obremenitev strežnikov manjša. Seveda je nekatere funkcije treba nastaviti in prilagoditi čim manjši porabi energije. Te funkcije sicer zmanjšajo porabo električne energije, vendar pa s tem ne zmanjšamo skupne izračunane kapacitete napajanja in hlajenja računalniškega centra.

### **1.3.3 Migracija na energetsko učinkovitejšje platforme in sisteme**

Migracija na bolj energetsko učinkovite platforme je tudi učinkovita strategija za zmanjšanje porabe električne energije. V večini računalniških centrov se nahajajo starejši strežniki, ki porabijo enako ali več energije, kot sodobnejši strežniki, poleg tega zavzemajo več prostora. Selitev na sodobnejše strežnike ne zmanjša skupne porabe energije, včasih jo celo poveča, vendar pa lahko z uporabo novih strežnikov povečamo gostoto v strežniških omarah. Novi strežniki imajo tudi bolj učinkovite napajalnike in krmiljenje ventilatorjev in s tem zmanjšamo porabo energije. Najuspešnejše so naslednje migracijske strategije:

- uporaba strežnikov z več procesorji ali s procesorji z več jedri,
- uporaba strežniških rezin, ki imajo nižjo ali srednjo napetost napajanja procesorjev za zamenjavo starih strežnikov,
- uporabimo energetsko bolj varčne 2.5" ali SSD-diske, namesto 3.5" diske,
- zamenjava strežnika z več procesorji s strežnikom, ki ima večjedrni procesor.

Izkaže se sicer, da migracija ni najbolj učinkovita metoda za zmanjšanje porabe električne energije. Nove tehnologije nam lahko pomagajo zmanjšati število strežnikov predvsem s kombiniranjem več aplikacij in prečiščenjem le-teh.

### **1.3.4 Virtualizacija**

Pomembna tehnologija je virtualizacija sistemskih sredstev, predvsem virtualizacija strežnikov. Virtualizacija je omogočila znatno nižje stroške investicije zaradi manj uporabljene strojne opreme in bistveno boljši izkoristek opreme.

Preverimo lahko, kateri sistemi se lahko dopolnjujejo med seboj, v primeru, da ima en sistem nizko porabo procesorja in visoko porabo spomina, se lahko dobro dopolnjuje s sistemom, ki ima visoko porabo procesorja in nizko porabo spomina. Če imamo strežnike, ki so popolnoma obremenjeni s poslovno nekritično aplikacijo in s tem zmanjšujejo zmogljivost ali odzivnost jih virtualizirajmo. Virtualizirane damo na isti sistem z drugim virtualnim strežnikom, na katerem občasno dosežemo maksimalno obremenitev, na primer tedenske ali mesečne obdelave. S pravnimi nastavitvami lahko dosežemo, da maksimalna obremenitev virtualke zamakne ne kritične obdelave, medtem ko je celoten sistem še vedno 100-odstotno obremenjen.

Procesna zmogljivost v večini primerov ni več problematična. Dvoprocesorski ali kvečjemu štiriprocesorski strežniki z več jedri procesno povsem zadostujejo za tja med 50 in 100 navideznimi strežniki na fizični strežnik. Poleg procesorja je zelo pomemben pomnilnik. Več kot dodamo pomnilnika, boljše zmogljivosti lahko pričakujemo. Današnji strežniki imajo tako zlahka več 100 GB pomnilnika na sistem, ki ga po potrebi delijo med različne navidezne strežnike.

Z virtualizacijo pa smo dobili tudi negativne posledice. Strežniki so se namnožili, ker se jih v virtualizacijskem okolju zelo enostavno naredi, kar pa ima za posledico kompleksnejše upravljanje. Vsakemu strežniku je treba zagotoviti tudi ustrezno licenco, če seveda ne uporabljamo brezplačnih, odprtokodnih izdelkov. Vse te licence postajajo v celotnem strošku lastništva vse večja postavka in marsikje tudi omejitev za nadaljnje povečevanje navideznih strežnikov.

Virtualizacija drastično zmanjša porabo električne energije in število fizičnih strežnikov. Z odklopom vsakega fizičnega strežnika in njegovo virtualizacijo prihranimo pri porabi električne energije. Povprečni fizični strežnik ima porabo 200–400 W, iz tega sledi, da je pri ceni električne energije 0,08 €/kWh prihranek 140–280 € na leto.

Kombinacijo virtualizacije in migracije podajo L. Liu et al. (Liu, Wang, Liu, Jin, He, Wang & Chen, 2009). Ta tehnika uporablja migracije virtualnih strežnikov med fizičnimi strežniki, da zagotovi čim manjšo porabo. Tehnika se uporablja med delovanjem aplikacij, tako da se uporabnik ne zaveda migracije.

### **1.3.5 Standardizacija**

Standardizacija na energetsko učinkovitih strežnikih je zelo učinkovit ukrep, četudi ne uporabimo virtualizacije. Na primer strežniške rezine so velikokrat performančno učinkovitejše, kot tipični strežniki in lahko drastično zmanjšajo porabo električne energije. Uporabniki navadno zahtevajo visoko zmogljiv strežnik za svoje aplikacije, četudi bi lahko uporabili manj zmogljiv, ki bi zadovoljil njihove performančne zahteve in porabil manj

energije. S konstantnimi merjenji lahko določimo, kako zmogljiv strežnik uporabnik potrebuje in se s tem približamo resničnim potrebam uporabnikov.

Ko virtualiziramo strežnike je lahko uporaba najbolj performančno zmogljivega strežnika (gostitelja) prava pot, ki vodi k najmanjši skupni porabi električne energije. Vendar pa je smiselno, da uskladimo zmogljivost strežnika z zahtevami aplikacije in s tem zmanjšamo porabo energije.

Uporabimo pa lahko tudi visoko zmogljive strežnike (z večjo porabo) in manj zmogljive (z nižjo porabo energije), ki jih standardiziramo in glede na potrebe aplikaciji dodelimo bolj ali manj zmogljivega. Pravilo je, da najprej damo aplikacijo na manj zmogljive strežnike in le, če se izkaže potreba, na visoko zmogljive strežnike. Na ta način lahko dosežemo tudi do 10 % zmanjšanja porabe energije (Rasmussen, 2011a).

Zmanjšanje energetske porabe oskrbnih sistemov je mogoče s konfiguracijo, ki se prilagaja IT-obremenitvi, z uporabo energijsko učinkovite opreme in s projektiranjem energetske učinkovitega sistema.

### **1.3.6 Konsolidacija strežnikov**

Ker moramo zagotoviti dovolj strežniških virov, da zadostimo potrebam uporabnikov po hitri odzivnosti in da zagotovimo zanesljivost, potrebujemo veliko strežnikov, kar pa posledično vodi k slabi energetske učinkovitosti (Barroso & Hölzle, 2007). S konsolidacijo strežnikov zmanjšamo število strežnikov s tem, da še vedno obdržimo dovolj dobro prepustnost. Tu obstoječe aplikacije premaknemo na manj strežnikov, ki pa so bolj obremenjeni, neuporabljene strežnike pa premaknemo v stanje nižje porabe ali jih celo ugasnemo.

Zanimiva tehnika je tudi GREEN-NET, ki so jo predstavili Da Costa et al. (Da Costa, De Assuncao, Gelas, Georgiou, Lefèvre, Orgerie, Pierson, Richard & Sayah, 2010), ki ima tri nivoje. Na prvem nivoju uporabnike ozavešča o njihovi porabi energije, na drugem nivoju prepričuje uporabnike, naj zmanjšajo odzivnost, da prihranijo energijo in končno na tretjem nivoju uporablja prilagoditvene tehnike, kot je ugašanje strežnikov ali prehod v stanje manjše porabe.

### **1.3.7 Ravno prava konfiguracija**

Z ravno pravo konfiguracijo infrastrukturne oskrbne opreme (DCPI) zmanjšamo porabo te opreme. Stalne izgube so vedno prisotne v električnih oskrbnih sistemih in hladilnih sistemih, če imamo obremenitev ali če je nimamo. V postavitvah z manjšo obremenitvijo stalne izgube oskrbne opreme presegajo celo porabo električne energije računalniške



opreme. Če je oskrbna infrastruktura predimenzionirana, so stalne izgube kar velika postavka na računu za električno energijo.

Za sistem, ki ima 30-odstotno obremenitev, so letni stroški na kW koristnega dela računalniške opreme navadno precej višji kot za sistem, ki ima višjo obremenitev. Če je sistem prilagojen obremenitvi, se zmanjšajo stroški obratovanja, ravno tako se s prilagoditvijo manjši porabi zmanjšajo tudi investicijski stroški.

Sistem, ki ga prilagodimo obremenitvi, prihrani na infrastrukturi in operativnih stroških. Prihranek pa je približno enako velik kot prihranek pri stroških električne energije (Rasmussen, 2011a). Ti izračuni izhajajo iz primera obravnavanega v *Electrical Efficiency Modeling for Data Centers* (Rasmussen, 2011b), kjer pa so bili upoštevani podvojeni oskrbni sistemi, drugače bi bili prihranki manjši.

Pravilno dimenzioniranje lahko prihrani do 50 % stroškov električne energije v realnem okolju. Ravno zaradi teh prednosti se marsikdo odloči za modularne in nadgradljive (skalabilne) DCPI-rešitve (Rasmussen, 2011a).

### **1.3.8 Projektiranje energetske učinkovitega sistema**

Arhitektura sistema ima večji vpliv na električno porabo kot osredotočanje na energijsko učinkovitost vsake posamezne naprave. Dva računalniška centra z enako opremo imata lahko povsem različne stroške električne energije. To nam pokaže, da sta arhitektura in načrtovanje sistema pomembnejša za učinkovitost računalniških centrov kot izbor napajalnih in hladilnih naprav.

Primeri načrtovanja in arhitekture sistemov, ki bolj negativno vplivajo na učinkovitost računalniških centrov, kot bi pričakovali glede na energijsko učinkovitost posameznih naprav (Rasmussen, 2011a):

- napajalne enote in transformatorji delujejo precej pod svojo polno obremenitvijo,
- klimatske naprave delujejo z nizko izhodno temperaturo s stalnim razvlaževanjem zraka, ki ga moramo stalno vlažiti z vlažilci,
- problemi pri neuskkljenih klimatskih napravah, ko ena enota v istem prostoru hladi, druga pa greje,
- velika poraba klimatskih naprav zaradi prevelikih razdalj za transport zraka pod visokim pritiskom,
- v primeru, da je vhodna temperatura mnogo nižja kot izhodna temperatura računalniške opreme, kar povzroči, da klimatska naprava deluje z zmanjšano učinkovitostjo in ima manjšo kapaciteto hlajenja,

- hladilne črpalke, ki pretok nastavljajo z dušilnimi ventili, imajo zmanjšano učinkovitost.

Večina navedenih napak je povezanih s hlajenjem. V praksi ima večina slabo načrtovanih sistemov preveliko porabo, povezano s hlajenjem, ker je večina napajalnih sistemov bolj standardizirana in je manj občutljiva na napake v arhitekturi in načrtovanju.

Zgornji primeri povzročajo dvakrat večjo porabo energije oskrbne infrastrukture, kot bi bilo to potrebno. Vsem tem problemom se lahko izognemo z majhnimi vložki in enostavnim načrtovanjem (Rasmussen, 2011a):

- preverite, da je arhitektura sistema v celoti dodelana, preizkušena lahko tudi s CFD-modeliranjem in zagonskim testiranjem,
- uporabiti modularno, standardizirano zasnovano oskrbne infrastrukture, ki je bila načrtovana, izdelana in preizkušena, da se izogne zgoraj omenjenim težavam.

### **1.3.9 Uporaba energijsko učinkovite opreme**

Četudi izbira napajalne in hladilne opreme ne vpliva toliko na porabo kot IT-arhitektura, ravno pravilna konfiguracija in načrtovanje sistema, je učinkovitost naprav še vedno zelo pomembna.

V raziskavi U. S. Electric Power Research Institute decembra 2005 je bilo ugotovljeno, da imajo različni UPS-sistemi, delujoči pri 30-odstotni obremenitvi, izgube od 4 % do 22 %, kar je 500 % razlike. Vse to pa je iz dokumentacije proizvajalcev nemogoče ali zelo težko pridobiti.

Praktične strategije za zmanjšanje porabe električne energije so pravilno dimenzioniranje oskrbne infrastrukture računalniškega centra, kjer so možni prihranki od 10 do 30 %. To velja pri novih postavitvah ter nadgradnjah. Uporabiti moramo modularno, nadgradljivo in razširljivo napajalno in hladilno tehniko. Pri načrtovanju pa moramo uporabiti pravilno energetske bilanco in pravilno dimenzionirati sisteme (Rasmussen, 2011a; Lavuger & Mahorič, 2014, str. 33).

Naslednja tehnika je virtualizacija, kjer se lahko prihrani 10–40 %. S to tehniko uporabimo manj strežnikov, ti pa so tudi bolj učinkoviti. Obenem zmanjšamo tudi potrebe po hlajenju in električnem napajanju. Z zamenjavo hladilne tehnike z bolj učinkovito lahko prihranimo 7–15 %, vendar to velja za zelo obremenjene strežniške omare in uporabo tehnike InLine hlajenja (Rasmussen, 2011a; Lavuger & Mahorič, 2014, str. 33).

Z ekonomičnimi hladilnimi sistemi lahko z uporabo prostega hlajenja ali kakšno drugo naprednejšo tehniko prihranimo 4–15 %. Najlažje je to doseči pri novih postavitvah, zelo težko pri nadgradnjah (Rasmussen, 2011a; Lavuger & Mahorič, 2014, str. 33).

Optimizacija razporeditve strežniških omar ima velik vpliv na učinkovitost hlajenja. V to tehniko so vključene postavitve toplo hladne cone in primerna postavitev klimatskih naprav. Prihranek pri tej tehniki znaša od 5 do 12 % (Rasmussen, 2011a; Lavuger & Mahorič, 2014, str. 33).

Z nakupom in vpeljavo bolj učinkovitega napajalnega sistema lahko prihranimo 4 do 10 %. Izgube sistemov neprekinjenega napajanja je treba še hladiti, zato se izgube seštevajo. Novi UPS-sistemi imajo bistveno manj izgub kot starejši (Rasmussen, 2011a).

Dobro krmiljenje klimatskih naprav lahko prihrani do 10 % nepotrebno izgubljene energije zaradi medsebojno neusklajenega delovanja v primeru več klimatskih naprav; z dobrim krmiljenjem usklajujemo gretje in hlajenje ter vlaženje. Krmiljenje pa naj zmanjšuje tudi nepotrebno delovanje (Rasmussen, 2011a, Lavuger & Mahorič, 2014, str. 33).

S pravilno razporeditvijo perforiranih plošč v primeru hlajenja pod dvojnimi podom prihranimo 1–6 %, z uporabo energetske učinkovite osvetlitve 1–3 %, z uporabo slepih panelov pa od 1–2 % porabe električne energije (Rasmussen, 2011a).

Obratovalne stroške električne energije računalniških centrov moramo pametno upravljati. Če zmanjšamo obratovalne stroške, lahko zmanjšamo tudi investicijske stroške, ki bi jih morali nameniti v dodatno tehnično hlajenje in moč napajanja, seveda pa lahko prihranimo tudi pri prostoru. Nekatere tehnike zmanjšanja stroškov obratovanja so zelo enostavne in ne potrebujejo velikih vložkov. Največ pa pridobimo s prehodom na bolj energetske učinkovite platforme in oskrbno infrastrukturo, zato je treba pri postavitvi novih računalniških centrov veliko več časa nameniti arhitekturi računalniških sistemov in arhitekturi oskrbnih sistemov. V računalniških centrih moramo pri zmanjševanju stroškov vedno upoštevati skupaj računalniške sisteme in oskrbno infrastrukturo, ker so med seboj močno odvisni.

## **1.4 Dvig temperature v računalniškem centru**

Upravljalci računalniških centrov vlagajo velike napore, da bi zmanjšali porabo električne energije na različne načine. Zaradi spremenjenih standardov ASHRAE TC9.9, ki so bili objavljeni 2011, je ena od smernic zvišanje temperature računalniškega centra in s tem tudi zmanjšanje porabe električne energije.

Veliko računalniških centrov še vedno obratuje pri temperaturah okoli oziroma pod 21 °C (Brandon, 2007; Miller, 2008). Navkljub velikemu prihranku pri znižanju obratovalne

temperature računalniškega centra, se odgovorni bojijo izpadov delovanja, četudi dobro upravljanje s temperaturo lahko prinese precejšnje zmanjšanje računa za električno energijo. Zanimivo, da ravno glavni aspekt, dvig osnovne vhodne temperature, tega upravljanja v praksi ni dobil zadostne podpore. Večina računalniških centrov ima zato nastavljeno temperaturo na osnovi (konservativnih) priporočil proizvajalcev, ker odgovorni v računalniških centrih nimajo informacij, kako bodo višje temperature vplivale na sisteme. Znano je, da povišanje vhodne temperature računalniških centrov za samo eno stopinjo, lahko prihrani 2–5 % porabe energije (El-Sayed, Stefanovici, Amvrosiadis, Hwang & Schroeder, 2012; Brandon, 2007; California Energy Commission, 2016). Microsoft je z dvigom temperature za dve do štiri stopinje samo v enem od računalniških centrov v Silikonski dolini privarčeval 250.000 \$ v enem letu (Miller, 2008).

Računalniški centri so se razvili v velike porabnike električne energije. Celotna poraba vseh svetovnih računalniških centrov je ocenjena na porabo ekvivalentno sedemdesetim 1.000 MW elektrarnam in s tem na približno 1 % celotne svetovne porabe električne energije. Ocena je, da ima celotna Argentina toliko izpusta ogljikovega dioksida, kot je izpust vseh računalniških centrov (Kaplan, Forrest & Kindler, 2008). Več kot tretjino in včasih do polovice računa za električno energijo računalniškega centra je iz porabe električne energije za hlajenje (Belady, Rawson, Pfleuger & Cader, 2008; Lawrence Berkeley National Labs, 2007).

Študij na temo zmanjševanja porabe električne energije je bilo že veliko – metode, kot je zmanjšanje neučinkovitosti zračnega pretoka (Patel, Bash, Sharma & Beitelmal, 2003), porazdelitev obremenitve, nadzor umestitve obremenitve v računalniškem centru (Bradley, Harper & Hunter, 2003; Rajamani & Lefurgy, 2003; Sharma, Bash, Patel, Friedrich & Chase, 2005) in funkcije za zmanjševanje porabe na posameznih strežnikih (Flautner & Mudge, 2002; Gandhi, Harchol-Balter, Das & Lefurgy, 2009). Zelo pomemben je tudi vpliv na zanesljivost strojne opreme. V študiji *Alternating cold and hot aisles provides more reliable cooling for server farms* (Sullivan, 2000) ugotavljajo, da moramo strežnikom dovajati zrak temperature med 20 in 30 °C, v študiji *The effect of data center temperature on energy efficiency* pa, da dvig temperature za vsakih 10 °C nad 21 °C zmanjša zanesljivost elektronike za 50 % (Patterson, 2008).

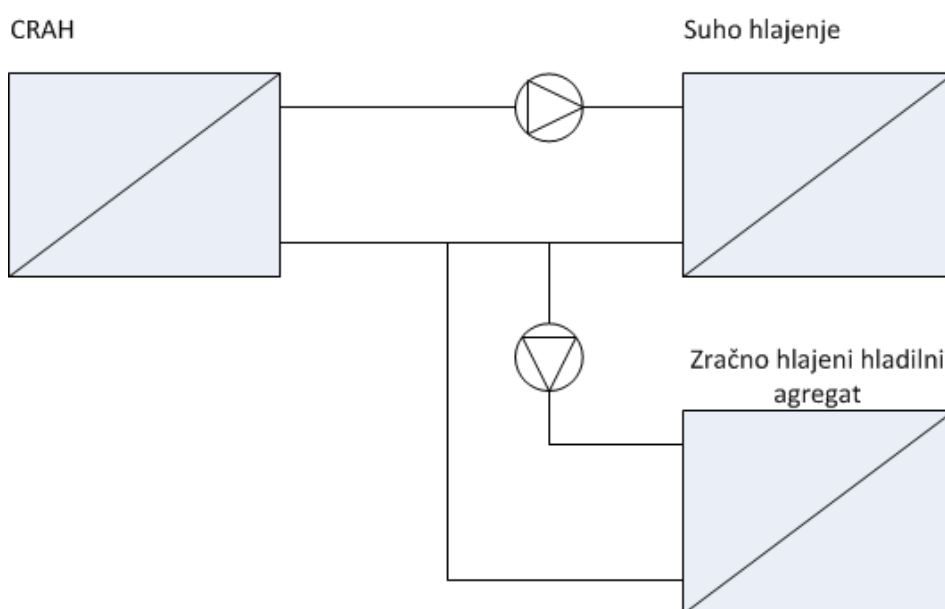
Dvig temperature v računalniškem centru je tesno povezan z delovanjem strežniških ventilatorjev. Namen strežniških ventilatorjev je hlajenje komponent znotraj ohišja strežnika. Najpomembnejši deli, ki jih ventilatorji hladijo, so procesorski čipi, ki lahko dosežejo temperaturo do 90 °C. Višja kot je vhodna temperatura, višja je temperatura procesorja, zato se logično poveča hitrost ventilatorjev, poveča se pretok zraka in s tem ohlaja procesorje. S tem se posledično poveča poraba energije strežnika.

Na to temo je raziskava *The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures* (Torell, Brown & Avelar, 2015) ugotavljala, koliko energije je mogoče prihraniti z

višanjem temperature v računalniškem centru in ali bo višja temperatura vplivala na IT-opremo. Seveda je na dinamiko računalniškega centra potreben celosten pogled, ker so sistemi soodvisni med seboj, ko poraba električne energije pri enem sistemu naraste, se pri drugem zmanjša.

V raziskavi je bil uporabljen kombiniran način: zračno hlajeni sistem hlajenja v kombinaciji z zunanjim hladilnim agregatom s suhim hlajenjem (Slika 1). Če se nastavljena vhodna IT-temperatura dvigne, energija celotne hladilne naprave lahko pade zaradi dveh razlogov: zato, ker računalniški center lahko obratuje v ekonomičnem (prosto hlajenje) stanju obratovanja večino časa v letu, ali pa, če se poveča učinkovitost hladilnega kompresorja.

Slika 1: Hladilni sistem, uporabljen v raziskavi



Vir: Prirejeno po viru Torell, W., Brown, K., & Avelar V., *The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures*, 2015, str. 3.

Četudi se poraba energije hladilnega agregata zmanjša, se ravno tako zgodi tole (Torell, Brown & Avelar, 2015):

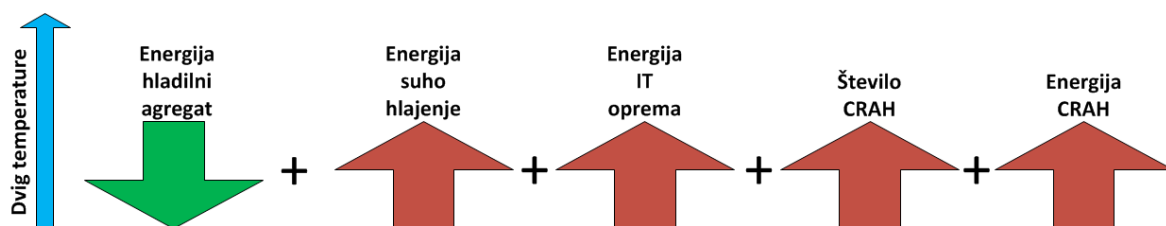
- suhemu sistemu hlajenja (ki deluje v ekonomičnem stanju in ne v stanju hlajenja) poraba energije naraste, ker poraste število ur uporabe,
- poraba strežnikov naraste, kadar dvignemo temperaturo, ker je potreba po pretoku zraka večja,
- CRAH-ventilatorji se pospešijo zaradi večje potrebe strežnikov po hlajenju in se posledično poveča poraba električne energije,

- če hladilna oprema nima možnosti zadovoljiti dodatnih potreb po hlajenju, je treba dodati nove CRAH – dodatni finančni izdatki.

