



**UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET PODGORICA**

Ivica Vuković

**POBOLJŠANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI
DATA CENTRA PRIMJENOM GREEN ICT
TEHNOLOGIJA**

- MAGISTARSKI RAD -

Podgorica, oktobar 2018.

PODACI I INFORMACIJE O MAGISTRANDU

Ime i prezime: **Ivica Vuković**

Datum i mjesto rođenja: **05.10.1978. godine, Podgorica**

Naziv završenog osnovnog studijskog programa i godina završetka studija: **Elektrotehnički fakultet, studijski program Studije primijenjenog računarstva, 2012.**

INFORMACIJE O MAGISTARSKOM RADU

Naziv postdiplomskog studija: **Studije primijenjenog računarstva**

Naslov rada: **Poboljšanje energetske efikasnosti data centra primjenom green ICT tehnologija**

Fakultet/Akademija na kojem je rad odbranjen: **Elektrotehnički fakultet, Podgorica**

UDK, OCJENA I ODBRANA MAGISTARSKOG RADA

Datum prijave magistarskog rada: **08.09.2017.**

Datum sjednice Vijeća na kojoj je prihvaćena tema: **23.01.2018.**

Komisija za ocjenu teme i podobnosti magistranda: **Prof. dr Milutin Radonjić
Prof. dr Božo Krstajić
Doc. dr Žarko Zečević**

Mentor: **Prof. dr Božo Krstajić**

Komisija za ocjenu rada: **Prof. dr Milutin Radonjić
Prof. dr Božo Krstajić
Doc. dr Žarko Zečević**

Komisija za odbranu rada: **Prof. dr Milutin Radonjić
Prof. dr Božo Krstajić
Doc. dr Žarko Zečević**

Lektor:

Datum odbrane: **12.10.2018.**

Datum promocije: _____

REZIME

Usljed neprestanog rasta broja internet korisnika, praćenog razvojem *cloud* servisa i ekspanzijom prenosnih uređaja, broj data centara i količina energije koju oni konzumiraju je u stalnom porastu. Shodno tome, dugo vremena zanemarivana, energetska efikasnost data centara postaje jedna od vodećih tema u inženjerskim naukama. Kao jedan od aktuelnih pristupa poboljšanju energetske efikasnosti data centara prepoznate su *green* ICT tehnologije. *Green* ICT tehnologije predstavljaju skup tehnologija implementiranih u okviru informaciono-komunikacionog sektora, orijentisanih na redukovanje emisije gasova štetnih po okolinu, poboljšanje energetske efikasnosti i povećanje stepena korišćenja resursa.

U radu je predložen predlog poboljšanja energetske efikasnosti data centra primjenom *green* ICT tehnologija na realno okruženje konkretne kompanije, prikazujući kompletan proces od pregleda mogućih inovativnih *green* ICT rješenja do implementacije adekvatnih i validacije rezultata. Rad je zaokružen jednim ilustrativnim primjerom koji govori u prilog tezi da se sa neznatnim promjenama u upravljanju i korišćenju ICT infrastrukture u pravcu implementacije *green* ICT rješenja može mnogo doprinijeti smanjenju troškova i emisije CO₂ na lokalnom i globalnom nivou. U predmetnom data centru primijenjeno *green* rješenje (povećanje temperature) za rezultat je imalo značajno smanjenje emisije ugljen-dioksida i poboljšanje energetske efikasnosti.

Kako ne postoji univerzalno *green* ICT rješenje, potrebno je u svakom data centru izvršiti detaljnu analizu svih potrošača, budućeg rasta, dostupnih *green* ICT rješenja, proizvodnje el. energije za dato podneblje, a zatim implementaciju odabranih rješenja i validaciju rezultata, te na taj način ostvariti krajnji cilj.

Ključne riječi: *green* ICT, *green computing*, *green networking*, *green* data centar, energetska efikasnost i emisija CO₂.

ABSTRACT

Due to the steady increase in the number of Internet users, accompanied by the development of cloud services and the expansion of mobile devices, the number of data centers and the amount of energy that is consumed by them is continually increasing. Consequently, for a long time neglected, the energy efficiency of data centers becomes one of the leading topics in engineering science. Green ICT technologies are recognized as one of the current approaches to improving the energy efficiency of data centers. Green ICT technologies are a set of technologies implemented within the information and communication sector, oriented to reducing greenhouse gas emissions, improving energy efficiency and increasing the use of resources.

The paper presents a proposal for improving the energy efficiency of the data center by applying green ICT technologies to the real environment of a actual company, showing the complete process from examining possible innovative green ICT solutions to the implementation of adequate and validation of results. The paper is rounded up with an illustrative example that supports the thesis that with minor changes in the management and use of ICT infrastructure towards the implementation of green ICT solutions, can greatly contribute to reducing costs and CO₂ emissions at the local and global level. In the presented data center, the applied green solution (temperature increase) resulted in a significant reduction of carbon dioxide emissions and improvement of energy efficiency.

Since there is no universal green ICT solution, it is necessary in every data center to conduct a detailed analysis of all consumers, future growth, available green ICT solutions, production of electricity for the given area, then implement the selected solutions and validate the results, and thus achieve the ultimate goal.

Key words: green ICT, green computing, green networking, green data center, energy efficiency and CO₂ emissions.

SKRAĆENICE I POJMOVI

AC-DC	Alternating Current - Direct Current
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CRAC	Computer Room Air Conditioning
DVFS	Dynamic Voltage and Frequency Scaling
EEE	Energy-Efficient Ethernet
GRC	Green Revolution Cooling
HDD	Hard Disc Drive
ICT	Information Communication Technology
ISP	Internet Service Provider
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
LPI	Low Power Idle
PoE	Power over Ethernet
PSU	Power Supply Unit
PUE	Power Usage Effectiveness
QoS	Quality of Service
SSD	Solid State Drive
UPS	Uninterruptible Power Supply
VM	Virtual Machine

SADRŽAJ

REZIME.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SKRAĆENICE I POJMOVI.....	v
SADRŽAJ.....	vi
1 UVOD.....	1
2 GREEN ICT.....	4
2.1 Green networking.....	4
2.1.1 Virtuelizacija.....	5
2.1.2 Resource Consolidation.....	6
2.1.3 Green TCP.....	7
2.1.4 Interface Proxying.....	7
2.1.5 Energetski Efikasan Ethernet (EEE) ili IEEE 802.3az.....	8
2.1.6 Adapative Link Rate.....	9
2.1.7 Bežično povezivanje unutar data centra.....	10
2.2 Green computing.....	10
2.2.1 Open source OS.....	11
2.2.2 Thin-klijenti.....	12
2.2.3 Uređaji za štampanje, kopiranje i skeniranje.....	12
2.2.4 Hard Disk Drives (HDD) i Solid State Drives (SSD).....	12
2.2.5 Video konferencije kao alternativa poslovnim putovanjima.....	13
2.2.6 Korporativne inovacije.....	13
3 GREEN DATA CENTAR.....	14
3.1 Power Usage Effectiveness - PUE.....	18
3.2 Raspored potrošnje energije u data centru.....	20
3.3 Poboljšanje energetske efikasnosti pri radu ICT opreme.....	23
3.3.1 “Turn it off!” kampanja.....	27
3.4 Poboljšanje energetske efikasnosti pri distribuciji električne energije u data centru.....	27
3.4.1 Neprekidni sistem napajanja (UPS).....	28
3.4.2 Jedinica za napajanje servera.....	30
3.4.3 Sistem napajanja jednosmjernom strujom (DC).....	32
3.5 Poboljšanje energetske efikasnosti sistema za hlađenje data centra.....	32
3.5.1 Vazdušno hlađenje.....	33
3.5.2 Hlađenje tečnošću.....	37
3.6 Rasvjeta u data centru.....	40

3.7	Povećanje temperature data centara.....	41
3.8	Opšta rješenja za poboljšanje energetske efikasnosti	41
3.8.1	Mjerenje efekata primjene rješenja za poboljšanje energetske efikasnosti	41
4	ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE U DATA CENTRU.....	43
4.1	Kvalitativna analiza potrošača	43
4.1.1	ICT oprema	43
4.1.2	Sistem napajanja u predmetnom data centru	44
4.1.3	Sistem hlađenja u predmetnom data centru.....	44
4.1.4	Rasvjeta u data centru	46
4.2	Kvantitativna analiza potrošača.....	46
5	PRIMJER PRIMJENE GREEN ICT RJEŠENJA U DATA CENTRU	49
5.1	Primjena green rješenja kod ICT opreme	50
5.1.1	Virtuelizacija	51
5.1.2	Skripte za stand by mod ICT opreme.....	51
5.1.3	Poboljšanje efikasnosti svičeva u predmetnom data centru	52
5.1.4	Kategorije UTP kablova iz ugla energetske efikasnosti.....	53
5.1.5	Identifikacija i deaktivacija nekorišćene opreme.....	54
5.1.6	UPS sistemi	54
5.2	Primjena green ICT rješenja kod sistema za hlađenje	55
5.2.1	Izolovana toplo-hladna zona.....	55
5.2.2	Montažni paneli	56
5.2.3	Orijentacija mrežne opreme sa zadnje strane rek ormara.....	58
5.2.4	Vrata rek ormara	59
5.2.5	Prazan prostor između rek ormara	59
5.2.6	Menadžment kablova	59
5.2.7	Predimenzionisanje CRAC sistema	60
5.2.8	Free cooling ili ekonomizacija sa slobodnim hlađenjem	61
5.2.9	Povećanje temperature u data centru	61
5.3	Poboljšanje efikasnosti rasvjete.....	61
6	REZULTATI PRIMJENE GREEN ICT U DATA CENTRU.....	62
6.1	Gdje je gornja granica povećanja temperature u data centru?.....	62
6.2	Usporedna analiza potrošnje IT opreme i sistema za hlađenje u funkciji povećanja temperature.....	64
6.3	Rezultati testnih mjerenja	66
6.4	Proračun smanjenja emisije CO ₂ predmetnog data centra	70
7	ZAKLJUČAK	73
	LITERATURA:.....	75

1 UVOD

Ubrzani porast stanovništva na planeti, praćen povećanim pritiskom na prirodne resurse, rezultirao je sa ogromnim negativnim uticajima na životnu sredinu u vidu enormne emisije gasova koji izazivaju efekat “staklene bašte”, prvenstveno ugljen-dioksida koji je glavni uzrok globalnog zagrijavanja. Do pomenutog poremećaja dolazi usled zadržavanja reflektovanog sunčevog zračenja u uslovima povećane koncentracije CO₂, što kao posledicu ima konstantno povećanje temperature i povišenje nivoa svjetskog okeana. Pored toga, očigledan je i globalni porast zagađenja životne okoline izazvan sve većom emisijom štetnih gasova i toksičnih materija u toku industrijskih proizvodnih procesa, kao i neadekvatno korišćenje raspoloživih resursa.

U svakom trenutku postoji ogromna količina podataka koja se šalje preko Interneta, i koja nastavlja da raste eksponencijalno. Kao rezultat povećanih potreba za saobraćajem, internet servis provajderi (ISP) su bili primorani da znatno prošire njihove mrežne sposobnosti. Dok se veliki napor ulagao na povećanju propusnog opsega za većinu korisnika, nažalost do nedavno je uticaj Interneta na životnu sredinu bio većinom zanemaren. U stvarnosti internet infrastruktura koristi značajnu količinu el. energije i na taj način je zaslužna za proizvodnju velike količine gasova staklene bašte.

Dakle, shodno neprestanom rastu internet korisnika, širenju širokopojasnog pristupa i povećanoj ponudi online servisa od strane ISP i telekomunikacionih kompanija, adekvatno rješenje problema energetske efikasnosti postalo je prioritet kako za žičane mreže tako i za servisnu infrastrukturu. Ovaj trend kontinualnog rasta potrošnje el. energije, zavisi kako od novih servisa koji se nude, tako i od povećanog prometa podataka [1]. Prema [2], protok podataka se ubrzano povećava, duplirajući se svakih 18 mjeseci.

Rast korisnika interneta u poslednjih nekoliko godina je veliki, tako na primjer od 1990 do 2010, broj korisnika interneta je povećan sa 3 miliona na 2 milijarde, a do sredine 2012 godine je dostigao 2,73 milijarde. U periodu od 2000 do 2012, regionalne stope rasta prelaze 3600% u Africi i 2600% na Bliskom Istoku [3]. Kao rezultat navedenog, zahtjevi za energijom od strane informaciono komunikacionih tehnologija (ICT) rastu mnogo brže nego ukupna potražnja el. energije, tako da je 2013. godine dostignut iznos od 1560 TWh [3].

Obzirom na stepen korišćenja i porast zastupljenosti ICT u privredi i svakodnevnom životu, potrošnja el. energije od strane ovih uređaja je u konstatnom usponu. Iako po prirodi mali potrošači energije, ICT uređaji zbog svoje brojnosti povećavaju udio u ukupnoj potrošnji energije, a samim time i uticaj na emisiju CO₂ tj. na zagađenje životne okoline. ICT tehnologije su 2014. godini imale udio u globalnoj emisiji CO₂ od 2% [7]. Na prvi pogled ovo ne izgleda tako puno, ali ovaj iznos je u stvari iznos približan emisiji ugljen-dioksida u vazduhoplovnoj industriji.

Da bi se utvrdio uticaj potrošnje el. energije na emisiju ugljen-dioksida od strane ICT sektora, važno je razumjeti na koji način i iz kojih izvora se obezbjeđuje energija. Rijetko kada se radi o jednom izvoru već su posrijedi različiti izvori poput: uglja, prirodnog gasa, nafte, bio mase, nuklearnog goriva, vode, plime-osjeke, vjetra i dr. Fosilna goriva, najveći

krivci kada je u pitanju emisija CO₂, i dalje predstavljaju većinu izvora el. energije, gdje glavnu ulogu igra tip fosilnog goriva. Njihov udio u proizvodnji energije je u 2015. godini bio na nivou 86% što je najniži nivo od 2002. godine [4]. U ukupnoj emisiji CO₂ kod fosilnih goriva prvo mjesto zauzima uglj sa emisijom od preko 70% koji po jedinici proizvedene energije oslobađa znatno veću emisiju CO₂ od nafte i dvostruko veću od prirodnog gasa [5].

Imajući u vidu trend razvoja ICT-a, zaključuje se da će emisije CO₂ nastaviti da rastu, što potvrđuju i podaci da je ukupna emisija CO₂ u okviru ICT sektora u 2011. godini iznosila 0.91 GtCO₂e (gigatone emisije CO₂), dok se za 2020. godinu predviđa vrijednost od čak 1.27 GtCO₂e [7].

Kako su poslednjih godina evidentne negativne klimatske promjene, tako će i u narednom periodu rješavanje ovog problema ostati najveći izazov. Iz tog razloga, smanjenje potrošnje energije je veoma bitno jer je u direktnoj vezi sa emisijom gasova staklene bašte. Sa tim u vezi u cilju održavanja rasta globalne temperature ispod 2 stepena celzijusa do 2050. godine potrebno je smanjenje emisije ugljen-dioksida u prosjeku od 15% do 30% do 2020. god., a zatim i drastičnije smanjenje od 60 do 80% do 2050. godine [6].

Kao što se vidi na slici 1.1, porast emisije CO₂ od ICT sektora je manji od 2011. (3,81%) nego u periodu 2002. do 2011. (6,1%), ali ipak evidentan. Takođe, uočava se da većina emisije potiče od uređaja krajnjih korisnika (preko 50%), a da je najveći porast emisije zabilježen od strane data centara koji će se skoro izjednačiti sa komunikacionom opremom i uređajima.



Slika 1.1 Emisija CO₂ direktno uzrokovana ICT sektorom [7]

Kod data centara postoje tri ključna faktora koja utiču na emisiju CO₂: geografska lokacija, ICT opterećenje i energetska efikasnost.

Vremenske promjene, poput promjena spoljašnje temperature i vlažnosti vazduha, su faktori koji utiču na potrošnju energije. Na geografskim lokacijama sa ekstremnim temperaturama i vlažnošću, potrošnja energije će biti značajno veća jer se fizička infrastruktura data centra mora više opteretiti da bi se održao umjereni nivo temperature i vlažnosti. Takođe, izvori energije unutar samih država, imaju značajan uticaj na emisiju CO₂. Na primjer, data centri locirani u Crnoj Gori neće emitovati istu količinu CO₂ kao oni u Francuskoj ili SAD-u iz razloga jer u Crnoj Gori elektrane zasnovane na emiterima CO₂

(konkretno ugalj) učestvuju sa 39.9% u proizvodnji energije, dok je u Francuskoj i SAD-u taj odnos 12% i 71% [8].

ICT opterećenje čine sve ICT hardverske komponente: hostovi sa serverskim aplikacijama, svičevi i ostala aktivna mrežna oprema, korisnički računari, uređaji za skladištenje i telekomunikaciona oprema. Opterećenje može ići naviše (shodno povećanju zahtjeva od strane korisnika) i naniže (uticaj virtuelizacije ili konsolidacije). Veće opterećenje zahtijeva više energije tj. povećava emisiju CO₂.

Nažalost, tradicionalna praksa u data centrima predimenzionisanja fizičke infrastrukture koja podržava ICT opterećenje, ima veoma negativan uticaj na ukupnu energetska efikasnost data centra i na emisiju CO₂. Data centri su predimenzionisani zbog procjene o mogućem proširenju kapaciteta u budućem periodu, te na taj način dolazi do nedovoljne iskorišćenosti opreme unutar njega (kao što su serveri koji su uključeni 24 sata dnevno, ali koji se veoma rijetko koriste).

Brojni faktori u data centru mogu poboljšati ili umanjiti energetska efikasnost. Sve od samog dizajna data centra (orijentacija rek ormara, arhitektura napajanja el. energijom, arhitektura hlađenja, dizajn servera, nivo redundantnosti, ICT opterećenje itd.) do uvođenja specifičnih tehnologija (UPS, *free cooling* itd.) utiče na efikasnost.

Poboljšanje energetske efikasnosti ne znači prostu štednju energije kao vid odricanja već efikasniju upotrebu energije koja ne narušava uslove rada i pružanje usluga. Kao posledica smanjene potrošnje energije potrebne za obezbjeđenje iste količine proizvoda/usluga, nastaje proporcionalno smanjenje operativnih troškova i emisije CO₂.

Jedno od rješenja za ublažavanje i suzbijanje problema, koje sveprisutnost ICT tehnologija donose a u direktnoj je vezi sa životnom okolinom, podrazumijeva razvoj novih ekološki orijentisanih tehnologija i sistema u okviru informaciono-komunikacionog sektora. Takva rješenja rade na suzbijanju problema kako u okviru samog ICT sektora, tako i u saradnji sa ostalim sektorima. Sve ovo je, u velikoj mjeri uticalo na popularizaciju termina *green ICT (zelene ICT)*, koji podrazumijeva skup tehnologija koje se odnose na planiranje, razvoj i implementaciju tehnologija pod okriljem informaciono-komunikacionog sektora, a koje za cilj imaju ekološke benefite, doprinos očuvanju životne sredine, regulaciju iskorišćenja resursa i poboljšanje energetske efikasnosti.

Zeleno u suštini znači smanjenje potrošnje energije, poboljšanje energetske efikasnosti, smanjenje emisije ugljen-dioksida, smanjenje troškova za energiju, očuvanje životne sredine, recikliranje itd. Postoji mnogo različitih poruka o tome šta znači biti zelen ili ponašati se zeleno, kao i zašto data centri trebaju postati zeleni. Dakle, sve veći naponi se usmjeravaju ka aktivnostima na izradi standarda koji bi omogućili širu primjenu i lančani efekat pozitivnih uticaja na životnu okolinu i korišćenje ograničenih prirodnih resursa, što rezultira usvajanjem i drugih zelenih termina koji su sve više u upotrebi poput *green data centara*. *Green data centar* predstavlja mjesto za skladištenje, upravljanje i distribuciju podataka u kome su mehanički, rasvjetni, električni i kompjuterski sistemi dizajnirani tako da postižu maksimalnu energetska efikasnost i vrše minimalan uticaj na životnu sredinu.

2 GREEN ICT

Najrasprostranjenija definicija “održivog razvoja” dolazi od strane Ujedinjenih nacija: “Zadovoljiti potrebe sadašnjice ne ugrožavajući mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe” [9].

Informacione tehnologije zauzimaju sve važnije mjesto u životu današnjeg čovjeka. Iako su nove generacije elektronskih uređaja energetske efikasnije od prethodnih, povećanje njihovog broja daleko premašuje uštede koje donosi smanjena potrošnja, tako da je ukupni utrošak el. energije u stalnom porastu.

Green ICT je koncept koji ima za cilj uklanjanje ICT vezanih problema za životnu sredinu i pokretanje inovativnih rješenja u drugim industrijskim granama koja će dovesti do smanjenja emisije CO₂. *Green ICT* je pionirski način korišćenja ICT-a koji se sastoji od rješenja i standarda koji se bave održivošću životne sredine minimizujući emisiju CO₂ od strane ICT-a optimizacijom potrošnje energije i očuvanjem prirodnih resursa. Ako ovome dodamo predviđanja rasta broja IoT (*Internet of Things*) uređaja (do 50 milijardi do 2020) onda je jasan trend uticaja ICT-a kao potrošača energije i zagađivača okoline.

Istraživanje [30], koje je obuhvatilo 17 velikih kompanija, među kojima su Google, Microsoft, IBM i Apple, analiziralo je trendove potrošnje energije za period od 2012. do 2017. godine i predvidjelo njenu raspodjelu u okviru ICT sektora između njene četiri glavne komponente – utroška energije na račun rada korisničkih uređaja, prenosnih mreža, data centara i proizvodnje.

Shodno podjeli ICT uređaja prema potrošnji i uticaju na emisiju CO₂, klasifikovana su i *green ICT* rješenja u samom ICT sektoru na: *green networking*, *green computing* i *green data center*.

2.1 Green networking

Green networking je aspekt *green ICT*-a koji podrazumijeva povećanje energetske efikasnosti računarskih i telekomunikacionih mreža u cilju smanjenja potrošnje energije i emisije štetnih gasova. Inovacije u ovoj oblasti predstavljaju poseban izazov, pogotovo u domenu telekomunikacionih mreža, s obzirom na sve veće opterećenje linkova i količinu prenesenih podataka koje je izazvano enormnim rastom broja korisnika.

Dok tradicionalni pristupi projektovanja mreža, imaju za cilj isključivo optimizaciju performansi komunikacionih sistema, *green* pristupi su orijentisani na omogućavanje zadovoljavajućih performansi uz što veću uštedu energije.

Dakle, *green networking* je način kreiranja kompjuterske mreže u cilju smanjenja potrošnje energije, smanjenja zagađenja, redukcije upotrebe resursa i povećanja efikasnosti. Na ovaj način ne samo da kompjuterske mreže postaju efikasnije, već im se takođe omogućava da se prošire na mjesta gdje to drugačije ne bi bilo moguće, poput zemalja u razvoju. Ova oblast zahtijeva sve više pažnje iz dva razloga.

Kao prvo, došlo je do globalnog političkog pomaka koji afirmiše i stimulira održivija pravila tehničke eksploatacije; drugo, same kompanije su zainteresovane za smanjenu upotrebu resursa i povećanje iskorišćenosti istih u cilju snižavanja troškova poslovanja i povećavanja energetske efikasnosti svojih proizvodnih linija i proizvoda [10].

Tradicionalni operateri fiksnih telekomunikacionih mreža nisu smatrali potrošnju energije kao nešto na šta treba obratiti pažnju iz ugla troškova kompanije. Međutim, kako održivost postaje ključni poslovni cilj, fiksni mrežni operateri traže način kako bi smanjili njihov energetska otisak. Nasuprot tome, bežični mrežni operateri, zbog regulatornih zahtjeva i operativnih razmatranja zbog razmještanja baznih stanica, pokušavaju da minimizuju potrošnju energije već deset godina unazad. Zapravo, primijećeno je da su radio pristupne mreže (prije nego *core* mreže) najveći potrošači energije u mrežnoj infrastrukturi [11].

U studiji o uobičajenim žičnim komunikacionim tehnologijama (i optički i bakarni provodnici) prikazana je pesimistična procjena da je za prenos 1 GB podataka na internetu, potrebno 0.2 kWh el. energije [12].

Dakle, do skoro se nije obraćala pažnja na energetska uštedu za infrastrukturne mreže, dok su energetska efikasni protokoli rutiranja kod bežičnih mreža proučavani detaljno [13], [14] zbog specifičnih potreba baterijski napajanih mreža i istraživanja koje je obuhvatilo upotrebu kontrole mrežne topologije koja modifikuje mrežni grafik, u cilju optimizacije mrežnih kapaciteta i *Quality of Service* (QoS) [15]. Iz razloga jer su čvorovi za obradu i prenos, osnovni potrošači energije, potrebno je takođe optimizovati broj hopova kojim se prenose paketi. Interesantan ustupak se pojavljuje tada između visoke predajne snage koja redukuje broj hopova, niske predajne snage koja vodi ka povećanju broja hopova zbog kratkog dometa i predajne interferencije na koju može uticati energija na kompleksan način.

U žičnim čvorovima, potrošnja energije zavisi od i utiče na druge faktore, poput protoka čvora; štaviše, do 60% potrošnje energije čvora može nastati od perifernih uređaja poput upravljačkih programa na linku.

Postoje brojne *green networking* tehnike kao na primjer: upotreba obnovljivih izvora energije za napajanje uređaja, dizajniranje i upotreba mrežnih komponenti sa manjom potrošnjom, analiza opterećenja pojedinih elemenata sa ciljem isključivanja manje aktivnih uređaja, tj. minimizacije upotrijebljenih resursa, gašenje linkova i mrežnih čvorova koji se slabije koriste (*power-down* pristup), upotreba mehanizama prilagođenja protoka linka trenutnoj količini saobraćaja i implementacija energetska efikasnih protokola.

Prema Beckmann-u [16], *green networking* tehnologije mogu biti podijeljene na dva dijela i to na metode na softverskom nivou i metode na hardverskom nivou. Metode na softverskom nivou uključuju virtuelizaciju, *green TCP*, *Resource Consolidation* itd. Metode na hardverskom nivou su: *interface proxying*, *adaptive link rate*, hibernacija, *Energy Efficient Ethernet* (EEE) itd.

2.1.1 Virtuelizacija

Virtuelizacija je uobičajen proces podjele resursa hostova, operativnog sistema, mrežne konekcije itd. u cilju davanja iluzije mrežnim aplikacijama da postoje brojne,

nezavisne radne verzije podijeljenog objekta. Sa mrežnom virtuelizacijom, raspoloživi propusni opseg je podijeljen u kanale, gdje svaki djeluje nezavisno ili zajedno, shodno potrebama aplikacija koje su aktivne.

Ovdje postoje dva metoda i to:

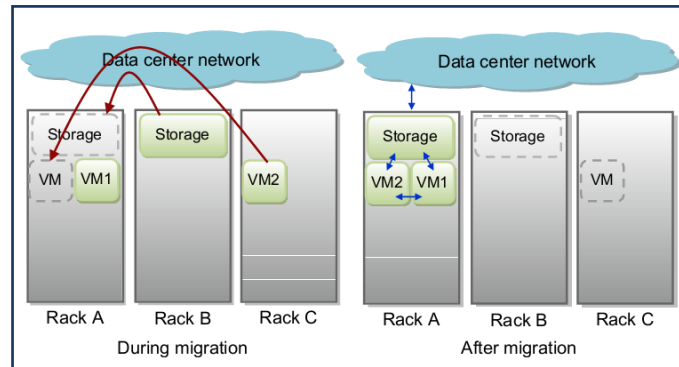
- *frequency division multiple access*, gdje u bilo kom vremenu aplikacija može koristiti dio cjelokupnog propusnog opsega i
- *time division multiple access*, gdje aplikacija može koristiti cjelokupni propusni opsega u djeliću vremena.

Na ovaj način se postiže bolja iskorišćenost veze; što je mnogo efikasnije od toga da jedna aplikacija prisvoji link za sebe, što bi najvjerojatnije dovelo do visokog stepena praznog hoda, tako da se link može na ovaj način koristiti za rad više aplikacija odjednom. Dakle, mrežna virtuelizacija je *green networking* metoda koja se već naveliko upotrebljava [17].

2.1.2 Resource Consolidation

Konsolidacija resursa predstavlja najefikasniji način da se poboljša energetska efikasnost unutar data centara. Konsolidacija servera je proces konvertovanja fizičkih servera u virtuelne mašine (VM) i nakon toga startovanje većeg broja VM-a na samo nekoliko virtuelizovanih hostova. Ovakav način konfiguracije servera osim smanjene potrošnje energije nudi i niz drugih prednosti: mnogo efikasnije iskorišćenje hardvera (postavljanje više VM-a na jednom hostu rezultira efikasnijom upotrebom njegovih resursa tako da npr. umjesto 8 fizičkih servera na kojima će biti iskorišćeno samo 10% procesorske snage, može se na jednom virtuelizovanom hostu instalirati 8 VM-a na kojem će biti iskorišćeno 80% procesorske snage); manje potrebe za održavanjem hardvera; jednostavniju podršku za starije operativne sisteme na novijem hardveru (zbog mogućeg nedostatka drajvera) itd. Takođe, kada se VM-e sa sličnim sigurnosnim zahtjevima konsoliduju na jednom hostu, na taj način se povećava i sigurnost.

Prebacivanje VM-a sa jednog hosta na drugi može biti realizovano uslijed otkaza, održavanja, nadogradnje konfiguracije ili optimizacije mreže. Ovo je poznato kao migracija VM-a ili živa migracija. Slika 2.1 prikazuje primjer kako migracija VM-a utiče na mrežu unutar data centra. Na lijevoj strani slike prikazana je situacija kada pokrenuta aplikacija angažuje dvije VM-e i memorijsku jedinicu iz različitih rek ormara. Ovo je neefikasno i nepotrebno zauzima propusni opseg data centra. Idealna situacija prikazana je na desnoj strani slike u kom slučaju se obje VM-e nalaze hostovane na istom serveru unutar istog rek ormara zajedno sa memorijskom jedinicom. Energija potrebna za proces žive migracije je relativno mala u poređenju sa energijom koja je sačuvana konsolidacijom [18].



Slika 2.1 Primjer iskorišćenja resursa tokom i poslije migracije VM-a [28]

Pod konsolidacijom može se takođe uračunati i sledeća ideja. Tradicionalno, podaci i govor koristili su odvojene mreže, koje su bile neefikasne i zahtijevale su dupliranje servisa. Od sredine devedesetih naveliko se krenulo sa usvajanjem *Voice over IP* (VoIP) servisa. Mreže su bile modifikovane da ponude manja kašnjenja i QoS da bi podržale saobraćaj i podataka i govora. Ideja je pokrenuta od strane *Chief Executive Officer* (CEO) iz AT&T. U kontekstu *green ICT*, implikacija ove konsolidacije je jasna: jedan set mrežne opreme umjesto dva, redukuju potrošnju energije za 50%. S tim u vezi protokoli poput VoIP mogu se smatrati *green ICT* protokolima [19].

2.1.3 Green TCP

Energetski svjesne aplikacije su aplikacije koje mogu planirati svoj rad, kako bi predvidjele period kada će duže vrijeme biti u stanju praznog hoda.

Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) su glavni transportni i mrežni protokoli. Glavna funkcija ovih protokola je da obezbijede pouzdanu isporuku podataka između dva hosta. Irish i Christensen su 1998. predložili *green TCP/IP* koji uključuje novu opciju postavljanja veze u *sleep* mod. Dakle *sleep* opcija omogućava klijentima da obavijeste server kada žele da idu u *sleep* mod. Na ovaj način konekcija između servera i klijenta se ne prekida, iako ni klijent ni server ne razmjenjuju podatke ili *acknowledge* (ACK) pakete, veza se održava u životu. Kada je klijent spreman da se probudi, obavještava server, i razmjena podataka se nastavlja trenutno. *Green TCP/IP* je dizajniran da bude kompatibilan sa regularnim TCP/IP. Iako je ovo naizgled mala ušteda energije, Irish i Christensen dokazuju da *green TCP/IP* protokol može napraviti veliku razliku kada je veliki broj kompjutera opremljen sa ovim protokolom. Ipak, *green TCP/IP* nije nikad uspješno implementiran u industriji [20].

2.1.4 Interface Proxying

Sledeća mogućnost uštede energije je *interface proxying*. *Interface proxying* je sličan *green TCP*-u na taj način što nastoji omogućiti uređajima da odu u mod "spavanja" kada su u stanju niske aktivnosti. Kod mnogih aplikacija gdje postoji mogućnost odlaska u mod "spavanja", uređaji na kojima se nalaze aplikacije moraju i dalje ostati aktivni da oslušuju mrežni saobraćaj. U ovakvim slučajevima, *green TCP* neće biti od pomoći.

Mora se napomenuti jedna stvar, a to je da većina saobraćaja koji uređaj primi, može zapravo biti ignorisana, ili se na njega može odgovoriti na veoma jednostavan način. Ovo je situacija gdje *interface proxying* stupa na scenu. On predstavlja metod delegiranja odgovora na “trivijalni” saobraćaj sa energetske zahtjevnih sistemskih procesora na relativno nisko energetske zahtjevne procesore poput onih koji bi se implementirali na mrežnim karticama (NIC) ili štaviše na spoljašnjim uređajima poput LAN svičeva [21].

