



UNIVERZITET SINGIDUNUM
DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE
I MEĐUNARODNU SARADNJU

ENERGETSKA EFIKASNOST U PRIMENI
VIRTUALNOG DATACENTRA
I KONCEPT EKOLOŠKIH
ELEKTRONSKIH UČIONICA NA
UNIVERZITETU SINGIDUNUM

- Master rad -

Mentor:

Prof. dr Mladen Veinović

Kandidat:

Dušan Stamenković

Br. indeksa:

410466 / 2011

Beograd, 2012.



ENERGETSKA EFIKASNOST U PRIMENI VIRTUALNOG DATACENTRA I KONCEPT EKOLOŠKIH ELEKTRONSKIH UČIONICA NA UNIVERZITETU SINGIDUNUM

Sažetak: Sa povećanjem broja aplikacijskih servera, velikih skladišta podataka i drugih uređaja, u modernim datacentrima sve češće se postavlja pitanje energetske efikasnosti. Porast broja čipova i upotreba sve većeg broja servera, za posledicu su imale da IT oprema troši veće količine električne energije nego ikad. Nova oprema zahteva nova ulaganja u sisteme za rashlađivanje i omogućavanje besprekidnog snabdevanja električnom energijom. Kroz rad su analizirane i upoređene potrošnje električne energije klasičnog Univerzitetskog datacentra sa velikim brojem fizičkih servera, nasuprot istom broju virtualnih servera. Prikazane su vrednosti dobijene poređenjem kumulativne potrošnje i opterećenja naponske jedinice pri normalnom režimu rada i pri punim opterećenjem klijentskih zahteva. Kroz rad je takođe predstavljen koncept zelenih učionica male potrošnje i doprinos unapređenju IT tehnologija na Univerzitetu Singidunum u vidu izrade koncepta virtualnih učionica.

Ključne reči: energetska efikasnost, potrošnja električne energije, troškovi datacentra, virtualizacija, ekološki računari

ENERGY EFFICIENCY IN THE APPLICATION OF VIRTUAL DATACENTER AND CONCEPT OF GREEN ELECTRONIC CLASSROOMS AT SINGIDUNUM UNIVERSITY

Abstract: With the increasing number of application servers, a large data warehouses and other devices, in modern datacenters increasingly raises the issue of energy efficiency. The growth in the number of chips and the emergence of blade servers, as a consequence have had that IT equipment consumes larger amounts of electricity than ever. New equipment requires large investments in systems for cooling and providing a safe supply of electricity. Through this work author analyzed the energy consumption when using a larger number of physical servers against the same number of virtual servers. Obtained values shows comparison of cumulative power consumption and load unit in idle work mode and the full load of client requests. Through the work author present the concept of low consumption of green classrooms and contribution to advancement of IT technologies at the Singidunum University.

Key words: energy efficiency, energy consumption, datacenter costs, virtualization, green computers

SADRŽAJ

1	Uvod	3
2	Metodologija naučnog istraživanja.....	4
2.1	Predmet istraživanja.....	4
2.2	Ciljevi i zadaci istraživanja	4
3	Energetska efikasnost i pregled postojećih rešenja	6
3.1	Pojam energetske efikasnosti	6
3.2	Koncept virtualizacije	6
3.2.1	Pojam i osnovni koncepti	7
3.2.2	Hardverska podrška.....	7
3.2.3	Popularne implementacije i rešenja	9
3.2.4	VMware®	10
3.2.5	Microsoft®	13
3.2.6	Citrix®	14
3.2.7	Oracle® (Sun®).....	15
4	Univerzitetski datacenter	16
4.1	Dosadašnja organizacija Univerzitetskog datacentra i njeni nedostaci	16
4.2	Konsolidacija i virtualizacija Univerzitetskog datacentra.....	19
4.3	Hardverski resursi	23
4.3.1	IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja	23
4.3.2	Tehničke specifikacije hardvera	24
5	Eksperimentalna merenja u datacentru	26
5.1	Testovi koji su vršeni	26
5.2	Rezultati testova u fizičkom datacentru	27
5.2.1	Rezultati testova – Konfiguracija 1.....	27
5.2.2	Rezultati testova – Konfiguracija 2.....	31
5.2.3	Sumarni rezultati fizičkog datacentra.....	34
5.3	Rezultati testova u virtualnom datacentru	38
5.3.1	Rezultati testova – Konfiguracija 3.....	38
5.3.2	Rezultati testova – Konfiguracija 4.....	42
5.3.3	Sumarni rezultati virtualnog datacentra	45
5.4	Poređenje dobijenih rezultata	49
6	Elektronske učionice.....	53
6.1	Trenutno stanje elektronskih učionica	53
6.2	Koncept „Green“ računara u elektronskim učionicama.....	54
6.3	Hardverski resursi	55
6.3.1	IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja	55
6.3.2	Tehničke specifikacije hardvera	56

7	Eksperimentalna merenja u elektronskim učionicama.....	56
7.1	Testovi koji su vršeni	57
7.2	Rezultati testova računara	57
7.2.1	Rezultati testova stare generacije računara.....	58
7.2.2	Rezultati testova nove (ekološke) generacije računara	61
7.3	Poređenje dobijenih rezultata	65
8	Koncept virtualnih elektronskih učionica	68
8.1	Hardverski resursi	70
8.1.1	IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja	70
8.1.2	Tehničke specifikacije.....	70
8.2	Poređenje dobijenih rezultata	70
9	Zaključak.....	75
10	Lista slika u radu.....	76
11	Lista tabela u radu.....	77
12	Lista grafikona u radu.....	78
13	Literatura.....	81
14	Tehnička dokumentacija.....	83
15	Internet izvori.....	84

1 Uvod

U našem društvu i dalje vlada nasleđen, a pogrešan stav, da je naša država bogata električnom energijom. Osvrćući se na prethodne godine, svetsku ekonomsku krizu, sve češće restrikcije usled dugih i hladnih zima, odnosno jako toplih leta, Srbija je bila prinuđena da uvozi električnu energiju dok cena ovog energenta ima trend rasta na svetkom tržištu. Neefikasno trošenje ovako skupog energenta odraziće se i na povećane izdatke u vidu finansijskih resursa i povećanu emisiju štetnih gasova (CO₂) u atmosferu. Naspram vodećih svetskih ekonomija (Evropska Unija i Sjedinjene Američke Države), u Srbiji je svest o potrošnji električne energije elektronskih uređaja, računara, laptopova, servera i druge mrežne infrastrukture, na jako niskom nivou. Mala i srednja preduzeća, neretko i ona najveća, ali i fakulteti, univerziteti i ostale edukativne ustanove često nisu u mogućnosti da isprate najnovije svetske trendove u pogledu IT dostignuća.

Datacentri širom sveta koji podrazumevaju servere i tehničku infrastrukturu na serverskim sistemima značajno doprinose porastu potrošnje električne energije i operativnih troškova IT opreme. Često se u datacentrima može zateći situacija od dva do desetak fizičkih servera (u zavisnosti čime se firma/ustanova bavi, često i mnogo veći broj) koji obavljaju po najviše jednu ulogu. Ovakvom organizacijom datacentra samo se doprinosi neefikasnijoj upotrebi električne energije što za posledicu ima da Srbija troši 2,5 puta više energije od svetskog proseka, odnosno 4 puta više od proseka u zemljama Evropske Unije. Ovaj rad će se baviti efikasnošću upotrebe servera u datacentrima u Srbiji, na primeru Univerziteta Singidunum. Efikasnost serverskog hardvera i softvera ogleda se u primeni i ulozi koju serveri obavljaju. U zavisnosti od primene i opterećenosti servera, mogu se postići uštede od 20-70% u potrošnji električne energije.[1] Upotrebom virtualizacionih tehnologija i „Cloud computinga“, odnosno konsolidacijom servera, stiče se mogućnost gašenja većeg broja fizičkih servera uz istu efikasnost pri radu klijenata. Time se smanjuje potrošnja električne energije što za direktnu posledicu ima umanjivanje operativnih troškova i emisiju štetnih gasova.

Posebna pažnja je posvećena energetske efikasnosti u organizaciji datacentra i prateće infrastrukture. U ovom radu prezentovan je koncept virtualnih servera naspram fizičkih servera. Eksperimentalnim merenjima došlo se do rezultata potrošnje, predložena su trajna rešenja kako bi se unapređenjem IT servisa na Univerzitetu Singidunum smanjili operativni troškovi. Širenje znanja iz oblasti energetske efikasnosti, mogućnosti unapređenja IT servisa i uštede finansijskih resursa samo su bili neki od razloga za nastavak daljih istraživanja u vidu ekoloških računara i virtualnih elektronskih učionica. Kroz eksperimentalna merenja i istraživanje potrošnje računara nametala se jedna pretpostavka, što su računari stariji, veća je i njihova potrošnja električne energije. Proveravanje ove pretpostavke i mogućnost dodatnog smanjenja troškova kroz tipove „Green“ elektronskih učionica, bilo je predmet istraživanja drugog pristupnog rada.

2 Metodologija naučnog istraživanja

2.1 Predmet istraživanja

Predmet ovog istraživanja predstavlja energetska efikasnost, kako iskoristiti nove IT tehnologije u redukovanju troškova, poboljšanju upotrebe električne energije i smanjenju zagađenja životne okoline.

Rad sadrži kako teorijska objašnjenja tako i praktične prikaze, rezultate i analize testova koji su vršeni. Date su definicije, objašnjene su prednosti virtualizacije i konsolidacije servera u datacentru. Prikazane su podele datacentra na fizičke i virtualne, obuhvaćena je i administracija, održavanje, smanjenje potrebnih skladišnih kapaciteta, rashladnih uređaja i sl. Pokazano je kako se vrši konsolidacija i virtualizacija Univerzitetskog datacentra i objašnjeno je kako i u kolikoj meri se time redukuje potrošnja finansijskih resursa na izdatke potrebne za električnu energiju. Analizom rezultata različitih testova objašnjene su prednosti i mane dva organizaciona tipa datacentra, grafici jasno prikazuju poređenje vrednosti dobijenih rezultata. Takođe, prikazana je i organizacija elektronskih učionica sa starom i novom generacijom računara, a obuhvaćena je i izrada koncepta virtualnih učionica. Detaljnim testiranjima i analizom rezultata različitih testova objašnjene su prednosti i mane dve generacije računara, grafici detaljno opisuju poređenje vrednosti dobijenih rezultata. Takođe, prikazani su koncepti virtualnih elektronskih učionica i poređenje sa „zelenim“ elektronskim učionicama niske potrošnje koje su implementirane na Univerzitetu Singidunum.

2.2 Ciljevi i zadaci istraživanja

Cilj rada je jednostavan teorijski prikaz pojma datacentra, podela istih i odabir najboljeg rešenja za implementaciju virtualnog datacentra na Univerzitetu Singidunum. Realizacija implementacije i konsolidacije datacentra opisana je u celosti u prvom pristupnom radu. Sa realizacijom virtualnog datacentra stižu se uslovi za dalja istraživanja koja su opisana u drugom pristupnom radu koji se bavi problematikom i analizom energetske efikasnosti elektronskih učionica.

Naučni cilj ovog pristupnog rada je istraživanje i sistematizacija znanja o energetske efikasnosti, virtualizaciji i konsolidaciji datacentra i podizanje svesti o očuvanju životne okoline.

Društveni cilj, kako živimo u informatičkom svetu u kojem raste broj korisnika računara, mobilnih telefona i tableta, broj aplikacija, a samim tim i broj servera koji isporučuju aplikacije svakodnevno raste. Sa jedne strane, IT centri se suočavaju sa problemima kapaciteta serverskih prostorija i njihovim rashlađivanjem, rastom potrošnje

električne energije i zagađenjem životne okoline. Sa druge, IT centri se suočavaju sa problemom zastarevanja računara u elektronskim učionicama koji više nisu u prilici da isprate nove aplikacije i servise koje su hardverski sve zahtevniji, javlja se potreba za nabavkom nove opreme koja zahteva nova ulaganja. Ideja za nastavak istraživanja je kako odabrati dobar računar, koji hardverski može da isprati sve zahtevne aplikacije, ali je poseban akcenat stavljen na njegovu energetske efikasnost. Razlike između stare i nove generacije računara su detaljno opisane kroz grafičke prikaze i analizu rezultata. Takođe, istraživanje je otišlo i korak dalje jer je na osnovu dobre organizacije datacentra i mogućnosti implementacije još energetske efikasnih servera predstavljen koncept virtualnih elektronskih učionica sa „Thin Client“-ima. Kako je jedno od gorućih pitanja svetskih geoinženjera „Kako rashladiti planetu?“, odgovor na njihovo pitanje predstavlja povećanje nivoa energetske efikasnosti datacentra konceptom virtualizacije, „Cloud computinga“ i konceptom zelenih, odnosno virtualnih elektronskih učionica.

Osnovni pojmovi koji su od značaja za rad su:

- energetska efikasnost,
- virtualizacija datacentra,
- ekološki računari,
- virtualne učionice.

3 Energetska efikasnost i pregled postojećih rešenja

3.1 Pojam energetske efikasnosti

Iz ugla IT stručnjaka, energetska efikasnost se može smatrati upotreba manje količine električne energije (energenata) za obavljanje istog posla, odnosno funkcije jednog računara, servera ili bilo kog drugog dela mrežne infrastrukture. Energetska efikasnost se nikako ne sme posmatrati kao štednja energije jer štednja uvek podrazumeva neku vrstu odricanja dok efikasna upotreba energije nikad ne narušava uslove rada i pružanje usluga.[2] Važno je još naglasiti da, poboljšana efikasnost upotrebe energije za cilj ima smanjenje potrošnje za istu količinu proizvoda/usluga što rezultira i proporcionalnom uštedom u finansijskim resursima. U tipičnom datacentru sa visoko efikasnim sistemom rashlađivanja i ostala IT oprema mogu da čine preko polovine potrošnje električne energije za ceo objekat. Upotreba efikasne IT opreme će značajno smanjiti ova opterećenja u datacentru, što će posledično smanjiti upotrebu rashladnih uređaja potrebnih da se održava optimalna radna temperatura. Nabavkom servera opremljenih energetski efikasnim procesorima, novom generacijom radne memorije, hladnjacima, ventilatorima i napajanjima, zatim uređaja za skladištenje podataka i visoko efikasne mrežne opreme, stiču se preduslovi za konsolidaciju datacentra i implementaciju virtualizacije. Ova rešenja predstavljaju najpovoljnije načine za smanjenje opterećenja IT opreme i podizanje nivoa energetske efikasnosti celokupnog datacentra.[3]

3.2 Koncept virtualizacije

Od svog nastanka ranih 2000-ih, virtuelna mašina i *hypervisor software* tehnologija x86 servera ubrzo je postala jedna od novih tehnologija u IT infrastrukturi koja se najviše razmatrala.[4] Interes od virtualizacije su u najvećem delu videli računski centri koji su se suočavali sa velikim problemima hlađenja, potrebom za dodatnim prostorom, novim IT kapacitetima koji zahtevaju pojedinačni računari i sl. Takođe, staromodna organizacija računskih centara zahteva i izdvajanje velikih materijalnih sredstava. Do 2003. godine, virtualne mašine i tehnologije za virtualizaciju su uglavnom korišćene za testiranje i razvoj softvera. Ova godina (2003. god.) predstavlja prekretnicu u organizaciji računskih centara jer se smatra da je tehnologija postala stabilan proizvod (rešenje).

Primenom virtualizacionih tehnologija i „Cloud Computinga“ moguće je znatno unaprediti efikasnost i dostupnost resursa i aplikacija unutar organizacije.[5] Takođe, moguće je konsolidovati infrastrukturu, smanjiti troškove održavanja i iskoristiti dosad neiskorišćene kapacitete postojeće opreme.[6]

Mogućnost da više virtualnih servera bude instalirano na jednom fizičkom serveru povećava njegovu iskorišćenost sa prosečnih 5 - 8% na 60 - 80%. Takođe, još jedna od prednosti virtualizacije je što pojednostavljuje administraciju.

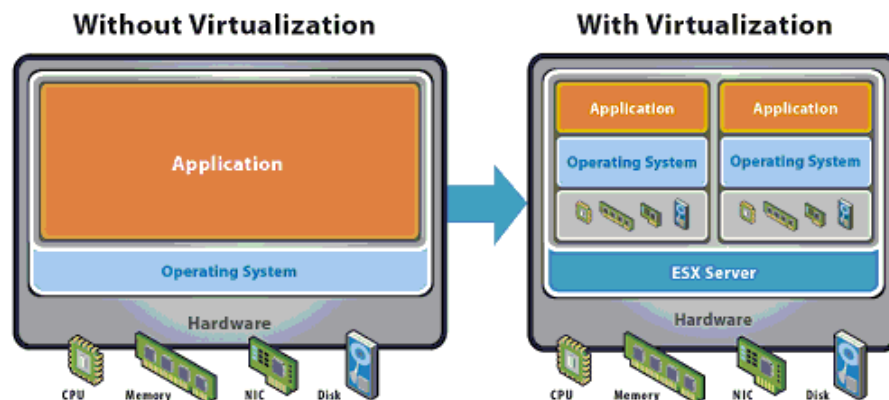
3.2.1 Pojam i osnovni koncepti

Virtualizacija, u računarskoj nauci, predstavlja kreiranje virtualne verzije nečega, kao npr. hardverske platforme, operativnog sistema, uređaja za skladištenje podataka ili mrežnih resursa. Navešćemo nekoliko primera upotrebe virtualizacije, odnosno one najvažnije i najčešće korišćene. Virtualizacija može biti hardverska, softverska, mrežna, aplikacijska i virtualizacija skladištenja podataka.

- virtualizacija skladištenja podataka (*storage virtualization* - povezivanje više fizičkih *storage* uređaja u jedan virtualni),
- mrežna virtualizacija (*network virtualization* - omogućava razdvajanje dostupnih *bandwith*-a u zasebne kanale kako bi se mogli dodeljivati pojedinim resursima),
- serverska virtualizacija (*server virtualization*, često nazvana i hardverska virtualizacija - prikrija fizičke karakteristike servera, virtualni serveri dele resurse fizičkog servera),
- desktop virtualizacija (*desktop virtualization* - radne stanice tzv. „*thin clients*“ nemaju svoj operativni sistem već se on u potpunosti izvodi na serveru),
- aplikacijska virtualizacija (*application virtualization* - poslovne aplikacije se pokreću virtualno sa radnih stanica ali se zapravo troše resursi servera).

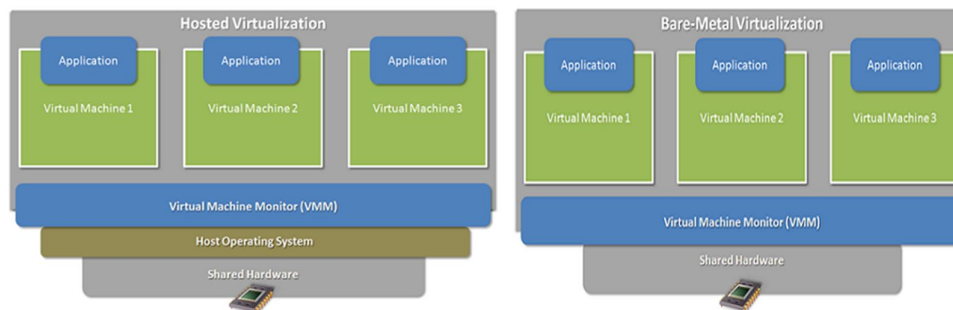
3.2.2 Hardverska podrška

Savremena virtualizacija dozvoljava pokretanje više instanci operativnih sistema na jednom računaru. Svaka virtualna mašina predstavlja nezavisan operativni sistem sa svojim sopstvenim hardverom, ali svi operativni sistemi dele resurse zajedničkog (fizičkog) hardvera. Kontrolu hardvera sprovodi softver nazvan virtualna mašina (VM), koji se bavi pristupima procesoru, memoriji, ulazno-izlaznim uređajima, hard diskovima i mrežnim hardverom. Takođe, svaku od virtualnih mašina treba posmatrati kao jedan poseban računar sa istim ili različitim performansama u zavisnosti od njenih potreba. Pokretanjem nove virtualne mašine se ne oduzimaju resursi drugoj, trećoj ili bilo kojoj drugoj pokrenutoj virtualnoj mašini. Virtualna mašina prilikom pokretanja na određen način rezerviše (zauzima) resurse koji su joj dodeljeni. Virtualne mašine između sebe dele resurse procesora, grafičke i mrežne kartice. Skladišni kapaciteti su im zagarantovani kreiranjem virtualnog diska koji predstavlja pojedinačne zasebne fajlove za svaku od mašina. Jedini resurs koji virtualne mašine ne dele između sebe je RAM memorija. Ovaj resurs će ponovo biti slobodan za dalje korišćenje fizičkog računara ili neke druge virtualne mašine tek kada se ona prva ugasi. Slika 1 prikazuje pristupanje hardverskim resursima bez i sa virtualizacijom.



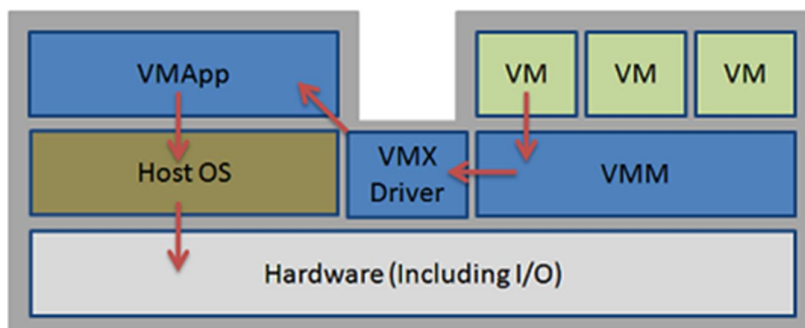
Slika 1. Prikaz klasičnog računara bez i sa virtualizacijom

Virtualizacija je pomirila dve krajnosti u pogledu organizacije IT sistema - centralizovan sistem naspram decentralizovanog. Umesto da se troše velika sredstva na nabavku novih računara sa savremenim perifernim uređajima, korišćenjem virtualizacije u upotrebu se stavlja centralni hardver na sloju ispod virtualnih mašina i na taj način se obavlja centralizacija čitavog sistema. Osnovna korist od ovoga jeste to što takva celina sada može mnogo lakše da se održava. Potrebno je samo na jednom računaru instalirati sigurnosne zakrpe, nove verzije aplikacija ili dodatne alatke i svi korisnici sistema preko virtualnih mašina imaju iste uslove za rad. Osnovne prednosti ovakvog metoda sada su jasno uočljive. Ne samo da je smanjena količina sredstava potrošenih na nabavku hardvera, kao i sredstava za održavanje hardverskog sistema, već je i povećana iskorisćenost skupo plaćenih servera, olakšana je migracija softvera bez podrške, jer se sada nalazi na jednom računaru i korisnik ga poziva po potrebi. Ako dodamo i to da je sada moguće na istom računaru koristiti više operativnih sistema i to bez muka koje su korisnici ranije imali, zatim činjenicu da su greške u softveru sada lakše uočljive, samim tim i lakše otklonjive, jasno je da je virtualizacija izuzetan metod, kako ekonomski tako i po efikasnosti. Da bi se na računaru kreirale virtualne particije, sistemu se dodaje tanki softverski sloj po imenu *Virtual Machine Monitor*, skraćeno VMM. Ovaj sloj je odgovoran za upravljanje hardverskim resursima i arbitraciju zahteva operativnih sistema korisnika, odnosno aplikacija koje su na njima pokrenute. Na Slici 2 je prikazano upravljanje hardverskim resursima putem Virtual Machine Monitor-a.



Slika 2. Upravljanje hardverskim resursima putem VMM-a

Jednostavno rečeno, VMM predstavlja virtualni skup procesora, memorije, hard diska i mreže ka svakom od korisnika. Osnovne funkcije koje ovaj softver obavlja su emulacija hardvera prema operativnim sistemima korisnika, izolacija rada pojedinačne virtualne mašine u odnosu na ostale, alokacija potrebnih resursa svakoj virtualnoj mašini, uz održanje balansa među zahtevima. Takođe VMM vrši i enkapsulaciju aplikacija ili njihovih paketa kako bi postali portabilni za različite sisteme korišćenjem virtualnih mašina. Na Slici 3 je prikazana emulacija i alokacija resursa upotrebom VMM-a.



Slika 3. Prikaz emulacije i alokacije potrebnih resursa putem VMM-a

Konkretno, razmotrimo računar na kojem su instalirani Windows i neka distribucija Linux operativnog sistema. U tom, standardnom slučaju često ima mnogo posla oko migracije podataka. Ako se želi migraciju aplikacija zbog navike na neki program ili prosto plaćeno je puno novca da bi bio korišćen, nailazi se na prepreku nekompatibilnosti dva sistema. Virtualizacija je u ovom slučaju idealno rešenje. Konkretna aplikacija sada se izvršava na virtualnoj mašini, nezavisnoj od operativnog sistema i pomoću koje je moguće preneti (portovati) željenu aplikaciju na bilo koje od radnih okruženja koje korisnik upotrebljava.

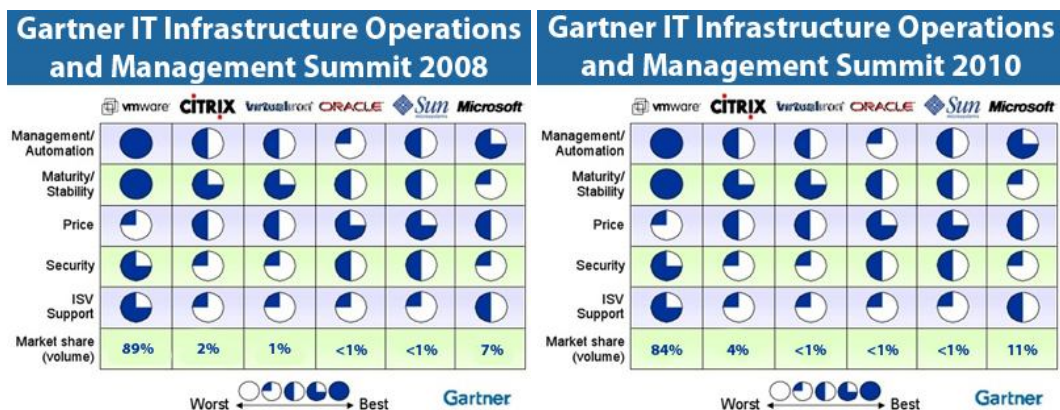
Počevši od 2006. godine, dva najveća proizvođača procesora, Intel i AMD, nude hardversku podršku virtualizaciji. Napredak u proizvodnji savremenih procesora i memorijskih kontrolera donosi virtualizaciji znatno poboljšanje. Povećanje broja jezgara i Hyperthreading mogućnosti rešenja iz Intela i AMD-a direktno olakšavaju softverskim kompanijama pravljenje kako novih virtualnih mašina tako i odgovarajućih servera i VMM-a, ali i ubrzavanje izvršavanja aplikacija na ovim virtuelnim serverima.

3.2.3 Popularne implementacije i rešenja

Većina proizvođača softvera je za VMM ili *hypervisor* uzela proizvod po imenu Xen, proizveden na Univerzitetu Kembridž u Velikoj Britaniji. To je open source projekat koji sada vodi kompanija po imenu XenSource, koja je i sa *Microsoft*-om potpisala ugovor o strateškom partnerstvu.

Prema podacima o stanju na tržištu virtualizacije, koji su izneti na *Gartner IT Infrastructure Operations and Management Summit 2010*, zaključeno je da je virtualizacija

postala *mainstream*.¹ U 2010. je 23% aplikacija radilo na virtualnim mašinama, a prognoza je da će do 2012. ovu tehnologiju koristiti 48%. Proizvođač VMware dominira tržištem, pretpostavka je da na tržištu trenutno postoji 10.8 miliona virtualnih mašina, a da VMware ima udeo u tržištu od 84%, Microsoft 11%, Citrix 4%, ostali proizvođači 1%. Slika 4 opisuje udele u tržištu proizvođača virtualizacionih proizvoda za 2008. i 2010. godinu, kao i ocene njihovih prednosti.



Slika 4. Prikaz ocena cene, bezbednosti, stabilnosti, upravljivosti softvera za virtualizaciju i udele u tržištu proizvođača za 2008. i 2010. godinu

Danas na tržištu postoji mnogo softvera (za sve operativne sisteme) čija je namena virtualizacija, pa je, u principu moguće napraviti bilo koju kombinaciju virtualizacije. Najpoznatiji programi za virtualizaciju su:

- VMware – Player, Server, Workstation, ESX i ESXi
- Microsoft – Hyper-V
- Oracle (Sun) – VirtualBox
- Citrix – XenServer
- Parallels – Parallels Desktop

3.2.4 VMware®

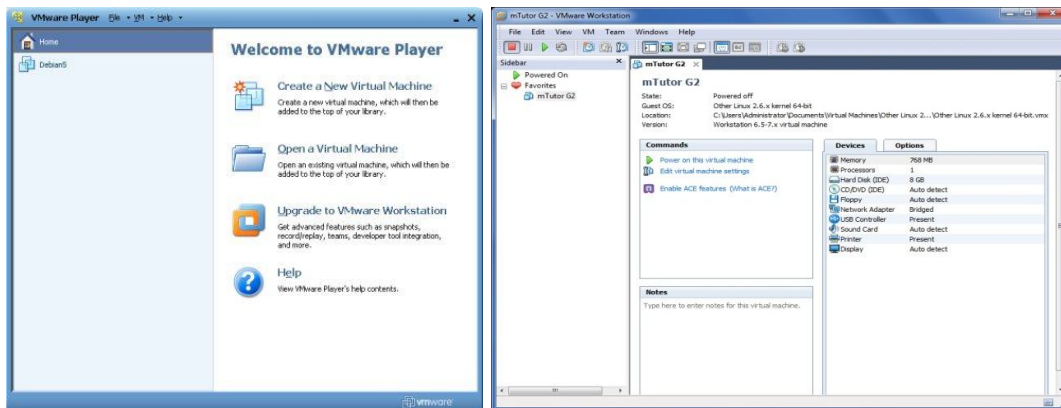
VMware, Inc. je kompanija koja je osnovana 1998. i od samog nastanka se bavi razvojem softvera za virtualizaciju. VMware pruža potpuno virtualizovan hardver virtualnom (guest) operativnom sistemu dok je softverska virtualizacija zadužena za grafički adapter, mrežni adapter i hard disk. Server (host) obezbeđuje prolazne drajvere za USB, serijski port i paralelni port, kao i druge periferne uređaje gostujućem operativom sistemu. Na ovaj način, VMware virtualne mašine postaju veoma lako prenosive između računara jer svaki host izgleda identično za guest-a. U praksi, sistem administrator može zaustaviti rad virtualne mašine, iskopirati je na drugi računar i nastaviti da je koristi.

¹ Gartner IT Infrastructure & Operations Management Summit, (2010), [podaci dostupni na; www.gartner.com/technology/summits/na/it-operations/], (pristup 01.06.2011.)

VMware Desktop softver radi pod operativnim sistemima Windows, Linux, Mac OS, dok je VMware Enterprise softver hypervisor zadužen za rad direktno na serveru bez potrebe dodatnog operativnog sistema.²

VMware Desktop softver za virtualizaciju

- **VMware Workstation** je prvi proizvod koji je VMware izbacio na tržište još 1999., ovaj softverski paket omogućava korisnicima da pokrenu više virtualnih mašina sa x86-x64 operativnim sistemima na jednom fizičkom računaru. Kako VMware ovaj softver naplaćuje, pruža i neke dodatne mogućnosti kao što su snapshot-ovi (čuvanje trenutnog stanja virtualne mašine u trenutku njenog rada), konvertovanje i proširivanje virtualnih diskova i sl.
- **VMware Fusion**, omogućava slične funkcionalnosti za korisnike Intel® Mac® platforme, uz punu kompatibilnost virtualnih mašina koje su napravili drugi VMware proizvodi.
- **VMware Player** je softver za nekomercijalnu (ličnu) upotrebu, besplatan je i dostupan putem interneta. Prvobitno je mogao da se koristi samo za pokretanje virtualnih mašina ali je kasnije sa verzijom 3.0.1 ovo ograničenje ukinuto. Slika 5 prikazuje korisnički interfejs VMware Player-a i Workstation-a.