Grafični prikaz vpliva zvišanja vhodne temperature računalniškega centra na posamezne sklope hladilnega sistema je razviden iz Slike 2.

Posledice zvišanja temperature v računalniškem centru so lahko zelo različne glede na arhitekturo hlajenja, glede na to, v katerem podnebnem pasu je lociran računalniški center, kakšna je hitrost in kontrola ventilatorjev IT-opreme in kako je obremenjena IT-oprema.

Slika 2: Vpliv zvišanja vhodne temperature



Vir: Prirejeno po viru Torell, W., Brown, K., & Avelar V., *The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures*, 2015, str. 2.

Za analizo v raziskavi je bil uporabljen kombiniran način zračno hlajenega sistema hlajenja v kombinaciji z zunanjim hladilnim agregatom s suhim hlajenjem. Suho hlajenje, v uporabi v ekonomičnem stanju, je izmenjevalec toplote, ki direktno hladi hladilno vodo, dokler so zunanje temperature v dovoljenih mejah. Črpalke potiskajo vodo skozi zunanji hladilni agregat (angleško *dry cooler*), kjer mrzel zunanji zrak hladi hladilno vodo, ki oskrbuje CRAH (angleško *Computer Room Air Handler*, krajše CRAH). Raziskava je potekala v 1 MW 100-odstotno obremenjenem računalniškem centru, ki je uporabljal 3 zračno hlajene sisteme z zunanjimi hladilnimi agregati s suhim hlajenjem v N+1-konfiguraciji. Vsi hladilni kompresorji so delovali pod delno obremenitvijo (tudi redundantni) v normalnem režimu delovanja, vsi so zmožni delovati tudi pri višji temperaturi hladilne vode, suho hlajenje je bilo uporabljeno v ekonomičnem stanju in ni bilo uporabljeno hlajenje z izhlapevanjem, črpalke so imele fiksno hitrost črpanja. V študiji sta bila uporabljena zaprta topla cona in CRAH v N-konfiguraciji. Zahtevana potreba po pretoku zraka strežnikov je bila usklajena s CRAH-dovodom količine zraka, gostota računalniške opreme je bila približno 4 kW/računalniško omaro in uporabljen je bil podatek 3 % strošek kapitala za TCO-analizo, cena električne energije pa 0,08 €/kWh.

V raziskavi (Torell, Brown & Avelar, 2015) so bili analizirani 3 različni scenariji:

- osnovni – stalna vhodna temperatura 20 °C, kot tipična temperatura v računalniških centrih,

- drugi – dovoljeno temperaturno odstopanje od 15,6 °C–26,7 °C,
- tretji – stalna vhodna temperatura pri 26,7 °C.

Analizirani so bili trije računalniški centri v Chicagu, Seattle in Miami, da se ugotovi vpliv podnebnih pasov na rezultate.

#### 1.4.1 Scenarij z nihajočo temperaturo

Primerjava rezultatov med osnovnim in drugim scenarijem pri nihajoči temperaturi (Torell, Brown & Avelar 2015):

- četudi se porabljen energija hladilnega agregata zmanjšuje, se neto poraba energije vedno ne zmanjša;
- višje vhodne temperature povzročijo višji pretok zraka za hlajenje v IT-napravah, kar zmanjša delta T v CRAH. Potrebujemo generiranje večjega pretoka zraka, da odvedemo isto količino vročega zraka pri teh nižjih delta T-vrednostih;
- zahtevana CRAH-kapaciteta narašča z višjo temperaturo hladilne tekočine, ker se kapaciteta odvajanja odvečne toplote hladilne tuljave zmanjša, ko se delta T zmanjša;
- stopnja zvečanja porabe energije strežnikov in CRAH je odvisna od karakteristik IT-opreme;
- vremenski podatki so pomemben podatek pri oceni, ali spremenljiva vhodna temperatura med 15,6–26,7 °C prinese prihranek.

V Chicagu imamo 1 % prihranka celotne energije, ni pa spremembe na TCO, v Seattlu 15 % prihranka in 6 % boljši TCO, Miami ima 11-odstotno povečanje porabe in 6 % slabši TCO.

Zanimiv rezultat dobimo, če primerjamo razlike v skupni porabi energije in delni PUE (pPUE), to je faktor učinkovitosti izrabe energije ali angleško *Power Usage Effectiveness* (krajše: PUE), izračunan samo na osnovi porabe tehničnega hlajenja. Četudi se je PUE izboljšal v vseh primerih, se poraba energije ni vedno zmanjšala. To seveda kaže na to, da ne smemo uporabiti samo PUE za operativne odločitve.

Zanimiva je tudi maksimalna temperatura pri scenariju dva, pri kateri bi dosegli najnižji TCO za vsako mesto. Glede na podatke je optimalna temperatura različna za različna mesta. V Seattlu je ta temperatura 27 °C, Chicagu 23 °C, v Miamiu pa samo 21 °C.

#### 1.4.2 Scenarij s stalno visoko temperaturo

Če postavimo vhodno temperaturo na stalno, višjo vrednost temperature, se vprašamo, ali to prinese kakšno večjo korist. V raziskavi (Torell, Brown & Avelar, 2015) so dvignili

temperaturo računalniškega centra in jo pustili fiksirano na 27°C. V primeru tako visoke temperature bodo strežniški ventilatorji stalno delovali (celo leto) in trošili dodatno električno moč. Ugotovitve (Torell, Brown & Avelar 2015):

- poraba strežnikov je še višja kot pri spremenljivi vhodni temperaturi, ker ventilatorji delujejo še pod višjimi obrati;
- zgodovinski vremenski podatki so najpomembnejši pri oceni, ali se izplača dvigniti vhodno temperaturo IT-računalniškega centra;
- fiksirati temperaturo na višje vhodne temperature je vedno slabše, kot da dovolimo nihanje, gibanje vhodne temperature seveda do maksimalne še dovoljene temperature. Kadar je temperatura fiksirana, ne izkoristimo dni, ko bi lahko strežniki in CRAH delovali z manjšo porabo energije;
- vpliv števila ur v ekonomičnem stanju na zmanjšano porabo električne energije je bistveno manjši kot v scenariju s spremenljivo vhodno temperaturo.

V primeru stalne temperature 27 °C ima Chicago proti osnovnemu scenariju s stalno temperaturo 20°C 13 % povečano porabo energije in 5 % nižji TCO, Seattle 2 % nižjo porabo energije in 1 % boljši TCO ter Miami za 11 % povečano porabo električne energije in 6 % nižji TCO.

### **1.4.3 Vpliv porabe električne moči zaradi višje temperature**

Ko vhodna temperatura strežnikov naraste, se poveča potreba po večjem pretoku zraka in hitrost in poraba električne energije ventilatorjev. Če uporabimo podatke o vplivu dviga temperature na porabo strežnika (Moss & Bean, 2009), ugotovimo, da se potrebe po večjem pretoku zraka zvišujejo z višanjem temperature. Obnašanje IT-opreme pri povišanih temperaturah zmanjša energetske prihranke hladilnih naprav. Seveda bi lahko posplošili, da višje temperature vedno prinesejo prihranke zaradi prostega hlajenja, vendar je to res samo, če ne upoštevamo izgub energije s strani strežnikov in CRAH (Torell, Brown & Avelar, 2015):

- moč strežniških ventilatorjev postane problem, ker je moč sorazmerna kvadratu hitrosti ventilatorja,
- število CRAH se lahko poveča, ker potrebujemo večji pretok zraka,
- poraba energije CRAH se povečuje, ker potrebujemo večje količine zraka,
- manj je ur delovanja v ekonomičnem stanju, ker potrebujemo hladnejšo hladilno vodo za zmanjšanje delta T CRAH in s tem je povezano zmanjšanje učinkovitosti CRAH-hladilne tuljave.

V vseh treh mestih je obnašanje (karakteristika) IT-opreme najpomembnejši faktor pri učinku na celotno porabo energijo pri povišanju vhodne temperature računalniškega centra.



Zato je treba pregledati celoten računalniški center in vso opremo, preden začnemo z operativnimi spremembami.

#### 1.4.4 Vpliv na zanesljivost delovanja

Analiza stroškovne učinkovitosti mora dati poudarek tudi na zanesljivost delovanja, kjer nam je lahko v pomoč X-factor (Ashrae Technical Committee, 2011a; Ashrae Technical Committee, 2011b), metrika, ki je bila objavljena s strani ASHRAE TC9.9 komiteja. Metrika je razmerje med stopnjo napak pri določeni temperaturi suhega termometra (angleško *dry bulb temperature*) in stopnjo napak pri 20 °C. Ta metrika nam kaže, da se bo število napak strežnikov proti številu napak strežnikov pri 20°C povečalo, kadar se bo temperatura dvigala. Če torej samo povečamo vhodno temperaturo, bomo zmanjšali zanesljivost delovanja.

Edini možen način za zagotavljanje zanesljivosti je prilagajanje temperature. Če imamo pol leta 16 °C (X-factor = 0,8) in pol leta 24 °C (X-factor = 1,2), bo povprečen X-factor enak 1. V tem primeru ne bomo imeli odstopanja od stopnje napak pri 20°C. V Chicagu, prilagajanje temperature vse do 23,3 °C omogoča zmanjšanje porabe električne energije brez vpliva na zanesljivost delovanja. Nad to temperaturo pa naraščajo napake proti osnovni vrednosti napak. Za Seattle je ta temperatura 21.1°C in za Miami 20°C, torej je to večinoma pogojeno z vremenskimi pogoji. Če je nizka zunanja temperatura pogosta, lahko zmanjša vpliv dni z višjimi temperaturami (Chicago), če pa imamo računalniški center v toplejšem področju, nimamo dovolj dni s temperaturo pod 20°C in ne moremo zmanjšati porabe električne energije z zunanjim hladnejšim zrakom.

Pri stalno nastavljeni višji temperaturi 27 °C imamo 31-odstotno povečanje napak strežnikov. To je neodvisno od lokacije, ker je IT-oprema ves čas izpostavljena isti višji temperaturi.

Če je računalniški center na nastavljeni višji temperaturi, imamo manj časa do pregrevanja in izpada IT-opreme, če izpade hladilni sistem.

Dva pogosta primera v današnjih računalniških centrih sta predimenzionirani CRAH in malo obremenjeni računalniški centri.

Najboljša možnost iz perspektive kapitala je, da imamo količino in pretok zraka iz CRAH ravno pravšnja, da izpolnimo zahteve po pretoku zraka v strežnikih. Taki primeri so seveda v realnosti zelo redki, ker se v praksi vedno določena količina zraka izgubi in ne pride do strežnikov. V realnosti je kapaciteta CRAH-pretoka zraka vedno večja, kot so zahteve IT-opreme, zato da vsa oprema zanesljivo dobi zadostno količino hladnega zraka.

Predimenzioniranje CRAH je lahko namerno zaradi varnostne rezerve ali zaradi uporabe redundantnih sistemov ali po nesreči zaradi napačnega predvidevanja obremenitve in zmanjšanja obremenitve zaradi virtualizacije oziroma zamenjave IT-opreme.ocene Uptime Instituta (Sullivan, Strong & Brill, 2006, str. 6) so, da je povprečno predimenzioniranje CRAH 2,6-krat večje od potreb IT-opreme. To predimenzioniranje je seveda strošek, ampak lahko vseeno zmanjša porabo električne energije v primerjavi z idealnim ravno prav dimenzioniranim sistemom.

To je mogoče, ker je moč ventilatorja proporcionalna hitrosti gredi ventilatorja na tretjo potenco. Ko sta CRAH-pretok in količina zraka predimenzionirana, ventilatorji, ki imajo spremenljivo, od temperature odvisno hitrost, delujejo pri zmanjšani hitrosti in zato porabijo manj energije. Pri analizi (Torell, Brown & Avelar, 2015) so v vseh treh mestih ugotovili zmanjšanje porabe električne energije, ko se je večalo predimenzioniranje CRAH. Miami je imel v raziskavi največji prihranek pri električni energiji. Ta efekt je predvsem zato, ker ima Miami zelo malo dni z dovolj hladnimi temperaturami, kjer ventilatorji lahko zmanjšajo njihovo hitrost. Ravno zato je zmanjšanje hitrosti ventilatorjev pri predimenzioniranju CRAH prisotno ves čas. Moramo pa vedeti, da predimenzioniranje CRAH vpliva na naraščanje stroškov kapitala, ki presegajo 10-letni prihranek pri električni energiji. Četudi manjše predimenzioniranje pomaga pri odpravi vročih točk pred IT-opremo, moramo to predimenzioniranje dobro uravnotežiti z ustreznim nadzorom in krmiljenjem pretoka in količine zraka.

#### **1.4.5 Dvig temperature pri 50-odstotni obremenjenosti računalniškega centra**

Kaj pa se zgodi, če deluje računalniški center samo na 50 % možne obremenitve? Kapacitete (kW) računalniških centrov so planirane in načrtovane glede na napovedi, kakšna bo prihodnja rast obremenitve, zato imamo kot posledico predimenzionirane računalniške centre s premajhno IT-obremenitvijo. Velika večina računalniških centrov obratuje med 30 % in 60 % obremenitve (Torell, Brown & Avelar, 2015). Kadar pustimo, da temperatura niha v 50-odstotno obremenjenem računalniškem centru, se poveča prihranek, seveda glede na porabo energije pri fiksirani osnovni temperaturi. Večina dodatnih prihrankov je zaradi več ur prostega hlajenja in zato manjše porabe energije hladilnega sistema. To se zgodi zaradi tega, ker polovično obremenjen agregat s prostim suhim hlajenjem hitreje doseže zeleno temperaturo hladilne vode v prvem delu leta.

Pomembno je dejstvo, da so ti prihranki možni le, če temperatura računalniškega centra lahko niha. V praksi to ni skoraj nikoli, ker nadzorni in kontrolni sistemi niso načrtovani, da bi se dinamično prilagajalo temperaturo.

Raziskava, ki je potekala pri 50-odstotno obremenjenem računalniškem centru in fiksni temperaturi 27 °C v primerjavi s 50-odstotno obremenjenim računalniškim centrom z nastavljenjo osnovno temperaturo, prinese višje stroške energije, naraste pa tudi X-factor v

vseh treh mestih, ker je IT-oprema stalno izpostavljena konstantnim visokim temperaturam. PUE se tu izboljša, kar spet pomeni, da ne smemo uporabiti samo te metrike pri odločitvah.

#### **1.4.6 Priporočila**

Analiza raziskave (Torell, Brown & Avelar, 2015) prikazuje, da je mnogo parametrov, ki vplivajo na prihranke ali naraščanje stroškov električne energije v računalniškem centru in da dvig temperature ni vedno primerna rešitev. Preden spremenimo temperaturo v računalniških centrih, moramo dobro poznati dizajn, okoljske pogoje, sistemske nastavitve, obremenitev in karakteristike vseh IT-naprav in oskrbne infrastrukture. Preden spremenimo temperaturo v računalniškem centru, moramo (Torell, Brown & Avelar, 2015):

- dobre prakse hlajenja, kot so vroče-mrzle cone in zaščitni paneli na računalniških omarah, morajo biti že v funkciji, preden poskusimo dvigniti IT-vhodno temperaturo. To bo preprečilo nastanek vročih področij na vhodnem delu IT-opreme;
- vedeti moramo, kako se obnaša oprema pri višjih temperaturah (poraba električne energije in kakšna je poraba ventilacije, zraka ...);
- preveriti, ali lahko IT-opremi nastavimo optimalne vrednosti pri višjih temperaturah;
- X-factor napoveduje relativno naraščanje stopnje napak, vendar je priporočeno pri IT-partnerju preveriti, ali je stopnja napak skrb vzbujajoča;
- ker v računalniškem centru ni samo strežnikov moramo preveriti in razumeti vpliv dviga temperature tudi na druge naprave na primer diskovne sisteme in mrežno opremo;
- preverite, ali hladilna oprema lahko deluje pri višjih temperaturah;
- upoštevajte in razumite pri načrtovanju dodatnih kapacitet negativni vpliv visokih vhodnih IT-temperatur;
- primerjajte, koliko stroškov električne energije lahko prihranimo z dvigom temperature proti drugim optimizacijskim metodam. To je nujno, ker se vsak računalniški center obnaša drugače;
- pri ocenjevanju sprememb se prepričajte, da imate pogled tudi na skupno porabo energije kot meritev, ker je metrika PUE sama lahko zavajajoča.

### **1.5 Vpliv povišane temperature na zanesljivost strojne opreme**

Večina računalniških centrov ima nastavljeno temperaturo na osnovi konservativnih priporočil proizvajalcev, ker upravniki računalniških centrov nimajo informacij, kako bodo višje temperature vplivale na sistem, četudi se zavedajo, da zvišanje vhodne temperature računalniških centrov lahko vpliva na zmanjšanje porabe energije. Ker lahko zaradi dviga temperature pride do izpada delovanja nas zanima vpliv temperature na zanesljivost strojne

opreme, vključno z zanesljivostjo diskovnih (pod)sistemov, vpliv na komponente podsistema za spomin (angleško *memory*) in zanesljivost strežnikov kot celote.

Hlajenje je velika postavka pri operativnih in vzdrževalnih stroških računalniškega centra, zato si želimo temperaturo dvigniti v okviru priporočenih meja in seveda čim več prihraniti. Povišanje vhodne temperature za eno stopinjo lahko prihrani 2–5 % porabe električne energije (El-Sayed, Stefanovici, Amvrosiadis, Hwang & Schroeder, 2012; Brandon, 2007; California Energy Commission, 2016).

Četudi izgleda dvig temperature enostavna operacija za zmanjšanje stroškov električne energije in emisije toplogrednih plinov, pa ni tako, najbolj očitna je skrb za zanesljivost računalniških sistemov. Informacije o tem, kako povišanje temperature vpliva na zanesljivost strojne opreme, pogosto ni mogoče dobiti ali pa so podatki nasprotujoči. Študija *Alternating cold and hot aisles provides more reliable cooling for server farms* (Sullivan, 2000), ki določa temperaturo dovodnega zraka med 20 in 30 °C in študijo o padanju zanesljivosti elektronike v odvisnosti od temperature (Patterson, 2008) smo že omenili. Omenimo lahko tudi študije o povečanju napak na trdih diskih pri dvigu temperature (Anderson, Dykes & Riedel, 2003; Cole, 2000). Po drugi študiji (Pinheiro, Weber & Barroso, 2007, str. 6) pa Google ugotavlja, da nizke temperature bolj škodujejo trdim diskom, kot visoke.

Pri dvigu temperature računalniškega centra so lahko zadržki zaradi vpliva dviga temperature na performance strežnika, ker se v primeru dviga temperature nad kritično mejo zmogljivosti spomina in procesorja kontrolirano znižajo. Podobne zadržke lahko imamo tudi zaradi zvečanja porabe energije pri višjih obratih strežniških ventilatorjev.

Raziskava *Temperature Management in Data Centers: Why Some (Might) Like It Hot*. (El-Sayed, Stefanovici, Amvrosiadis, Hwang & Schroeder, 2012) je bila narejena na širokem spektru organizacij in računalniških centrov. Ugotovitve raziskave so:

- za temperaturno območje pod 50 °C se povečuje število *latent sector errorjev* (krajše: LSE) na trdih diskih počasneje, kot se je pričakovalo, in to po linearnem modelu. Polovica modelov/računalniških centrov niso pokazali nikakršnega povečanja v stopnji LSE, drugi pa so naraščali linearno in ne eksponencialno;
- spremembe oziroma nihanje temperature imajo bolj izrazit in jasno izražen vpliv na stopnjo LSE kot sam dvig povprečne temperature;
- višja temperatura ne poveča števila LSE potem, ko se je na trdem disku prvič pokazal LSE, s tem pa pokaže, da se mehanizmi, ki so povezani z LSE obnašajo enako pod nizkimi in višjimi temperaturami;
- starejši trdi diski nimajo večje verjetnosti napak LSE pod povišano temperaturo kot novejši. Upoštevajo se trdi diski, stari od 0 do 36 mesecev;
- visoka obremenitev ne poveča stopnje LTE pod višjimi temperaturami;

- za temperature pod 50 °C število okvar diskov z naraščajočo temperaturo raste počasneje, kot predvideva trenutno prepričanje;
- niti višja obremenitev niti starost diska ne vpliva na stopnjo napak trdih diskov kot funkcijo temperature.

Okvara diskov v našem primeru pomeni, da so to diski, ki potrebujejo zamenjavo. Tipično je 1 do 5 % diskov treba zamenjati v enem letu (Pinheiro, Weber & Barroso, 2007; Schroeder & Gibson, 2007). Vpliv temperature na napake diskov je raziskovala študija *Failure Trends in a Large Disk Drive Population* (Pinheiro, Weber & Barroso, 2007). To delo je ugotovilo celo veliko manj napak diskov, kadar povečamo temperaturo, razen za zelo visoke temperature nad 45 °C. To je seveda v nasprotju s prepričanjem, da se bo s povišano temperaturo eksponentno povečevalo število napak.

Preden povišamo temperaturo v računalniškem centru, se moramo prepričati, da vsa strojna oprema računalniškega centra omogoča višje temperature. Problem so lahko starejši ali specialni sistemi, ki niso prilagojeni na delo z višjo temperaturo.

## 1.6 Priporočila za merjenje učinkovitosti računalniških centrov

Poraba energije v računalniških centrih je v stalnem porastu (Lacity, Khan & Willcocks, 2009). Operativni stroški električne energije se bodo še naprej podvojili vsakih pet let med 2005 in 2025 (Sisó, Fornós, Napolitano, Salomon, Da Costa, Volk & Donoghue, 2012). To povečanje vodi tudi do povečanega izpusta CO<sub>2</sub>, ki vpliva negativno na globalno segrevanje in posledično vpliva negativno na okolje.

Merjenje porabe električne energije v računalniških centrih je zelo pomembno za deležnike računalniških centrov. Metrike energetske učinkovitosti so orodje za merjenje učinkovitosti računalniških centrov (Wang & Khan, 2013).

Merjenje učinkovitosti računalniških centrov včasih ni bilo dobro tehnično pokrito. Uporabljale so se različne metode merjenja, težave pa so bile tudi glede jasnosti uporabe in konsistentnosti teh metod. Da bi odpravili te težave, so se različne organizacije v januarju leta 2010 dogovorile za standard merjenja energetske učinkovitosti, različne metrike in o pravilih pri poročanju o tej učinkovitosti. Vključene so bile organizacije: 7x24 Exchange, ASHRAE, The Green Grid, Silicon Valley Leadership Group, U. S. Department of Energy Save Energy Now and Federal Energy Management Programs, U. S. Environmental Protection Agency's ENERGY STAR Program, U. S. Green Building Council ter Uptime Institute (Delovna skupina sodelujočih organizacij, 2010). Prvi dosežek sodelovanja so priporočila za merjenje energetske učinkovitosti namenskih računalniških centrov, ki so predstavljena v tem dokumentu.

PUE-metrika je merjenje energetske učinkovitosti mehanske in električne infrastrukture računalniških centrov. Proces merjenja je omogočil primerjavo uspešnosti ukrepov in upravljavci računalniških centrov so se lahko osredotočili na ukrepe, ki so vodili k izboljšanju metrike.

$$PUE = (\text{Celotna poraba električne energije računalniškega centra} / \text{Poraba električne energije računalniške (IT) opreme}) \quad (1)$$

Imamo različne tipe merjenja PUE-metrike:

**PUE tip 0.** Tu merimo izhod iz UPS-naprav pri najvišji obremenitvi IT-opreme v 12-mesečnem ciklu in meritev na priključitvi elektrike v računalniški center.

**PUE tip 1.** Ta izračun temelji na 12-mesečni porabi energije. Poraba računalniške opreme se kumulativno zbira, meri pa se jo na izhodu iz UPS. Potrebna je uporaba števecv na vseh merilnih točkah. Celotna energija računalniškega centra pa se pridobi iz meritev električne porabe na priklopu računalniškega centra.

**PUE tip 2.** Ta izračun je tudi kumulativen in temelji na 12-mesečni porabi energije. Poraba računalniške opreme se zajema na PDU. Potrebna je uporaba števecv na vseh merilnih točkah. Celotna energija računalniškega centra pa se pridobi iz meritev električne porabe na priklopu računalniškega centra.