Mrežne kartice i LAN svičevi, koji se u ovom slučaju ponašaju kao proksiji, sortirali bi dolazeće poruke u tri kategorije: one koje ne zahtijevaju odgovor, one koje zahtijevaju minimalan odgovor i one koje moraju probuditi sistem da bi odgovorio. Studija pokazuje da preko 90% primljenih zahtjeva na tipičnom uređaju upravo otpada na prve dvije kategorije, i kao takvi mogu biti odrađeni od strane proksija [22].

Ove “trivijalne” poruke su razmjene poput ARP zahtjeva, ICMP *echo* odgovori, i ponovno povezivanje od strane DHCP-a. Mrežna kartica ili LAN svič sa nadogradnjom jednostavnog procesora na sebi, mogli bi da se nose sa svim ovim primljenim paketima. Procjenjuje se da bi se implementacijom *interface proxying*-a na svim računarima u SAD-u moglo uštedjeti 2.5 milijarde dolara na godišnjem nivou [22]. Troškovi koji bi nastali ugradnjom jednostavnih procesora na mrežne kartice, brzo bi bili kompenzovani sa ovim uštedama.

Još jedna ideja vrijedna pažnje, iz domena energetske efikasnosti, je brzina ethernet konekcije. Trenutno kućna oprema posjeduje brzine do 1Gbps, serverska oprema čak i veće. Većinu vremena, ova brzina zapravo nije ni potrebna (npr. *keep-alive* poruke). Kako više-gigabitna konekcija zahtijeva značajniju količinu energije od 10 ili 100 megabitne konekcije, automatsko smanjenje brzine linije bilo bi korisno. Kako god, trenutni *auto negotiation* protokoli za brzinu konekcije nisu prikladni za ovaj koncept, jer dovode do prekida konekcije [23].

2.1.5 Energetski Efikasan Ethernet (EEE) ili IEEE 802.3az

Od sve mrežne opreme, jedni od najvećih potrošača energije su svičevi. Svič sadrži brojne interfejske od kojih svaki ima svoju mrežnu karticu. Svaki interfejs može imati jedan ili više portova. Potrošnja energije u sviču [24] korespondira fiksnoj potrošnji kućišta plus varijabilni iznos u zavisnosti od broja aktivnih interfejsa zajedno sa brzinom pojedinih interfejsa. Formula je sledeća:

$$P_{switch} = P_{chassis} + n_{linecards} \times P_{linecards} + \sum_{k=1}^R n_{ports.k} \times P_r \quad (1.1)$$

u kojoj se $P_{chassis}$ odnosi na energiju utrošenu od strane hardvera u sviču (“šasije”), $P_{linecards}$ je energija utrošena od strane aktivnih mrežnih kartica, a P_r se odnosi na energiju utrošenu od strane porta pri primopredaji pri određenim brzinama $r \in \{r_1, \dots, r_m\}$. Primjećuje se da u datoj formuli samo je poslednja komponenta zavisna od brzine linka dok ostale poput $P_{chassis}$ i $P_{linecards}$ ostaju fiksne tokom cjelokupnog vremena rada sviča.

U cilju rješavanja povećane potrošnje energije ethernet svičeva, IEEE je razvio standarde 802.3az i 802.3at-2009 poznate kao Energetski efikasan ethernet (EEE), koji podržavaju modove mirovanja za ethernet portove. EEE predstavlja skup unapređenja klasičnih

eternet standarda koji obezbjeđuju manju potrošnju uz održavanje potpune kompatibilnosti sa postojećom mrežnom opremom. On obezbjeđuje mehanizme i standarde za smanjenje potrošnje el. energije bez uticaja na vitalne funkcionalnosti mrežnih interfejsa i sistema.

Većina žičanih komunikacionih protokola razvijenih od devedesetih godina prošlog vijeka, koriste neprekidnu predaju trošeći energiju bez obzira da li šalju podatke ili ne. Razlog za ovakav način rada je taj da se link mora održavati sa punim propusnim opsegom signaliziranja tako da je spreman da podrži prenos podataka u svako doba. Da bi se uštedjela energija za vrijeme kada postoji praznina u prenosu podataka, IEEE koristi signalni protokol koji dozvoljava predajniku da naznači da postoji praznina u predaji podataka i da link može ići u mod mirovanja. Signalni protokol se takođe koristi da naznači da se link mora obnoviti nakon prethodno definisanog kašnjenja. Moguće uštede energije po jednom IEEE linku iznose 0.74 W [25].

Posebno *Power over Ethernet* (PoE) svičevi su veoma energetske neefikasni. PoE svičevi dozvoljavaju priključenim uređajima napajanje preko parica eternet kabla. Ova metoda napajanja opreme je vrlo podesna za implementaciju što je dovelo do rasprostranjene upotrebe PoE svičeva. No, PoE svičevi koriste do 10 puta više energije od običnih svičeva. Ovo je uzrokovano i direktnim strujnim gubicima preko eternet kablova. Oko 4,5 W se gubi na svakom portu za CAT5, CAT5e ili CAT6 kablova [26].

Uprkos njihovim nedostacima, PoE svičevi imaju prednost koja se ogleda i u mogućnosti daljinskog upravljanja potrošnjom el. energije na velikom broju uređaja, odnosno isključenjem uređaja kada nijesu u funkciji (na primjer noćne kamere se mogu isključiti tokom dana, IP telefoni kada nisu u upotrebi itd.).

Osim toga, napredak u eternet tehnologiji ogleda se u smanjenju gubitaka energije koji se javljaju preko eternet kabla. Implementacijom IEEE standarda i obezbjeđivanjem napajanja preko 4 parice, gubici se mogu smanjiti tako da oko 2.1 W može biti sačuvan po linku [26].

2.1.6 Adaptive Link Rate

Ekspirimentalni rezultati pokazuju da je potrošnja energije u eternet kablju nezavisna od iskorišćenja linka. Čak i kada nema paketa podataka koji se šalju, linkovi stalno održavaju sinhronizaciju da bi izbjegli kašnjenje u slučaju transmisije većeg okvira. Ovo dovodi do nepotrebnog trošenja energije bez obavljenog konkretnog posla. Ovaj problem se ipak može izbjeći pravilnim prilagođenjem brzine linka jednim od sledeća dva metoda:

- Promjenom stanja linka u *sleep/idle* mod. Ovaj metod omogućava linkovima da pređu u *sleep* mod tokom neaktivnosti. Problem sa ovim metodom ogleda se u pronalasku dobrog balansa između štednje energije i sposobnosti sistema da brzo odgovori na zahtjeve. Ovaj metod treba jedino primjenjivati tokom dovoljno dugog perioda neaktivnosti. Osim toga, drugi problem je sama tranzicija između procesa spavanja ili buđenja, koja inicijalno povlači dosta energije, koja može ili ne mora biti manja od energije uštedene pri spavanju.
- Primjenom *Rate switching* metode. Trenutni standard za brzinu eternet linka 1-10 Gbps zahtijeva mnogo više energije u poređenju sa linkovima nižih brzina. *Rate switching*

metoda se odnosi na prilagođavanje brzine linka u cilju smanjenja potrošnje pri radu sa manjim brzinama, i mnogo je praktičniji od prethodnog metoda. Analize pokazuju da postoji značajna razlika u potrošnji energije pri različitim brzinama linka. Na primjer smanjenje propusnog opsega sa 1 Gbps na 100 Mbps izaziva smanjenje potrošnje energije od 3W na strani mrežne kartrice i 1.5W na portu sviča [27]. Takođe je dokazano da link može 99% vremena funkcionisati na brzini od 10 Mbps, bez primjetnog kašnjenja kod korisnika. Međutim, postavlja se izazov i pred ovim metodom, a ogleda se u tome da je teško odrediti kada smanjiti brzinu linka i koliko je smanjiti.

Dakle, u poređenju *Sleeping* moda sa *Rate switching* modom, dolazi se do zaključka da je *Sleeping* mod efikasniji u situacijama sa nižom stopom prosječne iskorišćenosti, dok je *Rate switching* mod najbolji u situacijama sa visokom stopom prosječne iskorišćenosti [16].

2.1.7 Bežično povezivanje unutar data centra

Neki naučnici uveliko istražuju upotrebu bežične tehnologije u mrežama unutar data centara. Npr. istraživači sa Univerziteta Cornell istražuju upotrebu bežičnih primopredajnika frekvencije 60 GHz za povezivanje sa serverima. Umjesto uobičajenog rasporeda rek ormara u redove u današnjim data centarima, rek ormari bi bili razmješteni koncentrično i podaci bi se prenosili bežično između servera u centru kruga, te bi se tako skratila udaljenost između ormara. Procjenjuju da troškovi ove vrste bežičnog umrežavanja mogu iznositi samo 1/12 troškova u konvencionalnim mrežama sa kablovima i svičevima [28].

2.2 Green computing

Prodaja personalnih ICT uređaja ubrzano raste iz godine u godinu, a posebno smart telefona. Broj korisnika Interneta je na 49,7% svjetske populacije, odnosno 3,7 milijardi korisnika [29]. Ovo govori da se najviše uštede mogu uraditi na polju *green* tehnologija za ICT uređaje krajnjih korisnika, nazvane *green computing*. Naravno, desktop, laptop i netbook računari su energetski najzahtjevniji uređaji jer posjeduju mnogo veće ekrane, brže procesore i bolje performanse od smart telefona pa se većina rješenja odnosi na njih. Naravno, ne treba zaboraviti i ostalu ICT opremu krajnjih korisnika (štampače, skenere, i sl.).

Podaci iz izvještaja "*Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT*" procjenjuju da je broj *smart* telefona oko 1,2 milijarde [30]. Drugo mjesto zauzimaju laptop računari, čiji se broj procjenjuje na oko 950 miliona, a koje prate desktop kompjuteri sa oko 554 miliona. Naravno, desktop računari, kada je u pitanju potrošnja energije, ubjedljivo zauzimaju prvo mjesto, koristeći 118 TWh el. energije godišnje, a prate ih laptop računari sa 69 TWh godišnje. I pored ogromnog broja korisnika, *smart* telefoni su zaslužni za ukupnu godišnju potrošnju el. energije od svega 6 TWh.

Prostim uvidom u većinu kancelarija ili u domaćinstvima, može se uočiti veliki broj kompjutera i štampača koji se nalaze u fazi mirovanja. Osim u slučaju kada uređaji posjeduju priznati ekološki sertifikat ili oznaku, ili se nalaze u modu spavanja, odgovorni su za potrošnju najmanje polovine svoje nominalne snage.

Iz navedenog se može zaključiti da su desktop računari grupa uređaja koja bi, primjenom određenih rješenja, mogla donijeti i najveću uštedu po pitanju utroška energije. Postoji niz rješenja dobre prakse koja se preporučuju kako bi bili energetske efikasni a to su [55]:

- razmotriti veličinu monitora i odabrati je u skladu sa potrebama,
- koristiti LCD/LED monitore koji imaju bolji plan uštede energije i duplo duži rok trajanja u odnosu na CRT monitore,
- koristiti *Energy Star* (energetski efikasnije) uređaje koje karakteriše ušteda energije do 25%,
- podesiti automatsko prebacivanja kompjutera u *sleep mode* nakon određenog perioda neaktivnosti
- izbjegavati upotrebu *screen saver*-a koji nepotrebno troši energiju,
- podesiti osvjetljenje monitora i
- isključiti kompjuter i druge uređaje manuelno ili pomoću neke automatizovane procedure.

Tehnologije poput jeftinih skenera, velikih i pristupačnih *storage* uređaja, i rasprostranjena upotreba PDF fajlova, redukovale su upotrebu papira u modernim kancelarijama, mada prava *paperless* kancelarija je rijetko realizovana.

Sa čvrsto utkanim kompjuterskim tehnologijama u platno svakodnevnog života, profesori informatike su idealna podloga za doprinos istraživanju i doprinosu *green computing*-a. Oni bi predvodili inkorporaciju *green computing* ideja u svoje kurikulume kao i predstavljanje ovih tehnika i ideja profesorima iz drugih oblasti.

Iako tehnički izazovi *green computing*-a nisu previše složeni, najveći problem predstavlja promjena navika korisnika. Korisnici računara su većinom navikli da ostavljaju računare uključene jer im je tako praktičnije, na šta administratori sistema često računaju za obavljanje automatskog ažuriranja softvera i noćnog *backup*-a podataka [31].

U nastavku će biti prikazana koja još rješenja *green computing*-a, mogu doprinijeti zaštiti životne okoline.

2.2.1 Open source OS

Takođe mora se razmotriti sledeći podatak, a tiče se industrije računara. Novije verzije operativnih sistema, poput Windows 8 ili 10, mogu biti pokrenute na starijem hardveru. No, često zbog nedostatka odgovarajućih drajvera za starije komponente poput grafičke kartice ili mrežnih kontrolera, nemoguće je instalirati novije verzija operativnih sistema. Štaviše, ponekad i starije verzije OS-a ne mogu biti instalirane na savremenijem hardveru iz istog razloga. Sto se tiče Windows-a, ovaj efekat, što je interesantno, funkcioniše i u drugom smjeru – starije verzije Windows-a (2000, Xp) ne mogu biti instalirane na savremenom hardveru zbog nedostatka drajvera. Tada se korisnici često odlučuju ili na promjenu pojedinih hardverskih djelova računara ili, što je još pogubnije posmatrano iz *green* ugla, na cjelokupnu promjenu računara. Ovo se može djelimično izbjeći instalacijom *open-source* operativnih sistema (npr. Linux ili FreeBSD). Na ovaj način *open-source* OS produžavaju život starijih djelova opreme i doprinose očuvanju životne sredine.

2.2.2 Thin-klijenti

Thick-klijent je personalni računar sa integriranim memorijskim diskom i mogućnošću lokalnog procesiranja. Takođe ima pristup podacima i drugim resursima preko mrežne konekcije i prihvaćen je kao kompjuterski model za mnoge kancelarije. Izuzetak od toga ne predstavljaju ni škole i visoko obrazovne ustanove, tako da su mnoge akademske i administrativne kancelarije, opremljene sa desktop računarima u cilju podrške korisnicima za obavljanje svojih dnevnih radnih obaveza.

Ovakva sistemska struktura ima brojne prednosti: redukovano je oslanjanje na mrežne resurse, korisnici mogu personalizovati svoje sisteme i slično. Međutim, ima i svojih nedostataka a kao prvi se ističe nedovoljna iskorišćenost resursa tj. velika energetska neefikasnost. Ovdje na scenu stupaju *Thin*-klijenti. *Thin*-klijent, predstavlja računar lišen mnogih mogućnosti poput lokalnog procesiranja ili memorijskog kapaciteta, i u osnovi se ponaša kao terminal u komunikaciji sa serverom, koji sada preuzima dužnost procesiranja i smještanja podataka. Energetski benefit se ostvaruje kroz zajedničko korišćenje resursa. Prednosti se ogledaju u manjim administrativnim i hardverskim troškovima, manjoj potrošnji energije i u efikasnijoj upotrebi resursa [32]. Ipak prema [33], iako *Thin*-klijenti zahtijevaju manje složene komponente i mogu smanjiti potrošnju, njihova upotreba može rezultirati potrebom za dodatnim resursima na serverskoj strani.

Sprovedeni su mnogi istraživački projekti u cilju prikazivanja razlike u potrošnji *Thin* i *Thick* klijenata. Ušteda prema njima se kreće od 67% do 85% na stranu *Thin* klijenata [34].

Prednost se takođe ogleda u tome da *Thin*-klijenti ne moraju biti nadograđivani svake dvije, tri ili četiri godine. Nije neuobičajeno za njih da budu u upotrebi čak i posle osam godina.

2.2.3 Uređaji za štampanje, kopiranje i skeniranje

Uređaji za štampanje u emisiji CO₂, koju oslobađa ICT oprema, učestvuju sa 6% [61]. Uobičajena je situacija da kompanije tipično koriste veliki broj, često različitih, fax uređaja, štampača, kopir aparata, skenera i sl. Ova kompleksna slika često vodi ka nedostatku transparentnosti, tako da često ne postoje precizni podaci o kolikoj potrošnji je zapravo riječ. Tako na primjer, ostavljanje jednog kopir aparata uključenog tokom noći rezultira potrošnjom energije koja je ekvivalentna izradi 1500 kopija [107].

Konsolidacijom velikog broja ovih uređaja u nekoliko centralizovanih modela i automatskim prebacivanjem u mod spavanja nakon određenog perioda neaktivnosti, može se doprinijeti smanjenju troškova pri nabavci i održavanju uređaja ali i smanjenju potrošnje energije.

2.2.4 Hard Disk Drives (HDD) i Solid State Drives (SSD)

Trenutni postojani skladišni prostori u kompjuterskim sistemima većinom su zasnovani na rotirajućim diskovima (HDD), na koje se upis vrši magnetnim putem. Gustina podataka na HDD-u se značajno povećala u poslednjih nekoliko godina, dostižući nekoliko terabajta po drajvu. Ipak, sa energetske tačke gledišta, ovi diskovi imaju loše performanse,

čak i u stanju praznog hoda, diskovi nastavljaju da se vrte velikim brzinama (često 10,000 do 15,000 rpm) i nastavljaju da troše energiju i generišu toplotu. Da bi se smanjila potrošnja energije, obrtaji mogu biti redukovani mada ovo direktno utiče na performanse HDD-a. Sa druge strane, zbog limitirane brzine ploča u praznom hodu, pri buđenju HDD se ponaša iscrpljeno i samim tim produžava mu se vrijeme odziva. Čuvanje podataka koji se ređe koriste na sporijim diskovima može uticati na smanjenje potrošnje.

Novi koncept skladištenja memorije su *Solid State Drives* (SSD). Ove hardverske komponente nude nekoliko prednosti u odnosu na HDD, zato jer nemaju pokretnih djelova. SSD nude mnogo bolje performanse nego HDD, energetski su mnogo efikasniji, oslobađaju manje toplote a u praznom hodu skoro da i nemaju potrošnju (< 1W). Bilo kako bilo, cijena SSD diskova je mnogo veća nego tradicionalnih HDD (do deset puta).

2.2.5 Video konferencije kao alternativa poslovnim putovanjima

Telekonferencije imaju direktni pozitivni efekat na očuvanje sredine i na smanjenje emisije gasova staklene bašte na indirektan način, zbog reduciranih potreba za prevoženjem. Telekonferencije mogu spriječiti proizvodnju oko 540.000 tona CO₂ na godišnjem nivou prouzrokovanih prevozom ljudi vazдушnim saobraćajem. Procjenjuje se da prevoz avionom doprinosi globalnom zagađenju od 2%. Tokom "Vulkanske nedjelje", 700 telekonferencijskih soba je bilo oformljeno u cilju obezbjeđenja telekonferencije između 124 zemlje [35]. Prema predviđanju [36] zamjenjujući 25% od trenutnih 1.8 milijardi vazдушnih putovanja sa videokonferencijama sačuvalo bi se toliko energije koliko je potrebno za rad Interneta. Dodatnu korist bi predstavljala sama sačuvana energija jer se na taj način smanjuje sagorijevanje avio goriva.

2.2.6 Korporativne inovacije

Alcatel-lucent, jedna od vodećih mrežnih kompanija za proizvodnju hardvera, je proizvela mnoge inovacije koje doprinose *green networking*-u. Jedan od njihovih najskorijih inovacija je softverska zakrpa zvana "*Dynamic Power Safe*". Ova inovacija dozvoljava serverima da smanje potrošnju energije za 30% kada je nizak stepen saobraćaja [16]. Ova tehnika se zasniva na isključivanju GSM primopredajnika, kada nema informacija koje treba emitovati. Čak iako je primopredajnik isključen za kratak period, uštede energije su značajne. Osim toga, ova tehnologija može biti instalirana na već postojećim serverima, tako da su troškovi implementacije ovog *power saver*-a relativno niski.

Ova kompanija je takođe razvila prvi 100 Gb ethernet interfejs koji koristi samo 4 W po gigabitu [16]. Potom koriste tehniku integracije hardvera radi uštede energije. Na primjer, njihov *Twin* primopredajnik (*Twin TRX*) je napredak koji omogućava da se dva modula smjeste u prostoru u kome se prethodno nalazio samo jedan. Ovaj dizajn štedi 32% na potrošnji energije [16].

3 GREEN DATA CENTAR

Značajan procenat u potrošnji energije u ICT sektoru imaju data centri čija kompleksnost onemogućava pronalazak uniformnog *green* rješenja, odnosno kreiranje data centra koji je utemeljen na primjeni jedne jedinstvene *green* ICT tehnologije. Stoga je od izuzetne važnosti da se temeljno analiziraju i uporede najnovija tehnološka rješenja u cilju poboljšanja energetske efikasnosti data centara.

Data centri, koji predstavljaju osnovu današnje ekonomije, predstavljaju namjenski objekat gdje se fizički nalaze, funkcionišu, održavaju i upravljaju računarski sistemi, mrežna oprema, skladište podaci i druga prateća oprema. Njihov rast i razvoj je neprekidan shodno rastu potreba za skladištenjem, obradom i prenosom sve veće količine podataka.

Decenijama unazad, razvoj data centara je većinom imao fokus na poboljšanju mogućnosti procesuiranja, povećanju protoka i brzine, unapređenju kvaliteta usluga, te razvoju novih *cloud* servisa. To je uzrokovalo višestruko povećanje potrošnje energije, a ista nije bila uslovljena samo povećanjem broja i snage računarske opreme, već i potrebom za snažnijom opremom za hlađenje i drugo održavanje centara. Malo se pažnje obraćalo na energetske efikasnosti data centara. No to sad nije slučaj i postoji čitav niz *green* ICT rješenja za data centre.

Jedno od najvažnijih rješenja, zaduženo za poboljšanje energetske efikasnosti data centara, predstavlja *cloud computing*. Možda kao najjednostavnija definicija *cloud computinga* se nameće ona koja navodi da "Cloud computing predstavlja transfer IT servisa sa desktop računara na velike data centre" [37]. Osnovna ideja sastoji se u tome da će se u budućnosti ICT tehnologije tretirati i ugovarati kao usluge za telefon, el. energiju ili gas.

Cloud data centri počinju da se implementiraju u velikom broju širom svijeta. Njihove instalacije moraju podržati na stotine hiljada servera, tako da su odgovorni za potrošnju ogromne količine energije, doprinoseći visokim operativnim troškovima i visokom stepenu ispuštanja ugljen-dioksida u okolinu. S tim u vezi nameće se potreba za *green* rješenjima, koja ne samo da će redukovati potrošnju energije u cilju očuvanja prirode već i smanjiti operativne troškove.

Cloud computing obezbjeđuje infrastrukturu, platformu i softver (aplikacije) kao servise, koji su dostupni potrošačima na principu pretplate pod okriljem *pay-as-you-go* modela. Ova vizija kompjuterskih usluga, zasnovana na modelu obezbjeđenja servisa, predviđa masovnu transformaciju čitave kompjuterske industrije u 21. vijeku pri čemu će kompjuterske usluge biti dostupne na zahtjev, kao i ostale usluge dostupne u današnjem društvu. Slično tome, korisnici (potrošači) moraju platiti provajderima samo kada pristupaju kompjuterskim uslugama. U takvom modelu, korisnicima se omogućava pristup uslugama na temelju njihovih zahtjeva, bez obzira gdje se oni nalaze u tom trenutku. Ovaj model je poznat kao *cloud computing* [38]. To označava infrastrukturu kao "oblak", gdje kompanije i korisnici mogu na zahtjev pristupiti aplikacijama kao uslugama sa bilo koje lokacije na svijetu.

Dakle, *cloud computing* može biti klasifikovan kao novi primjer za dinamičko pružanje niza kompjuterskih usluga podržanih od strane najsavremenijih data centara koji obično upošljavaju tehnologiju virtuelnih mašina za konsolidaciju i u svrhu izolacije okruženja [39]. Mnogi davaoci kompjuterskih usluga, uključujući Google, Microsoft, Yahoo i IBM ubrzano razmještaju data centre na raznim lokacijama širom svijeta za isporuku *cloud computing* usluga.

Stvaraoci sa inovativnim idejama za obezbjeđenje novih usluga putem interneta, nemaju više potrebe za velikim kapitalnim izdacima u vidu hardvera za implementaciju njihovih usluga ili troškova u vidu ljudskih resursa da ih opslužuju [40]. *Cloud computing* nudi značajne prednosti (uštede) za IT kompanije oslobađajući ih od potrebe za osnovnom hardverskom i softverskom infrastrukturom, te im na taj način omogućava da usredsrede fokus na dalje inovacije i stvaranje što kvalitetnijih usluga. Cijena korišćenja IT usluga iz *clouda* je 4-8 puta manja u odnosu na posjedovanje svog data centra [61].

Mnoge kompanije ako žele da održe konkurentnost, efikasnost, profitabilnost moraće vremenom da postanu korisnici ovih usluga. Ciljne grupe su raznovrsne i kreću se od javnog sektora preko poslovnih korisnika prije svega malih i srednjih preduzeća, nezavisnih isporučioaca aplikativnog i drugog softvera, škola i univerziteta, manifestacija i događaja ograničenog trajanja, rezidencijalnih korisnika i dr. Na primjer u školama i univerzitetima izdvajaju se značajna sredstva za računarsku opremu koja u prosjeku posle 5-6 godina biva tehnološki zastarjela pa su potrebna ponovna ulaganja da bi se išlo ukorak sa tehnologijom.

Kroz *cloud computing* kompanije koriste potreban prostor na serverima, i na taj način smanjuju potrošnju energije u poređenju sa onom koja bi bila potrebna za *on-site* servere. *Cloud computing* smanjuje potrošnju energije kroz virtuelizaciju, koja opet dozvoljava konsolidaciju i migraciju virtuelnih mašina, toplotni menadžment tj. alokaciju shodno temperaturi; ovo su tehnike koje vode do redukcije potrošnje energije. Dakle upravo zato *cloud computing* može biti smatran primjerom *green ICT*-a kao oblast koja tretira energetske efikasnost data centara, njihovo upravljanje i organizaciju i ekonomično iskorišćenje *cloud* resursa.

Moderni data centri, koji implementiraju *cloud computing* model, pružaju *hosting* raznim aplikacijama u rasponu od onih koje su pokrenute nekoliko sekundi (e-commerce, portali na društvenim mrežama sa trenutnim opterećenjem) do onih koji rade duže vrijeme (na primjer simulacije ili procesiranje velike količine podataka) na dijeljenim hardverskim platformama. Takođe, u periodima kada se ne koriste intenzivno svi kapaciteti *cloud computinga*, moguće je napraviti super kompjuter, koji je u stanju da za kratko vrijeme izračuna kakva će biti vremenska prognoza ili sličan kompleksni zadatak za šta bi u protivnom trebala prilično skupa oprema.

Gledajući iz ugla interoperabilnosti, mnogi javni *cloud* sistemi su zatvoreni i nisu dizajnirani da komuniciraju jedni sa drugima. Industrijski standardi moraju biti kreirani u cilju da dozvole provajderima cloud servisa da dizajniraju interoperabilne cloud platforme. *Open Grid Forum* je industrijska grupa koja radi na *Open Cloud Computing* interfejsu u cilju obezbjeđenja *Application Program Interface* (API) za menadžment različitih platformi *cloud*-a [41].

U posljednjih 40 godina performanse računarske opreme, posebno mikroprocesora, su se duplirale svake dvije godine prema Moore-vom zakonu. Kako su mogućnosti procesora postajale sve naprednije uslijedio je i proporcionalan rast njihove potrošnje.

Prosječan data centar troši energije kao i 25.000 domaćinstava [42]. Pošto se troškovi energije konstantno povećavaju, postoji potreba za prebacivanjem fokusa sa optimizacije resursa data centara na optimizaciju u cilju energetske efikasnosti, uz obezbjeđenje visokog nivoa pružanja usluga. Prema jednom izvještaju troškovi po pitanju utroška energije jednog tipičnog data centra se udvostručuju svakih pet godina [43].

Data centri ne samo da su skupi za održavanje, već nisu ni naklonjeni životnoj sredini. Trenutno oslobađaju veću emisiju ugljen-dioksida nego Holandija i Argentina zajedno [42]. Na primjer neki provajderi cloud usluga (Yahoo, Microsoft, Google) u cilju smanjenja operativnih troškova data centara su počeli sa izgradnjom velikih data centara u napuštenoj pustinji oko rijeke Kolumbija u SAD u cilju eksploatacije jeftine i pouzdane hidro-električne energije [44].

Najveći udio u potrošnji el. energije ne čine samo data centri velikih kompanija, kao što su Google, Apple ili Microsoft, već i data centri malih ili srednjih preduzeća (kojih ima najviše), gdje je energetska efikasnost često na niskom nivou. Polovina potrošene energije je bespotrebno utrošena zbog nepažnje i nedostatka inicijative da se data centri učine efikasnijim, tako da potreba za boljim iskorišćenjem el. energije u data centrima ostaje od kritične važnosti.

Globalno, u periodu od samo godinu dana zahtjevi za energijom su porasli za 63% i to sa 24 GW 2011 na 38 GW u 2012 [45]. Štaviše, procjenjuje se da će data centri trošiti 8% napajanja svjetske el. energije do 2020, dok je ovaj odnos bio oko 1.3% 2010. godine [46]. S tim u vezi, pokušaji pretvaranja data centara u *green* data centre mogu značajno smanjiti i troškove el. energije i emisiju CO₂.

Green data centar predstavlja mjesto za skladištenje, upravljanje i distribuciju podataka u kome su mehanički, rasvjetni, električni i kompjuterski sistemi dizajnirani da postižu maksimalnu energetska efikasnost i vrše minimalan uticaj na životnu sredinu.

Postojeći data centri često funkcionišu sa niskim nivoom iskorišćenosti zbog prekomjerne rezervacije i fragmentacije resursa što dovodi do priličnog rasipanja energije. Prema jednom izvještaju iz 2008.god. tipično iskorišćenje je iznosilo oko 6% [42], dok u izvještaju iz 2012 je bilo u opsegu od 7% do 12% [47], što je donekle bolje od prethodnog rezultata. Nedavno, Google je prijavio da mogu poboljšati iskorišćenost njihovih servera do relativno visoke stope od 20-40% [77]. Neke studije, takođe su pokazale da i mrežna infrastruktura data centara ima takođe visoku stopu neiskorišćenosti koja iznosi između 5% i 25% [48]. Ono što dodatno otežava stvari je činjenica da nizak stepen iskorišćenosti servera i mrežnih resursa prouzrokuje rasipanje ostalih resursa, poput el. energije i značajno opterećuje sisteme za hlađenje.

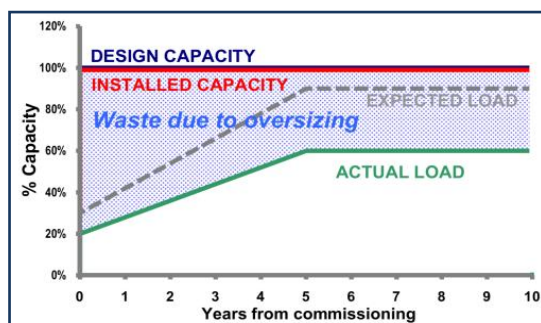
Više od polovine kompanija navodi prostor kao jedan od svojih najvećih izazova u data centru. Iako mnogim kompanijama nedostaje fizičkog prostora za organizaciju sistemskih resursa u okviru data centra, rijetko se eksploatiše njihov pun potencijal. Uz bolji

pregled upotrebe infrastrukture, može se vidjeti kako se to odražava na sam data centar, a time i na poslovne rezultate. Na taj način ICT sektor je u stanju da donese bolje poslovne odluke, organizacije mogu da optimizuju efikasnost, kapacitete i dostupnost i sve to može da se sagleda u realnom vremenu kroz *Data Center Infrastructure Management (DCIM)*. U istom trenutku može se sagledati da li nedostaci kapaciteta rastu i da li treba ulagati u nove resurse [49].

S tim u vezi, pojedinačno najveće uštede koje je moguće ostvariti kod data centara su uštede pri dimenzionisanju. Neiskorišćeni kapaciteti data centara su troškovi koje je moguće izbjeći na samom startu, a iz njih proističu potom i operativni troškovi poput neophodnog održavanja i neophodne energije potrebne za rad i hlađenje.

Pri proračunu količine potrebne energije koju treba obezbijediti u data centru i proračunu potrebnog sistema za hlađenje, uzimaju se nominalne vrijednosti ICT opreme a ne njihova stvarna potrošnja, tako da dolazi do nepreciznosti i predimenzionisanja stvarnih potreba. Takođe, do predimenzionisanja dolazi i iz razloga jer su data centri koncipirani da odgovore najgorem mogućem scenariju i maksimalnom opterećenju sistema u cilju obezbjeđenja pouzdanosti i skalabilnosti kompjuterske infrastrukture. Kao alternativu, neki proizvođači opreme pružaju smjernice u tipičnim potrebama za snabdijevanjem el. energijom i hlađenjem dok tehnički komitet "*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*" pruža spisak tipičnih radnih zahtjeva.