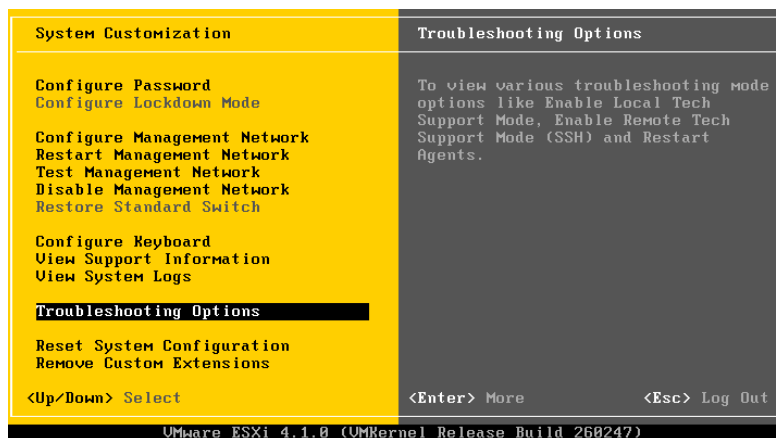
Slika 5. Prikaz korisničkog interfejsa VMware® Player-a 3.1 i VMware® Workstation-a 7.1

VMware Server softver za virtualizaciju

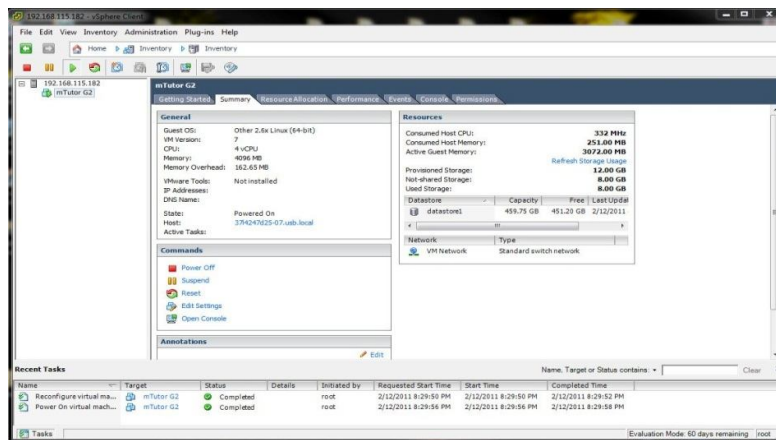
- **VMware ESX** (prvobitno nazvan *ESX Server*), može da pruži bolje performanse u odnosu na besplatan VMware Server zbog manjeg opterećenja sistema. VMware ESX je „bare-metal“ proizvod, radi direktno na hardveru servera omogućavajući virtualnim mašinama da manje ili više direktno koriste hardver. VMware uz ESX nudi i dodatne usluge za poboljšanje pouzdanosti i upravljivosti servera kao što su:

² VMware, (2009), „Virtualize Your IT Infrastructure“, [tekst dostupan na: www.vmware.com/virtualization], (pristup 27.05.2011.)

- VMotion – sposobnost migracije virtualne mašine u upotrebi iz jednog skladišta podataka (storage) u drugo skladište podataka,
- DRS – Dynamic Resource Scheduler – automatska raspodela opterećenja putem ESX klastera putem VMotion-a,
- HA – High Availability – u slučaju otkazivanja hardvera u klasteru, virtualne mašine će se automatski pokrenuti na drugom hostu u klasteru.
- **VMware ESXi** (prvobitno nazvan *ESX 3i*), je jako sličan ESX-u. Zahtevi za resursima, pre svega RAM memorijom i prostorom na hard disku su znatno niži nego kod ESX. ESXi ne sadrži servisnu konzolu koja je uklonjena i hostu se pristupa putem klijentskog softvera (vSphere). Od jula 2008., VMware je odlučio da ne naplaćuje ovaj proizvod ali dodatke kao što su VMotion, DRS, HA morate dodatno kupiti.
- **VMware Server** (prvobitno nazvan *GSX Server*), sada je potpuno besplatan proizvod. Može se koristiti u nekomercijalne svrhe kao i VMware Player, a takođe za njegovu instalaciju je potreban i host operativni sistem Windows® ili Linux®. Slike 6 i 7 prikazuju korisnički interfejs VMware ESXi-a i vSphere klijenta.



Slika 6. Prikaz servisne konzole VMware® ESXi 4.1



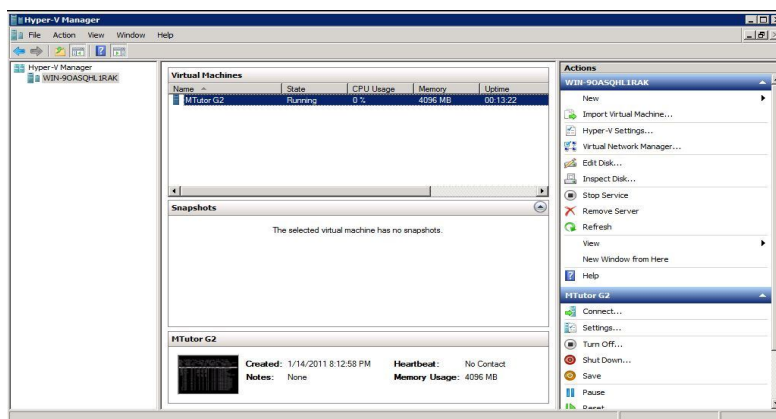
Slika 7. VMware® vSphere klijent za pristup ESXi serveru

3.2.5 Microsoft®

Microsoft svojom virtualizacijom nudi rešenja od desktop preko servera do *cloud*-a. Microsoft rešenja za virtualizaciju obezbeđuju optimizaciju infrastrukture pomažući joj da pruža usluge brže i efikasnije, a omogućava organizaciji da ove usluge koristi efikasnije i dinamički menja poslovnu klimu.³ Kako je ovo tekst sa zvaničnog sajta Microsoft-a posvećenog virtualizaciji, jasno se vidi orijentisanost i usmerenost rešenja ka poslovnim korisnicima. Takođe, kao i VMware i Microsoft nudi Desktop i Server softver za virtualizaciju:

- **Microsoft Virtual Server 2005 R2** obezbeđuje virtualni operativni sistem koji omogućava povećanje iskorišćenosti hardvera i brzo konfigurisanje i pokretanje virtualnih mašina. Virtual Server 2005 R2 funkcioniše na operativnom sistemu Windows Server 2003 i obezbeđuje platformu koja podržava virtualizaciju x86 operativnih sistema.
 - Raspoređivanje i konsolidacija opterećenja radi obezbeđivanja efikasnijeg i jednostavnijeg upravljanja hardverskim resursima,
 - Izolacija virtualnih mašina pri čemu svaka virtualna mašina ima utisak da radi na sopstvenom fizičkom serveru.
- **Microsoft Hyper-V Server 2008** je samostalan proizvod koji je pouzdan, ekonomičan i optimizovan za virtualizaciona rešenja koja pomažu organizacijama da poboljšaju iskorišćenost servera i smanje troškove.
- **Microsoft Windows Server 2008 R2** za virtualizaciju koristi Hyper-V tehnologiju novije generacije nego na Windows Server 2008.
 - Povećana dostupnost za virtualizovane mašine putem poboljšanja kao što je Live Migration,
 - Povećanje performansi i hardverska podrška za x64 procesore,
 - Poboljšane virtualne mrežne performanse kroz nove mrežne tehnologije.

Slika 8 prikazuje korisnički interfejs Microsoft Hyper-V-a.



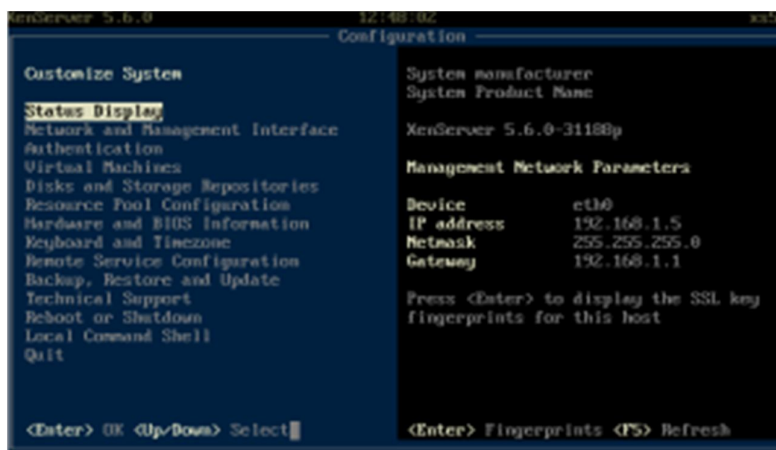
Slika 8. Prikaz Microsoft® Windows Server 2008 R2 SP1 Hyper-V korisničkog interfejsa

³ Microsoft, (2009), „Datacenter Virtualization & Management Benefits“, [tekst dostupan na: www.microsoft.com/virtualization], (pristup 02.06.2011.)

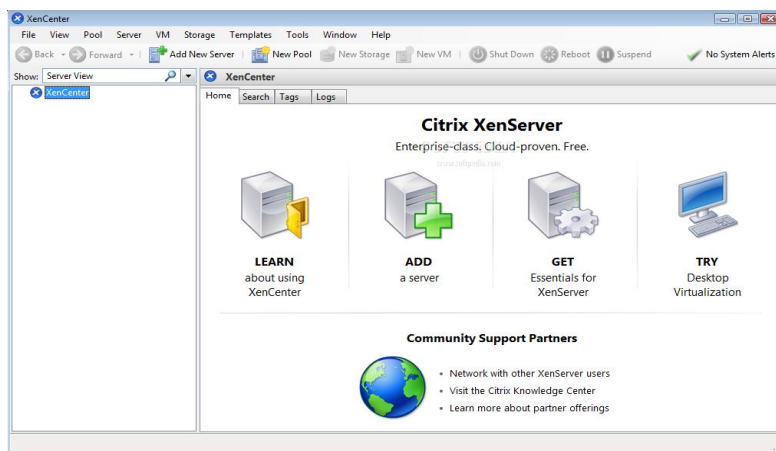
3.2.6 Citrix®

Slično kao Microsoft, i Citrix je prevashodno orijentisan na poslovne korisnike. Glavni proizvod ove kompanije je virtualizaciona platforma nazvana XenServer koja se zasniva na Xen tehnologiji koja je široko priznata kao najbrži i najbezbedniji softver za virtualizaciju u industriji. XenServer je namenjen za efikasno upravljanje Windows® i Linux® virtualnim serverima i pruža mogućnost konsolidacije resursa i servera kao i kontinuitet u poslovanju.⁴

XenServer® je „*bear-metal*“ proizvod, radi direktno na hardveru servera omogućavajući virtualnim mašinama da direktno pristupaju hardveru. Podržava 64-bitne sisteme sa Intel® VT ili AMD V™ tehnologijom, ne sadrži servisnu konzolu koja je uklonjena i hostu se pristupa putem klijentskog softvera (XenCenter). Slike 9 i 10 prikazuju servisnu konzolu Citrix XenServer-a i korisnički interfejs XenCentra.



Slika 9. Prikaz servisne konzole Citrix® XenServer-a



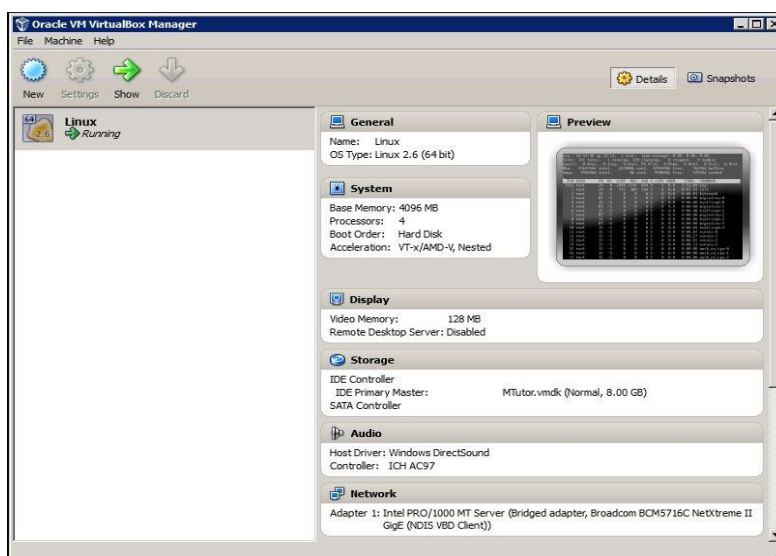
Slika 10. Citrix® XenCenter klijent za pristupanje XenServer-u

⁴ Citrix, (2009), „XenServer“, [tekst dostupan na: www.citrix.com], (pristup 03.06.2011.)

3.2.7 Oracle® (Sun®)

Proizvodi ove kompanije su nešto manje zastupljene na tržištu od ostalih konkurenata. Oracle pre svega bio orijentisan na virtualizaciju aplikacija putem proizvoda kao što je Oracle VM Server. Kupovinom kompanije Sun, Oracle je sa novom verzijom već dobro poznatog softvera VirtualBox ušao na tržište nekomercijalnih proizvoda za virtualizaciju.

Oracle® VM VirtualBox pruža mogućnost korisnicima da na desktop računaru ili laptopu istovremeno pokrenu više operativnih sistema, pri tom dobijajući veliku fleksibilnost u radu i maksimalnu iskorišćenost resursa svojih računara.⁵ VirtualBox obezbeđuje podršku za veliki broj virtualnih uređaja dostupne u OVF formatu, multiplatforme za razvoj aplikacija i testiranje, 2D/3D grafičko ubrzanje, kao i vrhunske karakteristike, uključujući sposobnost migracije pokrenute virtualne mašine na drugi host. Kako je VM VirtualBox „open source“ (otvorenog koda), poseduje veliki broj korisnika koji ga sami mogu menjati i usavršavati, što dokazuje više od 26 miliona preuzimanja ovog softvera putem interneta. Slika 11 prikazuje korisnički interfejs VM Virtual Box-a.



Slika 11. Prikaz Oracle® VM VirtualBox korisničkog interfejsa

⁵ Oracle, (2009), „Cloud Computing“, [tekst dostupan na: www.oracle.com], (pristup 04.06.2011.)

4 Univerzitetski datacenter

U informatici izraz „server” može da podrazumeva različite termine kao što su na primer: domain server, DNS server, file server, mail server, server baze podataka, aplikacijski server, firewall server, web server, server za štampače, itd. Ovo su samo neke od uloga koje server može obavljati, a mi ih nazivamo servisima.

Server, dakle, predstavlja fizički računar (računarski hardver), koji je posvećen obavljanju jedne ili više uloga koje pružaju usluge drugim korisnicima na računarima u lokalnoj ili udaljenoj mreži. Serveri često pružaju osnovne usluge preko mreže, bilo da su to privatni korisnici unutar neke mreže ili javni korisnici preko interneta.[7] Mnogi serveri imaju određenu funkcionalnost i služe samo toj svrsi.

IT servisi su ključni aspekt većine organizacionih operacija. Jedan od glavnih problema je kontinuitet u radu jer se organizacije oslanjaju na informacione sisteme gde su problemi česta pojava.[8] Prestanak normalnog funkcionisanja sistema je situacija koja može imati negativne ekonomsko/bezbednosne posledice.

Iz tog razloga neophodno je obezbediti pouzdanu infrastrukturu za IT servise sa ciljem da se smanji šansa i rizik od prekida pružanja usluge. TIA-942 predstavlja standard koji opisuje zahteve za infrastrukturu datacentra. Po ovom standardu koji je usvojen 2005., Uptime Institut i profesionalne servisne organizacije su definisale i zadržavaju autorska prava na skalu od četiri nivoa. Nivoi opisuju dostupnost podataka putem hardvera, po principu što je nivo viši, veći je i procenat dostupnosti servisa. Najjednostavniji je Nivo 1 koji u suštini predstavlja samo serversku sobu i osnovne instalacije za računarske sisteme, dok je najviši Nivo 4, koji je dizajniran da obezbedi punu podršku kritičnim računarskim sistemima.

Univerzitetski datacenter predstavlja prostoriju koja spada pod najviši, Nivo 4, tj., prostorija je opremljena sa dva klima uređaja, protivpožarnim uređajima, redundantnom mrežnom infrastrukturom, što obezbeđuje dostupnost servisa od 99.995% po ovoj skali.

4.1 Dosadašnja organizacija Univerzitetskog datacentra i njeni nedostaci

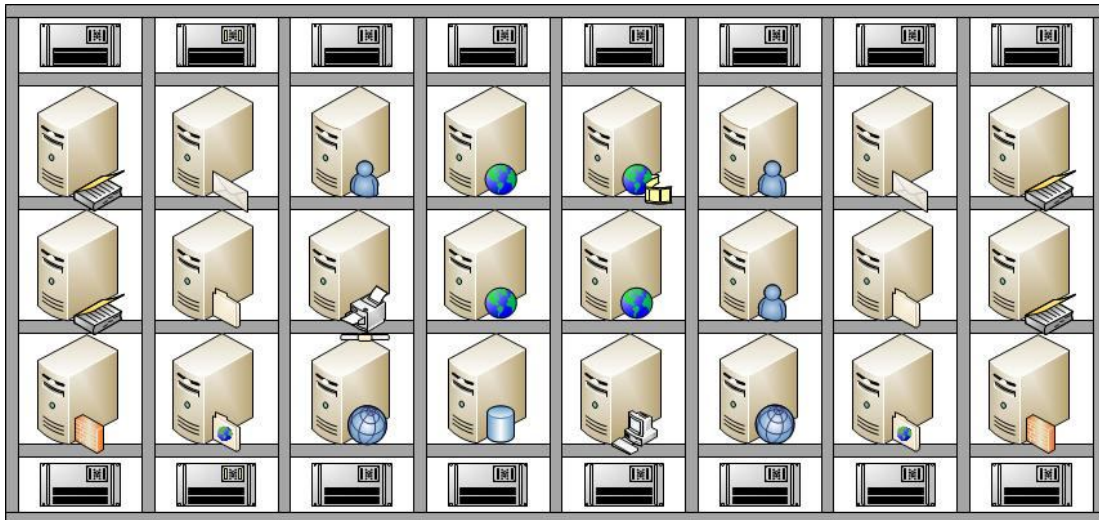
Kako je već spomenuto, klijent-server model je sa sobom doneo koncept: jeftin standardni industrijski server na kome je pored operativnog sistema instalirana najčešće jedna aplikacija (na primer: domain kontroler, server baza podataka, mail server, itd.). Vremenom, zahvaljujući razvoju Interneta, broj aplikacija (servisa) se sve više povećavao, da bi u poslednje vreme, sa pojavom web servisa, dostigao paradoksalne razmere. Masovna pojava novih servisa, dovela je do enormnog povećanja broja servera u datacentru. S druge strane, efikasnost iskorišćenja ovih servera je sve više opadala. Neke procene (IDC) govore da je iskorišćenost procesora prosečnih industrijskih servera ispod 10%, što ekonomičnost infrastrukture datacentra ozbiljno dovodi u pitanje.[8]

Ako se uzme u obzir da je Univerzitet Singidunum visokoškolska ustanova sa oko 10,000 studenata i 500 zaposlenih koji svakodnevno pristupaju IT servisima, dolazimo do pretpostavke da je Univerzitetski datacenter jedna jako velika prostorija sa velikim brojem fizičkih servera. Velika prostorija, sa velikim brojem fizičkih servera koji se svakodnevno povećava usled potreba za novim servisima koja troši ogromne količine električne energije kako za sam rad servera tako i za potrebe rashladnih uređaja. Datacenter jedne ovako velike obrazovne ustanove koja mora pružiti veliki broj IT usluga svojim studentima ali i nastavnom osoblju, po staromodnoj organizaciji morao bi da sadrži po jedan fizički server za svaku uslugu koju obavlja:

- Domen kontroler za studente (domain server),
- Backup domen kontroler za studente (domain server),
- Domen kontroler za zaposlene (domain server),
- Backup domen kontroler za zaposlene (domain server),
- DNS server za studente,
- Backup DNS server za studente,
- DNS server za zaposlene,
- Backup DNS server za zaposlene,
- Mail server za studente,
- Mail server za zaposlene,
- Firewall server za studente,
- Firewall server za zaposlene,
- Server Sistema za elektronsko testiranje studenata,
- Server Sistema za studiranje na daljinu,
- Server za „live streaming“ video materijala za studiranje na daljinu,
- Server za deljenje resursa za studente (file server),
- Server za deljenje resursa za zaposlene (file server),
- Server Fakultetskog informacionog sistema – aplikacijski server,
- Server Fakultetskog informacionog sistema – server baze podataka,
- Server zaštitnih kopija podataka zaposlenih,
- Web server (Univerzitetski sajt i sajtovi Fakulteta),
- Web server za stranice predmeta,
- Web server za studentske forume i društvenu mrežu Univerziteta,
- Serveri za IP video nadzor.

Prosečan današnji industrijski server je "prejak" za servise (aplikacije) koje su na njemu instalirani. Kako je već navedeno, iskorišćenost ovakvih servera varira u proseku od 5 do 8%. Od IT servisa korisnici očekuju vrlo visoku raspoloživost (Nivoa 4 - 99,9%), koju nije moguće obezbediti konvencionalnim tehnikama.[9] Rast broja servisa zahteva vrlo brzu i čestu instalaciju novih servera. Nabavka hardvera, s druge strane, je proces koji traje dani i nedeljama, te klasična nabavka smanjuje agilnost IT usluga. Od IT usluga se, pored svega navedenog, očekuje da obezbede kontinuitet u funkcionisanju organizacije čak

i u slučaju katastrofa (požari, poplave, zemljotresi, ...). Obezbediti rezervnu IT infrastrukturu na udaljenoj lokaciji i ekonomično je implementirati dupliranjem hardvera/softvera iz glavnog datacentra, jednostavno nije moguće. Zbog toga mnoge organizacije ni nemaju odgovarajuća rešenja za navedene situacije i time ozbiljno rizikuju nastavak poslovanja posle katastrofe. Na Slici 12 prikazan je potpuno funkcionalan, staromodno organizovan datacentar sa svim potrebnim IT uslugama za normalno funkcionisanje.



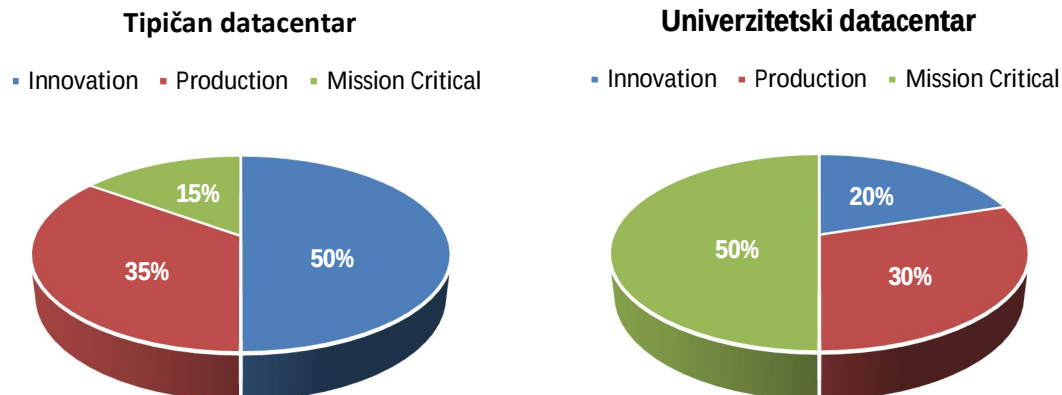
Slika 12. Prikaz funkcionalnog Univerzitetskog datacentra

IT oprema datacentra pored servera podrazumeva i fizičku infrastrukturu koja podrazumeva rashladne uređaje, UPS (Unit Power Supply), mrežnu opremu, kablove i sl. koja je potrebna da održi dostupnost datacentra. Obe strane datacentra, kako serverska, tako i fizička infrastruktura troše veliku količinu električne energije. Sa IT strane, povećanje opterećenosti servera može za posledicu imati smanjenje energetske efikasnosti datacentra. Dodavanje novih servera u datacentar bez prethodne provere iskorišćenosti postojeće infrastrukture i kapaciteta, takođe može dovesti do znatnog povećanja potrošnje električne energije.

Tipičan datacentar se pretežno bazira na jeftinim i po performansama nedovoljno iskorišćenim serverima (poznatim kao x86 serverima). Serveri u kombinaciji sa zahtevima klijenata imaju različita opterećenja, a samim tim i viši ili niži nivo performansi, kao i potrebu za dostupnošću. Iako postoje mnoge ideje o kategorizaciji servera, mi ćemo napraviti podelu po prioritetu na tri vrste servera:

- Mission Critical - serveri od visokorizičnog značaja koji uvek moraju biti dostupni,
- Production - serveri namenjeni nekim manje bitnim servisima ili zameni usled otkazivanja nekog od „visokorizičnih“ servera,
- Inovation - serveri namenjeni testiranju novih servisa i sl.

Na Slici 13 je prikazana podela servera po vrstama u tipičnom datacentru, a na Slici 14 podela ovih vrsta u Univerzitetskom datacentru.



Slika 13. Prikaz podele servera po vrstama u tipičnom datacentru

Slika 14. Prikaz podele servera po vrstama u Univerzitetskom datacentru

Ova raspodela servera je bitna kako bi se stekao uvid u mogućnosti konsolidacije, ravnomerne podele opterećenosti i virtualizacije datacentra. Za najvažnije servere uvek je najbolje odabrati računare visokih performansi, sa jakim procesorima, velikom radnom memorijom i puno skladišnog prostora. Produkcijske servere čine uglavnom nešto slabije konfiguracije, ali dobra je praksa da se ovde nađu i rezervni ili backup serveri u slučaju otkazivanja onih od najveće važnosti. U grupu inovativnih ili test servera spadaju računari najslabijih performansi.

4.2 Konsolidacija i virtualizacija Univerzitetskog datacentra

Konsolidacija datacentra se može izvesti na dva različita načina. Prvi način je kombinovanje više aplikacija na jednom fizičkom serveru pod jednim operativnim sistemom. Virtualizacija aplikacija na virtualnim serverima i pokretanje više virtualnih servera uz pomoć *hypervisor*-a na jednom fizičkom serveru je drugi način. Konsolidacija servera nije uvek dobar izbor. Aplikacije od najvećeg značaja mogu biti virtualizovane da bi se obezbedio bolji kontinuitet poslovanja i postigao željeni nivo pružanja usluga, ali nije dobra praksa da se ova virtualna mašina kombinuje sa nekom drugom koja obavlja sličnu ulogu.

Za servere od najvišeg značaja obezbeđivanje željenog nivoa pružanja usluga je daleko važnije od poboljšanja iskorišćenosti, postizanja energetske efikasnosti, minimiziranje rizika od prekida rada servera i sl. Prilikom određivanja kako i gde započeti konsolidaciju i virtualizaciju datacentra, potrebno je imati na umu da je za grupu inovativnih-test servera potrebno najmanje hardverskih resursa. U ovoj grupi virtualizacija će omogućiti najveće smanjenje potrošnje električne energije. Serveri koji imaju visok nivo bezbednosti, pružaju usluge od najvišeg značaja i velikih su hardverskih zahteva nikako ne smeju biti prvi na listi za konsolidaciju (npr. Fakultetski Informacioni Sistem),. Oni su

obično poslednji uzimaju u razmatranje iz tehničkih ili poslovnih razloga. Rezultati postojeće studije portala „The Green Grid“⁶ kao model poređenja prikazani su u Tabeli 1.

U Tabeli 1 je kategorizovana ušteda električne energije u datacentru na uzorku od 500 servera. Ova tabela je rezultat studije koju su uradili stručnjaci iz dve vodeće kompanije, u oblasti proizvodnje servera - IBM i softvera za virtualizaciju - VMware.

Kategorija	Innovation	Production	Mission Critical	Ukupno
Broj servera	250	175	75	500
Iskorišćenost resura	3%	6%	10%	~5%
Potrošnja Elek. En. (173W po serveru)	43,250	30,275	12,975	86,500
Predviđena proporcija konsolidacije	15:1	10:1	5:1	~10:1
Broj servera nakon konsolidacije	17	18	15	50
Iskorišćenost resursa nakon konsolidacije	50%	50%	50%	~50%
Potrošnja Elek. En. nakon konsolidacije	3,910	4,140	3,450	11,500
Ušteda električne energije (u W)	39,340	26,135	9,525	75,000

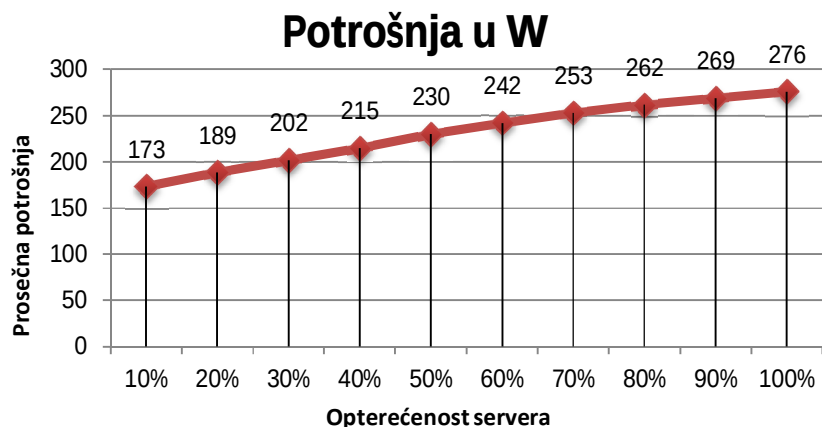
Tabela 1. Prikaz kategorizovane uštede električne energije na uzorku od 500 servera

Potrošnja električne energije nije u direktnoj vezi sa produktivnošću ili ulogom koju taj server obavlja. Na primer, jedan server u stanju mirovanja (Idle) može trošiti 40% više električne energije nego neki drugi server koji je potpuno (Full) opterećen. Ako je prosečna iskorišćenost servera 5%, a ciljana iskorišćenost 50%, virtualizacijom je moguće postići smanjenje, odnosno gašenje velikog broja fizičkih servera. Kroz kategorije ova iskorišćenost varira od 3% za test servere, 6% za produkcijske i 10% za najvažnije servere. Smanjenjem broja fizičkih servera, ne samo da se ukupno smanjenje potrošnje električne energije, već će se to pozitivno odraziti na celokupan datacentar.[10]

Konsolidacijom servera se takođe utiče i na smanjenje opterećenosti rashladnih uređaja (potrošnja električne energije za otpremanje toplote koje emituju serveri). Zatim, povećava se izdržljivost UPS uređaja koji sada mogu daleko duže da izdrže bez izvora električne energije. Sa smanjenjem broja servera smanjuju se i fizička infrastruktura, više nije potreban veliki broj kablova, priključaka, utičnica i sl., pa je i održavanje znatno olakšano. Rezultat konsolidacije i virtualizacije datacentra je poboljšani nivo usluga i veća energetska efikasnost celog datacentra.

Po istoj studiji, server sa 10% opterećenosti ima kumulativnu potrošnju od 173W, dok se za svakih narednih 10% iskorišćenosti potrošnja povećava do maksimalne iskorišćenosti od 100% i potrošnje od 276W. Na Slici 15 prikazan je porast potrošnje električne energije usled povećanja opterećenosti servera.