**PUE tip 3.** Ta izračun je tudi kumulativen in temelji na 12-mesečni porabi energije. Poraba računalniške opreme je skupna vsota meritev mesta, kjer je priključena naprava. Potrebna je uporaba števecv na vseh merilnih točkah. Celotna energija računalniškega centra pa se pridobi iz meritev električne porabe na priklopu računalniškega centra. Ta način je najbolj točen, saj ne upošteva izgub drugih komponent električnega razvoda in naprav, ki niso računalniška oprema.

*Tabela 1: Korekcijski faktorji različnih tipov energije*

Tip energije	Korekcijski faktor
Električna energija	1,0
Zemeljski plin	0,31
Kurilno olje	0,30
Druga kuriva	0,30
Hladna voda iz okolice	0,31
Topla voda iz okolice	0,40
Para iz okolice	0,43

*Vir: Delovna skupina sodelujočih organizacij. Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency. Version 1—Measuring PUE at Dedicated Data Centers, 2010, str. 7.*

V primeru drugih oblik energije, ki jih dovajamo računalniškemu centru, se te pomnožijo s faktorjem, navedenim v Tabeli 1, in se upoštevajo v PUE-izračunu.

PUE notacija je kompatibilna tudi z The Green Grid izračunom PUE (Avelar, Azevedo, French & Power, 2012). Poleg PUE uporabljamo tudi druge metrike za merjenje energetske učinkovitosti:

- IEP (*IT equipment power*) je energija, ki jo porabijo IT-sistemi,
- TFP (*Total facility power*) je skupna poraba računalniškega centra,
- SI-EER (*Site infrastructure energy efficiency ratio*) je razmerje med TFP in IEP,
- IT-PWE (*IT productivity per embedded Watt*) je razmerje, ki primerja produktivnost IT-sistema na osnovi transakcij, storitev glede na skupno porabo v računalniškem centru ali informacijskem sistemu,
- DC-EER – zmnožek SI-EER in IT-PWE.

Poleg PUE zasledimo tudi faktor učinkovitosti podatkovnega centra angleško *Data Center Infrastructure Efficiency* (krajše: DCiE).

$$DCiE = (1/PUE) \times 100 \% \quad (2)$$

Metriki, navedeni spodaj, sta priporočeni kot izboljšava obstoječih – najdemo ju v dokumentu *Green Technology, Cloud Computing and Data Centers: the Need for Integrated Energy Efficiency Framework and Effective Metric* (Nada & Elgelany, 2014).

$$Fixed\ to\ Variable\ Energy\ Ratio\ (FVER) = 1 + Fixed\ Energy / Variable\ Energy \quad (3)$$

$$Data\ Center\ Energy\ Productivity\ (DCeP) = Useful\ Work\ Produced / Total\ Data\ Center\ Energy\ Consumed\ over\ time \quad (4)$$

## 1.7 Code of Conduct in energetska učinkovitost računalniških centrov

Zaradi povečane porabe energije v računalniških centrih je bila ustanovljena iniciativa Code of Conduct. Code of Conduct se bori za zmanjšanje okoljskih vplivov in porabe energije v računalniških centrih. Evropski program Code of Conduct je prostovoljna iniciativa ali interesno združenje, namenjeno lastnikom računalniških centrov in drugim organizacijam in subjektom, ki ponujajo storitve računalniškemu centru. Ukvarjajo se z dvema področjema. Prvo je področje uporabe IT-opreme v računalniških centrih, drugo pa področje mehanskih in električnih sistemov, ki računalniškemu centru zagotavljajo električno energijo. Člani si med seboj izmenjujejo znanja in izkušnje in si dajejo medsebojno podporo pri graditvi vedno bolj zelene infrastrukture (Ciglarič, 2015).

Pritisk, ki bi ga računalniški centri lahko čutili s strani Code of Conduct, je ta, da si želijo biti na njihovih javnih seznamih. Code of Conduct namreč računalniškemu centru v zameno za zmanjšanje okoljskih vplivov ponuja (Ciglarič, 2015):

- vključitev v javni seznam računalniških centrov, ki zmanjšujejo okoljske vplive pod njegovim okriljem,
- možnost javne trditve, da sodelujejo pri Evropskem projektu in da so okolju prijazno podjetje,
- brezplačno oglaševanje,
- možnost vsakoletnih nagrad za okoljsko učinkovitost in podobnih nagrad.

Na seznamu računalniških centrov v okviru Code of Conduct je trenutno skoraj 200 računalniških centrov, ki so v lasti 100 organizacij (posamezna organizacija lahko v seznam vključi enega ali več podatkovnih centrov).

Računalniški centri se nahajajo v skoraj vseh evropskih državah, med lastnicami pa so različna telekomunikacijska podjetja, IT-hiše, univerze, farmacevtski giganti in druga podjetja, pa tudi organizacije s sedežem zunaj Evrope, na primer Google, Verizon in eBay (Ciglarič, 2015). Po zadnjih informacijah, pridobljenih na Data Center konferenci 2016 v Ljubljani, ni v Code of Conduct vključen nobeden od slovenskih računalniških centrov ali ponudnikov storitev.

V organizacijo Code of Conduct se lahko vključijo tudi podporniki. Velikokrat so to organizacije in posamezniki, ki računalniškim centrom ponujajo storitve, čeprav jih same nimajo v lasti. Ta seznam vključuje več kot 200 organizacij iz vse Evrope, med njimi so tudi na primer 3Com, Dell, Fujitsu Services, Schneider Electric in drugi (Ciglarič, 2015).

Nevladnih organizacij, ki delujejo na tem področju, je še veliko. Velike ameriške organizacije, kot so na primer Green Grid Alliance, ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers), AFCOM (strokovno združenje za področje računalniških centrov) in druge skušajo izboljšati učinkovitost IT virov in računalniških centrov po celem svetu. Upravljavcem računalniških centrov pomagajo predvsem z ozaveščanjem in obveščanjem, s pomočjo izobraževanja in svetovanja, uvajanja metrik učinkovitosti in razvojem tehnologij zmanjšati porabo energije računalniških centrov.

## **2 NADZOR**

### **2.1 Nadzor infrastrukture računalniškega centra**

Zaradi kompleksnosti računalniških centrov se vedno bolj kaže potreba po nadzoru vseh komponent in procesov. V nadzor moramo vključiti vso infrastrukturo, kontrolo



življenjskega cikla opreme, porabo električne energije, povečano toplotno obremenitev in s tem povečane potrebe po hlajenju in skrb za okolje. Z nadzorom lahko odkrijemo napake pravočasno, določimo lahko vzrok napake in hitro ukrepamo ter dobimo možnost prediktivnega ukrepanja.

V veliki večini podjetij že imajo več nadzornih sistemov, ki so lahko zelo različni, lahko tudi niso povezljivi med seboj, imajo pa skupni cilj: centraliziran nadzor ter upravljanje posameznih elementov ali celovitih informacijskih sistemov. Nadzorne sisteme potrebujemo za odpravljanje napak, upravljanje konfiguracij, nastavitve, varnost in upravljanje pravic.

Informacijski sistem postaja vedno bolj zapleten in s tem se povečujeta število ter kompleksnost nadzornih sistemov in orodij. Zaradi velikega števila meritev v večjem okolju nastane tudi veliko število dogodkov, ki jih je treba obvladovati. Izpad vitalne točke omrežja ali izpad napajanja lahko povzročita neobvladljivo množico alarmov. Izgubimo lahko pomembne informacije, ker se izgubijo v množici manj pomembnih ali celo nepomembnih sporočil. Na napravah nastaja množica dogodkov in sporočil, ki so medsebojno povezana ali celo podvojena, zato je treba postaviti jasna pravila (samo ključni alarmi produkcijskih naprav), nastavitve odvisnosti med napravami (izpad ene komponente vpliva na alarme več naprav) ter upravljanje dogodkov. Zaželeno so sporočila, ki jih je ravno prav, da opozorijo na pomembne dogodke in ne zakrijejo bistva.

Podobno kot je zmanjševanje števila dogodkov z metodami filtriranja in koreliranja, je pomembna tudi hierarhična obdelava, kjer nižje ležeči nivoji v hierarhični strukturi javljajo dogodke na višje nivoje. S tem preprečimo javljanje alarmov iz vseh naprav, ampak se pošlje alarm iz najvišjega hierarhično ležečega objekta, povezanega z alarmom.

Pri nadzornih sistemih se moramo izogibati konceptom, ki se uporabljajo v sistemih nadzora infrastrukture stavb (BMS). Po teh konceptih izvajalci podatke iz merilnih točk enostavno prikažejo in povežejo z alarmi v primeru prestopanja mejnih vrednosti. Pri nadzoru informacijske tehnologije in oskrbne infrastrukture moramo alarme generirati po pravilih in z upoštevanjem odvisnosti posameznih dogodkov od okolice.

Uspešno upravljanje informacij in podatkov postaja vedno bolj pomemben dejavnik, ki ga podjetja v času globalizacije, hitrih sprememb in vse večje konkurence ne smejo zanemariti. Sposobnost uspešnega upravljanja informacij postaja bistvena lastnost oz. prednost globalnih organizacij. Obilje podatkov, s katerimi se vsakodnevno ukvarjamo, predstavlja vse bolj pomembno vlogo pri vsakdanjem delu. Podatki predstavljajo enega najpomembnejših virov v vsaki organizaciji, saj večina opravil na vseh nivojih organizacije danes temelji na informacijah. To pomeni, da moramo podatke in informacije upravljati na enak način kot vse druge vire v podjetju (npr. stroje, človeški viri, kapital itd.). Uspešno upravljanje podatkov pomeni, da so podatki dostopni v primerni obliki takrat, ko jih

potrebujemo (Jaklič, 2002, str. 4). Podatke obravnavamo skozi življenjski cikel upravljanja podatkov. Cilj tega procesa je izboljšanje uporabe podatkov pri poslovnem odločanju, ugotavljanje informacijskih potreb, zmanjšanje zbiranja nerelevantnih podatkov, izogibanje preobremenjenosti s količino podatkov in s tem tudi varčevanje s časom in viri. Elementi, ki predstavljajo življenjski cikel upravljanja podatkov, so (Jaklič, 2002, str. 28–30):

- **zaznavanje:** pomeni ugotavljanje oziroma odkrivanje dogodkov v okolju;
- **zbiranje:** gre za zbiranje podatkov, ki jih potrebujemo;
- **organiziranje:** z organiziranjem poskrbimo, da so podatki prenosljivi in dostopni za vse, ki jih potrebujejo. Organizacija podatkov mora biti taka, da so razumljivi vsakemu, ki jih dobi oz. želi uporabiti;
- **obdelava:** tu gre za analizo zbranih podatkov, s pomočjo katere dobimo uporabne informacije, ki nam služijo pri sprejemanju odločitev;
- **vzdrževanje:** omogoča ponovno uporabo obstoječih podatkov in tako izogibanje ponovnemu zbiranju novih podatkov. Za ustrezno vzdrževanje morajo biti podatki posodobljeni, ustrezno organizirani, dostopni in tudi primerno shranjeni.

Procesi s podatki in informacijami v primeru nadzornih sistemov po posameznih elementih so naslednji (Markič, Ogrizek & Rudolf, 2008):

- zaznavanje se v primeru našega okolja dogaja na strojni in programski opremi ter se na različne načine prenese v nadzorne sisteme;
- zbiranje podatkov – pri tem ugotavljamo, da potrebujejo podatke vsi kadri podpornega centra ter strokovnjaki 2. in 3. nivoja, zaželeno pa je, da tudi uporabniki dobijo kakšno obvestilo, zakaj storitev ne deluje. Vrsta potrebnih podatkov je zelo odvisna od nivoja v podpornem centru – kadri 1. nivoja podpornega centra potrebujejo le splošnejše podatke o napaki v stilu »kaj ne dela« in se glede na pridobljeno informacijo odločijo o svojem posegu ali pa pokličejo odgovorno osebo. Na drugi strani strokovnjaki 2. in 3. nivoja potrebujejo veliko bolj podrobne podatke, ki jim omogočajo njim primerno informacijo in pogled na problem;
- koliko podatkov potrebujemo – v primeru napake je velikokrat prejetih preveč podatkov v zelo kratkem času in v tej množici podatkov je težko odkriti najpomembnejšo informacijo, ki bi pripomogla k hitrejšemu in učinkovitejšemu odpravljanju težave. Podporni center posledično pogosto napačno oceni problem in reševanje težave, kot npr. po nepotrebnem posreduje višjemu nivoju podpore;
- organiziranje – podatki se nahajajo na različnih nadzornih sistemih in s tem otežuje dostopnost;
- namen zbiranja podatkov v našem podjetju je dvojen: zbiranje podatkov zaradi opozarjanja na incidente in zbiranje zgodovinskih podatkov (npr. poraba diskovnih kapacitet), ki jih potem uporabljamo za planiranje nadgradnje strojne opreme oz. poročila/analize o razpoložljivosti opreme;

- organizacija podatkov in obdelava podatkov nam omogočata dostopnost in uporabnost za uporabnike nadzornega sistema;
- vzdrževanje – v sistemu hranimo zgodovinske podatke, ki jih lahko kadarkoli ponovno uporabimo. Na osnovi rešenih težav se povečuje baza znanja (angleško *Knowledgebase*), s katero se povečuje verjetnost odprave napake že na 1. nivoju nadzornega centra.

Ključni problemi, ki se pojavljajo, so naslednji (Markič, Ogrizek & Rudolf, 2008):

- prihaja do podvajanja podatkov. To se dogaja v primerih, kjer različna nadzorna orodja zajamejo isti podatek (isto strojno opremo);
- podatki so razpršeni – nahajajo se v bazah različnih nadzornih orodij. Zaradi razpršenosti podatkov je težko zbrati dovolj podatkov za odločitev;
- čeprav uporabnik podpornega centra dobi od nadzornih orodij dovolj podatkov (preko e-pošte, SMS, vizualno preko nadzornih orodij) se v poplavi obvestil ne more odločiti, kateri podatki so pomembni in kateri nepomembni, zaradi obilice podatkov lahko spregleda pomembne informacije. Pride do nepreglednosti, analiza oz. ad hoc poizvedba pa je prezapletena;
- podatki niso ustrezno organizirani za uporabo, zato ne omogočajo sprejemanja kakovostnih odločitev.

Samo nadzorovanje in upravljanje posameznega sistema s stališča informacijske tehnologije ne zadostuje, zanima nas namreč celovito delovanje storitev, odvisnih od različnih delov sistema. Zato se v sodobnih informacijskih sistemih uporablja pristop k upravljanju storitev. Tak pristop je sestavljen iz treh ravni upravljanja, kot je prikazano na Sliki 3 (Lavuger, 2014).

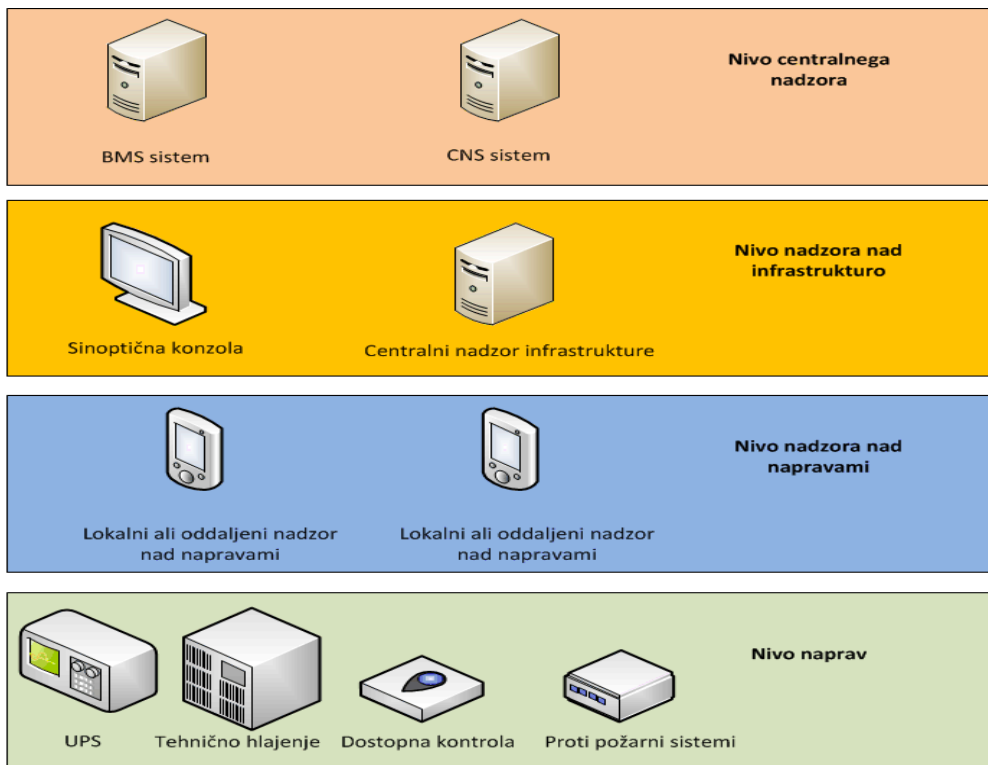
Pri tem pristopu sodi upravljanje posameznih elementov na raven upravljanja virov. Pomemben je koncept, kjer se podatki iz upravljanja posameznih sistemov združujejo na ravni upravljanja informacijskih storitev. Zaradi odvisnosti delovanja informacijske tehnologije od oskrbne infrastrukture je treba zagotoviti učinkovit nadzor in upravljanje tudi oskrbne infrastrukture. S tem dobimo možnost resnično celovitega upravljanja informacijskih sistemov in storitev (Lavuger, 2014).

Centralni nadzorni sistem organizacije se naslanja na nižje-ležeče nadzorne sisteme, ki mu podajajo že prečiščena in obdelana sporočila, njihovo soodvisnost, analizo ter prikaz delovanja celotnih tehnoloških sklopov.

Nadzorni sistem je praktično vedno zasnovan na porazdeljenem sistemu zajema podatkov, kjer podatke iz posameznih tehnoloških sklopov zajemamo na porazdeljenih zajemnih sistemih. Z njimi zajemamo digitalne in analogne signale, prek digitalnih in analognih izhodov krmilimo analogne in digitalne aktuatorje, prek komunikacijskih vodil pa zbiramo

in vodimo delovanje naprav. Posamezni krmilniki so povezani v enotno omrežje prek komunikacijskega omrežja in tako posredujejo podatke in informacije do nadzornega strežnika, ki jih zbira, obdeluje, pripravlja za prikaz in posreduje drugim sistemom. V sistemu naj bo predvidena tudi sinoptična konzola, ki olajša lokalno delo na objektu. Krmilniki imajo poleg funkcije zajema podatkov nalogo izvajati lokalno vodenje in krmiljenje (Lavuger, 2014).

Slika 3: Celovito upravljanje infrastrukture



Vir: Prirejeno po sliki v gradivu Lavuger, B., *Načrtovanje in ureditev računalniških centrov*, 2014, str. 24.

Zahtevnost načrtovanja, uporabe in nadzora prostorskih, energetskih in drugih virov nenehno raste, tudi zaradi vedno večjih računalniških centrov. Vpliv na ključne postopke, upravljanje virov, zagotavljanje storitev in njihov obračun, izrabo prostora ter načrtovanje prihodnjih potreb računalniškega centra lahko zagotovimo z uveljavljajočimi se orodji DCIM.

## 2.2 Nadzor z orodji DCIM

V računalniških centrih se neprestano srečujemo z novimi zahtevami uporabnikov, obenem pa tudi z razvojem zmogljivejših storitev in aplikacij. Ko ta izhodiščna dejstva ocenjujemo skozi prizmo ekonomskih učinkov konsolidacije informacijsko-tehnoloških virov ter kompleksnosti upravljanja in razvoja računalniških centrov, dojamemo temeljne vzroke za razvoj popolnoma nove kategorije orodij z integriranimi poslovnimi in logičnimi procesi v

zadnjih nekaj letih. Gre za orodja za upravljanje oskrbne infrastrukture računalniških centrov, angleško *Data Center Infrastructure Management*, znana pod kratico DCIM.

DCIM je zблиževanje ali poenotenje nadzornih sistemov infrastrukture računalniškega centra in računalniške opreme. Cilj pa je, da skrbniki s celostnim vpogledom na parametre računalniškega centra zagotovijo, da se energija, oprema in prostor uporabljajo čim bolj učinkovito.

DCIM je skupek nadzornih sistemov infrastrukture podatkovnega centra, ki so med seboj usklajeni in imajo skupne sinoptične konzole. Skrbniki z vpogledom v parametre računalniškega centra dobijo vse potrebne informacije, s katerimi povečajo zanesljivost in učinkovitost računalniškega centra.

DCIM uvajamo zaradi kompleksnosti računalniških centrov in potrebe po nadzoru:

- življenjskega cikla opreme,
- dodajanja novih IT-naprav,
- dodajanja novih strežniških omar,
- spremljanja porabe električne energije,
- nadzora oddajanja toplote naprav,
- potrebe po povečanem hlajenju,
- cene virov energije, skrb za okolje,
- vzdrževanja računalniškega centra,
- posledic ob izpadu IT-sistema,
- optimalne umestitve novih sistemov, opreme v omarah in prostoru.

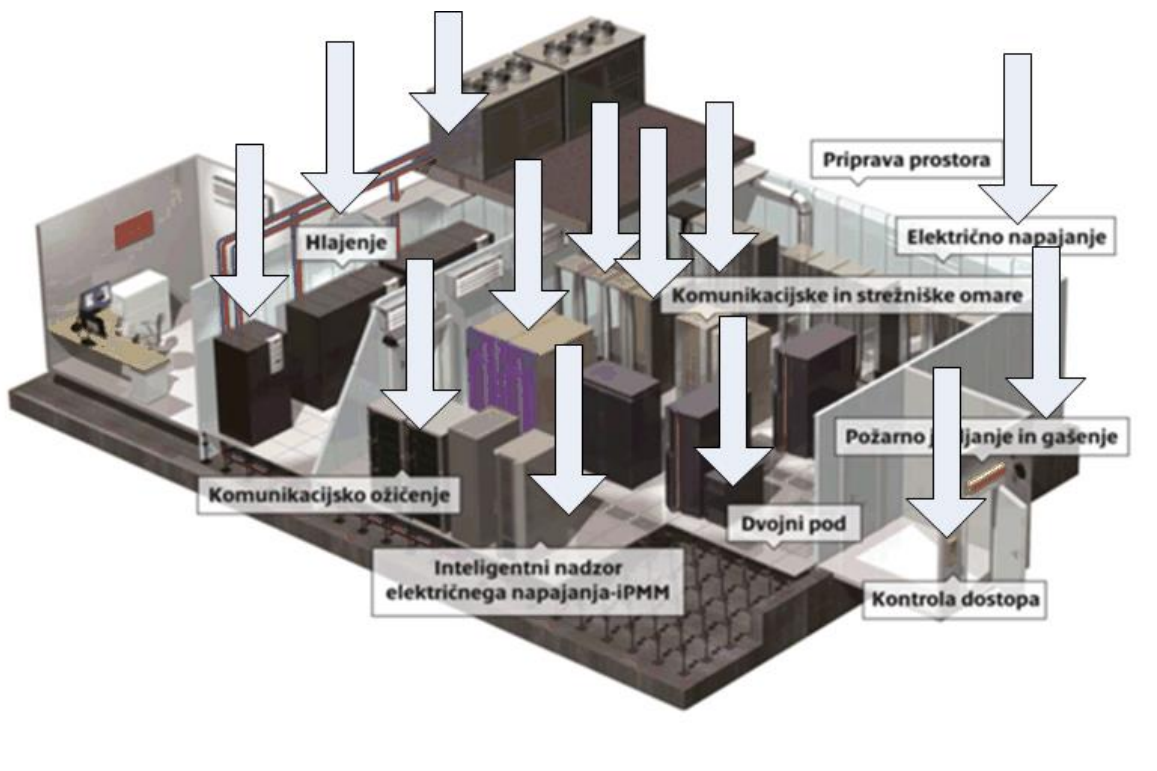
Orodja DCIM lahko upravljavcu računalniškega centra za vsak pomemben dogodek ali pogoj v oskrbni infrastrukturi centra poenostavijo in pospešijo prepoznavo, lociranje, vizualizacijo in upravljanje. Z njimi je upravljavcem poleg lažjega nadzora in upravljanja omogočeno, da zagotovijo tudi učinkovito spremljanje in meritve energijske bilance centra ter tako bistveno izboljšajo energetske učinkovitost, s tem pa zmanjšajo stroške obratovanja. Zaradi slednjega spada področje orodij DCIM med področja v IT, ki najhitreje rastejo in se razvijajo. Uporaba orodij DCIM bo zato v nekaj letih postala stalna praksa v računalniških centrih.