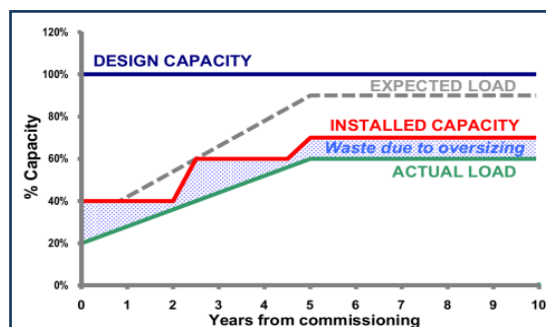
Procjenjuje se da je tipični životni vijek data centra oko 10 godina. Takođe se procjenjuje da je na polovini životnog ciklusa postignut linearni rast opterećenja od očekivanog *start-up* opterećenja do konačne vrijednosti. Opterećenje fizičke i energetske infrastrukture tada dostiže vrijednost od oko 50-60% što se može vidjeti na slici 3.1.



Slika 3.1 Dizajn i očekivano opterećenje tokom životnog ciklusa data centra [50]

Predimenzionisanje rezultira sa nedovoljnom iskorišćenošću opreme (poput servera koji su uključeni 24 sata dnevno ali koji se veoma rijetko koriste). Srećom, nove generacije modularno skalabilne ICT opreme i fizičke infrastrukturne opreme omogućavaju filozofiju "plati dok rastete" (*pay as you grow*), koja pomaže u optimizaciji korišćenja opreme. Pored toga, napredak u softverima za planiranje kapaciteta omogućava mnogo precizniju predikciju kapaciteta data centara kao i potrošnje energije.

Dakle, kako predimenzionisanje data centara, poništava sve benefite koje je moguće postići u tehničkoj efikasnosti svih sistema po dubini, kao jedno od rješenja nameće se predlog postepenog povećanja kapaciteta shodno stvarnom opterećenju (slika 3.2).



Slika 3.2 Postepeno povećanje kapaciteta tokom životnog ciklusa data centra [50]

Vodeći provajderi kompjuterskih usluga formirali su globalni konzorcijum poznat kao *The Green Grid* u cilju promocije energetske efikasnosti data centara i minimalizacije njihovog uticaja na životnu sredinu. Kasnije je uslijedilo razvijanje standarda za proračun energetske efikasnosti data centara. Dakle, radi se o *Power Usage Effectiveness* (PUE).

3.1 Power Usage Effectiveness - PUE

PUE metrika predstavljena od strane *The Green Grid* konzorcijuma predstavlja *de facto* globalni standard za mjerenje energetske efikasnosti data centara. PUE predstavlja odnos ukupne energije koja je potrebna za nesmetano funkcionisanje data centra i energije koju koristi IT oprema.

Prvenstveno su predstavljena dva načina mjerenja energetske efikasnosti, PUE i DCE (*Data Center Efficiency*) koji je kasnije promijenjen u DCiE (*Data Center Infrastructure Efficiency*). Obije metrike mjere ista dva parametra, imaju svoje podržavaoce ali PUE je postao standard.

$$PUE = \frac{\text{Ukupna potrošnja data centra}}{\text{Potrošnja IT opreme}} \quad (1.2)$$

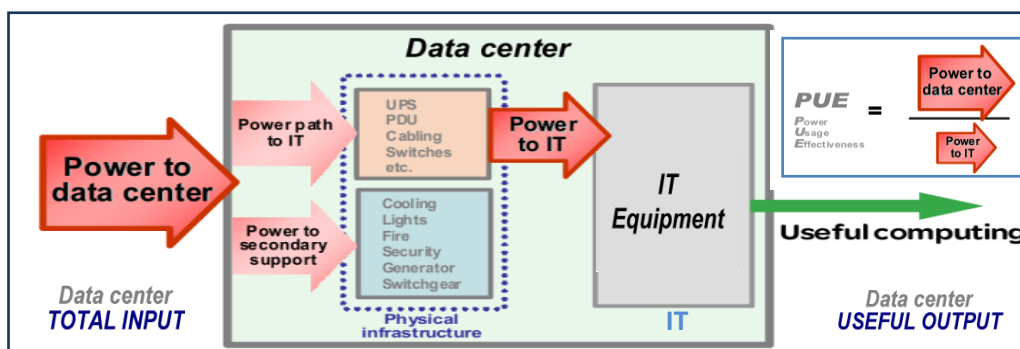
$$DCiE = \frac{\text{Potrošnja IT opreme}}{\text{Ukupna potrošnja data centra}} \times 100\% \quad (1.3)$$

Veća PUE vrijednost pokazuje lošiju sveukupnu energetska efikasnost data centra. Na primjer ako ukupna energija koju utroši data centar iznosi 100 kWh a energija utrošena od strane IT opreme je 50 kWh, može se izračunati PUE na sledeći način:

$$PUE = \frac{100}{50} = 2.0 \quad (1.4)$$

PUE sa vrijednošću od 2.0 je potpuno tipična za DC. Ovo znači da za svaki kWh el. energije potrebne za napajanje IT opreme, zapravo se potroši 2 kWh. Data centar sa sto procentnom efikasnošću imao bi PUE vrijednost od 1.0 što bi u praksi predstavljalo da sva energija koja ulazi u data centar se koristi isključivo za napajanje IT opreme.

Na slici 3.3 prikazano je na koji način data centar konzumira energiju, tj. koji sve djelovi data centra učestvuju u ukupnoj potrošnji el. energije.

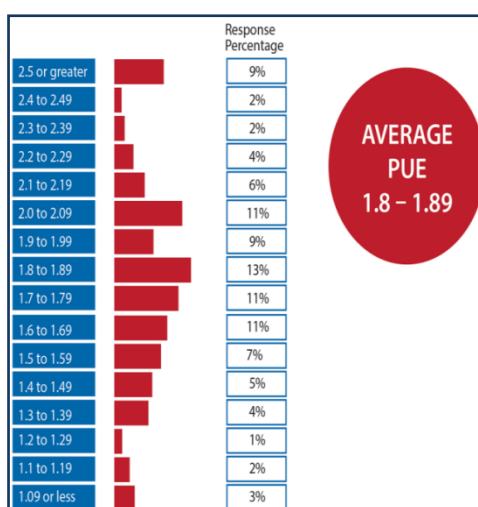


Slika 3.3 Raspored energije u data centru [52]

Na slici se uočavaju dvije glavne cjeline fizička infrastruktura data centra i IT oprema. U cilju obezbjeđenja uslova za nesmetan rad IT opreme, značajnu ulogu ima fizička infrastruktura data centra koja se dalje može podijeliti na dio zadužen za napajanje IT opreme praćen mnogobrojnim transformacijama i konverzijama el. energije (UPS, sistem kablova, jedinica za distribuciju napona, prekidači itd.) i dio za napajanje sekundarne infrastrukture zadužen za hlađenje, osvjetljenje, protiv požarnu zaštitu, sigurnosni nadzor itd. Dakle, cjelokupna fizička infrastruktura predstavlja rasipanje energije i gubitke u data centru i ima značajan uticaj na njegovu PUE vrijednost.

PUE metrika je odličan alat za data centre. Ona dozvoljava objektivnim inženjerima da shodno promjenama koje su napravili na infrastrukturi izmjere njihov uticaj, poput povećanja temperature data centra, nadogradnja sa efikasnijim UPS sistemima i sl. [51].

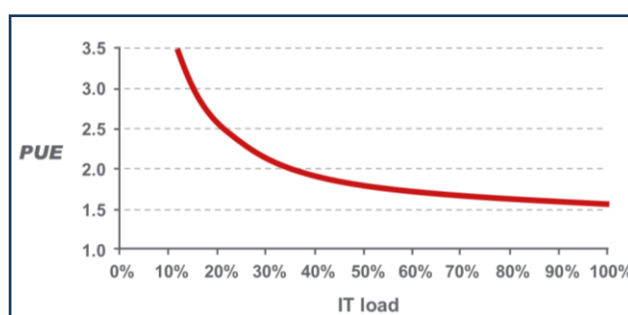
Istraživanje sprovedeno 2012. godine obuhvatilo je preko 1100 data centara različitih dimenzija i na različitim geografskim lokacijama, rezultiralo je prosječnom vrijednošću PUE između 1.8 i 1.89 (slika 3.4).



Slika 3.4 Prosječan PUE na testiranim serverima [77]

Uopšteno govoreći, naširoko rasprostranjeno usvajanje mjerenja PUE vrijednosti u data centrima postaje najveći pokretač poboljšanja njihove energetske efikasnosti u posljednjih 50 godina [77].

Činjenica da se uslovi u data centru mijenjaju sa vremenom, uzrokuje da se i njegova efikasnost takođe mijenja. Jedan od najvažnijih uslova koji se mijenja tokom vremena je IT opterećenje. Na slici 3.5 može se vidjeti kako efikasnost tipičnog data centra varira sa IT opterećenjem, tj. manje opterećenje rezultira slabijom efikasnošću. Ako tokom dana dolazi do promjene IT opterećenja, shodno grafiku moguće je očekivati i promjene trenutnih PUE vrijednosti te zaključiti da trenutna PUE vrijednost neće biti ekvivalentna dnevnoj vrijednosti. Takođe, ako se IT opterećenje tokom vikenda razlikuje od opterećenja u data centru tokom radnih dana, može se zaključiti da dnevne PUE vrijednosti ne odgovaraju nedeljnim PUE vrijednostima. Dakle, IT opterećenje utiče na način mjerenja efikasnosti i njenu interpretaciju.



Slika 3.5 Efikasnost tipičnog data centra pri različitom IT opterećenju [52]

Kompanija "Schneider Electric" počela je na jesen 2016. godine izgradnju *Eco Data Center*, prvog svjetskog klimatski pozitivnog data centra 200 km sjeveroistočno od Stokholma. Struja koja se koristi u serverima se pretvara u toplotu, tako da 1 kWh el. energije jednak je 1 kWh toplotne energije. Ova toplotna energija iz servera većinom nije iskorišćena, već se rasipa u okolini data centra, i tako kreira toplotna ostrva. *Eco Data Center* je integrisan u veliki energetski ekosistem, u kome se toplota iz data centra ponovo koristi za grijanje gradskih četvrti. Imaju za cilj da postignu emisiju CO₂ ispod nule, što ih predstavlja kao prvi klimatski pozitivan data centar na svijetu. Čitava energija isporučena data centru, dolazi iz obnovljivih izvora (hidro, vjetar, bio masa i solarna energija). *Eco Data Center* ima izvanredan energetski dizajn sa PUE vrijednošću ispod 1.15 [53].

3.2 Raspored potrošnje energije u data centru

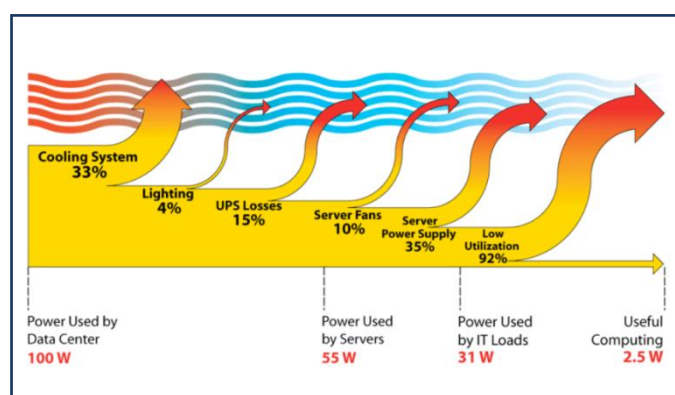
Veliki dio energije u okviru data centra koristi se u druge svrhe, tako da rashladna oprema troši skoro ekvivalentnu količinu energije kao i sami IT sistemi, dok prosječno oko 10% otpada na gubitke pri distribuciji i konverziji el. energije [54].

Paradoksalan faktor implementacije *green* data centra predstavlja činjenica da veća potrošnja energije od strane ICT opreme ide u prilog sistemima za napajanje koji tada funkcionišu sa većim stepenom iskorišćenja i manjim gubicima. Međutim, veća potrošnja

energije rezultira većom količinom toplote koja mora biti efikasno odvedena, što dodatno opterećuje sisteme za hlađenje.

Visoke temperature dovode do brojnih problema poput redukovane pouzdanosti i dostupnosti sistema, smanjeni životni vijek uređaja i dr. Smatra se da je za svaki MWh el. energije utrošen na rad servera u data centru, potrebno iskoristiti dodatnih 0.7 MWh kako bi se server zaštitio od pregrijavanja [55].

Na slici 3.6 može se vidjeti primjer raspodjele energije u data centru. Naime, za obezbjeđenje korisne obrade računarskih podataka na koju će biti utrošeno 2.5 W, potrebno je zapravo obezbijediti 100 W na ulazu u data centar. Nastali rashodi uzrok su nedovoljne iskorišćenosti servera, gubitaka nastalih pri radu serverskog napajanja i UPS sistema, potrošnje serverskih ventilatora, potrošnje rasvjete i na kraju potrošnje sistema za hlađenje koji mora obezbijediti optimalne uslove za nesmetan rad opreme.



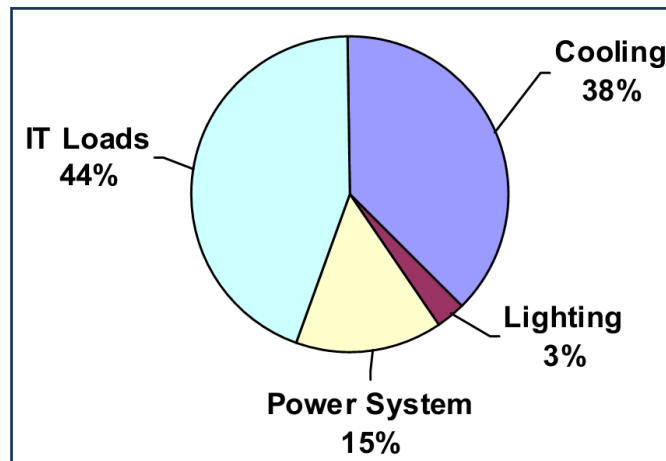
Slika 3.6 Dijagram potrošnje energije [56]

Iz svega navedenog može se vidjeti da je energetska efikasnost postalo pitanje od velike važnosti u današnjim data centrima, da je na izuzetno niskom nivou kao i da postoje veliki potencijali za smanjenje potrošnje energije u data centrima.

Kvalitetnija upotreba resursa, uključujući energiju za napajanje i hlađenje ICT sistema, uštede na prostoru i objektima, doprinose poslovnoj efikasnosti a kao sporedni benefit doprinose i očuvanju životne sredine. Upravo tačka preokreta kod velikih kompanija bila je njihova poslovna efikasnost tj. smanjenje troškova pri funkcionisanju data centara.

Prvi korak u određivanju prioriteta pri sagledavanju mogućnosti uštede energije ogleda se u solidnom razumijevanju potrošnje energije data centra i indikatorima energije kod data centra. Indikatori se mogu koristiti za oblikovanje strategija za uštedu energije i utvrđivanje efikasnih mjera u cilju smanjenja potrošnje energije.

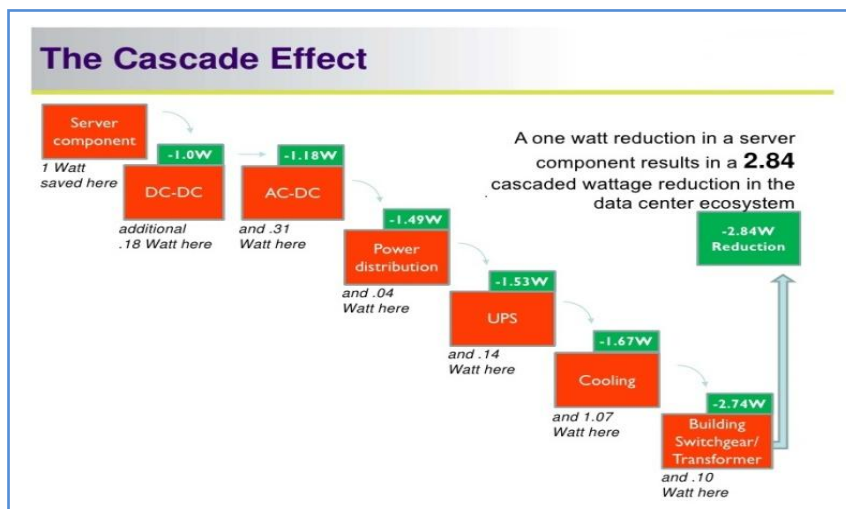
U cilju postizanja maksimalne efikasnosti pri potrošnji energije i emisiji CO₂ data centar treba posmatrati kao integrisani sistem sa uzajamnom međuzavisnošću tri velika i jednog manjeg podsistema, od kojih svaki mora biti dizajniran i upotrijebljen efikasno. Dakle, riječ je o sledećim konstitutivnim podsistemima: ICT opremi, sistemu za distribuciju el. energije, sistemu za hlađenje i rasvjeti. (slika 3.7).



Slika 3.7 Potrošnja energije u data centru [57]

Čak i minorne promjene u jednom podsistemu mogu značajno uticati na druge podsisteme zbog međusobnog tzv. “kaskadnog efekta”.

Na slici 3.8 prikazan je **kaskadni efekat** u data centru, gdje smanjena potrošnja servera utiče na efikasnost jedinice za napajanje, ova na UPS sistem i sistem hlađenja i tako dalje. Smanjenje potrošnje komponenata na serverskom nivou (procesor, memorija, hard disk) za 1 W rezultira dodatnim smanjenjem od 1.84W kaskadno tj. ukupnim smanjenjem potrošnje od oko 2.84W.



Slika 3.8 Akumulativno smanjenje potrošnje u data centru [58]

Jedan od dokaza da data centar treba posmatrati kao sistem koji neprestano evoluiru i koji zahtijeva neprestanu pažnju i nadzor upravo se nalazi u kaskadnom efektu. Naime, neki naučnici povezuju ovaj kaskadni efekat sa kaskadnim efektom koji se ostvaruje kod gojaznih osoba koje boluju od Osteoartritis koljena, gdje svaki gubitak 0.5 kg prekomjerne težine rezultira smanjenjem opterećenja na koljena u iznosu od 4 kg. Dakle, pri šetnji od samo 1.6 km redukcija opterećenja po koljenu iznosi nevjerovatnih 2177 kg [59]. Naravno, sa većom redukcijom težine ovi rezultati bili bi upečatljiviji.

Dakle, redukcija potrošnje ICT opreme ima najveći uticaj na sveukupnu potrošnju zbog kaskadnog efekta na svim ostalim sistemima u data centru.

Ipak, cilj identifikacije svih potrošača energije je ne samo smanjenje globalne potrošnje energije unutar data centra, već i razvoj strategije za ublažavanje potrošnje energije.

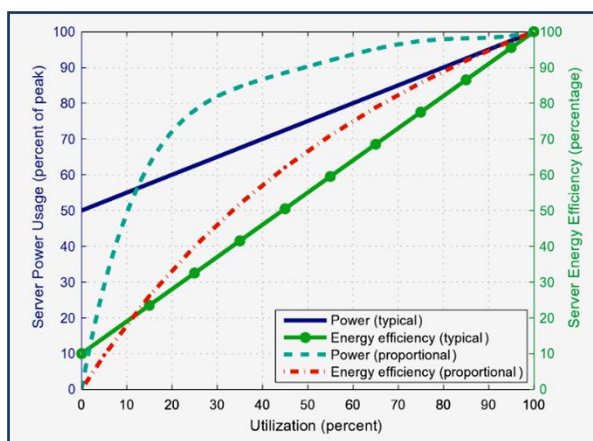
U nastavku biće prikazana moguća poboljšanja ponaosob u svim konstitutivnim podsistemima data centra (ICT oprema, sistem za distribuciju el. energije i sistem za hlađenje).

3.3 Poboljšanje energetske efikasnosti pri radu ICT opreme

Smanjenje potrošnje od strane ICT opreme je osnovni problem pri uštedi energije, jer uštede na ovom polju uslovljene su konstantnim održavanjem visokog kvaliteta servisnih usluga. Od 40-60% potrošnje u data centru otpada na ICT infrastrukturu gdje se prvenstveno misli na servere, *storage* jedinice i mrežnu opremu tako da je energetska efikasnost ICT opreme od velikog značaja u data centrima [60].

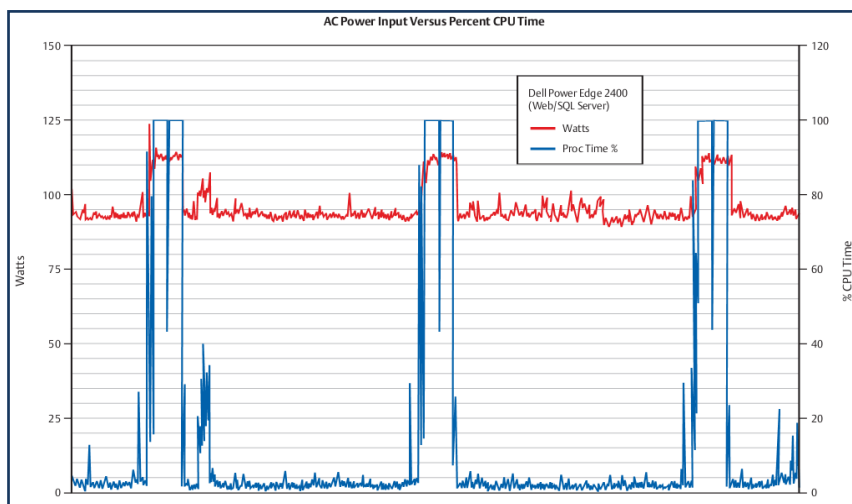
U cilju obezbjeđenja pouzdanosti i skalabilnosti kompjuterske infrastrukture data centri su koncipirani da odgovore najgorem mogućem scenariju i maksimalnom opterećenju sistema tako da često dolazi do predimenzionisanja stvarnih potreba. To je jedan od razloga nedovoljne iskorišćenosti servera u današnjim data centrima gdje brojne studije pokazuju da ona u prosjeku iznosi ispod 30% [60]. U zemljama u razvoju u okruženju, kao što je i Crna Gora, ovaj procenat je još i manji i iznosi samo 17% u radno vrijeme. Ako se uzme u obzir da data centar radi gotovo u praznom hodu u druge dvije smjene kao i za vrijeme praznika, to iskorišćenje pada ispod 8% [61].

Što je manje opterećenje servera oni su energetski neefikasniji tako na primjer serveri koji se nalaze u fazi mirovanja (*idle*) troše oko 50% svoje nominalne snage a pri tom ne vršeći nikakvu obradu podataka (slika 3.9) [60].



Slika 3.9 Potrošnja energije servera u stanju mirovanja i pri punom opterećenju [60]

Međutim, prema [58] potrošnja servera u fazi mirovanja iznosi čak i više tj. između 70 i 85% pune nominalne snage što se može vidjeti na slici 3.10. Shodno tome, server koji funkcioniše sa samo 20% kapaciteta može koristiti 80% energije servera pri maksimalnom opterećenju.



Slika 3.10 Odnos potrošnje servera pri različitom opterećenju [58]

Ako se želi izračunati potrošnja energije (P) servera (ili virtuelizovanog hosta tj. njegovog procesora) pri bilo kojem opterećenju ($n\%$) potrebno je znati potrošnju energije pri maksimalnim performansama (P_{max}) i u praznom hodu (P_{idle}). U tom slučaju formula [62] je sledeća:

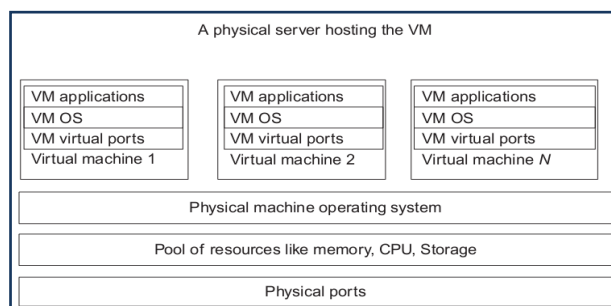
$$P_n = (P_{max} - P_{idle}) \times \frac{n}{100} + P_{idle} \quad (1.5)$$

Na primjer, ako server ima maksimalnu potrošnju od 400W i potrošnju pri praznom hodu od 200W, onda pri djelimičnom opterećenju od 25% potrošnja će biti približno 250W:

$$P_{25} = (400 - 200) \times \frac{25}{100} + 200 = 250 \quad (1.6)$$

Dakle, serveri koriste energiju i oslobađaju toplotu bilo da su opterećeni 25 ili 100%, a stvarna razlika u potrošnji el. energije i emisiji toplote između ova dva stanja nije značajna. Ovo podrazumijeva da server koji je iskorišćen samo 25% će stvarati približne troškove kao i server koji je u potpunosti iskorišćen.

Obećavajući pristup koji najviše pogoduje premošćavanju problema nedovoljne iskorišćenosti servera predstavlja virtuelizacija resursa u okviru data centara koja opet dozvoljava konsolidaciju i migraciju VM-a (slika 3.11). Virtuelizacija može biti ogroman saveznik u redukovanju oslobađanja toplote i smanjenju troškova iz jednostavnog razloga jer rezultira manjim brojem servera. Virtuelizacija servera, kao efikasan metod poboljšanja energetske efikasnosti može smanjiti potrošnju u data centru do 50% a pri tom ostvarujući više efekata [63].



Slika 3.11 Virtuelizacija na jednoj fizičkoj mašini [64]

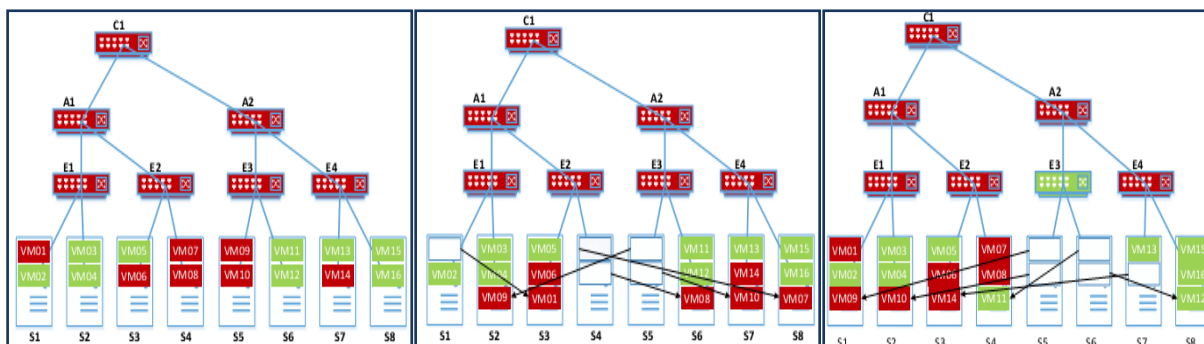
Kako serveri i prilikom niskog stepena iskorišćenosti obično rade koristeći 70% svoje maksimalne snage, najisplativiji i najpraktičniji pristup je dijeljenje jedne fizičke mašine na više virtuelnih i dodjeljivanje dobijenih virtuelnih mašina korisnicima, odnosno aplikacijama. Na taj način je upotrijebljeno manje hardverskih resursa, povećan je stepen iskorišćenja servera, dok je energija utrošena na sam rad servera i njegovo održavanje znatno manja [60].

Međutim, u virtuelizovanim data centrima VM-e često komuniciraju između sebe, uspostavljajući virtuelnu mrežnu topologiju. Kako god, zbog migracije VM ili neoptimizovane alokacije, komunicirajuće VM-e mogu završiti na logički udaljenim fizičkim čvorovima te na taj način dovesti do skupocenog transfera podataka između sebe. Ako su komunicirajuće virtuelne mašine smještene u različitim rek ormarima, mrežna komunikacija može uključiti i mrežne svičeve koji konzumiraju značajnu količinu energije [65].

Interesantan je predlog dat u [18], naime predlaže se nova centralizovana *power-management* šema za data centre. U njemu je predstavljena virtuelizacija u kombinaciji sa mrežnom topologijom sa topološki-svjesnim razmještajem VM-a primjenom algoritma koji vrši migraciju servera sa akcentom na dva dijela:

- minimizirajući broj fizičkih servera i
- smanjujući broj svičeva potrebnih za međusobno povezivanje tih fizičkih servera.

Na slici 3.12 prikazan je primjer jednog data centra, u kome crvena boja predstavlja aktivne svičeve sa protokom saobraćaja ili aktivne servere, a zelena one koji su u datom trenutku neopterećeni. Na srednjoj slici prikazan je prvi algoritam razmještaja koji se samo fokusira na smanjenju broja aktivnih fizičkih servera, dok na krajnjoj desno je prikazan algoritam topološki-svjesnog postavljanja VM-a koji vrši migraciju servera zasnovanu na osnovu mrežne topologije i zahtjeva za saobraćajem.



Slika 3.12 a) Uobičajen primjer data centra, b) Prikaz migracije primjenom prvog algoritma, c) Prikaz migracije primjenom drugog algoritma [18]

Dakle, predložena tehnologija dozvoljava rukovanje energetskim statusom kako servera tako i mrežnih uređaja, samim tim dozvoljavajući uštedu energije na njima. U cilju još većeg povećanja energetske efikasnosti mogla bi se razmotriti i dodatna primjena još nekih tehnologija poput: Software-Defined Networking, OpenStack, OpenDayLight itd.

Kako bi se rashlađivanje vršilo na ekonomičniji način, potrebno je utvrditi koje mašine su opterećenije od drugih i njih preseliti na mjesto koje je najlakše rashladiti kao npr. podnožje rek ormara. Kao modernija rješenja, implementiraju se i algoritmi koji vode računa o zagrijanosti i opterećenosti pojedinih uređaja i vrše balansiranje opterećenja na osnovu

donesenih zaključaka. U ovom slučaju hlađenje zagrijanih čvorova može biti usporeno dozvoljavajući prirodno odvođenje toplote, te tako doprinoseći uštedi energije.

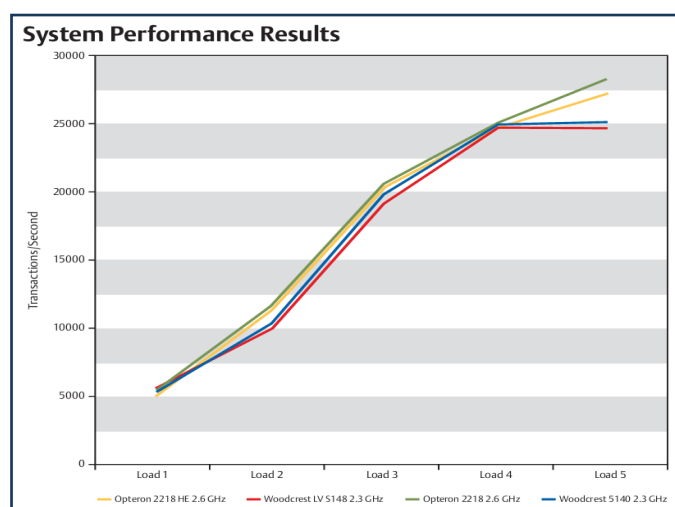
U dodatku navedenog mogu se primijeniti tehnike toplotnog menadžmenta na nivou hardvera, kao npr. *Dynamic Voltage and Frequency Scaling* (DVFS) kod modernih procesora, koje mogu smanjiti temperaturu kada procesor nadmašuje termički prag. Ovi mehanizmi se mogu efikasno koristiti uvijek kada aplikacije koje se nalaze hostovane na *cloudu*, tj. njihov QoS ne zahtijeva od procesora da rade punim kapacitetom. Uštede kod DVFS se kreću od 23-36% [60].

Uobičajena potrošnja procesora varira između 80-103 W (prosjeak 91 W). Za svoje premium klase proizvođači procesora nude verzije sa nižim naponom koje u prosjeku troše 30% manje energije od standardnih procesora (slika 3.13).

	Sockets	Speed (GHz)	Standard	Low power	Saving
AMD	1	1.8-2.6	103 W	65 W	38 W
	2	1.8-2.6	95 W	68 W	27 W
Intel	2	1.8-2.6	80 W	50 W	30 W

Slika 3.13 Prosječna ušteda kod low-power procesora [58]

Nezavisne studije su pokazale da ovi procesori imaju iste performanse kao i modeli veće snage što je prikazano na slici 3.14.



Slika 3.14 Rezultati performansi kod standardnih i low-power procesora [58]

Računarski procesori imaju ugrađene funkcije upravljanja napajanjem koje mogu smanjiti snagu procesora kada su u stanju mirovanja. Međutim, često ove funkcije znaju biti isključene zbog zabrinutosti u vezi sa vremenom odziva te time onemogućavaju uštede koje ova tehnologija može omogućiti. Potrošnja u fazi mirovanja sa ovim funkcijama iznosi 45% [58].