⁶ „The Green Grid“ – Neprofitna organizacija sastavljena od krajnjih korisnika, kreatora polisa, tehnoloških provajdera, arhitekata i uslužnih kompanija, udruženih u poboljšanje energetske efikasnosti resursa u datacentrima i računarskim sistemima. (dostupno na: www.thegreengrid.org)



Slika 15. Prikaz potrošnje električne energije pri opterećenosti servera

Analizom postojećeg stanja Univerzitetskog datacentra i dostupnost kako novih tehnologija tako i serverske infrastrukture, započeto je praćenje postojećih fizičkih servera, njihovog opterećenja, iskorišćenosti i mogućnosti za konsolidaciju i virtualizaciju. Kako je već predstavljeno, Univerzitetski datacentar se sastoji od 24 fizička servera različite namene i konfiguracije. Ovako organizovan datacentar troši ogromne količine električne energije čak i kada su serveri pod najmanjim opterećenjem. Implementacijom virtualizacione tehnologije, ovakav neefikasan datacentar može za veoma kratko vreme da podigne energetska efikasnost na najviši nivo.[11]

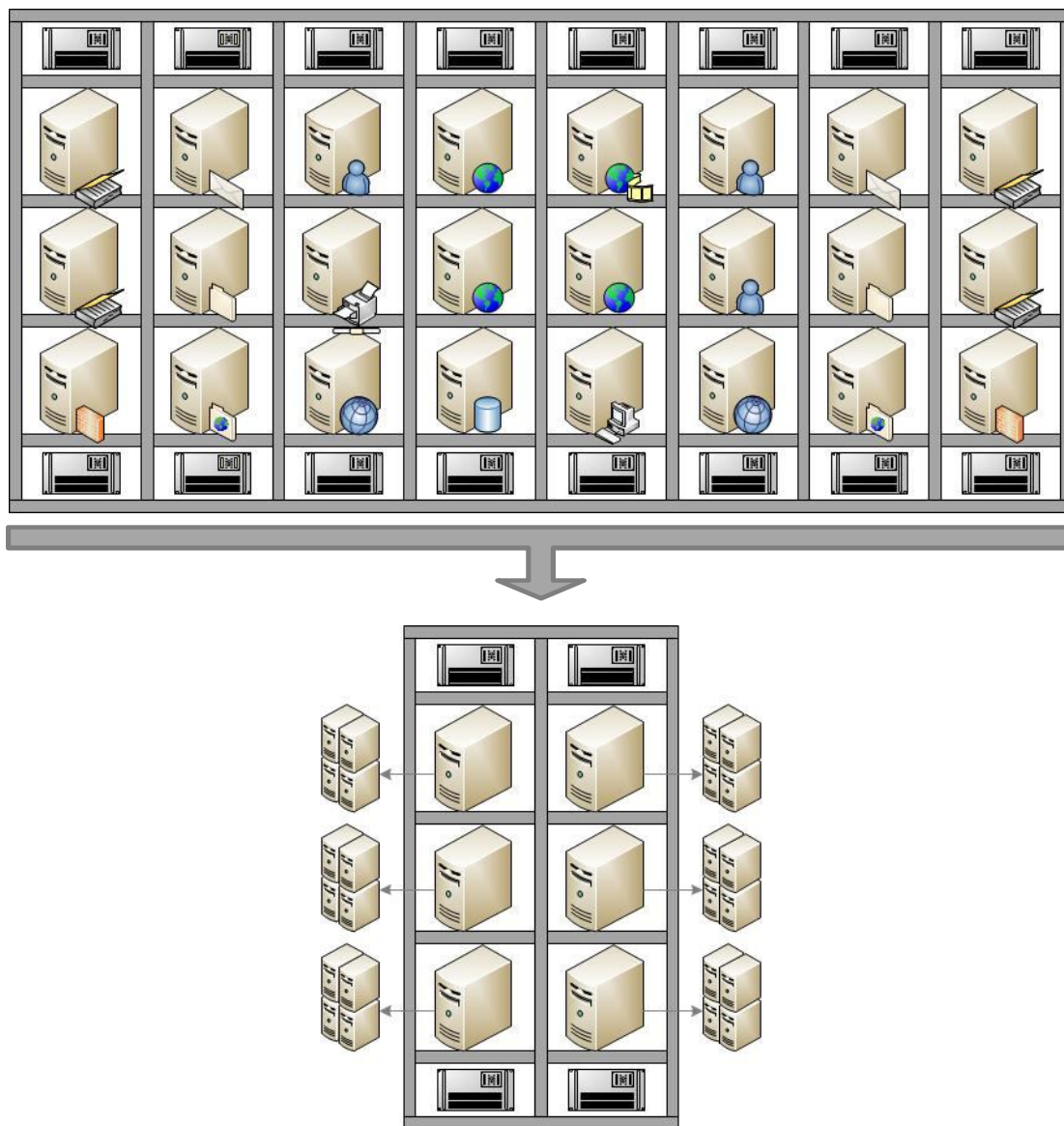
Po predstavljenoj studiji portala „The Green Grid“, Univerzitetski datacentar bi mogao da ostvari uštedu u potrošnji električne energije kao što je prikazano u Tabeli 2.

Kategorija	Innovation	Production	Mission Critical	Ukupno
Broj servera	5	7	12	24
Iskorišćenost resura	3%	6%	10%	~5%
Potrošnja Elek. En. (173W po serveru)	865	1,211	2,076	4,152
Predviđena proporcija konsolidacije	15:1	10:1	5:1	~10:1
Broj servera nakon konsolidacije	1	2	3	6
Iskorišćenost resursa nakon konsolidacije	50%	50%	50%	~50%
Potrošnja Elek. En. nakon konsolidacije	173	346	519	1,038
Ušteda električne energije (u W)	692	865	1,557	3,114

Tabela 2. Prikaz kategorizovane uštede električne energije u Univerzitetskom datacentru

Kao što se može primetiti, Univerzitetski datacentar poseduje najveći broj servera od najveće važnosti koje je jako teško konsolidovati. Administratorima je potrebna dobra strategija da bi se proces konsolidacije završio bez bilo kakvih restrikcija u pružanju IT usluga.[12] Ako se uzme u obzir veličina organizacije, broj korisnika IT usluga, dolazimo do zaključka da je na samom početku potrebno izdvojiti velike finansijske resurse. Konsolidacijom i virtualizacijom bi se potrošnja električne energije umanjila 4 puta što će

direktno umanjiti operativne troškove datacentra. Redukovan je broj servera pa umesto dosadašnja 24 u datacentru postoji samo 6 fizičkih servera. Na slici 16 prikazan je funkcionalan datacentar i datacentar koji je konsolidovan i virtualizovan.



Slika 16. Prikaz konsolidovanog i virtualizovanog datacentra

Gašenjem gotovo 18 fizičkih servera ostvaruje se znatna ušteda u svim raspoloživim kapacitetima. Oslobađa se prostor u serverskoj prostoriji, nestaje veliki broj kablova, smanjuje se emisija štetnih gasova i zagrevanje prostorije pa i rashladni uređaji rade sa smanjenim kapacitetom. Ova studija je bila jako detaljna i predstavljala je uvod u eksperimentalna testiranja koja su sprovedena tokom tri meseca praćenja potrošnje električne energije u Univerzitetskom datacentru.

4.3 Hardverski resursi

U ovom delu rada predstavljene su konfiguracije servera koji su korišćeni za eksperimentalna merenja. Upoređena je potrošnja koju su propisali proizvođači sa potrošnjom koja je dobijena u studiji portala „The Green Grid“.

4.3.1 IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja

IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja:

- Dva fizička (nebrendirana) servera sledeće konfiguracije:
 - Konfiguracija 1 - Intel® S5000VSA Server Board (1), 2x Intel® Xeon® 5063 2C/4T 3.2GHz 4MB(2), 8x 1GB FBDIMM DDR2 667MHz, 2x 320GB HDD SATAII, Napajanje 650W,
 - Konfiguracija 2 - Intel® S5000VSA Server Board, 2x Intel® Xeon® 5110 2C/2T 1.6GHz 4MB, 4x 1GB FBDIMM DDR2 667MHz, 2x 320GB HDD SATAII, Napajanje 650W,
- Dva fizička (brendirana) servera sledeće konfiguracije:
 - Konfiguracija 3 - IBM® System x3400 (3), 2x Intel® Xeon® E5405 4C/4T 2.0GHz 12MB, 8x 2GB ECC DIMM DDR2 800MHz, 2x 500GB SAS HDD SATAII, Napajanje 2x 460W,
 - Konfiguracija 4 - IBM® System x3400 M2 (4), Intel® Xeon® E5620 4C/8T 2.4GHz 12MB, 4x 4GB ECC DIMM DDR3 1333MHz, 3x 500GB SAS HDD SATAIII, Napajanje 2x 460W,
- Uređaj za merenje potrošnje APC® Back-UPS Pro 900 (5),
- Operativni sistemi:
 - Linux Slackware 13 (6),
 - Microsoft® Windows® 7 Professional x64 SP1 (7),
 - Microsoft® Windows® Server 2008 R2 Enterprise SP1 (8),
- Softver za virtualizaciju Microsoft® Hyper-V™ v6.1.7601.17514 (9),
- Softver za benchmark FinalWire AIDA64 Engineer Edition v1.85.1600 (10),
- Softver za praćenje potrošnje električne energije APC® PowerChute Personal Edition v3.0.1 (11).

4.3.2 Tehničke specifikacije hardvera

Pre samih testiranja, prikupljene su potrebne tehničke specifikacije svih komponenti i njihova predviđena potrošnja električne energije koju propisuju proizvođači. Tabela prikazom će biti omogućen uvid u potrošnju svake komponente ponaosob. Mogao bi se izvesti zaključak da se samo na osnovu ovih podataka može doći do ukupne potrošnje električne energije svakog računara ili servera. Formula po kojoj bi se mogla dobiti ukupna potrošnja u stanju mirovanja bi mogla biti po modelu:

$$P^{\text{ukupno}} = O^0 + P^{\text{CPU}} + P^{\text{RAM}} + P^{\text{disk}} + P^{\text{ostalo}}$$

O^0 predstavlja opterećenost sistema u Idle režimu rada, P^{ukupno} predstavlja ukupnu potrošnju električne energije, P^{CPU} potrošnju svih jezgara procesora, P^{RAM} ukupnu potrošnju svih modula RAM memorije, P^{disk} predstavlja ukupnu potrošnju svih jedinica hard diskova, a P^{ostalo} potrošnju svih ostalih delova hardvera kao što su kuleri, ili dodatne mrežne kartice i CD-ROM uređaj ako ih server poseduje.[13]

Dalje, kako su serveri uglavnom pod stalnim opterećenjem i koriste određeni deo raspoloživih resursa, formula će biti potupna ako dodamo opterećenost svakoj od komponentata:

$$P^{\text{ukupno}} = O^0 + O^1 * P^{\text{CPU}} + O^2 * P^{\text{RAM}} + O^3 * P^{\text{disk}} + O^4 * P^{\text{ostalo}}$$

Na osnovu dobijene formule i tehničkih specifikacija potrošnje koju su propisali proizvođači dobićemo ukupnu potrošnju jednog servera. Tehničke specifikacije su prikazane u Tabeli 3.

Naziv komponente	Pojedinačna potrošnja	Komada	Potrošnja	Ukupna potrošnja
Intel® Xeon® 5063	95W (TDP)	2	190W	280,4W
Kingston® 1GB FBDIMM DDR2 667MHz	9,5W	8	76W	
Western Digital® 320GB HDD SATAII	7,2W	2	14,4W	
Intel® Xeon® 5110	65W (TDP)	2	130W	182,4W
Kingston® 1GB FBDIMM DDR2 667MHz	9,5W	4	38W	
Western Digital® 320GB HDD SATAII	7,2W	2	14,4W	

Tabela 3. Prikaz kategorizovane potrošnje električne energije servera po komponentama

Iz tabele se može zaključiti da je maksimalna potrošnja naših servera 280,4W odnosno 182,4W. Ako se uzme prosečna potrošnja ova dva servera ona bi iznosila 231,4W što je znatno manje od 276W (maksimalna potrošnja) u studiji koja je prethodno analizirana. Ova razlika se može opravdati potrošnjom ostalih uređaja ali i procesora.

Naime TDP⁷, ne predstavlja stvarnu potrošnju procesora, ona može biti i veća od specifikacije, a sve to zavisi od kvaliteta rashladnog uređaja unutar servera. Ova specifikacija je data ako se koristi fabričko hlađenje koje podrazumeva pasivan hladnjak i kuler. U serverskim sistemima se uvek implementira mnogo kvalitetnije hlađenje pa procesori mogu da rade i na višim temperaturama, a samim tim i da troše veće količine električne energije. Usled sve više radne temperature procesora, i dodatni kuleri rade povećanom snagom pa i njihova potrošnja doprinosi ukupnoj potrošnji električne energije.

Pažljivim poređenjem studije portala „The Green Grid“ i tehničkih specifikacija koje su propisali proizvođači, imajući u vidu drastične razlike u dobijenim rezultatima, započeto je istraživanje uz pomoć pomenutih resursa. Izvršena su eksperimentalna merenja i upoređeni dobijeni rezultati koji su grafički prikazani.

⁷ TDP – Thermal Design Power ili Thermal Design Point

5 Eksperimentalna merenja u datacentru

U ovom delu će biti prikazani rezultati merenja, analizirana potrošnja i troškovi električne energije, kao i emisija štetnih gasova koja direktno utiče na potrošnju i troškove rashladnih uređaja u serverskoj prostoriji. Analiza performansi virtualnih i fizičkih računara je već obrađena kroz ranija istraživanja[14], tako da će fokus ove analize biti potrošnja električne energije i zagađenje životne okoline.

5.1 Testovi koji su vršeni

Eksperimentalna merenja koja su vršena uz pomoć uređaja APC® Back-UPS Pro 900 i softvera APC® PowerChute Personal Edition v3.0.1 u periodu od mesec dana po svakom fizičkom serveru:

- Merenje potrošnje električne energije u tri režima rada:
 - Idle – bez opterećenosti sistema,
 - Optimal – opterećenost sistema 40-70%,
 - Full – opterećenost sistema 100%.
- Merenje emisije štetnih gasova (CO₂) u tri režima rada:
 - Idle – bez opterećenosti sistema,
 - Optimal – opterećenost sistema 40-70%,
 - Full – opterećenost sistema 100%.

Poređenjem dobijenih rezultata eksperimentalnih merenja preračunata je ušteda u finansijskim resursima izražena u novcu na godišnjem nivou. Korišćena je cena industrijske električne energije po važećem cenovniku Elektroprivrede Srbije. U obzir su uzete cene i sati kada važe niska i visoka tarifa iz kojih je izvučena prosečna cena električne energije. Softverski je upoređena količina štetnih gasova koju emituju računari sa onom koju proizvode motori automobila. Takođe, prikazano je i koliki je broj stabala drveća potreban za apsorbovanje ugljen-dioksida iz atmosfere koji emituju serveri. Napravljeno je i poređenje potrošnje fizičkog servera i radnih dana energetske efikasne sijalice od 20W.

Rezultati merenja će biti predstavljeni prvo za fizički datacentar na uzorku od dve konfiguracije koje smo već predstavili u spisku korišćenih resursa, zatim će biti predstavljeni rezultati virtualizovanog datacentra na uzorku potrošnje druge dve konfiguracije koje su predstavljene. Na kraju, napravljeno je poređenje rezultata dve organizacije datacentra i prodiskutovano o dobijenim razlikama.

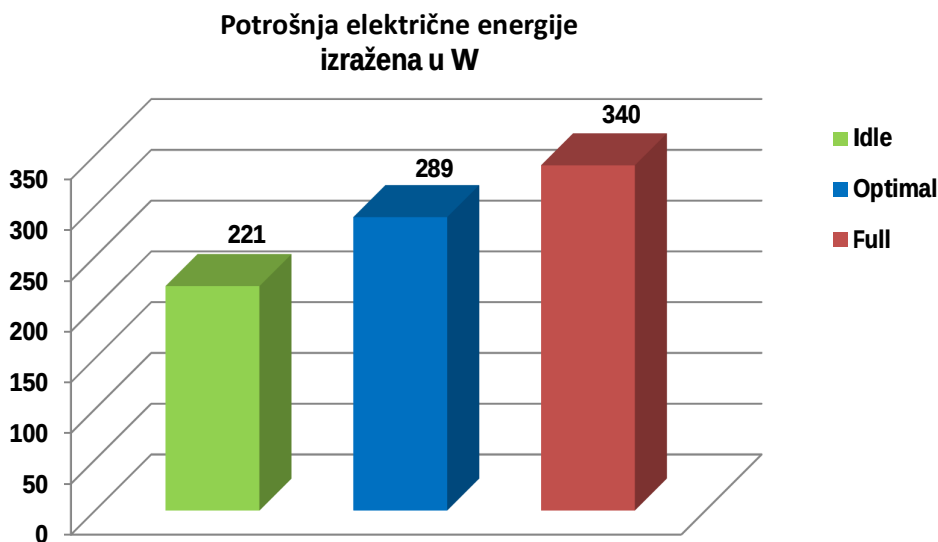
5.2 Rezultati testova u fizičkom datacentru

Za testiranje energetske efikasnosti fizičkog datacentra odabrali smo dva nebrandirana servera različitih performansi. Konfiguracija 1 se može smatrati serverom veoma visokih performansi kojih u datacentru ima osam dok Konfiguracija 2 pripada serverima prosečnih performansi kojih u datacentru ima šesnaest. Oba tipa servera su instalirana u Univerzitetskom datacentru već duži niz godina i obavljaju zahtevne i veoma važne uloge kao što su npr. Fakultetski Informacioni Sistem i Sistem za elektronsko testiranje studenata (Konfiguracija 1) i Primarni domen kontroleri (Konfiguracija 2).

Sva merenja su vršena uz pomoć nove generacije UPS uređaja proizvođača APC. Takođe, korišćen je njihov softver za praćenje i upravljanje potrošnjom električne energije. Softver je upotrebljen za dobijanje trenutnih rezultata potrošnje, predviđene emisije štetnih gasova, kao i za broj stabala drveća potrebnih za apsorbovanje ovih gasova iz atmosfere. Da bi se bliže objasnila potrošnja, izvršena su poređenja potrošnje električne energije u datacentru sa potrošnjom jedne energetski efikasne sijalice. Emisija štetnih gasova datacentra predstavljena je i u pređenoj kilometraži motornim vozilom.

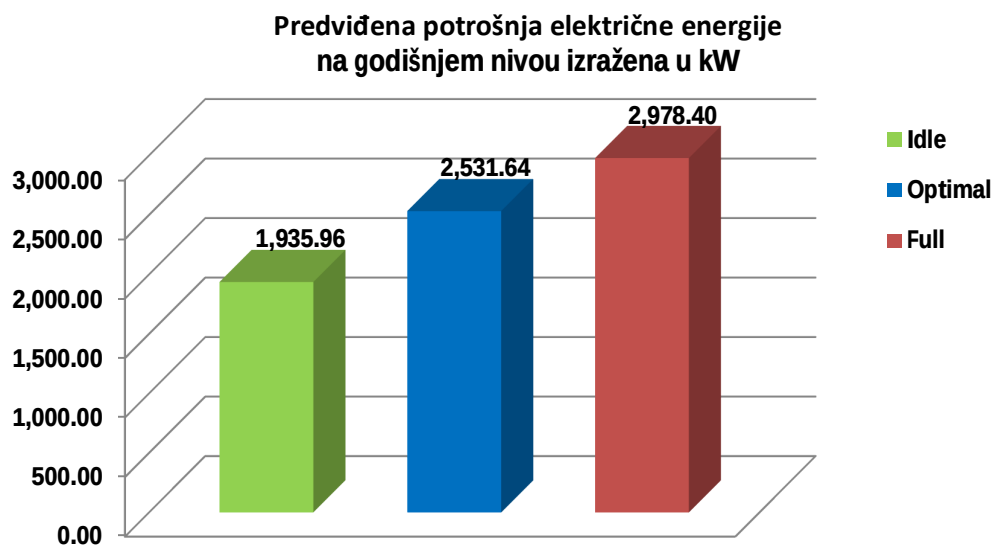
5.2.1 Rezultati testova – Konfiguracija 1

Na Grafikonu 1 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



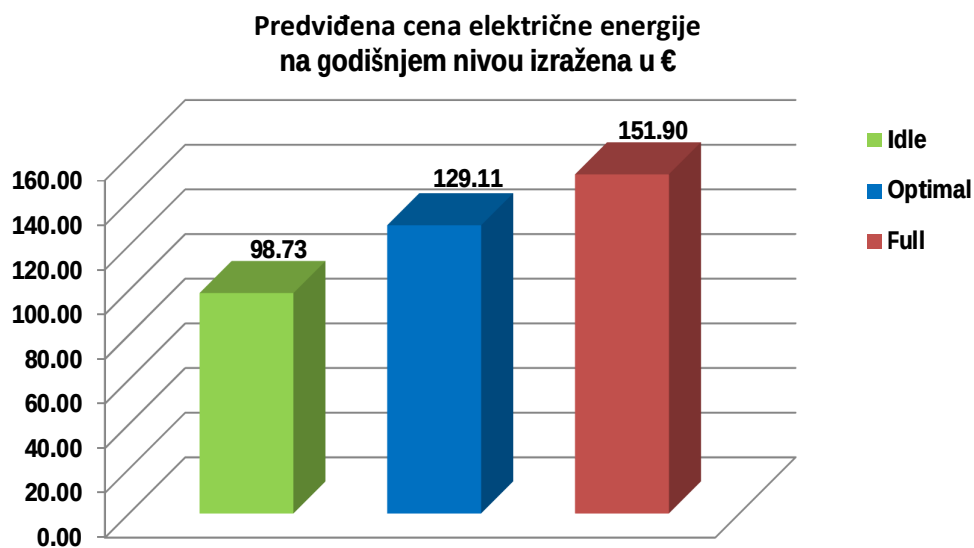
Grafikon 1. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 1

Na Grafikonu 2 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



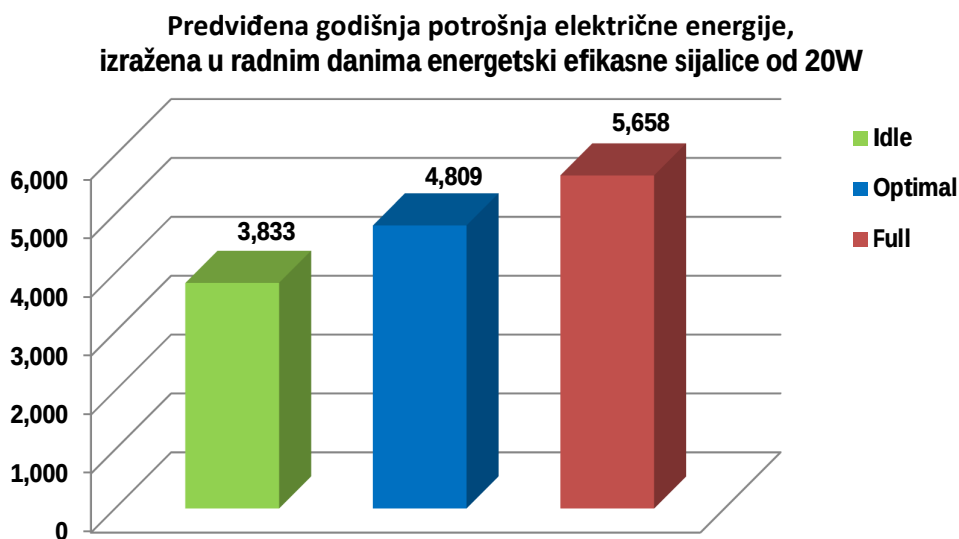
Grafikon 2. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1

Na Grafikonu 3 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



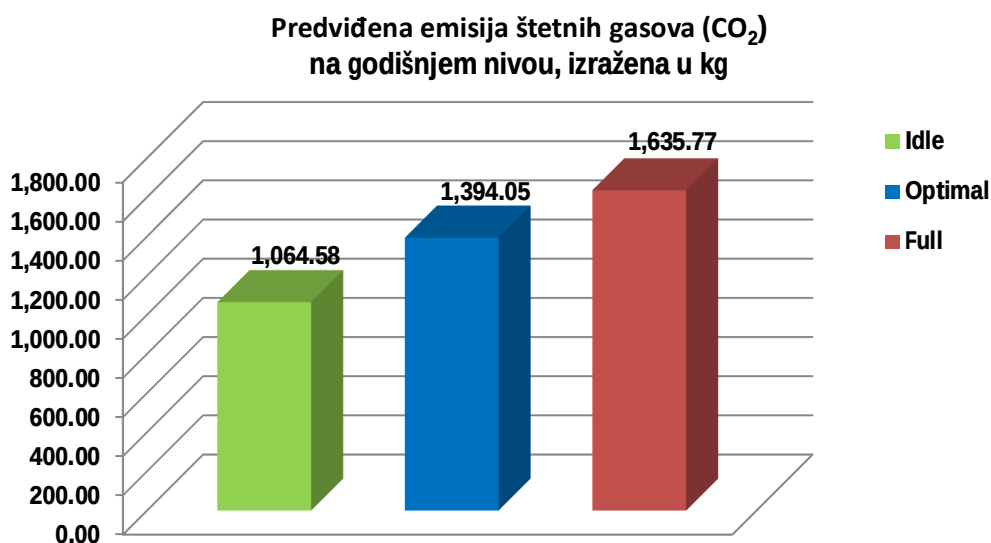
Grafikon 3. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1

Na Grafikonu 4 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



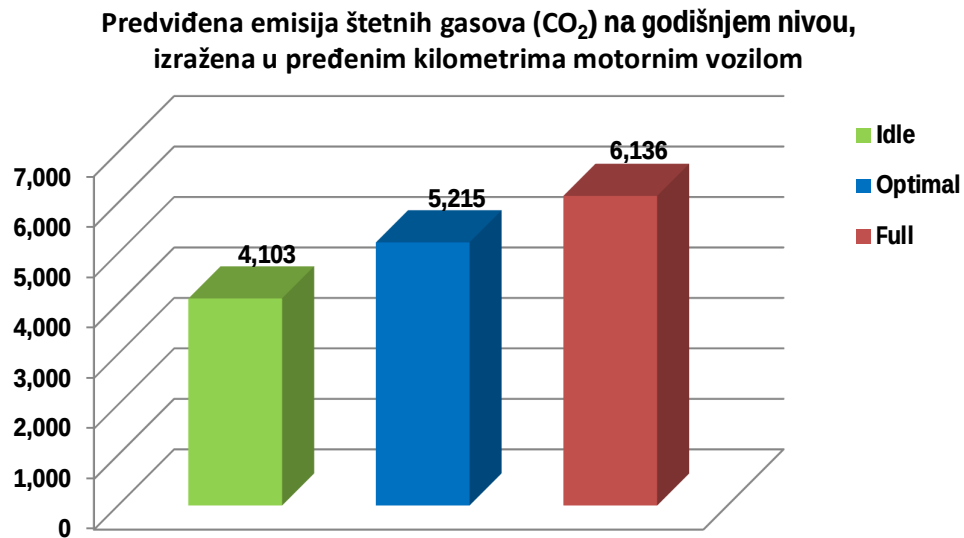
Grafikon 4. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 1

Na Grafikonu 5 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



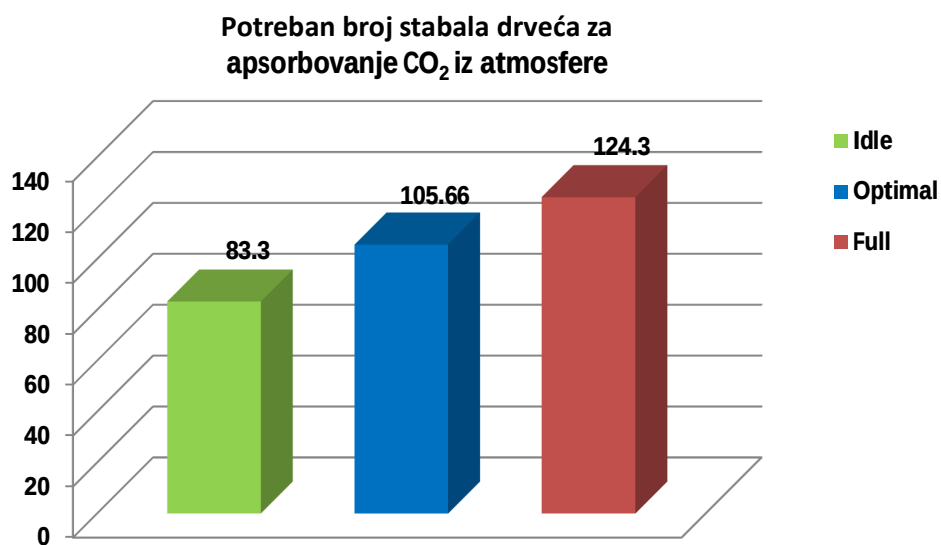
Grafikon 5. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1

Na Grafikonu 6 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 6. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 1

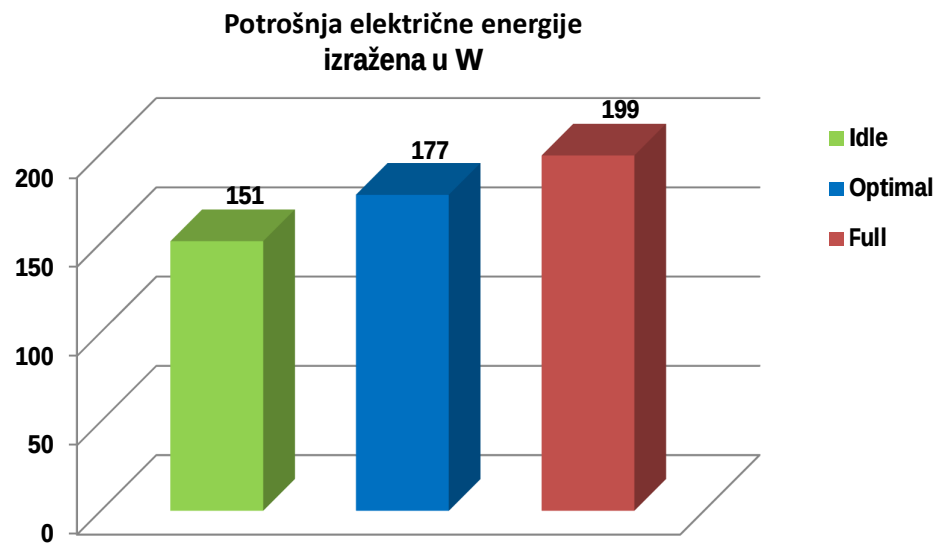
Na Grafikonu 7 prikazan je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



Grafikon 7. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 1

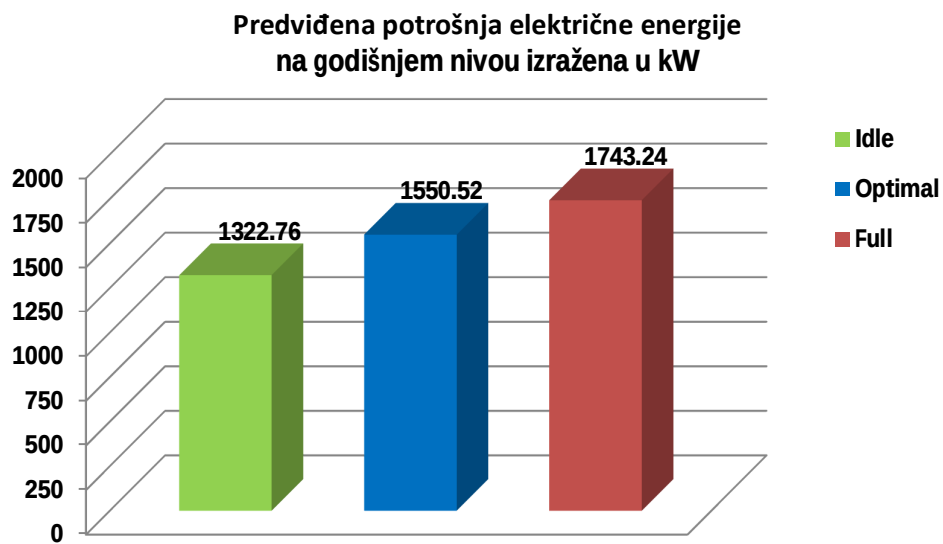
5.2.2 Rezultati testova – Konfiguracija 2