Tudi če vpeljemo DCIM v računalniški center, ne bomo občutili sprememb kar preko noči, ampak se bo s tem šele začel proces. Imamo tri osnovne primarne metode, s katerimi lahko povrnemo investicijo v DCIM (Cole, 2012):

- izboljšana energijska učinkovitost,
- izboljšana razpoložljivost,

- izboljšano upravljanje.

*Slika 4: Nadzor računalniškega centra*



*Vir: Pripravljeno na osnovi slike s predavanja Pintar, R., & Ganoni, D., Prenova podatkovnega centra na Datacenter konferenci 2014, 2014.*

S pravilno vpeljanim orodjem DCIM si bistveno skrajšamo čas za dostop do kakovostnih informacij in s tem povečamo našo učinkovitost. DCIM v IT-organizaciji tako pridobi svojo vlogo in pomen.

Kaj vse je treba spremljati in nadzorovati, je razvidno iz Slike 4, kjer so podani osnovni gradniki računalniškega centra, kjer skoraj vsaka komponenta potrebuje kvaliteten in stalen nadzor.

Zaradi odvisnosti delovanja informacijske tehnologije od oskrbne infrastrukture je treba zagotoviti učinkovit nadzor in upravljanje tudi oskrbne infrastrukture. Oskrbno infrastrukturo nadziramo tako, da zajamemo podatke iz vseh vitalnih delov sistema po komunikacijskih vmesnikih in zbiramo vse podatke na enem mestu. Od napajalnih naprav moramo nadzorovati stikala, varovalne elemente in aktivne naprave, kot so UPS in STS, spremljati pa moramo porabo vseh komponent. V spremljanje porabe električne energije so vključeni dovod električne energije, UPS, poraba strežniških omar in do posameznih naprav. Nadzorovati moramo tudi tehnično hlajenje:

- tehnično hlajenje v računalniškem centru,

- prezračevalni sistemi,
- prezračevalne lopute,
- zajem temperature in vlage na več mestih v sistemu,
- stanje odprtosti ventilov,
- stanje hladilnih agregatov.

Upravljanje in nadzor oskrbne infrastrukture sta bila še pred nekaj leti relativno enostavna. Dandanes je to postalo tako zahtevna naloga, da je ni mogoče več zadovoljivo izvajati brez ustreznih orodij.

Posredno vpliva nadzor nad infrastrukturo tudi na razpoložljivost, ker je kazalnik razpoložljivosti čim manjši čas izpada, ki pa ga z nadzorom zmanjšujemo. Neposredne prihranke prinaša tudi bistveno boljše upravljanje virov in sistemskih kapacitet, ki jih zagotovimo z nadzorom.

Nadzor vpliva tudi na:

- pravočasno posredovanje ob napakah,
- preprečevanje napak,
- spremljanje porabe električne energije,
- status sekundarnih virov energije,
- nadzor redundantnih delov sistema,
- spremljanje zapolnjenosti sistemskih omar,
- spremljanje temperature, vlage, vdor vode,
- nadzor nad dostopom,
- požarna varnost.

Upravljanje opreme v računalniškem centru je tudi ena od funkcij DCIM-orodij. Brez informacij o umestitvi in povezavi opreme nimamo podatkov o izkoriščenosti naprav v računalniškem centru, težje tudi izvajamo spremembe. Orodja, ki jih imamo običajno vsaj v manjših računalniških centrih, so preglednice in grafični programi za risanje in dokumentiranje IT-naprav. Ko pride do večje kompleksnosti, nam to ne zadostuje več in bi želeli pridobiti celovit vpogled v zmogljivost računalniškega centra in vse razpoložljive vire uporabiti čim bolj učinkovito.

DCIM-funkcionalnosti:

- nadzor nad energijo in okoljskimi pogoji,
- nadzor nad spremembami konfiguracije in lokacije opreme,
- dinamična optimizacija hlajenja,
- modeliranje pretoka zraka v realnem času.

V sklopu teh funkcionalnosti so tudi meritve moči ali energije in ocene porabe moči za oskrbno infrastrukturo in IT-opremo, spremljanje okoljskih pogojev, spremljanje izkoriščenosti IT-opreme, alarmiranje, upravljanje s podatki in poročila, lociranje opreme v prostoru, načrtovanje izrabe prostora, konfiguracija in management sprememb, dinamična optimizacija hlajenja, modeliranje pretoka zraka v realnem času, scenariji za načrtovanje hlajenja in razni kaj-če scenariji.

Regulatorne zahteve v EU kot tudi v ZDA predpisujejo IT-organizacijam, da bodo morale v bližnji prihodnosti spremljati in meriti energijsko učinkovitost računalniških centrov. Z učinkovitim nadzorom in upravljanjem računalniškega centra lahko operativne stroške znatno znižamo.

Zaradi razvoja IT in njegovega vpliva na naš vsakdan morajo biti računalniški centri organizirani in morajo delovati kot ponudniki kakovostnih informacijskih storitev. Vse storitve morajo seveda biti ustrezno razpoložljive, varne in ne nazadnje ekonomsko upravičene, da služijo kot podpora razvoju ekonomije podjetij in organizacij.

*Tabela 2: DCIM-nivoji*

DCIM-nivo	Opis
5. nivo: avtonomni samo-optimizacijski	Integrirana programska oprema prilagaja računalniški center in uporabo virov sprejetim pravilom, podatkom in zahtevanim storitvam
4. nivo: optimizacijski	Integracija IT-opreme in podsistemov infrastrukture; uporaba podatkovnih modelov za napoved izpadov, upravljanje storitev in optimizacije v skoraj realnem času.
3. nivo: proaktivni	Nadzor nad parametri, lokacijo in statusom delovanja IT-opreme v računalniškem centru. Podatki o porabi energije in okoljskih parametrih znižujejo tveganje in izgube.
2. nivo: reaktivni	Programska oprema za nadzor parametrov okolice in porabe električne energije. Zmožnost prilagajanja hlajenja dejanskim potrebam.
1. nivo: osnovni	Osnovni nadzor, dobavljen z opremo. Brez integracije. Spremljamo stanje opreme in varnosti uporabe.

*Vir: povzeto po predavanju na Data Center konferenci 2015, Košir, B., Kako izboljšati energijsko učinkovitost in razpoložljivost v podatkovnih centrih, 2015.*

Vire, ki tvorijo računalniški center in njegove storitve v celoti, lahko razdelimo na tri osnovne skupine. Te se v računalniškem centru z vidika nadzora prekrivajo, zato moramo za doseglo učinkovitosti storitev centra zagotoviti upravljanje in nadzor vseh treh teh skupin. Nadzor in upravljanje komunikacijskih sistemov sta že tradicionalno na relativno visokem nivoju izvedbe. Za nadzor systemske opreme velja podobno. V nasprotju s tem na



področju nadzora in upravljanja oskrbne infrastrukture zasledimo jasno izražene pomanjkljivosti. Sistemi namreč do sedaj niso zagotavljali integracije nadzora pri osnovnih skupinah, kar posledično omogoča nadzor in upravljanje končnih storitev. Naloga sistemov DCIM je ravno slednje.

Na kakšnem nivoju je nadzorni sistem, kamor spada tudi DCIM, je opisano v Tabeli 2. V tabeli je opisanih pet nivojev DCIM od osnovnega, reaktivnega, proaktivnega do optimizacijskega in na koncu samooptimizacijskega.

V DCIM kot orodju sta sicer združeni dve že znani orodji – sistem za nadzor in upravljanje stavbne infrastrukture (BMS) in sistem za upravljanje zmogljivosti systemske IT-opreme. Z DCIM imamo torej zagotovljen podroben vpogled v dogajanje v centru, z njim pa tudi zbiramo ter obdelujemo podatke o zmogljivostih in obremenitvah posameznih elementov iz računalniškega centra ter celotnih, med seboj odvisnih verig.

Anketa na Data Center Knowledge konferenci 2011 je pokazala, da je DCIM zanimal 70 % udeležencev. Ko pa so izvedli anketo na Gartnerjevi konferenci 2011, se je 60 % skrbnikov računalniških centrov, ki jih je Gartnerjev intervju zajel, izjasnilo, da bodo implementirali DCIM-orodja že do leta 2013, s tem, da je pa kar 90 % skrbnikov računalniških centrov izjavilo, da bodo implementirali DCIM do leta 2015 (Cole, 2012).

Sisteme DCIM v večini primerov sestavljajo različne komponente. Osnovna komponenta je enoten repozitorij, ki vsebuje podatke o vseh sredstvih v računalniškem centru, njihovem videzu, medsebojnih povezanostih in soodvisnostih, mednje pa spadajo tudi podatki o oskrbni in omrežni infrastrukturi. Podatke v repozitoriju napolnimo z orodji, namenjenimi odkrivanju, prepoznavi in urejanju opreme; v sistemu pa lahko kdaj najdemo tudi posebno orodje za hitro in učinkovito implementacijo nove opreme, storitev in naprav.

Orodja za spremljanje in meritve zmogljivosti v realnem času so naslednja pomembna komponenta sistemov DCIM, prav tako pa tudi orodja za avtomatizacijo procesov, ki v celoti omogočajo dodajanje, spreminjanje ali izločanje opreme in storitev. Pomembne za olajšanje delovanja sistema DCIM so še komponente za načrtovanje zmogljivosti, namenjene ažurnemu in pravočasnemu načrtovanju zahtevanih zmogljivosti, tako prostorskih, energetskih, kot tudi komunikacijskih. Preizkušanje različnih scenarijev, cilj, katerih je optimizacija izgradnje novih virov ter modeliranje novih rešitev, je s temi orodji prav tako omogočeno.

Že sama uvedba sistema DCIM v računalniškem centru privede med drugim do neposrednega vpliva na področja upravljanja virov, zagotavljanja storitev, vključno z njihovim obračunom, izrabo prostora, načrtovanja prihodnjih kapacitet, zlasti na ključne postopke in delo na teh področjih. DCIM nastopa tudi element, ki povezuje posamezne ključne skupine virov v IKT; ta njegova vloga je še posebej pomembna.

V zadnjih letih so se na trgu IKT-storitev zgodile spremembe pri mnogih dejavnikih. V številnih organizacijah je konsolidacija ugotovila in razkrila kritičnost načrtovanja in uporabe prostorskih, energetskih in drugih virov v računalniških centrih. Z oskrbno infrastrukturo, za katero so prej skrbeli inženirji za stavbno infrastrukturo, se zatorej začenjajo načrtno ukvarjati IT-strokovnjaki. Tudi koncept zelenega IT je močno pripomogel k energetski učinkovitosti na področju IKT, saj jo malodane zahteva. Z ozirom na vodilo, da ni mogoče optimirati in izboljšati tistega, česar ne moremo meriti in nadzorovati, narašča potreba po izboljšanju poznavanja dogajanja v oskrbni infrastrukturi in njene interakcije z ostalimi elementi IKT-sistemov, kar pa je ciljno področje DCIM.

Cilj uporabe DCIM bo na dolgi rok predvsem inteligentno načrtovanje systemske infrastrukture z upoštevanjem kazalnikov rasti iz preteklih obdobj. Uporaba DCIM bo računalniškim centrom omogočila razvoj novih storitvenih modelov ter nadgradnjo obstoječih, kar posledično vodi v olajšanje delovnih procesov v samih centrih in hkrati tudi večja zadovoljstvo strank.

Analiza trendov lahko pomaga najti priložnosti in potrebe. Iz tega sledi, da je nujno potrebno vpeljati nadzor in meritve posameznih naprav. Preveriti je treba, kakšne meritve nam že ponujajo naprave in kako lahko porabo energije merimo.

Da bi bil računalniški center energetsko učinkovit, mora uporabljati zelo učinkovito infrastrukturo in vpeljati najboljše prakse. Življenjska doba infrastrukture je 3–5-krat daljša kot večina IT-strojne opreme in zahteva višje izdatke. Zato je treba razumeti, kdaj in kako nadgrajujemo ali zamenjamo različne komponente.

Infrastruktura računalniškega centra se deli na pet sklopov, ki so medsebojno odvisni:

- hlajenje računalniškega centra,
- gretje, ventilacija in klimatske naprave,
- UPS-sistemi neprekinjenega napajanja,
- napajanje (električno),
- generator ali napajanje iz alternativnih virov.

Če naredimo računalniški center pametnejši, smo ga s tem naredili tudi energetsko učinkovitega. Kaj od infrastrukture bi lahko spremenili, katere dobre prakse uvedli, da bi postal računalniški center bolj učinkovit in bi porabil manj energije? Kako bi lahko povezal infrastrukturo in stavbo ter prostore, da bi dosegel in ohranil energetsko učinkovitost? Ena od možnosti je zmanjšanje porabe električne energije z inovativnimi tehnologijami, kot je DCIM.

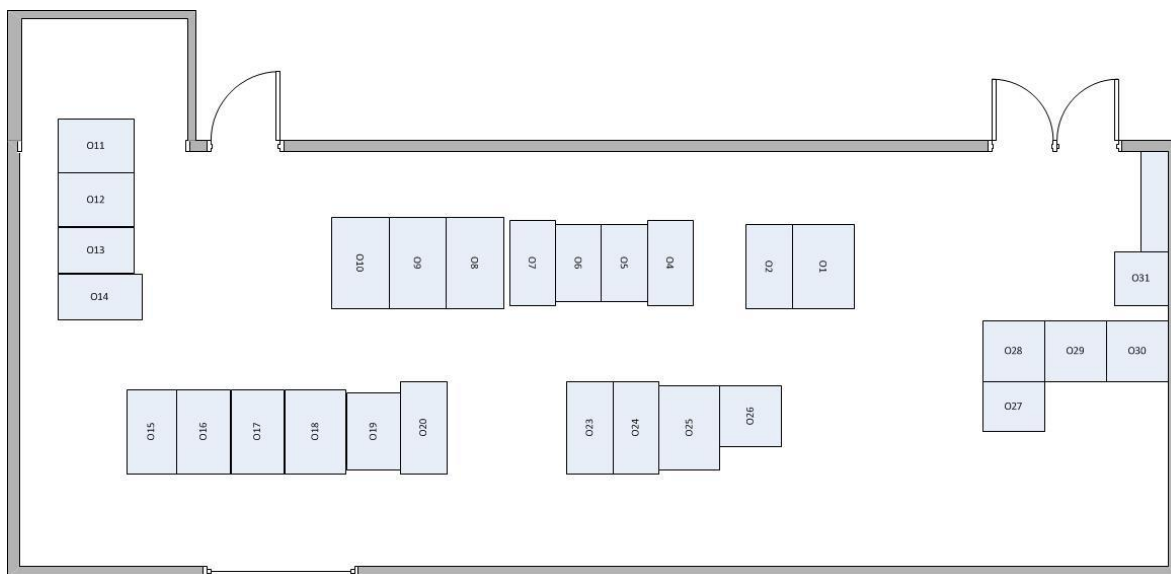
### 3 UVEDBA ZELENIH TEHNOLOGIJ V IZBRANI RAČUNALNIŠKI CENTER

Iz dokumentov in prej omenjenih raziskav sem poskusil uporabiti najboljše prakse in v praktičnem poizkusu zmanjšati porabo električne energije in povečati učinkovitost računalniškega centra.

#### 3.1 Opis računalniškega centra

Računalniški center se nahaja v 4. nadstropju poslovne stavbe in obsega 80 m<sup>2</sup> prostora za strežniške omare. Obstoječi računalniški center je na tem mestu približno 30 let. Takrat je bil opremljen z dvema klimatoma, ki sta zagotavljala pravilno temperaturo in vlago za Alpha strežnike ter kasneje za OpenVMS strežnike. Prostor je bil opremljen z dvojnimi podom, pod katerega so vpihovali zrak. Prostor pod dvojnimi podom so uporabljali tudi za komunikacijske in energetske vode, tako da je z leti postal neuporaben za hlajenje. V letih po ukinitvi OpenVMS in prehodu na Intel tehnologijo na tej lokaciji, se je uporabljal brez strežniških omar z naključno postavljenimi strežniki. Naslednja izboljšava je bila s postavitvijo namenskih polic za Intel strežnike in postavitev centralnih komunikacijskih omar. V tem času se je dotrajane klimate zamenjalo s split stenskimi in stropnimi klimatskimi napravami. Z uvedbo ERP-rešitev se je računalniški center prvič temeljiteje obnovil, vpeljane so bile centralne UPS-naprave, kabelski in energetski razvod nad omarami, ter vpeljana dodatno generatorsko (DEA) napajanje v primeru izpada električne energije. Z novo tehnologijo se je postopoma zamenjevalo police s strežniškimi omarami.

*Slika 5: Računalniški center*



Ker obstoječi split sistemi niso več zadoščali za hlajenje, so bile montirane kanalske klimatske naprave in zamenjani senzorji za javljanje temperature, izliva vode, požara in gibanja. Zaradi omejenih finančnih sredstev se ni zamenjalo tehnologije hlajenja za bolj učinkovito in bolj primerno za hlajenje računalniških centrov. Računalniški center tudi ni bil dodatno toplotno izoliran. Z uporabo kanalskih klim in v vročih dneh z dodatno pomočjo starejših split sistemov se je zagotavljalo primerno temperaturo za delovanje računalniške opreme.

V računalniškem centru je prostora za približno 30 strežniških omar. Omare so različnih dimenzij (kot je vidno na Sliki 5), od komunikacijskih in različnih strežniških omar do omar za diskovne sisteme in SAN-stikala. V prostor so umeščene tudi večje naprave, kot je tračna knjižnica za varovanje in shranjevanje podatkov. Zaradi zagotavljanja razpoložljivosti in nadzora nad strežniki, komunikacijsko opremo, podatkovnimi bazami, SAN-tehnologijo, diskovnimi sistemi in namenskimi napravami se je uvedlo več nadzornih sistemov v informatiki. Ločeno od tega se je nadzorni sistem za izliv vode in požar ter nadzor pristopa usmeril na varnostne službe in zunanje izvajalce.

### **3.2 Sistemska programska oprema**

Sistemska programska oprema v kombinaciji s strojno opremo zagotavlja izvajalno okolje, v katero namestimo aplikacije. V kategorijo sistemske programske opreme štejemo:

- operacijske sisteme,
- programsko opremo za gruče,
- programsko opremo za upravljanje s sistemi,
- programsko opremo, ki podpira delovanje in upravljanje pomnilniških sistemov,
- programsko opremo za izvajanje varnostnih in arhivskih kopij,
- programska oprema za nadzor nad delovanjem sistemov.

Operacijski sistemi v podjetju so Unix (Aix), OpenVMS, Windows, Linux, virtualizacijske platforme VMware, XEN Server, kot ključna baza je bil izbran Oracle, v podjetju pa so prisotni MS SQL Server, MySQL in Btrieve.

### **3.3 Računalniško omrežje**

Vse komponente sistema so med sabo povezane z računalniškim omrežjem. V postavitvi moramo poskrbeti za zanesljivo delovanje omrežja na dveh fizičnih lokacijah, ki sta povezani v eno logično, za kar poskrbi prav računalniško omrežje. Na nivoju omrežja je treba poskrbeti tudi za prvi nivo varnosti.

Računalniško omrežje je mehanizem, preko katerega uporabniki dostopajo do aplikacij, ki živijo na podatkovnih, aplikacijskih in terminalskih strežnikih. Nič nam ne pomaga visoka zanesljivost delovanja strežniških sistemov, če z njimi ne moremo komunicirati. Računalniško omrežje sestavljajo:

- ožičenje,
- omrežna stikala,
- požarne pregrade,
- usmerjevalniki,
- povezave telekomunikacijskih operaterjev.

Zahteve po zanesljivosti delovanja in možnosti hitrega okrevanja po katastrofi kompleksnost računalniškega omrežja bistveno povečajo.

### **3.4 Nadzorni sistemi**

Za nadzor in obvladovanje celotnega informacijskega sistema ni na voljo enotnega, centralnega orodja. Vsak sistem je največkrat svoje izolirano okolje za lastnim nadzornim sistemom in lastnim vmesnikom za podporo in odpravljanje težav. Za pravo diagnozo vzroka na posameznih sistemih je potreben skrbnik tistega sistema. Zmožnost povezave vzroka na ostale dele informacijskega sistema je precej prepuščena naključju in učinkoviti komunikaciji med skrbniki in službami.

V primeru težave ali napake vsak sistem obvesti nadzorni center, vendar so te informacije običajno preštevilske in posredovane preko različnih medijev. Iz množice različnih informacij je težko razločiti pravo informacijo za vzrok težave in za ustrezno in hitro ukrepanje, npr. da se posreduje napaka le enemu in pravemu skrbniku oziroma višjemu nivoju podpore.

Nadzorna orodja v podjetju so Oracle Enterprise manager, TOAD, SCOM, AD in Windows orodja, Hobbit, Nagios, orodja, specifična za Citrix okolje – Presentation manager, Resource manager. Nadzor mrežne aktivne opreme se vrši preko Ciscoworks, 3Com Network director, HP OpenView Node manager, Entuity, Nagios ter ostalih odprtokodnih orodij. Uporablja se tudi IBM-direktor in TPC za SAN-omrežja ter EMC VNX Monitoring and reporting.

Kot vidimo, uporabljamo raznolika nadzorna orodja, ki jih je težko združiti v centralni nadzorni sistem, še posebej če bi hoteli vključiti še nadzorna orodja BMS in CNS.

## **3.5 Izboljšanje učinkovitosti računalniškega centra**

Problem zmanjševanja stroškov električne energije v izbranem računalniškem centru je večplasten od tega, da je računalniški center slabo opremljen z merilnimi mesti, da so stroški električne energije na skupnem računu za celotno stavbo, da menedžerjem niso bile posredovane informacije o stroških porabe električne energije računalniškega centra, stroški tudi niso jasno povezani s procesi in operacijami v računalniškem centru in se zato težko prikaže učinek zmanjšanja porabe električne energije.

Vseeno pa se tudi v našem računalniškem centru poraba električne energije zmanjšuje z uporabo dobrih praks in izboljšanjem nadzora in krmiljenjem naprav.

### **3.5.1 Nadzor**

V računalniškem centru je bil uveden nadzor klimatskih naprav, na žalost samo operativnih parametrov, možnostjo odčitavanja in oddaljene kontrole ter krmiljenja nastavljene temperature posameznih enot. V računalniškem centru smo postavili nekaj temperaturnih tipal, ki so povezana tudi v nadzorne sisteme. Uvedlo se je SNMP-odčitavanje UPS-naprav, električno porabo inteligentnih PDU-naprav in posameznih strežnikov ter naprav. Nadzor je centralen na nagios nadzornem sistemu. Cilj je povezati nadzorni sistem s čim večjim številom naprav oskrbne infrastrukture in jih tudi avtomatsko krmiliti.