Naučna dostignuća omogućila su da računarska oprema bude mnogo manjih dimenzija, tako da npr. uvođenjem u upotrebu tehnologije *blade* servera proračuni potrošnje uveliko su premašili prethodne standarde po m². *Blade* serveri predstavljaju u osnovi

arhitekturu gdje je server smješten na modulu - matičnoj ploči koja sadrži kompletan računarski sistem, uključujući procesore, memoriju, mrežne veze i prateću elektroniku. Moduli se potom smještaju u šasiju koja obezbjeđuje napajanje, hlađenje, mrežnu povezanost itd. Ova tehnologija predstavlja efikasno rješenje za data centre jer prevazilazi prostorna i energetska ograničenja koja se susreću u okruženju tipičnog data centra. Implementacija ove tehnologije može imati višestruku korist za data centre [66], [58]:

- redukovana potrošnja energije (oko 10%),
- jednostavnija ugradnja i održavanje,
- smanjena potreba za prostorom (od 2 do 8 puta u zavisnosti od dizajna i proizvođača),
- smanjena potreba za energetskim i mrežnim kablovima (za 85%),
- bolja skalabilnost i sveukupne performanse itd.

Dakle, brojni su razlozi zašto mnoge organizacije implementiraju ovu tehnologiju u cilju poboljšanja energetske efikasnosti.

3.3.1 “Turn it off!” kampanja

Opšte je poznato da ICT oprema troši najmanje energije kada je isključena. To podrazumijeva pristup koji je veoma lak za razumijevanje, ali zahtijeva promjenu navika korisnika. Jednostavno rečeno, korisnici moraju isključiti nepotrebnu opremu. Ovo se može primijeniti na radne stanice, testne mreže i servere, razvojne platforme, *back-up* sisteme, štampače, pristupne bežične tačke itd. To je možda najlakši koncept za razumijevanje ali je ujedno i najzahtjevniji za korisnike da počnu da ga prihvataju. Kao interesantno rješenje za promjenu navika može se uzeti slučaj realizovan od strane jedne kompanije u kojoj je naglašeno svim zaposlenima da su im mjesečni bonusi usko povezani sa troškovima el. energije. Takođe, postavljeni su natpisi na svim potrošačima sa porukom "*Zapamtite svoj bonus!!!*".

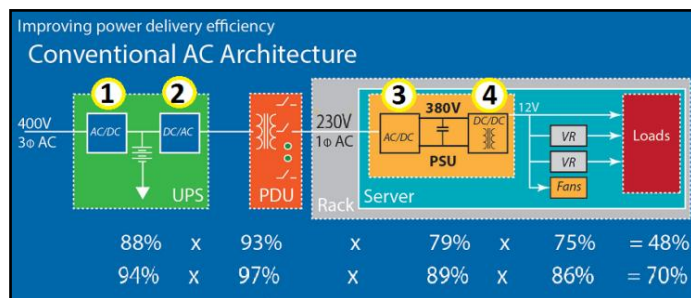
3.4 Poboljšanje energetske efikasnosti pri distribuciji električne energije u data centru

Distribucija el. energije u data centrima obično se sastoji od sistema prekidača, *backup* generatora, UPS-eva, jedinice za distribuciju energije (*Power Distribution Unit* - PDU), opreme za napajanje uređaja i jedinice za napajanje servera (*Power Supply Unit* - PSU). Sve ove cjeline tokom konverzije energije ne samo da stvaraju gubitke, već i oslobađaju toplotu, što predstavlja dodatno opterećenje za sistem hlađenja. Pažljivim odabirom i adekvatnim opterećenjem pomenutih komponenti može se značajno povećati efikasnost rada data centara.

Zahvaljujući naponu u EU od 400/230V, za razliku od nekih drugih dijelova svijeta (SAD, Japan itd.), izbjegnuta je potreba za jedinicom za distribuciju energije a samim tim i njeni potencijalni gubici, jer napon ispunjava standarde napajanja serverskog PSU (90–264 VAC).

Činjenica da ICT oprema predstavlja niskonaponske DC uređaje a napajanje sa mreže visokonaponsku naizmjeničnu struju rezultira potrebom za njenim višestrukim pretvaranjem.

Na slici 3.15 je prikazana uobičajena arhitektura napajanja u današnjim data centrima. Ono što se na prvi pogled primjećuje su sigurno 4 koraka konverzije el. energije. Prva dva koraka konverzije se odnose na konverziju AC-DC-AC unutar UPS sistema u cilju eliminacije promjena napona i harmonijskih distorzija kod AC napajanja. Sledeće dvije konverzije odvijaju se unutar serverskih PSU jedinica. U prvom slučaju radi se o visokonaponskoj AC-DC konverziji, a zatim o DC-DC konverziji pri kojoj se visoki DC napon pretvara u niski DC napon (3.3V, 5V ili 12V) potreban za rad serverskih komponenti.



Slika 3.15 Efikasnost 400VAC arhitekture [67]

Svaki od navedenih koraka unosi određene gubitke pri konverziji i uz to, neminovno, oslobađa toplotu. Na kraju ukupan rezultat iznosi 70% efikasnosti pri maksimalnom opterećenju i pri odabiru najkvalitetnijih i energetske najefikasnijih komponenti.

Međutim, pri upotrebi komponenti koje su uobičajene u današnjem data centru ovaj rezultat iznosi samo 48%. Ako bi se išlo korak dalje i računala efikasnost pri opterećenju od uobičajenih 25%, ovaj rezultat bi sigurno bio poražavajući.

Obećavajuća *green* rješenja poboljšanja energetske efikasnosti pri distribuciji el. energije u data centru predstavljaju visoko efikasni izvori napajanja, UPS-evi novije generacije, rotacioni *Flywheel* UPS-evi, zatim jednosmjerni sistemi napajanja koristeći 380 VDC itd. Međutim, većina rješenja koja nude istraživači, još se ne koriste u dovoljnoj mjeri u data centrima.

3.4.1 Neprekidni sistem napajanja (UPS)

Sveprisutni UPS sistemi mogu koristiti do 18% energije u data centru i rangirani su kao treći na listi potrošača [68]. Izazov predstavlja, naravno, činjenica da ICT oprema zahtijeva čisto kontinualno napajanje. UPS tipično kombinuje tri funkcije u jedan sistem:

- Prvo, on sadrži preklopni prekidač sa kojim se vrši odabir aktivnog napajanja (bilo iz distributivne mreže bilo od generatora). Nakon nestanka energije preklopni prekidač detektuje kada je generator startovan i spreman da isporuči energiju; uobičajeno potrebno mu je oko 10-15s da se pokrene i dobije puno nominalno opterećenje.
- Drugo, UPS sadrži neki oblik uskladištene energije (električne ili mehaničke) da bi premostio vrijeme između otkaza u napajanju i raspoloživosti generatora.
- Treće, UPS dovodi u željeno stanje energiju sa mreže, uklanjajući skokove i padove napona ili harmonijske distorzije kod AC napajanja. Ovo se, naravno, postiže pomoću

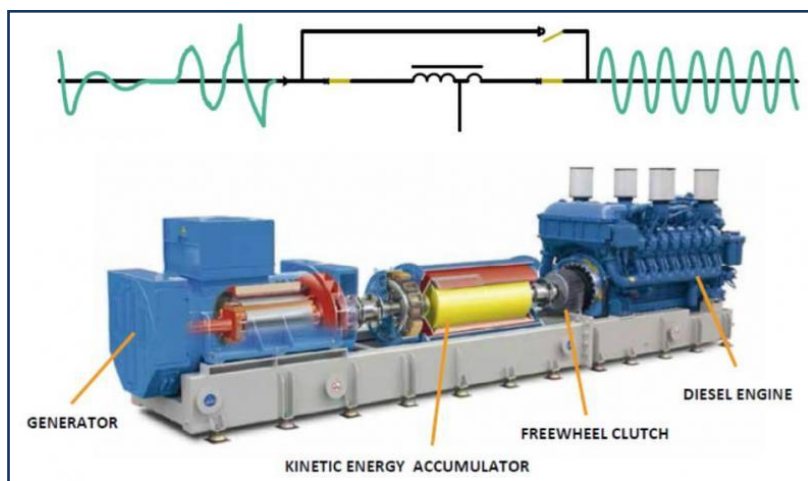
dvostruke konverzije. Tradicionalna arhitektura dvostruke konverzije je gabaritna i neefikasna, pretvarajući pritom veliki dio energije u toplotu.

Danas prepoznajemo da UPS sistemi pored potrošnje el. energije stvaraju i niz izazova:

- UPS-evi mogu generisati ogromnu toplotu i ne bi trebalo da su locirani u dijelu data centra zajedno sa ICT opremom;
- Baterije imaju ograničen životni vijek od 5-7 godina i predstavljaju izazov za odlaganje opasnog otpada;
- UPS-evi su tradicionalno znatno predimenzionisani u pokušaju da obezbijede dovoljan trenutni i budući kapacitet rasta;

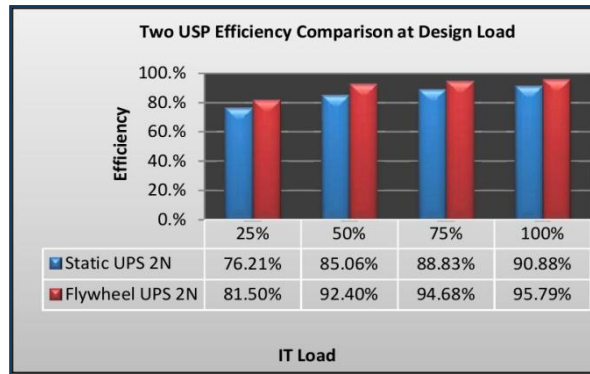
UPS sistemi pružaju backup napajanje za data centar i obično se sastoje od pretvarača i grupe baterija, ali mogu biti dizajnirani i sa rotacionim mašinama, gorivnim ćelijama itd. Trenutno najviše dominiraju UPS-evi dvostruke konverzije (AC-DC-AC), koji, u cilju obezbjeđenja prethodne tri funkcije, su veoma energetske neefikasni. Njihova neefikasnost se posebno ispoljava pri djelimičnom opterećenju nominalnog kapaciteta ispod 25% što je i uobičajen slučaj pri radu data centara [70]. Izbjegavanjem jednog centralnog UPS sistema i primjenom više manjih može se postići veća efikasnost kod ove vrste UPS sistema, koju je zatim moguće dodatno poboljšati pri konsolidaciji servera.

Kao efikasnije rješenje i energetske održivije nameće se rotacioni *Flywheel* UPS sistem. Ovaj sistem (slika 3.16) sadrži električni motor koji pokreće alternatorski sklop koji tokom normalnog rada ima ulogu filtera koji poništava sve smetnje u napajanju sa mreže uklanjajući skokove i padove napona ili harmonijske distorzije. Za vrijeme ispada el. energije, preko kvačila, startuje se dizel motor.



Slika 3.16 *Flywheel* UPS sistem [69]

U uporednoj analizi *Flywheel* sistema i statičkog UPS sistema dvostruke konverzije prikazanoj na slici 3.17 dobijeni su sledeći podaci: pri djelimičnom opterećenju od 25% izmjerene vrijednosti su 81 i 76% na stranu *Flywheel*-a, dok pri nominalnom opterećenju od 100% efikasnost kod *Flywheel*-a je preko 95%, a kod UPS sistema dvostruke konverzije 90% [70].



Slika 3.17 Poređenje između dvije tehnologije pri predviđenom opterećenju [70]

Neke od značajnih prednosti *Flywheel* sistema nad ostalim sistemima su:

- Ne zahtijevaju baterije za skladištenje energije i samim tim smanjuju količinu potencijalnog hemijskog otpada;
- Zahtijevaju do 60% manji smještajni kapacitet, nema potrebe za posebnom prostorijom za *back-up* agregat ili baterije;
- Ne postoji generisanje toplote u prostoriji sa ICT opremom kao kod tradicionalnih sistema čime je sistem za hlađenje rasterećeniji;
- Moguće uštede energije i uštede troškova održavanja na duži period su ogromne. Ukoliko se uzme u obzir 10 MW sistem, za period od 20 godina tj. koliko iznosi životni vijek *Flywheel* sistema, uštede bi iznosile preko 20 miliona dolara [71].

Kao još naprednija varijanta razvijen je lebdeći magnetni *Flywheel* sistem od karbonskih vlakana koji ne koristi eksternu vakumsku pumpu, nema mehaničkih ležajeva i koristi 90% manje energije pri svom radu nego ostali *Flywheel* sistemi na tržištu [71].

Zapaženi izvještaji dolaze od strane Google-ovih inženjera tj. njihove *Floating battery* arhitekture. U ovom sistemu baterije se postavljaju na izlaznoj strani serverskog AC/DC napajanja te tako zahtijevaju samo mali pobudni napon i jednostavno prekidačko kolo. Ovi sistemi su demonstrirali efikasnost koja prelazi 99% [72].

3.4.2 Jedinica za napajanje servera

Zadatak PSU se ogleda u napajanju serverskih komponenti (CPU, ventilatori, memorije itd.) energijom, pretvaranjem visokog AC napona u niski DC napon (3.3V, 5V ili 12V). Energetska efikasnost PSU uglavnom zavisi od njegovog opterećenja, temperature, broja električnih kola itd., te energija mora proći mnoge faze konverzije. Upravo konverzija ulaznih 230VAC na različite niske jednosmjernje napone dovode do neefikasnosti.

Činjenica je da jedinica za napajanje servera (PSU) spada među najneefikasnije komponente u današnjim data centrima, kao i da se mnogi serveri i dalje isporučuju sa niskom kvalitetnim napajanjima koja funkcionišu sa efikasnošću od samo 60–70% u cilju redukcije inicijalnih troškova [73]. Iznenadujuće je da preko 30 procenata bude izgubljeno u PSU tokom konverzije energije a da pri tom energija još nije ni dospjela do računarskih komponenti. Ono što dodatno umanjuje efikasnost je činjenica da mnogi serveri zbog

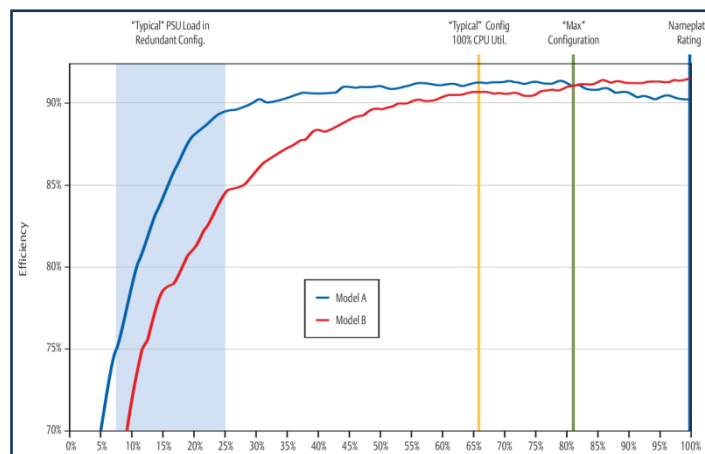
redundantnosti imaju 2 PSU čime su oni pojedinačno još manje opterećeni a time i neefikasniji.

Ovaj problem može biti adresiran na dva načina. Očigledno rješenje svakako predstavlja zamjena svih PSU sa ekvivalentnim energetski efikasnijim napajanjima poput *Energy Star* koja garantuju minimum 80% efikasnosti pri bilo kom opterećenju [74]. Ovo bi dovelo do povećanja inicijalnih troškova, međutim, moguće uštede energije brzo bi ih anulirale. Na primjer, ako PSU funkcioniše sa 60% efikasnosti a potrebno je da isporuči stvarnih 0.4 kW on će utrošiti 0.56 kWh el. energije, dok kod PSU sa 85% efikasnosti potrebno je samo 0.46 kWh el. energije. Dakle, potencijalna ušteda sa samo jednim PSU iznosi 0.1 kWh.

Drugo rješenje predstavlja smanjenje broja PSU jedinica. Na primjer pri implementaciji *blade* servera u kućištu može biti od 3 do 6 PSU koje mogu obezbijediti napajanje za 10 do 20 *blade* servera. Na ovaj način smanjuju se gubici pri konverziji koji se dešavaju kada svaki server ima svoje zasebno napajanje.

Kao dodatno unapređenje u oba slučaja mogao bi se razviti algoritam koji bi konsolidacijom servera pri virtuelizaciji vodio računa da se opterete oni rek ormari tj. njihova napajanja (i/ili UPS sistemi) koja su u tom trenutku najbliža nominalnom opterećenju.

Kao i kod drugih sistema kod data centara, i efikasnost PSU takođe varira u zavisnosti od opterećenja. U cilju poboljšanja efikasnosti i obezbjeđenja većeg i efikasnijeg faktora opterećenja, pri odabiru serverskog PSU veoma je bitno da mu nominalna snaga ne prelazi previše stvarne potrebe servera, i da menadžeri zaduženi za razvoj data centara ne upadaju u zamku predimenzionisanja nominalnih kapaciteta opreme. Na slici 3.18 prikazana je efikasnost dva različita PSU modela pri različitim opterećenjima.



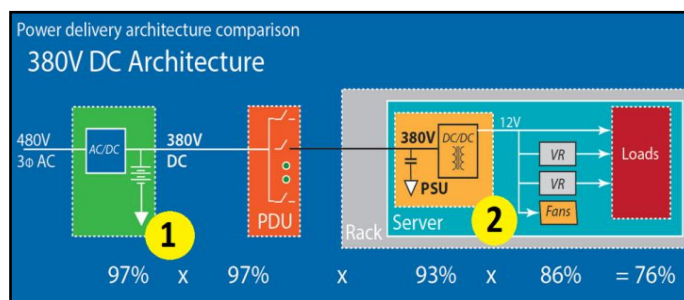
Slika 3.18 Prikaz efikasnosti i predimenzionisanja PSU [58]

Uočava se da pri djelimičnom opterećenju od 20%, model A je efikasniji od modela B (88% naspram 82%), što je naročito važno kod uređaja sa redundantnim napajanjima. Takođe, uočava se i mogućnost povećanja efikasnosti dimenzionisanjem snage PSU bliže stvarnom opterećenju. Primjećuje se da je maksimalna konfiguracija oko 80% nominalnog kapaciteta dok je tipična konfiguracija oko 67%. Proizvođači servera bi trebali omogućiti kupcima da izaberu snagu PSU shodno tipičnoj ili maksimalnoj konfiguraciji.

3.4.3 Sistem napajanja jednosmjernom strujom (DC)

Sledeće moguće rješenje predstavlja upotreba 380 VDC sistema koji pokazuje poboljšanje od 5-8% u odnosu na najbolji u klasi AC sistem [75].

Naime, 380 VDC sistem napajanja je energetski efikasniji jer postoje samo dva koraka pri pretvaranju energije na putu do ICT opreme. U poređenju sa UPS-om dvostruke konverzije, DC sistemi eliminišu završni korak inverzije UPS-a i korak ponovnog pretvaranja AC u DC na ulazu u PSU, te su kao takvi pouzdaniji jer ne postoji pretvarač napajanja između baterija i ICT opreme (slika 3.19).



Slika 3.19 Efikasnost kod DC sistema napajanja [67]

DC sistemi osim poboljšanja efikasnosti i povećanja pouzdanosti sa smanjenim brojem komponenti omogućavaju i lakšu integraciju obnovljivih izvora energije u sisteme DC napajanja. Obnovljivi izvori energije (solarni paneli, gorivne ćelije i vjetroturbine) izvorno daju jednosmjerni napon te ih je na taj način lako integrisati u arhitekturu distribucije DC el. energije [76].

Kada se govori o solarnoj energiji, Sunce je jedini neiscrpni izvor energije koji čovjeku stoji na raspolaganju. Energija koju ono neprestano zrači na površinu Zemlje tokom jednog dana mogla bi da zadovolji čovjekove potrebe za energijom za oko 180 godina. Govoreći u brojkama, dnevno na Zemlju stigne sa Sunca oko 960 biliona kW energije (960.000.000.000.000 kW), odnosno oko 1.36 kW/m². Od te energije oko 30% se gubi kroz atmosferu usled refleksije, difuznog rasipanja i apsorpcije, tako da se na Zemljinu površinu dozrači u prosjeku oko 1 kW/m² [61].

DC oprema je dostupna na tržištu, ali troškovi su trenutno veći od slične AC opreme.

Naposletku, gubici energije od 1-3% mogu nastati u niskonaponskim rek kablovima jer veliki data centri mogu imati podignute podove dužine preko 100 m, tako da kablovi za napajanje mogu biti prilično dugi [77].

3.5 Poboljšanje energetske efikasnosti sistema za hlađenje data centra

Razni nedostaci u pogledu dizajna i konfiguracije, koje većina data centara posjeduje, sprečavaju ih da dostignu svoj mogući kapacitet hlađenja i isporuče hladan vazduh tamo gdje je potreban. Ovi problemi uglavnom ostaju neprepoznati zbog nedovoljnog opterećenja

servera u data centrima koji tada funkcionišu sa potrošnjom energije ispod svojih nominalnih vrijednosti.

Međutim, novija generacija ICT opreme povećava stepen obrade podataka po kvadratnom metru i povećava produktivnosti po kW, što rezultira povećanjem gustine servera po rek ormaru (npr. *blade* serveri). S tim u vezi dolazi do testiranja kapaciteta sistema za hlađenje i do pojave vrelih tačaka što dovodi data centre do same granice dizajna i otkriva da mnogi data centri nisu u mogućnosti obezbijediti efikasno hlađenje.

Sistem za hlađenje doprinosi približnoj potrošnji el. energije kao i ICT oprema unutar data centra [57], dok su gubici pri hlađenju tri puta veći od gubitaka pri distribuciji el. energije. Ukoliko bi svi gubici u sistemu za hlađenje bili eliminisani, PUE bi se spustio na 1.26, dok bi UPS sistem sa nultim gubicima rezultirao sa PUE vrijednošću od 1.8 [77]. Tipično, veća vrijednost PUE kod data centra ukazuje na lošiji tj. neefikasniji sistem za hlađenje.

Dakle, oblast koja pruža najbolje mogućnosti za poboljšanje energetske efikasnosti data centara, predstavljaju sistemi za hlađenje.

Rashladni sistem mora biti dizajniran za rad pri najgorim uslovima sa maksimalnom spoljašnjom temperaturom i pri punom opterećenju data centra. Hlađenje kao najveći potrošač ne-korisne energije u data centru zahtijeva posebnu pažnju i adresiranje u cilju uštede energije.

Pronalaskom načina za oslobađanje manje toplote od strane ICT komponenti, rezultiralo bi i manjom količinom toplote sa kojom se mora nositi sistem za hlađenje. Takođe, neka istraživanja su pokazala da neujednačena temperatura u data centrima takođe može dovesti do značajnog pada pouzdanosti ICT sistema [74], što je čest slučaj posebno karakterističan kod sistema sa vazдушnim hlađenjem. U potrazi za efikasnijim sistemom za hlađenje, imperativ je da data centar funkcioniše na odgovarajućoj temperaturi. Sam raspored opreme unutar data centra takođe utiče na povećanje potrošnje energije, tj. na opterećenje sistema za hlađenje.

Sistemi za hlađenje se grubo dijele na sisteme vazdušnog hlađenja i sisteme hladene tečnošću uključujući različite podsisteme i medijume za odvođenje toplote.

3.5.1 Vazdušno hlađenje

Dok je hlađenje tečnošću efikasnije za velike data centre, vazdušno hlađenje je dovoljno za one manjih dimenzija, ili one s značajno manjom količinom toplote koju je potrebno ukloniti. Dakle, mnogo zavisi od poboljšanja rada same ICT opreme; ako se uspije smanjiti toplota koju oslobađa ICT oprema do nivoa koji je prihvatljiv za ovakav sistem, biće moguća nabavka značajno jeftinijeg sistema za hlađenje.

Vazdušno hlađenje se uveliko upotrebljava u data centrima. Vazduh veoma lako cirkuliše direktno kroz prostor koji sadrži opremu, te na taj način može biti medijum za odvođenje toplote sa servera [78]. Naime, toplota se izvlači ventilatorima a zatim se prebacuje u jedinicu za hlađenje - *Computer Room Air Conditioning* (CRAC) i na kraju oslobađa u

okolni prostor. CRAC jedinice su ključne komponente hlađenja zadužene za praćenje i održavanje temperature, distribuciju vazduha i vlage u data centru.

Oprema za hlađenje mora biti postavljena što je bliže moguće izvoru toplote, jer na ovaj način se redukuje količina potrebne energije za cirkulisanje vazduha.

Tipični data centar hlađen vazduhom sa konfiguracijom rek ormara u toplo-hladnim prolazima ima PUE oko 2.4. Veoma efikasan data centar može spustiti ovu vrijednost na 2 ili čak niže dok neki namjenski data centri mogu ostvariti PUE od 1.75 ili čak niže [104].

Poboljšanje ovog sistema može se ostvariti korišćenjem spoljašnjeg vazduha (*free cooling*) tokom određenih godišnjih doba i doba dana za određene geografske lokacije, zatim primjenom tehnologija sa promjenljivim kapacitetom (kompresori, ventilatori), izbjegavanje predimenzionisanja CRAC jedinice itd. Svi predlozi omogućavaju redukovanu upotrebu CRAC jedinice u data centru.

3.5.1.1 Free cooling ili ekonomizacija sa slobodnim hlađenjem

Ekonomizacija je uvođenje spoljašnjeg vazduha u cilju hlađenja data centara. Prednosti ekonomizacije su jednostavne - zašto koristiti klima uređaj ako već postoji neograničen izvor spoljašnjeg hladnog vazduha. Za neke data centre ekonomizacija je moguća tokom noći kada je spoljašnja temperatura dovoljno niska, zatim tokom određenih djelova godine ili čak tokom čitave godine. Moguće poboljšanje energetske efikasnosti iznosi od 30 do 50% u zavisnosti od prosječne temperature i relativne vlažnosti lokacije gdje se nalazi data centar [79].

Mnoge lokacije širom svijeta omogućavaju upotrebu spoljašnjeg vazduha do 50% ukupnih radnih sati u data centru tokom godine, shodno preporukama ASHRAE i opsegu od 18-27°C [80]. Ovo je svakako *green* tehnika koja postiže značajne energetske uštede i smanjenje emisije CO₂. Postoji nekoliko različitih tehnika ekonomizacije, ali su postale standard sledeće dvije: *air-side* ekonomizacija i *refrigerant* ekonomizacija.

Air-side ekonomizacija funkcioniše na principu ubacivanja filtriranog spoljašnjeg vazduha tokom zimskih mjeseci, direktno u data centar bez potrebe za korišćenjem rashladnog sistema. Pogodna radna temperatura u data centru postiže se miješanjem sa toplim vazduhom koji oslobađa ICT oprema. Glavni nedostaci ovog sistema predstavljaju zavisnost od kvaliteta vazduha i filtera (zbog mogućih nečistoća koje mogu završiti u data centru), kao i vlažnosti spoljašnjeg vazduha (koja može biti izvan dopuštenih granica za ICT opremu). Upravo vlažnost je od presudnog značaja iako u nekim slučajevima spoljašnja temperatura može biti prihvatljiva za implementaciju ovog sistema.

Liquid-side ekonomizacija funkcioniše tako što tečnost za hlađenje zaobilazi kompresor na putu ka kondenzatoru koji se nalazi izvan data centra. Energija koja bi bila potrebna za rad kompresora je ona koja može biti uštedena. Ova metoda naziva se i zatvorena jer sprečava direktno izlaganje kontrolisane sredine u data centru sa nekontrolisanom spoljašnjom sredinom. Ova vrsta ekonomizacije zahtijeva namjenski izgrađen klima uređaj.

Upotreba ekonomizacije je veoma interesantna i predstavlja jedan od razloga zašto neke kompanije postavljaju svoje data centre u hladnijim oblastima.

Najefikasniji primjer hlađenja data centra vazduhom (doduše u kombinaciji sa vodom) nalazi se u SAD-u. Krov objekta u jednoj od najtoplijih pustinskih lokacija u SAD, sa ljetnim temperaturama koje dostižu 49°C, je dom velikog eBay projekta - Mercury data centra (slika 3.20). Kontejneri su dizajnirani da izdrže direktno izlaganje suncu pri temperaturi od 50°C dok za hlađenje koriste *free cooling* spoljašnjim vazduhom ili toplu vodu. Sa procijenjenih raspoloživih 6.000 časova besplatnog vazdušnog hlađenja godišnje, voda može biti isporučena na 31°C tokom čitave godine bez upotrebe hladnjaka a zabilježene PUE vrijednosti iznose 1.35 [81].



Slika 3.20 eBay Projekat Mercury [81]

3.5.1.2 Primjena tehnologija sa promjenljivim kapacitetom (kompresori, ventilatori)

Opterećenje sistema za hlađenje gotovo nikada nije statično i jedan od izazova koje sistemi za hlađenje data centara moraju adresirati je efikasan rad pri djelimičnom opterećenju. Uvođenje kompresora promjenjivog kapaciteta predstavljala ogroman korak naprijed tako da CRAC jedinice koje ne koriste ovakve kompresore treba posmatrati kao glavne kandidate za nadogradnju.

Drugu priliku za primjenu tehnologije promjenjivog kapaciteta predstavljaju ventilatori sistema za hlađenje. Zamjenom ventilatora konstantne brzine sa ekvivalentnim promjenljive brzine koji mogu povećati tj. smanjiti količinu vazduha shodno trenutnim potrebama u data centru, efikasnost može biti znatno poboljšana. Smanjenje brzine za 20% rezultira uštedom energije za skoro 50% [106].

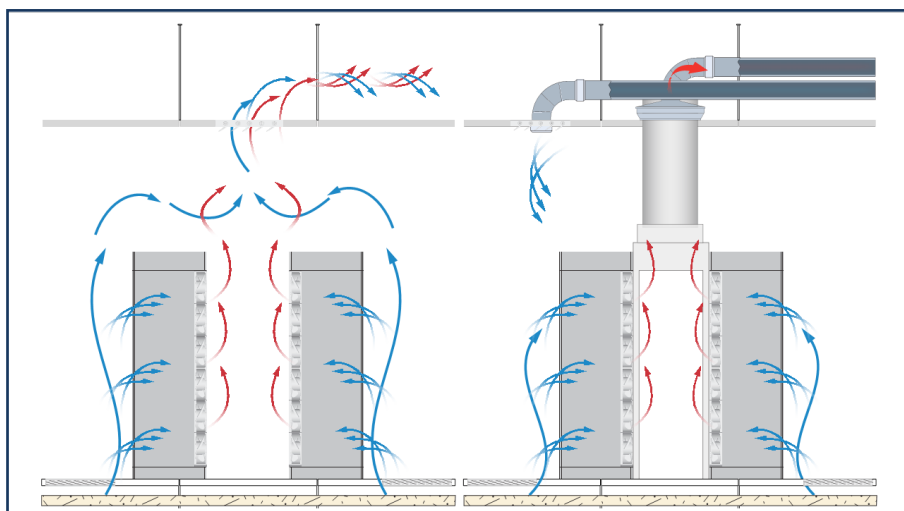
3.5.1.3 Predimenzionisanje CRAC sistema

Čest je slučaj da su prostorije dizajnirane da odgovore najvećim i najtežim zahtjevima po pitanju ICT opreme. S tim u vezi inženjeri prilikom projekcije data centara predimenzionišu stvarne potrebe da bi se osigurali u cilju obezbjeđenja neprekidnosti funkcionisanja data centra. Po pravilu većinom se vode sljedećim faktorima pri proračunu sistema za hlađenje:

- ukupna snaga ICT opreme koju je potrebno ohladiti,
- da li postoje prozori ili krov na data centru zbog uticaja sunca,
- predimenzionisanje sistema zbog redundantnosti,
- predimenzionisanje sistema zbog budućih potreba.

Naime, prema statistici zapremina vazduha potrebnog za hlađenje 1 kW *rack-mounted* servera iznosi 160 CFM (271.84 m³/h).

Ipak, najefikasniji i najjednostavniji način poboljšanja energetske efikasnosti ovog sistema jeste onemogućavanje miješanja toplog i hladnog vazduha (slika 3.21). Veoma je važno da vazduh hladi vruću opremu a ne cijelu prostoriju. Moguće rješenje u cilju stroge izolacije hladnih od vrućih djelova prostorije je upotreba PVC barijera koje su veoma praktične, lako se montiraju i ostvaruju uštede energije do 15% jer smanjuju efekat recirkulisanja toplog vazduha [82].



Slika 3.21 Uobičajeni toplo/hladni prolazi (lijevo) i izolovani toplo/hladni prolazi (desno) [73]

Ovo će omogućiti da temperatura vazduha na dovodu tj. na hladnom prolazu bude između 28 i 32°C, a povratna temperatura vazduha u toplom prolazu između 37 i 39°C [83].

Međutim, nedostaci vazdušnog hlađenja koji sve više usmjeravaju pažnju na alternativne sisteme su [84], [98]:

- Vazduh je veoma loš provodnik toplote;
- Potrebni su široki kanali za usmjeravanje vazduha ka rek ormarima;
- Ventilatori troše veliku količinu energije, stvaraju buku preko 80 db i uvlače prašinu i druge nečistoće unutar serverskih kućišta;
- Efikasno hlade samo područja preko kojih se vazduh može nesmetano kretati.
- Teško je postići PUE ispod 1.7;
- Nejednaka cirkulacija vazduha;
- Problemi pri odvođenju toplote sa potrošnjom preko 16 kWh po reku.