Na Grafikonu 8 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



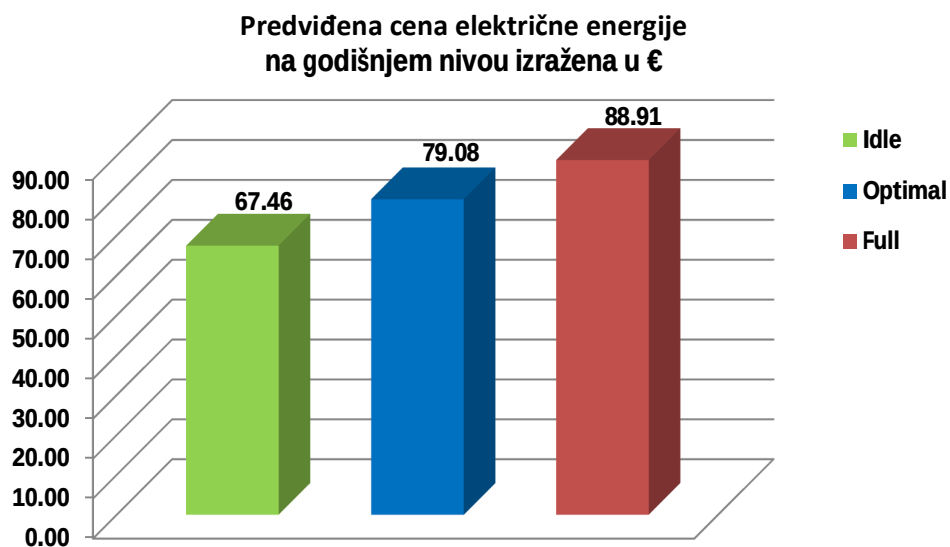
Grafikon 8. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 2

Na Grafikonu 9 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



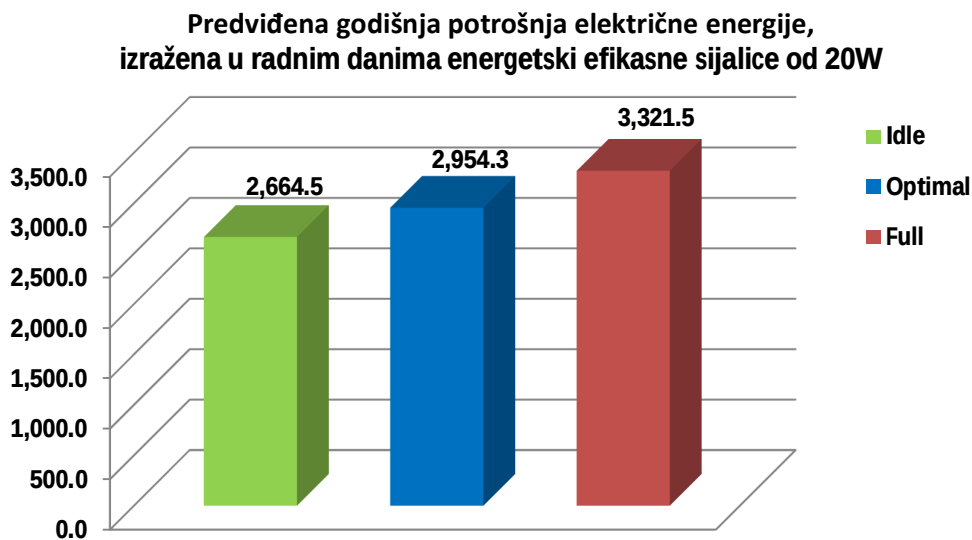
Grafikon 9. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2

Na Grafikonu 10 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



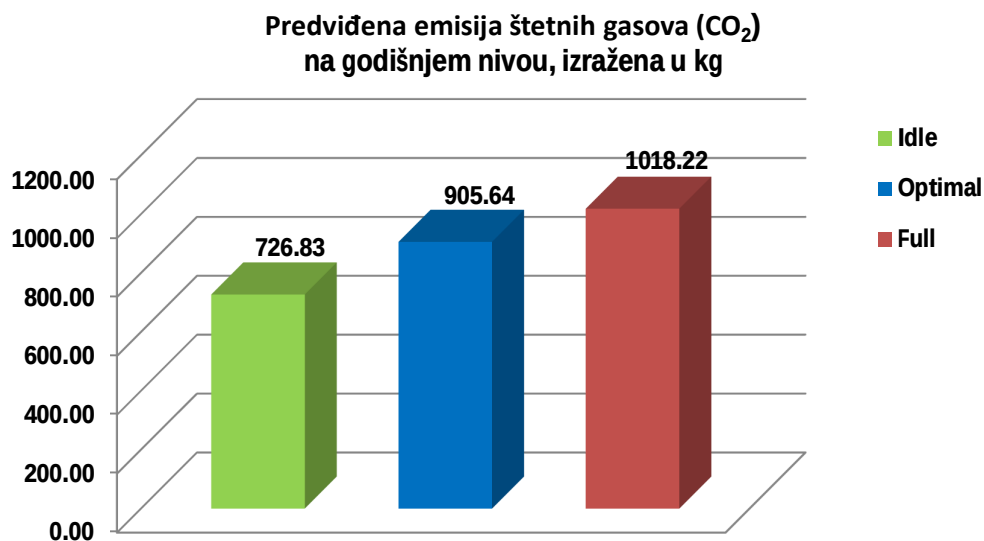
Grafikon 10. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2

Na Grafikonu 11 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



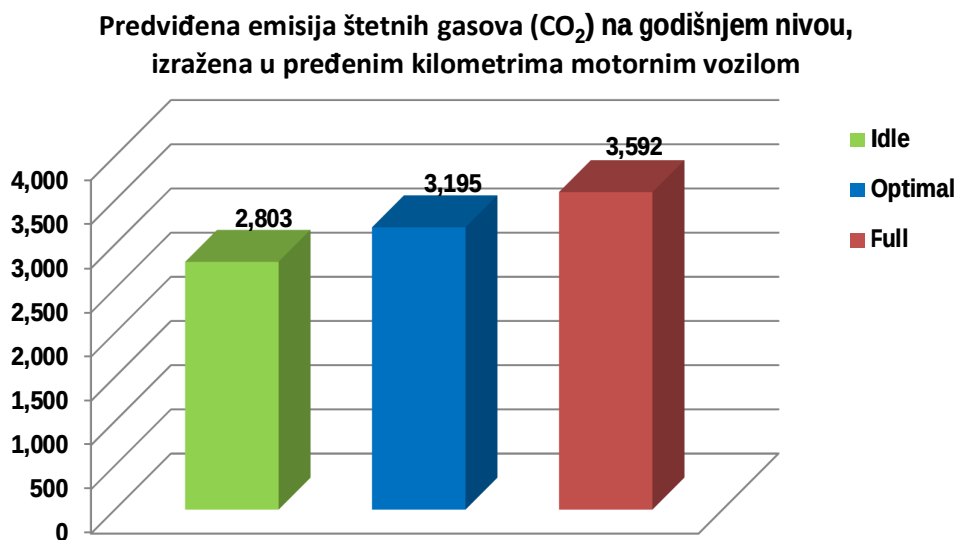
Grafikon 11. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 2

Na Grafikonu 12 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



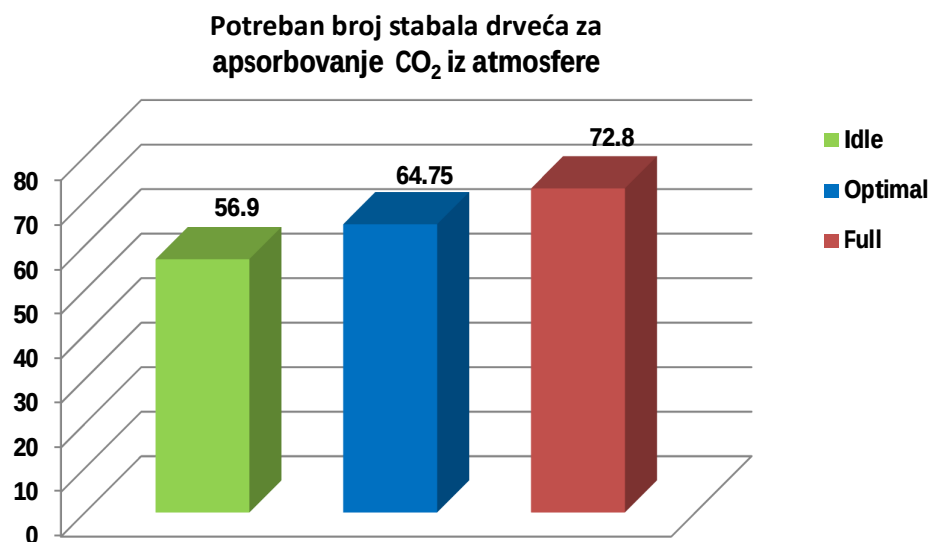
Grafikon 12. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2

Na Grafikonu 13 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 13. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 2

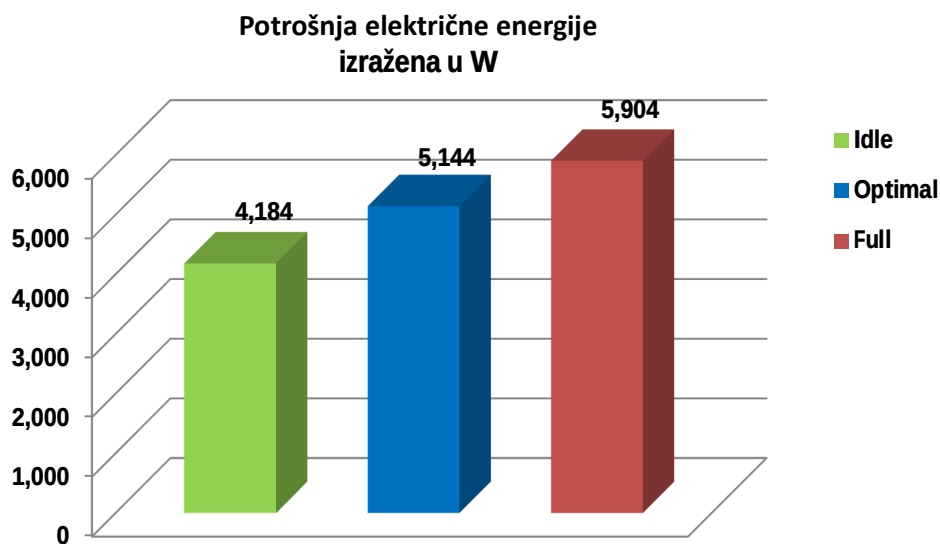
Na Grafikonu 14 prikazana je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



Grafikon 14. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 2

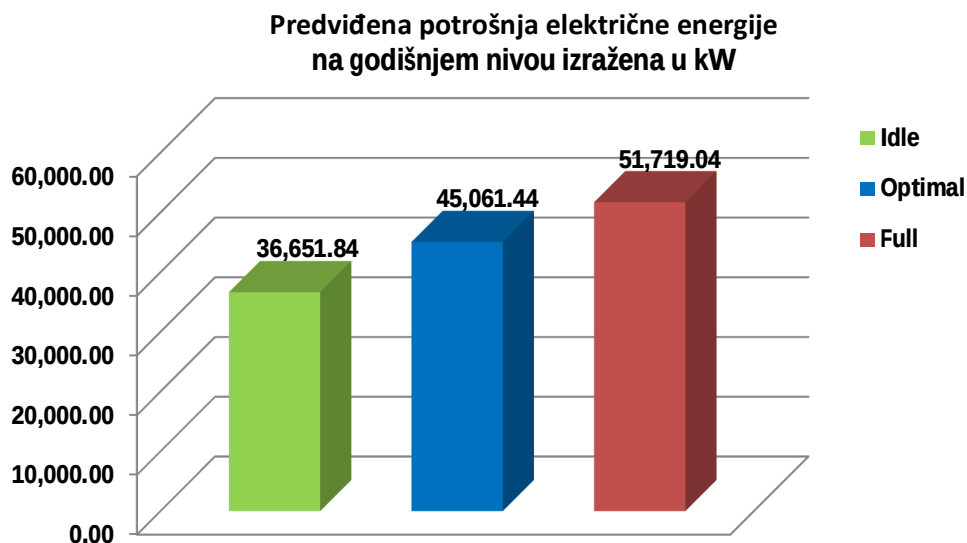
5.2.3 Sumarni rezultati fizičkog datacentra

Kako smo već predstavili, fizički datacentar se sastoji od 24 servera, najvažniji serveri (njih 8) su istih ili sličnih performansi kao što je server Konfiguracije 1, dok su ostali (njih 16) najbližnji serveru Konfiguracije 2. Ako bismo sumirali dobijene rezultate sa brojem servera dobili bismo sledeće podatke: Na Grafikonu 15 prikazana je ukupna potrošnja električne energije fizičkog datacentra.



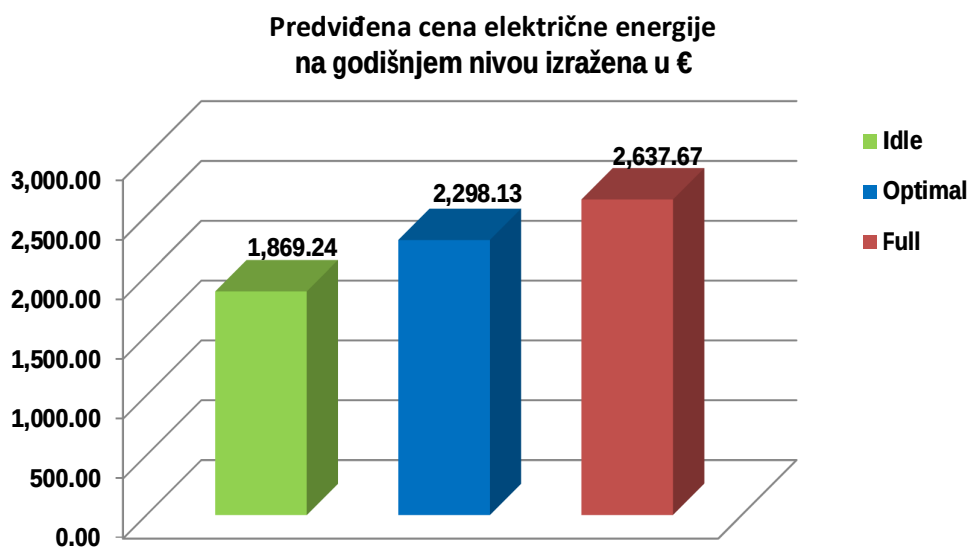
Grafikon 15. Prikaz ukupne potrošnje električne energije fizičkog datacentra

Na Grafikonu 16 prikazana je ukupna predviđena potrošnja električne energije za celokupan datacentar na godišnjem nivou, izražena u kilovatima.



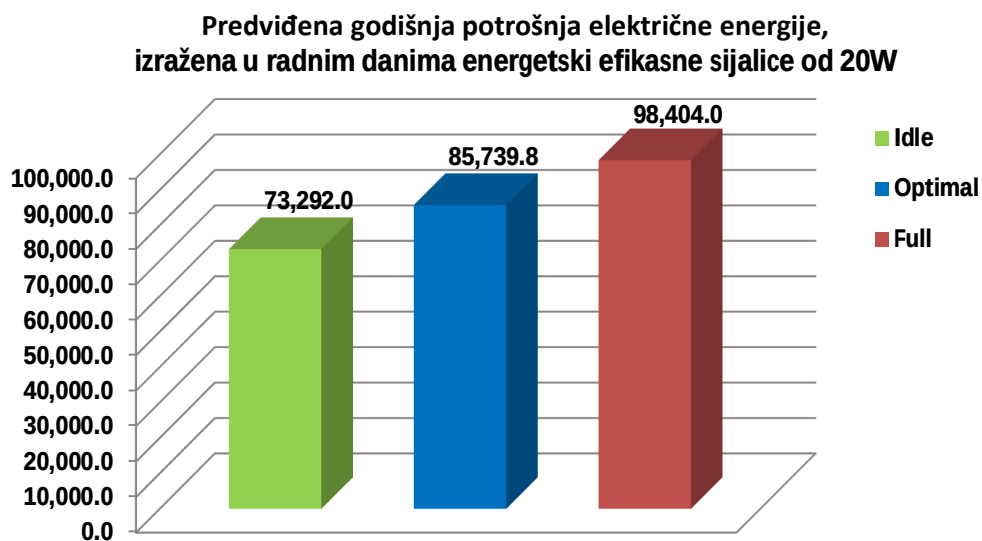
Grafikon 16. Prikaz ukupne predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za fizički datacentar

Na Grafikonu 17 prikazana je ukupna predviđena cena potrošnje električne energije celokupnog datacentra na godišnjem nivou, izražena u novcu.



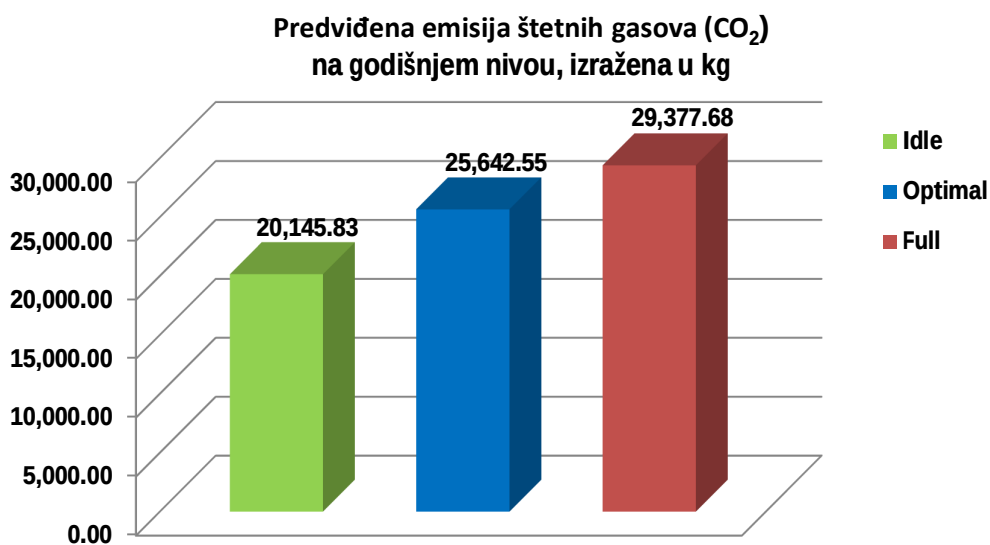
Grafikon 17. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za fizički datacentar

Na Grafikonu 18 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije za celokupan datacentar, izražena u radnim danima energetske sijalice od 20W.



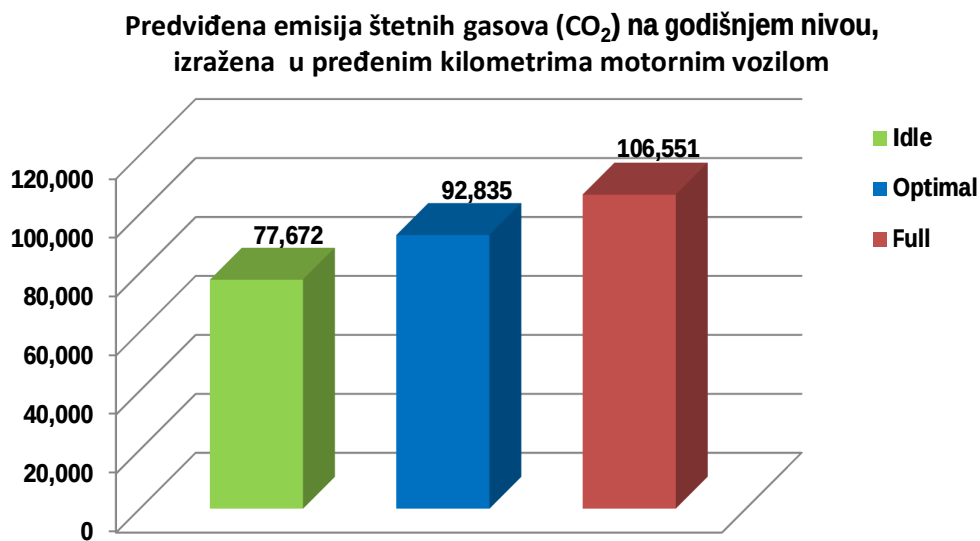
Grafikon 18. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske sijalice za fizički datacentar

Na Grafikonu 19 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou koju proizvede celokupan datacentar, izražena u kilogramima.



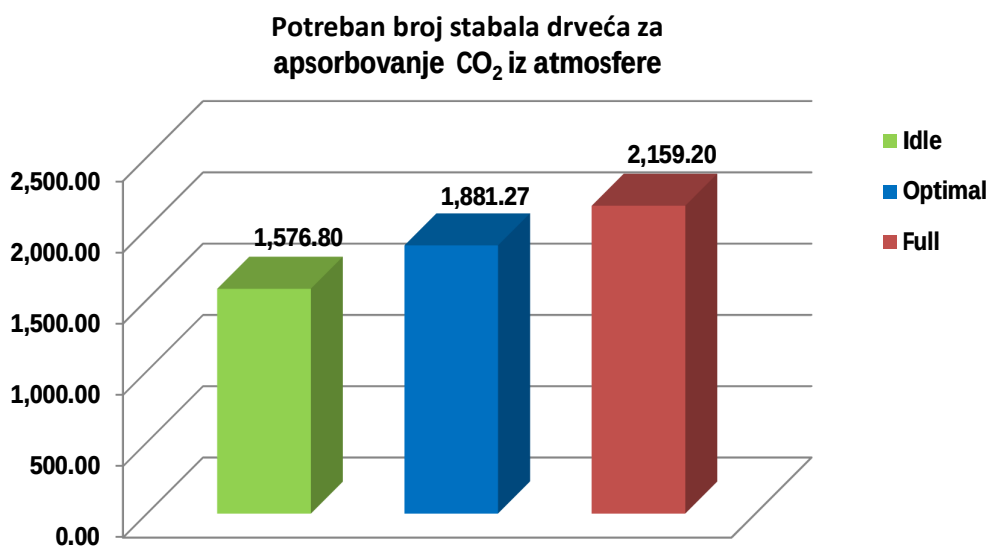
Grafikon 19. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za fizički datacentar

Na Grafikonu 20 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova svih servera u datacentru izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 20. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za fizički datacenter

Na Grafikonu 21 prikazana je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede celokupan datacenter.



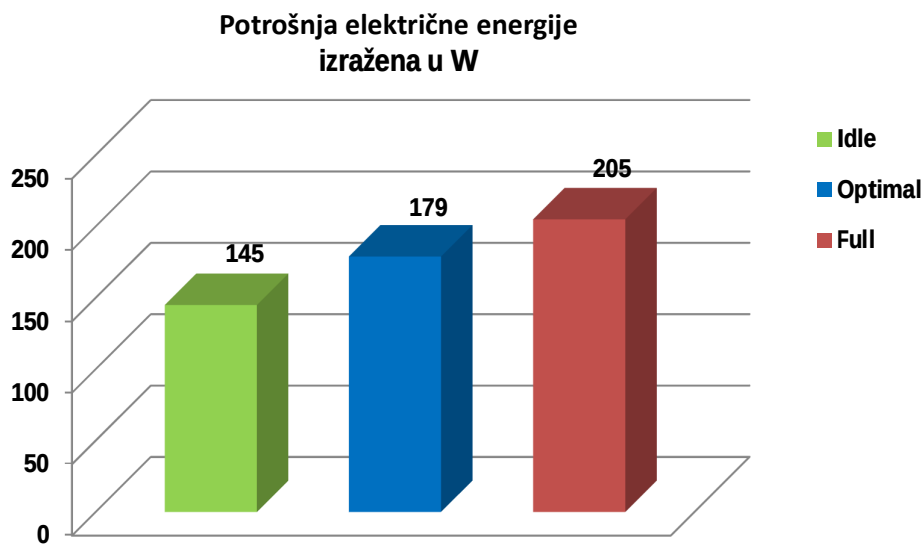
Grafikon 21. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za fizički datacenter

5.3 Rezultati testova u virtualnom datacentru

Sistem za elektronsko testiranje studenata je jedan od najvažnijih servisa na Univerzitetu, pa je shodno tome i server na kojem se nalazi najviših performansi. Ovaj server samo prilikom testiranja studenata, kada su kolokvijumi ili ispitni rokovi koristi većinu svojih resursa dok je najčešće u stanju mirovanja. Primarni domen kontroler je u svakoj organizaciji sa centralizovanom administracijom najvažniji server. Takođe, kao i Sistem za elektronsko testiranje studenata, on samo u određenim trenucima koristi veći deo svojih resursa, tako da su ova dva servera pogodni kandidati za virtualizaciju. Virtualizovan datacentar će se sastojati iz tri servera Konfiguracije 3 i pet servera Konfiguracije 4. Osvrćući se na činjenicu da je za neke od servisa kao što je Fakultetski informacioni sistem (dva servera) ipak potrebno zadržati najviši nivo performansi i dostupnosti, zasad ne postoje uslovi za virtualizaciju ovog sistema pa će on ostati na fizičkim serverima ali sa energetske efikasnom potrošnjom. Na preostalih 6 fizičkih servera će se naći po 3 do 4 virtualna servera koji će nastaviti da obavljaju ostale uloge.

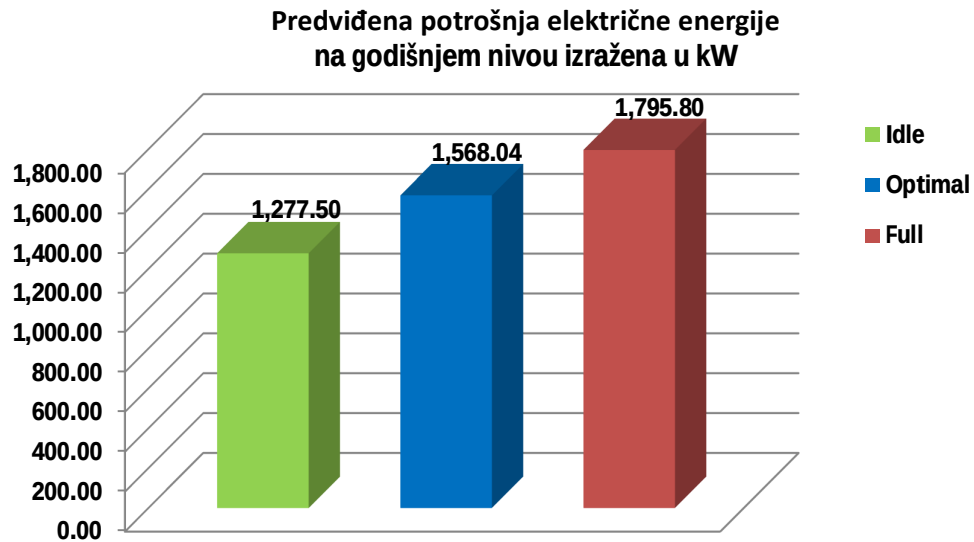
5.3.1 Rezultati testova – Konfiguracija 3

Na Grafikonu 22 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



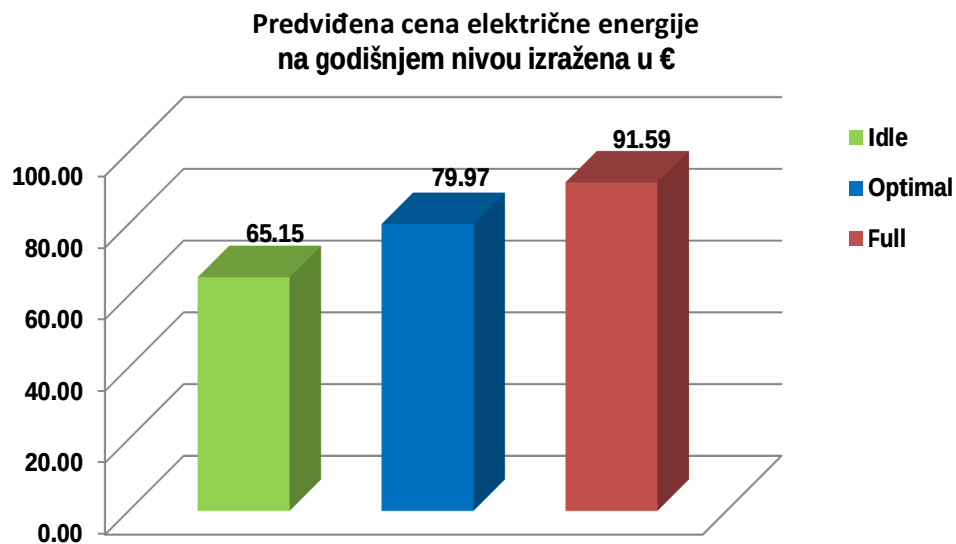
Grafikon 22. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 3

Na Grafikonu 23 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



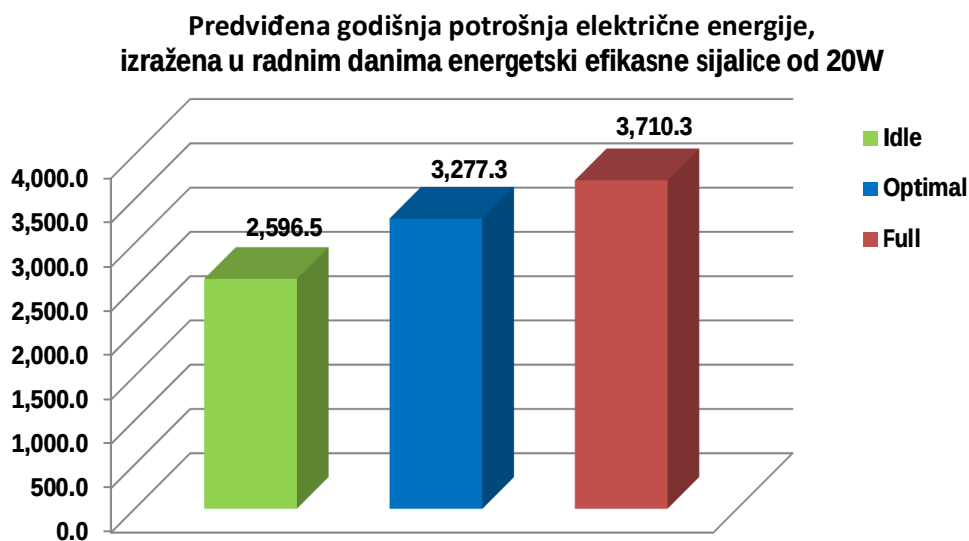
Grafikon 23. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3

Na Grafikonu 24 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



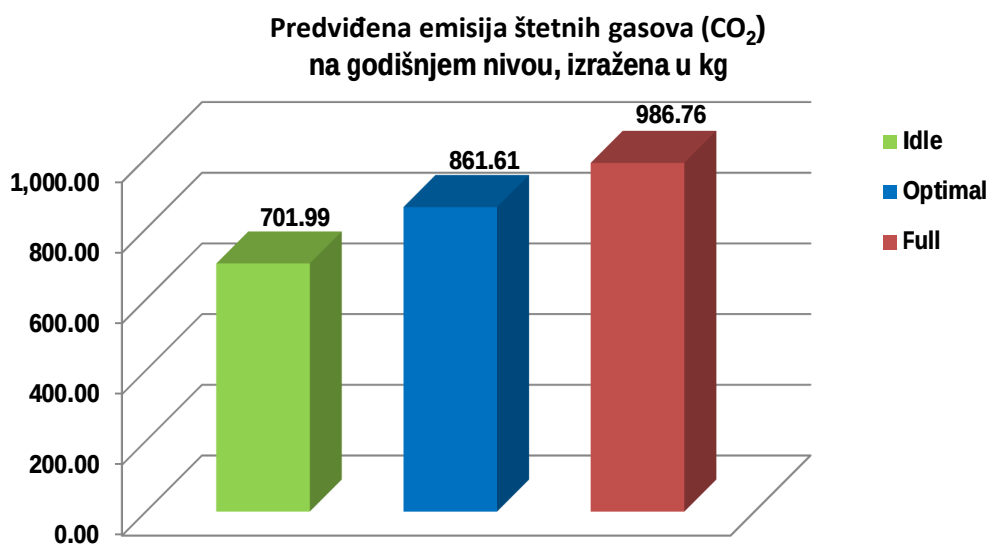
Grafikon 24. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3