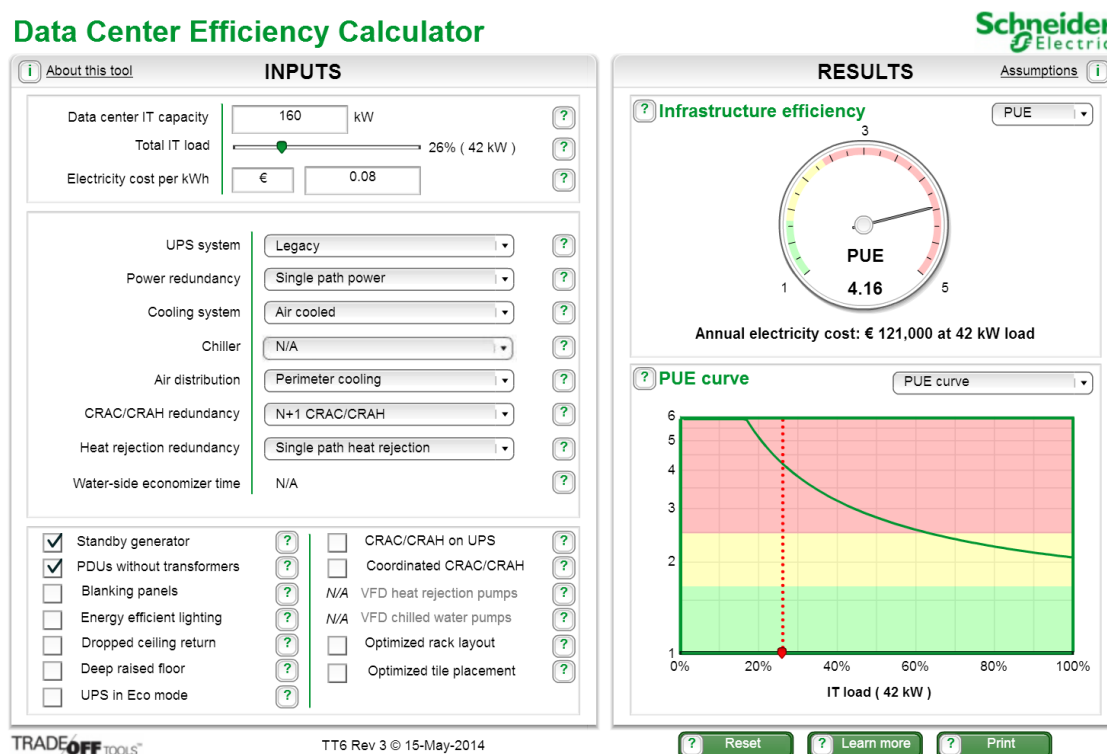
### **3.5.2 Izračun PUE**

PUE za izbrani računalniški center sem izračunal s pomočjo spletnega orodja za izračun učinkovitosti računalniškega centra (Trade off Tool, 2015) podjetja Schneider-Electric. Kot podatke sem vnesel moč napajalnih sistemov, ki je v našem primeru 160 kVA, in obremenitev. Orodje je zelo zanimivo za hitro oceno stroškov pri načrtovanju računalniških centrov, ker poda tudi oceno porabe oskrbne infrastrukture. Glede na podatke proizvajalca UPS-sistemov je učinkovitost UPS pri 100-odstotni obremenitvi 90 % in pri 50-odstotni obremenitvi 89 %, kar je zelo podobno, kot je upoštevano v izračunu. Hladilni sistem, ki ga uporabljamo v računalniškem centru, je manj učinkovit, kot je upoštevan v izračunu, vsaj glede na informacije, ki sem jih pridobil iz tehničnih podatkov klimatskih naprav.

Izračun PUE sem naredil na primeru računalniškega centra, kjer nismo še opravili nobenega od ukrepov za zmanjševanje porabe električne energije.

Obremenitev štirih 40 kVA UPS s koristnim bremenom računalniške opreme trenutno znaša 26 %, maksimalno možna obremenitev UPS v gruči pa je 160 kVA.

Slika 6: Izračun PUE



Vir: Trade off Tool. Izračun PUE. Najdeno na spletu 5. decembra 2015 na naslovu [http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7CMGPL/WTOL-7CMGPL\\_R3\\_EN.swf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7CMGPL/WTOL-7CMGPL_R3_EN.swf?sdirect=true)

Izračun PUE na osnovi teh podatkov prikaže, da je PUE enak 4,16 (razvidno iz Slike 6), kar pomeni, da je računalniški center zelo neučinkovit. Stroški porabe električne energije na letni ravni znašajo 121.000 €. Za ta izračun sem vzel trenutno obremenitev, ki jo ima računalniški center v marcu 2016, pri predpostavki, da ni bilo nobenih ukrepov za zmanjšanje porabe električne energije. Slika 6 ni prevedena v slovenščino, ker je program dostopen samo v angleškem jeziku.

Računalniški center je zelo dinamično okolje, kjer so spremembe in zamenjave računalniške in oskrbne infrastrukturne opreme stalnica. V letu 2014 pred spremembami je bila obremenitev s koristnim bremenom 40 % pri enakih UPS in manj zmogljivimi klimatskimi napravami. Zanimiv je podatek, da je bil po izračunu PUE-faktor boljši in je znašal 3,16. Stroški porabe električne energije na letni ravni so znašali 142.000 €.

Zanimivo je vprašanje, zakaj je faktor učinkovitosti navidezno slabši navkljub zmanjšanju porabe električne energije.

### 3.5.3 Postavitev strežniških omar v isto smer

Pri postavitvi strežniških omar v računalniškem centru moramo paziti na mešanje toplega in mrzlega zraka. Zaradi mešanja zraka je poraba klimatskih naprav prevelika, ker morajo

zagotavljati večji pretok zraka, poleg tega pa se spremeni razlika med izhodno in vhodno temperaturo klimatske naprave, kar tudi vpliva na učinkovitost in porabo električne energije. Po raziskavah, predstavljenih na predavanju Data center konference 2015 (Jovanović, 2015), se lahko 46 % klimatiziranega zraka izgubi zaradi slabe kontrole pretoka zraka.

Osnovni ukrep za zmanjšanje porabe električne energije je postavitve omar tako, da vse zajemajo hladen zrak na prednji strani, izpuste toplega zraka pa imajo na zadnji strani omar. Dve vzporedni vrsti omar tudi postavimo z zadnjimi stranmi skupaj, tako, da je med vrstami na zadnji strani omar izpihovanje toplega zraka računalniške opreme in tudi zajem odpadnega zraka za klimatske naprave. S tem se zmanjša temperatura v hladnih conah, zmanjša se tudi mešanje toplega in hladnega zraka. Še vedno prihaja do mešanja hladnega in toplega zraka skozi in preko računalniških omar. To še vedno povzroča znatne izgube energije zaradi višje temperature hladne cone in posledično večje potrebe strežnikov po pretoku zraka. Odvečna toplota se, sicer v manjši meri, pretaka iz tople v hladno cono, še vedno pa prihaja do toplotnih žepov, ki posredno vplivajo na večjo porabo električne energije strežnikov zaradi večje hitrosti ventilatorjev.

### **3.5.4 Vgradnja slepih panelov**

Zaradi toplotnih žepov, mešanja toplega in hladnega zraka, smo vgradili za 380U slepih panelov. S tem je bila preprečeno, da bi skozi omare prehajal topel zrak nazaj v področje vpihovanja hladnega zraka. Povprečna cena panelov je bila približno 1,3 € za 1U, vgradili pa smo jih v petih urah, tako da so bili stroški investicije skupaj z delom 550 €. V kratkem času po vgradnji se je zaradi zamenjave strežniške tehnologije zmanjšalo število strežniških omar. Na mestih, kjer smo odstranili strežniške omare, je nastal prazen prostor, s tem pa tudi mešanje toplega in hladnega zraka, kar je vplivalo na zanesljivost delovanja klimatskih naprav.

### **3.5.5 Zamenjava klimatskih naprav**

Zaradi nezanesljivosti in iztrošenosti klimatskih naprav smo zamenjali 6 kanalskih klimatskih naprav z močnejšimi. Poleg teh smo zamenjali tudi dve šibkejši cevni klimatski napravi. Pričakovali smo večjo porabo električne energije, zgodilo pa se je ravno obratno. Starejše klimatske naprave so stalno delovale v maksimalnem režimu delovanja, zato je bil obratovalni čas klimatskih naprav občutno daljši, kot pri novejših. Četudi je nazivna moč novejših klim nekaj večja, pa je skupna poraba energije samo 70 % prejšnje v podobnih pogojih delovanja in pri primerljivi obremenitvi. Meritve sem izvajal na dovodu električne energije na stari in novi klimatski napravi.

Preden smo zamenjali klimatske naprave, smo naredili tudi natančen popis strežnikov in strežniških omar z informacijami o povprečni in maksimalni toplotni obremenitvi ter

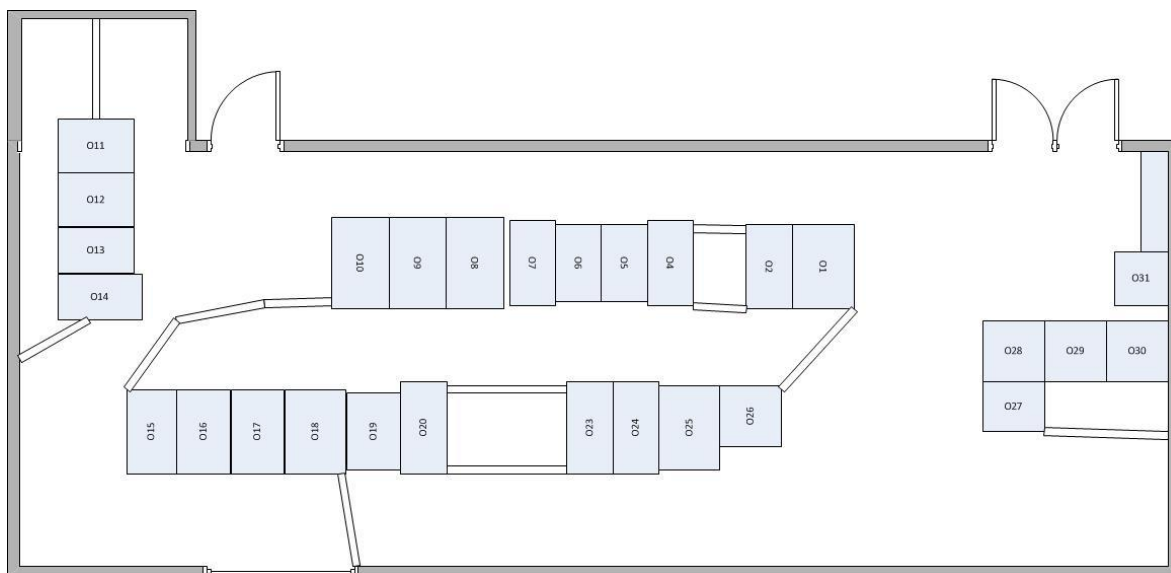


porabi električne energije. Iz zbranih podatkov smo izračunali potrebne hladilne kapacitete za nove klimatske naprave. Ker zaradi raznih vzrokov ni bilo mogoče zamenjati hladilne tehnike za sodobnejšo in bolj primerno za računalniški center, smo zamenjali komponente klimatskih naprav, ki pa so ostale na podobni tehnologiji kot do sedaj. Še vedno smo obdržali kanalske in cevne klimatske naprave in nismo prešli na novejšo tehnologijo. Pri nekaterih klimatskih napravah se je pokazalo, da so zaradi mešanja toplega in hladnega zraka v računalniškem centru in medsebojnega vpliva klimatskih naprav v stalnem delovanju. Za rešitev tega problema je bila potrebna sprememba lokacije termostata in vpeljava zaprte tople in hladne cone.

### 3.5.6 Zaprte tople in hladne cone

Zaprte hladne in tople cone pripomorejo k večji učinkovitosti hlajenja, manjšim izgubam in posledično vplivajo tudi na manjšo porabo računalniške opreme. Precej časa smo ugotavljali, kako bi lahko ločili ti dve coni, še posebej, ker nimamo standardiziranih omar, nimamo izkušenj s tega področja in so bile standardne rešitve zunanjih ponudnikov za zaprtje con predrage. Odločili smo se za rešitev s premičnimi pregradnimi stenami iz leksana, materiala, ki je varen za uporabo v računalniškem centru. Panele smo postavili na mesto odstranjenih računalniških omar, na vhode v toplo cono, na vrh računalniških omar in kot pregrade za ločevanje omar, ki so postavljene izven dosega zaprte tople cone.

*Slika7: Računalniški center po vzpostavitvi tople cone*



Z zaprtjem tople cone smo se izognili pretakanju toplega zraka v hladno cono še posebej na vrhu omar, kjer so bile izgube največje. Zajem odpadne toplote se sedaj izvaja znotraj tople cone, zato je izkoristek klimatskih naprav veliko večji. Vpih hladnega zraka je usmerjen v hladno cono. Z uvedbo zaprte tople cone se je tudi opazno izboljšala kvaliteta

delovnega okolja v hladni coni. Pred uvedbo je bil pretok zraka veliko močnejši, kar se je po uvedbi zaprte tople cone umirilo. Problem je bil tudi z medsebojnim vplivom ali neuskkljenostjo klimatskih naprav, kar smo rešili s postavitvijo pregradne stene tudi v hladno cono med dva kanala za vpih hladnega zraka. Postavitev je razvidna iz Slike 7.

Izračunal sem PUE-faktorja po ureditvi zaprte tople cone, zamenjavi klimatskih naprav in vgradnji slepih panelov. Obremenitev štirih 40 kVA UPS s koristnim bremenom računalniške opreme trenutno znaša 26 %, maksimalno možna obremenitev UPS v gruči pa je 160 kW. Izračun PUE na osnovi teh podatkov prikaže, da je PUE enak 3,81, kar pomeni, da je računalniški center še vedno zelo neučinkovit. Stroški porabe električne energije na letni ravni znašajo 111.000 €, kar pa pomeni že 10.000 € letnega prihranka.

Zanimiva je tudi primerjava PUE-faktorja na osnovi porabe iz leta 2014. Takrat je bila obremenitev s koristnim bremenom 40 % pri enakih UPS. Z izvedbo ukrepov za zmanjšanje porabe električne energije bi bil PUE faktor boljši in bi znašal 2,93. Stroški porabe električne energije pa bi znašali 131.000 €. Tudi tukaj bi prihranili 11.000 € na letni ravni. Investicija v slepe panele, premične pregradne stene iz leksana in delo pa je znašala približno 2.500 €.

Primerjamo lahko tudi letni strošek za 1 kWh porabe računalniških naprav za leto 2014 pred in po izvedbi ukrepov. Strošek za 1 kWh letno je bil pred uvedbo ukrepov 2218,75 € in po uvedbi 2.046,88 €. Za porabo v letu 2016 pa je bil pred uvedbo ukrepov strošek 2.880,95 € letno na 1 kWh, po uvedbi ukrepov pa 2.642,86 € letno na 1 kWh porabe računalniških naprav. Izboljšava po uvedbi ukrepov je vidna za leto 2014 in za leto 2016, četudi v letu 2016 plačujemo več za kWh porabe računalniških naprav.

### **3.5.7 Odklop nepotrebnih IT-sistemov**

Kot v vseh ostalih računalniških centrih, je cikel menjave računalniške opreme vedno krajši in starejše sisteme zamenjujejo bolj učinkoviti, hitrejši in bolj zmogljivi sistemi. Na žalost velikokrat ostane v uporabi tudi star sistem, velikokrat zaradi samo ene neprenosljive aplikacije. V računalniških centrih, kjer nimajo urejenih procesov upravljanja s sredstvi pa je to zelo pogosto. Na osnovi popisa računalniške opreme in namembnosti opreme identificiramo nepotrebno opremo in se odločimo za upravljanje sistemov v bolj učinkovitem načinu delovanja, migracijo na bolj učinkovite sisteme ali pa ugašanje nepotrebnih sistemov.

Primer migracije na bolj učinkovite sisteme je primer dveh Windows gruč, kjer smo imeli zelo zmogljive strežnike z 8 in več procesorji z dvema jedroma. Po spremljanju delovanja in temeljiti analizi smo se odločili, da bomo strežnike preselili na novejšje strežnike, z dvema procesorjema z dvanajstimi ali s šestimi jedri. Obe gruči sedaj z enako ali še boljšo odzivnostjo služita svojemu namenu. Zaradi uporabe manjših, bolj učinkovitih strežnikov

smo v tem primeru prihranili pri stroških električne energije približno 140 € na strežnik. Poleg tega pa smo občutno prihranili pri licencah podatkovne baze, ki se licencira po procesorjih.

Migracija, ki je bila aktualna v času merjenja učinkovitosti, je bila prehod iz Unix sistemov na Linux in iz starejših diskovnih sistemov na novejše. Zamenjali smo kar precej opreme energetske gledano približno polovico celotne porabe računalniškega centra. Ker smo za zamenjavo uporabili energijsko manj potratne sisteme, se je poraba energije občutno zmanjšala. V času prehoda pa se je poraba električne energije celo povečala zaradi sočasnega delovanja obeh sistemov.

Upravljanje strežnikov v bolj učinkovitem načinu je mogoče nastaviti na različne načine, eden je tudi nastavitve hitrosti ventilatorjev, nastavitve za energetske učinkovitost, izklop nedelujočega procesorja. Te nastavitve sem večkrat popravljaj, vendar nimam orodij za primerjanje učinkovitosti prej in potem.

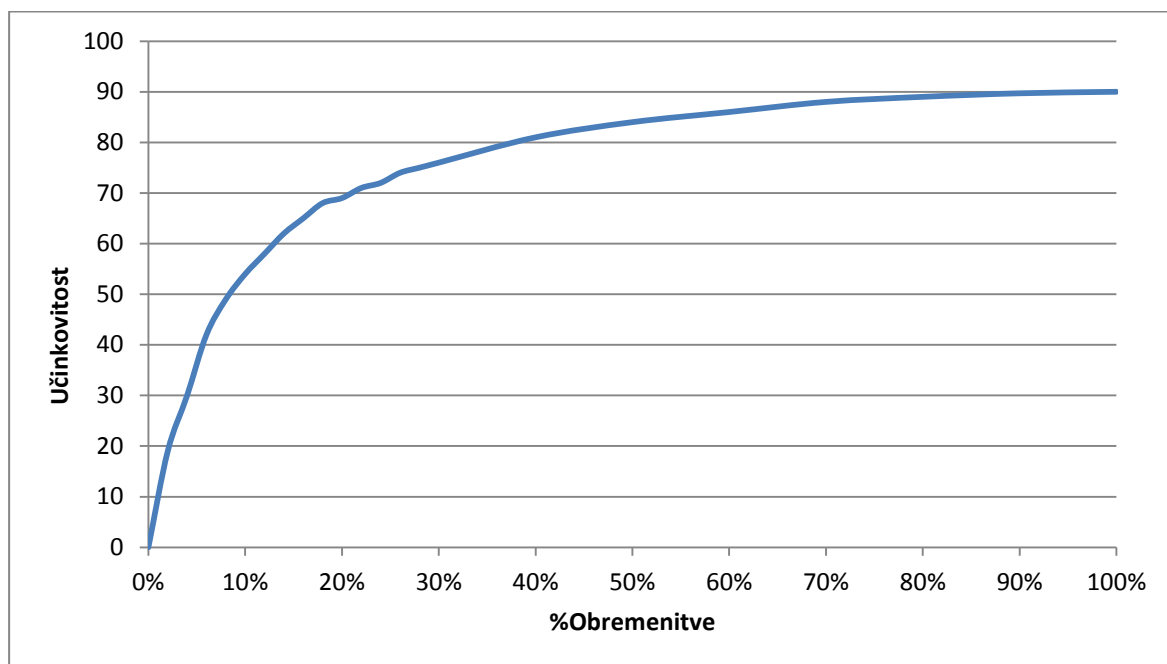
Najučinkovitejši način zmanjševanja porabe električne energije je odklop nepotrebnih sistemov. Odklopljeni sta bili dve diskovni polji in več kot 40 strežnikov. Nekateri so bili zamenjani z dvajsetimi novimi strežniki, ki so standardizirani in energetske varčnejši. Staro VMWare in Xen farmo smo preselili na te strežnike, stare strežnike pa ugasnili. Z odklopom smo zmanjšali obremenitev za približno 10 %. Če bi ocenil prihranke na letni osnovi, smo s tem prihranili okoli 14.000 €. Informacije o stroških investicije v nove strežnike in diskovna polja nimam, poleg tega je bilo nekaj strežnikov kupljenih, nekaj pa jih je v najemu.

### **3.5.8 UPS – neprekinjeno napajanje**

Za električno napajanje računalniškega centra skrbi gruča štirih 40 kVA UPS, ki zagotavljajo neprekinjeno delovanje ob izpadu glavnega vira električne energije. Poleg tega je del sistema neprekinjenega napajanja tudi dizel električni agregat (krajše: DEA), ki se ob izpadu glavnega vira samodejno vklopi in ga kot pomožni vir električne energije zamenja. Moramo se zavedati, da ima vsaka komponenta napajalne trase električne izgube. UPS, ki napajajo računalniški center, so pri 100-odstotni obremenitvi le 90-odstotno učinkoviti, pri manjših obremenitvah pa učinkovitost drastično pade, kot je razvidno iz Slike 8. Izgube UPS delimo na fiksne, proporcionalne in izgube, ki se kvadratno povečujejo.

Izgube UPS, ki nimajo aktivne obremenitve, se v celoti porabijo samo za delovanje UPS. Te izgube so zaradi napajanja in zagotavljanja delovanja transformatorjev, kondenzatorjev, matičnih plošč in komunikacijskih kartic. Te izgube so stalne izgube.

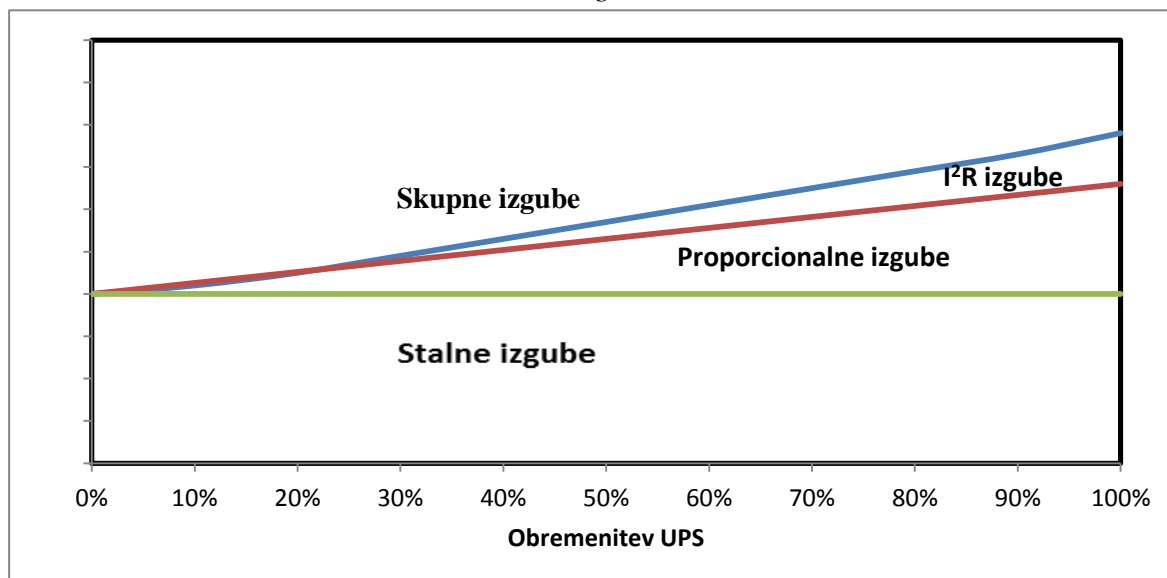
Slika 8: Učinkovitost UPS



Vir: prirejeno po Rasmussen, N., *Electrical Efficiency Modeling for Data Centers*, 2011b, str. 7.

Proporcionalne izgube so povezane z izgubami prevodnikov in polprevodnikov, ojačevalcev, tranzistorjev, ki pa se povečujejo v odvisnosti od obremenitve in tako prispevajo svoj delež k proporcionalnim izgubam.

Slika 9: Izgube UPS



Vir: prirejeno po sliki iz Sawyer, R. L., *Making large UPS systems more efficient*. White paper 108, 2012, str. 5.

Izgube, ki naraščajo po kvadratni funkciji, so izgube, ki so vezane na pretok električnega toka skozi komponente in so povezane s formulo  $I^2R$ .

Stalne, proporcionalne in kvadratne izgube UPS so grafično prikazane na Sliki 9.

Proizvajalci pogosto navajajo učinkovitost UPS pri 100-odstotni obremenitvi, četudi veliko računalniških centrov iz različnih razlogov obratuje pri nižjih obremenitvah. Učinkovitost pri obremenitvah, nižjih od 80 %, močno pade. Še posebej se to pozna v območju pod 30-odstotno obremenitvijo UPS-sistemov, kjer zelo majhna sprememba v obremenitvi povzroči nepričakovano visoke stroške. Če stroške izgub električne energije na UPS v primeru nižjih obremenitev pomnožimo s tipično življenjsko dobo računalniškega centra, lahko ugotovimo, da so stroški izgub na UPS večje, kot so investicijski stroški nabave. Nezanemarljivi so pa tudi stroški hlajenja, ker morajo UPS-sistemi delovati v predpisanem temperaturnem območju.