Prema Moore-ovom zakonu, sistemi hlađenja zasnovani na vazduhu neće moći još dugo efikasno da se nose sa toplotom generisanom od strane ICT opreme, tako da čak ni *free cooling* spoljašnjim vazduhom neće predstavljati rješenje [85]. Upravo zato velike kompanije poput Microsofta, Google i Amazona, u poslednje vrijeme, naročito vrednuju hlađenje tečnošću velikih data centara.

3.5.2 Hlađenje tečnošću

Kada serverski ormari oslobađaju mnogo veću toplotu nego što to vazdušno hlađenje može podržati, na scenu stupa hlađenje tečnošću. Tečnost sama po sebi zbog svoje veće gustine i specifične toplote, efikasnije odvodi toplotu od vazduha [86].

Interesovanje za ove sisteme rapidno raste, a djelimično je i uslovljeno činjenicom da je tečnost ekstremno efikasna u odvođenju toplote. Zapravo litar vode može apsorbovati oko 4000 puta više toplote nego ista zapremina vazduha [87]. Postoje različite mogućnosti za upotrebu sistema za hlađenje tečnošću i to ne samo na nivou data centra već i na nivou rek ormara, nivou kućišta ili čak na nivou samih komponenti. Iako su troškovi implementacije veći nego kod sistema hlađenih vazduhom, uštede su ostvarene u vidu manje potrošnje energije i povećanom kapacitetu data centra.

Mnogi postojeći data centri su hlađeni vazduhom ali trendovi su suštinski usmjereni ka sistemima hlađenih vodom, posebno onih sa hlađenjem izvedenim unutar rek ormara.

3.5.2.1 Direktno vodeno hlađenje

Tehnologija koja sve više dobija na popularnosti je direktno hlađenje koristeći vodu ili druge rashladne tečnosti. Ideja kod direktnog hlađenja se ogleda u tome da se hlađenje obavlja što je moguće bliže izvoru toplote kako bi se povećala efikasnost hlađenja (slika 3.22). Ova tehnologija se može koristiti za značajno smanjenje potrošnje energije po rek ormaru.



Slika 3.22 Prikaz direktnog vodenog hlađenja [88]

Povećavanjem efikasnosti, može se ukloniti više toplote primjenom iste ili manje količine energije. Direktno vodeno hlađenje procesora i memorije može ukloniti od 78% do 85% toplote generisane od strane servera u toku rada [89]. Efikasnije odvođenje toplote omogućava proširenje broja servera u postojećim prostornim kapacitetima. Postoji više odličnih primjera koji potvrđuju efikasnost ovog sistema hlađenja gdje neki prikazuju potrošnju manju za 45% nego što je to slučaj kod data centara tradicionalno hlađenih vazduhom [90].

Eksperimentalna mjerenja kod sistema koji kao efikasno rješenje za odvođenje toplote sa ICT opreme, koristi ambijentalne suve hladnjake, pokazuju smanjenje potrošnje energije potrebne za hlađenje data centra za čak 89% mjereno tokom četiri godišnja doba [91]. Koristi se voda sa temperaturom do 45°C.

Možda i najbolji primjer hlađenja toplom vodom predstavlja superkompjuter SuperMUC u Minhenu (slika 3.23) sa više od 241,000 jezgara, brzine preko 6.8 Petaflop/s.



Slika 3.23 SuperMUC Petascale data centar [88]

Obično voda koja se koristi u data centrima ima ulaznu temperaturu oko 16°C, a nakon izlaska iz sistema oko 20°C. Da bi se voda ohladila na 16°C potrebna je složena i energetska oprema za hlađenje. U isto vrijeme jedva da postoji mogućnost bilo kakve upotrebe vode od 20°C, jer kao takva previše je hladna da bi se mogla upotrijebiti u bilo kom tehničkom procesu [92].

SuperMUC koristi novi revolucionarni sistem direktnog hlađenja razvijen od strane IBM-a koji omogućava povećanje ulazne temperature vode na 40°C. Nije teško obezbijediti temperaturu vode do 40°C koristeći jednostavnu opremu za hlađenje, jer spoljašnja temperatura u Njemačkoj gotovo nikad ne prelazi 35°C. U isto vrijeme voda na izlazu postiže temperaturu do 70°C i kao takva može se ponovo upotrijebiti u drugim tehničkim procesima (npr. za zagrijavanje zgrada) [92]. SuperMUC ostvaruje uštede u troškovima za hlađenje u iznosu od milion eura na godišnjem nivou [93].

Dakle, tehnologija direktnog vodenog hlađenja može se koristiti za prilično smanjenje potrošnje energije.

Nova metoda, kao varijacija na tradicionalni sistem odvođenja toplote putem vode, koristi etapno hlađenje. Etapno hlađenje rješava probleme koji mogu nastati kod prethodnih sistema za hlađenje na bazi vode i mogućih neželjenih situacija u slučaju curenja vodovodnih spojnica i rizika od kontakta električne opreme sa vodom. Rashladna tečnost niskog pritiska omogućava jednostavniji fleksibilan vodovodni sistem u poređenju sa tradicionalnim sistemima većeg pritiska koji pri tom koriste manje energije za cirkulaciju rashladnog sredstva. Korištenjem rashladne tečnosti koja se pretvara u gasovito stanje pri izlaganju na sobnoj temperaturi, potencijalna curenja su svedena na minimum. Loša strana je da etapno hlađenje zahtijeva nove vodovodne instalacije [94]. Međutim, dobra strana je da se etapno hlađenje može koristiti bezbjednije kao podška CRAC sistemima.

3.5.2.2 Hlađenje potapanjem

Hlađenje potapanjem podrazumijeva redukciju toplote u hardveru kroz uranjanje u dielektričnu tečnost koja je toplotno provodna. Ova metoda se koristi skoro vijek u industriji

električnih transformatora, međutim, do nedavno sama dielektrična tečnost je bila veoma agresivna za elektronske komponente i veoma štetna po životnu sredinu. Hlađenje potapanjem kod elektronskih komponenti je predstavljeno još 1980-tih, ali troškovi i briga za bezbjednost bili su glavni ograničavajući faktori do današnjih dana.

Green Revolution Cooling (GRC) [95] je riješio ove probleme koristeći posebno mineralno ulje kao sredstvo za odvođenje toplote koje nije škodljivo za elektronske sklopove i koje je potpuno biorazgradivo. Iako mineralno ulje u poređenju sa vodom posjeduje samo 40% specifične toplote, ono je za razliku od nje električni izolator [96]. Zbog toga, serveri mogu biti potopljeni u ulju u cilju hlađenja. Osim GRC, prodavci poput 3M, Intel i SGI takođe nude ovaj tip sistema za data centre.

Prema [97] i [98] prednosti hlađenja potapanjem su mnogostruke:

- Poboljšanje pouzdanosti eliminacijom vrućih tačaka uzrokovanih neujednačenim protokom vazduha i otkazom ventilatora kod uobičajenih data centara;
- Uštede do 95% u energiji za hlađenje;
- Jednako efikasno i u toplim i vlažnim predjelima;
- Izmjerena PUE vrijednost od 1.03;
- Mogućnost hlađenja rek ormara snage do 45 KW;
- Potpuna eliminacija buke;
- Preko 15% manja potrošnja energije zbog eliminacije serverskih ventilatora i boljeg termalnog rukovanja;
- 25% manji troškovi ugradnje u poređenju sa tradicionalnim sistemima hlađenih vazduhom;
- Manje potrebe za prostorom, eventualna podrška većih servera i veće gustine data centara;
- Bezbednija zamjena djelova “na živo” u slučaju otkaza;
- Za razliku od sistema hlađenih vodom gdje postoji konstantna opasnost od mogućeg kontakta vode sa elektronskim sklopovima, ovdje to nije slučaj jer je sama tečnost dielektrik.

Zbog svih ovih karakteristika, hlađenje potapanjem bi moglo zamijeniti konvencionalne metode hlađenja vazduhom ili vodom. Jedini ograničavajući faktor predstavlja drugačiji razmještaj opreme od postojećih sistema jer su rek ormari postavljeni horizontalno u rezervoare. To uveliko ograničava njegovo usvajanje i dovodi do visokih inicijalnih troškova jer je potrebno odbacivanje postojeće infrastrukture i izgradnja nove (slika 3.24).



Slika 3.24 Serveri potopljeni u rashladnoj tečnosti [95]

3.5.2.3 Hlađenje potapanjem u morskoj vodi

Da li budućnost data centara leži pod morem? Polovina svjetske populacije živi na udaljenosti do 200 km od mora ili okeana. Ovo je činjenica koja je navela Microsoftove stručnjake da razmišljaju o besplatnom prirodnom hladnjaku za servere i data centre koji svake sekunde nepovratno gutaju ogromnu količinu el. energije potrebne za njihovo hlađenje. Ta udaljenost ne predstavlja problem da bi se takav jedan podvodni centar povezao sa korisnicima na kopnu.

Radi se o projektu kojim Microsoft planira svoje baze podataka, servere i ostalu opremu koja zahtijeva mnogo energije za hlađenje, smjestiti ispod površine vode čime će dobiti skoro besplatno hlađenje. Zavisno od lokacije, to će biti jezera, mora ili okeani. Na ovaj način kompanija planira da uštedi mnogo novca koji trenutno daje za energiju koja se rasipa prilikom hlađenja navedene opreme.

Dakle, već je izvršeno inicijalno tromječno testiranje data centra smještenog u čeličnu čauru promjera 2.4 m. Zatim je data centar uronjen na dubinu od 9 m i hlađen okolnom morskom vodom, prilikom čega su dobijeni savršeni rezultati hlađenja [99].

Održivi aspekt projekta na duže staze predstavlja ideja o povezivanju ovakvih data centara sa kopnom samo sa mrežnim kablom. Kompanija ima u planu razvoj programa kojim bi iskoristili hidrokinetičku energiju talasa ili plime za proizvodnju el. energije za napajanje uređaja, dok bi hlađenje u potpunosti bilo realizovano pomoću morske vode [85].

Poređenjem prethodnih sistema za hlađenje, hlađenje potapanjem izdvaja se kao najefikasnije i najodrživije rješenje sa najmanjom PUE vrijednošću (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Komparacija PUE vrijednosti sistema za hlađenje

Sistem za hlađenje	Prosječan PUE
Vazdušni	2.40 [104]
Tečnošću (voda)	1.35 [100]
Tečnošću (potapanjem)	1.03 [97]

3.6 Rasvjeta u data centru

Čest je slučaj da rasvjeta u data centrima gori neprestano. Relativno jeftini vremenski prekidači ili prekidači sa senzorima pokreta mogu riješiti nepotrebno rasipanje el. energije. Takođe, zamjena neonskih lampi sa LED lampama koje su već prisutne na svakom koraku, predstavlja moguću uštedu energije do čak 40%.

Vidljivost u data centru se može dodatno povećati i smanjiti sveukupni zahtjevi za osvjjetljenjem, upotrebom svjetlosno-reflektivnih bijelih rek kućišta umjesto crnih koji apsorbuju svjetlost.

3.7 Povećanje temperature data centara

Dugo se smatralo da IT oprema zahtijeva nisku ambijentalnu temperaturu, u opsegu između 15-21°C, da bi funkcionisala bez problema [101]. Međutim, za održavanje ovakve temperature u data centru potrebna je prilična energija, tako da se kao jedno od najnovijih *green* rješenja nameće - povećanje temperature data centara.

Neki od vodećih proizvođača servera udruženi sa ekspertima za energetska efikasnost data centara dijele mišljenje da data centri mogu funkcionisati pri daleko većim temperaturama nego što je to slučaj danas, bez ugrožavanja radne efikasnosti, i uz velike uštede vezane za troškove hlađenja i emisiju CO₂. Naravno ulazna temperatura vazduha trebala bi biti povećana, tek nakon detaljne analize mogućih implikacija za svaki komad opreme. Mnogi proizvođači opreme specificiraju temperaturu za svoju opremu od 32°C ili više, tako da postoji dovoljno prostora za njeno povećanje. Ako ne postoje prepreke za povećanje temperature, moguće je ostvariti velike uštede energije potrebne za rad kompresora, potencijalne uštede u kontroli vlage, a tu je i potencijalno povećanje broja sati za rad ekonomičnih režima rada [102]. Procjenjuje se da za svako povećanje ulazne temperature za jedan stepen moguće su uštede energije kod data centara od 2-4% [103].

Povećanje temperature predloženo u [77] preporučuje ulazne temperature od 25-30°C, umjesto 15-21°C. Veće temperature bi uveliko olakšale efikasno hlađenje data centara. Praktično nema servera ili mrežne opreme kojima je potrebna ulazna temperatura od 20°C, i nema dokaza da veće temperature uzrokuju češće otkaze komponenti.

3.8 Opšta rješenja za poboljšanje energetske efikasnosti

Postoji niz rješenja koja na indirektan način mogu dovesti do poboljšanja energetske efikasnosti kod data centara a koja ne pripadaju podjelama na konstitutivne podsisteme data centara. U nastavku će biti prikazana neka od njih.

3.8.1 Mjerenje efekata primjene rješenja za poboljšanje energetske efikasnosti

Kada je energetska efikasnost u pitanju, mnoge organizacije čak ni ne prave standardne ili stalne izvještaje o energetske efikasnosti, čak ni o računima o utrošenoj energiji. Takođe, ono što je veoma interesantno je činjenica da računari za utrošenu el. energiju ne dolaze na uvid do IT sektora tj. do ljudi zaduženih za data centar, već je to u nadležnosti drugih sektora u kompanijama od kojih se i ne očekuje da mogu pokrenuti inicijativu za poboljšanje energetske efikasnosti.

Dakle, pošto lica koja rukovode data centrom nemaju uvid u količinu utrošene el. energije, a samim tim nisu ni motivisana da smanje potrošnju el. energije, njihov učinak se ogleda u obezbjeđivanju neprekidnosti rada data centara, planiranju nabavke nove ICT opreme i sl. Kako bi se prebrodila ova situacija sektori unutar organizacija moraju razmjenjivati informacije u cilju mogućeg poboljšanja energetske efikasnosti. Na taj način

moгу dovesti do rješenja dva problema sa kojima se mnogi data centri danas susreću – loš inicijalni dizajn bez naglaska na energetske efikasnosti i loše svakodnevno praćenje potrošnje el. energije data centra.

Softver za vizuelizaciju nadomješta upravo te propuste, otkrivajući mogućnosti za unapređenje energetske efikasnosti koje bi inače bile propuštene. Ovi softveri ne zahtijevaju detaljne mape data centara da bi obezbijedili precizan, djelotvoran rezultat, već samo listu opreme koja je instalirana u data centru. Ovoj listi treba dodati i sve rashladne uređaje. Softver koristi ove informacije da bi napravio vizuelne šeme koje simuliraju korišćenje energije tokom cijele godine, čime se u obzir uzima i uticaj sezonskih, spoljašnjih varijacija temperature. Simulator takođe sugerise i sva unapređenja koja se mogu primijeniti, kao što je korišćenje različitih brzina hlađenja u klima uređajima, kao i potencijalne uticaje u smislu korišćenja energije u kilovat-satima. Jednostavnom predikcijom se može doći do ukupnog smanjenja troškova i emisije štetnih gasova. Studije slučaja potvrđuju da su ove simulacije u 98% slučajeva precizne [61].

3.8.2 Antistatički otirači i nepotrebna oprema unutar data centra

Vazduh unutar opreme trebao bi da funkcioniše bez prepreka. Na prepreke se najčešće misli na prašinu koja se lijepi za elektronske komponente i ventilatore unutar opreme. Rješenje predstavljaju antistatički ljepljivi otirači postavljeni na ulazu u data centar koji bi uklonili statički elektricitet sa posjetilaca i prljavštinu sa cipela. Takođe, data centar mora se redovno čistiti dok raspakivanje nove ICT opreme, unos kartona, hrane i pića mora biti zabranjen unutar njega.

Ne postoji razlog zbog kojeg bi se u data centru osim aktivne ICT opreme nalazili neki drugi predmeti. S tim u vezi ne treba ga koristiti kao skladište za druge materijale ili rezervnu ICT opremu. Više stvari u prostoriji znači veće opterećenje CRAC jedinice.

3.8.3 Anketiranje zaposlenih o poboljšanju energetske efikasnosti

U cilju uvida u nivo svijesti iz oblasti *green* tehnologija u nekoj kompaniji uvijek postoji mogućnost primjene ankete kao osnove za dalji rad. Tako npr. u predmetnom data centru izvršeno je anketiranje 11 lica koja su direktno ili indirektno uključena u rad predmetnog data centra. Anketa se sastojala od predloga koji bi oni inicirali za poboljšanje energetske efikasnosti na svom radnom mjestu. Najčešće predloženo rješenje je bilo zamjena svih sijalica sa efikasnijim LED osvetljenjem i instalacija solarnih panela kako bi se obezbijedila „zelena“ energija. Nije bilo pomena o nekim drugim metodama poput povećanja temperature, postavljanja energetski efikasnije opreme i mnogih drugih. Dakle, s tim u vezi potrebna je dodatna edukacija osoblja u data centrima iz oblasti *green* tehnologija u cilju promjene navika i prezentovanja koliko je važna uloga svakog od njih ponaosob. Možda kao dodatnu motivaciju iskoristiti ideju poput *“Turn it off”* kampanje postavljanjem poruka sa natpisom *“zapamtite svoj bonus”* gdje bi im mjesečni bonusi bili usko povezani sa troškovima el. energije.

4 ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE U DATA CENTRU

Činjenice koje su dovele do povećanja pažnje usmjerene na data centre i njihovog uticaja na životnu sredinu, vođene su potrebom za uštedom energije i smanjenjem operativnih troškova. Jedan od najvećih operativnih troškova u oblasti informacionih tehnologija su troškovi energije.

U ovom poglavlju biće izvršena kvalitativna i kvantitativna analiza potrošača u standardnom data centru koji se nalazi u Podgorici. Predmetni data centar je uobičajen ne samo za područje Crne Gore već i šire. Kao što je već ranije navedeno najneefikasniji potrošači su upravo data centri malih ili srednjih preduzeća gdje je energetska efikasnost često na niskom nivou.

Data centar je smješten u prostoriji sledećih dimenzija: dužina 3.8 m, širina 3.2 m, visina 2.70 m, površina 12.16 m² i zapremina 32.83 m³. Lokacija prostorije je u prizemlju sa jednim spoljašnjim zidom i u njoj su centralno postavljena 3 rek ormara.

4.1 Kvalitativna analiza potrošača

U predmetnom data centru postoje sledeći potrošači: ICT oprema, sistem za napajanje, sistem za hlađenje, rasvjeta i senzori za protivpožarnu zaštitu (koji imaju zanemarljivu potrošnju).

4.1.1 ICT oprema

Zbog sigurnosnog aspekta kompanije čiji je data centar predmet istraživanja, detaljan spisak ICT opreme nije moguće navesti. U globalu postoji više komada opreme poput servera, memorijskih jedinica, *firewall* uređaja, *gateway* uređaja, mrežnih svičeva i računara.

Uvidom u tehničku dokumentaciju ponaosob svakog komada ICT opreme u predmetnom data centru, sagledane su nominalne vrijednosti i estimirano da je njena ukupna snaga 7.1 kW. Međutim, ovo bi bila estimirana vrijednost pri maksimalnom opterećenju opreme, dok je stvarna situacija za nijansu drugačija. Zapravo, ovaj iznos je rijetko (ili nikada) postignut, jer većina proizvođača opreme, iz predostrožnosti, obezbjeđuje veći kapacitet za napajanja nego što oprema zapravo može konzumirati [104]. Takođe, iskorišćenost servera, shodno brojnim studijama, iznosi ispod 30%, a serveri i prilikom niskog stepena iskorišćenosti obično funkcionišu koristeći 70% svoje maksimalne snage [60]. Konačno, uobičajena praksa pri određivanju približne stvarne snage operativne opreme je smanjenje nominalnog kapaciteta za 40% [104]. U tom slučaju dolazi se do potrošnje ICT opreme u predmetnom data centru od približno 4.26 kWh.

4.1.2 Sistem napajanja u predmetnom data centru

U cilju obezbjeđivanja uslova za neprekidan rad predmetnog data centra, u sistemu napajanja postoji njegovo primarno i rezervno napajanje. Primarno napajanje predstavlja napajanje iz distributivne mreže elektroenergetskog sistema preko 400VAC. Napajanje se vrši sa jednog mjesta preko jednog voda za napajanje (ne postoji redundantni vod). U slučaju nestanka el. energije angažuje se rezervno napajanje za koje je zadužen dizel generator. Generator, koji se osim za napajanje data centra koristi i za napajanje ostalih potrošača u kompaniji, startuje se automatski po nestanku el. energije. Nakon nestanka el. energije potreban je kratak vremenski period (10s) da bi se generator pokrenuo, postigao nominalno opterećenje i postao spreman da isporuči energiju. Taj period premošćava se preko UPS sistema postavljenih u rek ormarima.

U svim rek ormarima postoje po 2 APC UPS sistema; jedan u aktivnom radu, dok je drugi postavljen zbog redundantnosti. Sami sistemi posjeduju LCD displeje na kojima je očitano njihovo radno opterećenje od 15% do 40%.

Zbog precizne analize potrošnje ICT opreme u data centru, gubici pri konverziji energije moraju se uzeti u obzir. Kao što je prikazano ranije, UPS sistemi dvostruke konverzije u data centrima rezultiraju uobičajenim opterećenjem od 25% i pri tome postižu efikasnost od 76%. Dakle, oko 24% energije je nepovratno izgubljeno pri konverziji tako da ni predmetni data centar ne odstupa od uobičajene prakse.

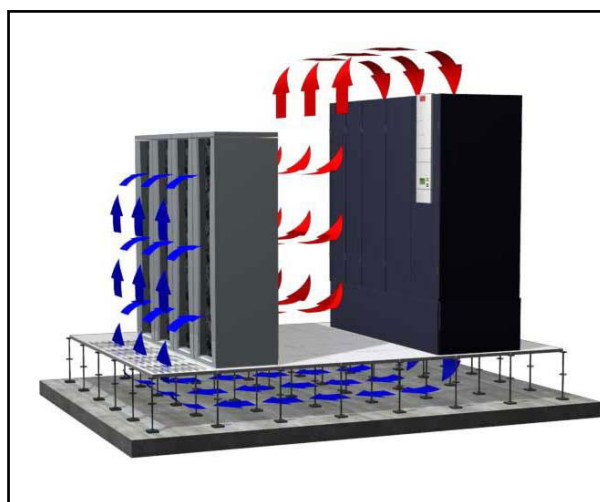
Takođe, postavljanje UPS sistema u sklopu rek ormara dodatno opterećuje sistem za hlađenje jer navedeni gubici pri konverziji energije predstavljaju upravo toplotu.

4.1.3 Sistem hlađenja u predmetnom data centru

Hlađenje i klimatizacija data centra treba da obezbijedi adekvatnu temperaturu, vlažnost ambijenta i uklanjanje mikro čestica. Redundantnost je svakako važan dio rješenja. Dimenzionisanje sistema za hlađenje se vrši na osnovu opreme koja se instalira i predviđene dinamike razvoja data centra.

Sistem hlađenja je vazdušni sa dvije CRAC jedinice marke "UNIFLAIIR Amico 0601a-sda". Dvije jedinice postoje u sistemu u cilju redundantnosti u slučaju otkaza. Pri uobičajenom radu uvijek je jedna jedinica u pasivnom modu dok je druga aktivna. Jednom sedmično vrši se automatsko prebacivanje jedinica iz aktivnog u pasivni mod u cilju kondiciranja sistema i ravnomjernog opterećenja jedinica. Takođe postoji mogućnost pri ekstremnim uslovima aktiviranja obje jedinice istovremeno što u dosadašnjem radu nije evidentirano.

Jedinice su smještene na kraju prostorije, a vazduh do servera se ubacuje putem podignutog poda (slika 4.1).



Slika 4.1 Toplo hladna zona i podignuti pod [105]

Svaka od jedinica sistema za hlađenje ima sledeće glavne karakteristike (tabela 4.1):

Tabela 4.1 Karakteristike sistema za hlađenje [119]

Total / sensible cooling capacity (max)	18.1 / 16.3 kW
Total / sensible cooling capacity (min)	16.9 / 12.8 kW
Air flow (max)	4940 m ³ /h
Air flow (min)	3020 m ³ /h
Total power absorption	8.6 kW
Compressor power absorption	5.5 kW
Electric humidifier	2.2 kW
Fan unit	0.9 kW

U cilju boljeg razumijevanja cjelokupne potrošnje sistema za hlađenje u predmetnom data centru u tabeli br. 4.1 navedeni su svi segmenti koji doprinose njegovoj potrošnji iz sledećih razloga:

- Kompresor sa svojom potrošnjom je najzaslužniji za ukupnu potrošnju sistema za hlađenje. Spoljašnji uslovi, kao faktori koji se mijenjaju sa vremenom, doprinose njegovoj potrošnji od 5.5 kWh. Prvenstveno se misli na sunčevu svjetlost, brzinu vjetra i ono najvažnije - spoljašnju temperaturu. Takođe toplotna izolacija prostorije, zatim unutrašnja temperatura kao i opterećenje ICT komponenti doprinose ukupnoj potrošnji kompresora. Radi se o kompresoru sa konstantnom brzinom tj. potrošnjom što je važno naglasiti u cilju precizne estimacije potrošnje shodno radnim satima u nastavku.
- Pored odvođenja toplote, sistem za hlađenje je dizajniran i za kontrolu vlažnosti. Visok procenat vlažnosti može dovesti do korozije na elektronskim komponentama dok nizak nivo može prouzrokovati probleme sa statičkim elektricitetom. U idealnom slučaju, kada je postignuta željena vlažnost, sistem funkcioniše sa konstantnom količinom vlage u vazduhu i nema potrebe za aktiviranjem *Humidifier*-a. Nažalost, u većini sistema dolazi do značajne kondenzacije vodene pare što za posledicu ima

gubitak vlage. Potrošnja *Humidifier*-a u predmetnom data centru je evidentna samo u zimskim mjesecima kada je potrebna dodatna vlažnost u data centru, dok u ostalom dijelu godine nema potrošnje. Potrošnja iznosi 2.2 kWh.

- *Fan unit*, zaslužan za isporuku hladnog vazduha putem podignutog poda i uvlačenje toplog vazduha ponovo u sistem, funkcioniše neprestano 24/7 sa zadatim brojem obrtaja ventilatora. Njegova potrošnja je konstantna i iznosila bi 0.9 kWh pri maksimalnoj brzini. Međutim, promjena brzine ventilatora utiče značajno na njegovu potrošnju. Snaga ventilatora [106] je proporcionalna kubu njegove brzine shodno “*Third Fan Law*”:

$$W_2 = W_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 \quad (1.7)$$

gdje je W_2 snaga ventilatora pri brzini N_2 , a W_1 snaga ventilatora pri brzini N_1 . Kako je brzina podešena na 70% potrošnja ventilatora je manja i iznosi 0.31 kWh.

4.1.4 Rasvjeta u data centru

Jedina dodatna oprema u data centru koja zahtijeva el. energiju je osvjetljenje. U prostoriji se nalaze 4 neonske lampe sa 4 cijevi od 18 W, ukupne potrošnje 288 W. Ne postoji senzorski prekidač za rasvjetu već ona gori neprestano. Uticaj rasvjete na potrošnju je dvostruk, jer rasvjeta ne samo da troši el. energiju, već i oslobađa dodatnu toplotu koja se mora efikasno odvesti.

4.2 Kvantitativna analiza potrošača

Literatura o efikasnosti data centara, bilo da se koristi PUE ili neka druga metrika, ne precizira ili kvantifikuje koliko zapravo iznosi prosječan period mjerenja efikasnosti data centra. Ovo dovodi do značajnih neodređenosti. Tokom dijela dana ili godine PUE vrijednosti se mogu značajno razlikovati od prosječnih PUE vrijednosti, tako da se dolazi se do zaključka da je godišnji PUE ciljana metrika sa najpreciznijim vrijednostima, jer ju je najlakše povezati sa prosječnom potrošnjom energije u toku životnog vijeka data centra.

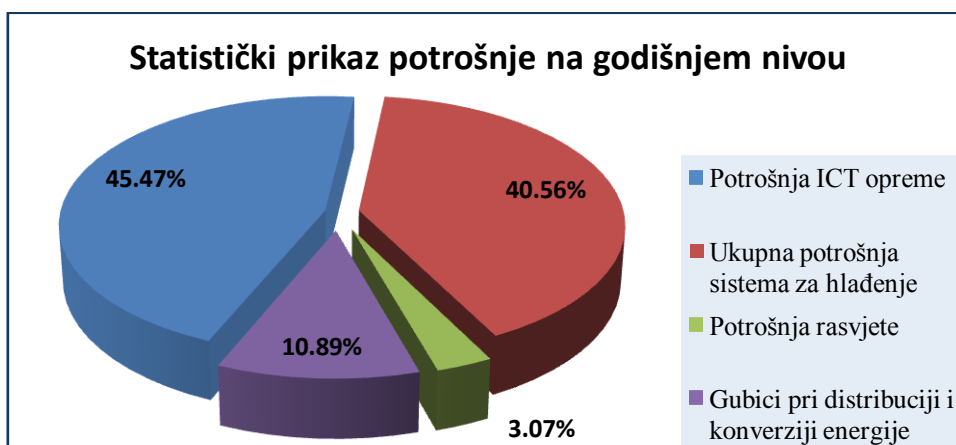
U cilju uopštenog prikaza o kolikoj količini energije se radi na godišnjem nivou kada se govori o data centru manjih dimenzija poput predmetnog i određivanja njegove PUE vrijednosti, u tabeli 4.2 biće prikazana njegova ukupna godišnja potrošnja.

Tabela 4.2 Ukupna godišnja potrošnja u data centru
(27.05.2016.god. - 25.05.2017.god.)

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časo va rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	2467	2790	5257	5.5	28913.5
Humidifier	567	187	754	2.2	1658.8
Fan unit	-	-	8760	0.31	2715.6
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	33287.9
Potrošnja ICT opreme	-	-	8760	4.26	37317.6
Gubici pri distribuciji i konverziji energije [104]			8760	1.02	8935.2
Potrošnja rasvjete			8760	0.288	2522.8
Ukupna potrošnja u data centru	-	-	-	-	82063.5

Ukupna potrošnja data centra uključujući ICT opremu, gubitke pri napajanju, rasvjetu i sistem za hlađenje je 82.06 MWh na godišnjem nivou; odnos ove potrošnje sa potrošnjom ICT opreme od 37.3 MWh rezultira PUE vrijednošću od 2.20 u predmetnom data centru. Ova vrijednost je iznad prosjeka (1.8-1.89) i svrstava predmetni data centar u 4% data centara širom svijeta sa približno istom PUE vrijednošću [77]. Dakle, za svaki kWh energije potreban za rad ICT opreme potrebno je obezbijediti dodatnih 1.2 kWh.

Na osnovu konkretnih mjerenja može se uraditi statistički prikaz ukupne potrošnje na godišnjem nivou po segmentima (slika 4.2), gdje ICT oprema učestvuje sa 45.47%, potrošnja sistema za hlađenje sa 40.56% (kompresor 35.23%, humidifier 2.02%, fan unit 3.31%), gubici pri distribuciji i konverziji energije sa 10.89% i rasvjete sa 3.07%.



Slika 4.2 Statistički prikaz potrošnje na godišnjem nivou

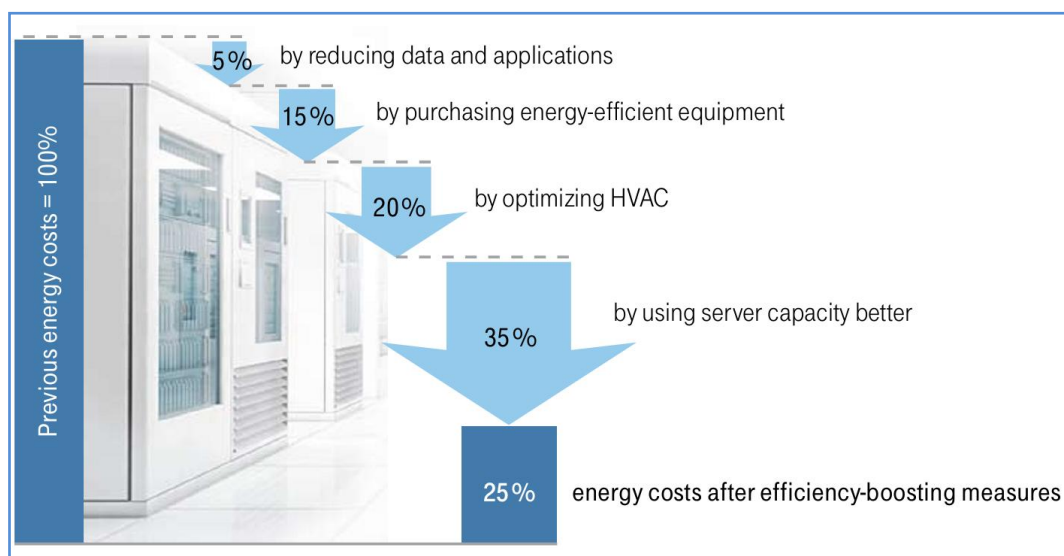
Što se tiče potrošnje samog sistema za hlađenje, za period od godine dana, iznosi 33.28 MWh, na mjesečnom nivou iznosi oko 2.77 MWh, na dnevnom nivou oko 91.2 kWh i na kraju potrošnja po času iznosi oko 3.8 kWh.