Na Grafikonu 25 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



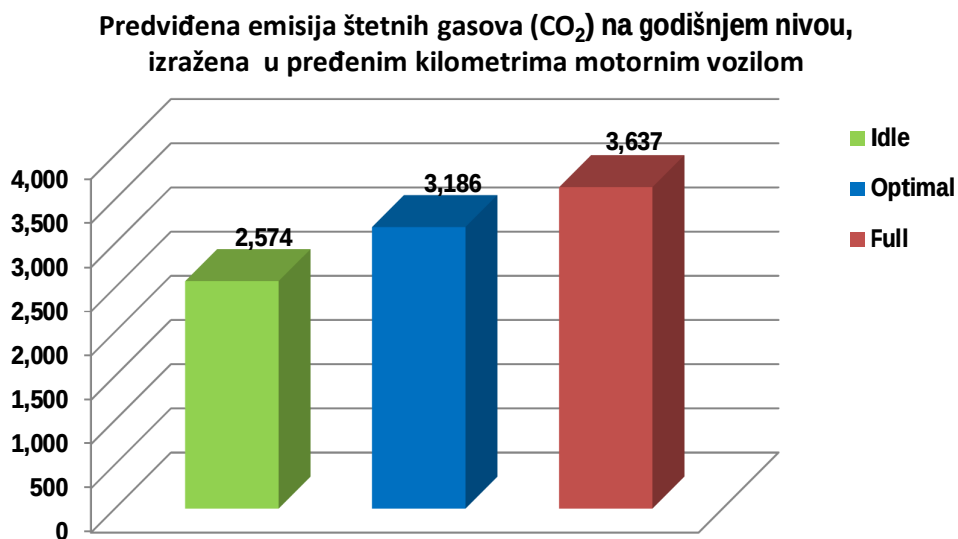
Grafikon 25. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 3

Na Grafikonu 26 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



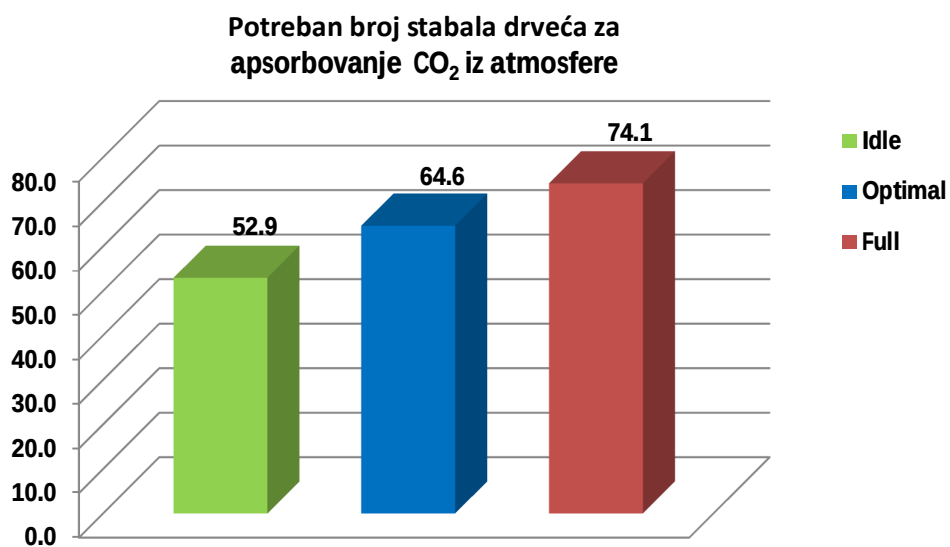
Grafikon 26. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3

Na Grafikonu 27 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 27. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 3

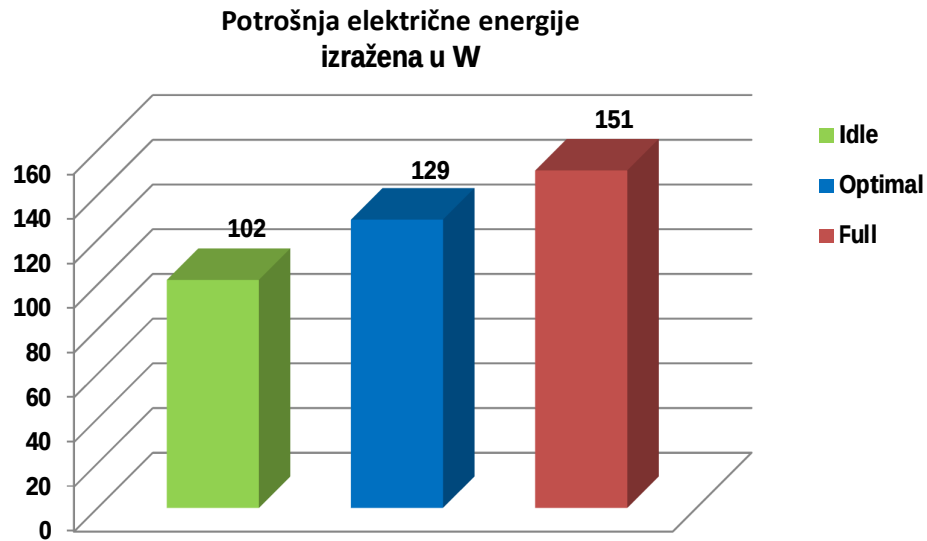
Na Grafikonu 28 prikazan je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



Grafikon 28. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 3

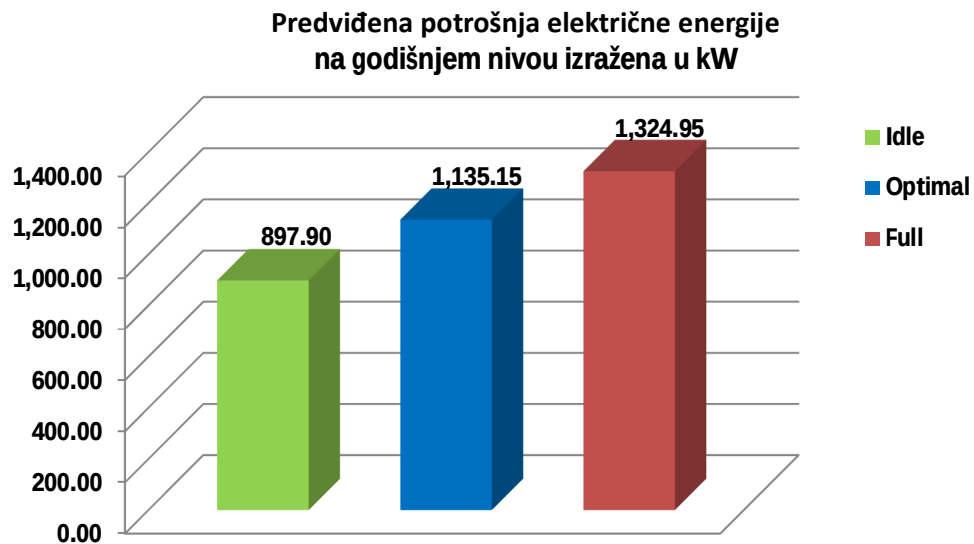
5.3.2 Rezultati testova – Konfiguracija 4

Na Grafikonu 29 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



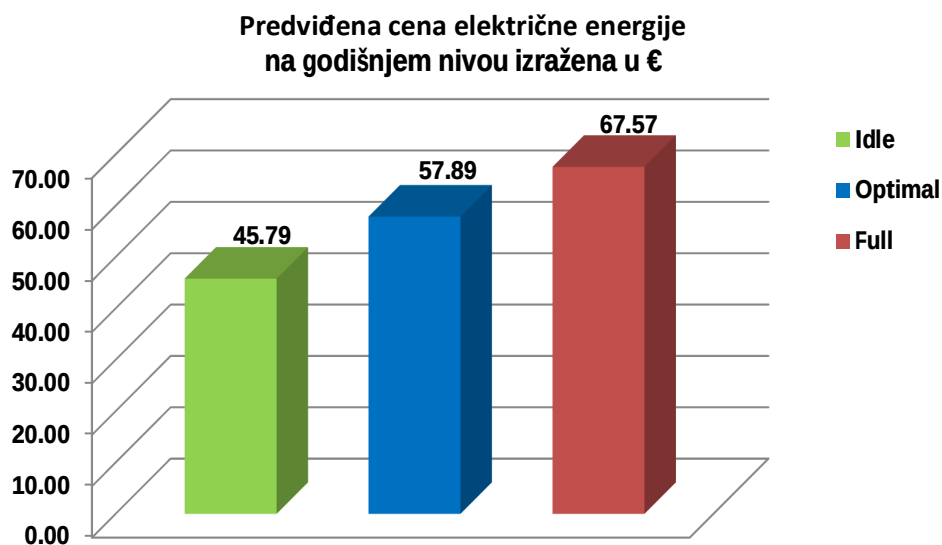
Grafikon 29. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 4

Na Grafikonu 30 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



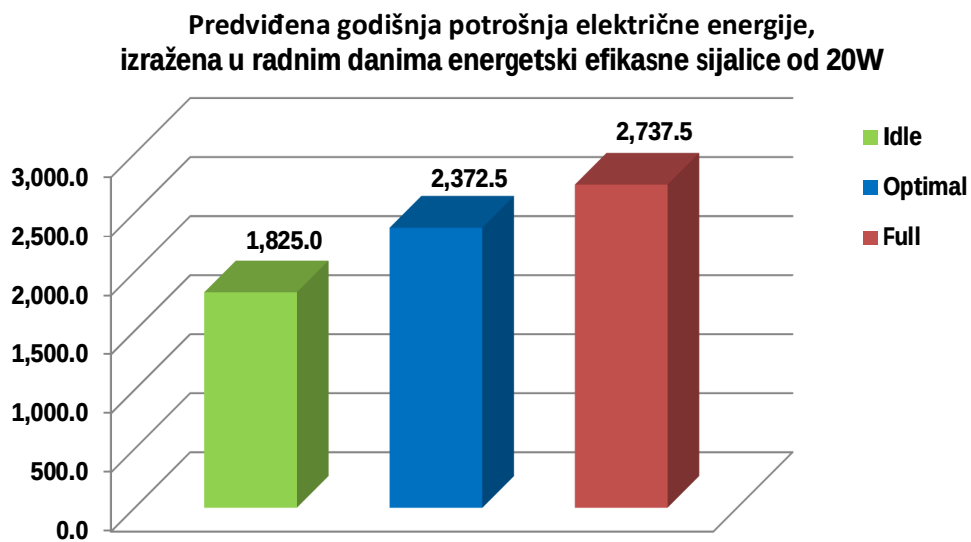
Grafikon 30. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4

Na Grafikonu 31 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



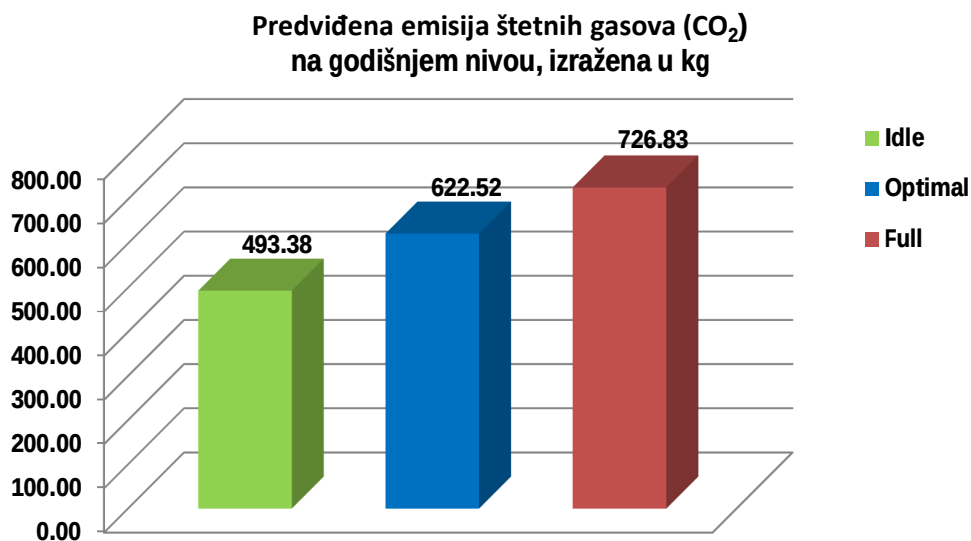
Grafikon 31. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4

Na Grafikonu 32 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



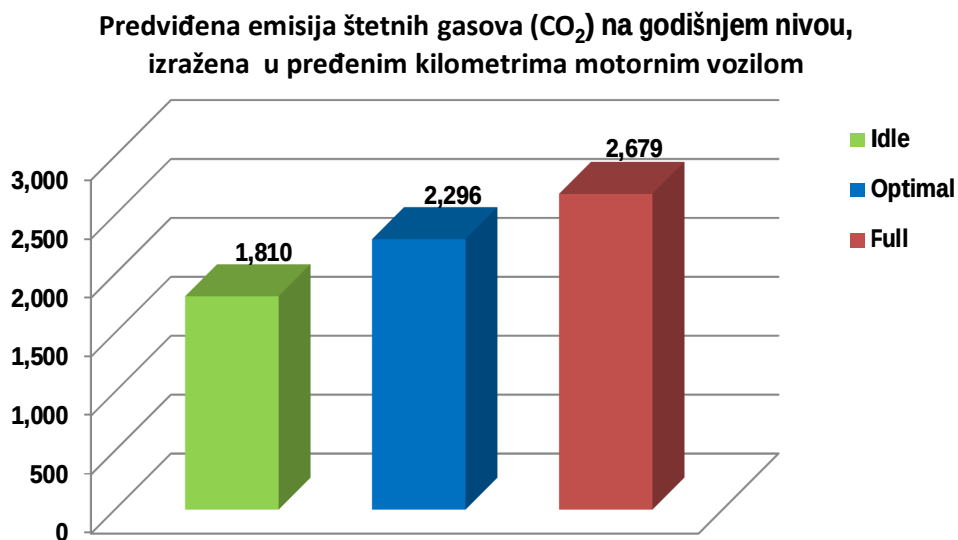
Grafikon 32. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 4

Na Grafikonu 33 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



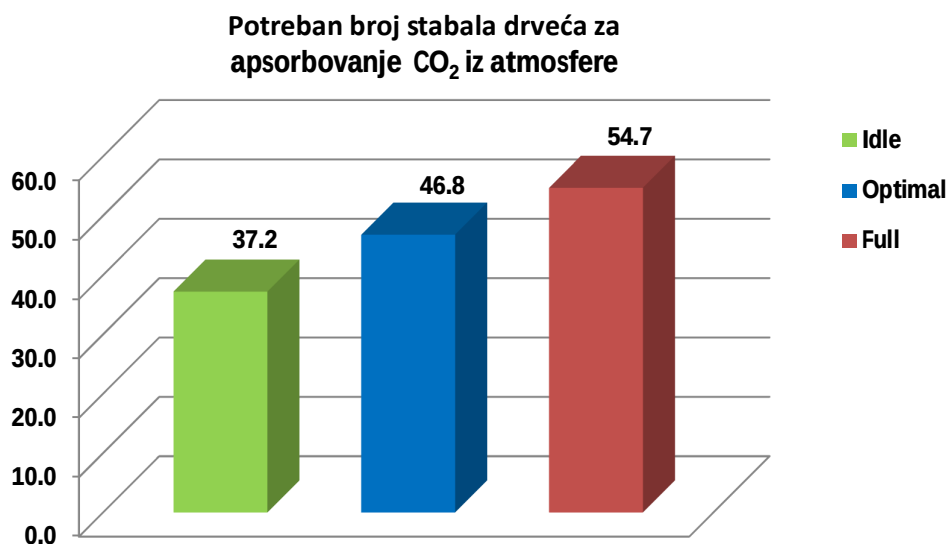
Grafikon 33. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4

Na Grafikonu 34 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 34. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 4

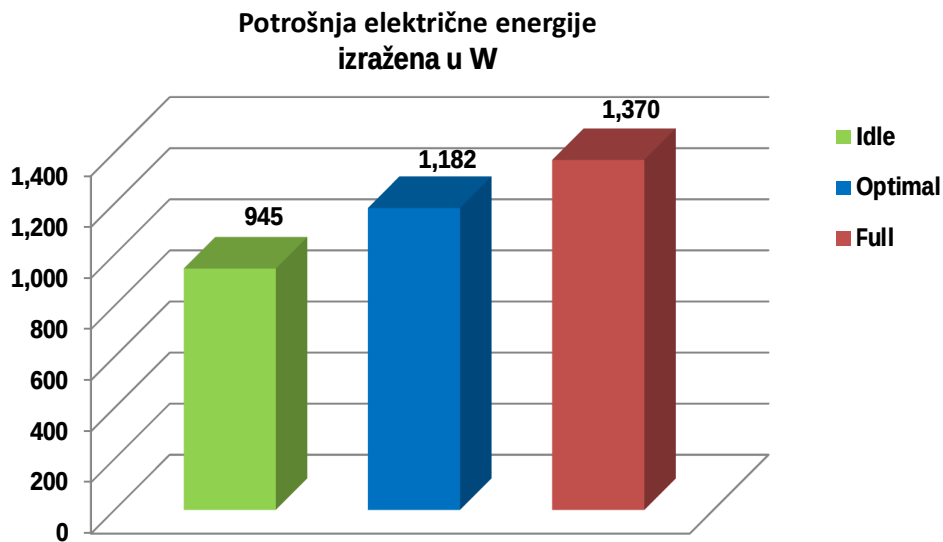
Na Grafikonu 35 prikazana je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



Grafikon 35. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 4

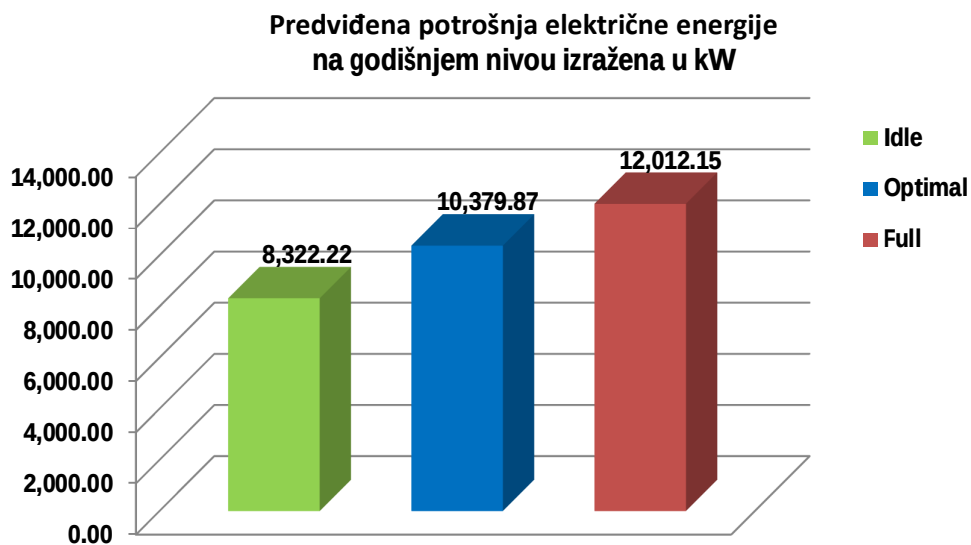
5.3.3 Sumarni rezultati virtualnog datacentra

Kako je već predstavljeno, virtualni datacentar se sastoji od 8 servera. 2 servera koji obavljaju ulogu Fakultetskog Informacionog Sistema su nastavili da funkcionišu kao fizički serveri i oni su Konfiguracije 3, takođe, još jedan, ali virtualizovan server je Konfiguracije 3. Ostalih 5 servera su Konfiguracije 4. Ako bi se sumirali dobijeni rezultati predviđenog broja servera dobili bi se sledeći podaci: Na Grafikonu 36 prikazana je ukupna potrošnja električne energije virtualnog datacentra.



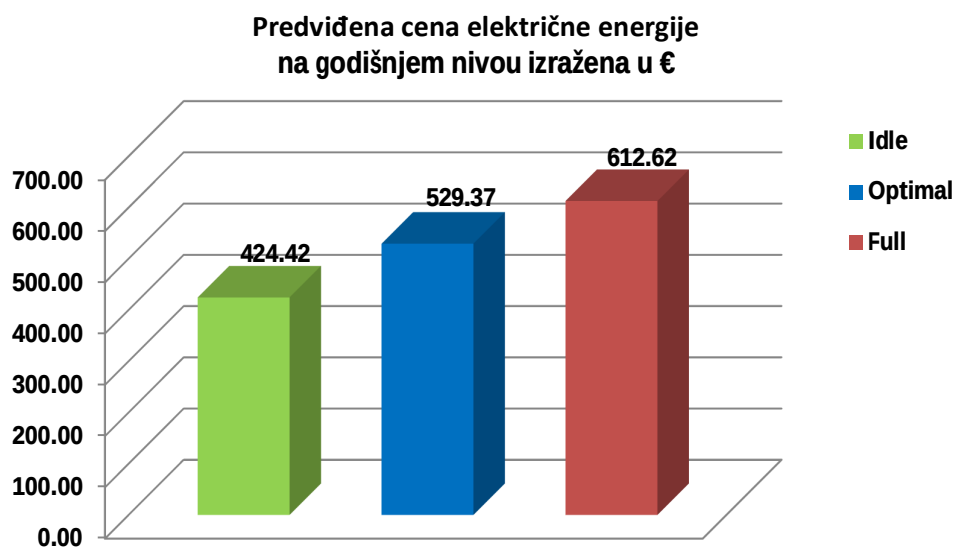
Grafikon 36. Prikaz ukupne potrošnje električne energije virtualnog datacentra

Na Grafikonu 37 prikazana je ukupna predviđena potrošnja električne energije za celokupan datacentar na godišnjem nivou, izražena u kilovatima.



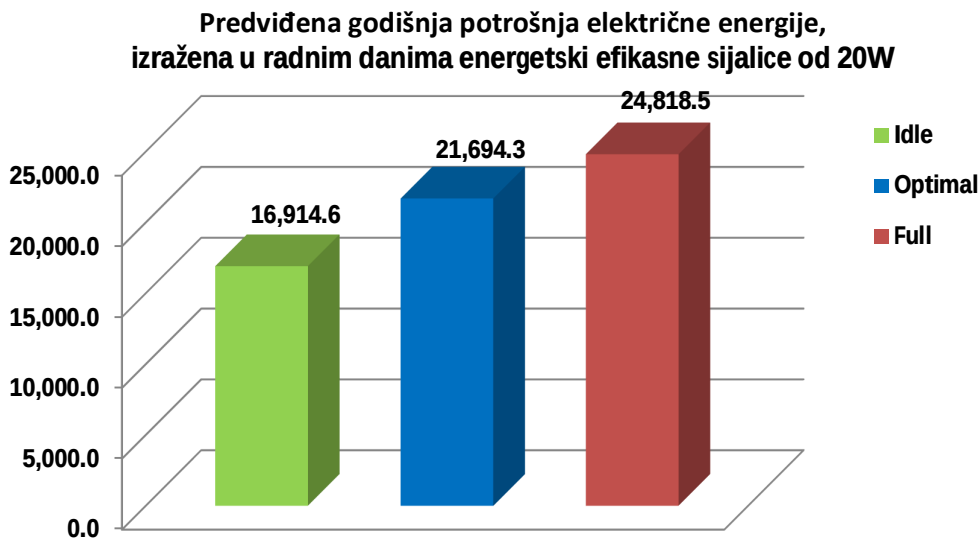
Grafikon 37. Prikaz ukupne predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za virtualni datacentar

Na Grafikonu 38 prikazana je ukupna predviđena cena potrošnje električne energije celokupnog datacentra na godišnjem nivou, izražena u novcu.



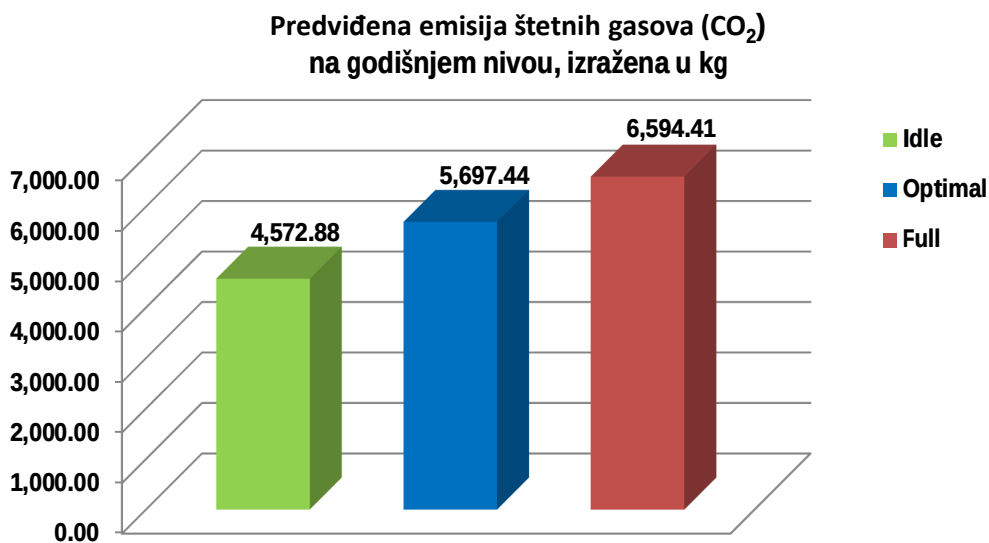
Grafikon 38. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za virtualni datacentar

Na Grafikonu 39 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije za celokupan datacentar, izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



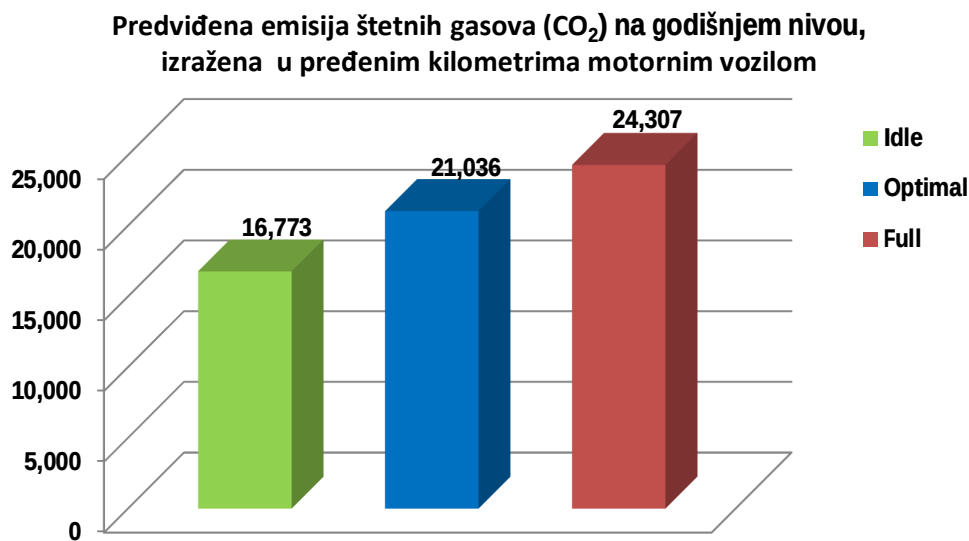
Grafikon 39. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za virtualni datacentar

Na Grafikonu 40 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou koju proizvede celokupan datacentar, izražena u kilogramima.



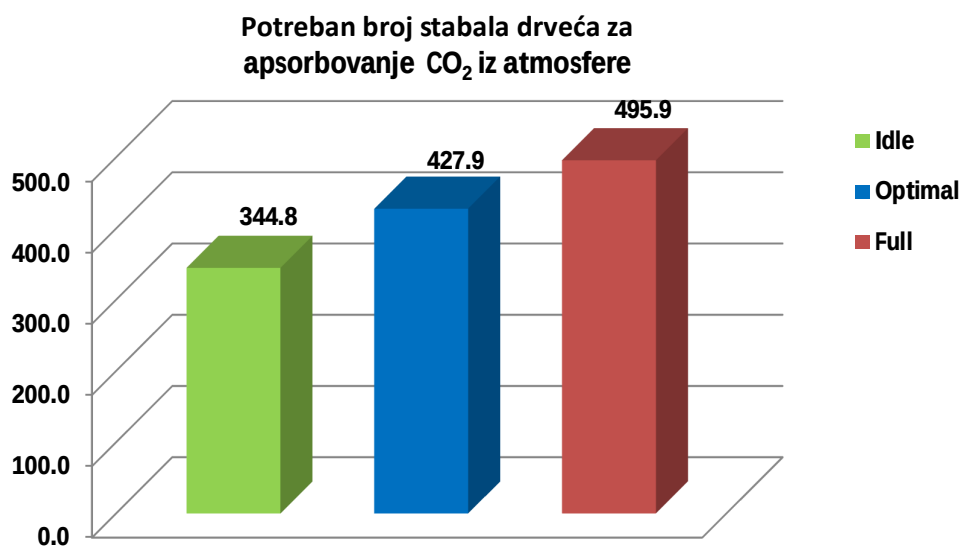
Grafikon 40. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za virtualni datacentar

Na Grafikonu 41 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova svih servera u datacentru izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 41. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za virtualni datacenter

Na Grafikonu 42 prikazana je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede celokupan datacenter.

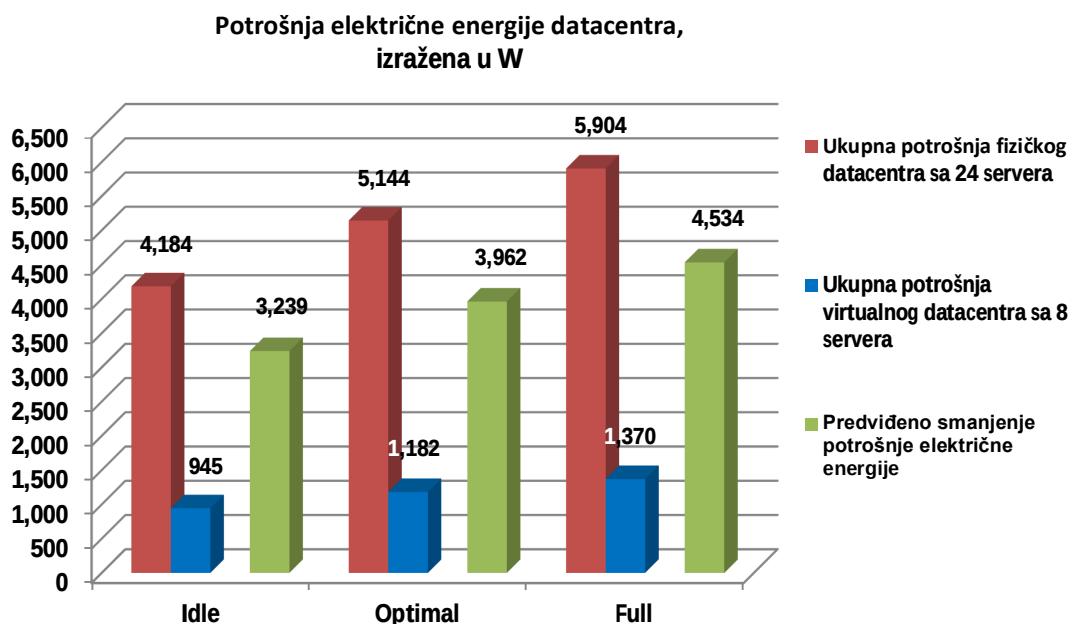


Grafikon 42. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za virtualni datacenter

5.4 Poređenje dobijenih rezultata

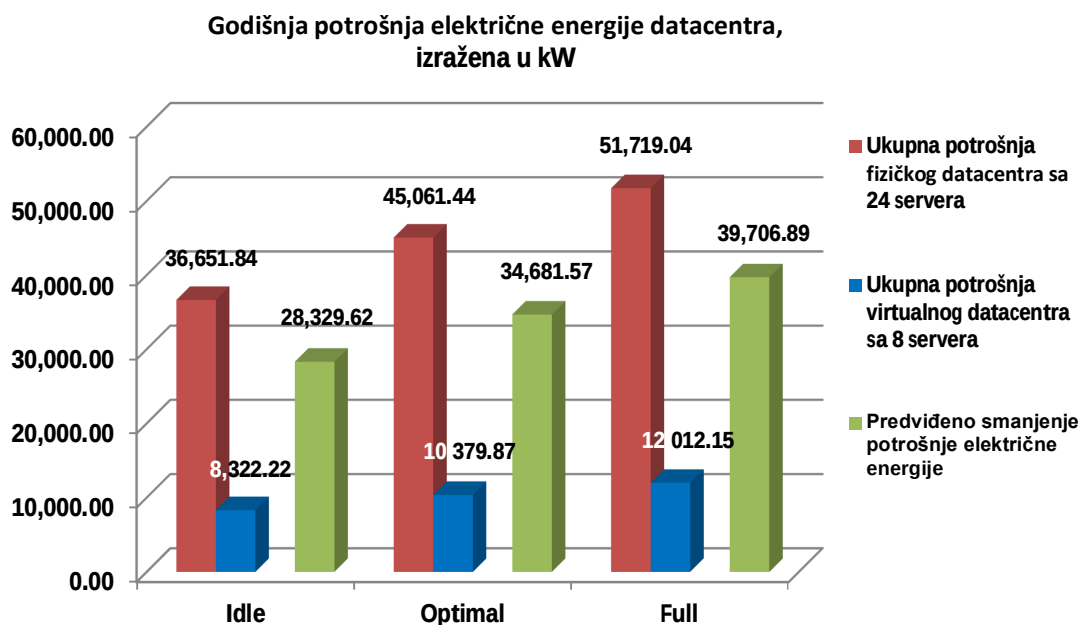
U ovom delu su paralelno prikazani rezultati fizičkog i virtualnog datacentra i opisane dobijene razlike. Crvenom bojom je predstavljen fizički, plavom virtualni datacentra, a zelenom bojom će biti označene uštede u resursima. Kako je već obrazloženo, veliki broj servera ne koristi sve resurse koje ima na raspolaganju tako da za poređenje dolazi u obzir potrošnja u optimalnom režimu rada. Fizički datacentar se sastoji od 24 fizička servera koji obavljaju pojedinačne uloge. Konsolidovan i virtualizovan datacentar se sastoji od 2 fizička servera koji obavljaju pojedinačne uloge i 6 fizičkih servera koji uz pomoć virtualizacione tehnologije obavljaju od 3 do 4 uloge kao virtualni serveri.