V izračunu so uporabljena sledeča predvidevanja: faktor fiksne izgube v vrednosti 0,040, proporcionalne izgube v vrednosti 0,045 in izgube po kvadratni funkciji v vrednosti 0,040.

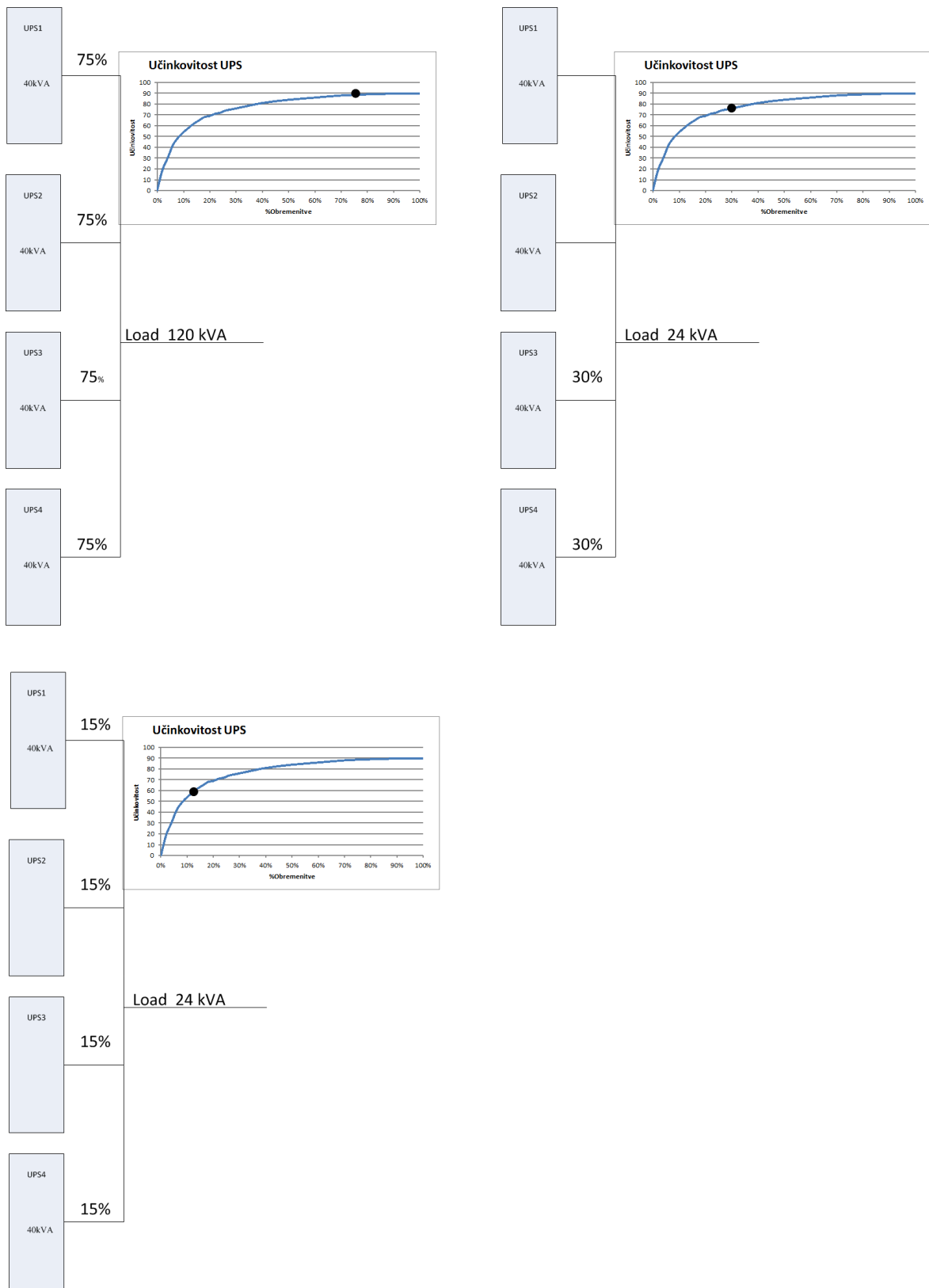
Izgube UPS-sistemov so manjše, če uporabimo pravilno dimenzioniranje in uporabimo ravno pravo konfiguracijo. V našem primeru, ker imamo štiri UPS-sisteme v gruči, bi lahko med obratovanjem z uporabo funkcije pametnega upravljanja električne energije dva UPS-sistema izklopili, ko nimamo obremenitve, v primeru povečane obremenitve bi se pa sami vklopili. Z uporabo te funkcije bi lahko prihranili znatna sredstva in to samo na račun manjših izgub. Primer pametnega krmiljenja UPS je prikazan na Sliki 10.

Ponovno sem naredil izračun učinkovitosti računalniškega centra, s predpostavko, da izklopimo dva UPS. Zanima nas vpliv izgub UPS na stroške. Trenutna obremenitev sistema je še vedno 42 kW, obremenitev UPS zraste na 52 %, PUE se izboljša na 2,56 in so stroški električne energije 74.600 €, kar pomeni prihranek po že uvedenih ostalih ukrepih 36.400 € na letni osnovi.

Če pa upoštevamo obremenitev iz leta 2014 in ravno tako z uporabo funkcije pametnega upravljanja izklopimo, pa znaša PUE 2,13 in so stroški električne energije 95.600 €, kar pomeni prihranek 35.400 € na letni osnovi.

Ker smo ugotovili, da so v tem primeru prihranki največji ravno na področju UPS-sistemov, se uvedba inteligentnega nadzora vsekakor splača, še posebej, če to preračunamo na celotno življenjsko dobo UPS-sistemov.

Slika 10: Pametno krmiljenje UPS



Vir: povzeto po brošuri General Electric Company, GEA-D 1013 GB CE, General Electric Company, 2011.

Pravilno dimenzioniranje vseh oskrbnih naprav seveda prinese prihranek tudi na investicijskih stroških. Za zagotavljanje vseh potreb v našem računalniškem centru bi bili v obeh primerih dovolj trije UPS-sistemi v gruči in bi lahko prihranili investicijske stroške za nakup enega UPS in izgradnjo dodatne infrastrukture. V primeru potrebe po dodatni računalniški opremi se takrat lahko doda še dodatni UPS-sistem v gručo.

Pri raziskavi oziroma praktični izvedbi zmanjšanja porabe električne energije računalniškega centra so me ravno podatki o izgubah UPS-sistemov najbolj presenetili. To je tudi razlog, zakaj je treba nadzorovati vso oskrbno infrastrukturo, meriti vse parametre, kjer je le mogoče in avtomatsko krmiliti čim več naprav.

### 3.5.9 Virtualizacija

Virtualizacijo računalniških sistemov v računalniškem centru poznamo že nekaj let, najprej je bila namenjena za visoko razpoložljivost in obnovitveni načrt po okrevanju pomembnega računalniškega sistema. Virtualizacija se je v zadnjih desetih letih razširila in velika večina pomembnih sistemov je virtualizirana. Izkušnje imamo z vsaj šestimi tipi virtualizacije na različnih procesorjih in operacijskih sistemih, poleg tega imamo tudi virtualizirano SAN-diskovje. V času od leta 2014 smo uvedli novo virtualizacijsko platformo, eno virtualizacijsko platformo ukinili ter nadgradili najpomembnejšo virtualizacijsko platformo na višjo verzijo skupaj z migracijo na novejšo strojno opremo.

Virtualizacija boljše izkoristi procesorje, kot bi jih sam fizični strežnik, ker kombiniramo več strežnikov in se izločijo stanja, ko so fizični procesorji nedelujoči. Glede na to moramo najti različne načine konsolidacije, migracije in povezovanja strežnikov, ki imajo časovno različno obremenitev. Študija *An Empirical Investigation of the Impact of Server Virtualization on Energy Efficiency for Green Data Center* (Jin, Wen, Chen & Zhu, 2013), ne kaže, da bi bila virtualizacija uspešna pri zmanjšanju porabe električne energije. Rezultati študije kažejo, da se je treba zavedati, da fizični strežnik skoraj vedno porabi manj energije kot strežnik gostitelj z več virtualnimi strežniki.

V našem primeru z vidika zmanjšanja porabe električne energije je virtualizacija pripomogla kot pripomoček pri ukinjanju preostalih fizičnih strežnikov, konsolidacije več aplikativnih sistemov ter v zadnjem času za prenos fizičnih arhivskih strežnikov. Arhivski strežniki ostanejo na voljo na virtualni platformi, četudi so ugasnjeni, v stanju pripravljenosti ali pa uporabljajo minimalna sistemska sredstva. Pri migraciji na novo strojno opremo smo še enkrat napravili katalog virtualnih strežnikov, ukinili nepotrebne, zmanjšalo pa se je predvsem število virtualnih procesorjev in spomina. Ker so procesorji hitrejši, prepustnost mrežnih kartic pa večja, se v večini primerov zmanjšanje virtualnih virov ni poznalo na odzivnosti aplikacij.

Vpliv virtualizacije na zmanjšanje porabe električne energije je vsekakor večji, če seliš fizične strežnike na virtualno okolje, kot pa je bilo v našem primeru. V našem primeru smo selili virtualne strežnike iz delujočega virtualnega okolja na novejšo strojno opremo in višjo verzijo virtualne platforme. Ker je migracija trajala več mesecev in še vedno ni zaključena, ne morem podati končne ocene, vsekakor prihranek električne energije zaradi virtualizacije ni zanemarljiv. Investicijski stroški vloženi v virtualizacijo in nove strežnike so bili okoli 160.000 €.

Virtualizacija in standardizacija, ki smo jo uvedli z nakupom strojne opreme pa imata še eno dobro lastnost, ki vpliva na zmanjšanje porabe električne energije. V računalniških centrih, kjer je velika večina strežniških omar napolnjena z enakimi oziroma podobnimi strežniki na isti virtualizacijski platformi, lahko virtualne strežnike brez prekinitve selimo med različnimi fizičnimi strežniki. Enako lahko v primeru več aplikacijskih strežnikov, ki strežejo isto aplikacijo, vklopimo in izklopimo strežnike v odvisnosti od obremenitve in brez vpliva na hitrost in zanesljivost delovanja za aktivne uporabnike.

Vsak fizični strežnik porablja energijo in oddaja toploto, kar lahko vpliva na to, da je določen del računalniškega centra ali strežniške omare bolj obremenjen kot drugi. Vpliv na porabo električne energije in oddajanje odvečne toplote strežnika pa ima predvsem obremenitev procesorjev in hitrost ventilatorjev, kar lahko merimo skozi nadzorne ali upravljalne programe virtualizacijske platforme ali preko SNMP parametrov fizičnega strežnika. Zaradi zagotavljanja boljšega izkoristka lahko preselimo virtualne strežnike iz bolj obremenjenega fizičnega strežnika gostitelja na manj obremenjenega, ravno tako na bolj obremenjenemu ugasnemo virtualni aplikacijski strežnik in ga startamo na manj obremenjenem fizičnem strežniku. Virtualne strežnike lahko selimo tudi med strežniškimi omarami in celo med računalniškimi centri, vse zato, da zagotovimo boljšo razporeditev obremenitve, cenejše in bolj učinkovito napajanje in hlajenje.

V našem primeru smo tudi zato, ker smo za gostitelje virtualnega okolja uporabili strežnike z manj procesorji in več jedri, lahko uporabili cenejše licence za podatkovne baze, kar se je odrazilo v zelo velikem znižanju stroškov licenc. Virtualne strežnike s podatkovnimi bazami smo preselili iz okolja, kjer je gostitelj imel osem fizičnih procesorjev na gostitelja z dvema procesorjema in tako prihranili celoletne investicijske stroške v računalniški center.

### **3.5.10 DCIM**

Naše podjetje za DCIM še ni dozorelo. Za spremljanje vseh metrik je treba zajemati podatke na vseh pomembnih merilnih mestih, obdelovati te podatke na centralnem mestu, oskrbna infrastruktura pa mora biti pripravljena za krmiljenje in upravljanje. Popisana morajo biti vsa sredstva z vsemi pripadajočimi podatki. Strežnik mora v popisu sredstev imeti vpisane najmanj informacije o imenu strežnika, tipu in serijski, inventarni številki,



dan nakupa, poraba električne energije in toplotna obremenitev. Pomembna je tudi lokacija, najprej v katerem računalniškem centru, v kateri omari, in na kakšni višini v omari je postavljen. Pomembni so tudi podatki, na katera stikala je priklopljen, na katere PDU je priklopljen, informacije o mrežnih, optičnih in ostalih karticah. Potem so tu še podatki o velikosti diskov in particij, programih, ki so inštalirani, licence, nakupne in najemne pogodbe.

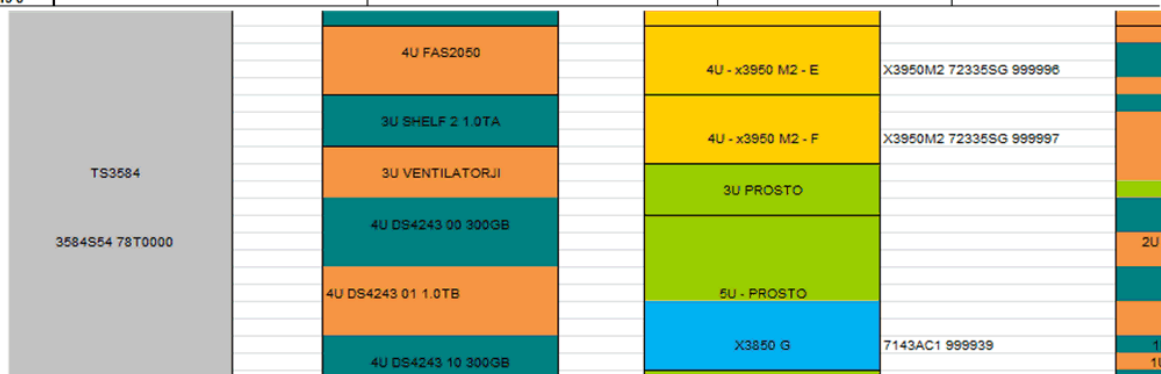
Podatki se nahajajo v različnih službah od nabave in osnovnih sredstev pa do vodstva informatike. Podatke o velikosti diskov, particij in kartic se lahko dobi iz nadzornih orodij. Podatke, kot je toplotna obremenitev in o porabi električne energije, lahko dobimo iz dokumentacije proizvajalca.

Slika 11: Preglednice in podatki računalniškega centra

lokacija omara/oprema	Max Heat diss. BTU/Hr	Max Heat diss. kW/Hr	input power idle (W)	input power max (W)	input power required (A)	F idle/max power	Heat diss. Average kW/Hr
O2 42U	3.634	1,065	1.065	1.575	4,9	0,676	0,720
O3	13.037	3,821	2.352	3.821	17,4	0,616	2,352
O4	6.347	1,860	1.860	1.860	16,0	1,000	1,860
O5	3.955	1,159	1.119	1.580	7,2	0,708	0,821
O6	12.091	3,544	2.367	3.544	16,1	0,668	2,367
O7	0	0,000	0	0	0,0		
O8	3.439	1,008	1.100	1.100	16,0	1,000	1,008

Rack O15

	Oprema	LAN	SAN	Elektrika
26 U	A	M->MSP22, MP1->GSP34, MP2->DSP34, MP3->GSP35, MP4->DSP35	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L1-28, DN->L1-28
25 U				
24 U	B	M->MSP21, MP1->GSP32, MP2->DSP32, MP3->GSP33, MP4->DSP33	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L1-26, DN->L1-26
23 U				
22 U	VMW12	M->MSP20, MP1->GSP30, MP2->DSP30, MP3->GSP31, MP4->DSP31	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L1-26, DN->L1-26
21 U				
20 U	VMW11	M->MSP 19, MP1->GSP28, MP2->DSP28, MP3->GSP29, MP4->DSP29	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L1-26, DN->L1-26
19 U				
18 U	VMW10	M->MSP 18, MP1-> GSP 26, MP2-> DSP 26,MP3->GSP 27,MP4-> DSP 27	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L1-18, DN->L1-19
17 U				
16 U	VMW03	M->MSP 17, MP1-> GSP 24, MP2-> DSP 24,MP3->GSP 25,MP4-> DSP 25	LFC->ZD1X7->48SAN25,DFC->ZD2X7->48SAN25	LN->L3-19, DN->L3-19
15 U				



Nekatere od teh osnovnih podatkov vodimo tudi pri nas v različnih preglednicah. Ena preglednica je za pozicioniranje strežnikov v računalniških centrih, ki ima tudi pripadajoče informacije o imenu strežnika, tipu, serijski številki. Ta preglednica z grafičnim pregledom je namenjena hitri orientaciji, planiranju slepih panelov in premičnih panelnih sten iz leksana. Iz te preglednice izhajajo preglednice, na katerih so vpisani strežniki s povezavami na stikala. Posebna preglednica je za toplotne izgube in električno porabo. Vse te preglednice lahko vidimo na Sliki 11. Preglednica za mrežno opremo je ločena. Precej pomembnih podatkov še nimamo vpisanih. Za obstoječe preglednice skrbi več oseb, tako da evidence niso vedno ažurne. Procesi, kot je menjava strežnika, tudi ne potekajo usklajeno.

Poleg popisa imamo še nekaj problemov, ki jih še ni mogoče rešiti. Zajem električne energije za oskrbno infrastrukturo računalniškega centra je iz ločenih virov za tehnično hlajenje in napajanje. Na nobeni veji nimamo merilnih električnih števecv. S tem nam je oteženo merjenje učinkovitosti in kar je še slabše, ni mogoče prikazati prihranka električne energije. Stroški električne energije se porazdelijo po stavbi oziroma po stroškovnih mestih in odgovorni se ne zavedajo, da računalniški centri porabijo veliko več energije na m<sup>2</sup> kot običajna delovna mesta. Prve meritve tako izvajamo šele na UPS-sistemih, kar je tudi zajeto v nadzorni sistem. V nadzorni sistem so zajeti nadzor porabe električne energije (sicer redkih) inteligentnih PDU in nekaj strežnikov.

Klimatske naprave so poseben problem, ker imamo različne tipe opreme in od različnih proizvajalcev. Za nekaj klimatskih naprav obstaja nadzorni CNS-sistem, nekatere pa je treba upravljati ročno. Vse klimatske naprave imajo zunanji termostat, pritrjen na steno v računalniškem centru. Iz tega takoj izhaja problem, da slaba postavitev termostata vpliva na napačno hlajenje dotične klimatske naprave, še slabše pa je to, da slaba postavitev lahko moti tudi druge klimatske naprave v okolici.

Temperaturo v računalniškem centru merimo s temperaturnimi tipali, na štirih lokacijah znotraj računalniškega centra, kar je občutno premalo. Temperaturo bi bilo treba meriti s temperaturnim tipalom na sprednji strani vsake strežniške omare ali celo s tremi tipali porazdeljenimi na sprednji strani vsake strežniške omare za merjenje vhodnega hladnega zraka in s tipalom na zadnji strani, kjer bi se merilo temperaturo toplega odpadnega zraka.

DCIM-sistem, kot bi ga želel implementirati, bi centraliziral vse podatke, ki jih imamo v preglednicah, podatke, ki jih zajamejo nadzorni sistemi, podatke iz CNS (klimatske naprave), podatke o dovodu električne energije, podatke o porabi električne energije in toplotne obremenitve vseh naprav računalniškega centra. DCIM pa bi tudi reagiral in preko različnih krmilnih naprav upravljal klimatske naprave, izklapljal UPS, migriral virtualne strežnike.

Sistem za spremljanje delovanja naprav v računalniškem centru bi morali povezati še z drugimi sistemi, kot so CNS, BMS, SCADA, z različnimi meritvami, sistemi za upravljanje in lokalnimi bazami podatkov. S sistemom bi zagotavljali pretok informacij v pravem času na pravo mesto, uporabnikom, ki jih potrebujejo. Z zapisovanjem in shranjevanjem pomembnih podatkov v bazo podatkov, dobimo možnost analize učinkovitosti, načrtovanja novih ukrepov in spremljanja povratnih učinkov že izvedenih ukrepov. Osnova za DCIM je torej imeti prave, realne podatke iz računalniškega centra.

Merilne naprave v računalniških centrih so lahko različni števeci porabe energije, ki se nahajajo na vseh vhodnih mestih v računalniški center, poleg števecv električne energije so to lahko tudi števeci dovedene vode, toplote. Merimo tudi temperaturo na različnih napravah in lokacijah v računalniškem centru. Zajemamo podatke iz inteligentnih PDU naprav, UPS in klimatskih naprav. V primeru našega računalniškega centra ne moremo upoštevati števecv električne energije, ker so skupni z ostalim delom stavbe.

Kar je možno narediti v našem primeru z minimalnimi sredstvi, je predvsem centralizirati zajem podatkov o električni porabi vseh naprav na centralni nadzorni sistem, opremiti računalniški center z dovolj temperaturnimi tipali in jih vključiti v centralni nadzorni sistem, opremiti klimatske naprave z merilci električne energije in jih povezati na centralni nadzorni sistem, krmiljenje pa izvesti z industrijskimi krmilniki, na osnovi izmerjenih in izračunanih podatkov o temperaturi in električni porabi.

Merilne naprave, ki so povezane na industrijske krmilnike preko analognih ali digitalnih modulov, lahko uporabimo za krmiljenje oskrbne infrastrukture. V primeru, da bi temperatura na enem predelu preseгла temperaturno mejo, bi krmilnik samostojno, seveda potem, ko bi preveril vpliv na druge parametre, upravljal klimatsko napravo. Kombinacija nadzornega sistema in krmilnika omogoča upoštevanje več meritev za krmiljenje, upoštevamo lahko meritve senzorjev v okolici drugih klim in z upoštevanjem teh podatkov krmilimo klimatske naprave usklajeno in precej bolj učinkovito. Klimatske naprave v našem računalniškem centru niso usklajene in ima vsaka svoj termostat na osnovi nastavitve katerega deluje.

Podobno funkcijo imajo SCADA-nadzorni sistemi v proizvodnih procesih, kjer z uporabo industrijskih krmilnikov krmilimo in nadzorujemo proizvodno linijo ali celotno proizvodnjo. S sinoptično predstavitvijo meritev in rezultatov v vsakem trenutku prikazujemo dejansko stanje v proizvodnji, tako da lahko operater na osnovi pravih podatkov opravi korektivne ukrepe. Dobro izvedeno krmiljenje lahko že samo opravi določene korekcije, pomembno pa je, da je krmiljenje na osnovi arhivskih podatkov nadzornih sistemov mogoče še izboljšati in narediti učinkoviteje. SCADA-sistemi in industrijski krmilniki omogočajo nadgradljivost, prilagodljivost, tako da se zaželene spremembe lahko vgradijo v program industrijskega krmilnika in nadzornega sistema.

Nadzorni sistem ima poleg funkcije krmiljenja in nadzora tudi funkcijo zbiranja podatkov in omogoča shranjevanje podatkov. Z uporabo realnih, shranjenih podatkov analiziramo vse vidike produktivnosti, učinkovitosti, napak in izboljšav. Realni podatki nam omogočajo izboljšanje upravljanja procesov, spremljanje povratnih učinkov realiziranih ukrepov in v dobri meri pripomorejo k planiranju novih investicij.

Kombinacija dobrih praks vseh nadzornih sistemov CNS, BMS, SCADA in IT- nadzornih orodij je zbrana v DCIM-orodjih. V trenutnem okolju povezava vseh sistemov še ni mogoča. Z analizo stroškov, izboljšav in učinkovitosti ter dobro predstavitvijo le teh odločevalcem se bodo našla sredstva za ta projekt. Trenutna možnost pa je IT-nadzorni sistem, ki podpira tudi industrijske protokole, uvedba dodatnih merilnih točk, povezovanje z drugimi nadzornimi sistemi, zbiranje in shranjevanje vseh pomembnih podatkov.