5 PRIMJER PRIMJENE GREEN ICT RJEŠENJA U DATA CENTRU

Brojni su faktori u data centru koji mogu poboljšati ili umanjiti njegovu efikasnost. Misli se na faktore iz široke lepeze samog dizajna data centra (orijentacija rek ormara, arhitektura napajanja el. energijom, arhitektura hlađenja, dizajn servera, nivo redundantnosti, IT opterećenje itd.) do faktora primjene specifičnih tehnologija (UPS, *free cooling* itd.).

Kako ne postoji mogućnost kupovine ili proste narudžbine *green* ICT tehnologija koje bi riješile sve probleme koji onemogućavaju data centru da postane zelen, potrebno je izanalizirati i predstaviti koja su to rješenja koja mogu doprinijeti njegovoj održivosti.

Jedan od predloga dat od strane njemačke agencije za energiju, predstavljen na slici 5.1, prikazuje po segmentima mogućnosti poboljšanja energetske efikasnosti u data centru i smanjenje potrošnje do 75% primjenom *green* rješenja.



Slika 5.1 Kako smanjiti potrošnju za 75% u data centru [107]

Tako na primjer poboljšanje energetske efikasnosti od 5% je moguće postići analizom aplikacija koje data centar obezbjeđuje i njihovom optimizacijom, instalacijom novijih *green* softvera koji troše manje resursa, deduplikacijom, defragmentacijom diskova itd.

Uštede od 15% je moguće postići nabavkom diskova većeg kapaciteta, energetske efikasne opreme (*Energy star*), UPS sistema novije generacije ili onih manjih dimenzija itd.

Uštedu od 20% obezbijedila bi optimizacija sistema za hlađenje u data centru poput primjene izolovanih toplo-hladnih prolaza, povećanja temperature u data centru, poboljšanje protoka vazduha, *free cooling*-a i sl.

Na kraju najveću mogućnost za uštedu od 35% imaju serveri koji su ujedno i najveći potrošači u data centru gdje je moguće primijeniti rješenja poput virtuelizacije i konsolidacije servera, *power management*-a, identifikacije opreme koja se ne koristi itd.

Shodno analizi potrošača u predmetnom data centru iz prethodnog poglavlja, u nastavku će biti predstavljena *green* ICT rješenja u cilju poboljšanja njihove efikasnosti.

Kada se govori o poboljšanju energetske efikasnosti u data centrima ono ne uključuje samo upotrebu energetski efikasne opreme već i efikasnu upotrebu energije od strane iste opreme. Mogućnosti poboljšanja energetske efikasnosti se kreću u opsegu od velikih infrastrukturnih projekata koji iziskuju veliko vrijeme i novac, do skupa jednostavnijih mjera sa veoma malim zahtjevima po pitanju vremena i novca. Takođe, veoma je važno, uraditi “studiju slučaja” koja podrazumijeva detaljnu analizu svakog data centra i shodno posebnostima istog, primijeniti neke od trenutno dostupnih tehnologija bilo u izvornom obliku bilo modifikovane za konkretan slučaj.

U predmetnom data centru će biti prikazana moguća *lowcost* rješenja koja ne iziskuju velika novčana ulaganja ili značajnije infrastrukturne ili građevinske intervencije, a mogu znatno unaprijediti efikasnost, smanjiti operativne troškove i emisiju CO₂ i produžiti životni vijek ICT opreme. Naravno, u cilju efikasnije primjene potrebno je animirati lica zadužena za predmetni data centar i predočiti im njihovu ulogu koja je od velikog značaja. Upravo oni trebaju ublažiti probleme vezane za identifikaciju potencijalnih ili postojećih neefikasnosti i inicirati primjenu najboljih praksi u cilju poboljšanja efikasnosti.

Predlozi koji mogu naći primjenu u predmetnom data centru biće svrstani u tri kategorije:

- primjena green rješenja kod ICT opreme,
- primjena green rješenja kod sistema za hlađenje i
- poboljšanje efikasnosti rasvjete.

5.1 Primjena green rješenja kod ICT opreme

Instaliranje energetski efikasnog kompjuterskog hardvera je suštinski elemenat za bilo koju organizaciju koja pokušava da smanji potrošnju energije i emisiju štetnih gasova. Međutim, to nije cijela priča - i nove tehnologije se razvijaju da bi pomogle daljem smanjenju štetnih uticaja na životnu sredinu. Poboljšanje energetske efikasnosti pri radu ICT opreme ima najveći uticaj na sveukupnu potrošnju zbog kaskadnog efekta na sve ostale sisteme u data centru.

Dakle, predlog zamjene cjelokupne ICT opreme sa energetski efikasnijom opremom sa oznakom *Energy Star*, upotreba HDD najnovije generacije ili upotreba *solid-state* tehnologije i sl. predstavlja jedno od rješenja. Međutim, to bi dovelo do velikih troškova i sigurno ne bi naišlo na odobravanje od strane menadžmenta, tako da postepena zamjena opreme shodno dinamici razvoja data centra i znavljanja postojećih resursa, sa energetski efikasnijom opremom, ostaje imperativ.

U nastavku će biti navedena *green* rješenja koja je moguće odmah sprovesti u predmetnom data centru a koja ne iziskuju veće troškove.

5.1.1 Virtuelizacija

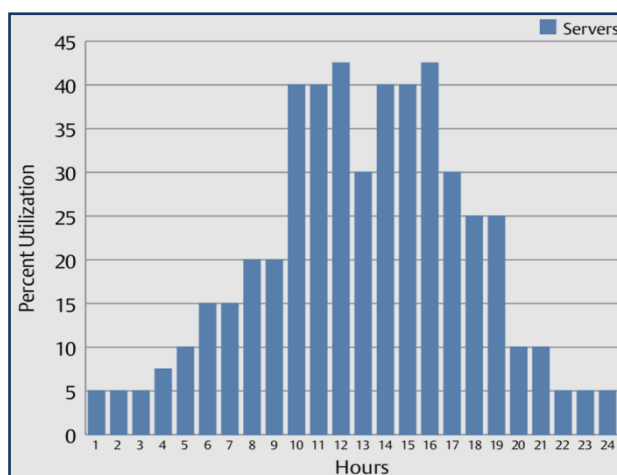
Pošto mnogi serveri funkcionišu sa malim radnim opterećenjem, nameće se zaključak - ako je moguće duplirati posao koji vrši svaki procesor, moguće je samim tim prepoloviti broj potrebnih servera. Uobičajen način za postizanje ovog predloga jeste virtuelizacija. Dakle najefikasnije *green* rješenje za predmetni data centar, predstavlja virtuelizacija resursa u okviru data centra i konsolidacija servera.

Rješenje: Virtuelizacija kao mjera za efikasnije iskorišćenje hardvera i smanjenje operativnih troškova na pojedinim serverima je uspješno implementirana već jedno vrijeme ali je treba primijeniti i na ostalim serverima jer donosi moguće poboljšanje energetske efikasnosti od 25% [108].

5.1.2 Skripte za stand by mod ICT opreme

Data centri su projektovani za maksimalna opterećenja koja se rijetko kada postižu. Međutim i kada nisu opterećeni (*idle* mod) mnogi serveri koriste značajnu količinu energije a pri tom ne vršeći nikakav rad. Značajnije opterećenje servera može iznositi nekoliko sati tokom dana, tako da ne postoji razlog za njihovim neprestanim radom tokom ostatka dana (noći ili vikenda).

Na slici 5.2 je prikazano dnevno opterećenje po satima tipičnog poslovnog data centra. Uočava se progresivno povećanje zahtjeva ka data centru u vremenu od 05.00 - 11.00 časova posle kojeg slijedi period kada je opterećenje na približno istom nivou (40 - 42.5%). Već u 17.00 časova evidentan je početak linearnog smanjenja opterećenja koje će u 22.00 časova dostići minimum (5%) i koje će ostati na tom nivou do 05.00 časova kada će početi ponovo da raste.



Slika 5.2 Dnevno opterećenje tipičnog poslovnog data centra [58]

Što se tiče opterećenja predmetnog data centra, njegova ICT infrastruktura značajnije je opterećena radnim danima u vremenu od 07.00 - 15.00 časova, dok od 15.00 - 07.00 časova kao i vikendom to opterećenje je neznatno. Dakle, radi se o 40 časova sedmičnog opterećenja kada serveri vrše obradu podataka nasuprot 128 časova kada su skoro u fazi mirovanja. Ovo

rezultira bespotrebnim rasipanjem energije od strane ICT opreme a prvenstveno servera kao najvećih potrošača u trenutku kada ne obrađuju nikakve podatke.

Rješenje: Implementacija automatskih alata koji bi u vremenu od 15.00 - 07.00 časova, kao i vikendom, upravljali serverima i omogućili im da odu u *stand by* mode, rezultirala bi značajnim uštedama energije.

5.1.3 Poboljšanje efikasnosti svičeva u predmetnom data centru

Većina ethernet linkova provodi većinu vremena u stanju mirovanja, čekajući između paketa podataka, ali sa potrošnjom energije na skoro konstantnom nivou. Procenjuje se da mrežni uređaji i mrežni interfejsi obuhvataju više od 10% ukupne potrošnje ICT tehnologija [25] dok stopa iskorišćenosti mrežne infrastrukture u data centrima je u opsegu između 5% i 25% [48].

Osnovna ideja EEE standarda je da komunikacioni linkovi treba da troše energiju samo kada postoji protok podataka. EEE tj. IEEE 802.3az, obezbeđuje mehanizme i standarde za smanjenje potrošnje energije za vrijeme perioda mirovanja bez redukcije vitalnih funkcija koje obavljaju ovi mrežni interfejsi. EEE može biti uključen na uređajima koji podržavaju *Low Power Idle* (LPI) mod. U LPI modu, ako nema predaje podataka portovi na sviču mogu ući u mod spavanja, te na taj način uštedjeti energiju. LPI mod je standardno isključen tako da ga je potrebno uključiti.

Uvidom u konfiguraciju nekoliko svičeva, utvrđeno je da pojedini ne podržavaju LPI mod tj. da je prvobitno potrebno ažuriranje firmwera na noviju verziju pa potom uključivanje LPI moda, dok kod drugih nije ni uključen LPI mod. Komande za uključivanje LPI moda su manje-više slične za skoro sve tipove svičeva, pa će kao primjer biti navedene one za svičeve marke CISCO:

```
# enable
# configure terminal
# interface interface-id
# power efficient-ethernet auto
# end
# copy running-config startup-config.
```

Korak dalje u mogućim uštedama predstavljaju skripte koje se takođe sastoje od par linija koda, koje bi posle 15 časova kao i tokom vikenda automatski postavljale svičeve u LPI mod. Skripte je moguće primijeniti i na interfejsne LED diode (*eco-friendly* LED) u cilju uštede energije koristeći mogućnost isključivanja napajanja tokom časova kada nema saobraćaja na njima.

Moguće uštede energije po jednom EEE linku iznose 0.74 W [25].

Rješenje: Ažuriranje firmwera na dijelu svičeva, konfigurisanje svičeva za LPI mod, konfiguracija automatskih skripti za LPI mod i *eco-friendly* LED mod za rad vikendom i u vremenu od 15.00 - 07.00 časova. Od ukupnog broja svičeva u predmetnom data centru na 80% postoji mogućnost primjene LPI moda ali uz prvenstveno ažuriranje firmwera na 50%.

5.1.4 Kategorije UTP kablova iz ugla energetske efikasnosti

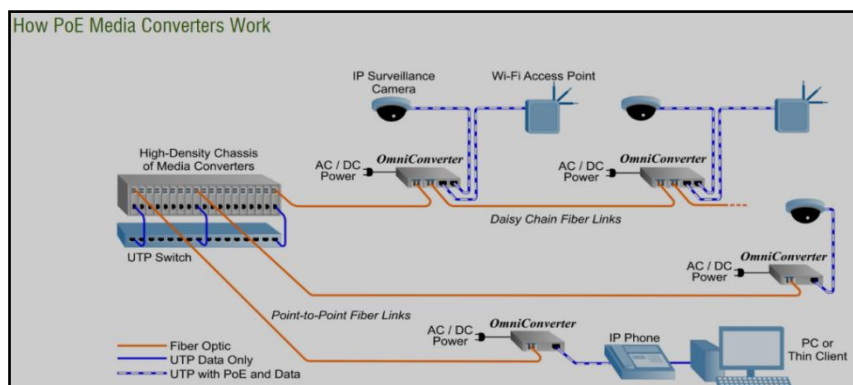
Nekadašnji zahtjevi za PoE konekcijom bili su ograničeni samo na VoIP telefone i jednostavnije sigurnosne kamere. Međutim, danas sve više uređaja zahtijeva taj vid napajanja poput *wireless* pristupnih tačaka, RF identifikatora, energetski zahtjevnih kamera za nadzor spoljašnjih površina sa mogućnošću zumiranja koje shodno vremenskim prilikama zahtijevaju grijače ili ventilatore za nesmetan rad, sistema za video konferencije itd. Međutim, veći nivoi snage koji prolaze kroz kablovski sistem mogu izazvati probleme sa performansama, dovesti do zagrijavanja kablova a time i povećanja gubitaka u njima. Sve ovo smanjuje produktivnost a moguća su i oštećenja samog kabla. Upravo kablovi znaju često biti zanemareni kada se govori o efikasnosti PoE tehnologija.

Odabir različitih tipova kablova može značajno uticati na toplotu unutar njih, kao i na način na koji to utiče na performanse. Postoje predlozi da se kablovi kategorije 5e i 6 mogu koristiti za podršku PoE uređaja, ali konsenzus je jasan - bolje je koristiti kategoriju 6a iz sledeća dva razloga:

1. Veći poprečni presjek. Kabal sa većim poprečnim presjekom provodnika ima značajno manji otpor i održava gubitke energije na minimum jer ima niži porast temperature u poređenju sa kablovima manjih poprečnih presjeka kategorije 5e i 6. Ove bolje performanse obezbeđuju dodatnu fleksibilnost, mogućnost rada pri većim ambijentalnim temperaturama i sl. Na primjer u kablju kategorije 5e prečnika 0.511 mm do 20% energije može biti izgubljeno u poređenju sa kablom kategorije 6a prenika 0.574 mm, što dovodi do neefikasnosti [109].

2. Tijesno postavljeni kablovi. Često kablovi tijesno upakovani u svoje ležišta, ili smješteni iza izolacije, ispod podova i sl. rezultiraju povećanjem njihove toplote jer im je disipacija toplote na taj način spriječena. Kablovi slabijih kategorija mogu dostići temperaturu i do 50°C dok kabal cat 6a ostaje u granicama od 15°C [110]. Upravo održavanje temperature ispod 15°C u tijesno postavljenim kablovima, obezbeđuje ispravan prenos podataka i sprečava oštećenje kablova.

Međutim, ograničenje dužine od 100 m kod UTP kablova predstavlja izazov u velikim objektima poput aerodroma, stadiona, kompleksa zgrada, državnih ustanova itd. Kao jedno od rješenja nameću se media konvertori sa mogućnošću PoE-a, koji mogu obezbijediti napajanja za energetski zahtjevne uređaje koji se u poslednje vrijeme pojavljuju na tržištu (slika 5.3).



Slika 5.3 Princip rada PoE media konvertora [111]

Rješenje: Evidentan je trend rasta zahtjeva za PoE opremom tako da i u predmetnom data centru postoji određen broj PoE svičeva prvenstveno namijenjenih za obezbjeđivanje el. energije VoIP telefonima i sigurnosnim kamerama. Uvidom u postojeću mrežnu instalaciju preko koje se obezbjeđuje i el. energija, utvrđeno je da na pojedinim lokacijama (30%) postoje kablovi kategorije 6 tako da je potrebna njihova zamjena sa kablovima kategorije 6a ili boljom. Takođe, na određenim lokacijama postoji mogućnost udaljavanja kablova u kanalicama fizički jednih od drugih dok u drugom dijelu zahtijevaju postavljanje zasebnih kanalica. Za dvije lokacije na udaljenosti od 100 metara (spoljašnje nadzorne kamere) upotreba PoE konvertora predstavlja efikasnije rješenje.

5.1.5 Identifikacija i deaktivacija nekorisćene opreme

U data centrima mogu postojati serveri koji generišu operativne troškove ali ne vrše nikakav koristan rad. Npr. u prošlosti mogu biti pokrenuti određeni servisi koji više nisu u upotrebi, ali niko nije izvijestio IT odsjek da ih uklone kao i ICT opremu koja ih obezbjeđuje. Takođe, prilikom zamjene servera novijim, stari često ostaju priključeni, troše energiju, oslobađaju toplotu i doprinose nepotrebnim troškovima održavanja. Stariji serveri su obično manje efikasni, što čini problem još gorim. Ponekad se čini lakše ostaviti opremu na mjestu nego rizikovati da se možda isključi uređaj koji možda negdje neko još koristi za nešto. Ali utrošak vremena u cilju identifikacije neiskorišćene opreme može se zaista isplatiti. U predmetnom data centru postoji jedan ovakav server.

Rješenje: Predlog je deaktivacija neupotrijebljenog servera koji se konstantno nalazi u *idle* modu, gdje bi na godišnjem nivou bilo moguće ostvariti uštedu od oko 1.22 MWh el. energije (140W x 8760h).

5.1.6 UPS sistemi

Već je bilo riječi kako je uobičajen slučaj da su UPS sistemi tradicionalno znatno predimenzionisani u nastojanju da obezbijede dovoljan trenutni i budući kapacitet rasta, tako da je ovdje isti slučaj. Njihova neefikasnost se posebno ispoljava pri djelimičnom opterećenju (u predmetnom data centru opterećenje iznosi između 15 i 40%).

Rješenje: Moguće je primijeniti dva rješenja.

Prvo i najjednostavnije rješenje je poboljšanje njihove efikasnosti tj. smanjenje gubitaka pri konverziji el. energije. Ovo je moguće ostvariti na dva načina: povećanjem opterećenja po jednom UPS-u tako što bi opsluživali više ICT opreme, u kom slučaju bi od postojećih 6 UPS sistema ostala aktivna 4; ili izbjegavanjem jednog centralnog UPS sistema i primjenom više manjih, gdje bi na taj način bilo ostvareno veće radno opterećenje.

Drugo rješenje, podrazumijeva zamjenu postojećih UPS sistema sa energetski efikasnijim sistemima dostupnim na tržištu sa boljom efikasnošću. Shodno činjenici da UPS-evi pri radu oslobađaju znatnu količinu toplote, dislociranje od ICT opreme u zasebnu prostoriju se nameće kao rješenje samo po sebi.

U predmetnom data centru je predloženo prvo rješenje - povećanje opterećenja po jednom UPS-u, u kom slučaju bi od postojećih 6 UPS sistema ostala aktivna 4.

5.2 Primjena green ICT rješenja kod sistema za hlađenje

Sistem za hlađenje u data centru je odgovoran za potrošnju približne količine energije kao i IT oprema [57]. Kako se radi o velikom procentu svakako i najmanja poboljšanja tj. primjena najjednostavnijih *green* rješenja otvaraju mogućnosti za poboljšanje energetske efikasnosti. U predmetnom data centru, shodno analizi potrošnje (slika 4.2) sistem za hlađenje učestvuje u potrošnji sa 40.56%.

Jedno od najefikasnijih rješenja poboljšanja efikasnosti sistema za hlađenje predstavlja poboljšanje protoka vazduha. Zbog složenosti protoka vazduha u data centru, pravilna upotreba sredstava koja poboljšavaju njegovo upravljanje, poput montažnih panela, podnih zatvarača i sl. nije uvijek očigledna.

U cilju izbjegavanja povećanja temperature u data centru, uzrokovane recirkulacijom toplog vazduha, operateri data centara često pribjegavaju najjednostavnijim rješenjima. Oni tada aktiviraju dodatne kapacitete CRAC jedinice tako što smanjuju njenu izlaznu temperaturu i povećavaju količinu protoka vazduha. Naravno, ovo ne samo da je izuzetno energetski neefikasno već je i u cjelini nepotrebno. U nastavku će biti prikazan niz jednostavnih rješenja koja se mogu uspješno primijeniti.

5.2.1 Izolovana toplo-hladna zona

Efikasno hlađenje data centara ne podrazumijeva jednostavno pitanje snabdijevanja hladnim vazduhom - zapravo radi se o odvajanju toplog od hladnog vazduha. ICT oprema generiše toplotu neprestano, pa čak i kada je hladan vazduh usmjeren na rek ormare, međutim, problemi počinju da se pojavljuju kada vrući izduvni vazduh počinje da recirkuliše.

Na prvi pogled evidentno je da se podni otvori, zaduženi za dovod hladnog vazduha, u predmetnom data centru nalaze na pravilnim mjestima tj. neposredno ispred rek ormara, zatim da su rek ormari orijentisani pravilno tj. da je primijenjena toplo-hladna zona koja može doprinijeti smanjenju potrošnje energije do 20% [112]. Međutim, da bi se ostvarilo poboljšanje energetske efikasnosti za jednu petinu, moraju biti ispoštovane stroge procedure a tiču se pravilne cirkulacije vazduha u data centru što će i biti prikazano u nastavku.

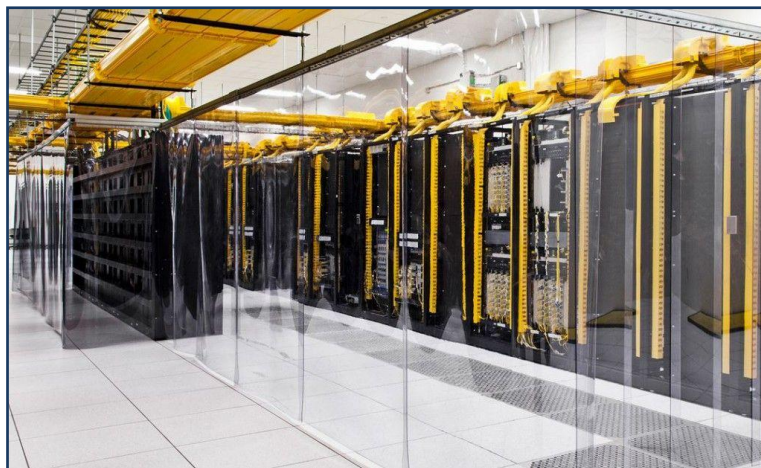
Efikasniju nadogradnju ovog sistema predstavlja verzija sa zatvorenim protokom vazduha tj. sa potpunom izolacijom toplog od hladnog dijela prostorije.

U slučaju kada postoji mogućnost miješanja toplog vazduha sa hladnim vazduhom na ulazu u servere, vazduh isporučen od strane sistema za hlađenje mora biti na ekvivalentno nižoj temperaturi da bi se vrijednost kompenzovala. Ovo ne samo da limitira efikasnost sistema za hlađenje i prouzrokuje pojavu “vrelih tačaka” u data centru već i znatno povećava potrošnju energije. Čak i u hladnoj prostoriji server pod opterećenjem zahvaljujući “vrelim tačkama” može “hraniti” sebe sa toplim vazduhom dok ne dođe do njegovog pregrijavanja a potom i isključenja.

Upravo ovdje je slučaj da dolazi do nesmetanog miješanja vazduha i to iz više razloga koji će biti navedeni u nastavku.

Prednost razdvajanja tople od hladne zone ogleda se u mogućnosti za setovanjem veće temperature zbog efikasnijeg protoka vazduha, jer kako ne dolazi do miješanja vazduha nema ni potrebe za postavljanjem temperature na nisku vrijednost u cilju kompenzacije. Takođe ovaj pristup povećava temperaturu na ulazu u CRAC sistem što dodatno poboljšava njegovu efikasnost.

Razdvajanje može biti izvedeno na razne načine sa raznim materijalima koji su dostupni na tržištu, dok za predmetni data centar zbog ograničenog prostora i omogućavanja nesmetanog prolaza osoblja zaposlenog u data centru, najpogodnija izvedba bi bila sa PVC barijerama tj. zavjesama (slika 5.4).



Slika 5.4 Izolovana toplo-hladna zona u data centru u vlasništvu Google-a [113]

PVC barijere su veoma praktične, lako se montiraju i mogu rezultirati uštedom energije do 15% jer smanjuju efekat recirkulisanja toplog vazduha.

Rješenje: Postaviti PVC barijere. Kako je za rad sistema za hlađenje u predmetnom data centru na godišnjem nivou potrebno oko 33.3 MWh, postavljanjem PVC barijera koje donose moguću uštedu od 15%, potrošnja bi bila manja za oko 5 MWh.

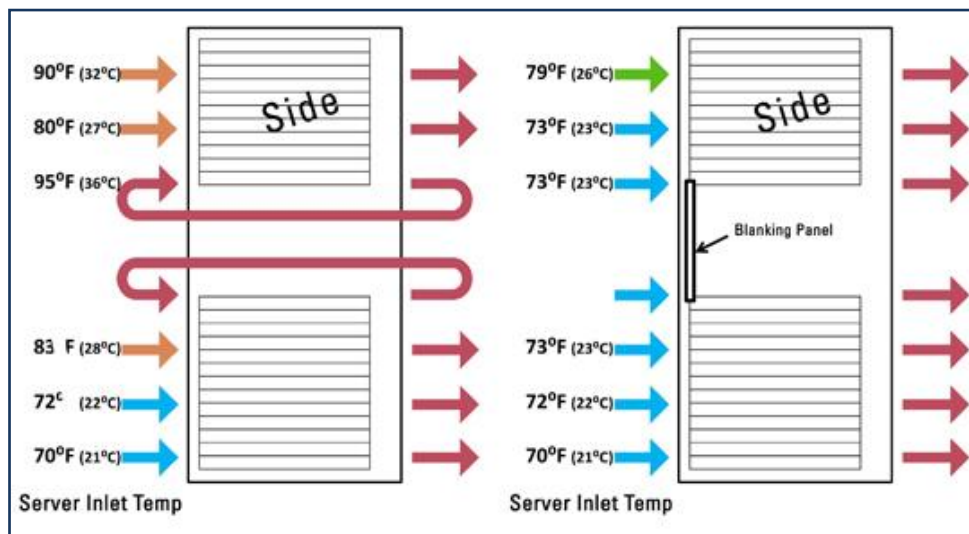
5.2.2 Montažni paneli

Upravljanje protokom vazduha pruža značajne benefite sa malo ili nimalo troškova. Montažni paneli, koji su često zanemareni tokom početne kupovine i instalacije rek ormara, su fundamentalni za efikasnu kontrolu protoka vazduha u serverskim rek ormarima i mogu značajno povećati efikasnost hlađenja. Veoma uobičajena praksa izostavljanja ugradnje montažnih panela može se naći u većem ili manjem obimu u 90% data centara, uprkos činjenici da svi glavni proizvođači ICT opreme savjetuju njihovu upotrebu [57].

Zahvaljujući za nijansu većem pritisku izduvnog vazduha, potpomognutog efektom uvlačenja od strane serverskih ventilatora, dolazi do miješanja vazduha. Uticaj ovog efekta je mnogo značajniji od osobine toplog vazduha da se prirodno izdiže i udaljava od opreme.

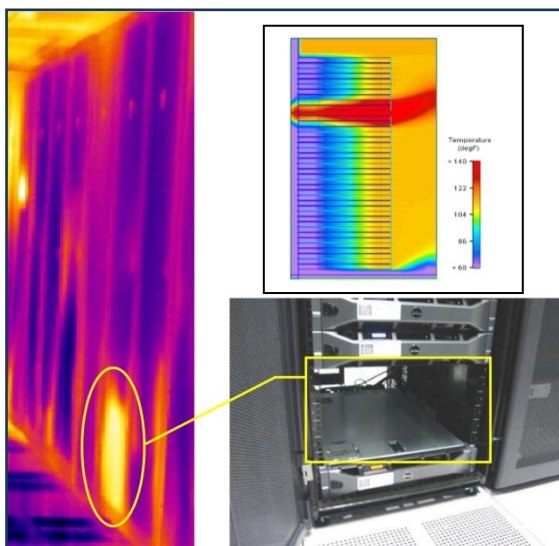
Vazduh ima tendenciju da cirkuliše putem manjeg otpora (poput putanje od izlaza iz servera nazad u njihov ulaz), tako da jednostavne barijere ovdje mogu napraviti veliku razliku

(slika 5.5). Montažni paneli mogu uticati na smanjenje temperature dovodnog vazduha servera za čak 8 do 11°C [104] i povećanje temperature povratnog vazduha u CRAC jedinicu, što u oba slučajeva podrazumijeva poboljšanje operativne efikasnosti.



Slika 5.5 Upotreba montažnih panela [114]

Nažalost, uobičajen razlog zašto nisu postavljeni poklopci je da menadžeri data centara vjeruju da je njihova uloga samo estetske prirode. Koliko je važna njihova uloga može se vidjeti na slici 5.6 gdje je prikazan termalni efekat u data centru i pojava “vrelih tačaka” na pozicijama gdje ih nema uprkos neposrednoj blizini dovodnog kanala sa hladnim vazduhom. Na visočijim pozicijama u rek ormaru ovaj efekat je, svakako, još evidentniji.



Slika 5.6 Termalni efekat bez montažnog panela [115]

U data centrima gdje se koriste klasični klima uređaji za hlađenje opreme, jedan od predloga je da se ne postavljaju montažni paneli zbog efikasnijeg hlađenja i sprečavanja pojave “vrelih tačaka”, međutim, kako se u predmetnom data centru radi o sistemu za hlađenje sa izolovanom toplo-hladnom zonom njihova upotreba je u ovom slučaju prijeko potrebna.

Raspored opreme unutar data centra a posebno one unutar rek ormara utiče na povećanje potrošnje energije, tj. na opterećenje sistema za hlađenje. Preporuka za poziciju energetske zahtjevnije ICT opreme, unutar rek ormara je na njegovom dnu. To je iz prostog razloga jer energetske najzahtjevnija oprema zahtijeva najhladniji vazduh i pravilnim rasporedom ostvaruje se izvjesna ušteda u energiji. Na slici 5.5 uočava se razlika u temperaturi od dna do vrha rek ormara u opsegu od 21-32°C ili u efikasnijoj izvedbi sa montažnim panelima od 21-26°C. U predmetnom slučaju na najnižim pozicijama u dnu ormara ne nalaze se serveri već *storage* jedinice.

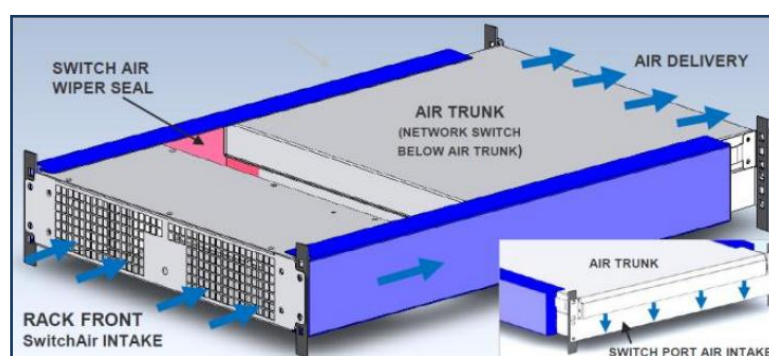
Rješenje: Potrebno je ugraditi panele na pozicijama gdje nije postavljena oprema. Shodno preporukama od strane *Energy Star*, postavljanjem jednog montažnog panela visine 30 cm, može rezultirati manjom potrošnjom energije za 2% [114]. Kako u predmetnom data centru postoje 3 rek ormara a potrošnja sistema za hlađenje na godišnjem nivou iznosi oko 33.3 MWh, potrošnja bi bila manja za oko 2 MWh.

Takođe, potrebno je zamijeniti pozicije *storage* jedinica i servera u cilju optimizacije potrošnje.

5.2.3 Orijentacija mrežne opreme sa zadnje strane rek ormara

Ne koristi sva opreme u data centru protok vazduha od sprijeda ka pozadi, na primjer postoji više vrsta mrežnih svičeva što se tiče putanje vazduha unutar njih. Postoje izvedbe koje usisavaju vazduh naprijed-nazad, zatim nazad-naprijed i verzija koja usisava i izbacuje vazduh sa strane. Svaka od njih ima svoje prednosti i nedostatke.

Izvedbe koje usisavaju vazduh sa strane i nazad-naprijed montiraju se sa zadnje strane ormara. Ovaj položaj je praktičniji iz ugla menadžmenta kablova u ormaru, ali na ovaj način svičevi usisavaju direktno vreli vazduh iz servera. Izvedba sa strane je ujedno i najčešća konfiguracija i ona sadrži maksimalan broj portova. Nedostatke kod obje varijante moguće je riješiti postavljanjem posebno dizajniranih uvodnika za vazduh (slika 5.7).