Na Grafikonu 43 je prikazana potrošnja fizičkog datacentra od 5,144W, dok virtualni ostvaruje potrošnju od 1,182W na svakih sat vremena. Evidentna je razlika i ušteda 3,962W, odnosno 34,681.57kW na godišnjem nivou (Grafikon 44). Preračunato u finansijske resurse ova ušteda bi iznosila 1,768.76€ što je prikazano na Grafikonu 45. Takođe, smanjenju potrošnje električne energije bi u znatnoj meri doprinelo i smanjenje oslobađanja toplote i emisije štetnih gasova za 19,945.12kg na godišnjem nivou, prikazano na Grafikonu 46. Na ovaj način se rasterećuju rashladni uređaji koji troše manje električne energije za postizanje optimalne radne temperature u datacentru.



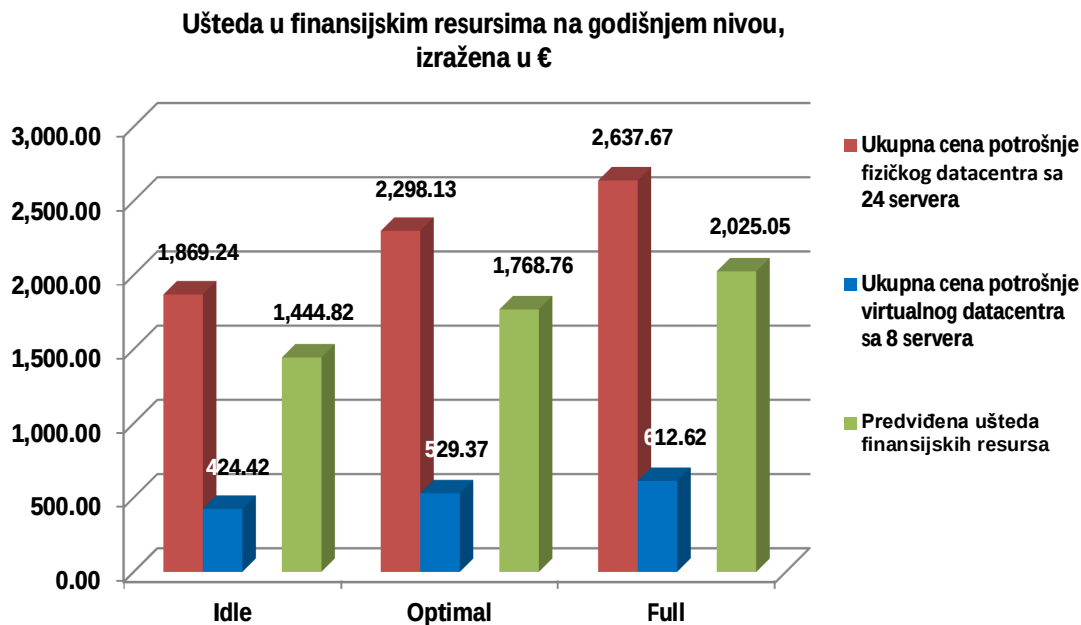
Grafikon 43. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije

Na Grafikonu 44 prikazana je godišnja razlika u potrošnji električne energije fizičkog i virtualnog datacentra.



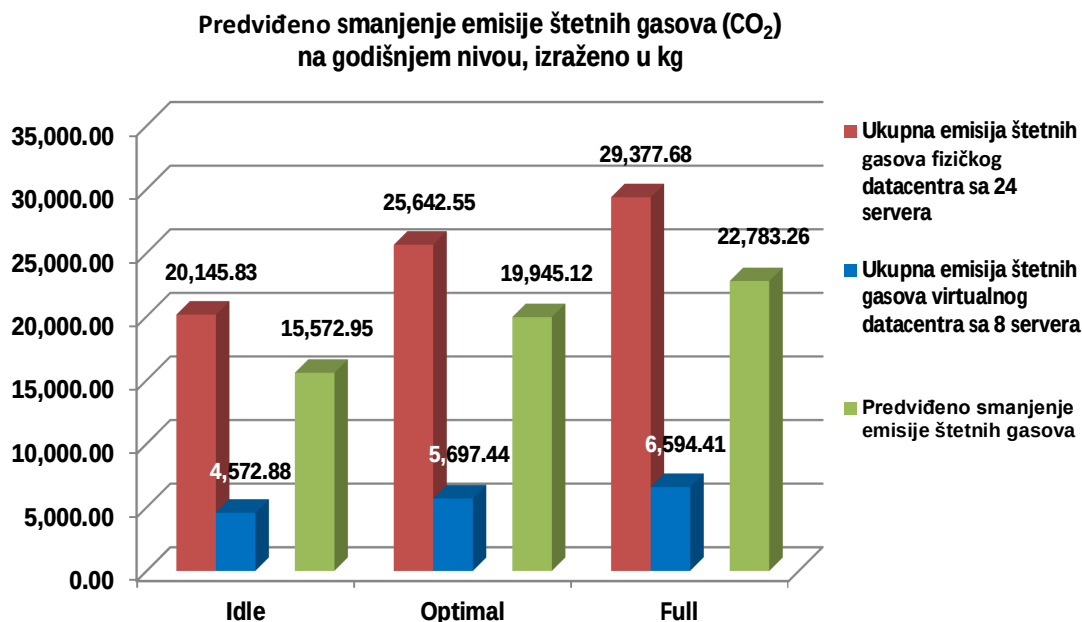
Grafikon 44. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou

Na Grafikonu 45 prikazana je ušteda u finansijskim resursima na godišnjem nivou predviđenih za potrošnju električne energije.



Grafikon 45. Prikaz uštede finansijskih resursa na godišnjem nivou

Na Grafikonu 46 prikazana je godišnja razlika u emisiji štetnih gasova fizičkog i virtualnog datacentra.



Grafikon 46. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou

Osvrnućemo se i na postojeću studiju portala „the grin grid“. Uporedićemo potrošnju energetski efikasnih servera, njih 8 u virtualnom Univerzitetskom datacentru i njihovu optimalnu potrošnju sa pokrenuta 3 do 4 virtualna servera. Potrošnja energetski efikasnih servera iznosi 147.75W, dok najniža potrošnja po datoj studiji koja je rađena 2009. godine iznosi 176W, odnosno optimalna potrošnja oko 230W. Sa jedne strane može se zaključiti da su razlike drastične, a sa druge da su proizvođači hardvera sve više pažnje obraćali na energetski efikasnu arhitekturu.

IBM već godinama važi za najzastupljeniji brend po pitanju servera i serverske infrastrukture i što su modeli noviji, to je niža i potrošnja električne energije. Takođe, proizvođači operativnih sistema sve više naglašavaju da su njihovi proizvodi posvećeni što efikasnijoj upotrebi energije. Univerzitet Singidunum je dugogodišnji član Microsoft® IT Academy alijanse i ima pristup i pravo korišćenja proizvoda ove kompanije. Virtualizacioni softver koji se koristi na Univerzitetu je proizvod Microsoft® Hyper-V™ druge generacije. Ovaj softver je opisan kao energetski efikasno rešenje u omogućavanju pristupa virtualnim serverima potrebnim hardverskim resursima. Iz Microsoft®-a dugo najavljivani i očekivani operativni sistem Windows® Server 8, definisan je kao sistem koji ima za cilj podizanje energetske efikasnosti uređaja koji ga koriste. Sve ove vesti predstavljaju dobar uvod u nova istraživanja kojima ćemo se baviti u budućnosti.

Dobro organizovan i virtualizovan datacentra na samom početku zahteva veće izdvajanje finansijskih resursa nego prevaziđeni fizički. Za jedan Univerzitetski datacentar

od 24 fizička servera koji su predstavljeni u dosadašnjem istraživanju, potrebno je izdvojiti oko 22,000€, dok je za predloženo rešenje virtualnog datacentra od 8 fizičkih servera potrebno izdvojiti oko 28,000€. Dugoročno gledano, ova investicija će se isplatiti veoma brzo, na osnovu dobijenih rezultata uštede u finansijskim resursima na osnovu potrošnje električne energije, rok je 4 godine da se razlika u početnoj investiciji nadoknadi što je prikazano u Tabeli 4.

Tip organizacije datacentra	Vrednost početne investicije	Ukupna potrošnja na godišnjem nivou	Vrednost potrošnje na godišnjem nivou	Ukupni trošak za 4 godine
Fizički datacentar	€ 22,000	kW 45,061.44	€ 2,298.13	€ 31,192.52
Virtualni datacentar	€ 28,000	kW 10,379.87	€ 529.37	€ 30,117.48

Tabela 4. Prikaz isplativosti investicije u virtualni naspram fizičkog datacentra

Suvišno je spominjati u kolikoj meri virtualni datacentar olakšava administraciju, brzu instalaciju virtualnih servera, migraciju sa jednog servera na drugi usled neispravnosti hardvera ili povećanih zahteva za resursima. Virtualizacijom kompletnog datacentra, oslobađanjem prostornih i infrastrukturnih kapaciteta javlja se mogućnost implementacije novih fizičkih servera za dalja istraživanja. Sticanjem novih znanja o energetskej efikasnosti, došlo se na ideju izrade koncepta zelenih i virtualnih elektronskih učionica niske potrošnje koje će biti predstavljene kroz studiju slučaja u drugom pristupnom radu.

6 Elektronske učionice

Svetska ekonomska kriza i kriza u proizvodnji električne energije inspirisala nas je na istraživanje predstavljeno u prvom pristupnom radu. Širenje znanja iz oblasti energetske efikasnosti, mogućnosti unapređenja IT servisa i uštede finansijskih resursa samo su neki od razloga za nastavak daljih istraživanja. Kroz eksperimentalna merenja i istraživanje nametala se jedna pretpostavka, što su računari stariji, veća je i njihova potrošnja električne energije. Proveravanje ove pretpostavke i mogućnost dodatnog smanjenja troškova kroz tipove „Green“ elektronskih učionica, predmet je istraživanja drugog pristupnog rada.

Svetska IT industrija je jedna od najbrže rastućih, a samim tim, njeni proizvodi, jedni od najvećih potrošača električne energije. Proizvođači IT opreme se gotovo svakodnevno utrkuju izbacujući na tržište nove modele računara, dok neki od njih vode računa samo o visokim performansama, drugi pak posebnu pažnju obraćaju na ekologiju i potrošnju električne energije. Po Greenpeace⁸-ovoj listi ekoloških (green) IT proizvođača za 2011. godinu, na prvom mestu se našao HP (Hewlett-Packard) sa ocenom 5.9/10, na drugom mestu Dell sa 5.1/10, na trećem Nokia sa 4.9/10, itd. Po Greenpeace-u, ovi proizvođači svojim proizvodima sa smanjenom potrošnjom električne energije, upotrebom biorazgradivih materijala u proizvodnji, smanjenoj emisiji štetnih gasova znatno doprinose očuvanju životne okoline. Jedna od najnovijih tehnologija koje velike organizacije koriste je „Cloud Computing“, što im omogućava veću iskorišćenost servera i smanjenje operativnih troškova. U novije vreme, teško je zamisliti i one najmanje organizacije bez većeg broja radnih stanica, tj. gotovo svaki zaposleni ima svoj desktop računar. Za manje organizacije koje nemaju na raspolaganju velika finansijska sredstva za izgradnju nove IT infrastrukture, „Cloud Computing“ jednostavno nije ekonomski efikasna opcija. Za ovakve organizacije postoje mnogi „Green“ računari koji bi se pokazali kao dobro rešenje.

Konsolidacijom i virtualizacijom Univerzitetskog datacentra stekli su se preduslovi za eksperimentalna testiranja koncepta „Green“ i virtualnih elektronskih učionica koje smo istraživali kroz drugi pristupni rad.

6.1 Trenutno stanje elektronskih učionica

Univerzitet Singidunum u dve odvojene organizacione jedinice poseduje 5 elektronskih učionica čiji broj računara varira od 31 do 101 po učionici. Za potrebe Fakulteta za Menadžment u upotrebi je elektronska učionica od 30 računara, za potrebe Poslovnog i Fakulteta za turistički i hotelijerski menadžment učionice od 31, 41 i 51 računara, a za Fakultet za informatiku i računarstvo učionica od 100 računara. Za jednu edukativnu ustanovu nabavka 275 novih računara bi predstavljala prevelik, zapravo

⁸ „Greenpeace“ – Nezavisna globalna organizacija koja ima za cilj promenu stavova i podizanje svesti o stanju životne okoline. Deluje kroz očuvanje životne sredine i akcije koje su često na ivici pravnih normi. [podaci dostupni na: www.greenpeace.org], (pristup 10.05.2012.)

nemoguć finansijski izdatak. Iz tog razloga starost i performanse računara variraju od učionice do učionice. Za potrebe odvijanja nastave iz različitih grupa nauka, potrebne su i različite konfiguracije računara. Na primer, za informatičke predmete potrebni su računari boljih performansi, dok su za ekonomske ili nauke iz oblasti turizma dovoljne i nešto slabije konfiguracije.

Elektronske učionice su u svakodnevnoj upotrebi, u zavisnosti od intenziteta nastave ili predviđenih kurseva, varira i njihova potrošnja električne energije. Za razliku od servera, računari u elektronskim učionicama su tokom perioda od 21h uveče do 08h ujutru ugašeni. Početkom 2012. godine stekli su se uslovi za zamenu kompletne IT opreme u učionici od 51-og računara što ćemo u ovom istraživanju predstaviti kao optimalan broj jedne učionice. Eksperimentalna merenja koja su vršena su slična kao i merenja u datacentru s tim da je ovde u ukupnu potrošnju uračunata i potrošnja monitora kao neizostavnog dela opreme. Tabelarnim i grafičkim prikazom ćemo prikazati razlike u potrošnji stare i nove generacije računara i monitora. Za poređenje ćemo uzeti potrošnju u optimalnom režimu radu kao što je to bio slučaj sa serverima.

6.2 Koncept „Green“ računara u elektronskim učionicama

Kako opisati „zeleni“ računar? Jednostavno, „zeleni“ računar je isti kao i svaki drugi računar. „Zeleni“, odnosno ekološki računari, takođe, imaju matičnu ploču, procesor, RAM memoriju, hard disk, grafičku i mrežnu karticu, ali su obično slabijih performansi od običnih. U proseku svaka od ugrađenih komponenti u ekološki računar košta 10% više nego za običan računar. Dakle, slabijih su performansi, a skuplji su. Pa koja je onda prednost njihove kupovine? Dva najvažnija faktora su potrošnja energije, kao i smanjenje štetnih supstanci od kojih je napravljen hardver. Ostali faktori, kao što su efikasnost napajanja, pakovanja i pogodniji program reciklaže su takođe važni. Sve u svemu, postoji veliki broj faktora za procenu da li su računari ekološki. Poslednjih godina je ustanovljena eko-sertifikacija za koju računari moraju da ispune veliki broj kriterijuma. Najvažniji sertifikati su EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool), RoHC (Restriction of Hazardous Substances) i Energy Star 4.0. Sva tri sertifikata su standardizovana, tako da su u ocenama precizniji od naručenih marketinških testiranja ili inicijativa koje sprovode razni portali. Kao što je već naglašeno, posebna pažnja je usmerena na potrošnju male količine električne energije i smanjenje uticaja na zagađenje životne okoline.

EPEAT je trenutno najsveobuhvatniji sistem u verifikaciji atributa ekoloških računara. Ovaj sistem je kreiran od strane konzorcijuma proizvođača električnih uređaja, a delom je finansiran i od strane U.S. Environmental Protection Agency (američka agencija za zaštitu okoline). Sistem ocenjuje desktop računare, laptopove, servere i monitore na osnovu 51 kriterijuma uključujući Energy Star norme. Sistem rangira uređaj sa medaljama koje mogu biti zlatna, srebrna i bronzana, što računar više kriterijuma ispuni sjajnije je i

odličje. Svaki uređaj koji je dobio jedno od ova tri odličja se može pretraživati u online bazi ovog sistema.

Novi Energy Star 4.0 sertifikat ocenjuje potrošnju električne energije, ali on ne pokriva druge kriterijume kao što su toksičnost ili emisija štetnih gasova. U skladu sa novim 4.0 standardom, računari moraju da koriste manje od 50W u Idle režimu rada, odnosno 4W kada su u stanju hibernacije da bi dobili ovaj sertifikat.

RoHC predstavlja Direktivu EU, a odnosi se na zabranu plasiranja elektronskih i električnih proizvoda na tržište EU ako oni sadrži više štetnih materija kao što su olovo, kadmijum, živa, heksvalentni hrom, od Direktivom propisane vrednosti.

Model računara koji je odabran za ekološku elektronsku učionicu je HP⁹ Pro 3300 MT koji je dobio sertifikate EPEAT, Energy Star 4.0, kao i IT ECO, dok je model monitora Dell E190s 19“ koji takođe poseduje sertifikate EPEAT i Energy Star 4.0.

6.3 Hardverski resursi

U ovom delu rada predstavljene su konfiguracije računara koji su korišćeni za eksperimentalna merenja. Uporedićemo potrošnju električne energije stare generacije sa novom generacijom računara i monitora sa njihovim tehničkim specifikacijama.

6.3.1 IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja

- Konfiguracija 5 - AMD[®] Athlon 64 X2 3600+ 1C/2T 2.0GHz 512KB (12), 3x1GB DDR2 667MHz, 250GB HDD SATAII, nVidia GeForce 7100GS, Napajnje 400W, Monitor Samsung SyncMaster 940N 19“
- Konfiguracija 6 - HP Pro 3300 MT - Intel[®] Core™ i3-2100 2C/4T 3.1GHz 3MB (13), 2x2GB DDR3 1333MHz, 500GB HDD SATA3, Integrated Intel HD, Napajanje 300W, Monitor Dell E190s 19“
- Uređaj za merenje potrošnje APC[®] Back-UPS Pro 900,
- Operativni sistem Microsoft[®] Windows[®] 7 Professional x64 SP1,
- Softver za benchmark FinalWire AIDA64 Engineer Edition v1.85.1600,
- Softver za praćenje potrošnje električne energije APC[®] PowerChute Personal Edition v3.0.1.

⁹ HP - Hewlett-Packard, Kompanija za proizvodnju hardvera i softvera

6.3.2 Tehničke specifikacije hardvera

Pre samih testiranja, prikupljene su potrebne tehničke specifikacije svih komponenti i njihova predviđena potrošnja električne energije koju propisuju proizvođači. Tabelarnim prikazom je omogućen uvid u potrošnju svake komponente ponaosob. Mogao bi se izvesti zaključak da se samo na osnovu ovih podataka može doći do ukupne potrošnje električne energije svakog računara. Formula po kojoj bi se mogla dobiti ukupna potrošnja je definisana u prethodnom delu rada.

Na osnovu dobijene formule i tehničkih specifikacija potrošnje koju su propisali proizvođači dobićemo ukupnu potrošnju jednog računara. Tehničke specifikacije su prikazane u Tabeli 5.

Naziv komponente	Pojedinačna potrošnja	Komada	Potrošnja	Ukupna potrošnja
AMD® Athlon 64 X2 3600+	65W (TDP)	1	65W	133,5W
Kingston® 1GB DDR2 800MHz	1,9W	3	5,7W	
Western Digital® 250GB HDD SATAII	7,8W	1	7,8W	
nVidia GeForce 7100GS	17W	1	17W	
Samsung SyncMaster 940N 19"	38W	1	38W	
Intel® Core™ i3-2100	65W (TDP)	1	65W	95,77W
Kingston® 2GB DDR3 1333MHz	1,5W	2	3W	
Western Digital® 500GB HDD SATAIII	8,77W	1	8,77W	
Dell E190s 19"	19W	1	19W	

Tabela 5. Prikaz kategorizovane potrošnje električne energije računara po komponentama

Iz tabele možemo zaključiti da je maksimalna potrošnja jednog računara sa monitorom 133,5W odnosno 95,77W kolika je potrošnja ekološkog računara i monitora.

Poređenjem tehničkih specifikacija koje su propisali proizvođači komponenata, imajući u vidu i velike razlike u potrošnji električne energije, nastavljeno je istraživanje uz pomoć pomenutih resursa i obavljena su eksperimentalna merenja i upoređeni dobijeni rezultati.

7 Eksperimentalna merenja u elektronskim učionicama

U ovom delu će biti prikazani rezultati merenja, analizirana potrošnja i troškovi električne energije računara i monitora, kao i emisija štetnih gasova. Analiza performansi stare i nove generacije računara nije predmet ovog istraživanja, tako da će fokus ove analize biti potrošnja električne energije i zagađenje životne okoline.

7.1 Testovi koji su vršeni

Eksperimentalna merenja koja su vršena uz pomoć uređaja APC® Back-UPS Pro 900 i softvera APC® PowerChute Personal Edition v3.0.1 u periodu od mesec dana po svakom tipu računara:

- Merenje potrošnje električne energije u tri režima rada:
 - Idle – bez opterećenosti sistema,
 - Optimal – opterećenost sistema 40-70%,
 - Full – opterećenost sistema 100%.
- Merenje emisije štetnih gasova (CO₂) u tri režima rada:
 - Idle – bez opterećenosti sistema,
 - Optimal – opterećenost sistema 40-70%,
 - Full – opterećenost sistema 100%.

Poređenjem dobijenih rezultata eksperimentalnih merenja preračunato je kolika bi se ušteda ostvarila u finansijskim resursima, izražena u novcu na godišnjem nivou. Korišćena je cena industrijske električne energije po važećem cenovniku Elektroprivrede Srbije. Kako računari u učionicama rade samo u periodu od 08h ujutru do 21h uveče, cena za obračunavanje potrošnje električne energije je uvek po visokoj tarifi. Softverski su upoređene količine štetnih gasova koju emituju računari sa onom koju proizvode motori automobila. Takođe, prikazano je i koliki je broj stabala drveća potreban za apsorbovanje ugljen-dioksida iz atmosfere koji emituju računari. Napravljeno je i poređenje potrošnje elektronske učionice i radnih dana energetske efikasne sijalice od 20W.

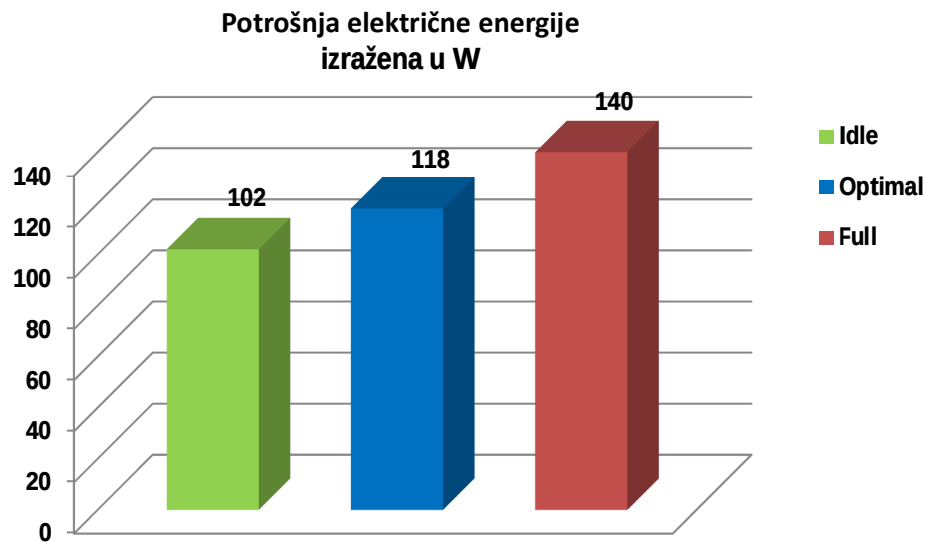
Rezultati merenja će biti predstavljeni prvo za zastarelu generaciju računara koja je već predstavljena u spisku korišćenih resursa, zatim će biti predstavljeni rezultati nove generacije računara na uzorku potrošnje druge konfiguracije. Na kraju, uporediće se rezultati dve generacije računara i prodiskutovati o dobijenim razlikama.

7.2 Rezultati testova računara

Za testiranje energetske efikasnosti elektronske učionice odabrano je dva tipa računara, stare i nove generacije. Konfiguracija 5 se može smatrati prosečnim računarom u većini edukativnih ustanova, dok Konfiguracija 6 pripada grupi računara poslednje generacije. Računari Konfiguracije 5 su u upotrebi poslednjih 5 godina, korišćeni su za praktične vežbe i održavanje elektronskih testova iz velikog broja predmeta na Poslovnom i Fakultetu za turistički i hotelijerski menadžment. Na vežbama se uglavnom nije koristio softver koji je hardverski zahtevan, ali u ovoj elektronskoj učionici su održavani Cisco, Microsoft, IBM, SAP i Oracle kursevi tako da su računari morali biti visokih performansi.

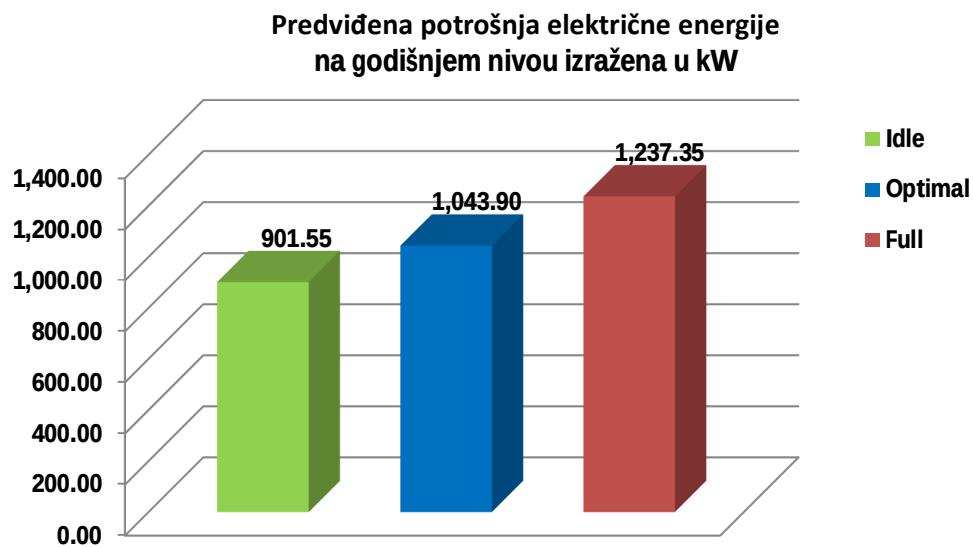
7.2.1 Rezultati testova stare generacije računara

Na Grafikonu 47 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



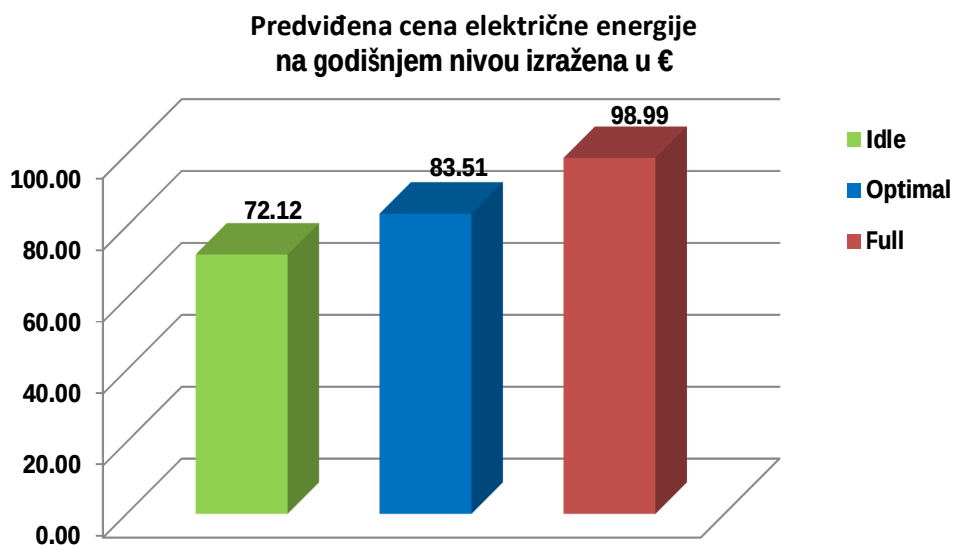
Grafikon 47. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 5

Na Grafikonu 48 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



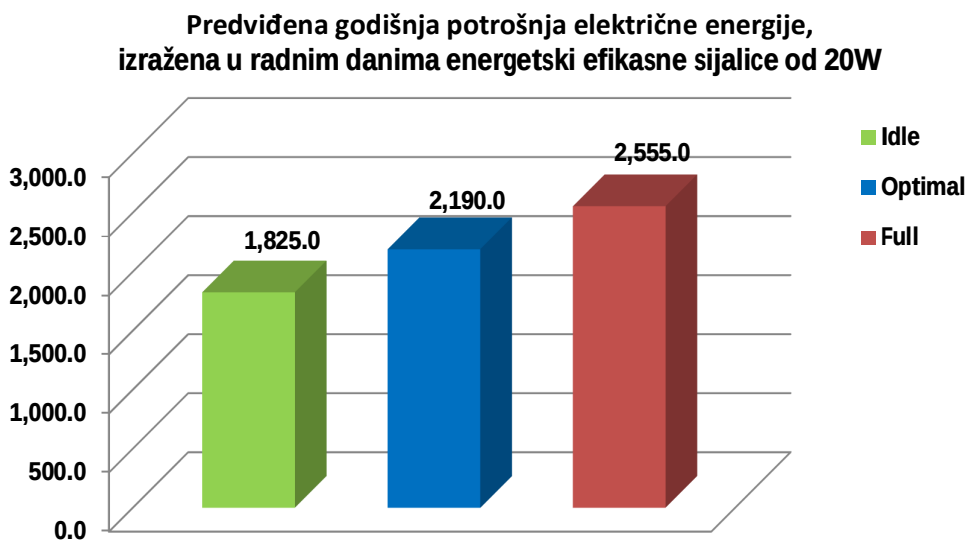
Grafikon 48. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5