Uveljavljeni DCIM-nadzorni sistemi so vpeti v vse procese računalniškega centra. V primeru novega ali zamenjave starega strežnika v računalniškem centru ti sistemi sami predlagajo najbolj optimalno postavitev strežnika z vidika porabe elektrike, porazdelitve obremenitve na PDU, toplotne obremenitve strežniških omar, optimalne postavitve strežnika znotraj strežniške omare. Pri nas poteka tak proces z uporabo več preglednic, usklajevanja med različnimi službami in določitvijo ne vedno optimalnega mesta za strežnik. Po spremembi pa je seveda potrebno popraviti vse preglednice.

Eden od ukrepov je centralizacija preglednic, zato trenutno razvijamo aplikacijo, ki bo vsebovala vse že našteje podatke. Poleg tega urejamo tudi procese in odgovornosti v računalniškem centru.

### **3.5.11 Dvig temperature računalniškega centra za 2°C**

V našem računalniškem centru je konstantna temperatura 20 °C. Navkljub zavedanju, da bi lahko privarčevali od 2 do 5 % porabe energije za vsako stopinjo Celzija (El-Sayed, Stefanovici, Amvrosiadis, Hwang & Schroeder, 2012; Brandon, 2007; California Energy Commission, 2016), se za to še nismo odločili. Nekaj izpadov hlajenja iz preteklosti, kjer smo zaradi zagotovitve primerne temperatur hladili z dodatnimi ventilatorji in prenosnimi klimatskimi napravami, je še v spominu, zato ni želje po zmanjšanju reakcijskega časa, potrebnega od izpada klimatske naprave in dviga temperature v računalniškem centru do odprave problema z alternativnim hlajenjem ali popravi klimatske naprave. Zavedati se moramo, da je v velikih računalniških centrih vedno nekdo prisoten in lahko odreagira že na najmanjšo napako v delovanju. V našem primeru ni tako; v računalniškem centru ni zaposlen nihče. Odgovorni sta dve osebi, ki v primeru, da se temperatura dvigne preko meje, dobita obvestilo iz nadzornega sistema. Čas, potreben za detekcijo napake, je tako od dveh do šestih ur, za odpravo napake pa še več.

V primeru višje temperature se običajno zmanjša vlažnost. V naši postavitvi klimatskih naprav nismo uporabili vlažilnika in smo tudi zaradi tega omejeni z dvigom temperature. Na vlago in temperaturo so glede na našo analizo od vseh naprav najbolj občutljive tračne knjižnice, ki jih imamo v centru.

Sistem hlajenja pripravi hladen zrak v klimatski napravi, ga izpiha v hladno cono, kjer ga računalniške naprave vsesajo in ko ohladijo svoje komponente, ogretega izpihajo v toplo cono. Segreti zrak se dvigne do sesalnih komor klimatske naprave, ki ga zajame in tako nadaljuje cikel.

Tak sistem hlajenja ni primeren za večje porabnike ali strežniške omare z večjo gostoto. V nekaterih primerih smo prerazporedili opremo, tako da smo zmanjšali gostoto opreme in s tem izboljšali izkoristek hlajenja.

Pri menjavi klim v začetku leta 2014 smo na dveh klimatskih napravah pred menjavo na poziciji 1 in poziciji 2 izvedli meritve porabe električne moči z uporabo električnih merilnih klešč na dovodu elektrike. Po zamenjavi smo pri zelo podobnih pogojih zunanje in notranje temperature ravno tako naredili meritve z uporabo enake merilne opreme. V strežniških omarah ni bilo nobene spremembe, tudi obremenitev strežnikov je bila podobna. Rezultati porabe električne moči navkljub močnejšim zunanjim enotam so bili presenetljivo samo 70 % porabe starih klimatskih naprav. Delno pripisujem zmanjšanje porabe boljšemu izkoristku, delno pa drugačnemu tehničnemu delovanju novejših naprav. Zajem podatkov je v obeh primerih potekal krajši čas in nimam primerjave za drugačne okoljske parametre, vendar že ti podatki kažejo na pomembnost izbire hladilne opreme in da je treba vsako komponento računalniškega centra skrbno načrtovati.

Izvedel sem tudi test dviga temperature za 2 °C. Na žalost sem si lahko izposodil samo ene električne merilne klešče, tako da sem meril porabo klimatske naprave na poziciji 1 in jo primerjal s prej omenjenimi meritvami. Meritve med seboj niso bile primerljive, ker je zunanja temperatura odstopala od prejšnjih meritev. Meritev porabe same klimatske naprave pri notranji temperaturi 20 °C in 22 °C je pokazala rahlo zvišano porabo električne energije, vendar je bil namen tega preizkusa tudi testiranje strežnikov na povišano temperaturo.

Merjenje je potekalo dvakrat:

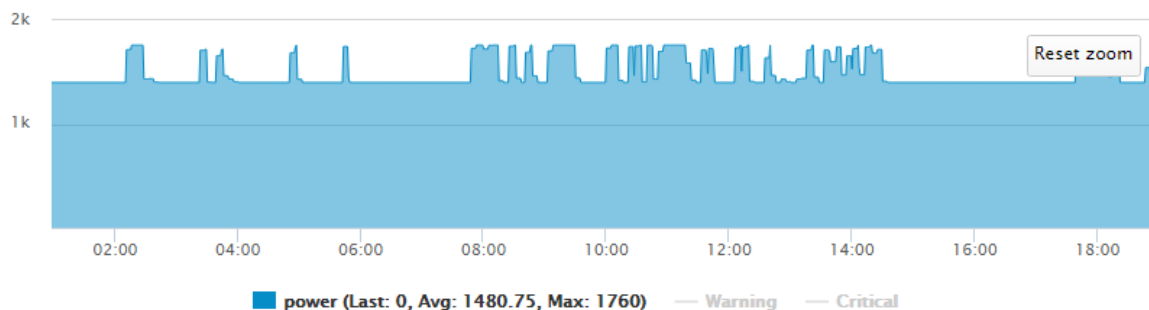
- prvič pri ustaljeni, konstantni temperaturi 20 °C,
- drugič pri ustaljeni, konstantni temperaturi 22 °C.

Predhodno sem na sprednja vrata dveh strežniških omar priklopil tri senzorje temperature, iz katerih sem zajemal podatke na nadzorni sistem. V nadzorni sistem sem zajemal tudi informacije o temperaturi, hitrosti ventilatorjev in porabi električne moči strežnikov v teh

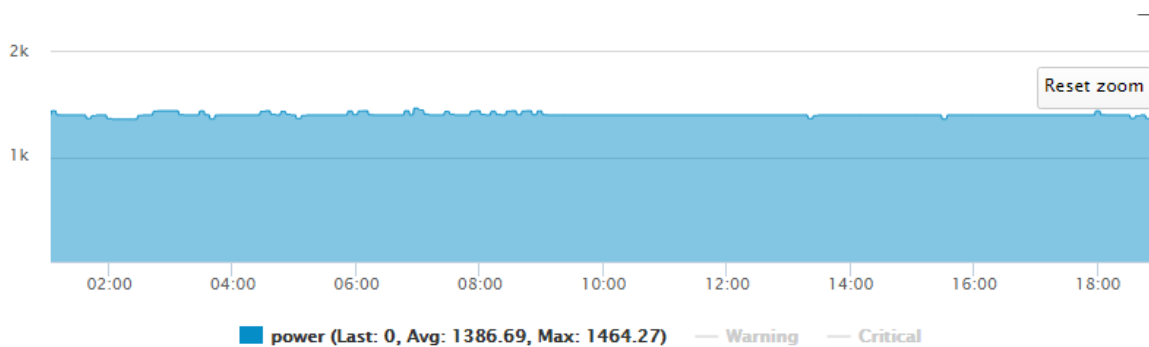
dveh omarah. Znotraj omare so bili tudi strežniki razdeljeni na tri cone: spodnjo, srednjo in zgornjo. Razdelitev na cone je pomembna zaradi vpliva hlajenja na različnih višinah. Primarni cilj je bil zajem čim več podatkov in primerjava rezultatov za strežniško opremo. Hipoteza, ki jo zagovarjam, je, da strežniška oprema ne porabi veliko več energije pri dvigu temperature iz 20 °C na 22 °C in da z dvigom temperature prihranimo pri porabi električne energije.

Pri meritvah sem si pomagal z meritvami parametrov strežnikov in temperaturnih senzorjev, ki jih izvajam na nadzornem sistemu. Merjenje porabe električne energije na strežnikih, ki sem jih testiral, je razvidno na Slikah 12-15.

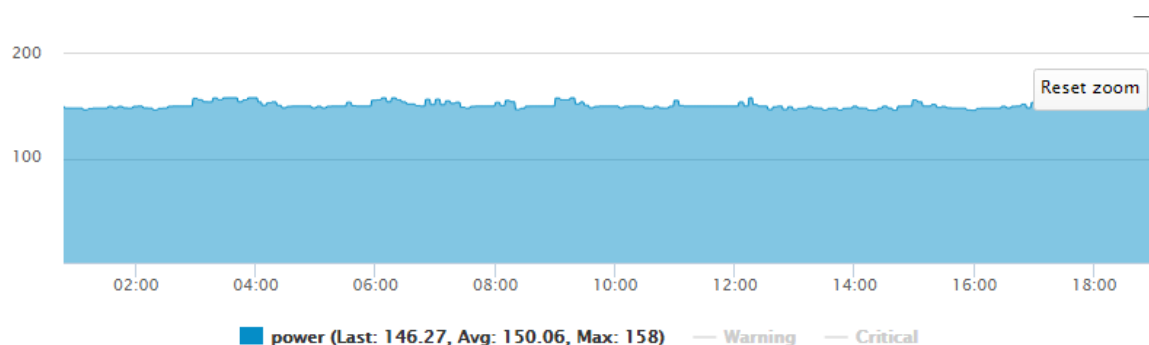
*Slika 12: Električna poraba strežnika 1*



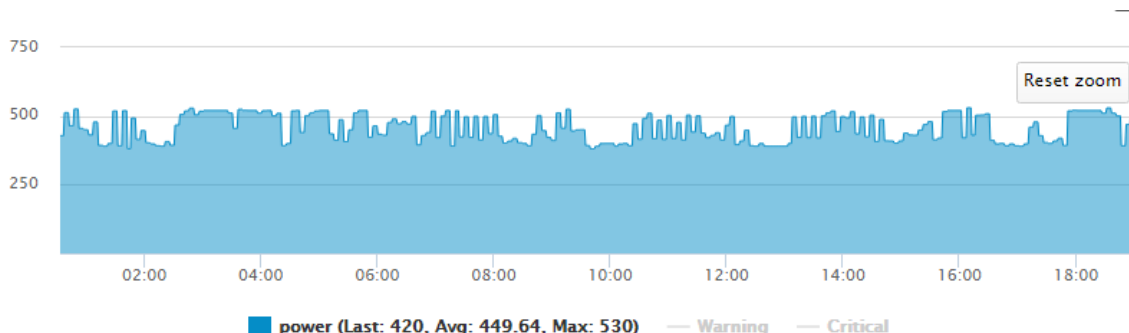
*Slika 13: Električna poraba strežnika 2*



*Slika 14: Električna poraba strežnika 3*



Slika15: Električna poraba strežnika 4



Zaradi omejenega časa uporabe merilnih klešč nisem mogel dlje časa opravljati meritev pri višji temperaturi. Iz rezultatov, pridobljenih z meritvami, nisem mogel potrditi nobene hipoteze. Obremenitev strežnikov se precej spreminja, vendar nisem zaznal znatne spremembe na hitrosti ventilatorjev, kot tudi ne na porabi električne energije. Poraba klimatske naprave pa je bila v času meritve pri temperaturi 22 °C višja za približno 3 %. Ker je bil čas meritve prekratek, na žalost hipoteze ne morem potrditi.

Tabela 3: Število toplih dni s preseženo temperaturo 25 °C

Leto	Število vročih dni
1995	52
1996	42
1997	64
1998	59
1999	51
2000	64
2001	60
2002	59
2003	100
2004	47
2005	63
2006	66
2007	71
2008	74
2009	69
2010	58
2011	88
2012	82
2013	75
2014	48
2015	69

Vir: Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor. (2016). Število toplih dni s preseženo temperaturo 25 °C. Najdeno 10. februarja 2016 na <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet>

Uporaba alternativnih virov hlajenja je tema, ki je ne bom bolj poglobljeno obravnaval. Dejstvo je, da pri načinu hlajenja v izbranem računalniškem centru ni mogoče brez večjih stroškov uvesti zunanega hlajenja. Hlajenje z ekonomičnimi sistemi bi bilo v našem podnebnem pasu vsekakor izvedljivo, uporabil bi scenarij z nihajočo temperaturo do 25 °C. S Tabele 3 je razvidno število dni s temperaturo nad 25 °C na merilni postaji Ljubljana Bežigrad v zadnjih desetih letih. Ker je tudi v primeru toplih dni lahko temperatura v vsaj manjšem delu dneva pod 25 °C, so lahko tudi ti dnevi primerni za uporabo zunanjega hlajenja. Po meteoroloških podatkih je bilo v Ljubljani v letu 2015 69 dni s temperaturo nad 25 °C, kar pomeni, da bi ostalo vsaj 7100 ur primernih za uporabo zunanjega hlajenja.

#### 4 EKONOMSKI UČINKI UVEDBE ZELENIH TEHNOLOGIJ

Pri izračunu ekonomskih učinkov sem uporabil formulo za čas vračila naložbe. Tukaj gre za izračun časa, ki je potreben, da se nam vložena sredstva povrnejo. Metoda je enostavna, vendar ne upošteva izgubljanje vrednosti denarja v času. Čas vračila naložbe izračunamo po spodnji formuli.

$$\text{Čas vračila naložbe} = \text{vložena sredstva} / (\text{letni prihranek} - \text{letni stroški}) \quad (5)$$

Računovodska stopnja donosa (angleško *Accounting Rate of Return*) se osredotoča na neto dobiček projekta in ne na denarne tokove. Izražena je v razmerju med povprečnim letnim neto dobičkom investicije in povprečnimi investicijskimi vlaganji (Lumby & Jones, 2003, str. 41). V tem primeru gre za ROI (angleško *Return On Investment*). Slabost metode je, da ne upošteva vrednosti denarja v času, kar je značilno za statične metode ocenjevanja investicij (Brigham & Daves, 2004, str. 378). Druga formula, ki sem jo uporabil, je za koeficient donosnosti naložbe (ROI). Koeficient donosnosti naložbe je znano in pogosto uporabljano ekonomsko sodilo za ocenjevanje naložb.

$$ROI = (\text{letni (čisti) dobiček kot posledica naložbe} / \text{vrednost naložbe}) * 100 \quad (6)$$

Tretja metoda, ki sem jo uporabil, je metoda neto sedanja vrednost (NSV), ki upošteva spremembo vrednosti denarja v času z uporabo diskontne stopnje. Neto sedanja vrednost (angleško *Net Present Value*) pomaga pri izbiri ustreznega investicijskega projekta in temelji na tehniki diskontiranega denarnega toka. Najprej moramo izračunati sedanjo vrednost vseh denarnih tokov (Brigham & Daves, 2004, str. 379), uporabiti diskontno stopnjo, ki je enaka stroškom kapitala. Po formuli dobimo neto sedanjo vrednost. Če je neto sedanja vrednost večja od 0, je investicijski projekt ekonomsko upravičen, saj vsota sedanjih vrednosti prihodnjih blaginj presega vsoto sedanjih vrednosti stroškov projekta. Če je neto sedanja vrednost manjša od 0, je investicija ekonomsko neupravičena, ker je vsota sedanjih vrednosti prihodnjih blaginj manjša od vsote sedanjih vrednosti stroškov



projekta (Brigham & Gapenski, 1998, str. 353). Pomanjkljivosti neto sedanje vrednosti lahko odpravimo z upoštevanjem dobe vračanja vloženih sredstev (Geddes, 2002, str. 72).

$$NSV = C_0 + C_1/(1+r)^1 + C_2/(1+r)^2 + \dots + C_n/(1+r)^n \quad (7)$$

$C_0$  – začetna naložba

$C_n$  – denarni tok v določenem letu

$r$  – diskontna stopnja

Zadnja metoda, ki sem jo uporabil, je bila metoda notranje stopnje donosa (IRR). Notranja stopnja donosa (angleško *Internal Rate of Return*) je diskontna stopnja, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka 0 (Zerbe & Evans, 2010, str. 2). Notranja stopnja donosa je diskontna stopnja, kjer sta sedanja vrednost denarnih prilivov in sedanja vrednost odlivov enaka. Z metodo notranje stopnje donosa iščemo diskontno stopnjo, pri kateri je neto sedanja vrednost enaka 0. Notranja stopnja donosa predstavlja maksimalne stroške kapitala projekta (Drury, 1994, str. 297).

#### 4.1 Izračun ekonomskih učinkov po uvedbi hladnih in toplih con

Po ureditvi zaprte tople cone in vgradnji slepih panelov je bil narejen izračun porabe. Obremenitev štirih 40 kVA UPS s koristnim bremenom računalniške opreme marca 2016 znaša 26 %, maksimalno možna obremenitev UPS v gruči pa je 160 kW. Stroški porabe električne energije na letni ravni znašajo 111.000 €, kar je bilo 10.000 € letnega prihranka glede na stanje pred ureditvijo. Stroški postavitve in izdelave pregradnih sten ter slepih panelov so znašali 2.500,00 €.

Tabela 4: Podatki uvedba toplih con 2016

Postavka	Vrednost
Letna poraba el. energije pred ukrepi	121.000,00 €
Letna poraba el. energije po ukrepih	111.000,00 €
Letni prihranek	10.000,00 €
Investicija	2.500,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Iz podanih podatkov (Tabela 4) izračunamo NSV in IRR na dobo 5 let, čas vračila naložbe in ROI (Tabela 5).

*Tabela 5: Izračun uvedba toplih con 2016*

<b>Metoda</b>	<b>Izračun</b>
NSV	37.612,29 €
IRR	400 %
Čas vračila	0,25 leta
ROI	400

*Tabela 6: Podatki uvedba toplih con 2014*

<b>Postavka</b>	<b>Vrednost</b>
Letna poraba el. energije pred ukrepi	142.000,00 €
Letna poraba el. energije po ukrepih	131.000,00 €
Letni prihranek	11.000,00 €
Investicija	2.500,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Zanimiva je tudi primerjava za leto 2014. Takrat je bila obremenitev s koristnim bremenom 40 % pri enakih UPS. Stroški porabe električne energije pa bi po uvedbi ukrepov znašali 131.000 €. V tem primeru bi prihranili 11.000 € na letni ravni. Investicija v slepe panele, premične pregradne stene iz leksana in delo pa bi bila tudi 2.500 €.

Iz podanih podatkov (Tabela 6) izračunamo NSV, IRR za obdobje 5 let, čas vračila naložbe in ROI (Tabela 7).

*Tabela 7: Izračun uvedba toplih con 2014*

<b>Metoda</b>	<b>Izračun</b>
NSV	41.605,00 €
IRR	440 %
Doba vračila	0,23 leta
ROI	440

V primeru, da bi investirali v panele in pregradne stene že 2014, bi prihranili vsako leto 11.000,00 €. Izračun pokaže, da se vložek v investicijo vsekakor izplača.

## **4.2 Izračun po zamenjavi klimatskih naprav**

Kot sem že omenil, smo zaradi dotrajanosti klimatskih naprav morali zamenjati 6 kanalskih in 2 cevni klimatski napravi. Poleg tega smo zamenjali vso interno cevno in

elektro instalacijo, varnostno ter funkcijsko mikroprocesorsko avtomatiko vključno z instrumenti za nadzor in kontrolo delovanja.

Investicija v zunanje in notranje enote klimatskih naprav, stenskih žičnih upravljalnikov, centralnega nadzornega sistema, raznega materiala in dela je bila 61.190,27 €.

Iz meritev smo ocenili, da je poraba novih klimatskih naprav približno 70 % porabe električne energije starih klimatskih naprav.

Na podlagi informacij iz izračuna spletnega orodja (Trade off Tool, 2015) je poraba klimatskih naprav 58,7 % skupne letne porabe električne energije računalniškega centra v času zamenjave februarja leta 2014. V našem primeru je skupni letni strošek porabe električne energije 142.000,00 € in od tega letno porabijo klimatske naprave 83.354,00 €.

Če upoštevamo naš izračun, kjer upoštevamo, da je poraba novih klimatskih naprav samo 70 % porabe starih klimatskih naprav, bi s starimi klimatskimi napravami imeli bistveno večje skupne letne stroške električne energije, in sicer 177.723,00 €, od tega bi klimatske naprave porabile 119.077,10 €.

Razlika v porabi med starimi in novimi klimatskimi napravami je 35.723,14 €, kar bi lahko upoštevali kot letni prihranek. Če upoštevamo diskontno stopnjo 0,08 in investicijo v višini 61.190,27 € ter predvidevamo, da bo letni prihranek vedno enak, lahko izračunamo neto sedanjo vrednost za dobo 5 let. Seveda pa pri tem upoštevamo, da so stroški vzdrževanja novih in starih klimatskih naprav enaki in jih zato v izračunu ne upoštevamo.

*Tabela 8: Podatki zamenjava klimatskih naprav*

<b>Postavka</b>	<b>Vrednost</b>
Letna poraba el. energije (nove klime)	83.354,00 €
Letna poraba el. energije (stare klime)	119.077,14 €
Letni prihranek	35.723,14 €
Investicija	61.190,27 €
Diskontna stopnja	0,08

Če izračunamo neto sedanjo vrednost in IRR na 5 let ter ROI in čas vračila naložbe na osnovi podatkov iz Tabele 8, dobimo rezultate prikazane v Tabeli 9.

Tabela 9: Izračun zamenjava klimatskih naprav

Metoda	Izračun
NSV	85.974,49 €
IRR	51 %
Doba vračila	1,71 leta
ROI	58,38

### 4.3 Izračun po uvedbi pametnega upravljanja napajalnih sistemov

Izgube UPS-sistemov so manjše, če uporabimo pravilno dimenzioniranje in uporabimo ravno pravo konfiguracijo. V našem primeru, ker imamo štiri UPS-sisteme v gruči, lahko med obratovanjem z uporabo funkcije pametnega upravljanja električne energije dva UPS-sistema izklopimo, ko nimamo obremenitve, v primeru povečane obremenitve se pa sami vklopijo.

Ker obstoječi napajalni sistemi ne omogočajo funkcije pametnega upravljanja električne energije, bom analiziral prihranke v primeru, da bi zamenjali vse štiri UPS-sisteme z novimi, ki že imajo vgrajeno možnost pametnega upravljanja z električno energijo. Ti UPS-sistemi so podobni starim, lahko uporabimo obstoječo infrastrukturo, priklop na električno omrežje je možen brez večjih posegov.

V prvem primeru trenutne obremenitve sistema z 42 kW, kar je bilo pri štirih UPS prej 26 %, bodo po izklopu dveh UPS (z uporabo inteligentnega krmiljenja) letni stroški električne energije 74.600 €, kar pomeni prihranek po že uvedenih ostalih ukrepih 36.400 € na leto.

Investicija v nove UPS-sisteme znaša 54.168,00 € in zajema 4 nove UPS-sisteme, vse potrebne licence in programe ter vsa potrebna dela in material za zamenjavo obstoječih sistemov napajanja.

Tabela 10: Podatki zamenjava UPS 2016

Postavka	Vrednost
Letna poraba el. energije (stari UPS)	111.000,00 €
Letna poraba el. energije (novi UPS)	74.600,00 €
Letni prihranek	36.400,00 €
Investicija	54.168,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Če izračunamo neto sedanjo vrednost in IRR na 5 let, ROI in čas vračila naložbe na osnovi podatkov iz Tabele 10 dobimo rezultate prikazane v Tabeli 11.

*Tabela 11: Izračun zamenjava UPS 2016*

<b>Metoda</b>	<b>Izračun</b>
NSV	95.179,09 €
IRR	61 %
Doba vračila	1,49 leta
ROI	67,20

Če pa upoštevamo obremenitev iz leta 2014, so, če bi uvedli pametni nadzor in izklopili dva UPS, stroški električne energije 95.600 €, kar pomeni prihranek 35.400 € na letni osnovi.