Slika 5.7 Uvodnici za vazduh za svičeve [116]

Izvedba koja standardno usisava vazduh naprijed-nazad rješava naizgled problem sa protokom vazduha, međutim, zahtijeva provlačenje mrežnih kablova sa zadnje strane rek ormara tj. servera do njihove prednje strane. Ovakav raspored kablova ne samo da zauzima dragocjeno mjesto u ormaru već u toplo-hladnoj zoni zahtijeva dodatna rješenja da bi se spriječila recirkulacija vazduha oko njih. Rješenja poput poklopaca tipa četke, pri testiranju pokazala su povećanje ulazne temperature za 10°C [116] u svojoj blizini tako da je potrebna

evaluacija različitih proizvoda da bi se osiguralo efikasno postavljanje kablova kroz rek ormar bez mogućnosti miješanja vazduha.

U predmetnom data centru svi svičevi su orjentisani sa zadnje strane ormara.

Rješenje: Postaviti uvodnike za vazduh zbog efikasne implementacije toplo-hladne zone.

5.2.4 Vrata rek ormara

Što se tiče vrata na rek ormarima, sva prednja vrata imaju perforirane otvore (rupice), koja ispunjavaju standard i otvorena su 60% [104], dok su zadnja vrata uklonjena. Gdje sigurnosni aspekti dozvoljavaju moguće je ukloniti i prednja i zadnja vrata u svrhu efikasnijeg hlađenja.

Uloga bočnih vrata je sprečavanje recirkulacije vazduha. Postoje izvedbe bočnih vrata sa ventilacionim otvorima zamišljenim da poboljšaju hlađenje. Međutim, ovi otvori ne poboljšavaju već dodatno opterećuju sistem hlađenja zbog mogućnosti miješanja toplog i hladnog vazduha. U predmetnom data centru nedostaje troje bočnih vrata.

Rješenje: Postavljanje ukupno troje bočnih vrata na ormarima i uklanjanje prednjih vrata na svim ormarima.

5.2.5 Prazan prostor između rek ormara

Obično se rek ormari postavljaju u red neposredno jedan pored drugog. Međutim, povremeno kada se uklone pojedini ormari mogu nastati praznine. Na ovaj način može doći do nesmetanog miješanja vazduha sa zadnje i prednje strane ormara. Očigledno rješenje je postavljanje barijera za zatvaranje praznina. U predmetnom data centru rek ormari nisu postavljeni jedan do drugog tako da i između njih dolazi do miješanja hladnog i toplog vazduha što dodatno i nepotrebno opterećuje sistem za hlađenje.

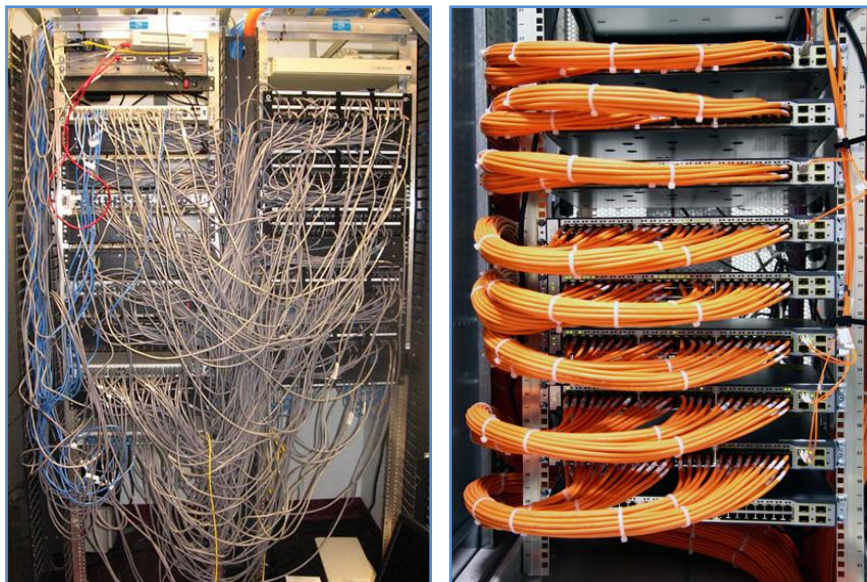
Rješenje: Pošto se otvori za dovod vazduha nalaze neposredno ispred ormara bilo bi neefikasno njihovo postavljanje jedan pored drugog, tako da je potrebna ugradnja nekog vida barijera između ormara (PVC i sl.).

5.2.6 Menadžment kablova

Mnogi data centri, osim za distribuciju hladnog vazduha, podignute podove koriste i za druge namjene. Tako na primjer unutar podova mogu se naći razni kablovi, cijevi, konstrukcione grede i drugi objekti koji svojim prisustvom smanjuju prostor potreban za dovod vazduha i stvaraju nejednakost u raspodjeli pritiska. Nedostatak dovoljne količine vazduha može dovesti do povećane potrošnje od strane ventilatora unutar opreme koji pokušavaju da nadoknade taj nedostatak usled povećane impedanse protoka vazduha.

Uvidom u prostor za dovod vazduha od CRAC jedinice tj. uklanjanjem nekoliko podnih ploča sa podignutog poda, primjećuju se energetske i mrežne kablovi koji ometaju pravilan dotok vazduha do rek ormara.

Takođe, i unutar rek ormara kablovi nisu najbolje aranžirani te doprinose pojavi tzv. “kablovskih brana” i na taj način zarobljavaju toplotu unutar kućišta i dovode do nepotrebnog opterećenja sistema za hlađenje uz smanjenje njegove efikasnosti (slika 5.8). Prema IBM-u [117], poboljšanje infrastrukture kablova poput uklanjanja “kablovskih brana”, može rezultirati uštedom energije od preko 15%.



Slika 5.8 Nestrukturirano i strukturirano kabliranje [114]

Rješenje: Rješenje predstavlja pravilno postavljanje kablova tako da ne ometaju cirkulaciju vazduha. Još jedan način redukovanja mogućih prepreka unutar poda je da svi kablovi kako mrežni tako i napojni budu postavljeni unutar plafona (naravno ovo je najlakše izvodljivo pri inicijalnoj instalaciji data centra).

Što se tiče rek ormara potrebno je aranžirati kablove unutar njih, kablove koji nisu u upotrebi ukloniti sa pozicija, a na pozicijama gdje su predugački postaviti one kraće dužine. Dakle, moguća ušteda energije od 15% pri radu sistema za hlađenje na godišnjem nivou iznosila bi oko 5 MWh.

5.2.7 Predimenzionisanje CRAC sistema

Upravo i u predmetnom data centru je slučaj predimenzionisanja sistema za hlađenje. Naime, prema statistici zapremina vazduha potrebnog za hlađenje 1 kW *rack-mounted* servera iznosi 160 CFM (271.84 m³/h) [118]. Predmetni CRAC sistem shodno specifikaciji obezbeđuje od 3020 do 4940 m³/h vazduha [119]. U odnosu sa preporučenom vrijednošću dobija se da postojeći sistem može da hladi ICT opremu sa *rack-mounted* serverima u opsegu od 11.1 kW do 18.1 kW.

Pošto je nominalna snaga ICT opreme u predmetnom data centru 7.1 kW, kapacitet sistema je trenutno veći nego što su stvarne potrebe za odvođenjem toplote generisane od strane ICT opreme. Na ovaj način ostavljena je mogućnost dodatne nadogradnje opreme u opsegu od 4 do 11 kW (0.5 do 1.5 put veće od trenutnih zahtjeva). Ako se uzme u obzir predimenzionisanje proračuna sistema za hlađenje, uslijed računanja nominalnih vrijednosti

ICT opreme a ne njene stvarne potrošnje (4.26 kWh), dolazi se do moguće nadogradnje od 6.8 do 13.8 kW (tj. 1.6 do 3.2 puta veće od trenutnih zahtjeva).

Međutim, kako trenutno ne postoji potreba za dodatnom ICT opremom, uočava se dovoljno prostora za unapređenje trenutnog sistema za hlađenje da bi se učinio energetski efikasnijim.

Rješenje: Još jedan dokaz, u prilog tvrdnji, da kompresori i ventilatori sa promjenljivom brzinom mogu predstavljati rješenje za značajno poboljšanje energetske efikasnosti. Takođe, predmetna situacija ide na ruku i povećanju temperature u data centru. Dakle, predlog je ugradnja opreme promjenljivog kapaciteta (kompresori i ventilatori).

5.2.8 Free cooling ili ekonomizacija sa slobodnim hlađenjem

Za predmetni data centar interesantan predlog može biti i *air-side* i *refrigerant* ekonomizacija.

Rješenje: Potrebno bi bilo uraditi detaljnu analizu koja od predložene dvije varijante bi bila izvodljiva za predmetni data centar.

Kako ne postoji potreba da se data centri fizički nalaze u blizini korisnika, postavljanjem data centara na lokacijama u hladnijim podnebljima redukovali bi se troškovi potrebni za hlađenje, a implementacijom *free coolinga* bilo bi moguće povećati broj sati ekonomičnih režima rada. Kako kompanija, u čijem je vlasništvu predmetni data centar, već posjeduje lokacije na sjeveru Crne Gore, ovaj predlog je svakako vrijedan pažnje. Ako je menadžmentu ideja premještanja postojećeg data centra trenutno neprihvatljiva, svakako je vrijedna pomena u slučaju potrebe za proširenjem kapaciteta ili izgradnjom *disastery recovery* data centra.

5.2.9 Povećanje temperature u data centru

Još jedno od jednostavnijih rješenja za primjenu, uz poboljšanje protoka vazduha, predstavlja povećanje temperature u data centru. Ovo *green* rješenje biće detaljnije obrađeno u narednom poglavlju praćeno sa eksperimentalnim mjerenjima.

5.3 Poboljšanje efikasnosti rasvjete

Kao što je navedeno ranije, rasvjeta u data centru gori neprestano sa ukupnom godišnjom potrošnjom od 2.5 MWh.

Rješenje: Zamjena neonskih lampi sa efikasnijim LED lampama, u konkretnom slučaju, rezultirala bi uštedom energije za 1 MWh (do 40%). Potreba za rasvjetom, koja gori neprestano u predmetnom data centru skoro i da ne postoji, tako da je predlog ugradnja senzorskog prekidača u kom slučaju bi skoro cjelokupna količina energije od 2.5 MWh mogla biti ušteđena.

6 REZULTATI PRIMJENE GREEN ICT U DATA CENTRU

Od prethodno predstavljenih rješenja a u cilju evaluacije *green* rješenja i njihove primjene, u predmetnom data centru biće primijenjena metoda povećanja temperature. Izbor metode povećanja temperature, kao *green* rješenja za predmetni data centar, nametao se sam po sebi jer predstavlja jednu od najefikasnijih metoda unapređenja energetske efikasnosti i potencijal za uštedu velike količine energije, a da se pri tom može trenutačno pristupiti njenoj implementaciji.

Iako stručna javnost predlaže određena moguća poboljšanja u raznim oblastima u kompanijama postoje interna pravila i procedure koje nije jednostavno promijeniti. Upravo takav je i bio slučaj sa predlogom o povećanju temperature upućenom menadžmentu data centra, o čemu će biti više riječi kasnije.

U nastavku biće prikazana detaljna analiza opravdanosti primjene rješenja povećanja temperature i koja je to gornja granica do koje se smije ići. Potom će biti prikazan niz eksperimentalnih mjerenja potrošnje sistema za hlađenje prije i poslije povećanja temperature tokom različitih perioda u godini kao i analiza rezultata tih mjerenja.

6.1 Gdje je gornja granica povećanja temperature u data centru?

Uobičajena je situacija da temperatura unutar data centara mora biti veoma niska. Zapravo, preporuke od strane proizvođača su da temperatura vazduha na ulazu u ICT opremu bude sobna ili čak malo iznad (do 27°C) zbog maksimalne pouzdanosti, pristupačnosti kao i željenih performansi same opreme.

Ono što može napraviti djelimične razlike kod preporučenih temperatura su različiti tipovi data centara, opreme unutar njega i korišćene metode hlađenja. Jedno od istraživanja [112] ističe kao najoptimalniju temperaturu od 25°C mada i temperatura od 27°C je svakako vrijedna pažnje (slika 6.1). Ovo su temperature pogodne za većinu data centara malih i srednjih dimenzija namijenjenih za mješovitu upotrebu, što je danas i najčešći slučaj a kakav je i predmetni data centar. Takođe na slici se može vidjeti kako se ponaša ICT oprema pri različitim temperaturama.

>37,8° C <ul style="list-style-type: none"> • High risk of damage and downtime • May invalidate equipment warranty
32,2° to 37,8° C <ul style="list-style-type: none"> • Risk of damage and downtime • Short bursts (seconds to minutes) may be acceptable, depending on availability goals
27° C to 32,2° C <ul style="list-style-type: none"> • Within the "allowable" range • Okay for brief periods (hours to days) • Longer periods may compromise equipment life
25,1° C to 27° C <ul style="list-style-type: none"> • IT equipment operates reliably • Equipment fans use more electricity, negating other efficiency gains
25° C <ul style="list-style-type: none"> • Ideal temperature for IT equipment • Both highly reliable and highly efficient
18° C to 24,9° C <ul style="list-style-type: none"> • IT equipment operates reliably • As temperature drops, efficiency drops • Costs increase without added benefits
<18° C <ul style="list-style-type: none"> • Same as above, but even more inefficient • May require costly make-up humidification

Slika 6.1 Vodič za ulazne temperature ICT opreme [112]

Slične preporuke dolaze i od strane ASHRAE tehničkog komiteta (TC 9.9), koji su definisali različite klase servera sa različitim mogućim opsezima, međutim, preporučeni temperaturni opseg je isti za sve klase i kreće se u rasponu od 18°C do 27°C. Prve smjernice za data centre, od strane ASHRAE, izdate su 2004. godine sa preporučenim temperaturnim opsegom između 20-25°C. Međutim, ovo je bio dosta konzervativan predlog, zasnovan na podacima koji su bili raspoloživi u to vrijeme, među kojima se na prvom mjestu nalazila pouzdanost dok su troškovi energije bili na drugom mjestu. Od tada, ASHRAE je promijenio preporučeni opseg na 18-27°C, a 2011. godine objavio i postojanje klasa servera koje omogućavaju temperaturni opseg od 5-45°C. Tako na primjer klase A3 (40°C) i A4 (45°C) kreirane su za podršku novim tehnologijama uštede energije kao što je *free cooling*. Pregled preporučenih temperatura i relativne vlažnosti dat je u tabeli 6.1.

Tabela 6.1 Preporučene temperature i relativna vlažnost za data centre od strane ASHRAE 2016 [80]

Klasa servera	Temperatura (°C)	Relativna vlažnost (%)
Preporučeno (odgovarajuće za sve 4 klase)		
A1 do A4	18 do 27	40 do 60
Dopušteno		
A1	15 do 32	8 do 80
A2	10 do 35	8 do 80
A3	5 do 40	8 do 85
A4	5 do 45	8 do 90

Primjena preporučenih temperatura od strane ASHRAE navedenih u tabeli 6.1 izgleda jednostavna, međutim, u praksi situacija može biti drugačija jer stariji data centri mogu imati opremu koja je dizajnirana za različite verzije ASHRAE preporuka. Na primjer, preporučeni opseg iz 2004. god. bio je 20-25°C, dok je novija oprema obično dizajnirana za klasu A2 (35°C) ili čak A3 (40°C) i A4 (45°C). Kako životni vijek tipičnog data centra može iznositi i do 15 godina, pojedina oprema u data centru može izvorno poticati od vremena kada je i izgrađen data centar.

Iz prostog razloga što je teško pratiti temperaturu u svakom dijelu prostorije, mnoge kompanije jednostavno podese CRAC jedinicu na najnižu moguću temperaturu bez previše razmišljanja o povećanoj potrošnji energije.

Kada se govori o temperaturi u data centru često se misli na povratnu temperaturu. Ovo nije temperatura koja je od ključne važnosti za ICT opremu. Jedina temperatura koja je bitna za ICT opremu je temperatura na ulazu. Dakle, kada se raspravlja o idealnoj radnoj temperaturi, misli se na temperaturu na ulazu u ICT opremu.

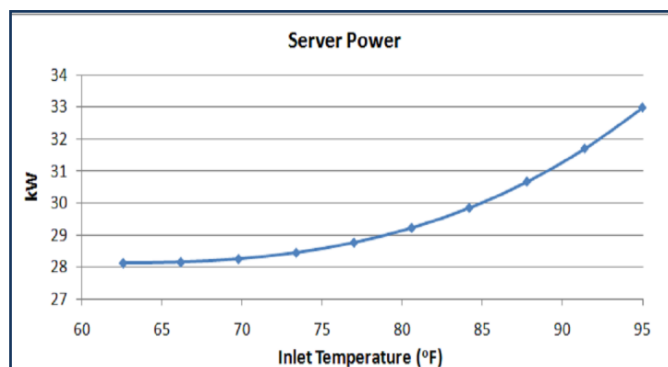
U naučnim krugovima postoje različiti stavovi a tiču se povećanja ulazne temperature. Jedni su stava da postoji prostora za smanjenje potrošnje energije prvenstveno kod sistema za hlađenje, dok drugi zagovaraju ideju da pri povećanju ulazne temperature potrošnja ICT opreme će se značajno uvećati i anulirati eventualne uštede ostvarene kod sistema za hlađenje [120]. S tim u vezi u nastavku će biti prikazana uporedna analiza potrošnje IT opreme, potrošnje sistema za hlađenje, njihove kombinovane potrošnje a sve u funkciji povećanja temperature na ulazu.

6.2 Uporedna analiza potrošnje IT opreme i sistema za hlađenje u funkciji povećanja temperature

Sama IT oprema je prilično efikasna kada se radi o niskoj ili umjerenj ulaznoj temperaturi do 25°C, tako da ventilatori u unutrašnjosti IT opreme u tom slučaju koriste malu količinu energije za svoj rad. Međutim, ventilatori su podešeni da mogu da se nose sa temperaturama i do 35°C na svom ulazu, u tom slučaju njihova potrošnja rapidno raste jer su prinuđeni da se okreću brže. Na primjer, ventilatori pri umjerenj ulaznoj temperaturi imaće potrošnju od oko 0.1 kWh dok pri temperaturi od 35°C biće prinuđeni da se okreću brže 5 ili više puta, što će drastično povećati njihovu potrošnju energije. Kod servera novije generacije kompanije DELL potrošnja je donekle ublažena pri umjerenj temperaturi i iznosi 0.08 kWh dok pri temperaturi od 35°C poboljšanja su vrijedna pažnje, tako da je potrošnja samo dva puta veća od one pri umjerenj temperaturi [121].

Visoka temperatura ne pogoduje ni UPS sistemima tako da kada se temperatura poveća sa optimalnih 25°C na 32°C i zadrži duže vrijeme, procijenjeni životni vijek baterija u UPS sistemima skraćuje se za 50% [112].

Na slici 6.2 prikazana je potrošnja u testnom okruženju nekoliko različitih servera u toplotnoj komori koji su bili izloženi širokom spektru ulaznih temperatura od 17°C do 35°C.

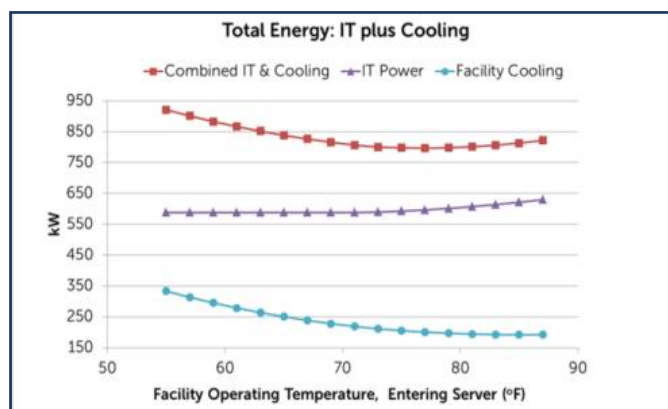


Slika 6.2 Kombinovana potrošnja servera pri različitim temperaturama [121]

Dakle, na slici se uočava da prelaskom temperature od 23.5°C (74°F) potrošnja počinje značajnije da raste.

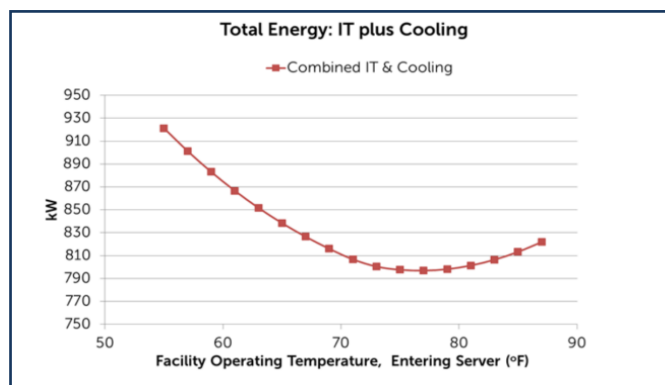
Temperatura od 23.5°C se učinila interesantnom jer u predmetnom data centru temperaturni histerezis je $\pm 2^\circ\text{C}$ sa temperaturom podešenom u opsegu od 21.5°C do 23.5°C. Pri gornjoj vrijednosti temperature startuje se kompresor dok pri donjoj dolazi do prestanka rada kompresora.

Na slici 6.3 predstavljena je potrošnja IT opreme, potrošnja sistema za hlađenje i njihova kombinovana potrošnja u data centru u zavisnosti od povećanja ulazne temperature.



Slika 6.3 Komparacija potrošnje sistema za hlađenje, IT opreme i njihove kombinovane potrošnje pri različitim temperaturama [121]

Dakle, kao što je i očekivano, uočava se veliki pad potrošnje el. energije sistema za hlađenje sa povećanjem ulazne temperature, ali i povećanje potrošnje od strane IT opreme već sa temperaturom od 23.5°C (74°F). Što se tiče kombinovane potrošnje IT opreme i sistema za hlađenje, preciznije je predstavljena na slici 6.4 gdje se uočava da je opseg sa najmanjom potrošnjom između 24°C i 26°C (75-79°F). Najmanja potrošnja je pri temperaturi od 25.3°C (77.5°F).



Slika 6.4 Kombinovana potrošnja pri različitim ulaznim temperaturama [121]

Dakle, temperatura od 26°C osim u ovom istraživanju može se naći i u preporuci od strane ASHRAE gdje je predloženo zaključno sa 27°C. Održavanje temperature ispod 26°C ne dovodi do poboljšanja operativne efikasnosti ili obezbjeđivanja bilo kakvih drugih benefita tako da predstavlja nepotrebno i skupo rasipanje energije. Ako sistem za hlađenje data centra uključuje i ekonomizaciju sa slobodnim hlađenjem, podizanje temperature imaće još veći efekat na poboljšanje energetske efikasnosti, jer se produžava godišnji vremenski period kada se spoljašnji vazduh može koristiti za hlađenje.

Takođe, određene uštede je moguće postići i sa podešavanjem procenta relativne vlažnosti u data centrima. Preporuke od strane ASHRAE kreću se u opsegu od 40% - 60% [80].

Iz svega navedenog zaključuje se da setovanjem temperature na veću vrijednost od trenutnih 21.5°C - 23.5°C u predmetnom data centru, opravdano postoji mogućnost za smanjenje potrošnje, a u kolikoj mjeri biće prikazano u nastavku.

Data centri su visoko sigurnosna mjesta zbog svoje kritične prirode i uloge u kompanijama. Stoga, eksperimentisanje s efikasnošću hlađenja na licu mjesta obično nije moguće a izaziva i otpor kod ljudstva koji su zaduženi za njihovo funkcionisanje.

Naravno, prvobitno od strane menadžmenta predlog povećanja temperature nije prihvaćen zbog stava “što hladnije to bolje” i “neću da razmišljam 'oće li se što desiti” međutim, posle upornog insistiranja i predočene dokumentacije koja ide u prilog povećanju temperature ipak je napravljen izvjestan pomak. Kao i u poslovlci koja poručuje da je svaki početak težak, tako se i ovdje krenulo sa povećanjem temperature za 0.5°C tj. dozvoljeno je da temperatura bude setovana u opsegu od 22.0°C do 24.0°C.

6.3 Rezultati testnih mjerenja

Potrošnja el. energije nije konstantna tokom vremena već varira u zavisnosti od različitih parametara poput opterećenja ICT opreme u data centru, boravka ljudi u data centru (tjelesna temperatura doprinosi opterećenju sistema za hlađenje), kao i uticaja spoljašnje sredine tj. prvenstveno temperature i vlažnosti vazduha.

U ovom dijelu biće prikazani rezultati mjerenja potrošnje sistema za hlađenje predmetnog data centra prije i poslije povećanja temperature u različitim intervalima u periodu od godine dana. Takođe biće prikazan i značajan uticaj spoljašnje temperature u ljetnjim mjesecima na potrošnju datog sistema koji se ne smije zanemariti.

Prvo mjerenje sa postojećim vrijednostima temperature tj. prije njenog povećanja, izvršeno je u periodu od 27.04.2017. god. do 25.05.2017. god. (28 dana) i evidentirana je sledeća potrošnja sistema za hlađenje (tabela 6.2):

Tabela 6.2 Potrošnja sistema za hlađenje za mesec maj 2017. god.

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	182	146	328	5.5	1804
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	672	0.31	208.32
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	2012.32

Kako se radi o toplijem dijelu godine (prosječna temperatura 20.5°C) nije bilo potrebe za startovanjem *Humidifier*-a a potrošnja je iznosila oko 2 MWh. Potom je 25.05.2017. god. menadžmentu data centra predložen plan mjerenja potrošnje u narednom periodu, sa povećanjem ulazne temperature za 2°C (23.5°C do 25.5°C) shodno ranije prikazanim zaključcima. Međutim, od menadžmenta je dobijena dozvola za povećanjem od 0.5°C.

Ponovno mjerenje je izvršeno poslije 28 dana, tačnije 22.06.2017. god. Rezultati su bili sledeći (tabela 6.3):

Tabela 6.3 Potrošnja sistema za hlađenje za mesec jun 2017. g.

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	182	157	339	5.5	1864.5
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	672	0.31	208.32
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	2072.82

Rezultati ovog mjerenja pokazali su paradoks. Naime, u poređenju sa prethodnim mesecom uz povećanje temperature u data centru za 0.5°C, izmjerena potrošnja je bila veća za 60.5 kWh tj. 3%. Paradoksalna situacija je uvidom u prosječne temperature za prethodna

dva mjeseca riješena. Dakle, junska srednja temperatura od 27°C u Podgorici koja je za 6.5 stepeni veća od majske (20.5°C) krivac je ovakvih rezultata mjerenja. Očigledan je veliki uticaj spoljašnje temperature na potrošnju, koji nije dovoljno ublažen lošom toplotnom izolacijom prostorije.

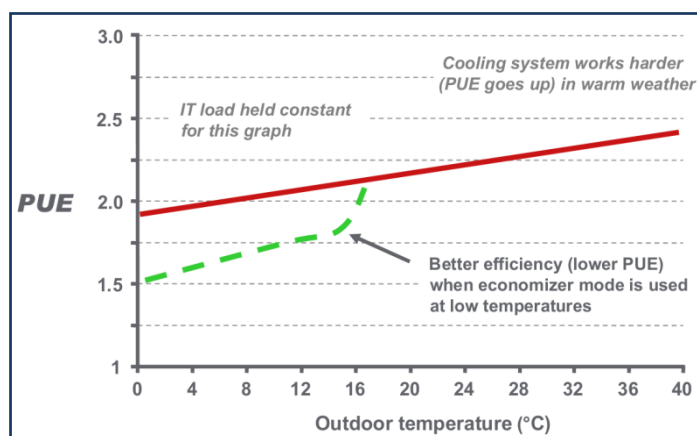
U prilog tvrdnji da postoji priličan uticaj spoljašnje temperature na potrošnju sistema za hlađenje data centra, ponovno mjerenje je izvršeno posle 28 dana tj. 20.07.2017. god. sa sledećim rezultatima (tabela 6.4):

Tabela 6.4 Potrošnja sistema za hlađenje za mjesec jul 2017. god.

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	185	180	365	5.5	2007.5
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	672	0.31	208.32
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	2215.82

Naravno, kao što je i očekivano pri srednjoj julskej temperaturi od 29.3°C, potrošnja je ponovo veća nego u prethodnom mjesecu i to za 143 kWh ili 6.9% (pri razlici u temperaturi od + 2.3°C). Ako se uporedi potrošnja iz jula sa potrošnjom u maju, veća je za 203.5 kWh ili 10.11% (pri razlici u temperaturi od + 8.8°C).

Uticaj spoljašnje temperature na PUE u uobičajenom data centru, može se vidjeti na slici 6.5.



Slika 6.5 PUE vrijednost pri različitim spoljašnjim temperaturama [52]

U cilju kvalitetne analize potrošnje i anuliranja uticaja spoljašnje temperature na preciznost mjerenja prije i poslije povećanja temperature u data centru, biće izvršena analiza potrošnje za isti period u prethodnoj godini (2016. god.) i to u periodu od jednog i četiri mjeseca (28 dana i 125 dana respektivno).

Ono što je jako bitno za preciznu analizu potrošnje je činjenica da nije bilo nadogradnje ICT opreme u data centru i da data centar obezbeđuje iste servise kao i u prethodnoj godini, tako da sistem za hlađenje nije dodatno opterećivan korisničkim zahtjevima.

Prvo mjerenje u 2016. godini obuhvatilo je period od mjesec dana (28 dana) i to od 27.05. - 24.06.2016. god. pri srednjoj spoljašnjoj temperaturi od 24.7°C. Rezultati su bili sledeći (tabela 6.5):

Tabela 6.5 Potrošnja sistema za hlađenje za mjesec jun 2016. g.

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	173	224	397	5.5	2183.5
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	672	0.31	208.32
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	2391.82

Drugo mjerenje u 2016. godini obuhvatilo je period od četiri mjeseca (125 dana) i to od 27.05. - 29.09.2016. god. pri srednjoj temperaturi od 25.7°C. Rezultati su bili sledeći (tabela 6.6):

Tabela 6.6 Potrošnja sistema za hlađenje za period od 4 mjeseca
(27.05. - 29.09.2016. god.)

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	790	1116	1906	5.5	10483
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	3024	0.31	937.44
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	11420.44

Kako su rezultati mjerenja posle povećanja temperature u data centru za period od mjesec dana (jun 2017. god.) prikazani ranije u tabeli 6.3, preostalo je još da se prikažu rezultati mjerenja za period od četiri mjeseca u 2017. godini tj. u periodu od 25.05. - 27.09.2017.god. pri srednjoj spoljašnjoj temperaturi od 26.8°C. Rezultati se nalaze u sledećoj tabeli (tabela 6.7):

Tabela 6.7 Potrošnja sistema za hlađenje za period od 4 mjeseca
(25.05. - 27.09.2017. god.)

	Jedinica I (časovi rada)	Jedinica II (časovi rada)	Ukupno jedinica I + II (časova rada)	Prosječna potrošnja (kWh)	Ukupno (kWh)
Kompresor	862	777	1639	5.5	9014.5
Humidifier	-	-	-	2.2	-
Fan unit	-	-	3024	0.31	937.44
Ukupna potrošnja sistema za hlađenje	-	-	-	-	9951.9

Dakle, potrošnja prije i poslije povećanja temperature za period od jednog, odnosno četiri mjeseca, kao i količina uštedene energije prikazana je u narednoj tabeli (tabela 6.8):

Tabela 6.8 Potrošnja sistema za hlađenje prije i poslije povećanja temperature

Period mjerenja	Srednja spoljašnja temperatura (°C)	Ukupna potrošnja sistema za hlađenje (kWh)	Ušteda energije (kWh)
27.05. - 24.06.2016. g.	24.7	2391.82	319 (13.34%)
25.05. - 22.06.2017. g. (sa povećanom ulaznom temperaturom za 0.5°C)	27.0	2072.82	
27.05. - 29.09.2016. g.	25.7	11420.44	1468.5 (12.8%)
25.05. - 27.09.2017. g. (sa povećanom ulaznom temperaturom za 0.5°C)	26.8	9951.94	

Kako je potrošnja primjenom *green* rješenja povećanja temperature u data centru, za period od jednog i četiri mjeseca, umanjena za 319 kWh i 1468.5 kWh tj. 13.34% i 12.8% respektivno, evidentno je poboljšanje efikasnosti u predmetnom data centru implementacijom ovog rješenja. Na ovaj način prikazana je ušteda el. energije, ali potrebno je prikazati i koliko je na ovaj način smanjena emisija CO₂.

6.4 Proračun smanjenja emisije CO₂ predmetnog data centra

Da bi se pristupilo proračunu smanjenja emisije CO₂, potrebno je analizirati izvore el. energije u sistemu iz kojeg se napaja predmetni data centar. Znajući da je data centar napajan iz elektro-energetskog sistema Crne Gore potrebno je analizirati proizvodnju energije u tom

sistemu kako bi se utvrdio udio “prljave” energije u istom (energije od fosilnih goriva). Jasno je da se njenom proizvodnjom emituje određena količina CO₂ u atmosferu. U ovom sistemu dominantni izvor “prljave” energije potiče iz TE Pljevlja pa treba izračunati tj. procijeniti njen udio.