Na Grafikonu 49 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



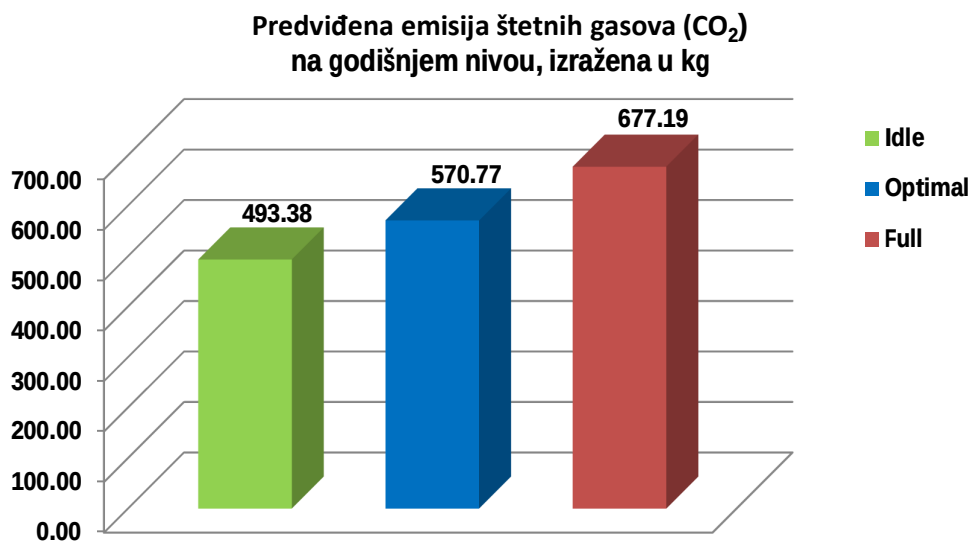
Grafikon 49. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5

Na Grafikonu 50 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



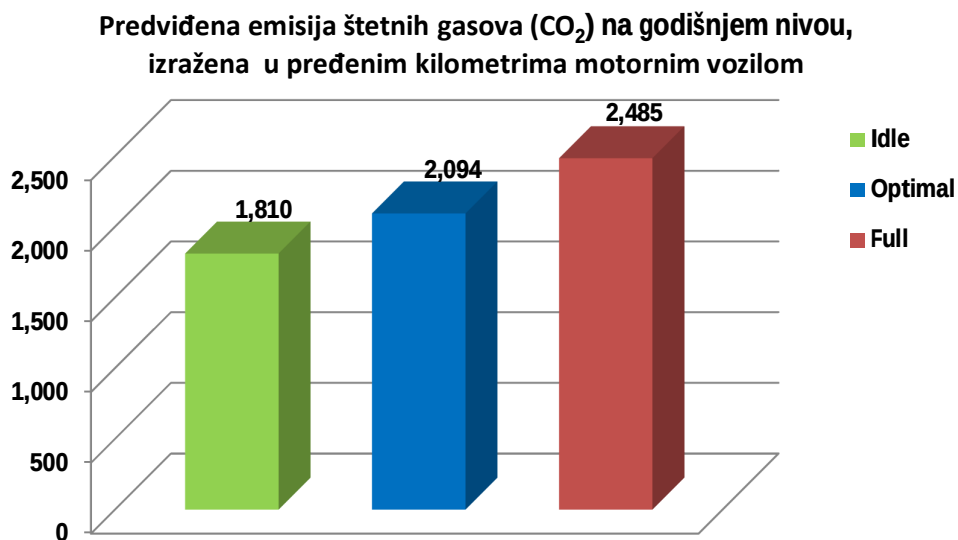
Grafikon 50. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 5

Na Grafikonu 51 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



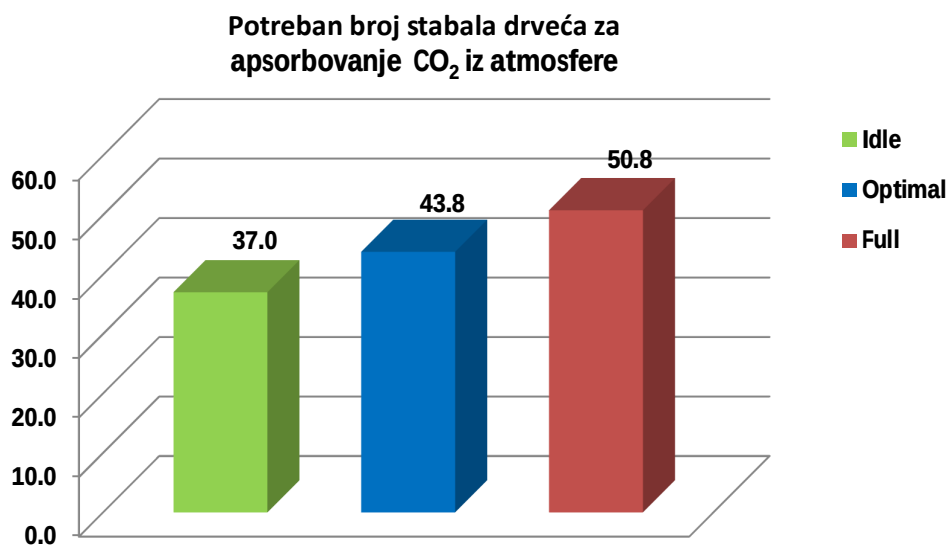
Grafikon 51. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5

Na Grafikonu 52 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 52. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 5

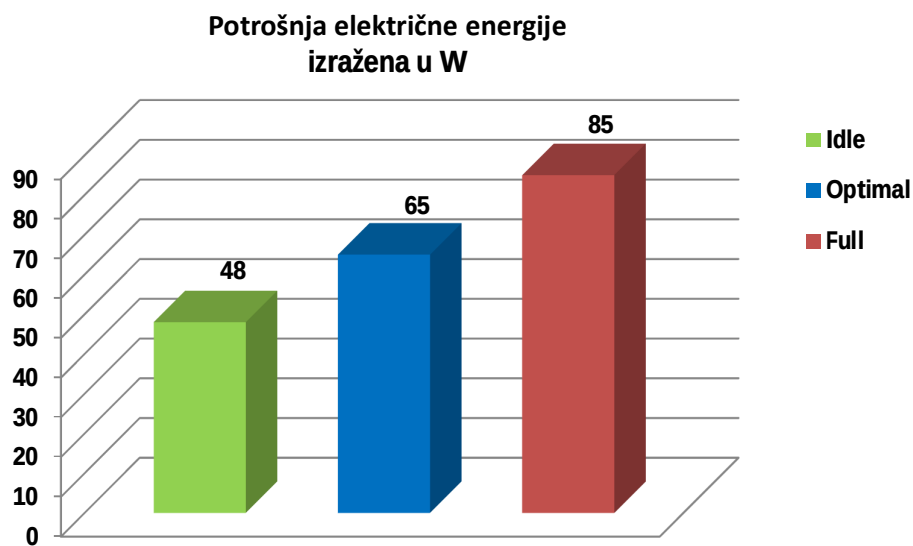
Na Grafikonu 53 prikazan je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



Grafikon 53. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 5

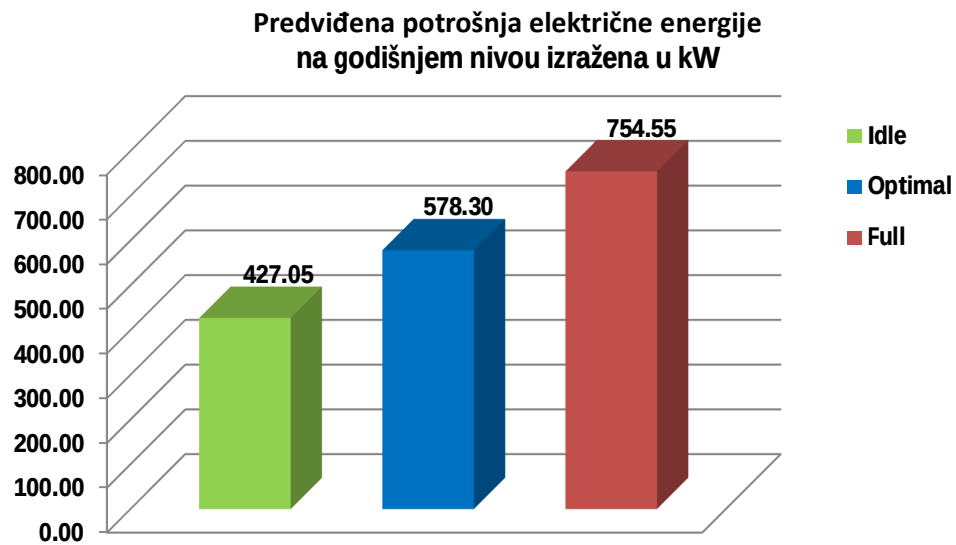
7.2.2 Rezultati testova nove (ekološke) generacije računara

Na Grafikonu 54 prikazana je potrošnja električne energije izražena u vatima za tri režima rada: Idle, Optimal i Full.



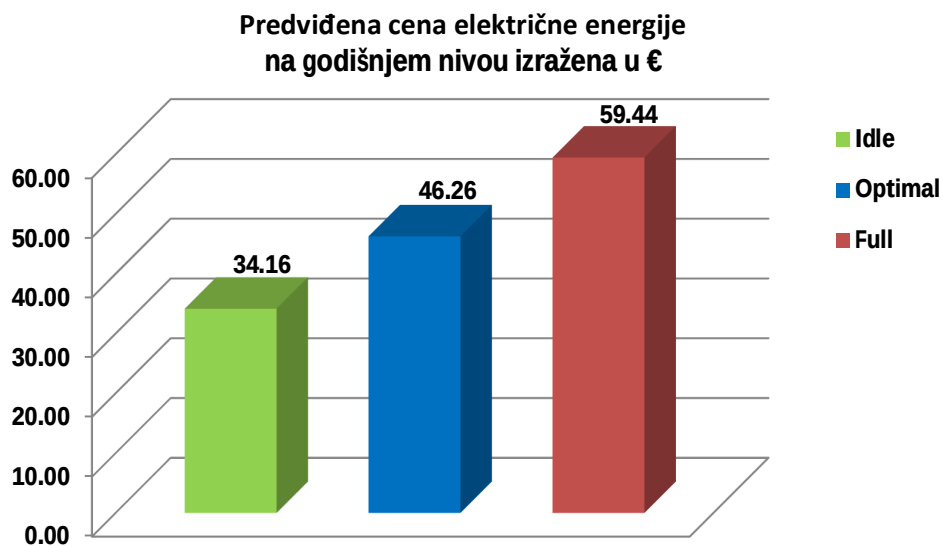
Grafikon 54. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 55 prikazana je predviđena potrošnja električne energije na godišnjem nivou izražena u kilovatima.



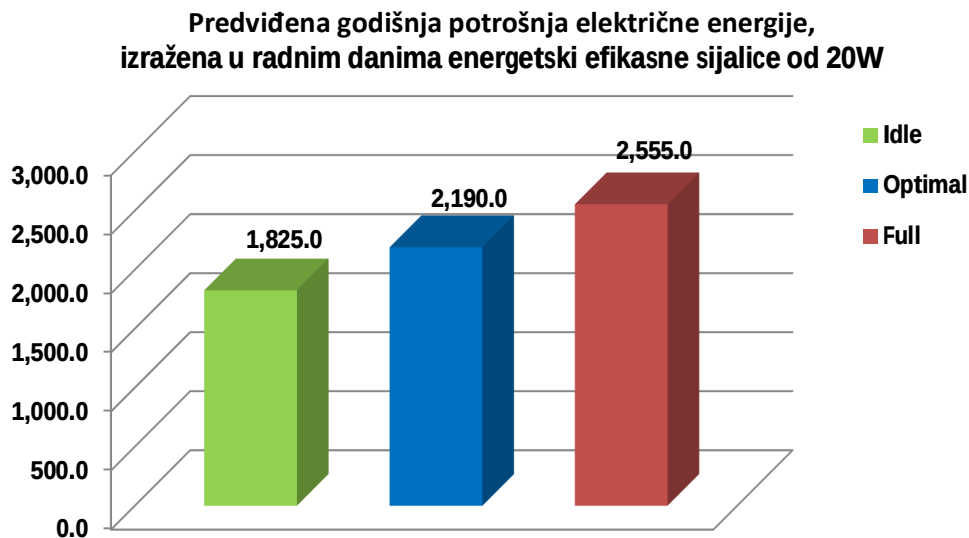
Grafikon 55. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 56 prikazana je predviđena cena potrošnje električne energije na godišnjem nivou izražena u novcu.



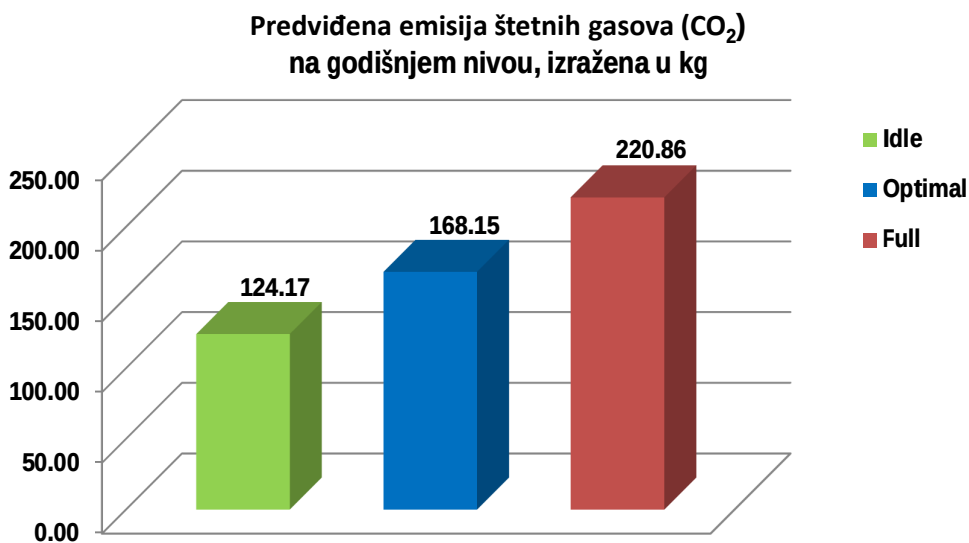
Grafikon 56. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 57 prikazana je predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice od 20W.



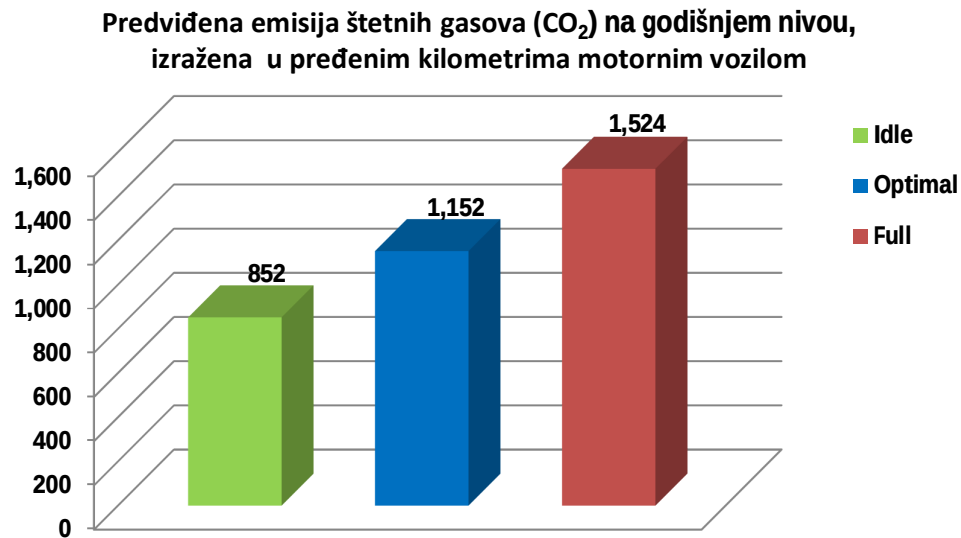
Grafikon 57. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 58 prikazana je emisija štetnih gasova na godišnjem nivou izražena u kilogramima.



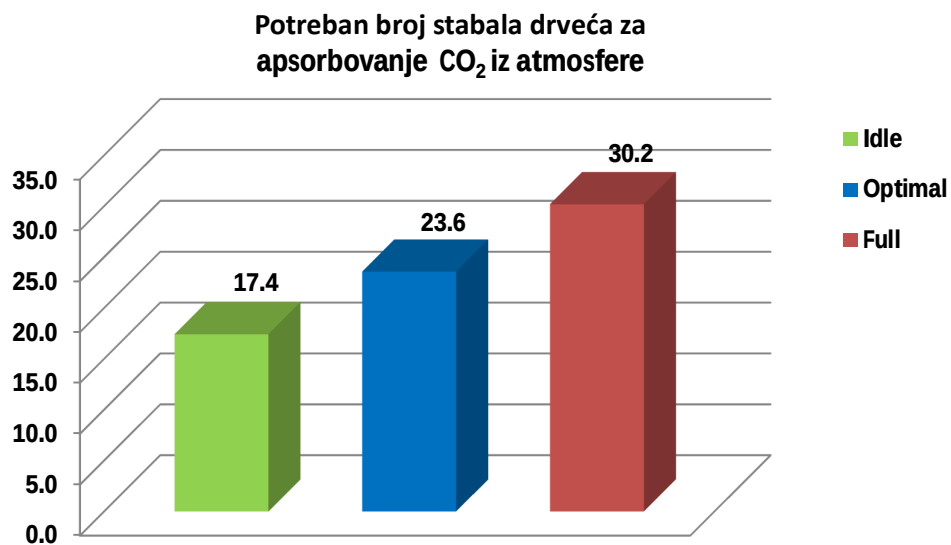
Grafikon 58. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 59 prikazana je predviđena emisija štetnih gasova izražena u pređenim kilometrima motornim vozilom za godinu dana.



Grafikon 59. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 6

Na Grafikonu 60 prikazana je potreban broj stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove koje proizvede server.



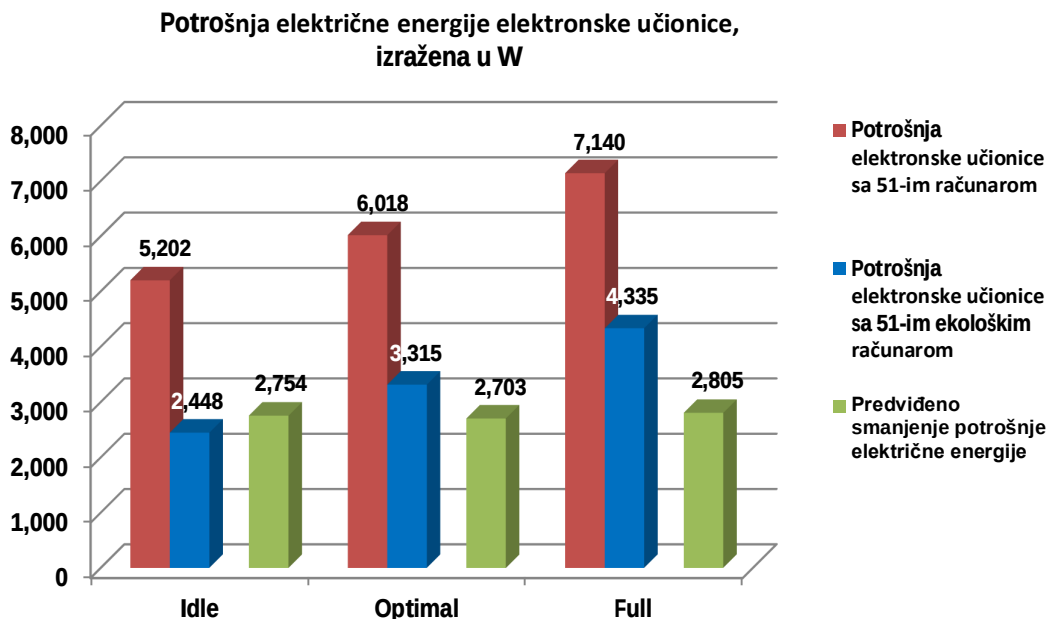
Grafikon 60. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 6

7.3 Poređenje dobijenih rezultata

U ovom delu ćemo uporediti dobijene rezultate stare i nove generacije računara i opisati dobijene razlike. Crvenom bojom ćemo predstaviti elektronsku učionicu sa starom generacijom računara, plavom sa ekološkim računarima, a zelenom bojom će biti označene uštede u resursima. Kako je već obrazloženo da računar ne koristi sve resurse koje ima na raspolaganju, za poređenje će se uzeti potrošnja u optimalnom režimu rada. Optimalan broj računara u elektronskoj učionici je 51 računar i svi rezultati odgovaraju ovom broju.

Na Grafikonu 61 je prikazana potrošnja elektronske učionice sa starom generacijom računara od 6,018W, dok ekološki računari ostvaruju potrošnju od 3,315W na svakih sat vremena. Evidentna je razlika i ušteda 2,703W, odnosno 23,745.76kW na godišnjem nivou (Grafikon 62). Preračunato u finansijske resurse ova ušteda bi iznosila 1,899.66€ na godišnjem nivou što je prikazano na Grafikonu 63. Takođe, smanjenju potrošnje električne energije bi u znatnoj meri doprinelo i smanjenje oslobađanja toplote i emisije štetnih gasova na godišnjem nivou sa prvobitnih 29,109.42kg na 8,575.70kg, prikazano na Grafikonu 64. Na ovaj način se rasterećuju rashladni uređaji koji troše manje električne energije za postizanje optimalne radne temperature u elektronskoj učionici.

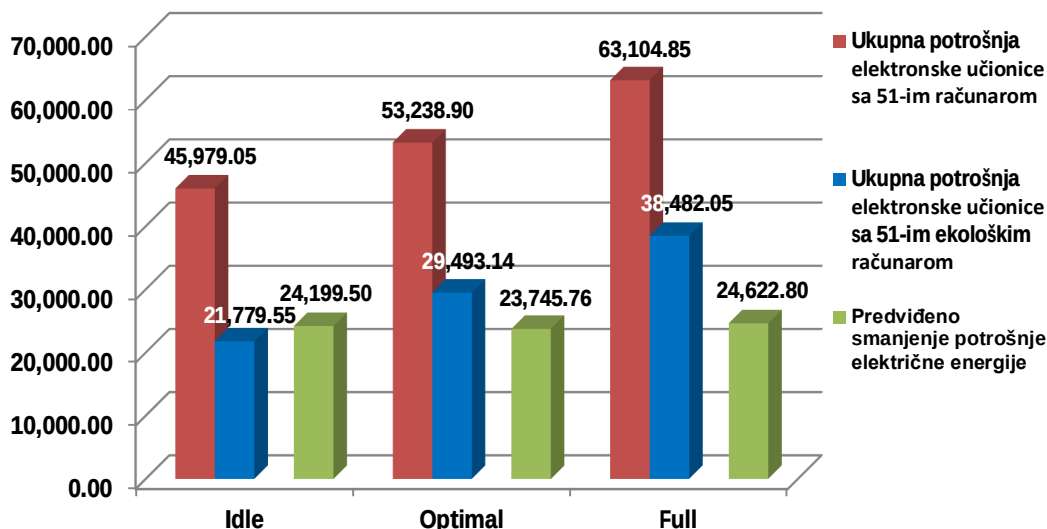
Na Grafikonu 61 prikazana je potrošnja električne energije i predviđeno smanjenje potrošnje.



Grafikon 61. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije

Na Grafikonu 62 prikazana je godišnja razlika u potrošnji električne energije fizičkog i virtualnog datacentra.

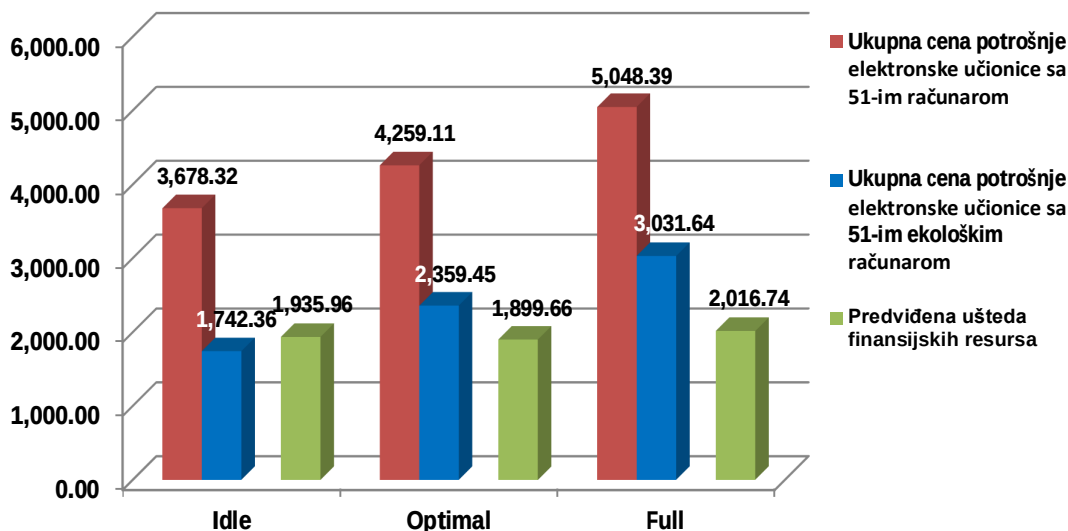
Godišnja potrošnja električne energije elektronske učionice, izražena u kW



Grafikon 62. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou

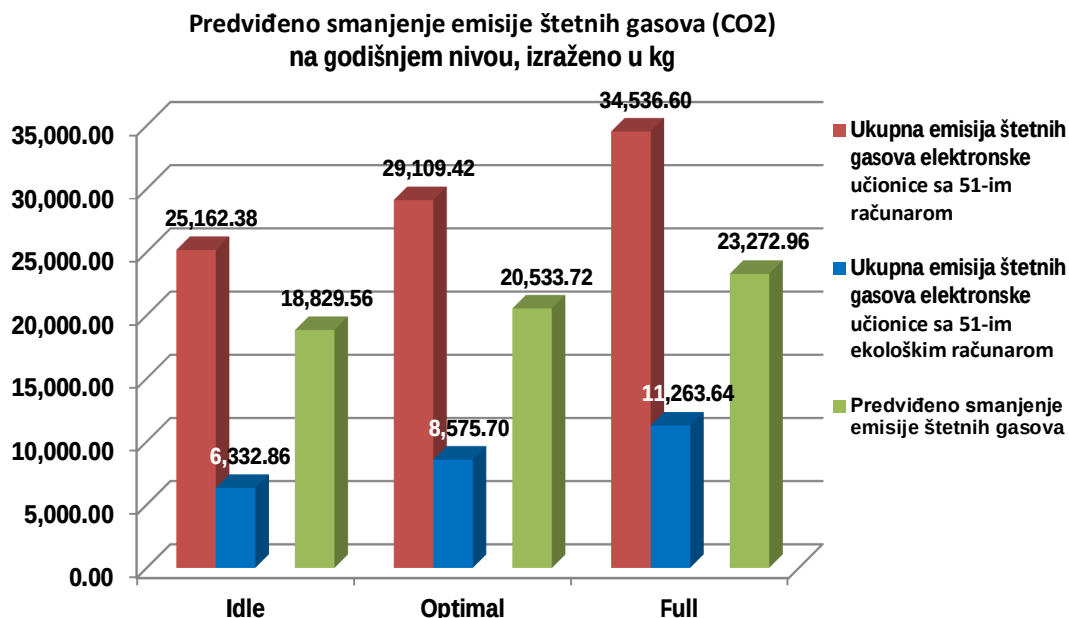
Na Grafikonu 63 prikazana je ušteda u finansijskim resursima na godišnjem nivou predviđenih za potrošnju električne energije.

Ušteda u finansijskim resursima na godišnjem nivou, izražena u €



Grafikon 63. Prikaz uštede finansijskih resursa na godišnjem nivou

Na Grafikonu 64 prikazana je godišnja razlika u emisiji štetnih gasova elektronske učionice opremljene starom generacijom računara i novim ekološkim računarima.



Grafikon 64. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou

Ako se osvrnemo na nabavne cene računara i monitora kojima su opremljene elektronske učionice, za Konfiguraciju 5 u periodu njene nabavke 2007. godine trebalo je izdvojiti 420€ za računarski sklop, odnosno 150€ za monitor, što ukupno iznosi oko 29,000€. U novije vreme cene računara i monitora su u znatnoj meri niže nego 2007., što zbog ekonomske krize, što zbog velike konkurencije na tržištu. Jedan ekološki računar sa svim sertifikatima ima cenu od oko 300€ dok se cene monitora kreću oko 100€, pa je za jednu energetski efikasnu elektronsku učionicu potrebno izdvojiti 20,400€. Investicije u novu opremu uvek predstavljaju veliki finansijski izdatak, ali vrlo brzo se mogu isplatiti što je prikazano na Tabeli 6. Ako na umu imamo da će se u narednih 5 godina samo na osnovu smanjenja potrošnje električne energije elektronske učionice uštedeti 9,498.3€ što je skoro polovina vrednosti opreme, stiče se utisak da je napravljen pravi izbor.

Tip organizacije elektronske učionice	Vrednost početne investicije	Ukupna potrošnja na godišnjem nivou	Vrednost potrošnje na godišnjem nivou	Ukupni troškovi za 3 godine
Stara generacija računara	€ 29,000	kW 53,238.90	€ 4,259.11	€ 41,777.33
Ekološki računari	€ 20,400	kW 29,493.14	€ 2,359.45	€ 27,478.35

Tabela 6. Prikaz isplativosti investije u ekološke naspram stare generacije računara

Uzimajući u obzir dosadašnje rezultate eksperimentalnih merenja i mogućnosti smanjenja potrošnje na godišnjem nivou datacentra za 34,681.57kW, odnosno jedne elektronske učionice za 23,745.76kW, dolazi se do ukupne uštede u finansijskim resursima od 3,668.42€ što predstavlja cenu jednog brendiranog servera veoma visokih performansi.

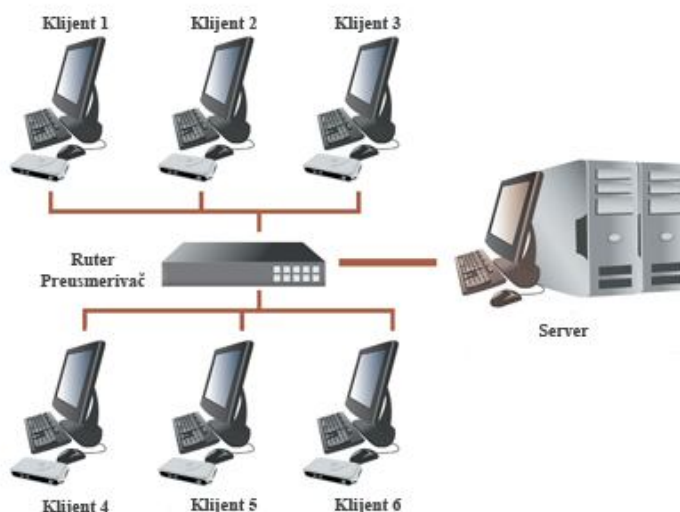
8 Koncept virtualnih elektronskih učionica

Sa naglim razvojem informacionih tehnologija krajem XX veka, nastao je i jedan paradoks, a to je da umesto da se one prvo primene u obrazovanju, one su u njega stizale poslednje. Jedan od glavnih razloga je što su cene računara u to vreme bile jako visoke. Drugi bitan razlog je taj što su računari brzo zastarevali i za jako kratko vreme bi imali računar koji ne može adekvatno odgovoriti na nove zahteve i IT servise. U novije vreme, cene računara su znatno niže, a nove tehnologije lako dostupne putem interneta. Kako su se vremena promenila, tako se menja i način obrazovanja. Edukativne ustanove sve češće nude uslove za studiranje na daljinu (DLS – Distant Learning System), velike korporacije kao što su Microsoft, Cisco, IBM, Oracle, SAP, nude online kurseve koje možete završiti od kuće, sa vašeg ličnog računara. Ovakav način obrazovanja i stručnog usavršavanja se postiže konceptom virtualnih učionica. Po definiciji, virtualna učionica predstavlja nastavno okruženje koje nije smešteno u zidanom objektu (kao što je npr. fakultet), već je generisano u računarskim tehnologijama i komunikacijski podržanim sistemima. Odnosno, virtualno obrazovanje podrazumeva nastavno okruženje gde su profesor i student razdvojeni u vremenu i/ili prostoru. Virtualna učionica može predstavljati samo jednu aplikaciju, kao što je na primer platforma za studiranje na daljinu gde student prati kurseve kroz prezentacije, video materijale i polaže elektronske testove od svoje kuće, a profesor sa druge strane, takođe od svoje kuće, pregleda te testove, drži video-konferencijska predavanja, itd.

Organizacija predavanja i kurseva u virtualnim učionicama neće biti predmet ovog istraživanja, pa ćemo virtualnu elektronsku učionicu posmatrati na drugačiji način, iz ugla IT stručnjaka.