*Tabela 12: Podatki zamenjava UPS 2014*

<b>Postavka</b>	<b>Vrednost</b>
Letna poraba el. energije (stari UPS)	131.000,00 €
Letna poraba el. energije (novi UPS)	95.600,00 €
Letni prihranek	35.400,00 €
Investicija	54.168,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Če izračunamo neto sedanjo vrednost in IRR na 5 let, ROI in čas vračila naložbe na osnovi podatkov iz Tabele 12, dobimo rezultate prikazane v Tabeli 13.

*Tabela 13: Izračun zamenjava UPS 2014*

<b>Metoda</b>	<b>Izračun</b>
NSV	91.186,38 €
IRR	59 %
Doba vračila	1,53 leta
ROI	65,35

Ker sem ugotovil, da so prihranki največji ravno na področju UPS-sistemov, se uvedba inteligentnega nadzora vsekakor splača, še posebej, če to preračunamo na celotno življenjsko dobo UPS-sistemov, ki je daljša kot 5 let. Tipična življenjska doba UPS je 10–15 let.

Pravilno dimenzioniranje vseh oskrbnih naprav seveda prinese prihranek tudi na investicijskih stroških. Za zagotavljanje vseh potreb v našem računalniškem centru bi bili v

obeh primerih dovolj trije UPS sistemi v gruči in bi lahko prihranili investicijske stroške za nakup enega UPS in izgradnjo dodatne infrastrukture. V primeru potrebe po dodatni računalniški opremi se takrat lahko doda še dodatni UPS-sistem v gručo.

V primeru, da bi samo odklopili eden UPS-sistem in ne bi investirali v novo opremo, bi imeli (stanje marec 2016) letno porabo v višini 93.100,00 €, kar pomeni prihranek v višini 17.900,00 €.

*Tabela 14: Podatki odklop UPS*

Postavka	Vrednost
Letna poraba el. energije (4 UPS)	111.000,00 €
Letna poraba el. energije (3 UPS)	93.100,00 €
Letni prihranek	17.900,00 €
Investicija	0,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Če izračunamo neto sedanjo vrednost na 5 let na osnovi podatkov iz Tabele 14, dobimo:

*Tabela 15: Izračun odklop UPS*

Metoda	Izračun
NSV	71.469,51 €

V tem primeru je prihranek velik in niso potrebne dodatne investicije, vendar je ta poteza zelo problematična, ker se zmanjša čas razpoložljivosti UPS v primeru izpada primarnega električnega napajanja. Če je v primeru štirih UPS avtonomija 20 minut, se po izklopu enega UPS zmanjša na 15 minut.

Pri raziskavi oziroma praktični izvedbi zmanjšanja porabe električne energije računalniškega centra so me ravno podatki o izgubah UPS-sistemov najbolj presenetili. To je tudi razlog, zakaj je treba nadzorovati vso oskrbno infrastrukturo, meriti vse parametre, kjer je le mogoče, in avtomatsko krmiliti čim več naprav.

#### **4.4 Virtualizacija in odklop strežnikov**

V tem poglavju bom poskusil opisati stanje v računalniškem centru z vidika virtualizacije in poskusil oceniti, koliko je virtualizacija prispevala k zmanjšanju porabe električne energije. V računalniški center smo za potrebe virtualizacije namestili dve računalniški omari s 14 fizičnimi strežniki gostitelji, ki skupaj s podobno postavitvijo v redundantnem računalniškem centru pokrivajo potrebe podjetja. Na celotni virtualizacijski platformi je

trenutno približno 600 virtualnih strežnikov. Večina novih fizičnih strežnikov je bila namenjena za zamenjavo starejših fizičnih strežnikov, ki so bili gostitelji stare virtualizacijske platforme. Za potrebe odklopa starih fizičnih strežnikov, ki so služili različnim področjem informacijske tehnologije, smo namenili dva nova fizična strežnika. Če predpostavimo, da vsak fizični strežnik porabi približno 140,00 € električne energije letno (pri porabi 200 W in ceni 0,08 €/kWh) in smo v računalniškem centru virtualizirali 30 strežnikov, je strošek električne energije, ki smo ga prihranili, 4.200,00 € letno.

Za potrebe virtualizacije fizičnih strežnikov smo namenili dva fizična strežnika gostitelja virtualizacijske platforme, iz česar sledi, da je strošek investicije 22.857,14 €.

Upoštevati moramo, da ta dva strežnika tudi porabljata električno energijo, zato moramo te stroške upoštevati v izračunu.

*Tabela 16: Podatki virtualizacija*

<b>Postavke</b>	<b>Vrednost</b>
Strošek celotne investicije	160.000,00 €
Strošek investicije 2 od 14 strežnikov	22.857,14 €
Letni strošek elektrike - VM gostitelj	210,24 €
Letni prihranek zaradi migracije	4.200,00 €
Diskontna stopnja	0,08

Če izračunamo neto sedanjo vrednost in IRR na 5 let, ROI in čas vračila naložbe na osnovi podatkov iz Tabele 16, dobimo rezultate prikazane v Tabeli 17.

*Tabela 17: Izračun virtualizacija*

<b>Metoda</b>	<b>Izračun</b>
NSV	-6.073,49 €
IRR	-6 %
Doba vračila	6,05 leta
ROI	16,54

Iz izračunov lahko ugotovimo, da postavitev dveh fizičnih strežnikov za migracijo fizičnih strežnikov na virtualno okolje, samo zaradi prihranka električne energije ni smotrna, če pa upoštevamo še stroške vzdrževanja fizičnih strežnikov in prostor, ki ga zasedajo v strežniških omarah ter dejstvo, da strežnika nista niti polovično izkoriščena, lahko ugotovimo, da se račun tudi v tem primeru izide. Strežnika seveda lahko uporabljamo tudi za druge namene, ker sta del virtualizacijske platforme.

## SKLEP

Na temo učinkovitosti računalniških centrov je bilo in še bo veliko napisanega, ker s pravilnima načrtovanjem in arhitekturo lahko prihranimo veliko denarja. Večina literature, ki sem je prebral ob izdelavi te magistrske naloge, je seveda povezana z velikimi računalniškimi centri, ki pa jih v Sloveniji še ne poznamo, kot so predstavili na Data center konferenci 2016. V Sloveniji poznamo samo majhne računalniške centre in enega od njih sem predstavil v tej nalogi.

Mali računalniški centri so pogosto zrastle na mestu starejših računalniških centrov, zato mnogokrat uporabljajo infrastrukturo, zgrajeno v 80. letih prejšnjega stoletja. Ravno tako ti centri služijo različnim aplikacijam in mnogokrat so v njih prisotni tudi starejši računalniški sistemi. Za standardizacijo strežniških omar in strežniške opreme velikokrat niso primerni, ker vsebujejo tudi namenske naprave, kjer so strežniške omare predpisane s strani proizvajalca. Ravno tako je postavitev namenskega nadzornega orodja, ki bi spremljal vso oskrbno infrastrukturo in računalniško opremo, prevelik finančni zalogaj. V velikih računalniških centrih je zaposlenih veliko ljudi, ki imajo skrbno razdeljene naloge, ki jih izvajajo po natančno izdelanih procesih. V majhnih računalniških centrih je veliko primerov, ko za računalniški center ni nihče odgovoren ali pa skrbnik računalniškega centra to opravlja v manjšem delu delovnega časa. Posledice so seveda vidne in se med drugim odražajo tudi na večji porabi električne energije v primerjavi z velikimi računalniškimi centri.

V izbranem računalniškem centru veliko naporov vlagamo v izgradnjo nadzornih sistemov, da bi se na osnovi realnih podatkov lahko pravilno odločili za ukrepe. Z dobrim nadzornim sistemom bomo spremljali vse potrebne parametre računalniškega centra in po potrebi ukrepali. Na osnovi zbranih zgodovinskih podatkov bomo načrtovali novo oskrbno infrastrukturo in postavitev nove opreme. V času, ki ga obravnavam v delu, je bilo v računalniškem centru veliko sprememb, ki so bile dobro načrtovane, zato je opazen velik prihranek električne energije.

V primeru dodatnih merilnih mest na opremi računalniškega centra pričakujem še večje prihranke električne energije, ker bomo z analizo dodatnih merilnih rezultatov odpravljali izgube, ravno tako pa bodo pomembna pri pogajanjih z managerji za naložbe v izvedbo korektivnih ukrepov.

Želim si, da bi ta naloga pomagala upravljalcem manjših računalniških centrov pri izbiri ukrepov, ki v največji meri pripomorejo k učinkoviti izrabi električne energije in s tem zmanjšajo energetske odtise računalniškega centra.



## LITERATURA IN VIRI

1. Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor. (2016). *Število toplih dni s preseženo temperaturo 25 °C*. Najdeno 10. februarja 2016 na <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>
2. Anderson, D., Dykes, J. & Riedel, E. (2003, March). More Than an Interface-SCSI vs. ATA. In *FAST 2(0)*, p. 3.
3. Ashrae Technical Committee 9.9. (2008). *Environmental Guidelines for Datacom Equipment*. Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9.
4. Ashrae Technical Committee 9.9. (2011). *Data Center Networking Equipment – Issues and Best Practices*. Whitepaper prepared by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9. Najdeno 15. decembra 2015 na strani <http://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE%20Networking%20Thermal%20Guidelines.pdf>
5. Ashrae Technical Committee 9.9. (2011). *Thermal guidelines for data processing environments—expanded data center classes and usage guidance*. Whitepaper prepared by ASHRAE technical committee TC 9.9.
6. Ashrae Technical Committee 9.9. (2012). *IT Equipment Thermal Management and Controls*. Whitepaper prepared by ASHRAE technical committee TC 9.9. najdeno 15. decembra 2015 na strani [https://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE%202012%20IT%20Equipment%20Thermal%20Management%20and%20Controls\\_V1.0.pdf](https://tc0909.ashraetcs.org/documents/ASHRAE%202012%20IT%20Equipment%20Thermal%20Management%20and%20Controls_V1.0.pdf)
7. Avelar, V., Azevedo, D., French, A. & Power, E. N. (2012). *PUE™: A Comprehensive Examination of the Metric*. White paper, 49. The Green Grid.
8. Barroso, L. A., Clidaras, J. & Hölzle, U. (2013). The datacenter as a computer: An introduction to the design of warehouse-scale machines. *Synthesis lectures on computer architecture*, 8(3), 1–154.
9. Barroso, L. A. & Hölzle, U. (2007). The case for energy-proportional computing. *Computer*, 40(12), 33–37.
10. Belady, C., Rawson, A., Pflueger, J. & Cader, T. (2008). *The Green Grid Data Center Power Efficiency Metrics: PUE & DCiE*. Technical report, Green Grid.
11. Bergamaschi, R. A., Piga, L., Rigo, S., Azevedo, R. & Araújo, G. (2012). Data center power and performance optimization through global selection of p-states and utilization rates. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2(4), 198–208.
12. Bradley, D. J., Harper, R. E. & Hunter, S. W. (2003). Workload-based power management for parallel computer systems. *IBM Journal of Research and Development*, 47(5/6), 703–718.
13. Brandon, J. (2007). Going Green in the Datacenter: Practical Steps for Your SME to Become More Environmentally Friendly, *Processor*, 29(39), pp. 1-30.
14. Brigham, F. E. & Daves R. P. (2004). *Intermediate financial management*. Australia: South Western Thompson Learning.

15. Brigham F. E., Gapenski C. L. & Ehrhardt C. M. (1998). *Financial Management: Theory and practice*, The Dryden Press: Harcourt Brace College Publishers.
16. Cabusao, G., Mochizuki, M., Mashiko, K., Kobayashi, T., Singh, R., Nguyen, T. & Wu, X. P. (2010). Data center energy conservation utilizing a heat pipe based ice storage system. In *CPMT Symposium Japan, 2010 IEEE* (pp. 1–4). IEEE.
17. California Energy Commission. *Summertime energy-saving tips for businesses*. Najdeno 5. januarja 2016 na strani <http://consumerenergycenter.org/tips/businesssummer.html>
18. Chang, J., Meza, J., Ranganathan, P., Shah, A., Shih, R. & Bash, C. (2012). Totally green: evaluating and designing servers for lifecycle environmental impact. *ACM SIGARCH Computer Architecture News*, 40(1), 25–36.
19. Chen, H., Li, Y. & Shi, W. (2012). Fine-grained power management using process-level profiling. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 2(1), 33–42.
20. Chetsa, G. L. T., Lefevre, L., Pierson, J. M., Stolf, P. & Costa, G. D. (2012, October). Beyond cpu frequency scaling for a fine-grained energy control of hpc systems. In *Computer Architecture and High Performance Computing (SBAC-PAD), 2012 IEEE 24th International Symposium on* (pp. 132–138). IEEE.
21. Ciglarič, M. (2015). Kako zelena je infrastruktura velikih oblakov?/Big cloud infrastructures: how green are they?. *Elektrotehniški Vestnik*, 82(5), 265.
22. Cole, D. (2012). Data center infrastructure management. *Data Center Knowledge*.
23. Cole, G. (2000). Estimating drive reliability in desktop computers and consumer electronics systems. *Seagate Technology Paper TP*, 338.
24. Da Costa, G., De Assuncao, M. D., Gelas, J. P., Georgiou, Y., Lefèvre, L., Orgerie, A. C., Pierson, J.-M., Richard, O. & Sayah, A. (2010). Multi-facet approach to reduce energy consumption in clouds and grids: the GREEN-NET framework. In *Proceedings of the 1st international conference on energy-efficient computing and networking* (pp. 95–104). ACM.
25. Delovna skupina sodelujočih organizacij (2010). Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency. Version 1 – Measuring PUE at Dedicated Data Centers. Najdeno 20. januarja 2016 na spletnem naslovu <http://www.thegreengrid.org/~media/WhitePapers/RecommendationsforMeasuringandReportingOverallDataCenterEfficiency2010-07-15.ashx?lang=en>
26. Drury, C. (1994). *Costing, An introduction*. London: Chapman & Hall.
27. Dunn, H. S. (2010). The carbon footprint of ICTs. Najdeno 15. decembra 2015 na <https://www.giswatch.org/thematic-report/sustainability-climate-change/carbon-footprint-icts>
28. El-Sayed, N., Stefanovici, I., Amvrosiadis, G., Hwang A., A., Schroeder, B. (2012). *Temperature Management in Data Centers: Why Some (Might) Like It Hot*. Technical Report. Department of computer science, University of Toronto.
29. Feng, W. C. (Ed.). (2014). *The Green Computing Book: Tackling Energy Efficiency at Large Scale*. CRC Press.

30. Flautner, K. & Mudge, T. (2002). Vertigo: Automatic performance-setting for linux. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 36(SI), 105–116.
31. Gandhi, A., Harchol-Balter, M., Das, R. & Lefurgy, C. (2009). Optimal power allocation in server farms. In *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review* 37(1), pp. 157-168. ACM.
32. Geddes, R. (2002). *Valuation and investment appraisal*. Canterbury: Financial World
33. General Electric Company, (2011). Brošura GEA-D 1013 GB CE, General Electric Company, USA
34. Greenberg, S., Mills, E., Tschudi, B., Rumsey, P. & Myatt, B. (2006). Best practices for data centers: Lessons learned from benchmarking 22 data centers. *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings in Asilomar, CA. ACEEE, August, 3*, 76–87.
35. Jaklič, J. (2002). *Upravljanje in uporaba podatkov*. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
36. Jin, Y., Wen, Y., Chen, Q. & Zhu, Z. (2013). An empirical investigation of the impact of server virtualization on energy efficiency for green data center. *The Computer Journal*, 56(8), 977–990.
37. Jovanović, B., (2015). *Podatkovni centri: kaj smo se naučili iz zgodovine?* Predavanje na Datacenter konferenci 2015.
38. Kant, K. (2009). Data center evolution: A tutorial on state of the art, issues, and challenges. *Computer Networks*, 53(17), 2939–2965.
39. Kaplan, J., M., Forrest, W. & Kindler, N. (2008). *Revolutionizing data center energy efficiency. Technical report*, McKinsey & Company, July 2008.
40. Košir, B. (2015). *Kako izboljšati energijsko učinkovitost in razpoložljivost v podatkovnih centrih*, predavanje na Data Center konferenci 2015.
41. Košir, B. (2016). *Načrtovanje energijsko učinkovitih podatkovnih centrov*. Diplomsko delo. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
42. Lacity, M. C., Khan, S. A. & Willcocks, L. P. (2009). A review of the IT outsourcing literature: Insights for practice. *The Journal of Strategic Information Systems*, 18(3), 130–146.
43. Lavuger, B. (2014) *Načrtovanje in ureditev računalniških centrov. Gradivo za tečaj*. Maribor: NTR Inženiring, d. o. o.
44. Lavuger, B. & Mahorič, P. (2014). *Priročnik za načrtovanje računalniških centrov*. Maribor: NTR inženiring, d. o. o.
45. Lawrence Berkeley National Labs. (2007). *Best Practices for Data Centers: Lessons Learned from Benchmarking 22 Data Centers*. Najdeno 10. decembra 2015 na strani <https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/aceee-datacenters.pdf>
46. Liu, L., Wang, H., Liu, X., Jin, X., He, W. B., Wang, Q. B. & Chen, Y. (2009). GreenCloud: a new architecture for green data center. In *Proceedings of the 6th international conference industry session on Autonomic computing and communications industry session* (pp. 29-38). ACM.

47. Lumby, S. & Jones, C. (2003). *Corporate finance: theory & practice*. London: Thomson.
48. Markič R., Ogrizek S. & Rudolf A. (2008). Izboljšanje kakovosti informacij v podpornem centru. Projektna naloga pri predmetu Baze podatkov. Ljubljana: Ekonomska fakulteta.
49. Miller, R. (2008). *Google: Raise your data center temperature*. Najdeno 5. oktobra 2015 na strani <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/10/14/google-raise-your-data-center-temperature>
50. Mittal, S. (2014a). *Power management techniques for data centers: A survey*. arXiv preprint arXiv:1404.6681.
51. Mittal, S. (2014b). A survey of techniques for improving energy efficiency in embedded computing systems. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 6(4), 440–459.
52. Mittal, S. & Zhang, Z. (2012). EnCache: Improving cache energy efficiency using a software-controlled profiling cache. *IEEE EIT*.
53. Moss, D. & Bean, J. H. (2009). Energy impact of increased server inlet temperature. *APC white paper*, 138.
54. Murugesan, S. (2008). Harnessing green IT: Principles and practices. *IT professional*, 10(1), 24–33.
55. Nada, N. & Elgelany, A. (2014). Green technology, cloud computing and data centers: The need for integrated energy efficiency framework and effective metric. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 5(5), 89–93.
56. Patel, C. D., Bash, C. E., Sharma, R. & Beitelmal, M. (2003). *Smart cooling of data centers*. In Proc. of IPACK, 2003.
57. Patterson, M. K. (2008). *The effect of data center temperature on energy efficiency*. In *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2008. ITherm 2008. 11th Intersociety Conference on* (pp. 1167–1174). IEEE.
58. Pinheiro, E., Weber, W. D. & Barroso, L. A. (2007, February). Failure Trends in a Large Disk Drive Population. In *FAST Vol. 7*, pp. 17–23.
59. Pintar, R. & Ganoni, D. (2014). *Prenova podatkovnega centra. Učinkovite in stroškovno ugodne rešitve*, predavanje na Datacenter konferenci 2015.
60. Podatkovni portal SI-STAT. Cene električne energije za industrijo. Najdeno 19. februarja 2016 na spletni strani <http://pxweb.stat.si/pxweb/Dialog/statfile2.asp>
61. Rajamani, K. & Lefurgy, C. (2003). On evaluating request-distribution schemes for saving energy in server clusters. In *Performance Analysis of Systems and Software, 2003. ISPASS. 2003 IEEE International Symposium on* (pp. 111–122). IEEE.
62. Ranganathan, P., Leech, P., Irwin, D. & Chase, J. (2006). Ensemble-level power management for dense blade servers. In *ACM SIGARCH Computer Architecture News 34(2)*, pp. 66–77). IEEE Computer Society.
63. Rasmussen, N., (2011a). *Implementing Energy Efficient Data Centers. White paper 114*. Schneider Electric – Data Center Science Center. Najdeno 19. februarja 2016

- na spletnem naslovu [http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-6LXSHX/NRAN-6LXSHX\\_R1\\_EN.pdf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-6LXSHX/NRAN-6LXSHX_R1_EN.pdf?sdirect=true)
64. Rasmussen, N. (2011b). *Electrical Efficiency Modeling for Data Centers. White paper 113*. Schneider Electric – Data Center Science Center. Najdeno 19. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D/NRAN-66CK3D\\_R2\\_EN.pdf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/NRAN-66CK3D/NRAN-66CK3D_R2_EN.pdf?sdirect=true)
  65. Sawyer, R. L. (2012). *Making Large UPS Systems More Efficient. White paper 108*. Schneider Electric – Data Center Science Center. Najdeno 20. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.apcmedia.com/salestools/VAVR-6LJV7V/VAVR-6LJV7V\\_R3\\_EN.pdf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/VAVR-6LJV7V/VAVR-6LJV7V_R3_EN.pdf?sdirect=true)
  66. Schroeder, B. & Gibson, G. A. (2007). *Disk failures in the real world: What does an MTTF of 1, 000, 000 hours mean to you?.* In *FAST* Vol. 7, pp. 1-16.
  67. Sharma, R. K., Bash, C. E., Patel, C. D., Friedrich, R. J. & Chase, J. S. (2005). Balance of power: Dynamic thermal management for internet data centers. *Internet Computing, IEEE*, 9(1), 42–49.
  68. Sisó, L., Fornós, R. B., Napolitano, A., Salomon, J., Da Costa, G., Volk, E. & Donoghue, A. (2012). D5. 1 White paper on energy-and heat-aware metrics for computing modules—CoolEmAll deliverable.
  69. Sullivan, R. F. (2000). Alternating cold and hot aisles provides more reliable cooling for server farms. *Uptime Institute*, 1-2.
  70. Sullivan, R. F., Strong, L. & Brill, K. (2004). Reducing bypass airflow is essential for eliminating computer room hot spots. White paper. *Uptime Institute*.
  71. Standard, T. I. A. (2005). Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers. *TIA-942. April*.
  72. Stansberry, M. (2014). Explaining the Uptime Institute's Tier Classification System. *Uptime Institute eJournal*, 30-sep-2014. Najdeno na spletu 12. maj 2016 <https://journal.uptimeinstitute.com/explaining-uptime-institutes-tier-classification-system>
  73. Torell, W., Brown, K., & Avelar V. (2015). *The Unexpected Impact of Raising Data Center Temperatures. White paper 221*. Schneider Electric – Data Center Science Center. Najdeno 19. februarja 2016 na spletnem naslovu [http://www.apcmedia.com/salestools/VAVR-9SZM5D/VAVR-9SZM5D\\_R0\\_EN.pdf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/VAVR-9SZM5D/VAVR-9SZM5D_R0_EN.pdf?sdirect=true)
  74. Tóth, G. (2008), *Resnično odgovorno podjetje: netrajnostni razvoj, orodja družene odgovornosti podjetij, boljši strateški pristop*. Ljubljana: GV Založba.
  75. Trade off Tool. Izračun PUE. Najdeno 5. decembra 2015 na strani [http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7CMGPL/WTOL-7CMGPL\\_R3\\_EN.swf?sdirect=true](http://www.apcmedia.com/salestools/WTOL-7CMGPL/WTOL-7CMGPL_R3_EN.swf?sdirect=true)
  76. Turner, W., Seader, J. H. & Renaud, W. (2010). *Data center site infrastructure tier standard: Topology*. Uptime Institute.
  77. Uptime Institute LLC, (2013). *TierStandard: Operational Sustainability*. The Uptime Institute. Najdeno na spletu 22. decembra 2015 na naslovu

<https://uptimeinstitute.com/research-publications/asset/tier-standard-operational-sustainability>

78. Wang, L. & Khan, S. U. (2013). Review of performance metrics for green data centers: a taxonomy study. *The Journal of Supercomputing*, 63(3), 639–656.
79. Zerbe, O. R. & Evans, J. D. (2010). *A reliable internal rate of return*. Washington: Evans School of Public Affairs