Dakle, smanjenjem potrošnje energije indirektno se smanjuje zagađenje atmosfere u mjeri koja se može determinisati. Iz tog razloga, prikazan je procenat potrošene el. energije u Crnoj Gori (tabela 6.9) koju proizvodi TE Pljevlja.

U obzir je uzeta sva proizvedena energija u Crnoj Gori (3359 GWh), kao i uvezena (901 GWh) i izvezena el. energija (787 GWh) u 2017. godini [55], [122].

Tabela 6.9 Udio TE Pljevlja u potrošenoj el. energiji u CG

Ukupna potrošnja energije u CG (= proizvodnja + uvoz - izvoz)	3473 GWh
El. energija proizvedena u TE Pljevlja	1386 GWh
Udio el. energije iz TE Pljevlja u ukupnoj potrošnji el. energije u CG	39.9%

Upoređujući prethodne dvije tabele (tabela 6.8 i tabela 6.9), dolazi se do podatka o količini utrošene i uštedene „prljave“ energije u data centru koja potiče iz TE Pljevlja, za period od mjesec dana (Tabela 6.10) i četiri mjeseca (tabela 6.11).

Tabela 6.10 Udio TE Pljevlja u potrošnji sistema za hlađenje u data centru za period od mjesec dana

Utrošena energija u data centru proizvedena u TE Pljevlja (bez uštede)	954.3 kWh
Utrošena energija u data centru proizvedena u TE Pljevlja (uz uštedu)	827.06 kWh
Razlika	127.24 kWh

Tabela 6.11 Udio TE Pljevlja u potrošnji sistema za hlađenje u data centru za period od četiri mjeseca

Utrošena energija u data centru proizvedena u TE Pljevlja (bez uštede)	4556.76 kWh
Utrošena energija u data centru proizvedena u TE Pljevlja (uz uštedu)	3970.82 kWh
Razlika	585.94 kWh

Sada je neophodno analizirati karakteristike TE Pljevlja u smislu uticaja na okolinu, tj. koliko svaki proizvedeni kWh uzrokuje emisiju CO₂ u atmosferu. Činjenica je da TE Pljevlja kao gorivo koristi lignit, čijim se sagorijevanjem u atmosferu oslobađa 0,36 kg po proizvedenom kWh el. energije [123].

Imajući sve ovo u vidu, kao i podatke iz tabela 6.10 i 6.11 dolazi se do podatka o emisiji CO₂ koja je posledica rada sistema za hlađenje u predmetnom data centru na mjesečnom nivou i za period od četiri mjeseca (tabela 6.12).

Tabela 6.12 Doprinos smanjenju emisije CO₂

Emisija CO ₂ koju indirektno uzrokuje sistem za hlađenje data centra tokom mjerenog jednog mjeseca	343.5 kg
Emisija CO ₂ koju indirektno uzrokuje sistem za hlađenje data centra uz uštedu tokom mjerenog jednog mjeseca	297.74 kg
Emisija CO ₂ koju indirektno uzrokuje sistem za hlađenje data centra tokom mjerena četiri mjeseca	1640.43 kg
Emisija CO ₂ koju indirektno uzrokuje sistem za hlađenje data centra uz uštedu tokom mjerena četiri mjeseca	1429.5 kg
Smanjenje emisije CO ₂ tokom mjerenog jednog mjeseca	45.76 kg
Smanjenje emisije CO ₂ tokom mjerena četiri mjeseca	210.93 kg

Očigledno je da su rezultati vrijedni pažnje, posebno ako se uzme u obzir da data centri funkcionišu neprestano tokom čitave godine. Kako je emisija CO₂ i potrošnja energije, povećanjem temperature za 0.5°C tokom mjerenog perioda od četiri mjeseca (125 dana), smanjena za 210.93 kg i 1468.5 kWh respektivno, prostim računanjem dolazi se do podatka o smanjenju emisije CO₂ u Crnoj Gori na godišnjem nivou od oko 616 kg i uštedom energije od 4.28 MWh. Ne bi bilo teško doći do procjene na nacionalnom nivou jer sličnih data centara ima u priličnom broju bilo u kompanijama bilo u javnom sektoru. Uzimajući u obzir da je analiza izvršena na nivou od samo četiri mjeseca, može se samo naslutiti koliki bi bio mogući doprinos primjenom i ostalih *green* rješenja praćenih povećanjem ulazne temperature na preporučenu vrijednost.

Dakle, u svakom data centru može se jednostavno primijeniti metoda povećanja ulazne temperature makar za 2°C te na taj način značajno poboljšati njihova energetska efikasnost i emisija CO₂.

Ovim se pokazuje da je ušteda energije, a time i smanjenje troškova i doprinos smanjenju emisije CO₂, značajan i dobar pokazatelj koliko se mnogo na lokalnom, globalnom i dugoročnom planu može učiniti uz sprovođenje vrlo jednostavnih aktivnosti.

7 ZAKLJUČAK

Klimatske promjene, dijelom posljedica ekonomskog razvoja i emisije CO₂ u atmosferu, uzrokuju globalne promjene stanja životne sredine. Ovo stanje je dijelom izazvano i evidentnim razvojem ICT sektora koji može imati značajniju ulogu u smanjenju emisije CO₂, a time i negativnih efekata na globalnom nivou.

S istorijom kao pokazateljom, sa sigurnošću se može pretpostaviti da, makar u bliskoj budućnosti, zahtjevi za oslanjanjem na informacione sisteme i dostupnost podataka, te količina podataka na mreži će i dalje kontinualno rasti. Shodno tome, obezbjeđenje adekvatnih ICT resursa za podršku i održavanje rasta je od suštinskog značaja.

Evidentni razvoj ICT sektora u pravcu novih i inovativnih rješenja, primjena raznih pametnih (*SMART*) paradigmi u svakodnevnom životu i radu, nesumnjivo govori u prilog tezi da će ICT biti jedan od glavnih činilaca u borbi sa evidentnim klimatskim promjenama koje su posljedica razvoja ljudskog društva. Ekspanzija naučnih istraživanja i publikovanih rezultata iz ove oblasti govori o velikom interesovanju naučne javnosti za nalaženjem novih rješenja koja se brzo implementiraju u savremenu industriju i prihvataju od svjetske populacije. Tehnologije se pojavljuju i sazrijevaju, a posebno u ICT oblasti, sve u cilju podrške novoj generaciji data centara. Tehnologije koje su slovile za nove i napredne i kao takve imale epitet tehnologija sledeće generacije prije nekoliko godina unazad, sada su usvojene u data centrima u cilju poboljšanja produktivnosti i adresiranja različitih problema.

Upravo razvoj *green* ICT rješenja i standarda, koji su dijelom prezentovani u ovom radu, omogućiće širu primjenu i lančani efekat pozitivnih uticaja na životnu okolinu i korišćenje ograničenih prirodnih resursa. Svijest o mogućnosti promjene, sveprisutnost ICT-a i doprinos svakog pojedinca na globalnom nivou će dati dodatni impuls razvoju *green* ICT-a i njegovoj primjeni u skorijoj budućnosti.

U radu je predstavljen predlog poboljšanja energetske efikasnosti data centra primjenom *green* ICT tehnologija, koji je primijenjen na realno okruženje konkretne kompanije, prikazujući kompletan proces od pregleda mogućih *green* rješenja do implementacije i validacije određenih rješenja. Temeljno je prikazana sistematizacija postojećih *green* ICT tehnologija sa akcentom na tehnologije primjenjive u data centrima.

Rad je zaokružen jednim ilustrativnim primjerom koji govori u prilog tezi da se sa neznatnim promjenama u upravljanju i korišćenju ICT infrastrukture u pravcu implementacije *green* ICT rješenja može mnogo doprinijeti smanjenju troškova i emisije CO₂ na lokalnom i globalnom nivou.

Međutim, pronalazak i implementacija jedinstvenog i univerzalnog rješenja koje može dovesti do poboljšanja energetske efikasnosti data centara nije moguće iz više razloga: *green* tehnologije se stalno razvijaju te se pojavljuju novija i efikasnija rješenja; razvoj samih data centara prvenstveno je diktiran njihovom namjenom, dinamikom razvoja, napretkom tehnologija itd.; uticaj geografskog okruženja je višestruk što zbog različite emisije CO₂ pri proizvodnji el. energije, što zbog mogućnosti primjene određenih rješenja, uticaja klimatskih promjena itd.

S tim u vezi ne postoji predefinisana formula koja bi mogla biti primjenjiva za sve data centre.

U predmetnom data centru je primijenjeno samo jedno *green* rješenje od niza predloženih - povećanje temperature data centra koje je za rezultat imalo značajno smanjenje emisije ugljen-dioksida i poboljšanje energetske efikasnosti. Dakle, emisija CO₂ je smanjena na godišnjem nivou za oko 616 kg dok je potrošnja energije redukovana za oko 4.28 MWh. Dalje aktivnosti podrazumijevaju prikaz rezultata mjerenja menadžmentu predmetnog data centra te, uz njihovo odobrenje, nastavak implementacije preostalih *green* tehnologija u cilju poboljšanja njegove efikasnosti.

Kako ne postoji mogućnost kupovine ili narudžbine *green* ICT tehnologija koje bi riješile sve probleme koji onemogućavaju data centru da postane zelen, potrebno je analizirati i predstaviti koja su to rješenja koja mogu doprinijeti njegovoj održivosti. Potrebno je svakom data centru ponaosob pristupiti, uraditi preciznu analizu svih potrošača u njemu, analizu budućeg rasta i razvoja, analizu i odabir postojećih *green* ICT rješenja, odabir i mogućnost uvođenja efikasnijih tehnologija kao dijela normalnog ciklusa pri zamjeni opreme, analizu proizvodnje el. energije za dato podneblje ili državu, mjerenje i prikaz rezultata, te na taj način ostvariti krajnji doprinos. U sve predložene aktivnosti, u cilju saradnje, poželjno bi bilo uključiti dizajnere i menadžere data centara, proizvođače ICT opreme i lica zadužena za infrastrukturu kako bi se postigla optimizacija i poboljšanje efikasnosti data centara. Što se tiče samih rezultata mjerenja, imaće validnost i primjenu tokom određenog perioda, međutim, već naredne godine, procenat "prljave" energije više neće biti isti, tako da je potrebna ponovna analiza u cilju tačne estimacije CO₂ otiska.

Ovaj rad se može dalje razvijati u pravcu unapređenja predloženih rješenja i razvoja široko primjenjivih i finansijski održivih novih *green* tehnologija. Nadalje, razvoj adekvatnih rješenja shodno specifičnosti sredina u kojima se nalaze data centri i jačanje svijesti o značaju poboljšanja energetske efikasnosti, trebalo bi tretirati u daljim istraživanjima. S obzirom na kompletnost izložene materije rad može poslužiti kao osnov za dalje analize i primjene u naučno-istraživačkim i komercijalnim svrhama.

LITERATURA:

- [1] S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, “Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-adaptation,” in *NSDI'08 Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, 2008, pp. 323-336.
- [2] G.Q. Zhang, Q.F. Yang, S.Q. Cheng, T. Zhou, “Evolution of the Internet and its cores” in *New Journal of Physics* 10 (2008) 123027, Available: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/10/12/123027/pdf>
- [3] Iea.org, Publication: More Data, Less Energy: Making Network Standby More Efficient in Billions of Connected Devices. 2014 Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/more-data-less-energy.html>
- [4] G.J. Olivier, G. Janssens-Maenhout, M. Muntean, J.A.H.W. Peters, “Trends in global CO2 emissions-2016 report“, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, 2016.
- [5] V. Foster, D. Bedrosyan, “Understanding CO2 Emissions from the Global Energy Sector”, in *Live Wire - 85126*, A knowledge note series for the energy practice, The World Bank, 2014.
- [6] D. Pamlin and K. Szomolányi, “Saving the climate@ the speed of light. First roadmap for reduced CO2 emissions in the EU and beyond”, in *A joint initiative of ETNO and WWF*, 2006.
- [7] L. Neves, J. Krajewski and Smarter team “GeSI SMARTer 2020: The Role of ICT in Driving a Sustainable Future”, Global e-Sustainability Initiative and Boston Consulting Group, www.gesi.org, December 2012.
- [8] D. Bouley, “Estimating a Data Center’s Electrical Carbon Footprint”, in *White Paper 66, rev.0*, Schneider Electric, 2011.
- [9] The Sustainable Development Goals: 17 goals to transform our world, Available: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>
- [10] E. Ayguad’e, J. Torres, “Creating power-aware middleware for energy-efficient data centres.” Available: <http://ercim-news.ercim.eu/en79/special/creating-power-aware-middleware-for-energy-efficient-data-centres>
- [11] D. Sarokin, “Question: energy use of Internet”, Available: <http://uclue.com/?xq=724>, 2007
- [12] V. Coroama, L. Hilty, E. Heiri, F. Horn, “The direct energy demand of internet data flows” in *Journal of industrial Ecology* , vol. 17 issue (5), 2013, pp. 680–688.
- [13] A. Boukerche, X.Cheng, J. Linus, ”A performance evaluation of a novel energy-aware data-centric routing algorithm in wireless sensor networks”, *Wirel. Netw.*, 11, 2005, pp. 619–635.
- [14] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, “Adaptive Energy-Conserving Routing for Multihop Ad hoc Networks,” in *Technical Report 527*, USC/Information Sciences Institute, 2000, Available: <https://www.isi.edu/~johnh/PAPERS/Xu00a.pdf>.
- [15] P. Santi, “Topology control in wireless ad hoc and sensor networks,” in *ACM Computing Surveys*, vol.37, 2005, pp.164–194.
- [16] E. Beckmann, L.M. Jauco, S.G.M. Koo, “Green networking: Developing sustainable computer networks,” in *Systems, Man and Cybernetics (SMC)*, 2014 IEEE International Conference, 2014, pp. 3785-3790.
- [17] M. Rouse, “Network virtualization,” in *Search Server Virtualization*, Available: <http://searchservervirtualization.techtarget.com/definition/network-virtualization>
- [18] T.M. Nam, N.H. Thanh, D.A. Tuan, “Green data center using centralized power-management of network and Servers,” in *International Conference on Electronics, Information and Communications (ICEIC)*, Da Nang 2016, pp. 1-4.
- [19] J. Ryoo, Y.B. Choi, T.H. Oh, “A Taxonomy of Green Information and Communication Protocols and Standards” in *Handbook of Research on Green ICT: Technology, Business and Social Perspectives*, 2011, pp. 364-376.
- [20] A.P. Bianzino, C. Chaudet, D. Rossi, J. Rougier, “A Survey of Green Networking Research,” in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 14, no. 1, First Quarter 2012, pp. 3-20.

-
- [21] S. Nedeveschi, J. Chandrashekar, J. Liu, B. Nordman, S. Ratnasamy, N. Taft, "Skilled in the art of being idle: Reducing energy waste in networked systems," in *NSDI*, vol. 9, 2009, pp. 381–394.
- [22] C. Gunaratne, K. Christensen, and B. Nordman, "Managing energy consumption costs in desktop pcs and lan switches with proxying, split tcp connections, and scaling of link speed," in *International Journal of Network Management*, vol. 15, no. 5, 2005, pp. 297–310.
- [23] B. Lannoo, "D8.1: Overview of ICT energy consumption," in *Report of the EU FP7 Project FP7-288021*, 2013.
- [24] A. Amokrane, "Green and energy efficiency in access networks and cloud infrastructures", 2014, p.47. Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01150569>
- [25] CISCO and INTEL, "IEEE 802.3az Energy Efficient Ethernet: Build Greener Networks," 2011, Available: http://www.webtorials.com/main/resource/papers/cisco/paper192/Build_Greener_Networks.pdf
- [26] R. Kleinerman, D. Feldman, "Power over Ethernet (PoE): An Energy-Efficient Alternative", 2011, Available: <http://www.marvell.com/switching/assets/Marvell-PoE-An-Energy-Efficient-Alternative.pdf>.
- [27] S. Nedeveschi, L. Popa, G. Iannaccone, S. Ratnasamy, D. Wetherall, „Reducing Network Energy Consumption via Sleeping and Rate-Adaptation“, 5th USENIX, Conf. Proc., pp. 323-336, San Francisco 2008.
- [28] G. Lee, "Cloud Networking: Understanding Cloud-based, Data Center Networks," 2014, p.201.
- [29] <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- [30] A. Andrae, P.M. Corcoran "Emerging trends in electricity consumption for consumer ICT", 2013.
- [31] V. Chauhan, A. Chauhan, S. Kapoor, S. Agrawal, R.R. Singh, "Motivation for Green computer, methods used in computer science program," *2011 National Postgraduate Conference*, Kuala Lumpur, 2011, pp. 1-5.
- [32] B. Staehle, A. Binzenhoefer, D. Schlosser, B. Boder, "Quantifying the Influence of Network Conditions on the Service Quality Experienced by a Thin Client User," in *14th GI/ITG Conference - Measurement, Modelling and Evaluation of Computer and Communication Systems(MMB)*, Dortmund, Germany, 2008, pp. 1-15.
- [33] J. Hayes, "Thin clients' fat challenge [IT Desktop Computing]," in *Engineering & Technology*, Vol. 4, no. 21, 2009, pp. 52–53.
- [34] W. Vereecken, et al, "Energy Efficiency in Thin Client Solutions," in *Networks for Grid Applications. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol. 25, 2010, pp. 109–116.
- [35] Z. Andreopoulou, "Green informatics: ICT for green and sustainability," in *Journal of Agricultural Informatics*, vol.3, no.2, 2012, pp. 1-8.
- [36] B. Raghavan, J. Ma, 2014. "The Energy and Emergy of the Internet," in *Proceedings of the 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks Article No. 9*, 2011, Available: <http://conferences.sigcomm.org/hotnets/2011/papers/hotnetsX-final56.pdf>
- [37] M. D. Dikaiakos, D. Katsaros, P. Mehra, G. Pallis, A. Vakali, "Cloud Computing: Distributed Internet Computing for IT and Scientific Research," in *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 5, 2009, pp. 10-13.
- [38] A. Weiss, "Computing in the Clouds," in *Networker Journal*, vol. 11, ACM Press, New York, USA, 2007 pp. 16-25.
- [39] P. Barham et. al., "Xen and the Art of Virtualization," in *Proc. of 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 2003)*, Bolton Landing, USA, 2003, pp. 164-177.
- [40] M. Armbrust et. al., "Above the Clouds: A Berkeley View of Cloud Computing," in *Technical Report No. UCB/EECS-2009-28*, University of California at Berkley, USA, 2009, Available: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2009/EECS-2009-28.pdf>

-
- [41] R.P. Padhy, M.R. Patra, S.C. Satapathy, "Cloud computing: security issues and research challenges," in *International Journal of Computer Science and Information Technology & Security (IJCSITS)*, vol. 1, no. 2, December 2011, pp. 136–146.
- [42] J. Kaplan, W. Forrest, N. Kindler, "Revolutionizing Data Center Energy Efficiency," in *McKinsey & Company Technical Report*, 2008. Available: https://www.sallan.org/pdf-docs/McKinsey_Data_Center_Efficiency.pdf
- [43] C. Scroggie, "Predictions 2009: Symantecs craig scroggie," 2008, <http://searchstorage.techtarget.com.au/articles/28102-Predictions-2-9-Symantec-s-Craig-Scroggie>
- [44] J. Markoff, S. Hansell, "Hiding in Plain Sight, Google Seeks More Power," in *New York Times*, 2006. Available: <http://www.nytimes.com/2006/06/14/technology/14search.html>
- [45] Global census shows datacentre power demand grew 63% in 2012, Available: <http://www.computerweekly.com/news/2240164589/Datacentre-power-demand-grew-63-in-2012-Global-datacentre-census>
- [46] P.X. Gao, A.R. Curtis, B. Wong, S. Keshav, "It's not easy being green" in *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol.42, 2012, pp. 211-222.
- [47] G. James, "Power, pollution and the internet," in *New York Times*, 2012. Available: <http://www.nytimes.com/2012/09/23/technology/data-centers-waste-vast-amounts-of-energy-belying-industry-image.html>
- [48] A. Carrega, S. Singh, R. Bruschi, R. Bolla, "Traffic merging for energy-efficient datacenter networks," in *Proceedings of SPECTS'12*, 2012, pp 1-5.
- [49] "Miloš Stojković, Solutions-Product Manager u kompaniji ENEL PS - Energetska efikasnost u Data Centru," Available: <http://www.ekapija.com/people/1376742/milos-stojkovic-solutions-product-manager-u-kompaniji-enel-ps-energetska-efikasnost-u>
- [50] N. Rasmussen, "Avoiding Costs from Oversizing Data Center and Network Room Infrastructure" in *APC White Paper 37*, 2012.
- [51] D. Cole, "Data Center Energy Efficiency – Looking Beyond PUE" in *No Limits Software White Paper #4*, 2011.
- [52] N. Rasmussen, "Electrical Efficiency Measurement for Data Centers", in *White Paper 154, rev.2*, Schneider Electric, 2011.
- [53] World's greenest data center, Available: <https://ecodatacenter.se/worlds-greenest-data-center>
- [54] B. Weihl, E. Teetzel, J. Clidas, C. Malone, J. Kava, M. Ryan, "Sustainable data centers," in *Magazine XRDS: Crossroads, From Pollution to Pixels*, vol.17, 2011, pp. 8-12.
- [55] A. Miletić, A. Radulović, B. Krstajić, "Zelena računarska učionica," in *XXI Međunarodni naučno-stručni skup INFORMACIONE TEHNOLOGIJE – sadašnjost i budućnost (IT'16)*, 2016, pp. 121-124.
- [56] S. Newman, B. Palmintier, "Systems Thinking for Radically Efficient and Profitable Data Centers," in *Next Generation Datacenter Conference*, San Francisco, 2008.
- [57] N. Rasmussen, "Avoidable Mistakes that Compromise Cooling Performance in Data Centers and Network Rooms", in *White Paper 49, Rev. 2*, Schneider Electric, 2011.
- [58] Emerson Network Power, "Energy logic: Reducing Data Center Energy Consumption by Creating Savings that Cascade Across Systems," in *A White Paper from the Experts in Business-Critical Continuity*, 2009.
- [59] A. Douglas, "Grow A Greener Data Center", by Cisco Press, 2009, pp. 95.
- [60] Y. Zhang, N Ansari, "Chapter 12: Green Data Centers," in *HANDBOOK ON GREEN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS*, Advanced Networking Laboratory New Jersey Institute of Technology Newark, pp. 338, 2012.
- [61] D. Samardžić, "Računarski oblak savremena i štedljiva tehnologija," in *Internet ogledalo - Business & Technologies magazine*, Energetska efikasnost, spec. izdanje, GM Business & Lifestyle, ISSN 1821-4177, 2015.

-
- [62] INTEL, “The Problem of Power Consumption in Servers”, 2009, Available: <https://www.infoq.com/articles/power-consumption-servers>.
- [63] Fujitsu Siemens Computers, “Green data center and virtualization-reducing power by up to 50%,” *White paper*, August 2007.
- [64] M. Dastbaz, C. Pattinson, B. Akhgar, “Green Information Technology: A Sustainable Approach,” Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 2015, pp.131.
- [65] R. Buyya, A. Beloglazov, J. Abawajy, “Energy-efficient management of data center resources for cloud computing: a vision, architectural elements, and open challenges”, 2010, Available: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1006/1006.0308.pdf>.
- [66] M. Radosavljević, “Data centri”, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, diplomski rad, 2015.
- [67] A. Pratt, P. Kumar, K. Bross, T. Aldridge, “Powering Compute Platforms in High Efficiency Data Centers,” in *IBM Technology Symposium*, 2006. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.3009&rep=rep1&type=pdf>
- [68] G. Spafford, “Greening the Data Center: A Pocket Guide”, Publisher: IT Governance Ltd, April 2009.
- [69] Uninterruptible Power Supply, <http://www.vanparijs-engineers.be/en/solutions/uninterruptible-power-supply>
- [70] M. Milad, M. Darwish, “UPS System: How Can Future Technology and Topology Improve the Energy Efficiency in Data Centers?,” in *IEEE Power Engineering Conference (UPEC)*, 2014.
- [71] K. Fehrenbacher, “What you need to know about flywheels,” 2011, Available: <https://gigaom.com/2011/10/31/what-you-need-to-know-about-flywheels/>
- [72] W. Whitted et al. “Data center uninterruptible power distribution architecture,” 2009, Available: <https://www.google.com/patents/US7560831>
- [73] I. Metzger, O. V. Geet, “Data Center Energy Efficiency and Renewable Energy Site Assessment: Anderson Readiness Center,” National Renewable Energy Laboratory (NREL) Golden CO, 2014.
- [74] S. Kumar, R. Buyya, “Green Cloud Computing and Environmental Sustainability,” in *Harnessing Green It: Principles and Practices*, *IEEE Computer society*, 1st edition, 2012, pp. 315-339.
- [75] D. Pratt, A. Kumar, “Evaluation of 400V DC Distribution in Telco and Data Centers to Improve Energy Efficiency,” in *International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, 2007.
- [76] D. Demetriou, “Energy Efficiency and Reliability Transformation at the IBM India Software Lab Data Center,” in *15th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*, 2016.
- [77] L. A. Barroso, J. Clidaras, U. Hölzle, “The Datacenter as a Computer,” Morgan & Claypool Publishers series, 2nd edition, 2013, pp. 70–71.
- [78] A. Woods, “Cooling the data center,” in *Communications of the ACM*, vol. 53, no. 4, 2010, pp. 36–42.
- [79] D. Kelley, “5 Ways to Help Data Center Customers Save Energy, Increase Performance”, 2015, Available: <http://www.contractingbusiness.com/commercial-hvac/5-ways-help-data-center-customers-save-energy-increase-performance>
- [80] “Data Center Power Equipment Thermal Guidelines and Best Practices,” in Whitepaper created by ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9 Mission Critical Facilities, Data Centers, Technology Spaces, and Electronic Equipment, 2016.
- [81] The Green Greed, “Breaking New Ground on Data Center Efficiency,” CASE STUDY, 2012.
- [82] Ekološki zeleni data centar, Available: <http://www.altus-it.hr/o-nama/ekoloski-zeleni-data-centar>
- [83] S. Jayantha, Y. W. Wong, K. C. Toh, Y. Wen, “Optimisation of outdoor air cooling system for modular data centres,” in *Proceedings of the SB 13 Singapore - Realising Sustainability in the Tropics*, 2013, pp. 192–198.
- [84] J. Wallace, “Immersion liquid cooling small form factor and server-class systems,” Available: <http://smallformfactors.mil-embedded.com/articles/immersion-form-factor-server-class-systems/>

-
- [85] "Microsoft testing under sea immersion cooling," Available: <https://submer.com/microsoft-testing-undersea-immersion-cooling/>
- [86] M. K. Patterson, D. Fenwick, "The state of datacenter cooling," in *White Paper*, Intel Corporation, 2008.
- [87] M. Ebbers, A. Galea, M.T.D. Khiem, M. Schaefer, "The Green Data Center – Steps for the Journey," *IBM RedPaper* (August 2008), Available: <http://www.redbooks.ibm.com/abstracts/redp4413.html>
- [88] R. McMillan, "Welcome to IBM's Supercomputer Waterworld of the Future," 2013, Available: <https://www.wired.com/2013/01/ibm-waterworld/>
- [89] L.A. Parnell, "Combining Cooling Technology and Facility Design to Improve HPC Data Center Energy Efficiency," in *15th IEEE ITherm*, 2016.
- [90] M. J. Ellsworth, M.K. Iyengar, "Energy Efficiency Analyses and Comparison of Air and Water Cooled High Performance Servers," in *International Electronic Packaging Technical Conference and Exhibition, ASME 2009 InterPACK Conference*, vol. 2, 2009.
- [91] M. P. David *et al.*, "Experimental characterization of an energy efficient chiller-less data center test facility with warm water cooled servers," *2012 28th Annual IEEE Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM)*, San Jose, CA, 2012, pp. 232-237.
- [92] "SuperMUC Petascale System," 2016, Available: <https://www.lrz.de/services/compute/supermuc/systemdescription/>
- [93] "IBM's SuperMUC - World's 1st Hot-Water Cooled SuperComputer," Available: <https://www.youtube.com/watch?v=i8VoJgUPxvY/>
- [94] G. Schulz, "The Green and Virtual Data Center," by Auerbach Publications CRC Press, 2009, p. 143.
- [95] "Green revolution cooling", 2016, Available: <http://www.grcooling.com>
- [96] M. Rouse, "Liquid immersion cooling," 2014, Available: <http://whatis.techtarget.com/definition/liquid-immersion-cooling/>
- [97] D. Varma, "Submerged servers in the data center: not as new or nearly as scary as we think," by Green revolution cooling, 2014.
- [98] "Immersion Cooling for Data Centers," 2016, Available: <https://submer.com/#solution/>
- [99] "Moderne tehnologije i telekomunikacije," 2015, Available: <http://radnanetu.com/moderne-tehnologije-i-telekomunikacije/>
- [100] B. Plankers, "Liquid cooling drives down costs and improves efficiency," 2013, Available: <http://searchdatacenter.techtarget.com/opinion/Liquid-cooling-drives-down-costs-and-improves-efficiency/>
- [101] Google's Green Data Centers: Network POP Case Study, 2011.
- [102] D. Moss, J. Bean, "Energy Impact of Increased Server Inlet Temperature," *APC by Schneider Electric - White Paper 138*, 2009.
- [103] R. Vokoun, "Energy Efficiency in Today's Data Center," 2012, Available: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2012/06/28/energy-efficiency-todays-data-center/>
- [104] "Overview and design of data center cabinets", in *Data center overview white paper*, Pentair Equipment Protection, 2013.
- [105] "Explore Cable Management, Press Release, and more!," Available: <https://www.pinterest.com/pin/286752701248542732/>
- [106] Y. Joshi, P. Kum, "Energy Efficient Thermal Management of Data Centers," New York: Springer, 2012.p.49.
- [107] White Paper Green ICT-The Greening of Business, T-Systems, October 2009.
- [108] L. Lefevre, A.C. Orgerie, "Designing and evaluating an energy efficient cloud," in *J.Supercomput.* , vol. 51, no. 3, pp. 352–373, Mar. 2010.

-
- [109] “3 Reasons Why Power over Ethernet Demands CAT 6A Cable,” 2016, Available: <http://www.belden.com/blog/datacenters/3-Reasons-Why-Power-over-Ethernet-Demands-CAT-6A-Cable.cfm>
- [110] P. McLaughlin, “PoE and other technologies are pushing powered-device wattages ever-higher”, in *Issue of Cabling Installation & Maintenance Magazine*, 2015.
- [111] OmniConverter™ Media Converters with Power over Ethernet (PoE), Available: http://www.omnitron-systems.com/products/omnicconverter-media-converters-with-power-over-ethernet-poe.php?referrer=Google_poe_mc&gclid=CjwKEAju9MrIBRCr2LPek5-h8U0SJAD3jfhtn62vwGycm5nnDJmHNfTQBs2OXCI5JZO_TCIJkTEHLhoCHxDw_wcB
- [112] “Increase Rack Cooling Efficiency and Solve Heat-Related Problems” in *Tripp Lites White paper*, 2014, Available: <https://www.tripplite.com/shared/literature/White-Paper/Increase-Rack-Cooling-Efficiency-and-Solve-Heat-Related-Problems-White-Paper-230v-EN.pdf>.
- [113] B. Nordquist, ”Practical Data Center Management: A Few Tips for A Cleaner, More Efficient Data Center” StorageCraft Technology Corporation, 2016, Available: <https://www.storagecraft.com/blog/practical-data-center-management/>
- [114] ENERGY STAR, Properly Deployed Airflow Management Devices, Available: https://www.energystar.gov/products/low_carbon_it_campaign/12_ways_save_energy_data_center/properly_deployed_airflow_management_devices
- [115] D. Moss, J. Ruf, “Rack Blanking Panels - To Fill or Not to Fill” in *A Dell Technical White Paper*, 2011.
- [116] D. Moss, “Don’t Bake Your Network Switches”, in *Dell - Data Center Infrastructure*.
- [117] “Rethink Data Center Cabling to Improve Energy Efficiency”, by Industry Perspectives, 2017, Available: <http://www.datacenterknowledge.com/industry-perspectives/rethink-data-center-cabling-improve-energy-efficiency>
- [118] “Airflow Issues: Silent Enemy of Efficient Cooling,” by Industry Perspectives, 2011, Available: <http://www.datacenterknowledge.com/archives/2011/05/19/airflow-issues-silent-enemy-of-efficient-cooling/>
- [119] UNIFLAIR, Amico series SDA – SUA.
- [120] M. Patterson, “The effect of data center temperature on energy efficiency,” in *Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2008. ITherm 2008*, 11th Intersociety Conference, 2008, pp. 1167–1174.
- [121] D. Moss, “Data Center Operating Temperature: The Sweet Spot”, in *A Dell Technical White Paper*, 2011, Available: https://partnerdirect.dell.com/sites/channel/en-us/documents/data_center_operating_temperature_white_paper.pdf.
- [122] Predlog odluke o energetsom bilansu Crne Gore za 2017. godinu.
- [123] The Engineering ToolBox, Combustion of Fuels - Carbon Dioxide Emission, Available: http://www.engineeringtoolbox.com/co2-emission-fuels-d_1085.html