U dosadašnjem radu, fokus je pre svega bio na energetskej efikasnosti i implementaciji ekoloških računara na Univerzitetu Singidunum. Na tržištu pored ekoloških ali običnih računara koji sadrže matičnu ploču, procesor, RAM memoriju, hard disk, grafičku karticu i dr. postoje i takozvani „Thin Client“ računari. „Thin Client“ računari još poznati i kao tanki računari su računari ili češće računarski programi koji u velikoj meri zavise od nekog drugog računara (servera) da bi ispunili svoje zahteve.

Ovakva infrastruktura se javlja tamo gde su prostorni kapaciteti mali, a funkcionalnost i performanse običnih računara nepotrebne. Tanki klijenti po funkcionalnosti mnogo podsećaju na davno prevaziđene „glupe“ terminale koji su slali svoje zahteve na obradu centralnom računaru pa čekali na povratnu informaciju. Oni se razlikuju od običnih računara jer sav posao umesto njih odradi server. Na Slici 17 prikazana je „Thin Client“ infrastruktura.



Slika 17. „Thin Client“ infrastruktura

Najčešći tip ovakvih uređaja predstavlja jeftin terminal koji se koncentriše isključivo na pružanje grafičkog interfejsa za krajnjeg korisnika, dok ostale funkcionalnosti, posebno operativni sistem, obezbeđuje server. Mnogi klijenti kao obavezan deo hardvera podrazumevaju video izlaz, ulaze za miša i tastaturu i mrežnu karticu, imaju minimalnu RAM memoriju, a najčešće ne poseduju hard disk. Samo ove osnovne komponente u velikoj meri doprinose maksimalnoj energetskej efikasnosti ovakvih uređaja i obezbeđuju nisku cenu koštanja. Sa jedne strane imamo tanke klijente koji su slabih performansi, što za posledicu ima da na drugoj strani imamo veoma jaku serversku infrastrukturu koja mora biti lako skalabilna, usled povećanja broja ovih uređaja.

Konsolidacijom i virtualizacijom kompletnog datacentra, oslobađanjem prostornih i infrastrukturnih kapaciteta i smanjivanjem operativnih troškova datacentra stekli su se uslovi za istraživanje novog koncepta virtualne elektronske učionice. U ovom istraživanju ćemo uporediti potrošnju električne energije učionice opremljene ekološkim računarima i virtualne elektronske učionice opremljene tankim klijentima i serverom.

Kako naša elektronska učionica ima 51 računar, isto toliko treba da ima i virtualnih mašina na serveru koje će obavljati ulogu računara. Dakle, potreban nam je zaista robustan server sa puno skladišne i radne memorije ili dva pouzdana servera. Za poređenje ćemo nadograditi kapacitete u datacentru i iskoristiti već postojeću infrastrukturu.

8.1 Hardverski resursi

U ovom delu rada predstavimo konfiguracije servera i tankih klijenata koji su korišćeni za eksperimentalna merenja. Uporedićemo potrošnju virtualne elektronske učionice sa potrošnjom elektronske učionice opremljene ekološkim računarima.

8.1.1 IT resursi koji su korišćeni prilikom eksperimentalnih merenja

- Konfiguracija 7 - IBM® System x3400 M2, 2x Intel® Xeon® E5620 4C/8T 2.4GHz 12MB, 16x 4GB ECC DIMM DDR3 1333MHz, 6x 1TB SAS HDD SATAIII, Napajanje 2x 700W
- Konfiguracija 8 - HP T5335z (14), procesor 1GHz, 1GB DDR3 1333MHz (224MB rezervisano za grafičku karticu), Marvell ARM grafička kartica, Napajanje 20W, Monitor Dell E190s 19"
- Uređaj za merenje potrošnje APC® Back-UPS Pro 900,
- Softver za benchmark FinalWire AIDA64 Engineer Edition v1.85.1600,
- Softver za praćenje potrošnje električne energije APC® PowerChute Personal Edition v3.0.1,
- Operativni sistemi:
 - Microsoft® Windows® Server 2008 R2 Enterprise SP1,
 - Microsoft® Windows® 7 Professional x64 SP1.

8.1.2 Tehničke specifikacije

Za predstavljanje ovog koncepta ćemo iskoristiti istraživanje posvećeno energetskej efikasnosti datacentra i već postojeću konfiguraciju nadograditi i dati predviđenu potrošnju. Sa tehničkom specifikacijom proizvođača tankog klijenta i njegovom fiksnom potrošnjom od 5W, odnosno monitora od 19W stekli su se svi uslovi za poređenje rezultata.

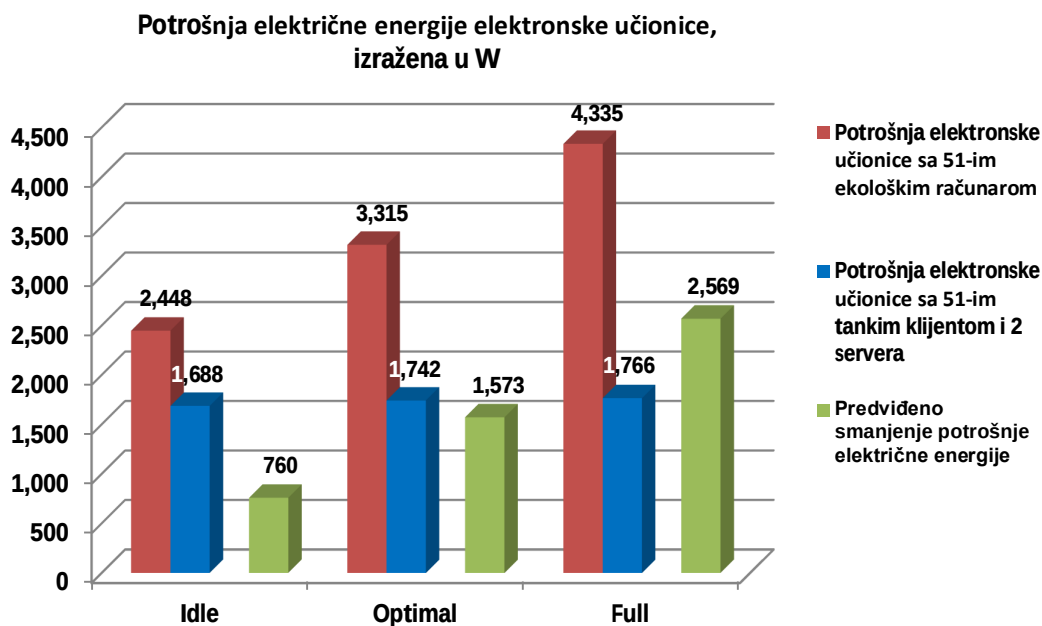
8.2 Poređenje dobijenih rezultata

U ovom delu su upoređeni dobijeni rezultati elektronske učionice opremljene ekološkim računarima i virtualne elektronske učionice opremljene tankim klijentima. Crvenom bojom je predstavljena elektronska učionica sa ekološkim računarima, plavom sa

tankim klijentima, a zelenom bojom su označene uštede u resursima. Kako je već obrazloženo da računar ne koristi sve resurse koje ima na raspolaganju za poređenje je uzeta optimalna potrošnja ekološkog računara, a za tankog klijenta fiksna potrošnja od 5W. Podsećanja radi, predviđena elektronska učionica se sastoji od 51-og računara.

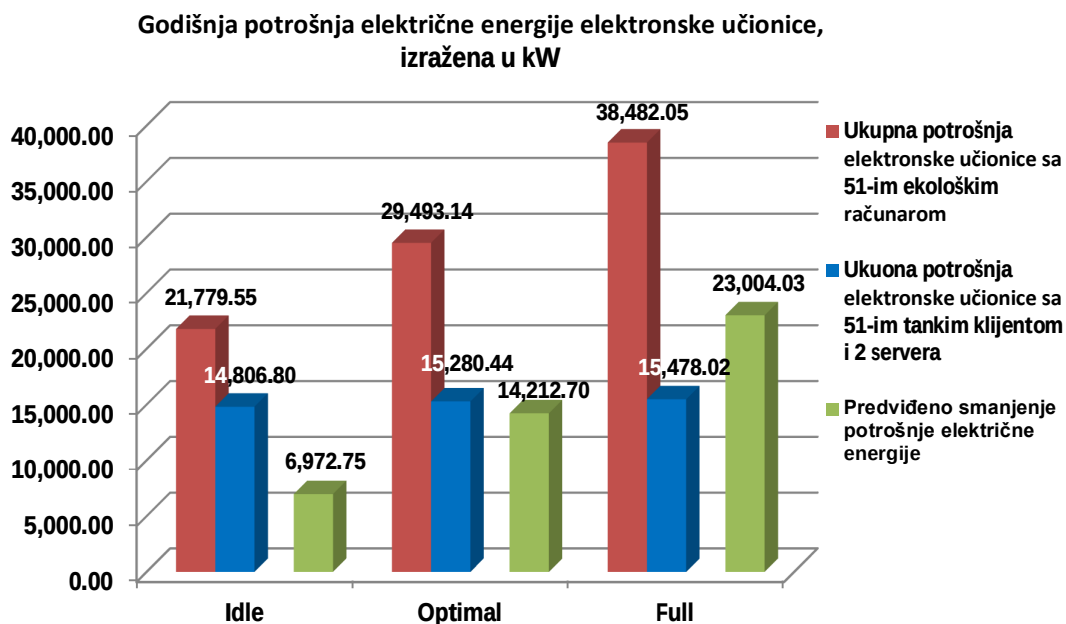
Na Grafikonu 65 je prikazana potrošnja elektronske učionice opremljene ekološkim računarima od 3,315W, dok tanki klijenti sa dva servera ostvaruju potrošnju od 1,742W na svakih sat vremena. Evidentna je razlika i ušteda 1,573W, odnosno 14,212.7kW na godišnjem nivou (Grafikon 66). Preračunato u finansijske resurse ova ušteda bi iznosila 1,269.2€ na godišnjem nivou što je prikazano na Grafikonu 67. Takođe, smanjenju potrošnje električne energije bi u znatnoj meri doprinelo i smanjenje oslobađanja toplote i emisije štetnih gasova na godišnjem nivou sa prvobitnih 8,575.7kg na 5,666.15kg, prikazano na Grafikonu 68. Na ovaj način se rasterećuju rashladni uređaji koji troše manje električne energije za postizanje optimalne radne temperature u datacentru ali i u elektronskoj učionici.

Na Grafikonu 65 prikazana je potrošnja električne energije i predviđeno smanjenje potrošnje.



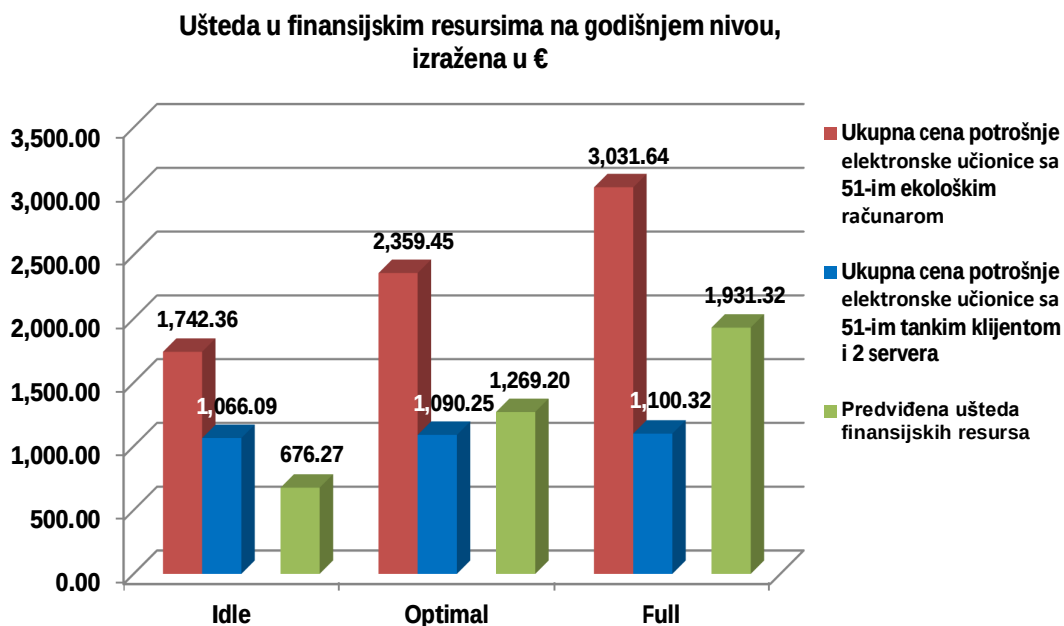
Grafikon 65. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije

Na Grafikonu 66 prikazana je godišnja razlika u potrošnji električne energije fizičkog i virtualnog datacentra.



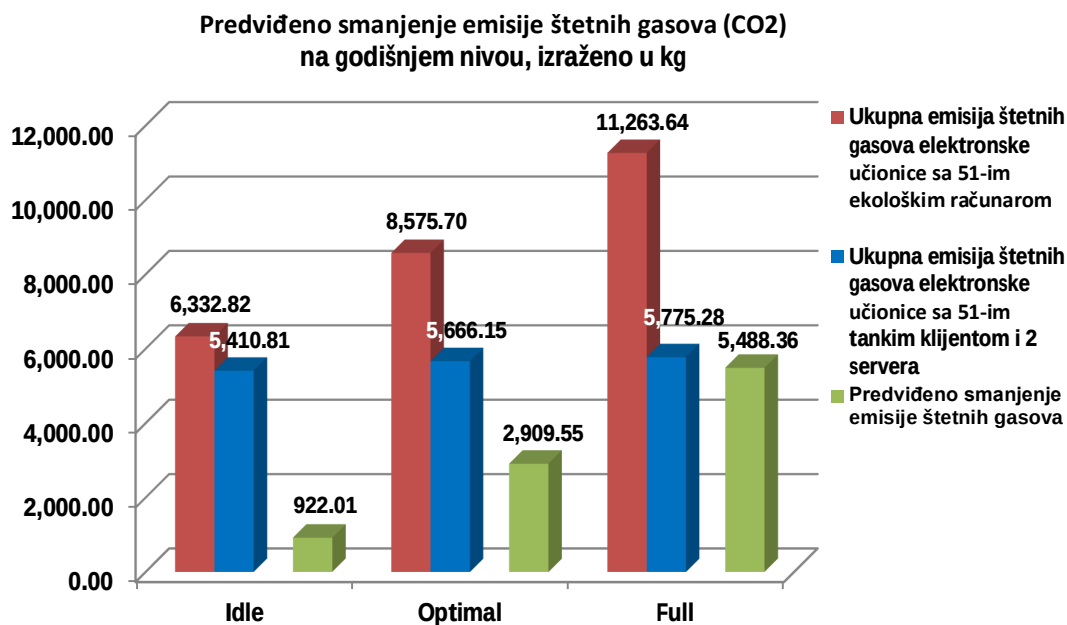
Grafikon 66. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou

Na Grafikonu 67 prikazana je ušteda u finansijskim resursima na godišnjem nivou predviđenih za potrošnju električne energije.



Grafikon 67. Prikaz uštede nu finansijskih resursa na godišnjem nivou

Na Grafikonu 68 prikazana je godišnja razlika u emisiji štetnih gasova elektronske učionice opremljene starom generacijom računara i novim ekološkim računarima.



Grafikon 68. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou

Za nabavku 51-og ekološkog računara (HP Pro 3300) sa monitorom (Dell E190s) već je izračunato da je potrebno 20,400€, dok za nabavku 51-og tankog klijenta (HP T5335z) sa istim monitorom treba izdvojiti 13,100€. Za normalno funkcionisanje 51-og virtualnog računara preporučljivo je raspodeliti opterećenje na dva servera (IBM System x3400 M2) za čiju nabavku je potrebno izdvojiti oko 10,000€, čime dolazimo do ukupne cene od 23,100€.

Cena opreme za virtualne učionice je za 10% skuplja od cene opreme za ekološku učionicu, ali će virtualna učionica na osnovu smanjenja potrošnje električne energije u naredne 2 godine anulirati tu razliku. Ako se dobijeni rezultati uporede sa prvobitnim stanjem i opremom koja se koristila u elektronskoj učionici, ostvaruje se smanjenje potrošnje od čak 37,958.46kW na godišnjem nivou što predstavlja uštedu u finansijskim resursima od 3,168.86€ što je prikazano u Tabeli 7.

Tip organizacije elektronske učionice	Vrednost početne investicije	Ukupna potrošnja na godišnjem nivou	Vrednost potrošnje na godišnjem nivou	Ukupni troškovi za 3 godine
Stara generacija računara	€ 29,000	kW 53,238.90	€ 4,259.11	€ 41,777.33
Ekološki računari	€ 20,400	kW 29,493.14	€ 2,359.45	€ 27,478.35
Tanki klijenti	€ 23,100	kW 15,280.44	€ 1,090.25	€ 26,370.75

Tabela 7. Prikaz isplativosti investije u tanke klijente naspram ekoloških i stare generacije računara

Investicije u novu opremu uvek predstavljaju veliki finansijski izdatak. Ako na umu imamo da će se u narednih 3 godina samo na osnovu smanjenja potrošnje električne energije elektronske učionice uštedeti 9,506.58€ što je skoro polovina vrednosti opreme, stiče se utisak da je napravljen još ekonomičniji izbor od ekoloških računara. Ako se uzmu u obzir dosadašnji rezultati eksperimentalnih merenja i mogućnosti smanjenja potrošnje na godišnjem nivou datacentra za 34,681.57kW, odnosno jedne elektronske učionice za 37,958.46kW, dolazimo do ukupne uštede u finansijskim resursima od 4,937.62€ što je za jednu edukativnu ustanovu ogroman uspeh.

9 Zaključak

Svetska ekonomska kriza i kriza u proizvodnji električne energije inspirisala je istraživanje predstavljeno u radu. U radu su predstavljene organizacije datacentra i elektronskih učionica, kao i njihova energetska efikasnost. Prikazane su prednosti i nedostaci oba organizaciona tipa datacentar i tri tipa elektronskih učionica. U radu su detaljno opisani jeftini industrijski i energetske efikasni, brendirani serveri. Takođe, opisani su ekološki, tj. „green“ računari i njihov visok nivo energetske efikasnosti, koji je po propisima Evropske unije postao standard, a njihova upotreba gotovo obavezna. U Srbiji, koja je postala kandidat za prijem u Evropsku uniju, a samim tim mora raditi na dostizanju propisanih normi energetske efikasnosti, obnovljivih izvora energije, ekološkom uticaju računara i ostale IT opreme, situacija je ipak znatno drugačija. Samo mali broj preduzeća, ali i edukativnih ustanova koristi energetske efikasne modele računara i monitora. U našoj zemlji je svest, pre svega o potrošnji električne energije na veoma niskom nivou, a samim tim i o energetske efikasnosti. Ovaj rad za društveni cilj ima podizanje te svesti, istraživanje je obuhvatilo pored energetske efikasne servera, i računare i monitore, a predstavljen je i koncept virtualnih učionica koje spadaju u red tehnologija koje još uvek nisu svima pristupačne. Investicije u novu infrastrukturu uvek predstavljaju veliki problem jer zahtevaju dosta vremena za planiranje i implementaciju. Za kompletnu analizu stanja i ispitivanje mogućnosti, planiranje i eksperimentalna merenja, izdvojeno je oko 3 meseca. Rezultati eksperimentalnih merenja su od velikog značaja i mogu se iskoristiti u bilo kojoj ustanovi, bilo da je ona edukativnog ili poslovnog karaktera. Novim finansijskim ulaganjima u organizaciju datacentra i virtualno radno okruženje, preduzeća mogu na godišnjem nivou smanjiti potrošnju električne energije gotovo 4 puta što će im dugoročno omogućiti velike uštede u finansijskim resursima.

Širenje znanja iz oblasti energetske efikasnosti, mogućnosti unapređenja IT servisa i uštede finansijskih resursa samo su neki od razloga za nastavak daljih istraživanja. Nova istraživanja koja će biti predstavljena u budućim radovima, za cilj će imati implementaciju „Cloud Computinga“ na Univerzitetu Singidunum i mogućnost da se studentima ponude virtualni personalni računari koji će se nalaziti na serverima u zgradi Univerziteta, a studenti će moći da ih koriste od svojih kuća.

10 Lista slika u radu

Slika 1. Prikaz klasičnog računara bez i sa virtualizacijom.....	8
Slika 2. Upravljanje hardverskim resursima putem VMM-a.....	8
Slika 3. Prikaz emulacije i alokacije potrebnih resursa putem VMM-a.....	9
Slika 4. Prikaz ocena softvera za virtualizaciju i udela u tržištu za 2008. i 2010. god.	10
Slika 5. Prikaz korisničkog interfejsa VMware® Player-a 3.1 i Workstation-a 7.1	11
Slika 6. Prikaz servisne konzole VMware® ESXi 4.1	12
Slika 7. VMware® vSphere klijent za pristup ESXi serveru.....	12
Slika 8. Prikaz Microsoft® Windows Server 2008 R2 Hyper-V korisničkog interfejsa	13
Slika 9. Prikaz servisne konzole Citrix® XenServer-a	14
Slika 10. Citrix® XenCenter klijent za pristupanje XenServer-u	14
Slika 11. Prikaz Oracle® VM VirtualBox korisničkog interfejsa	15
Slika 12. Prikaz funkcionalnog Univerzitetskog datacentra	18
Slika 13. Prikaz podele servera po vrstama u tipičnom datacentru.....	19
Slika 14. Prikaz podele servera po vrstama u Univerzitetskom datacentru.....	19
Slika 15. Prikaz potrošnje električne energije pri opterećenosti servera	21
Slika 16. Prikaz konsolidovanog i virtualizovanog datacentra	22
Slika 17. „Thin Client“ infrastruktura	69

11 Lista tabela u radu

Tabela 1. Prikaz kategorizovane uštede električne energije na uzorku od 500 servera.....	20
Tabela 2. Prikaz kategorizovane uštede električne energije u Univerzitetskom data.	21
Tabela 3. Prikaz kategorizovane potrošnje električne energije servera po komp.	24
Tabela 4. Prikaz isplativosti investicije u virtualni naspram fizičkog datacentra.....	52
Tabela 5. Prikaz kategorizovane potrošnje energije računara po komponentama.....	56
Tabela 6. Prikaz isplativosti investije u ekološke naspram stare generacije računara.....	67
Tabela 7. Prikaz isplativosti investije u tanke klijente naspram ekoloških i starih rač.	73

12 Lista grafikona u radu

Grafikon 1. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 1	27
Grafikon 2. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1.....	28
Grafikon 3. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1.....	28
Grafikon 4. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetski efikasne sijalice za Konfiguraciju 1	29
Grafikon 5. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 1.....	29
Grafikon 6. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 1.....	30
Grafikon 7. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 1.....	30
Grafikon 8. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 2.....	31
Grafikon 9. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2.....	31
Grafikon 10. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2.....	32
Grafikon 11. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetski efikasne sijalice za Konfiguraciju 2	32
Grafikon 12. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 2.....	33
Grafikon 13. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 2.....	33
Grafikon 14. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 2	34
Grafikon 15. Prikaz ukupne potrošnje električne energije fizičkog datacentra	34
Grafikon 16. Prikaz ukupne predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za fizički datacentar	35
Grafikon 17. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za fizički datacentar.....	35
Grafikon 18. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetski efikasne sijalice za fizički datacentar.....	36
Grafikon 19. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za fizički datacentar	36
Grafikon 20. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za fizički datacentar	37
Grafikon 21. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za fizički datacentar	37
Grafikon 22. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 3	38
Grafikon 23. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3.....	39
Grafikon 24. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3.....	39
Grafikon 25. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetski efikasne sijalice za Konfiguraciju 3	40
Grafikon 26. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 3.....	40
Grafikon 27. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 3.....	41

Grafikon 28. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 3.....	41
Grafikon 29. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 4	42
Grafikon 30. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4.....	42
Grafikon 31. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4.....	43
Grafikon 32. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 4	43
Grafikon 33. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 4.....	44
Grafikon 34. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 4.....	44
Grafikon 35. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 4.....	45
Grafikon 36. Prikaz ukupne potrošnje električne energije virtualnog datacentra	45
Grafikon 37. Prikaz ukupne predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za virtualni datacenter	46
Grafikon 38. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za virtualni datacenter.....	46
Grafikon 39. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za virtualni datacenter.....	47
Grafikon 40. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za virtualni datacenter ..	47
Grafikon 41. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za virtualni datacenter	48
Grafikon 42. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za virtualni datacenter.....	48
Grafikon 43. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije	49
Grafikon 44. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou.....	50
Grafikon 45. Prikaz uštede finansijskih resursa na godišnjem nivou.....	50
Grafikon 46. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou.....	51
Grafikon 47. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 5	58
Grafikon 48. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5.....	58
Grafikon 49. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5.....	59
Grafikon 50. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 5	59
Grafikon 51. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 5.....	60
Grafikon 52. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 5.....	60
Grafikon 53. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 5.....	61
Grafikon 54. Prikaz potrošnje električne energije za Konfiguraciju 6	61
Grafikon 55. Prikaz predviđene potrošnje električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6.....	62
Grafikon 56. Prikaz predviđene cene električne energije na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6.....	62
Grafikon 57. Predviđena godišnja potrošnja električne energije izražena u radnim danima energetske efikasne sijalice za Konfiguraciju 6	63
Grafikon 58. Prikaz emisije štetnih gasova na godišnjem nivou za Konfiguraciju 6.....	63

Grafikon 59. Prikaz pređenih kilometara motornim vozilom za istu količinu emitovanja štetnih gasova za Konfiguraciju 6.....	64
Grafikon 60. Prikaz potrebnog broja stabala drveća koji će tokom godine apsorbovati štetne gasove za Konfiguraciju 6.....	64
Grafikon 61. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije	65
Grafikon 62. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou.....	66
Grafikon 63. Prikaz uštede finansijskih resursa na godišnjem nivou.....	66
Grafikon 64. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou.....	67
Grafikon 65. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije	71
Grafikon 66. Prikaz smanjenja potrošnje električne energije na godišnjem nivou.....	72
Grafikon 67. Prikaz uštede nu finansijskih resursa na godišnjem nivou.....	72
Grafikon 68. Prikaz smanjenja emisije štetnih gasova na godišnjem nivou.....	73

13 Literatura

- [1] Efficient-Servers, (2009), „Saving Energy and reducing costs with efficient servers - green IT strategy in practice“, [tekst dostupan na: www.efficient-server.eu], (pristup 21.02.2012.)
- [2] Marković, D. (2010): *Procesna i energetska efikasnost*, Univerzitet Singidunum, Beograd, [knjiga dostupna na: <http://www.singipedia.com>], (pristup 04.03.2012.)
- [3] Federal Energy Management Program, (2011), „Best Practices Guide for Energy-Efficient Data Center Design“, [tekst dostupan na: www1.eere.energy.gov], (pristup 27.04.2012.)
- [4] Hoopes, J. (2009): *Virtualization for Security: Including Sandboxing, Disaster Recovery, High Availability, Forensic Analysis, and Honeypotting*, Elsevier
- [5] Živković, D., Marković, D. (2012): „Energy Efficiency of Cloud Computing“, na: „X međunarodni naučni skup Sinergija 2012“, Univerzitet Sinergija, Bijeljina, Republika Srpska, Mart 30., 2012, str.126-130
- [6] Veinović, M., Šarac, M., Radovanović, D. (2010): „Analza procesa virtuelizacije“, na: „VI Naučni skup sa međunarodnim učešćem Sinergija 2010“, Bijeljina, Republika Srpska: Univerzitet Sinergija, Mart 19., 2010, str.131-137, (pristup 21.02.2012.), [tekst dostupan na: <http://scholar.google.com/citations>]
- [7] Veinović, M., Jevremović, A. (2011): *Računarske mreže*, Univerzitet Singidunum, Beograd, [knjiga dostupna na: <http://www.singipedia.com>]
- [8] Šarac, M. (2008): „Informacione tehnologije i računarske mreže, fizičko i virtualno okruženje datacentra“, Master rad, Univerzitet Singidunum, Beograd
- [9] Veinović, M., Šarac, M. (2008): „Analiza performansi i bezbednosti fizičkog i virtuelnog datacentra“, *Singidunum revija* Vol.5/No.2, str.106-112
- [10] Talaber, R., Brey, T., Lamers, L. (2009), „White Paper #19 – Using Virtualization to Improve Data Center Efficiency“, [tekst dostupan na: www.thegreengrid.org], (pristup 28.03.2012.)
- [11] Stamenković, D., Šarac, M., Adamović, S., Radovanović, D. (2012): „Energetska efikasnost u primeni virtualnog datacentra i upotreba ekoloških računara u edukativnim ustanovama“, na: „X međunarodni naučni skup Sinergija 2012“, Univerzitet Sinergija, Bijeljina, Republika Srpska, Mart 30., 2012, 145-150

- [12] Ye, K., Huang, D., Jiang, X., Chen, H., Wu, S. (2010): „Virtual Machine Based Energy-Efficient Data Center Architecture for Cloud Computing: A Performance Perspective“, in: „2010 IEEE/ACM International Conference on Green Computing and Communications & 2010 IEEE/ACM International Conference on Cyber, Physical and Social Computing“, Hangzhou, China, December 18th-20th, 2010, pg.171-178
- [13] Bohra, A.E.H., Chaudhary, V. (2010): „VMeter: Power modelling for virtualized clouds“, in: „Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW), 2010 IEEE International Symposium“, Atlanta (Georgia), United States of America, April 19th-23rd, 2010, pg.1-8
- [14] Stamenković, D. (2011), „Primena virtualizacije kod sistema za elektronsko testiranje studenata“, [tekst dostupan na: www.singipedia.com], (pristup 15.01.2012.)

14 Tehnička dokumentacija

- (1) Intel® S5000VSA Server Board: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.intel.com/motherboards/s5000vsa.html>]
- (2) Intel® Xeon® procesori: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.intel.com/hardware/xeon-previous>]
- (3) IBM® System x3400: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.ibm.com/systems/system-x3400.pdf>]
- (4) IBM® System x3400 M2: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www-03.ibm.com/systems/system-x3400m2.pdf>]
- (5) APC® Back-UPS Pro 900: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.apc.com/BR900G>]
- (6) Linux Slackware 13: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.slackware.com>]
- (7) Microsoft® Windows® 7 Professional x64 SP1: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://windows.microsoft.com/windows7>]
- (8) Microsoft® Windows® Server 2008 R2 Enterprise: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.microsoft.com/windows-server>]
- (9) Microsoft® Hyper-V™: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.microsoft.com/windows-server/hyper-v.aspx>]
- (10) FinalWire AIDA64 Engineer Edition v1.85.1600: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.aida64.com/aida64-v185>]
- (11) APC® PowerChute Personal Edition v3.0.1: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2011.), [dostupno na: <http://www.apc.com/site/products>]
- (12) AMD® Athlon X2 procesori: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www.amd.com/processors/athlon-x2>]
- (13) Hewlett-Packard® Pro 3300 MT: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www1.hp.com>]
- (14) Hewlett-Packard® T5335z: Tehnička dokumentacija, (pristup 22.02.2012.), [dostupno na: <http://www1.hp.com>]

15 Internet izvori

- 1) <http://www.efficient-server.eu/>
- 2) <http://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/eedatacenterbestpractices.pdf>
- 3) <http://en.wikipedia.org/wiki/Virtualization>
- 4) <http://www.gartner.com/technology/summits/na/it-operations/>
- 5) <http://www.vmware.com/virtualization>
- 6) <http://www.microsoft.com/datacenter/virtualization-benefits.aspx>
- 7) <http://www.citrix.com/English/feature.asp?contentID=2300351>
- 8) <http://www.oracle.com/us/solutions/cloud/overview/index.html>
- 9) <http://www.thegreengrid.org/WhitePapers/WhitePaper19>
- 10) http://www.intel.com/p/en_US/embedded/hwsw/hardware/xeon-previous
- 11) <http://www.wdc.com/en/products/internal/desktop/>
- 12) <http://www.hitachigst.com/internal-drives/>
- 13) <http://www.kingston.com/en/memory>
- 14) <http://www.greenpeace.org/Guide-to-Greener-Electronics/>
- 15) <http://www.epeat.net/>
- 16) <http://www.energystar.gov/index.cfm?c=home.index>